



**OTOMATİK DEPOLAMA VE GERİ-ALMA  
SİSTEMLERİNİN SİMÜLASYON İLE  
PERFORMANS ANALİZİ**

**Sema DEĞİRMEN BEKTAŞ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMATİK DEPOLAMA VE GERİ-ALMA SİSTEMLERİNİN SİMÜLASYON  
İLE PERFORMANS ANALİZİ**

**Sema DEĞİRMEN BEKTAŞ**

Doç. Dr. Fatih ÇAVDUR  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2019

**Her Hakkı Saklıdır**

**TEZ ONAYI**

Sema DEĞİRMEN BEKTAŞ tarafından hazırlanan “Otomatik depolama ve geri-alma sistemlerinin simülasyon ile performans analizi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Fatih ÇAVDUR

**Başkan** : Doç. Dr. Fatih ÇAVDUR  
U.Ü. Mühendislik Fakültesi,  
Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı

İmza



**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKANSEL  
U.Ü. Mühendislik Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Koray ALTUN  
B.T.Ü. Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fak.,  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



**Yukarıdaki sonucu onaylarım**



**Prof. Dr. Ali BAYRAM**  
Enstitü Müdürü

30/01/2019

**B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

30/01/2019

**Sema DEĞİRMEN BEKTAŞ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### OTOMATİK DEPOLAMA VE GERİ-ALMA SİSTEMLERİNİN SİMÜLASYON İLE PERFORMANS ANALİZİ

**Sema DEĞİRMEN BEKTAŞ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Fatih ÇAVDUR

Otomatik depolama ve geri-alma sistemleri, hem üretim hem dağıtım ortamlarında, ürünlerin depolanması ve geri-alınması için yaygın bir şekilde kullanılan sistemlerdir. Bu sistemlerin birçok avantajının yanında yüksek başlangıç yatırımları ve depo tasarımının değiştirilmesinin zorluğu gibi ekonomik faktörleri içeren dezavantajlarının da bulunması, sistemin fiziksel tasarım ve kontrol parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Dolayısıyla, sistem kurulmadan önce ya da kurulduktan sonra sistemin performans analizlerinin yapılması optimal bir tasarımın gerçekleştirilmesi açısından önem kazanmaktadır. Bununla birlikte, otomatik depolama ve geri-alma sistemlerinin tasarımında fiziksel tasarım ve kontrol parametrelerinin eş zamanlı olarak ele alınması karmaşık bir optimizasyon probleminin ortaya çıkmasına neden olduğundan, problemin çözümünde farklı parametre kombinasyonlarını içerecek şekilde bir tasarım esnekliği sağlanmak istenmektedir. Bu da, problemin çözümü için en uygun yaklaşımlardan birinin simülasyon olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, otomatik depolama ve geri-alma sistemlerinin simülasyonu ele alınmış olup, simülasyon modelinin oluşturulması için bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşımın örneklendirilmesi amacıyla örnek bir depo oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, farklı depo içi atama politikaları altında farklı depolama ve geri-alma makinesi bekleme noktası parametreleri dikkate alınmıştır. Çeşitli senaryolar ile ilgili parametrelerin sistem üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanarak, elde edilen sonuçlar sistem performansı açısından değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bekleme noktası, depo içi atama politikası, otomatik depolama ve geri-alma sistemleri, modelleme, simülasyon

**2019, vii + 66 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### PERFORMANCE ANALYSIS OF AUTOMATED STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEMS USING SIMULATION

**Sema DEĞİRMEN BEKTAŞ**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Industrial Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Fatih ÇAVDUR

Automated storage and retrieval systems are widely used in both production and distribution environments for the storage and retrieval of products. Besides the many advantages of these systems, the disadvantages (which include economic factors such as high initial investments and the difficulty of changing the warehouse design) highlights the need to correctly determine the system's physical design and control parameters. In order to achieve an optimal design, it is therefore important to conduct a performance analysis of the system before or after installation. Dealing simultaneously with physical design and control parameters when designing automated storage and retrieval systems is, however, quite a complex undertaking whose solution requires the development of a flexible design incorporating several combinations of parameters. These considerations make the simulation approach the most appropriate means of solving the problem. The current study focuses on automated storage and retrieval systems, and proposes an approach for developing a simulation model. A sample warehouse is designed in order to illustrate the proposed approach. The study examines a variety of dwell point parameters of the storage and retrieval machine under different storage assignment policies. The findings obtained are finally evaluated with respect to the system's performance in order to measure the impact of those parameters that are related to a variety of scenarios in the system.

**Keywords:** Dwell point, storage assignment policy, automated storage and retrieval systems, modelling, simulation

**2019, vii + 66 pages.**

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamın oluşturulmasında, araştırılmasında ve yürütülmesinde bilgilerini ve zamanını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Fatih Çavdur'a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili aileme ve eşime teşekkürlerimi sunarım.

Sema Değirmen Bektaş  
30/01/2019



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	7
2.1. Literatür Tarama Çalışmaları.....	7
2.2. Genel Analitik Çalışmalar.....	8
2.3. Genel Simülasyon Çalışmaları.....	9
2.4. Depo İçi Atama ve Bekleme Noktası Politikalarını İçeren Analitik Çalışmalar.....	12
2.5. Depo İçi Atama ve Bekleme Noktası Politikalarını İçeren Simülasyon Çalışmaları.....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Materyal.....	16
3.1.1. Simülasyon.....	16
3.1.2. İmalat ve malzeme taşıma sistemlerinde simülasyon.....	26
3.1.3. OD/GA sistemlerinde simülasyon.....	29
3.1.4. Simülasyon yazılımları.....	30
3.2. Yöntem.....	31
3.2.1. Model bileşenleri.....	31
3.2.2. Simülasyon modelinin genel yapısı.....	35
3.2.3. Verifikasyon ve validasyon.....	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
5. SONUÇ.....	54
KAYNAKLAR.....	56
EKLER.....	60
EK 1 Lokasyonların Örnek Gösterimi.....	61
EK 2 Depo Tasarımı (Üstten Görünüş).....	62
EK 3 Birinci Koridor ( $i = 1$ ) için Simülasyon Ekran Görüntüsü.....	63
EK 4 İkinci Koridor ( $i = 2$ ) için Simülasyon Ekran Görüntüsü.....	64
EK 5 Üçüncü Koridor ( $i = 3$ ) için Simülasyon Ekran Görüntüsü.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	66



## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Kısaltma</b>	<b>Açıklama</b>
D/GA	Depolama ve Geri-Alma
OD/GA	Otomatik Depolama ve Geri-Alma



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1. 1. OD/GA sistemi tasarımı.....	2
Şekil 3. 1. Bir sistemin çalışma mantığı.....	17
Şekil 3. 2. Bir simülasyonun adımları.....	21
Şekil 3. 3. Varış olayının akış diyagramı .....	25
Şekil 3. 4. Ayrılış olayının akış diyagramı.....	26
Şekil 3. 5. Simülasyon modeli için genel süreç diyagramı .....	37
Şekil 4. 1. Depo tasarımı (yandan görünüş).....	40
Şekil 4. 2. Atanmış depo içi atama politikası için ürün grubu-hücre atamaları.....	41
Şekil 4. 3. Sınıf-tabanlı depo içi atama politikası için ürün grubu-hücre atamaları.....	42
Şekil 4. 4. Rassal depo içi atama politikası için ürün grubu-hücre atamaları .....	42
Şekil 4. 5. Güven aralıkları ( <i>Product_Groups_21, i = 2</i> ).....	51
Şekil 4. 6. Güven aralıkları (Rassal depo içi atama politikası, <i>i = 3</i> ) .....	53

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

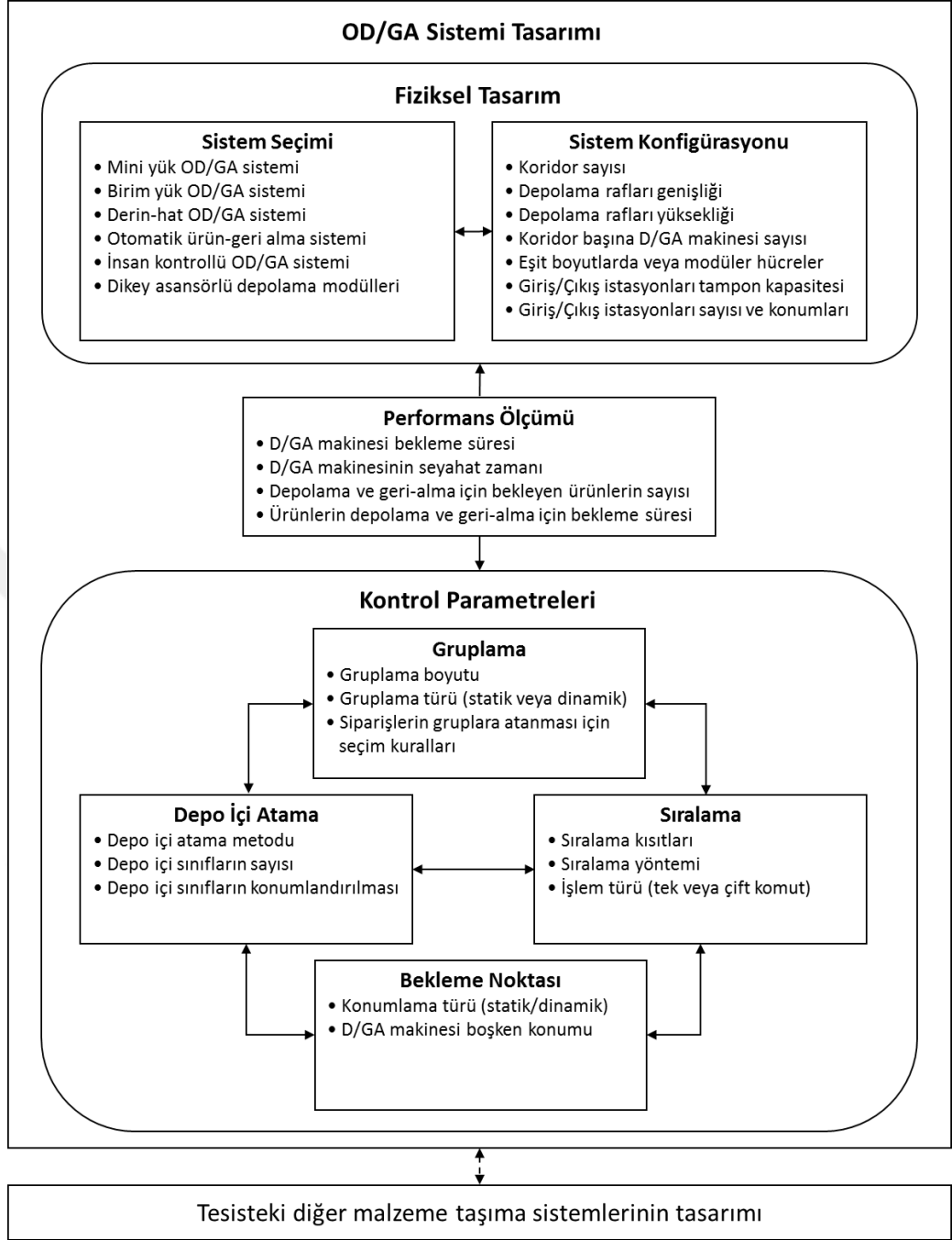
Çizelge 3. 1. Varlıkların tanımlanması .....	31
Çizelge 3. 2. Lokasyonların tanımlanması .....	32
Çizelge 3. 3. Nitelikler .....	34
Çizelge 3. 4. Değişkenler .....	35
Çizelge 3. 5. Olasılık dağılımları .....	36
Çizelge 4. 1. Deponun fiziksel tasarım ve kontrol parametreleri.....	39
Çizelge 4. 2. Koridorlara ürün gönderilme olasılıkları ( <i>SAD</i> ).....	43
Çizelge 4. 3. Ürün gruplarının talep edilme olasılıkları ( <i>SPTD<sub>i</sub></i> ) .....	44
Çizelge 4. 4. Isınma periyodu katsayıları.....	45
Çizelge 4. 5. Sınıf-tabanlı depo içi atama politikası için ısınma periyotları .....	46
Çizelge 4. 6. Sınıf-tabanlı depo içi atama için depolama süresi katsayıları.....	47
Çizelge 4. 7. Atanmış depo içi atama politikası için sistemde geçirilen ortalama süre ..	48
Çizelge 4. 8. Sınıf-tabanlı depo içi atama politikası için sistemde geçirilen ortalama süre .....	49
Çizelge 4. 9. Rassal depo içi atama politikası için sistemde geçirilen ortalama süre .....	50
Çizelge 4. 10. D/GA makinesinin kullanımdayken seyahat ettiği ortalama süre.....	51
Çizelge 4. 11. D/GA makinesinin kullanım yüzdesi (%).....	52

## 1. GİRİŞ

Otomatik Depolama ve Geri-Alma (OD/GA) sistemleri, 1950'lerden günümüze kadar hem üretim hem dağıtım ortamlarında ürünlerin depolanması ve geri-alınması için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Roodbergen ve Vis 2009). Bir OD/GA sistemi genel olarak aşağıdaki gibi özetlenen (i) raflar, (ii) depolama ve geri-alma makineleri, (iii) koridorlar, (iv) giriş/çıkış noktaları ve (v) toplama pozisyonlarından oluşmaktadır (Roodbergen ve Vis 2009).

- **Raflar:** Genellikle çelik veya haddelenmiş alüminyum yapılar olup, yüklerin depolandığı hücrelerden oluşmaktadır.
- **Depolama ve Geri-Alma (D/GA) Makineleri:** Yüklerin depolanması ve geri-alınması için kullanılan, kendiliğinden hareket edebilen makinelerdir.
- **Koridorlar:** D/GA makinelerinin hareket edebildiği raflar arasındaki boşluklardır.
- **Giriş/Çıkış Noktaları:** Geri-alma talebi olan yüklerin bırakıldığı ve depolama için gelen yüklerin alındığı konumlardır.
- **Toplama Pozisyonları:** Bazı sistemlerde mevcut olup, yük sisteme gönderilmeden önce alınan yükten tek tek parçaların çıkarılması için insanların çalıştığı yerlerdir.

Bir OD/GA sistemi tasarımı, tesisteki diğer malzeme taşıma sistemi tasarımlarının da dikkate alınmasını gerektiren fiziksel tasarım ve kontrol parametreleri olmak üzere iki unsurdan oluşmakta olup, Şekil 1.1'de fiziksel tasarım ve kontrol parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkileri ve bu unsurlara ait bazı örnekler yer almaktadır. Genel olarak fiziksel tasarım parametreleri, sistemin görünümünü belirleyen sistem seçimi ve sistem konfigürasyonundan meydana gelmektedir. Sistem seçimi, OD/GA sisteminin türünü (birim-yük, mini-yük OD/GA sistemi vb.) belirlemektedirken; sistem konfigürasyonu ise koridor sayısı ve raf boyutlarının belirlenmesi gibi kararların alındığı sistem yapılandırılmalarını içermektedir. Fiziksel tasarım parametreleri genel olarak; geçmiş ve tahmini veriler, ürün özellikleri, mevcut bütçe, gerekli sistem çıktı hızı, gerekli depolama alanı ve mevcut alan dikkate alınarak seçilmektedir (Roodbergen ve Vis, 2009).



**Şekil 1. 1.** OD/GA sistemi tasarımı (Roodbergen ve Vis (2009) tarafından yapılan çalışmadan değiştirilerek alınmıştır)

OD/GA sistemlerinde kontrol parametreleri ise sistem tarafından gerçekleştirilen operasyonlar ile ilişkilidir. Genel olarak kontrol parametreleri; depo içi atama, gruplama, sıralama ve bekleme noktası değişkenlerinden oluşmaktadır. Bu parametreler kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir (Roodbergen ve Vis, 2009):

- **Depo İçi Atama Politikası:** Depolama raflarına ürünlerin atanması için kullanılan yöntemleri içermektedir. Ürünlerin, depolama yerlerine tahsis edilmesi için çeşitli yöntemler mevcut olmakla birlikte, sıklıkla aşağıda yer alan ve açıklaması verilen beş depo içi atama politikası kullanılmaktadır:
  - *Atanmış depo içi atama (dedicated storage assignment):* Her bir ürünün sabit konuma atandığı politikadır.
  - *Rassal depo içi atama (random storage assignment):* Boş olan tüm konumların, gelen bir ürünün atanması için eşit olasılığa sahip olduğu depo içi atama politikasını ifade etmektedir.
  - *En yakın boş konuma depo içi atama (closest open location storage assignment):* Hesaplanan en yakın boş konum, gelen ürünü depolamak için kullanılmaktadır.
  - *Sınıf-tabanlı depo içi atama (class-based storage assignment):* Mevcut depo alanının bir dizi alana bölünmesiyle elde edilen alanlara, ürünlerin talep edilme frekansına bağlı olarak rassal depo içi atama politikası altında depolandığı depo içi atama politikasıdır.
  - *Tam-devir-tabanlı depo içi atama (full-turnover-based storage assignment):* Ürünlerin depolama yerlerinin, ürün talebinin frekansına bağlı olarak belirlendiği depo içi atama politikasıdır. Burada amaç, talep edilme frekansı sık olan ürünlerin, giriş/çıkış noktasına en kolay şekilde erişiminin sağlanmasıdır.
- **Bekleme Noktası:** D/GA makinesi hiçbir işlem gerçekleştiriyorken (boştayken) makinenin beklediği konumu ifade etmektedir. Bu konumun, bir sonraki ürün talebini gerçekleştirmek için makinenin seyahat etmesi gereken süreyi minimize edecek şekilde seçilmesi beklenmektedir. Birim-yük OD/GA sistemlerinde, statik durma noktasının seçimi için giriş istasyonunda bekleme, orta noktada bekleme, son bulunduğu konumda bekleme gibi bazı kurallar da literatürde yer almaktadır.
- **Gruplama:** Bir dizi siparişin olduğu bir durumda siparişlerin tek tek toplanması yerine birkaç siparişin birleştirilerek D/GA makinesi tarafından tek tur ile alınması için belirlenen kurallardan oluşmaktadır.
- **Sıralama:** Dağıtım ya da üretim ortamındaki depolama talepleri genellikle zaman açısından kritik olmadığından, ürünlerin depolanma zamanı sistem performansı

açısından çok önemli olmamaktadır. Bu yüzden, depolama isteklerinde genellikle ilk gelen ilk hizmet görür (First-Come First-Served: FCFS) prensibine göre depolama yapılır. Ancak, geri-alımların sıralamasında ise alınacak ürünlerin teslim zamanlarının dikkate alınması gerekmektedir. Alınacak ürünlerin listesi sürekli değişmekte olduğundan dinamik bir problem karşımıza çıkmaktadır. Fakat her iki durumda da (depolama ve geri-alma) önemli olan unsur; sıralama kurallarının, tüm istekleri gerçekleştirmek için gereken toplam süreyi veya toplam mesafeyi en aza indirecek turları oluşturacak şekilde belirlenmesidir.

OD/GA sistemleri, modern dağıtım merkezlerinde günün 24 saati hızlı, doğru ve verimli malzeme kullanımı sağlamaktadırlar (Gagliardi ve ark. 2012a). OD/GA sistemlerinin, alanın verimli kullanılması, işçilik maliyetlerinin düşürülmesi, ürünlerin yüksek hızda depolanıp geri-alınması gibi avantajları bulunmaktadır. OD/GA sistemleri tasarımında, fiziksel tasarım ve kontrol parametrelerinin eş zamanlı olarak dikkate alınması sistemi karmaşık bir hale getirmektedir. Bununla birlikte, OD/GA sistemlerinin karmaşıklığı ve yüksek maliyeti nedeniyle, bu sistemlerin mevcut ve gelecekteki talepleri etkin karşılayabilecek bir şekilde tasarlanması önem arz etmektedir. Sistemin, fiziksel düzeninin ve ekipmanının değiştirilmesinin zorluğundan dolayı da sistem tasarımının ilk seferde, doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir (Vasili ve ark. 2012). Dolayısıyla, sistemin performans tahminlerinin yapılması hem pratik hem de teorik açıdan önem arz etmektedir. Bununla birlikte, OD/GA sistemlerinin tasarımında, yukarıda belirtilen fiziksel tasarım ve kontrol parametrelerinin birbiriyle olan ilişkileri, sistemin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, sistem tasarımında bu ilişkinin dikkate alınması, sistemin optimal veya optimale yakın koşullar altında çalıştırılabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Buna ek olarak, depoyu kullanacak olan kişilerden (müşterilerden) gelen ve sistemin çalışma koşullarını etkileyen istekler ve kısıtların da bulunması, OD/GA sistemlerinin tasarımını etkilemektedir.

OD/GA sistemlerinde fiziksel tasarım, kontrol parametreleri ve müşterilerden gelen istek ve kısıtların yanında sistem ile ilgili belirsizliklerin de olması (örneğin; talep dalgalanmaları nedeniyle giriş/çıkış hızında ortaya çıkan değişkenlikler vb.), kontrol parametrelerini doğrudan, tasarım parametrelerini ise dolaylı olarak etkilemektedir. Tüm bu unsurların bir araya gelmesiyle OD/GA sistemi tasarımı, karmaşık bir optimizasyon

problemi haline gelmektedir. Bu karmaşık optimizasyon probleminin, çok sayıda farklı parametreye bağlı ve yine farklı kriterler açısından incelenmesi söz konusu olabilmektedir. Örneğin; maksimum giriş/çıkış hızlarının elde edilmesi, hem tasarım anında çeşitli yatırım kararlarına (D/GA makinesi sayısı gibi) hem de operasyonel anlamda gerçekleştirilecek olan planlama kararlarına (depo içi atama kararları gibi) bağlı bir kriter (performans ölçüsü) olarak düşünülebilir. Buna benzer şekilde, hem tasarım hem de kontrol parametrelerinin birbirleriyle ilişkili olarak dikkate alınmasını gerektiren bu tür bir optimizasyon probleminin çözümü için genel olarak söz konusu problemi daha dar kapsamda ve çeşitli varsayımlar altında ele almak amacıyla analitik modellerin kullanılması daha uygun görülmektedir. Ancak, OD/GA sisteminin planlanması, tasarımı, inşası, analizi ve yönetimi karmaşık problemler olduğundan en uygun çözümü bulmak zor olmaktadır. Bu tür problemlerin analitik yöntemler ile çözülmesi, sistem ile ilgili stokastik koşulların ele alınması, bütünleşik olarak büyük bir formülasyonun geliştirilmesinin gerekliliği gibi nedenler ile zor olabilmektedir. Dolayısıyla, böyle bir sistemin analizi ve sistemin çeşitli kurgularının/senaryolarının incelenebilmesi için daha esnek bir yapı sağlayan simülasyon modellerinin de analitik modellerin yanında sıklıkla kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada, OD/GA sistemlerinin simülasyon ile modellenmesi ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında, simülasyon modelinin alt yapısının oluşturulabilmesi amacıyla bir yaklaşım önerilmiş olup, önerilen yaklaşımın örneklendirilmesi için örnek bir depo oluşturulmuştur. “Bulgular ve Tartışma” bölümünde detayları verilen örnek depo için tasarım parametrelerini özet olarak; üç koridor (400 hücre/koridor), üç D/GA makinesi, ayrı giriş ve çıkış noktaları oluşturmaktadır. Bununla birlikte, kontrol parametrelerinden olan depo içi atama politikası ile D/GA makinesi bekleme noktası parametrelerinin, çeşitli senaryolar altında sistem üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Burada, depo içi atama politikası için OD/GA sistemindeki her koridorda, sırasıyla, atanmış, sınıf-tabanlı ve rassal depo içi atama politikalarının uygulandığı varsayılmıştır. Senaryo parametresi olan D/GA makinesi bekleme noktası için ise giriş noktası, orta nokta ve çıkış noktası olmak üzere üç farklı konum dikkate alınmıştır. Özet olarak, çalışmada ele alınan örnekte, üç farklı depo içi atama politikasının uygulandığı bir depoda, üç farklı bekleme



noktasının önerilen yaklaşım ile modellenmesi ve ilgili parametrelerin sistem performansı üzerindeki etkisinin simülasyon yoluyla analiz edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın kalan bölümünde, OD/GA sistemleri ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların bulunduğu “Kaynak Araştırması”; simülasyon kavramının ve önerilen yaklaşımın açıklandığı “Materyal ve Yöntem”; önerilen yaklaşımın örneklendirildiği ve örnek sonuçlarının yer aldığı “Bulgular ve Tartışma” bölümü yer almaktadır. Son olarak, yapılan çalışma, “Sonuç” bölümünde özetlenmektedir.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, OD/GA sistemleri ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar (i) literatür tarama çalışmaları, (ii) genel analitik çalışmalar, (iii) genel simülasyon çalışmaları, (iv) depo içi atama ve bekleme noktası politikalarını içeren analitik çalışmalar ve (v) depo içi atama ve bekleme noktası politikalarını içeren simülasyon çalışmaları olmak üzere beş ana başlık altında incelenmiştir.

### 2.1. Literatür Tarama Çalışmaları

OD/GA sistemleri, 1950'lerden günümüze kadar hem dağıtım hem üretim ortamlarında yaygın olarak kullanılan malzeme taşıma sistemlerinden biridir. OD/GA sistemleri sadece geleneksel depolara alternatif olarak değil, aynı zamanda gelişmiş imalat sistemlerinin bir parçası olarak da kullanılmaktadır. Bu sistemler, modern fabrikalarda depolama süreçleri için önemli bir rol oynamakla birlikte, geliştirilmiş envanter kontrolü ile zaman, yer ve ekipmanın düşük maliyetli kullanım avantajlarını sağlamaktadırlar. OD/GA sistemlerinin artan kullanımı, bu sistemlerin etkinlik iyileştirmesi ile ilgili birçok konu ve yaklaşımın literatürde çok çalışılan konular arasında yer almasına neden olmuştur. OD/GA sistemlerinin, literatürde çok çalışılan konular arasında yer alması, bu konuda yapılan literatür tarama çalışmalarını da beraberinde getirmiştir. Örneğin, Sarker ve Babu (1995), literatürdeki seyahat zamanı modellerini, OD/GA sistemlerinde farklı tasarım parametrelerini dikkate alarak karşılaştırmış ve OD/GA sistemleri tasarımında hakim olan önemli konular ile ilgili sonuç çıkarmışlardır. Gu ve ark. (2007), depo operasyonları planlama problemleri üzerinde kapsamlı bir literatür taraması yapmışlardır. Roodbergen ve Vis (2009) ise hem dağıtım hem üretim ortamlarında ürünlerin depolanması ve geri alınması için kullanılan OD/GA sistemlerinin son 30 yıldaki literatürüne genel bir bakış sunmuşlardır. Gagliardi ve ark. (2012a), OD/GA sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalarda ele alınan özel araştırma soruları ile ilgili sistemleri değerlendirmek amacıyla tasarlanmış ve çeşitli modeller için kullanılan varsayımlara odaklanmışlardır. Yazarlar bu doğrultuda, hem dinamik (simülasyon tabanlı) hem de kararlı durum (seyahat süresi tabanlı) modellerini içeren bir literatür taraması sunmuşlardır. Vasili ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada ise son 40 yıldaki OD/GA sistemleri literatürüne genel bir bakış sunulmaktadır. Yazarlar, yaptıkları çalışmada genel olarak depo içi atama, sıralama,

seyahat süresi tahminleri, D/GA makinesi bekleme noktası ve benzerleri gibi farklı kontrol politikaları üzerinde yoğunlaşmışlardır.

## 2.2. Genel Analitik Çalışmalar

Modern üretim ve dağıtım sistemlerinde, ürün kullanılabilirliğini arttırırken aynı zamanda işçilik maliyetini, gerekli kat alanını ve hata oranını düşüren yüksek stok seviyeli OD/GA sistemleri, yüksek yatırım ve önemli işletme maliyetlerine sebep olduğundan ilgili sistemlerin kullanım verimliliği önem arz etmektedir. Birçok karmaşık ve stokastik alt sistemin etkileşiminin bir sonucu olan sistem performansı değerlendirilirken güvenilir ve verimli değerlendirme modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, OD/GA sistemlerinin performansı, farklı fiziksel tasarım ve kontrol parametrelerine bağlı olarak değerlendirilmekte olup, bu amaçla analitik modellerin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Han ve ark. (1987), çeşitli geri-alma isteklerinin mevcut olduğu birim-yük OD/GA sistemlerinde, geri-almaların sıralanması ile sistemin çıktı kapasitesini geliştirmeye odaklanmışlardır. Yazarlar, sistemin beklenen performansı için analitik bir model geliştirerek, performans değerlendirmesi için Monte Carlo simülasyonunu kullanmışlardır. Hur ve ark. (2004), bir hizmet birimi (server) ve iki kuyruk içeren M/G/1 kuyruk modelini kullanarak, birim-yük OD/GA sisteminin performans tahmini için stokastik bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yaklaşımı, sistemin simülasyonundan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Sari ve ark. (2005), akan-raf OD/GA sistemleri için kapalı-form seyahat zamanı modelleri geliştirmişlerdir. Yazarlar yaptıkları çalışmada, sürekli bir yaklaşıma dayalı ifadeleri, kesikli bir yaklaşıma dayalı kesin modellerle doğruluk açısından karşılaştırmışlardır. Vasili ve ark. (2008), bölünmüş-platform OD/GA sisteminin beklenen çevrim süresini hesaplamak için analitik istatistiksel bir model sunmuş olup, önerilen istatistiksel modelin doğruluğunu Monte Carlo simülasyonu ile doğrulamışlardır. Ghomri ve Sari (2015), OD/GA sistemlerindeki tasarımın önemini vurgulayarak, depolama ve geri-alma işlemleri için ayrı ayrı kullanılan iki depolama ve geri-alma makinesinden oluşan tek derinlikli akan-raf OD/GA sistemini dikkate almışlardır. Yapılan çalışmada yazarlar, rassal depo içi atama politikası altında D/GA makinesinin ortalama seyahat zamanını modellemeyi amaçlamışlardır. Hamzaoui ve Sari (2015) tarafından yapılan çalışmada ise akan-raf OD/GA sisteminde, depolama

ve geri-alma işlemleri için tek makinenin kullanılması durumunda sistemin en uygun boyutlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, optimum boyutlar D/GA makinesinin seyahat süresi açısından değerlendirilmiş ve bu sürenin minimuma indirilmesi için en uygun raf boyutları belirlenmeye çalışılmıştır.

### **2.3. Genel Simülasyon Çalışmaları**

OD/GA sistemlerinde, fiziksel tasarım ve kontrol parametrelerinin eş zamanlı olarak dikkate alınmasıyla karmaşık bir yapı meydana gelmektedir. Yüksek verimli ve yüksek esneklikte OD/GA sistemleri geliştirilirken, yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle sistemlerin performans tahminleri pratikte ve teorik açıdan önemli hale gelmektedir. Böyle bir karmaşık yapının analizi için analitik modellerin yanında ya da analitik modeller ile birlikte simülasyon modelleri de sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin, Linn ve Xie (1993), çekme-tabanlı kanban-odaklı (kanban-driven) montaj hattını desteklemek için vana deposu olarak kullanılan bir OD/GA sistemindeki iş sıralama kuralının, teslimat performansına etkisi üzerine simülasyona dayanan bir araştırma sunmuşlardır. Rosenblatt ve ark. (1993), bir OD/GA sisteminin toplam maliyetini en aza indirmek isterken, aynı zamanda sistemin dinamik davranışlarını da inceleyerek, istenen performans seviyelerine uyan bir sistem için tasarım parametrelerini elde etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla yazarlar, OD/GA sistemi performansını test etmek için bir simülasyon modeli kullanırlarken, toplam sistem maliyetinin minimize edilmesi için sezgisel bir optimizasyon prosedürü geliştirmişlerdir. Randhawa ve Shroff (1995) yaptıkları çalışmada, OD/GA sistemleri tasarımını etkileyen önemli faktörlerin, sistem konfigürasyonu ile ürünleri depolamak ve geri-almak için kullanılan politikalar olduğunu vurgulamışlardır. Yazarlar, yerleşim düzeni ve çizelgeleme politikalarının birim-yük OD/GA sistemlerinin performansına etkisini değerlendirmek amacıyla simülasyon kullanmışlardır. Eldemir ve ark. (2003), birim-yük OD/GA sistemlerinde çift komut ile tek komut çevrimlerinin oranını tahmin etmek için alternatif analitik yaklaşımları kullanmış olup, ilgili yaklaşımlarda yer alan modelleri simülasyon ile karşılaştırmışlardır. Potrc ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada, tekli ve çoklu-mekik (single and multi-shuttle) OD/GA sistemleri dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, rassal depo içi atama politikası altında ürün depolanan ve yüksekliği ile boyu eşit büyüklükte olan hücreleri

bulunan bir OD/GA sisteminde, yazarlar tarafından önerilen depolama stratejisinin (Strategy x) performansının değerlendirilebilmesi için analitik modeller ve ayırık olay simülasyonu kullanılmıştır. Modelin ana katkısı, önerilen stratejinin (Strategy x) uygulanmasıyla yüksek depolama raflarının farklı türleri ve D/GA makinesinin hız profilleri için ortalama çalışma süreleri ile üretim kapasitesi arasındaki ilişkinin belirlenmesidir. Lerher ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada, çok-koridorlu OD/GA sistemleri için D/GA makinesinin çalışma özelliklerinin göz önüne alındığı analitik seyahat süresi modelleri önerilmiştir. Önerilen modeller ile D/GA makinesinin ortalama seyahat süresi belirlenmiş olup, modellerin performanslarını karşılaştırmak için simülasyon modeli geliştirilmiştir. Yin ve Rau (2006) tarafından yapılan çalışmada, sınıf-tabanlı, birim-yük OD/GA sistemi için dinamik sıralama kurallarının seçimi üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla, çok-geçişli simülasyon ve genetik algoritma yöntemlerini birleştiren bir yaklaşım (MPGA: Multi-Pass and Genetic Algorithm) geliştirilmiştir. Guo ve Liu (2008), OD/GA sistemi kurmayı planlayan uygulayıcılar için tekli ve ikili-mekik sistemleri arasında maliyet ve performans açısından karşılaştırma yapmayı amaçlayarak, her iki sistemin de performansını değerlendirmek için simülasyon kullanmışlardır. Yan ve Lee (2009), bir OD/GA sisteminde maliyeti tahmin etmek ve verimliliği arttırmak için sistemi simülasyon ile modellemişlerdir. Lerher ve ark. (2010a) tarafından yapılan çalışmada, çift derinlikli, birim-yük OD/GA sistemlerinde çevrim zamanlarının hesaplanması için yeni analitik seyahat zamanı modelleri sunulmuştur. Önerilen modeller ile tek ve çift komut çevrimleri için çift derinlikli OD/GA sisteminin performansının değerlendirilebileceği ortalama çevrim süresi hesaplanmıştır. Ayrıca yazarlar, önerilen analitik seyahat süresi modellerinin performanslarını karşılaştırmak amacıyla çift derinlikli OD/GA sistemi için simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Lerher ve ark. (2010b) başka bir çalışmalarında ise çok koridorlu OD/GA sistemlerinde, koridor içi taşımalar yapan D/GA makinesinin seyahat süresinin hesaplanması için analitik seyahat zamanı modelleri sunmuşlardır. Yazarlar, önerilen analitik seyahat süresi modellerinin performanslarını karşılaştırmak amacıyla çok koridorlu OD/GA sistemleri için simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Azzi ve ark. (2011), çoklu-mekik OD/GA sisteminde seyahat süresinin tahmini için yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu doğrultuda yazarlar, önerilen yöntemle elde edilen sonuçları bilimsel literatürde geliştirilen önceki yöntem ve modellerle karşılaştırmak için yeni bir Monte Carlo simülasyonu gerçekleştirmişlerdir.

Lerher ve ark. (2011) başka bir çalışmalarında, çoklu-mekik (multi-shuttle), mini-yük OD/GA sistemlerinin simülasyon analizini değerlendirmişlerdir. Yazarlar, çoklu-mekik sistemleri tasarlamak için farklı analitik modellerin uygulayıcılar tarafından kullanmakta olduğunu ve pratikteki gerçek koşullarla minimal farklılıkların sağlandığı koşullara uygun analitik modelin seçilmesinin önem arz ettiğini vurgulayarak, iyi bilinen (well-known) iki analitik modelin değerlendirilmesi için ayrık olay simülasyonları kullanmışlardır. Ko ve ark. (2013), bir OD/GA sisteminde mekanik ve kontrol tasarımlarının doğrulanmasının önemli ölçüde çaba ve önem gerektirdiğini belirterek, bir otomobil fabrikasındaki OD/GA sisteminin mekanik ve elektriksel tasarımlarını doğrulamak amacıyla kullanılabilen kontrol seviyesi simülasyonu için bir yöntem önermişlerdir. Tang ve ark. (2013), bir üretim işletmesinin OD/GA sistemi alması için genel süreci ve ayrıntılı adımları analiz etmiş ve sistemin dar boğazlarını tanımlamak için simülasyon kullanmışlardır. Gagliardi ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, birim-yük OD/GA sistemleri için nesne tabanlı simülasyon modeli (object oriented simulation model) sunulmuştur. Yazarlar çalıştıkları modelde, fiziksel tasarım kararlarını operasyonel kararlardan ayırarak, OD/GA sistemi dinamiklerinin daha iyi anlaşılmasını ve bununla birlikte modeldeki esnekliği ve genelliği arttırmayı mümkün kılarak, birçok ilginç senaryonun temsil edilmesini sağlamışlardır. Bahrami ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, farklı fiziksel tasarım ve kontrol politikalarını analiz etmek ve sonuçları karşılaştırmak için koridor-sonu OD/GA sistemi simülasyonu sunulmuştur. Yazarlar, her bir kontrol politikasının ve yerleşim kombinasyonunun değerlendirilmesi için D/GA makinesinin toplam seyahat süresini ve gerçekleştirilen depolama ve geri-alma işlemleri sayısını dikkate almışlardır. Fan ve ark. (2015) ise çok-derinlikli OD/GA sisteminde D/GA makinesinin seyahat süresini simülasyon yöntemlerine dayalı olarak araştırmışlardır. Ekren ve ark. (2015), mini-yük OD/GA sisteminde, sınıf-tabanlı depo içi atama politikası altında, mekik-tabanlı depolama ve geri-alma sistemi (Shuttle-Based Storage/Retrieval: SBS/RS) için en iyi raf tasarımını bulmayı ve asansörlerin (lifts) ve D/GA makinelerinin kullanım oranları ile depolama/geri-alma işlemlerinin çevrim süreleri açısından sistemin performansını değerlendirmeyi amaçlayarak, sistemi simülasyon ile modellemişlerdir.

## 2.4. Depo İçi Atama ve Bekleme Noktası Politikalarını İçeren Analitik Çalışmalar

Çalışmanın farklı yerlerinde de belirtildiği gibi OD/GA sistemlerinin hem yüksek maliyetli olması hem de ilişkili olduğu diğer sistemleri etkilemesi, fiziksel tasarım ve kontrol parametrelerinin bir bütünü olan sistem tasarımının doğru bir şekilde yapılmasının önemini arttırmaktadır. Bununla birlikte, OD/GA sistemlerinin avantaj ve dezavantajları da göz önüne alındığında, optimal bir tasarımın yapılabilmesi için fiziksel tasarım ve kontrol parametrelerinin, sistemden beklenen talebi karşılayacak şekilde belirlenmesi gerektiği görülmektedir. D/GA makinesinin, bir ürünü depolamak veya geri almak için geçirdiği sürenin değerlendirilmesi de optimal bir tasarım için gerekli olmakla birlikte, bu süre, farklı fiziksel tasarım ve kontrol parametrelerine göre değişebilmektedir. Kontrol parametrelerinden olan D/GA makinesi bekleme noktasının seçimi de makinenin seyahat etmesi gereken zamanı değiştirdiğinden, bekleme noktasının, makinenin bir sonraki ürün talebini gerçekleştirmek için geçireceği süreyi minimize edecek şekilde seçilmesi beklenmektedir. Bu kapsamda, farklı tasarım ve/veya kontrol parametreleri ile bekleme noktasını belirlemeye yönelik birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Örneğin, Bozer ve White (1984), OD/GA sistemleri için alternatif giriş/çıkış noktalarını dikkate alarak, hem tek hem çift komut çevrimleri için seyahat zamanı modelleri geliştirmişlerdir. Ayrıca yazarlar, çeşitli bekleme noktası stratejilerini de inceleyerek, bu stratejileri literatüre kazandırmışlardır. Egbelu (1991), doğrusal programlamaya dayanan ve bir OD/GA sisteminde D/GA makinesi bekleme noktasının optimum seçimi yoluyla servis yanıt süresini en aza indirmeyi amaçlayan bir metodoloji sunmuştur. Hwang ve Lim (1993), Egbelu (1991) tarafından geliştirilen minimum beklenen seyahat zamanı modelini, tek bir tesis konum modeline dönüştürerek farklı bir algoritma önermişlerdir. Peters ve ark. (1996), D/GA makinesi bekleme noktasının belirlenmesi için analitik modelleri sürekli-raf yaklaşımını kullanarak önermişlerdir. Park (1999) tarafından yapılan çalışmada, kare-zamanlı (square-in-time) raflar için atanmış depo içi atama politikası altında en iyi bekleme noktası stratejileri geliştirilmiştir. Park (2001) başka bir çalışmasında ise düzgün dağılmış, kare-zamanlı olmayan (non-square-in-time) raflara sahip OD/GA sistemleri için optimal bir bekleme noktası politikası geliştirmiştir. Van Den Berg (2002), rassal ve sınıf-tabanlı depo içi atama politikaları altında, D/GA makinesinin bir sonraki işlemi için beklenen seyahat süresini minimize etmeye yönelik

bekleme noktası seçim problemini ele almıştır. Çavdur ve ark. (2018), bir OD/GA sisteminde, D/GA makinesinin sadece geri-alma talebini gerçekleştirdiği bir süreci dikkate alarak, makinenin depodaki ürün gruplarının ağırlık merkezlerine olan uzaklığını minimize etmek için bir matematiksel programlama modeli önermişlerdir. Yazarlar, depodaki ürün yerleşimlerinde önemli farklılıkların olduğu zamanlarda D/GA makinesi konumunu güncelleyerek dinamik bir şekilde makine bekleme noktasının optimize edilmesini amaçlamış ve önerilen modeli, atanmış depo içi atama politikası altında ürünlerin depolandığı bir depo üzerinde örneklendirmişlerdir. Değirmen ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise Çavdur ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmaya benzer şekilde sadece geri-alma işleminin gerçekleştiği bir süreçte D/GA makinesi bekleme noktasının bir sonraki ürün talebini gerçekleştirmek için gereken süreyi minimize edecek şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda yazarlar, D/GA makinesi bekleme noktasının koordinatlarının belirlenmesi amacıyla matematiksel programlama-tabanlı bir yaklaşım önererek önerilen yaklaşımı sınıf-tabanlı depo içi atama politikasının uygulandığı bir depoda farklı depo yerleşim stratejilerini ele alarak örneklendirmişlerdir.

## **2.5. Depo İçi Atama ve Bekleme Noktası Politikalarını İçeren Simülasyon Çalışmaları**

OD/GA sistemlerinin karmaşık yapılarından dolayı sistem analizi için analitik modellerin yanında simülasyon modellerinin de sıklıkla kullanıldığı daha önce de belirtilmişti. Depo içi atama ve D/GA makinesi bekleme noktası politikalarının sistem performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi için de yine analitik modellerin yanında simülasyon modelleri de kullanılmaktadır. Örneğin, Egbelu ve Wu (1993), seyahat süresini azaltmak amacıyla D/GA makinesi boşta iken makinenin stratejik olarak konumlandırılması için birkaç politika öne sürmüşlerdir. Çalışmada, atanmış ve rassal depo içi atama politikaları altında altı bekleme noktası kuralı incelenmiş olup, performans analizi için simülasyon kullanılmıştır. Kulturel ve ark. (1999), D/GA makinesinin ürünleri depolamak ve geri-alma için geçirdiği ortalama seyahat süresini, ana performans ölçütü olarak kullanarak, bir OD/GA sisteminde iki farklı depo içi atama politikasını simülasyon ile karşılaştırmışlardır. Van Den Berg ve Gademann (2000) yaptıkları çalışmada, çeşitli



kontrol politikaları altında OD/GA sistemlerinin simülasyonu üzerinde çalışmış olup, depo içi atama politikalarını incelemişlerdir. Yazarlar, sınıf-tabanlı depo içi atama politikasını baz alıp, depolama alanı gereksinimleri ve seyahat süresi arasındaki dengeyi değerlendirmeyi sağlayan yeni bir algoritma sunmuşlardır. Ayrıca, düşük depolama alanı gereksinimlerini kısa yolculuk süreleri ile birleştiren yeni bir depolama konum politikası (storage location policy) üzerinde çalışmışlardır. Meller ve Mungwattana (2005), OD/GA sisteminde en iyi bekleme noktası stratejisini belirleme konusunda araştırma yapmışlardır. Bu amaçla, sektörde kullanılan bekleme noktası seçim politikalarından literatürde önerilen daha gelişmiş politikalara kadar değişen çeşitli bekleme noktası stratejilerini simülasyon kullanılarak araştırmışlardır. Manzini ve ark. (2006), OD/GA sistemlerinde sınıf-tabanlı depo içi atama stratejisi ile ürün-toplayıcı depolama sisteminin (product-to-picker storage system) çoklu-parametrik (multi-parametric) dinamik modelini sunmuşlardır. Alternatif tasarım ve işlem konfigürasyonlarının beklenen sistem performansı üzerindeki etkisini ölçmek ve sistemin tepkisine (response of the system) etki eden faktörlerin en kritiklerini ve bunların kombinasyonlarını tanımlamak için binlerce eğer-ise (what-if) senaryolarını simüle etmişlerdir. Zhou ve Mao (2010) yaptıkları çalışmada, OD/GA sistemlerinde depolama konumu optimizasyonunun (storage location optimization) önemini vurgulayarak, depo içi atama için matematiksel model oluşturup çözdükten sonra simülasyon ile depo içi atama tasarımını ve analizini gerçekleştirmişlerdir. Gagliardi ve ark. (2012b) tarafından yapılan çalışmada, bir gıda endüstrisindeki büyük bir üreticinin sahip olduğu OD/GA sisteminin özelliklerini doğru bir şekilde belirlemek için tasarlanmış olan ayrık-olay simülatörü sunulmaktadır. Bu doğrultuda yazarlar, farklı depo içi atama politikaları altında sistemin performansını karşılaştırmak için çeşitli senaryolar oluşturmuşlardır. Meneghetti ve Monti (2013), OD/GA sistemi rafındaki her hücre, D/GA makinesinin kendisine ulaşması için tükettiği enerjiyle ilişkilendirerek, depolama ve geri-alma politikalarını enerji performansları açısından değerlendirmişlerdir. Yazarlar, bekleme noktası politikalarını da bu perspektiften incelemiş olup, depo içi atamalar arasındaki enerji tüketimini karşılaştırmak için geri-alma işlemlerinin simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir. Regattieri ve ark. (2013), farklı kurallar arasında bekleme noktası politikası için en iyi çözümü bulmayı ve böylece depolama/istifleme makinelerinin (stacker cranes) seyahat süresini ve mesafesini en aza indirmeyi amaçlayan bir model geliştirmişlerdir. Yazarlar, önerilen modelin

bilgisayar simülasyonlarıyla doğrulanması için de bir yazılım platformu (software platform) geliştirmişlerdir. Schenone ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, farklı kullanım alanlarındaki OD/GA sistemlerini dikkate alarak, sınıf-tabanlı depo içi atama politikası altında bir OD/GA sisteminin seyahat süresini hesaplamak için simülasyon yaklaşımına dayanan uygun bir metodoloji geliştirmeyi amaçlamışlardır.



### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

OD/GA sistemlerinin performans analizi için literatürde birçok analitik model yer almaktadır. Ancak, bu tür problemlerin analitik yöntemler ile çözülmesi, sistem ile ilgili stokastik koşulların ele alınması, bütünlük olarak büyük bir formülasyonun geliştirilmesinin gerekliliği gibi nedenler ile zor olabilmekte ve problemin daha dar kapsamda ele alınmasına sebep olabilmektedir. Dolayısıyla, böyle bir sistemin analizi ve çeşitli kurgularının incelenebilmesi için daha esnek bir yapı sağlayan simülasyon modellerinin de analitik modellerin yanında veya analitik modeller ile birlikte sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Potrc ve ark. (2004) tarafından yapılan tekli ve çoklu-mekik OD/GA sistemlerinin dikkate alındığı çalışmada, hem analitik modeller hem de simülasyon modeli kullanılmıştır. Yazarlar, D/GA makinesinin hızının değişken olduğu durumlarda tek ve çift komut çevrimleri için kullanılan temel analitik modelleri, bir çevrimde iki depolama ve iki geri-almanın gerçekleştiği dörtlü komut çevrimi ve bir çevrimde üç depolama ve üç geri-almanın gerçekleştiği altılı komut çevrimi için genişletmişlerdir. Bu durumda, analitik modellerin yeterli doğruluğu sağlayamadığı ve sadece mevcut duruma yaklaştığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, OD/GA sistemi için simülasyon modeli geliştirerek çalışma kapsamında önerilen depolama stratejisinin (Strategy x) performansını değerlendirmişlerdir.

Bu çalışmada, OD/GA sistemlerinin simülasyon ile modellenmesi için bir alt yapının geliştirilmesi amaçlanmış ve bu doğrultuda bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, farklı depo içi atama politikaları altında ürünlerin depolandığı örnek bir depo üzerinde, farklı D/GA makinesi bekleme noktası senaryoları dikkate alınarak örneklendirilmiştir.

#### **3.1. Materyal**

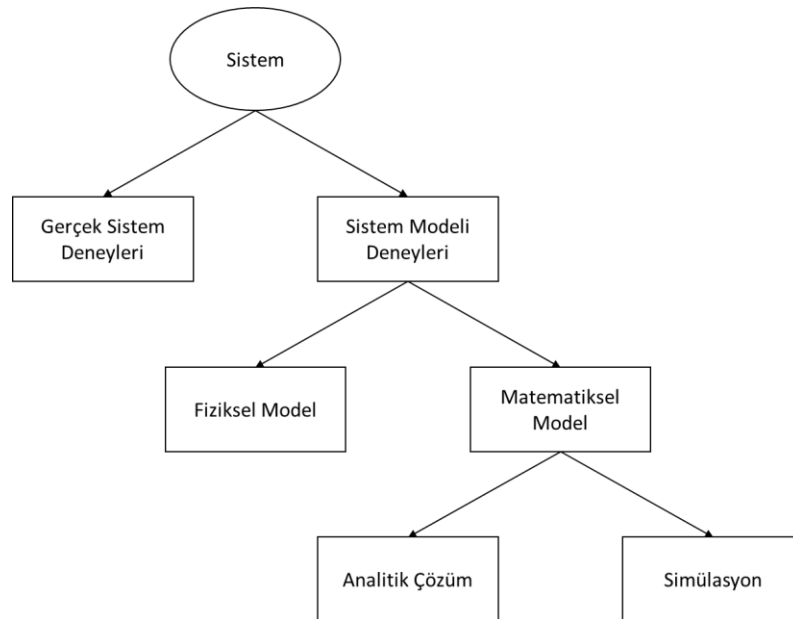
##### **3.1.1. Simülasyon**

Sistem, mantıksal bir sonuca ulaşmak için birlikte hareket eden ve etkileşime giren varlıkların (örneğin, insanlar veya makineler) bir bütünü olarak tanımlanabilir. Uygulamada sistem ile kastedilen, belirli bir çalışmanın amaçlarına bağlıdır. Bir çalışma için bir sistemi oluşturan varlıkların toplanması, bir başka sistemin tümünün bir alt

kümesi olabilmektedir. Bir sistemin durumu (the state of a system), sistemin amaçlarına göre belirli bir zamanda sistemi tanımlamak için gerekli değişkenlerin bütünü olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, bir bankada yapılan çalışmada, yoğun çalışanların sayısı, bankadaki müşteri sayısı ve her bir müşterinin bankaya varış zamanı olası durum değişkenleri olabilmektedir (Law ve Kelton, 2007).

Sistemler, ayrık ve sürekli olarak iki farklı tipte kategorize edilmektedir. Ayrık sistem, durum değişkenlerinin zaman içinde ayrı noktalarda anlık olarak değiştiği sistemdir. Bir bankada durum değişkenleri (bankadaki müşteri sayısı) sadece bir müşteri geldiğinde veya bir müşteri hizmet aldığı ve ayrıldığı ve sonra erdiğinden, banka, ayrık sisteme bir örnek olarak verilebilir. Sürekli sistem, durum değişkenlerinin zamana göre sürekli değiştiği sistemdir. Havada hareket eden bir uçak, sürekli sistemin bir örneğidir çünkü konum ve hız gibi durum değişkenleri zamana bağlı olarak sürekli değişebilir (Law ve Kelton, 2007).

Çoğu sistemin hayat döngülerinin bir noktasında, çeşitli bileşenler arasındaki ilişkilere bir bakış açısı kazandırmaya çalışmak veya bazı yeni koşullar altında performansı tahmin etmek için sistemleri araştırmaya ihtiyaç vardır. Şekil 3.1’de bir sistemin çalışabileceği farklı yollar gösterilmektedir (Law ve Kelton, 2007).



Şekil 3. 1. Bir sistemin çalışma mantığı (Law ve Kelton, 2007)

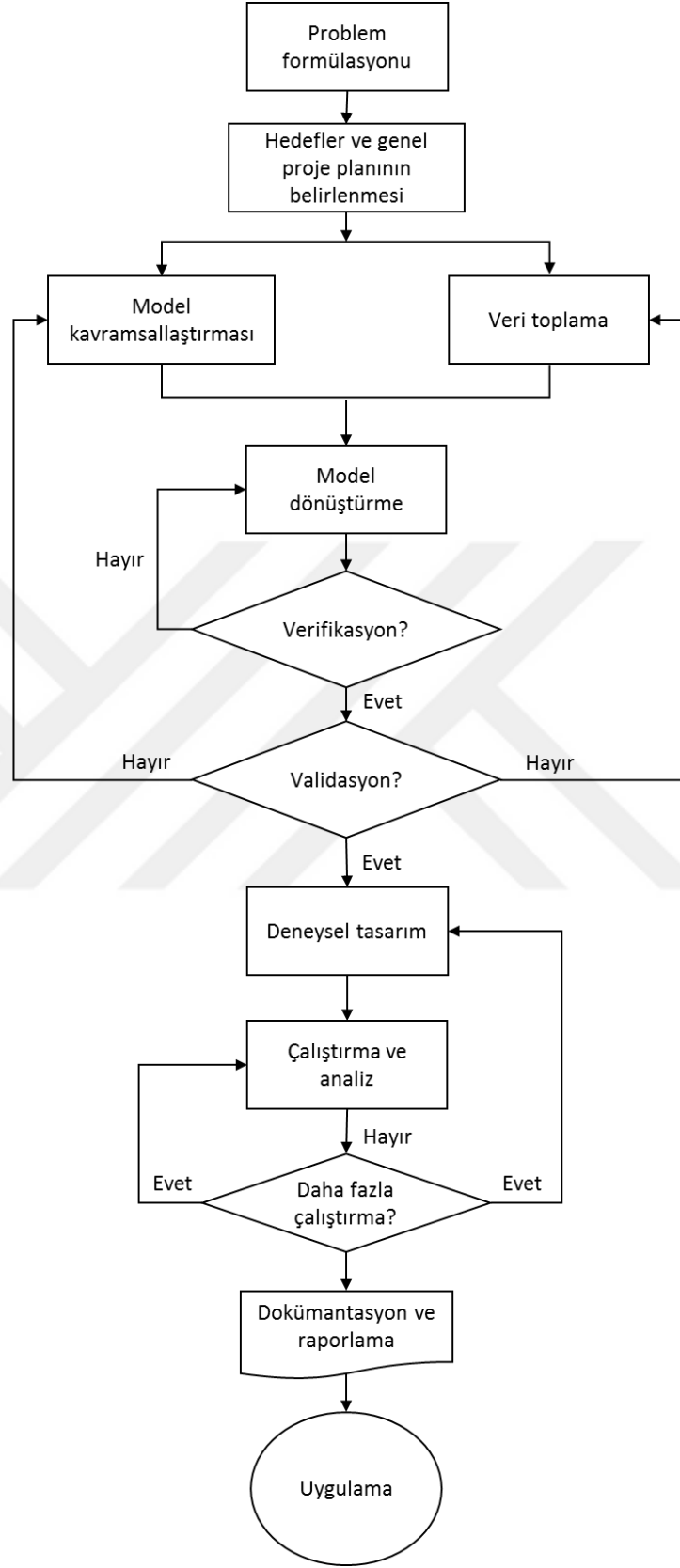
Şekil 3.1’de yer alan gerçek sistem deneyleri, sistemi fiziksel olarak değiştirdikten sonra sistemin yeni koşullar altında çalışmasını sağlamanın mümkün olduğu durumlarda gerçek sistem üzerinde yapılmaktadır. Ancak bu, çoğu zaman çok masraflı veya olumsuz etkilere sebep olduğundan mümkün olamamaktadır. Bununla birlikte, daha grafiksel olarak sistem bile mevcut değilken, ilk etapta sistemin nasıl inşa edilmesi gerektiğini görmek için çeşitli alternatif konfigürasyonlarda çalışılmak istenmektedir. Genellikle sistemin temsili olarak bir model oluşturmak ve onu gerçek sistem için temsili olarak incelemek de sistem modeli deneyleri ile mümkün olmaktadır. Sistem modeli deneyleri, fiziksel model ve matematiksel model olmak üzere iki alt başlığı içermektedir. Mühendislik veya yönetim sistemlerini incelemek için bazı durumlarda fiziksel modeller oluşturmanın yararlı olduğu düşünülmektedir. Burada örnek olarak, malzeme işleme sistemlerinin masa üstü ölçekli modelleri verilebilir. Ancak, bu tür amaçlar için kurulan modellerin çoğunluğu matematiksel model olduğundan, mantıksal ve niceliksel ilişkiler açısından bir sistemi temsil etmektedirler. Matematiksel model oluşturulduktan sonra modelin temsil etmesi gereken sistem ile ilgili soruları nasıl yanıtlayabildiğini görmek için model incelenmelidir. Eğer model yeterince basitse, kesin ve analitik bir çözüm elde edilebilmektedir. Ancak bazı analitik çözümler sadece kâğıt kalem ile elde edilebilen çok basit çözümler olsa da; bazıları olağanüstü derecede karmaşık olabildiğinden güçlü bilgisayarlara gereksinim duyulabilmektedir. Matematiksel bir model için analitik çözüm mevcutsa ve bu çözüm sayısal olarak verimliyse, genellikle model, bir simülasyondan ziyade analitik yöntemler ile incelenmek istenmektedir. Ancak, birçok sistem oldukça karmaşık olduğundan, bunların geçerli matematiksel modelleri, analitik bir çözüm olasılığını engellemektedir. Bu durumda model, simülasyon yoluyla (örneğin, girdi parametrelerinin çıktı parametreleri performansını nasıl etkilediğini görmek amacıyla söz konusu girdiler için modelin sayısal olarak çalıştırılmasıyla) incelenmelidir (Law ve Kelton, 2007).

Simülasyon, gerçek dünyadaki bir işlemin veya sistemin zaman içinde işleyişinin taklit edilmesi olarak tanımlanabilir. İster elle ister bir bilgisayar ortamında olsun, simülasyon, bir sistemin yapay bir zamanının üretilmesini ve bu yapay zamanın, gerçek sistemin işletim özelliklerine ilişkin çıkarımlar elde etmesinin gözlemlenmesini içermektedir. Bir sistemin zaman içindeki davranışı, bir simülasyon modeli geliştirilerek

incelenebilmektedir. Bu model, genellikle sistemin işleyişi ile ilgili bir dizi varsayımlar ile biçim almaktadır. Bu varsayımlar, sistemin varlıkları veya nesnelere arasındaki matematiksel, mantıksal ve sembolik ilişkiler ile ifade edilmektedir. Geliştirildikten ve onaylandıktan sonra gerçek dünya sistemi hakkında çok çeşitli "eğer-ise (what-if)" sorularını araştırmak için bir model kullanılabilir; sistem performansı üzerindeki etkilerini tahmin etmek için sistemdeki olası değişiklikler simüle edilebilir. Simülasyon, bu tür sistemler yapılmadan önce tasarım aşamasında sistemleri incelemek için de kullanılabilir. Bu nedenle, simülasyon modellemesi, hem mevcut sistemlerde değişikliklerin etkisini tahmin etmek için bir analiz aracı olarak hem de değişen koşullar altında yeni sistemlerin performansını tahmin etmek için bir tasarım aracı olarak kullanılabilir (Banks ve ark. 2004).

Şekil 3.2’de, bir model oluşturucuya rehberlik edecek adımlar gösterilmektedir. Bu doğrultuda, her çalışma problemin formülasyonu ile başlamalıdır. Şekil 3.2’de gösterilmemesine rağmen, çalışma ilerledikçe problemin yeniden formüle edilmesi gereken durumlar da oluşabilmektedir. Problem formülasyonundan sonra, hedefler ve genel proje planının belirlenmesi adımına geçilmektedir. Bu adımda, simülasyon ile cevaplanacak sorular, hedefler olarak belirlenmektedir. Genel proje planı, simülasyonun uygun olduğuna karar verildikten sonra alternatif sistemlerin etkinliğini değerlendirmek için bir yöntem de içermelidir. Bununla birlikte, simülasyonun, formüle edildiği gibi problem için uygun metodoloji olup olmadığı ve hedeflerle ilgili tespitlerin yapılması yine hedefler ve genel proje planı adımında yapılmaktadır. Problemin formülasyonu ve hedeflerin belirlenmesiyle beraber, sistemin modelini kurmak için her durumda başarılı ve uygun modellerin oluşturulmasını sağlayacak bir dizi talimatı sağlamak mümkün olmasa da takip edilecek bazı genel kurallar bulunmaktadır. Modelleme; bir problemin temel özelliklerini özetleme, sistemi karakterize eden temel varsayımları seçme ve modifiye etme, daha sonra da faydalı yaklaşık sonuçlar elde edinceye kadar modeli zenginleştirme ve ayrıntılandırma yeteneklerini içermektedir. Bununla birlikte, modelin oluşturulması ile girdi verilerinin toplanması arasında sürekli bir etkileşim bulunmaktadır. Veri toplama aşaması, bir simülasyon gerçekleştirmek için gereken toplam sürenin büyük bir bölümünü aldığından, genellikle model oluşturma sürecinin ilk aşamaları ile birlikte mümkün olduğunca erken bir zamanda başlatılmalıdır. Çoğu gerçek

sistemde, çok fazla bilgi depolama ve hesaplama gerektiren modellere ihtiyaç duyulduğundan, modelin bir bilgisayar ortamında oluşturulması gerekmektedir. Dolayısıyla, model dönüştürme adımında modelin bir simülasyon dilinde programlanıp programlanmayacağına veya özel amaçlı bir simülasyon yazılımının kullanılıp kullanılmayacağına karar verilmektedir. Simülasyon modeli için bilgisayar programı kullanılmasına karar verildikten sonra programın düzgün çalışıp çalışmadığını tespit edebilmek için ise verifikasyon (verification) yapılmaktadır. Bu adımda, modelin girdi parametreleri ve mantıksal yapısı bilgisayar ortamında doğru sonuçlar veriyorsa verifikasyon tamamlanmaktadır. Verifikasyon işleminden sonra modelin gerçek sistem davranışıyla karşılaştırılması ve bu ikisi arasındaki farklılıkların kullanılmasını içeren yinelemeli bir süreç olan modelin kalibrasyonu, diğer bir ifadeyle, modelin validasyonu (validation) aşamasına geçilmektedir. Modelin validasyonu, model doğruluğu kabul edilebilir olana kadar tekrarlanmaktadır. Simüle edilecek her alternatifin belirlendiği deneysel tasarım adımı, modelin verifikasyonu ve validasyonundan sonra gerçekleştirilmektedir. Burada, simüle edilen her sistem tasarımı için başlatma periyodunun uzunluğu, simülasyon çalışmalarının uzunluğu ve her bir çalışmadaki replikasyonların sayısı ile ilgili kararlar alınmaktadır. Simüle edilen sistem tasarımları için performans ölçümlerinin tahmini, çalıştırma ve analiz adımı yapılarak, tamamlanmış olan çalışmaların analizleri göz önüne alınıp, ek çalışmaların gerekip gerekmediğine karar verilmektedir. Uygulama aşamasına geçmeden önce ise son adım olarak model kullanıcılarının girdi parametreleri ve performans çıktı ölçütleri arasındaki ilişkileri öğrenmek veya performansı etkileyen çıktı ölçütlerini optimize eden girdi parametrelerini keşfetmek amacıyla programın dokümantasyonu ve raporlaması yapılmaktadır (Banks ve ark. 2004).



Şekil 3. 2. Bir simülasyonun adımları (Banks ve ark. 2004)



Sistem kavramı ve sistem modelinden yukarıda kısaca bahsedilmektedir. Bununla birlikte, ayrı bir şekilde değişen dinamik, stokastik sistemler de (yani, zamanı içeren ve rassal elemanları kapsayan) mevcuttur. Farklı simülasyon paketleri aynı veya benzer kavramlar için farklı terminoloji kullanmakla birlikte (örneğin, listelerin bazen küme, kuyruk veya zincir olarak adlandırılması), bu sistemlerde genel olarak kullanılan kavramlar kısaca aşağıdaki gibi açıklanabilir (Banks ve ark. 2004):

- **Sistem durumu:** Sistemi herhangi bir zamanda tanımlamak için gereken tüm bilgileri içeren değişkenler koleksiyonudur.
- **Varlık:** Modelde açık temsil gerektiren herhangi bir nesne veya bileşendir.
- **Nitelikler:** Verilen bir varlığın özellikleridir (örneğin, bekleyen bir müşterinin önceliği).
- **Liste:** Mantıksal olarak sipariş edilen bazı ilişkili varlıkların bir araya getirilmesidir.
- **Olay:** Bir sistemin durumunu değiştiren anlık bir olaydır.
- **Olay bildirimi:** Etkinliği yürütmek için gerekli herhangi bir ilişkili veri ile birlikte, mevcut veya gelecek bir zamanda gerçekleşecek bir olayın kayıdır.
- **Olay listesi:** Olay zamanına göre sıralanan gelecekteki olaylar için etkinlik bildirimlerinin bir listesidir.
- **Etkinlik:** Başladığı zaman bilinen belli bir sürenin uzunluğudur (istatistiksel dağılım olarak tanımlanabilir).
- **Gecikme:** Bitene kadar bilinmeyen belirsiz uzunlukta bir süredir.
- **Saat:** Takip edilecek örneklerde CLOCK olarak adlandırılan, simüle edilmiş zamanı temsil eden bir değişkendir.

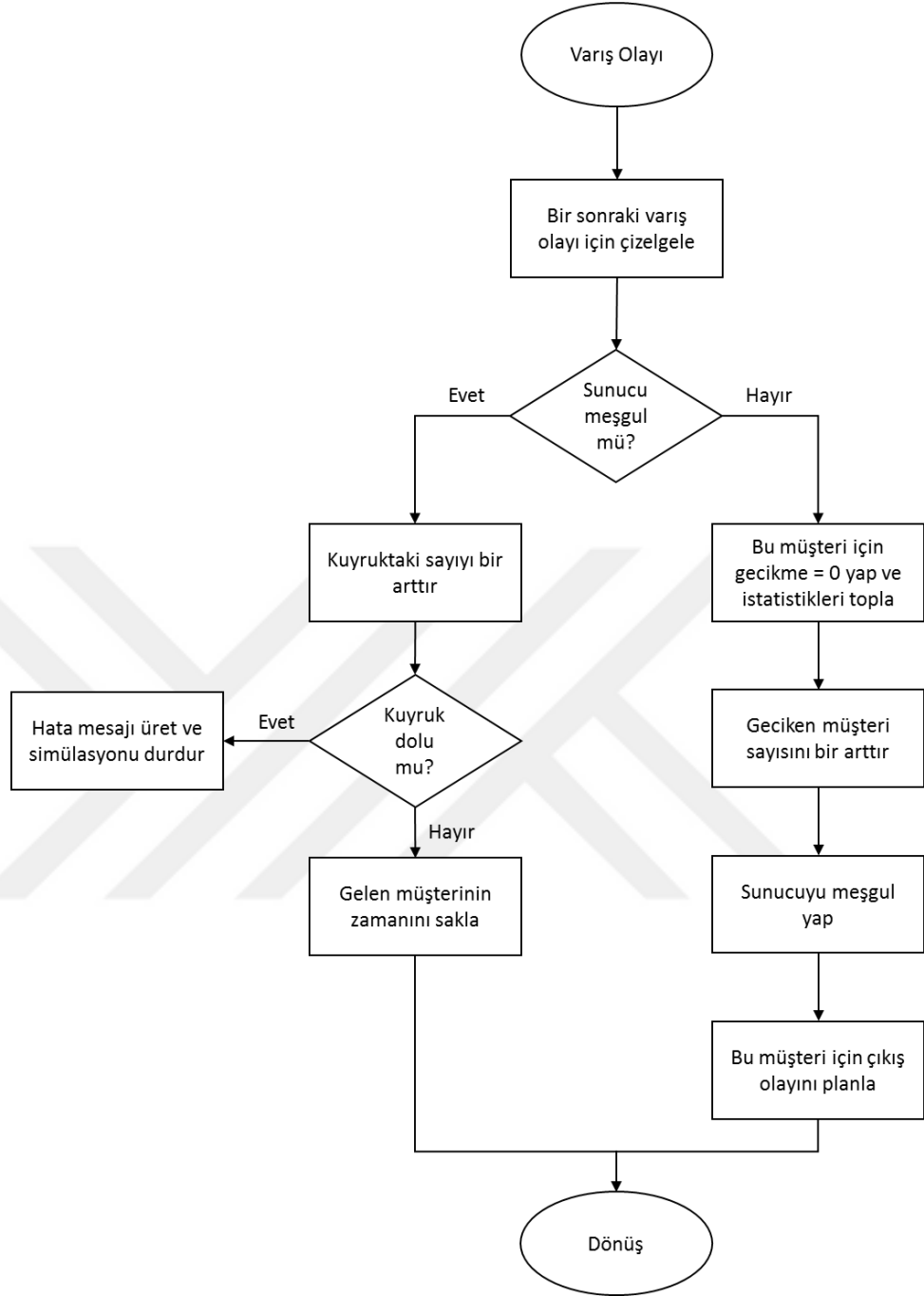
Ayrık-olay simülasyonu, tüm durum değişiklikleri zaman içinde belirli noktalarda meydana gelen bir sistemin modellemesidir. Ayrık-olay simülasyonu, zaman içinde sistem görüntüleri üretmek için ilerlemektedir. Belirli bir zamanda verilen bir anlık görüntü ( $CLOCK=t$ ), yalnızca  $t$  zamanında sistem durumunu değil, aynı zamanda devam etmekte olan tüm etkinliklerin bir listesini içerir ve her bir etkinlik sona erdiğinde, simülasyonun sonunda özet istatistiklerini hesaplamak için kullanılacak kümülatif istatistiklerin ve sayaçların mevcut değerlerinin sona ermesini sağlar.

Ayrık-olay simülasyon modellerinin dinamik doğası nedeniyle, simülasyon ilerledikçe simüle edilen zamanın güncel değerinin takip edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, simüle edilmiş zamanı bir değerden diğer bir değere iletmek için de bir mekanizmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Simüle edilmiş zamanın güncel değerini veren bir simülasyon modelinde *simülasyon saati* değişkeni çağrılmaktadır. Burada, simülasyon saati için açıkça belirtilen bir zaman dilimi mevcut olmayıp, ayrıca, simüle edilmiş zaman ile bilgisayar üzerinde bir simülasyonu çalıştırmak için gereken süre arasında da genellikle bir ilişki bulunmamaktadır. Genel olarak, simülasyon saatini ilerletmek için bir sonraki olay-zaman ilerlemesi (next-event time advance) ve sabit artış süresi (fixed increment time advance) olmak üzere iki temel yaklaşım önerilmektedir. İkinci yaklaşım, spesifik bir yaklaşımken; ilk yaklaşım, tüm ana simülasyon dilleri tarafından kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım ile simülasyon saati sıfırlanarak, gelecekteki olayların meydana gelme zamanları belirlenmektedir. Simülasyon saati, gelecekteki olayların en yakın (ilk) durumunun ortaya çıkma zamanına kadar ilerletilir ve bu noktada sistemin durumu, bir olayın meydana geldiğini ve sürelerini bildiğimiz bilgisini hesaba katacak şekilde güncellenmektedir (Law ve Kelton, 2007).

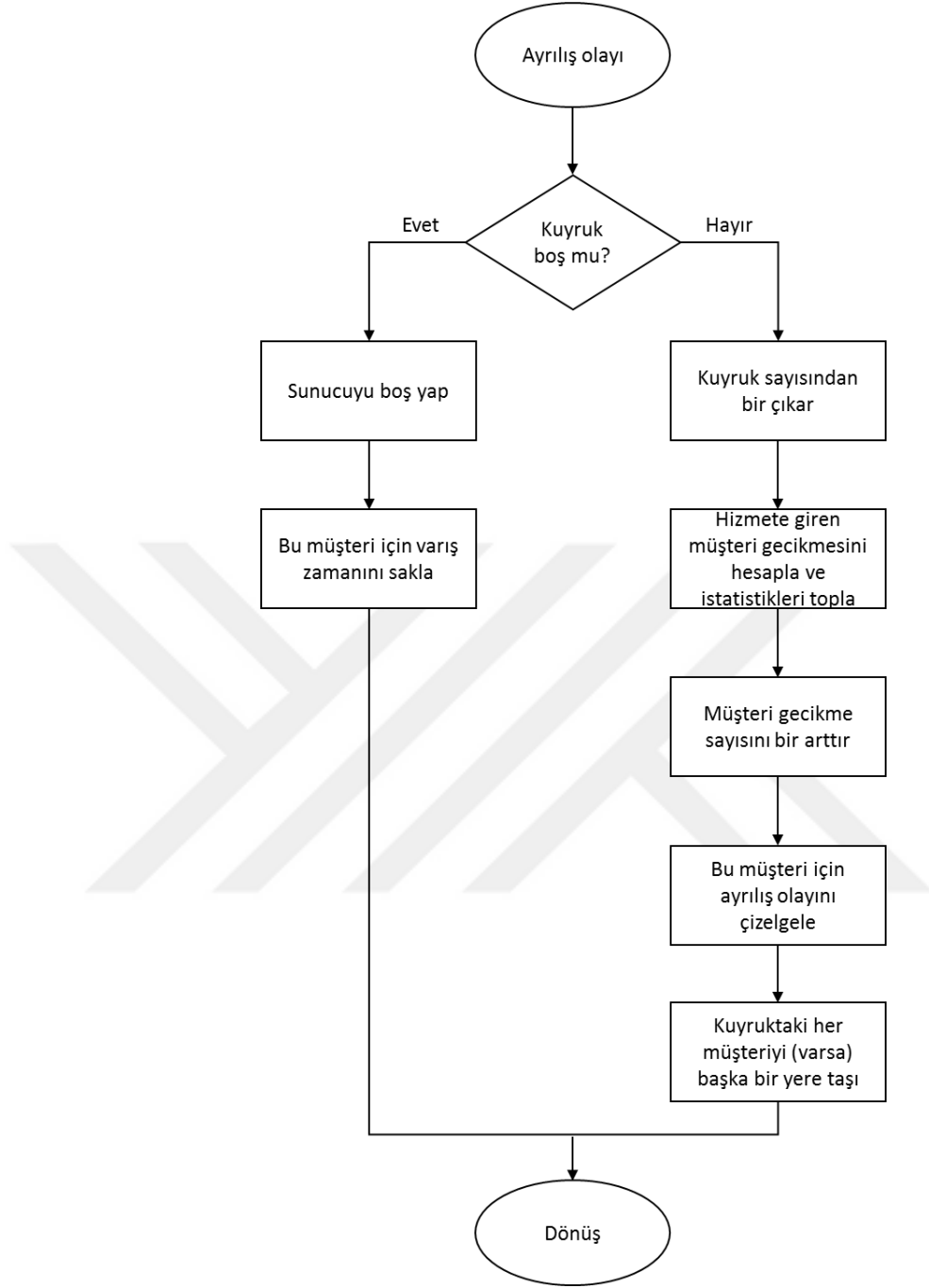
Simülasyonun yoğun olarak kullanıldığı sistemler arasında kuyruk sistemleri de yer almaktadır. Bir kuyruk sistemi; popülasyon, varışların yapısı, hizmet mekanizması, sistem kapasitesi ve kuyruk disiplini ile tanımlanır. Basit bir tek-kanallı kuyruk sisteminde popülasyon sonsuzdur, diğer bir deyişle, bir birim popülasyonu terk ederse ve bekleme hattına katılırsa veya hizmete girerse, hizmete ihtiyaç duyabilecek diğer birimlerin varış oranında bir değişiklik olmamaktadır. Sistemin durumu, sistemdeki birimlerin sayısı ve sunucunun (hizmet vericinin) meşgul veya boş olma durumudur. Olay ise sistemin durumunda anlık bir değişikliğe neden olan bir dizi durum olarak tanımlanabilir. Tek-kanallı bir kuyruk sisteminde, sistemin durumunu etkileyebilecek yalnızca iki olası olay vardır. Bunlar, bir birimin sisteme girişi (varış olayı) ve bir birimdeki hizmetin tamamlanması (ayrılış olayı) olaylarıdır. Dolayısıyla, temel olarak bir kuyruk sistemi, sunucuyu, hizmet verilen birimi ve kuyruktaki birimleri içermektedir (Banks ve ark. 2004).

Bir birimin sisteme girdiğindeki varış olayının meydana gelmesi ile birimin hizmeti tamamlandıktan sonra sistemden ayrılması olayları da sırasıyla Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilmektedir. Şekil 3.3'te yer alan varış olayı için ilk olarak, gelecekte olan bir sonraki varış zamanı üretilir ve olay listesine yerleştirilir. Daha sonra sunucunun meşgul olup olmadığını belirlemek için bir kontrol yapılır. Eğer sunucu meşgulse, kuyruktaki müşteri sayısı bir artırılır ve kuyruğu tutmak için tahsis edilen depolama alanının dolu olup olmadığı sorgulanır. Eğer kuyruk dolu ise bir hata mesajı üretilir ve simülasyon durdurulur. Ancak, kuyrukte hala yer varsa gelen müşterinin varış zamanı, kuyruğun sonuna yerleştirilir. Öte yandan, gelen müşteri sunucuyu boşta bulursa, bu müşteri gecikme olarak sayılan bir sıfır gecikmesine sahip olur ve tamamlanan müşteri gecikme sayısı bir artırılır. Daha sonra sunucu meşgulken, gelen müşterinin hizmetten ayrılış zamanı için olay listesi planlanır (Law ve Kelton, 2007).

Bir birim için varış olayının meydana gelmesinden sonra birimin hizmeti tamamlayıp sistemden ayrılması olayının mantığı da Şekil 3.4'te verilmektedir. Sistemden çıkış yapan müşteriden sonra kuyrukte başka müşteri kalmazsa, sunucu boşta kalır ve bir sonraki etkinlikte çıkış olayı olmadığı için çıkış olayı burada dikkate alınmaz. Diğer bir yandan, bir veya daha fazla müşteri sistemden ayrılan müşteri tarafından geride bırakılırsa, kuyruktaki ilk müşteri kuyruktan ayrılır ve hizmete girer. Böylece, kuyruk uzunluğu bir azaltılır ve bu müşterinin kuyruğundaki gecikme hesaplanır ve uygun istatistik sayacına kaydedilir. Gecikme sayısı bir artırılır ve müşterinin hizmete girmesi için bir çıkış etkinliği planlanır. Son olarak, kuyruğun geri kalanındaki her müşteri (eğer varsa), kuyruğa göre başka bir yere taşınır.



Şekil 3. 3. Varış olayının akış diyagramı (Law ve Kelton, 2007)



Şekil 3. 4. Ayrılış olayının akış diyagramı (Law ve Kelton, 2007)

### 3.1.2. İmalat ve malzeme taşıma sistemlerinde simülasyon

İmalat ve malzeme taşıma sistemlerinin simülasyonları, en önemli simülasyon uygulamaları arasında yer almaktadır. Simülasyon; yeni üretim tesisleri, depolar ve dağıtım merkezlerinin tasarımında yardımcı olarak kullanıldığı gibi mevcut sistemlere

önerilen iyileştirmeleri değerlendirmek için de kullanılmaktadır. Bununla birlikte simülasyon, sermaye yatırımlarının ekipman ve tesislerdeki etkilerinin ve önerilen değişikliklerin malzeme taşıma ve düzenine etkisini değerlendirmede etkili bir araçtır. Ayrıca, üretim kontrol sistemlerine, depo yönetim kontrol yazılımına ve malzeme taşıma kontrollerine dahil edilecek personel ve işletme kurallarını ve önerilen kural ve algoritmaları değerlendirmek için de kullanılan bir araçtır. Dolayısıyla, mevcut sistemi denenmemiş yeniliklerle değiştirmeden ve yeni sermaye yatırımları yapmadan önce bir sistem denemesi olarak simülasyon fayda sağlamaktadır (Banks ve ark. 2004).

Tüm modelleme projelerinde olduğu gibi üretim ve malzeme taşıma simülasyon projeleri de kapsamlı ve ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Birçok modern üretim tesisi, dağıtım merkezi ve malzeme taşıma sistemleri bir yönetim-kontrol yazılımı sistemi ile kontrol edilmektedir. Bu tür bir kontrol yazılımı içine yerleştirilen algoritmalar, sistem performansında önemli bir rol oynamaktadır. İmalat sistemlerinde, sistemdeki toplam sürenin %80-85'i, malzeme taşınmasında veya malzeme taşımanın gerçekleşmesi için beklenmesinde harcanmaktadır (Banks ve ark. 2004). Bu süreç (work-in-process), çok büyük bir yatırım maliyetini temsil etmekte olup, ilgili gecikmelerdeki düşüşler ise maliyet tasarruflarını sağlamaktadır. Bu nedenle, bazı çalışmalar için detaylı malzeme taşıma simülasyonları daha uygun maliyetli olmaktadır. Bazı üretim hatlarında, malzeme taşıma sistemleri önemli bir bileşendir. Örneğin, otomotiv boya atölyeleri, tipik olarak otomobil gövdelerini veya parçalarını boya kabinleri üzerinden taşıyan konveyör sisteminden oluşmaktadır. Depolarda, dağıtım merkezlerinde vb. yerlerde malzeme taşıma, herhangi bir malzeme-akış modelinin açık bir bileşeni olmaktadır. Otomatik olmayan depolarda, paletlerin depolama alanından depoya ve depodan nakliye istasyonuna taşınması için tipik olarak manuel forkliftler kullanılırken; otomatik depolarda konveyör sistemleri kullanılabilir. Malzeme taşıma sistemlerinin modelleri genellikle aşağıdaki alt sistem türlerinden bazılarını içermektedir (Banks ve ark. 2004):

- Konveyör
  - Birikimli
  - Birikimsiz
  - Dizin oluşturma ve diğer özel amaçlı

- Taşıyıcılar
  - Kısıtsız araçlar
  - Kılavuzlu araçlar
  - Köprü vinçleri ve diğer asma asansörler
- Depolama sistemleri
  - Palet depolama
  - Kutu depolama
  - Küçük-parça depolama
  - D/GA makinesi ile OD/GA sistemleri

Simülasyonun amacı, sistemin içyüzünü anlamaktır. Simülasyon yazılımını ve hizmetlerini satın alan ve kullanan kişiler, yeni veya değiştirilmiş bir sistemin nasıl çalışacağını, örneğin, aşağıda yer alan bazı soruları sorarak anlamak istemektedirler (Banks ve ark. 2004):

- Yeni sistem verim beklentilerini karşılayacak mı?
- Yoğun dönemlerde sistemin tepki süresi ne olacaktır? Sistem kısa süreli dalgalanmalara dayanıklı mıdır?
- Kısa süreli dalgalanmalar, tıkanıklığa ve kuyruğa yol açtığında sistemin eski haline dönme süresi nedir?
- Personel gereksinimleri nelerdir?
- Sorunlar ortaya çıkarsa onların nedeni nedir ve nasıl ortaya çıkmaktadır?
- Sistem kapasitesi nedir?
- Hangi koşullar ve yükler bir sistemin kapasitesine ulaşmasına neden olur?

Simülasyonların, belirli şartlar altında verim gibi sayısal performans ölçümleri sağlaması beklenir, ancak, simülasyonun ana faydası, sistem operasyonları ile ilgili elde edilen anlama ve kavramadır. Animasyon ve grafiklerle görselleştirme; model varsayımlarının, sistem işlemlerinin ve model sonuçlarının iletişimde büyük yardım sağlamaktadır. İmalat sistemlerinde simülasyon modellerinin ana hedefleri, problem alanlarını tanımlamak ve sistem performansını ölçmektir. Bununla birlikte çoğu zaman malzeme taşıma, bir üretim sisteminin performansının önemli bir parçası olarak karşımıza çıkmaktadır. Üretim dışı malzeme taşıma sistemlerine; depolar, dağıtım merkezleri,

çapraz-yerleştirme işlemleri, havalimanlarında bagaj taşıma sistemleri örnek olarak verilebilir. Üretim dışı malzeme taşıma sistemlerinin ana hedefleri, üretim sistemleri için de tanımlandığı gibi sistem çevrim süresi, darboğaz noktaları, kuyruk ve gecikmeler, zamanlama ve kontrol sistemlerinin etkinliği, kaynakların, işçilerin ve makinelerin kullanılması vb. gibi performans ölçümlerini içermektedir. Bunlara ek olarak malzeme taşıma sistemlerinde, müşteri siparişlerinin işleme alınma süresi, sipariş profillerindeki değişikliklerin etkisi, yüksek yoğunluklu yüklerde malzeme taşıma sistemlerinin etkinliği, kısa süreli dalgalanmalardan dolayı sistemin eski haline dönme süresi vb. performans ölçümleri olarak düşünülebilmektedir (Banks ve ark. 2004).

### **3.1.3. OD/GA sistemlerinde simülasyon**

Modern üretim ve dağıtım sistemlerinde, ürün kullanılabilirliğini artırırken işçilik maliyetini, gerekli kat alanını ve hata oranını düşüren yüksek stok seviyeli OD/GA sistemleri, 1950'lerden beri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. OD/GA sistemi, malzemeleri belirli bir otomasyon derecesinde hassas, doğru ve hızlı bir şekilde işleyen, depolayan ve geri-alan ekipman ve kontrollerin birleşimidir. Bu sistemler, daha hızlı depolama ve ürün alma, depolama alanını verimli kullanma, yüksek güvenilirlik, daha iyi kontrol envanteri ve ürünlerin hasarlarındaki azalma gibi avantajları endüstriye getirmiştir.

OD/GA sistemleri genellikle otomatik depolama sistemi, otomatik yönlendirmeli araçlar sistemi, otomatik sıralama sistemi, otomatik iletim sistemi ve diğer lojistik alt sistemleri içermektedir. Bir OD/GA sisteminde amaç, bilgisayar kontrolünde hızlı yük erişimi ile yüksek yoğunlukta depolama sağlamaktır. İmalat, depolama ve dağıtım merkezlerinde kullanılan OD/GA sistemleri, verimli çalışacak ve ürünlerin depolanması ve geri-alınması için hızlı tepki verecek şekilde tasarlanmalıdır. Bununla birlikte, yüksek verimli ve yüksek esneklikte otomatik depolama sistemleri geliştirilirken, yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle sistemlerin performans tahminleri pratikte ve teorik açıdan önem kazanmaktadır.

OD/GA sistemi; ayrık, rassal, dinamik, çok-faktörlü, çok-amaçlı ve karmaşık bir sistemdir. Sistemin planlanması, tasarımı, inşası, analizi ve yönetimi karmaşık problemler



olduğundan, geleneksel yöntemler ve deneyimlerle en uygun çözümü bulmak zor olduğu gibi bu problemleri çözme süreci de uzun zaman ve yüksek maliyet gerektirmektedir. Burada sistem simülasyonu yardımcı bir araç olabilmektedir. Basit bir seviyede bir OD/GA sistemi hareket süresi (move time), bir yükün depolanması veya geri-alınması süresine yaklaşan bir olasılık dağılımından bir zaman alınarak modellenebilir. Daha hassas bir modelleme ise gerçek vinç (yatay hareket) ve asansör (dikey hareket) hızlarını içerir. Her hareket genellikle farklı bir hıza ve mesafeye sahiptir, bu da bir eksen boyunca hareketin, diğer eksen boyunca hareket başlamadan önce tamamlandığı anlamına gelir. OD/GA sistemi modellemede, depolama kapasitesi genellikle dikkate alınmaz ve sistemin gerçek envanteri modellenmez. OD/GA sistemi simülasyonu ile aşağıda yer alan sorular ve benzerlerinin yanıtlanması, tasarım ve işletim konularının ele alınmasına yardımcı olabilmektedir:

- Gerekli faaliyetleri yürütmek için kaç koridora ihtiyaç vardır?
- Çıktı sayısını maksimize etmek için en iyi depolama ve geri-alma sırası nedir?
- D/GA makineleri boşken tepki süresini en aza indirmek için en iyi istasyon hangisidir?

#### **3.1.4. Simülasyon yazılımları**

Sistem simülasyonunda kullanılan yazılımlar, Banks ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada detayları açıklandığı gibi birbirinden farklı olsa da genellikle birçok ortak yanlara sahiptirler. Ortak özellikleri arasında grafiksel bir kullanıcı arayüzü, animasyon ve sistem performansını ölçmek için otomatik olarak toplanan çıktılar yer almaktadır. Hemen hemen tüm paketlerde simülasyon sonuçları, standart raporlar ile tablo halinde veya grafik biçiminde simülasyon çalıştırılırken etkileşimli olarak görüntülenebilir. Böylelikle, farklı senaryolar ile oluşan çıktılar, tablo biçiminde veya grafiksel olarak karşılaştırılabilir. Simülasyon paketleri; etkinlik planlama modelleri, karışık ayrık-modeller vb. gibi modellerin oluşturulmasına olanak verme yönünden birbirinden ayrılmaktadır. Bununla birlikte, bazıları 2-boyutlu, bazıları ise 3-boyutlu ölçekli çizimlere olanak sağlamaktadır. Simülasyon paketlerine; Arena, AutoMod, Delmia/QUEST, Extend, Flexsim, ProModel, Simul8, Witness ve benzerleri örnek olarak verilebilir.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Model bileşenleri

Bu çalışmada, OD/GA sistemlerinin simülasyonu için bir yaklaşım önerilmektedir. Öncelikle bu doğrultuda, farklı kontrol parametrelerinin kombinasyonunu içeren senaryolar altında sistemin simülasyon ile performans analizinin yapılması için modelleme alt yapısının oluşturulması amaçlanmaktadır.

Çalışma kapsamında simülasyon modelinde kullanılan varlıklar, sanal ve diğer varlıklar olarak ikiye ayrılmaktadır. Sanal varlıklar, simülasyonu başlatmak ve varlıkların sisteme girişini sağlamak için kullanılmakta olup, çalışmada tanımlanan varlıklar Çizelge 3.1’de verildiği gibidir. Varlıklar, lokasyonlar ve D/GA makineleri tanımlanırken kullanılan  $i$  ve  $j$  değişkenleri, sırasıyla, koridor ve ilgili koridora gönderilen ürün grubunu ifade etmektedir. Burada değişken sınırları  $i = 1 \dots n$  ve  $j = 1 \dots m_i$  olarak tanımlanmakta olup;  $n$  toplam koridor sayısına;  $m_i$  ise ilgili koridora gönderilen toplam ürün grubu sayısına karşılık gelmektedir.

**Çizelge 3. 1.** Varlıkların tanımlanması

Varlık	Tanım
<i>Storage_Demand</i>	Simülasyonun başlatılması için kullanılan sanal varlık olup, varlıkların sisteme girişlerini sağlamaktadır
<i>Storage_Demand_i</i>	Depolanacak olan ürün gruplarının $i$ . koridora gönderilmesini sağlamak için kullanılan sanal varlıktır
<i>Product_Groups_ij</i>	$i$ . koridora depolanacak olan $j$ . ürün grubunu ifade etmektedir

Simülasyon modelinde kullanılan lokasyonlar; depolama, geri-alma veya başka bir etkinlik (taşıma, bekleme) için varlıkların yönlendirildiği konumları ifade etmektedir. Önerilen simülasyon modelinde kullanılan lokasyonlar ve tanımları Çizelge 3.2’de, lokasyonların örnek bir gösterimi ise Ek 1’de verilmektedir. Önerilen yaklaşımda yer alan lokasyonlar; giriş ve çıkış noktaları, koridorlara ait kuyruklar ve konveyörler ile birlikte, OD/GA sisteminde ürünlerin depolanması ve geri-alınması için kullanılan ve raflarda yer

alan hücrelerden oluşmaktadır. Çalışmanın “Giriş” bölümünde belirtildiği gibi sistemde yer alan koridorlar, raflar arasındaki boşlukları ifade etmektedir. Dolayısıyla, iki raf bölümünden oluşan bir koridorda bulunan D/GA makinesi, her iki raf bölümünde yer alan hücrelere hizmet vermektedir. Hücreler tanımlanırken, hücrenin hangi koridorda, hangi raf bölümünde olduğu ve ilgili raf bölümü için hangi koordinatta yer aldığı dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda,  $Loc_{isxxyy}$  olarak ifade edilen hücre lokasyonunda  $i$ , daha önce belirtildiği gibi koridoru;  $s$ , ilgili koridorda karşılıklı olarak yer alan raf bölümlerini ( $s = 1,2$ );  $xx$ , hücrenin bulunduğu lokasyonun  $x$  koordinatını;  $yy$  ise hücrenin bulunduğu lokasyonun  $y$  koordinatını ifade etmektedir.

**Çizelge 3. 2.** Lokasyonların tanımlanması

<b>Lokasyon</b>	<b>Tanım</b>
<i>Dummy_Location</i>	Simülasyonu başlatmak için <i>Storage_Demand</i> sanal varlığının sisteme giriş yaptığı sanal lokasyondur
<i>Input</i>	<i>Storage_Demand_i</i> ve <i>Product_Groups_ij</i> varlıklarının gönderildiği lokasyondur
<i>Output</i>	Tüm ürün gruplarının sistemden çıkış yaptığı lokasyondur
<i>Input_Queue_i</i>	$i$ . koridordaki hücrelere depolanacak ürünlerin giriş kuyruğudur
<i>Output_Queue_i</i>	$i$ . koridordaki hücrelerden geri-alınan ürünlerin çıkış kuyruğudur
<i>Input_Conveyor_i</i>	$i$ . koridordaki hücrelere depolanacak ürünlerin giriş konveyörüdür
<i>Output_Conveyor_i</i>	$i$ . koridordaki hücrelerden geri-alınan ürünlerin çıkış konveyörüdür
<i>Output_Conveyor</i>	Tüm ürün gruplarının çıkış yaptığı ana konveyördür
<i>Input_Buffer_i</i>	$i$ . koridordaki hücrelere depolanmak için gelen ürünlerin beklediği lokasyondur
<i>Output_Buffer_i</i>	$i$ . koridordaki hücrelerden geri-alınan ürünlerin ilgili konveyöre gönderilmeden önce beklediği lokasyondur
<i>Loc_isxxyy</i>	$i$ . koridorun $s$ . raf bölmesinin $(x, y)$ koordinatındaki hücreye karşılık gelen lokasyondur

OD/GA sistemlerinde ürünlerin depolanması ve geri-alınması için kullanılan D/GA makineleri için bazı simülasyon paketlerinde özel modüller yer almaktadır. Bu çalışmada önerilen yaklaşımın örneklendirilmesi için kullanılan ProModel’de ise “Crane” modülü kullanılmıştır. “Crane” modülü; geçişli, geçişsiz ve vinçler olmak üzere üç tür yol ağı (path network) modülüne izin vermektedir. Bu modül ile bir Crane yerleştirilebilmekte ve yönlendirilebilmekte, köprü ayırma mesafesi (bridge separation distance) ve bölmedeki (bay) raylar ve köprüler için grafikler tanımlanabilmektedir. Bunlara ek olarak, kaynaklar (resources) modülü ile köprü ve kaldırma hızlarının tanımlanmasına ve aynı bölmede çalışan bir veya daha fazla Crane için grafik (hoist graphics) oluşturulmasına izin verilmektedir. Çalışma kapsamında ise OD/GA sistemindeki her koridora bir D/GA makinesinin hizmet verdiği varsayılmış olup,  $i$ . koridora ait D/GA makinesi  $Crane_i$  olarak tanımlanmıştır.

Çalışma kapsamında geliştirilen simülasyon modelinde dikkate alınması gereken bir diğer unsur da simüle edilen sistemin başlangıç koşuludur. Başlangıçta, sistem boş olabileceği gibi tam dolu veya belirli bir miktarda doluluk oranıyla da simüle edilebilir. Bu çalışmada ise sistemin başlangıçta boş olmadığı, belirli miktarda doluluğa sahip olduğu varsayılmıştır. Dolayısıyla, sistemin başlangıç durumunda belirli bir miktar ürün ile başlaması için depoda geri-alma talebi olmadan, belli bir süre boyunca sadece depolama işleminin gerçekleştirilmesi, daha sonra ise hem başlangıçta yer alan ürünlerin hem de sonradan depolanan ürünlerin talep edilme olasılıklarına göre depolama sürelerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu kapsamda, başlangıç koşullarının oluşturulmasını sağlamak amacıyla farklı koridorlarda, farklı ürün gruplarının, farklı depo içi atama stratejileri altında depolanma olasılıklarının da dikkate alındığı ısınma periyodunun (warmup time) ya da ısınma periyotlarının belirlenmesi önerilmektedir. Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’te yer alan ve ısınma periyodu ile ilgili olan nitelikler (attributes) ve değişkenler (variables) bu amaç doğrultusunda kullanılmaktadır. Ürün gruplarına ait ortak bir ısınma periyodu çarpanı oluşturabilmek amacıyla Çizelge 3.4’te yer alan  $Var_{WT}$  değişkeni tanımlanmıştır. Bu değişken,  $i$ . koridorda depolanan ve  $c_i$  sınıfı için belirlenen  $WTC_{ic_i}$  değişkeni ile çarpılarak, ürün grubuna ait ısınma periyodu ( $WT_{ic_i}$ ) elde edilmektedir. Burada, ürün gruplarının, depolandıkları koridora ait depo içi atama stratejisi sınıf-tabanlıysa  $c_i$  değeri sınıf sayısına göre değişkenlik gösterirken;

diğer durumlarda 1 değerini almaktadır. İlgili değişkenlerin çarpımından elde edilen  $WT_{ic_i}$  değeri daha sonra her ürün grubu için  $Att_{WT}$  niteliğine eşitlenerek, ürün gruplarına ait ısınma periyodunun oluşturulması sağlanmaktadır. Isınma periyotlarının belirlenmesinden sonra ürün gruplarının depolama sürelerinin de belirlenmesi gerekmektedir.  $i$ . koridordaki  $j$ . ürün grubuna ait depolama süreleri  $Storage\_Time_{ij}$  niteliği ile tutulmakta olup, bu değerin oluşturulması için niteliklerden faydalanılmaktadır. Bu doğrultuda, genel bir depolama süresi  $Att\_Storage\_Time$  ile tutularak; bu süre, ürün gruplarının talep edilme olasılıklarının dikkate alınmasıyla belirlenen değerler ile çarpılmaktadır. Eğer ürün grubunun ait olduğu koridorda sınıf-tabanlı bir depo içi atama politikası uygulanıyorsa, ilgili nitelik ( $Att\_Storage\_Time$ ), sınıflara atanan bekleme süreleri katsayıları ile çarpılarak, ilgili sınıfın depolama süresini ( $Att\_Storage\_Time\_CB_{ic_i}$ ) oluşturmaktadır. Yine bu süre  $Storage\_Time_{ij}$  ile eşitlenerek,  $i$ . koridordaki  $j$ . ürün grubuna ait depolama sürelerinin oluşturulması da sağlanmaktadır.

**Çizelge 3. 3. Nitelikler**

<b>Nitelik</b>	<b>Tanım</b>
$SA$	$Storage\_Demand_i$ varlıkları ilgili koridor, konveyör ve kuyruğa gönderilirken varlıkların olasılık dağılımlarının tutulması için kullanılmaktadır
$SPT_i$	$i$ . koridora ait ürün gruplarının $Input$ lokasyonuna girişı için belirlenen olasılık dağılımlarının tutulmasında kullanılır
$Att_{WT}$	Her ürün grubuna ait ısınma periyodu atamalarının tutulmasında kullanılır
$Att\_Storage\_Time$	Her ürün grubunun depolama sürelerinin tutulmasında kullanılır
$Att\_Storage\_Time\_CB_{ic_i}$	Sınıf-tabanlı depo içi atama politikası altında depolanacak ürünlerin $i$ . koridorda ait olduğu $c_i$ sınıfının depolama süresinin tutulmasında kullanılır
$Storage\_Time_{ij}$	$i$ . koridordaki $j$ . ürün grubuna ait depolama süresinin $Att\_Storage\_Time$ niteliğine eşitlenmesi için kullanılır

**Çizelge 3. 4. Değişkenler**

Değişken	Tanım
$Input\_Product\_Groups_{ij}$	$i$ . koridora gelen $j$ . ürünün toplam sayısını tutmak için kullanılır
$Output\_Product\_Groups_{ij}$	$i$ . koridordan çıkan $j$ . ürünün toplam sayısını tutmak için kullanılır
$InputQue_i$	$i$ . koridora gelen tüm ürünlerin toplam sayısını tutmak için kullanılır
$OutputQue_i$	$i$ . koridordan çıkan tüm ürünlerin toplam sayısını tutmak için kullanılır
$Var\_WT$	Genel ısınma periyodu çarpanı atamasında kullanılır
$WTC_{ic_i}$	$i$ . koridora ait $c_i$ sınıfının ısınma periyodunu oluşturmak için kullanılan katsayıların tutulmasında kullanılır
$WT_{ic_i}$	$i$ . koridora ait $c_i$ sınıfının ısınma periyodunu tutmak için kullanılır

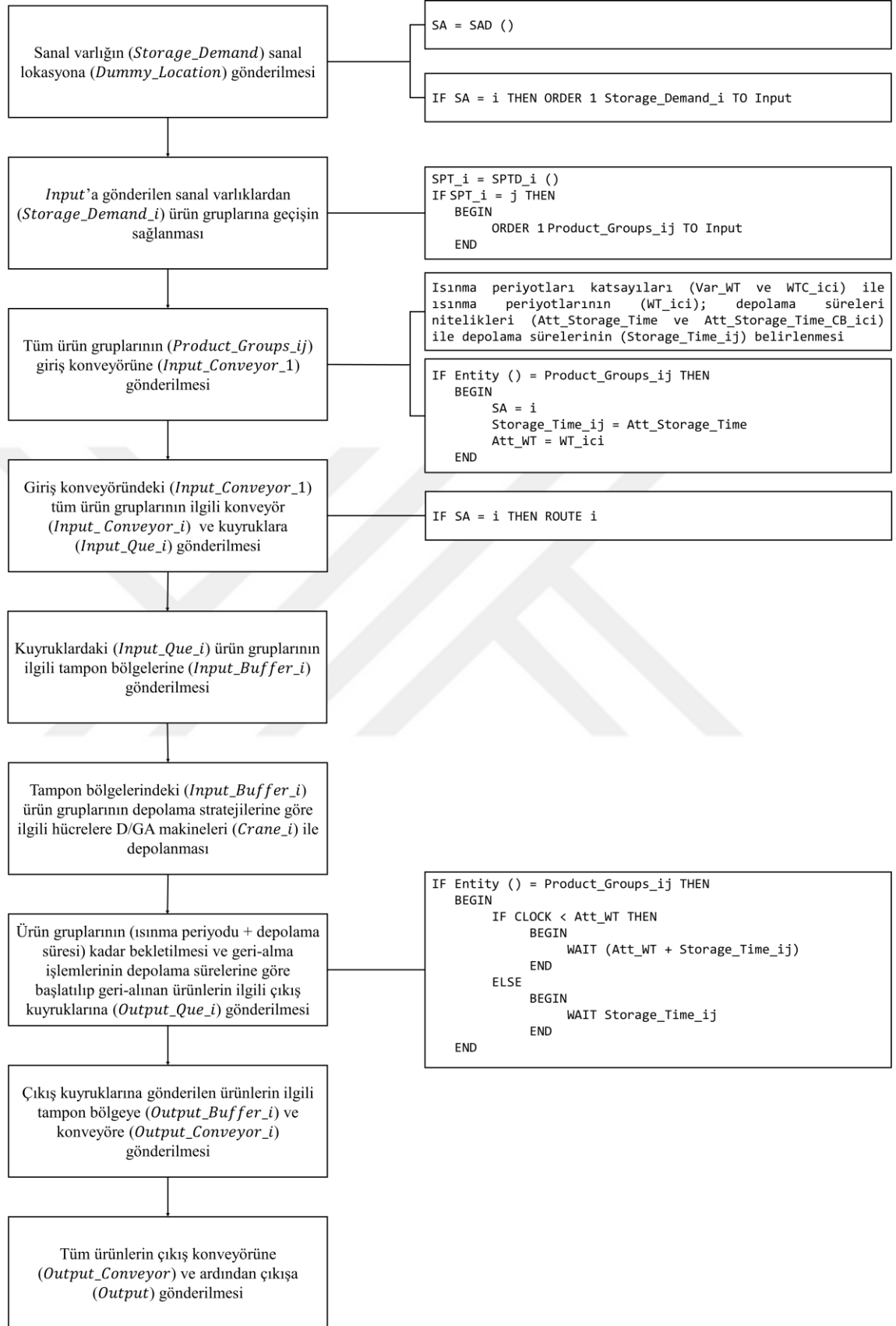
### 3.2.2. Simülasyon modelinin genel yapısı

Önerilen simülasyon modeline ait bazı adımların detaylarını içeren genel bir süreç diyagramı Şekil 3.5'te yer almaktadır. Bu doğrultuda, simülasyon, tanımlanan sanal varlığın (*Storage\_Demand*) sanal lokasyona (*Dummy\_Location*) gönderilmesi ile başlamaktadır. Hangi ürün grubunun hangi koridora gideceğini belirlemek amacıyla Çizelge 3.5'te verilen *SAD* olasılık dağılımı kullanılarak, sanal varlıklar (*Storage\_Demand\_i*) giriş lokasyonuna (*Input*) gönderilmektedir. Sanal varlıklar *Input* lokasyonuna gönderildikten sonra,  $i$ . koridordaki hücrelere depolanacak olan ürün gruplarının da ilgili konveyör, kuyruk ve tampon bölgelerine gönderilmesi gerekmektedir. Sanal varlıklardan ürün gruplarına geçiş de yine ürün gruplarının *Input* lokasyonuna, talep edilme olasılığı olan ve Çizelge 3.5'te verilen *SPTD\_i* dağılımına göre gönderilmesiyle sağlanmaktadır. Daha sonra ürün grupları,  $i$ . koridora ait konveyör, kuyruk ve tampon bölgelerine gönderilmekte ve depo içi atama politikaları ile talep edilme olasılıklarının da göz önüne alınmasıyla belirlenen depolama sürelerine göre ilgili koridordaki hücrelere depolanmaktadır. Depolanan ürün gruplarının, ısınma periyodu kadar bekletildikten sonra depolama sürelerine göre geri-alma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Ürün grupları, giriş işleminde olduğu gibi çıkış işlemleri için de

ilgili kuyruk, tampon bölge ve konveyörlere gönderildikten sonra sistemden çıkarılmaktadır.

**Çizelge 3. 5.** Olasılık dağılımları

<b>Olasılık Dağılımı</b>	<b>Tanım</b>
<i>SAD</i>	<i>Storage_Demand_i</i> varlıklarının ilgili koridor, konveyör ve kuyruğa gönderilmesinde kullanılan olasılık dağılımıdır
<i>SPTD_i</i>	<i>i.</i> koridora ait ürün gruplarının <i>Input</i> lokasyonuna girişi için kullanılan olasılık dağılımlarıdır



Şekil 3. 5. Simülasyon modeli için genel süreç diyagramı



### 3.2.3. Verifikasyon ve validasyon

Yapılan çalışmada, önerilen yaklaşımın örneklendirilmesi için ele alınan depo, Promodel yazılımı ile modellenmiştir. Sistemi modellemek için kullanılan yazılımın doğru çalışıp çalışmadığını tespit edebilmek için ilgili yazılımın yetenekleri kullanılarak modeldeki hatalar giderilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda, özel sanal değişkenler tanımlanmış olup sisteme giren ve çıkan ürün sayılarının tutulması ile sistemde bulunan mevcut ürün sayıları (work-in-process) takip edilmiştir. Böylelikle, hem koridorlarda depolanan ürün sayıları hem de sisteme girip/çıkan toplam ürün sayılarının kontrolü sağlanmıştır. Öte yandan, modelin verifikasyonu için Promodel yazılımının yeteneklerinden olan animasyondan da yararlanılmıştır. Model animasyonu kullanılarak farklı çalışma hızlarında animasyonun çalıştırılmasıyla modelin doğru bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

Verifikasyon işleminden sonra modelin gerçek sistem davranışıyla karşılaştırılması için modelin kalibrasyonu, diğer bir deyişle, modelin validasyonu yapılmaktadır. Geliştirilen simülasyon modeli, gerçek hayatta sistemin çalışma mantığına göre kurgulanmıştır. Modelin validasyonunu sağlamak için hem model geliştiricilerin hem de uzman görüşünden yararlanarak sistemin gerçek hayatta oluşturulabilecek sistemi temsil edebilecek doğrultuda düzgün çalıştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca uzman görüşünden yararlanarak geliştirilen modelin gerçek sistemi yeterli düzeyde yansıttığı sonucuna ulaşılmıştır.

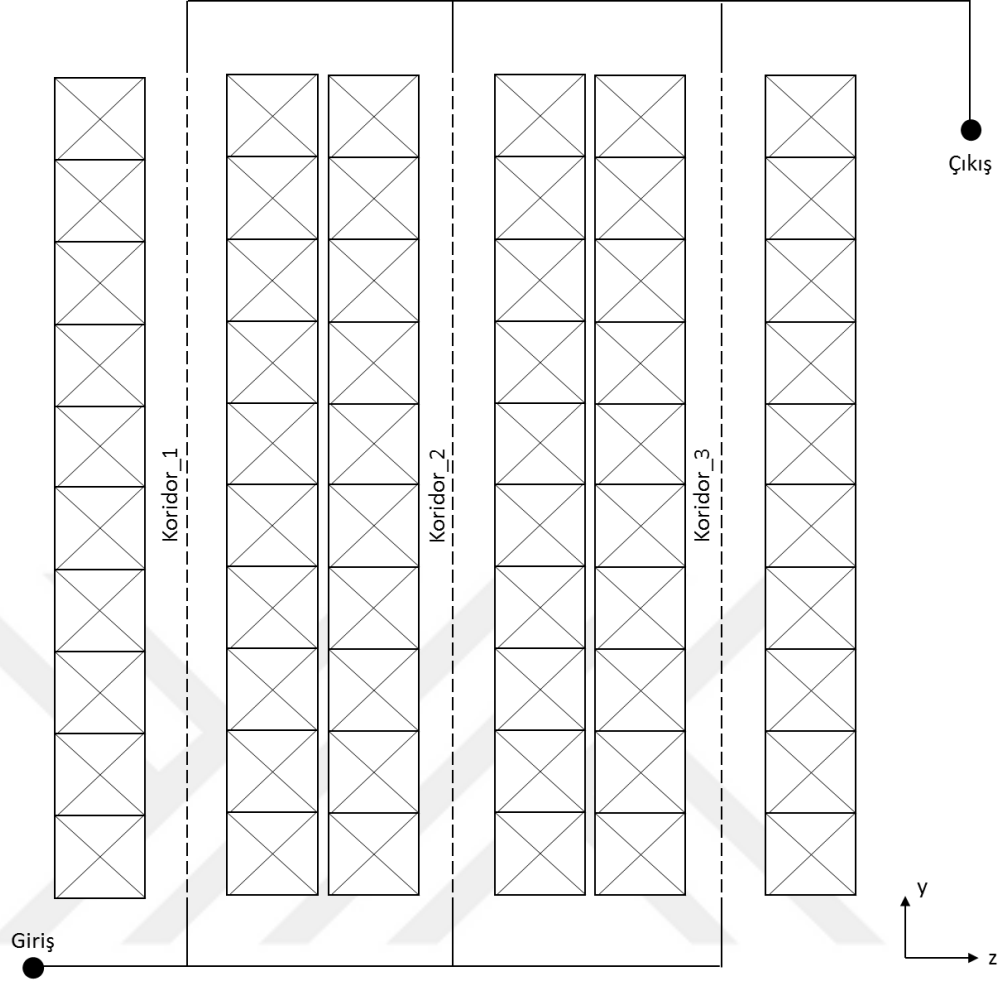
Çalışmada, önerilen ve yukarıda açıklanan yaklaşımın örneklendirilmesi amacıyla örnek bir depo oluşturulmuş olup, “Bulgular ve Tartışma” bölümünde örnek ile ilgili detaylar verilmiştir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, OD/GA sistemlerinin simülasyon ile modellenmesi için bir alt yapının oluşturulması amaçlanarak bu doğrultuda bir yaklaşım önerilmiştir. “Yöntem” bölümünde detayları açıklanan ilgili yaklaşımın örneklendirilmesi amacıyla Promodel yazılımı kullanılarak farklı depo içi atama politikalarının uygulandığı örnek bir depo simüle edilmiş olup, bekleme noktası politikalarının sistem üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Farklı giriş ve çıkış noktalarının bulunduğu örnek depo tasarımının üstten görünüşü Ek 2’de; tasarımın yandan görünüşü ise Şekil 4.1’de yer almaktadır. Örnek deponun fiziksel tasarım ve kontrol parametrelerine ilişkin bazı genel bilgiler ise Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4. 1.** Deponun fiziksel tasarım ve kontrol parametreleri

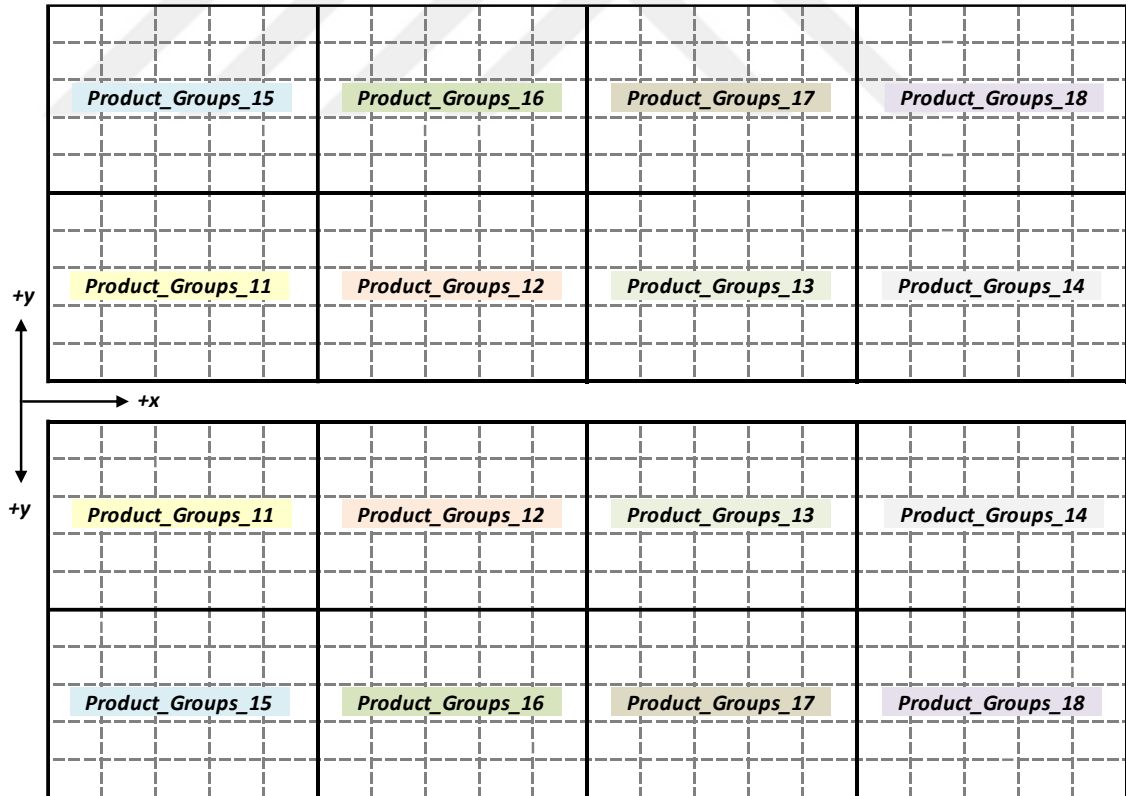
<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
Depo Boyutları	20x10
Toplam Hücre Sayısı	1200
Koridor Sayısı ( <i>i</i> )	3
D/GA Makinesi Sayısı	3
Toplam Ürün Grubu Sayısı	24
• 1. Koridor ( <i>i</i> = 1)	8
• 2. Koridor ( <i>i</i> = 2)	8
• 3. Koridor ( <i>i</i> = 3)	8
Depo İçi Atama Politikası	
• 1. Koridor ( <i>i</i> = 1)	<i>Atanmış</i>
• 2. Koridor ( <i>i</i> = 2)	<i>Sınıf-Tabanlı</i>
• 3. Koridor ( <i>i</i> = 3)	<i>Rassal</i>
Geri-Alma Politikası	FIFO
D/GA Makinesi Bekleme Noktası ( $\forall i$ )	Giriş, Orta, Çıkış



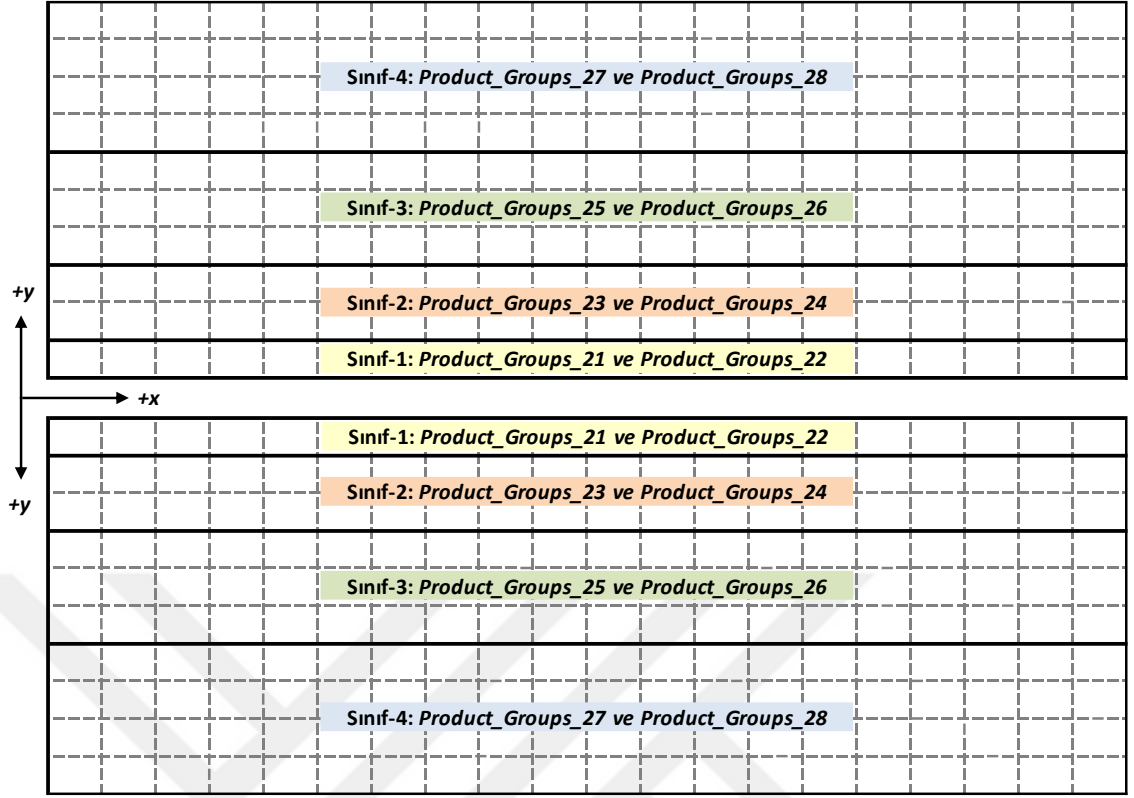
**Şekil 4. 1.** Depo tasarımı (yandan görünüş)

Çizelge 4.1’de bazı fiziksel tasarım ve kontrol parametreleri verilen örnek depo; üç koridor ( $n = 3$ ), 20x10 hücre/raf bölümü (toplam 1200 hücre) ve her koridorda bir tane olmak üzere toplam üç tane D/GA makinesinden oluşmaktadır. Bununla birlikte, her koridorda eşit sayıda ( $m_i = 8, \forall i$ ) bulunan toplam 24 farklı ürün grubunun sistemde depolandığı varsayılmaktadır. Çalışmanın amacı, farklı bekleme noktası politikalarının sistem üzerindeki etkisini incelemek olduğundan, üç koridorda da farklı depo içi atama politikalarının uygulandığı varsayılmıştır. Senaryo parametresi olan D/GA makinelerinin, simülasyonun her çalışmasında (run) farklı bekleme noktalarında (giriş, orta ve çıkış) olduğu varsayılmaktadır. Bu doğrultuda, birinci koridorda ( $i = 1$ ), her ürün grubuna eşit sayıda hücrenin ayrıldığı atanmış depo içi atama; ikinci koridorda ( $i = 2$ ), dört sınıftan ( $c_2 = 4$ ) oluşan sınıf-tabanlı depo içi atama; üçüncü koridorda ise ( $i = 3$ ) rassal depo içi atama politikaları uygulanmıştır. Koridorlara ait depo içi tasarımlar da

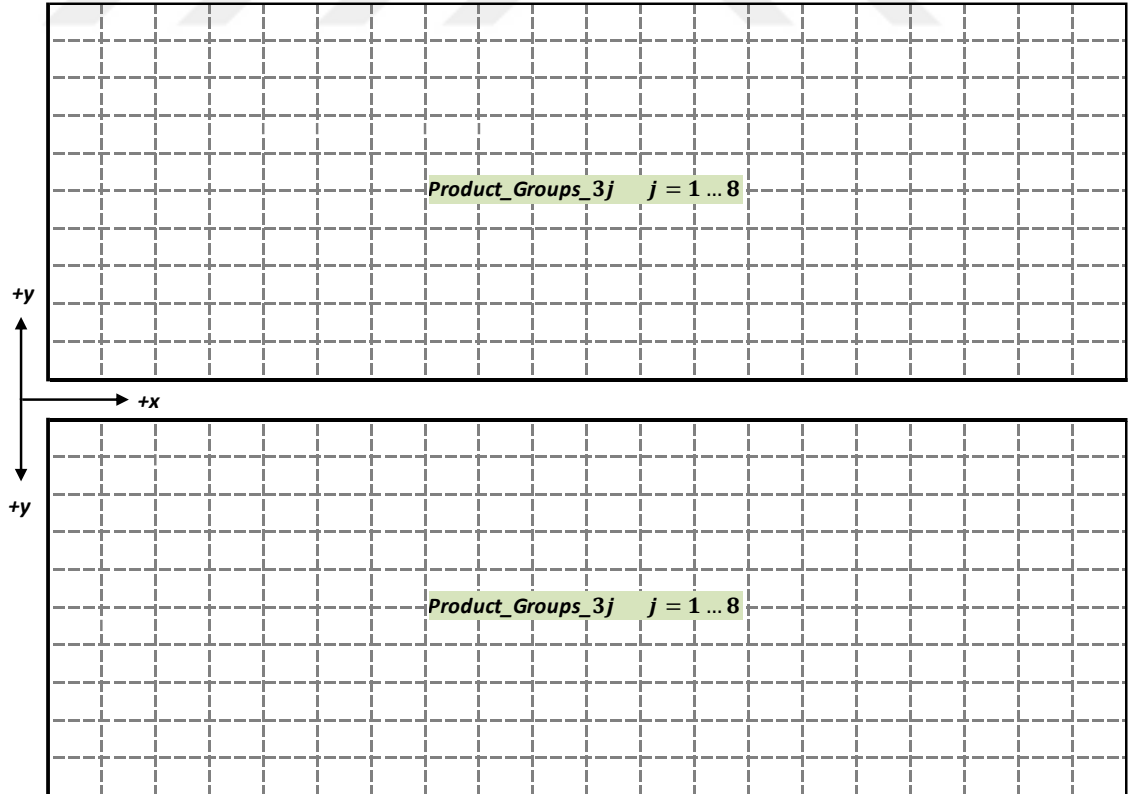
sırasıyla, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te yer almaktadır. Şekil 4.2'de aynı ürün grupları; Şekil 4.3'te ise aynı sınıflar karşılıklı olarak aynı hücelere denk gelecek şekilde (simetrik) yerleştirilmiş olup iki raf bölümünden oluşan raflar şekillerde gösterilmektedir. Üçüncü koridorda ise rassal depo içi atama politikası uygulandığı için ürün gruplarının simetrik bir yerleşimi olmamakla birlikte, Şekil 4.4'te yine rafların iki bölümü de yer almaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken unsur, aynı ürün gruplarının (ya da sınıfların) simetrik olarak yerleştirilebilmesi için 2-boyutlu düzlemde dikkate alınan  $x$  ve  $y$  eksenlerinin yönleridir. D/GA makinesinin, karşılıklı olarak yerleştirilen ürün gruplarına (ya da sınıflara) olan uzaklığının eşit olmasını sağlamak için simülasyon modelinde oluşturulan raf yerleşiminde,  $x$  eksen değeri her iki raf bölümü için de aynı yönde artarken,  $y$  eksen değeri zıt yönlere doğru arttığı varsayılmaktadır. Böylelikle, D/GA makinesinin bulunduğu bir noktadan karşılıklı olarak yerleştirilen ürün gruplarına (ya da ürün gruplarının buldukları hücelere) olan uzaklığı, diğer bir deyişle, ilgili ürün gruplarına ulaşma süresi eşit olmaktadır.



Şekil 4. 2. Atanmış depo içi atama politikası için ürün grubu-hücre atamaları



Şekil 4. 3. Sınıf-tabanlı depo içi atama politikası için ürün grubu-hücre atamaları



Şekil 4. 4. Rassal depo içi atama politikası için ürün grubu-hücre atamaları

“Yöntem” bölümünde detayları yer alan yaklaşımın örneklendirilmesi amacıyla oluşturulan depoya ait genel bilgiler ve görseller yukarıda açıklanmıştır. Ele alınan örnekte simülasyon, tanımlanan sanal varlığın (*Storage\_Demand*) sanal lokasyona (*Dummy\_Location*)  $E(10)$  frekansıyla birer birer sınırsız sayıda gönderilmesi ile başlamaktadır. Bununla birlikte, *Storage\_Demand\_i* varlıklarının ilgili koridor, konveyör ve kuyruklara gönderilmesi ile ürün gruplarının sisteme gelme olasılıklarının, “Yöntem” bölümünde detayları verilen ilgili nitelik ve değişkenler ile tutulduğu belirtilmişti. Bu doğrultuda, başlangıç durumunda SA niteliği ile tutulan ve *Storage\_Demand\_i* varlıkları için kullanılan, *i*. koridora ürün gönderme olasılıkları Çizelge 4.2’de yer alan olasılık dağılımı ile belirlenmektedir. Belirlenen dağılıma göre her koridordaki hücrelere depolanacak olan ürün gruplarının yaklaşık olarak eşit olasılıkla depolandığı varsayılmaktadır.

**Çizelge 4. 2.** Koridorlara ürün gönderilme olasılıkları (*SAD*)

<b>Koridor (<i>i</i>)</b>	<b>Değer (%)</b>
1	33
2	33
3	34

Sanal varlıklardan ürün gruplarına geçişin, ürün gruplarının *Input* lokasyonuna talep edilme olasılıklarına göre gönderilmesiyle sağlanmakta olduğu yine “Yöntem” bölümünde belirtilmişti. Bununla birlikte, her koridorda eşit sayıda olmak üzere toplam 24 farklı ürün grubu sistemde depolanmakta ve ilgili ürün grupları talep edilme olasılıklarına göre sisteme gönderilmektedir. Üç koridorda yer alan hücrelere depolanacak olan ürün gruplarının talep edilme olasılıkları (sisteme gönderilme olasılıkları) Çizelge 4.3’te yer almaktadır. Bu kapsamda, sırasıyla, atanmış ve rassal depo içi atama politikası uygulanan birinci ve üçüncü koridordaki ürün gruplarının talep edilme olasılıklarının eşit (%12,5) olduğu varsayılmaktadır. İkinci koridordaki ürün gruplarına ise sınıf-tabanlı depo içi atama politikası uygulanmış olup, Sınıf-1’de yer alan ürün grubu 1 ve 2’nin talep edilme olasılığının %20; Sınıf-2’de yer alan ürün grubu 3 ve 4’ün %15; Sınıf-3’te yer alan ürün grubu 5 ve 6’nın %10; Sınıf-4’te yer alan ürün grubu 7 ve 8’in %5 olduğu Çizelge 4.3’te görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.3’te de gösterildiği gibi talep

edilme olasılığı yüksek olan ürün gruplarının, giriş ve çıkışa daha yakın konumlandırılmasını sağlayacak şekilde ürün gruplarının yerleşimlerinin yapılmasını sağlamak amacıyla Ashayeri ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada yer alan sınıf-tabanlı depo yerleşim stratejisi dikkate alınarak, bu çalışmadaki örneğe uyarlanmıştır.

**Çizelge 4. 3.** Ürün gruplarının talep edilme olasılıkları (*SPTD<sub>i</sub>*)

1. Koridor		2. Koridor		3. Koridor	
Ürün Grubu	Değer (%)	Ürün Grubu	Değer (%)	Ürün Grubu	Değer (%)
01	12,5	01	20,0	01	12,5
02	12,5	02	20,0	02	12,5
03	12,5	03	15,0	03	12,5
04	12,5	04	15,0	04	12,5
05	12,5	05	10,0	05	12,5
06	12,5	06	10,0	06	12,5
07	12,5	07	5,0	07	12,5
08	12,5	08	5,0	08	12,5

Önerilen yaklaşımda simülasyonun başlatılması ve ürün gruplarının ilgili hücelere depolanmak üzere gönderilmesinden sonra geri-alma sürecine geçilmektedir. “Yöntem” bölümünde belirtildiği gibi depo başlangıçta belirli bir oranda dolduktan sonra geri-alma işlemlerinin başlaması için ısınma periyodunun ya da periyotlarının tanımlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, genel ısınma periyodu çarpanı olan  $Var_{WT}$  için 1000 zaman birimi (dakika) değeri belirlenmiştir. Her koridordaki hücelerin belirli bir doluluk seviyesine ulaşabilmesini sağlamak için koridor bazlı ısınma periyotları belirlenirken kullanılan  $WTC_{ic_i}$  katsayıları ise Çizelge 4.4’te yer almaktadır.

Çizelge 4.4’te yer alan ısınma periyodu katsayıları ile her koridorun depo içi atama politikalarına uygun olarak doluluk oranlarının belirlenmesi istenmektedir. Bu doğrultuda, sırasıyla, atanmış ve rassal depo içi atama politikaları uygulanan birinci ve üçüncü koridor için ısınma periyodu katsayılarının genel ısınma periyodu çarpanı ile çarpılmasıyla 5000 zaman birimlik bir bekleme söz konusu iken; sınıf-tabanlı depo içi

atama politikası uygulanan ikinci koridor için bu süre sınıflara göre farklılık göstermektedir. Bu farklılık, farklı sınıfların talep edilme olasılıklarına göre depolanmak üzere sisteme gönderilmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer bir deyişle, talep edilme olasılığı yüksek olan ürün gruplarının depoya giriş ve çıkışları daha sık gerçekleştiğinden, ilgili ürün gruplarının depolama süreleri daha kısa olmakta ve ürünler daha az sayıda hücreye depolanmaktadır. Başlangıç koşullarında deponun belirli bir oranda dolu olduğu da varsayıldığından, sınıf-tabanlı depo içi atama politikasının uygulandığı koridordaki ısınma periyotları için sınıflardaki ürün gruplarının depolanacağı hücre sayıları ile talep edilme olasılıklarının da dikkate alınması gerekmektedir. Aksi takdirde, talep edilme olasılığı yüksek olan ürün grupları az sayıda hücreye yüksek frekans ile depolanmak üzere geldiğinden, sistemde başlangıç durumunda darboğazların oluşmasına neden olacaktır. Bu sebeple, sınıf-tabanlı depo içi atama politikası için ısınma periyotları belirlenirken, ürün gruplarının atandığı sınıflara ait toplam hücre sayıları ile ilgili sınıfların talep edilme olasılıkları dikkate alınmıştır. Çizelge 4.5'te, ikinci koridorda yer alan sınıfların talep edilme olasılıkları, ilgili sınıfların atandığı toplam hücre sayıları ve sınıfların ısınma periyodu katsayıları verilmektedir. Sınıfların ısınma periyodu katsayıları, sınıfa ait toplam hücre sayısının, ilgili sınıfın talep edilme olasılığına bölünmesiyle elde edilmiştir. Böylece, sınıflara farklı ısınma periyotları atanarak, başlangıç koşullarında deponun belirli bir oranda dolu olması sağlanırken, dar boğazların oluşması da engellenmiş olmaktadır.

**Çizelge 4. 4.** Isınma periyodu katsayıları

<b>Isınma Periyotları</b>	<b>Değer</b>
<i>WTC_11</i>	5
<i>WTC_21</i>	1
<i>WTC_22</i>	2,67
<i>WTC_23</i>	6
<i>WTC_24</i>	16
<i>WTC_31</i>	5



**Çizelge 4. 5.** Sınıf-tabanlı depo içi atama politikası için ısınma periyotları

Sınıf	Ürün Grubu	Talep Edilme Olasılığı (%)	Sınıfın Talep Edilme Olasılığı (%)	Toplam Hücre Sayısı	Katsayı
1	1	20	40	40	1
	2	20			
2	3	15	30	80	2,67
	4	15			
3	5	10	20	120	6
	6	10			
4	7	5	10	160	16
	8	5			

Isınma periyotları, ilgili koridora ait depo içi atama politikalarının dikkate alınmasıyla belirlendikten sonra geri-alma sürecine geçilmektedir. “Yöntem” bölümünde de detaylandırıldığı gibi geri-alma süreci, her ürün grubunun talep edilme olasılığına göre belirlenen depolama süreleri kadar sistemde bekletilmesinden sonra başlamaktadır. Bu doğrultuda, birinci ve ikinci koridorda depolanan ürün gruplarının talep edilme olasılıkları eşit alındığından, depolama süreleri de eşit kabul edilmiştir. Yine “Yöntem” bölümünde detayları verilen ve *Att\_Storage\_Time* niteliği ile tutulan genel depolama süresi, üssel dağılıma göre  $E(7200)$  olarak belirlenmiş olup, birinci ve üçüncü koridordaki ürün gruplarının bekleme süreleri için bu süre doğrudan kullanılmıştır. Bununla birlikte, ısınma periyodunda olduğu gibi bekleme sürelerinde de ikinci koridorda sınıf-tabanlı depo içi atama politikası altında depolanan ürün grupları için farklı bir yaklaşım uygulanmıştır. Sınıf-tabanlı depo içi atama politikasında, her sınıfa ait ürün grubunun farklı talep edilme olasılığı olduğundan depolama süreleri de farklılık göstermektedir. Bu doğrultuda, Çizelge 4.6’da yer alan katsayılar, genel depolama süresi (*Att\_Storage\_Time* niteliği ile tutulan) ile çarpılarak yine Çizelge 4.6’da yer alan ve sınıf-tabanlı depo içi atama için depolama sürelerinin tutulduğu niteliklere (*Att\_Storage\_Time\_CB\_2c<sub>i</sub>*) eşitlenmektedir. Böylelikle, her sınıf için talep edilme olasılıklarının dikkate alındığı depolama süreleri belirlenmiş olmaktadır.

**Çizelge 4. 6.** Sınıf-tabanlı depo içi atama için depolama süresi katsayıları

<b>Nitelik</b>	<b>Katsayı</b>
<i>Att_Storage_Time_CB_21</i>	0,10
<i>Att_Storage_Time_CB_22</i>	0,40
<i>Att_Storage_Time_CB_23</i>	1,60
<i>Att_Storage_Time_CB_24</i>	6,40

Çalışma kapsamında önerilen simülasyon modeli, yukarıda detayları yer alan örnek bir depoda ele alınan her senaryo (depo içi atama politikalarının değişmediği, bekleme noktalarının ise ayrı ayrı değerlendirildiği) için 30 replikasyon ile 1300 saat/replikasyon (çalıştırma süresi 1000, ısınma periyodu 300 saat) çalıştırılmıştır. Simülasyon çalıştırılırken herhangi bir zaman diliminde elde edilen ekran görüntüleri ise her koridor için sırasıyla Ek 3, 4 ve 5'te yer almaktadır. Simülasyon modeli oluşturulurken 2-boyutlu depo ürün yerleşimi dikkate alındığından, ekranda yer alan simülasyon ekran görüntülerinde rafların  $x$  ve  $y$  eksenleri görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi ürün yerleşimleri simetrik olarak yapıldığından (üçüncü koridor dışında) aynı ürün grupları karşılıklı olacak şekilde raflara yerleştirilmiş olup, ürün gruplarının yerleştirilme mantığı Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4 için yapılan açıklamalarda yer almaktadır.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar yorumlanırken sistem performansını etkileyen parametreler dikkate alınmış olup, ürünlerin giriş ve çıkışlarının sonuçlara olan etkisi ihmal edilmiştir. Bu doğrultuda, her koridordaki farklı depo içi atama politikası için ürünlerin sistemde geçirdikleri ortalama zamanı (dakika cinsinden), D/GA makinesinin ortalama seyahat süresini (saat cinsinden) ve D/GA makinesi kullanım oranlarını içeren sonuçlar dikkate alınmıştır. Ürünlerin sistemde geçirdikleri ortalama süreler, her depo içi atama politikasına göre, sırasıyla, Çizelge 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmektedir. Çizelge 4.8'de yer alan sonuçlarda, sınıf-tabanlı depo içi atama politikası altında depolanan ürün gruplarının sistemde geçirdikleri ortalama sürelerin, talep edilme olasılıklarıyla doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Talep edilme olasılığı yüksek olan ürün grupları sistemde daha az zaman geçirmekteyken, talep edilme olasılığı düşük olan ürün grupları sistemde daha uzun zaman geçirmektedir. Öte yandan, atanmış depo içi atama politikası ve rassal depo içi atama politikası altında depolanan ürün gruplarının, sisteme gelme olasılıklarının

eşit olduğu göz önüne alındığında, sistemde geçirdikleri süreler arasında büyük farklılıkların oluşmaması beklenmektedir. Atanmış depo içi atama politikası ve rassal depo içi atama politikası sonuçlarının yer aldığı Çizelge 4.7 ve 4.9'daki sonuçlara göre de her iki depo içi atama politikası altında depolanan ürün gruplarının sistemde geçirdikleri ortalama sürelerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4. 7.** Atanmış depo içi atama politikası için sistemde geçirilen ortalama süre

Ürün Grubu	Replikasyon	Bekleme Noktası (Giriş)	Bekleme Noktası (Orta)	Bekleme Noktası (Çıkış)
01	Ortalama	7135,79	7221,66	7242,52
	S. Sapma	481,65	507,13	470,00
	95% G.A. Düşük	6955,94	7032,29	7067,02
	95% G.A. Yüksek	7315,64	7411,02	7418,02
02	Ortalama	7089,71	7125,24	7145,39
	S. Sapma	509,87	522,82	474,47
	95% G.A. Düşük	6899,33	6930,01	6968,22
	95% G.A. Yüksek	7280,10	7320,46	7322,56
03	Ortalama	7135,63	7019,85	6922,92
	S. Sapma	461,48	382,05	543,83
	95% G.A. Düşük	6963,31	6877,19	6719,84
	95% G.A. Yüksek	7307,95	7162,51	7125,99
04	Ortalama	7202,63	7123,28	7056,17
	S. Sapma	353,93	539,59	443,58
	95% G.A. Düşük	7070,47	6921,79	6890,54
	95% G.A. Yüksek	7334,78	7324,77	7221,81
05	Ortalama	7066,78	7101,37	7183,04
	S. Sapma	446,23	503,28	561,00
	95% G.A. Düşük	6900,15	6913,45	6973,55
	95% G.A. Yüksek	7233,41	7289,30	7392,52
06	Ortalama	7202,72	7185,79	7283,49
	S. Sapma	478,07	332,41	418,58
	95% G.A. Düşük	7024,20	7061,66	7127,18
	95% G.A. Yüksek	7381,23	7309,91	7439,79
07	Ortalama	7051,89	6986,66	7085,94
	S. Sapma	438,57	360,83	424,50
	95% G.A. Düşük	6888,12	6851,92	6927,43
	95% G.A. Yüksek	7215,65	7121,40	7244,45
08	Ortalama	7143,97	7134,47	7146,86
	S. Sapma	421,76	399,96	312,95
	95% G.A. Düşük	6986,49	6985,12	7030,00
	95% G.A. Yüksek	7301,46	7283,82	7263,72

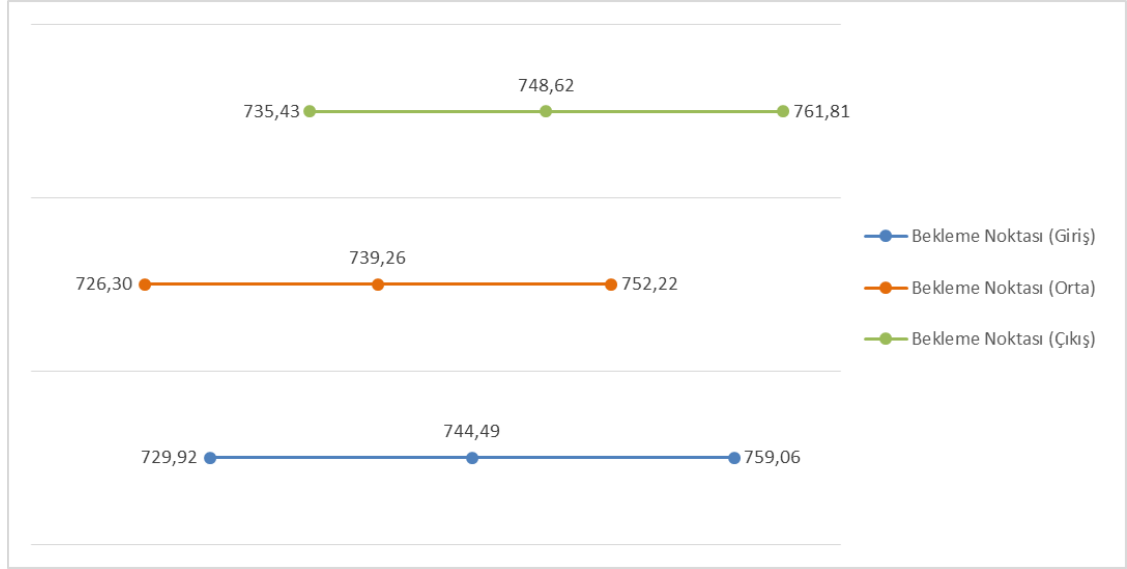
**Çizelge 4. 8.** Sınıf-tabanlı depo içi atama politikası için sistemde geçirilen ortalama süre

Ürün Grubu	Replikasyon	Bekleme Noktası (Giriş)	Bekleme Noktası (Orta)	Bekleme Noktası (Çıkış)
01	Ortalama	744,49	739,26	748,62
	S. Sapma	39,02	34,70	35,32
	95% G.A. Düşük	729,92	726,30	735,43
	95% G.A. Yüksek	759,06	752,22	761,81
02	Ortalama	732,14	731,49	732,41
	S. Sapma	41,10	24,75	34,36
	95% G.A. Düşük	716,79	722,25	719,58
	95% G.A. Yüksek	747,49	740,73	745,24
03	Ortalama	2925,72	2891,70	2856,47
	S. Sapma	162,23	177,21	203,45
	95% G.A. Düşük	2865,15	2825,52	2780,50
	95% G.A. Yüksek	2986,30	2957,87	2932,44
04	Ortalama	2884,08	2806,34	2903,37
	S. Sapma	155,23	132,19	175,75
	95% G.A. Düşük	2826,11	2756,98	2837,75
	95% G.A. Yüksek	2942,04	2855,70	2969,00
05	Ortalama	10476,53	10630,99	10436,29
	S. Sapma	733,98	558,62	683,84
	95% G.A. Düşük	10202,46	10422,40	10180,94
	95% G.A. Yüksek	10750,61	10839,58	10691,64
06	Ortalama	10665,35	10598,78	10536,14
	S. Sapma	664,25	621,98	694,51
	95% G.A. Düşük	10417,32	10366,53	10276,81
	95% G.A. Yüksek	10913,39	10831,04	10795,48
07	Ortalama	22557,67	22984,07	23396,14
	S. Sapma	2053,80	2152,77	1928,87
	95% G.A. Düşük	21790,77	22180,21	22675,89
	95% G.A. Yüksek	23324,57	23787,93	24116,39
08	Ortalama	22619,07	22888,87	22109,18
	S. Sapma	2117,98	2645,73	2371,25
	95% G.A. Düşük	21828,20	21900,94	21223,74
	95% G.A. Yüksek	23409,93	23876,80	22994,62

**Çizelge 4. 9.** Rassal depo içi atama politikası için sistemde geçirilen ortalama süre

Ürün Grubu	Replikasyon	Bekleme Noktası	Bekleme Noktası	Bekleme Noktası
		(Giriş)	(Orta)	(Çıkış)
01	Ortalama	7230,71	7127,63	7085,38
	S. Sapma	389,38	343,59	424,26
	95% G.A. Düşük	7085,31	6999,33	6926,96
	95% G.A. Yüksek	7376,11	7255,93	7243,80
02	Ortalama	7005,63	6963,81	7099,48
	S. Sapma	461,05	457,04	512,64
	95% G.A. Düşük	6833,47	6793,15	6908,06
	95% G.A. Yüksek	7177,79	7134,48	7290,91
03	Ortalama	7114,11	7077,80	7024,05
	S. Sapma	358,73	358,86	366,08
	95% G.A. Düşük	6980,16	6943,80	6887,36
	95% G.A. Yüksek	7248,06	7211,80	7160,75
04	Ortalama	7294,41	7112,29	7271,87
	S. Sapma	394,72	399,02	466,34
	95% G.A. Düşük	7147,02	6963,29	7097,74
	95% G.A. Yüksek	7441,80	7261,29	7446,00
05	Ortalama	7110,49	7039,98	6995,48
	S. Sapma	343,42	409,81	378,00
	95% G.A. Düşük	6982,26	6886,95	6854,33
	95% G.A. Yüksek	7238,72	7193,00	7136,63
06	Ortalama	7117,39	6974,46	7158,08
	S. Sapma	376,19	385,55	418,25
	95% G.A. Düşük	6976,92	6830,49	7001,90
	95% G.A. Yüksek	7257,86	7118,42	7314,25
07	Ortalama	7118,14	7115,23	7080,94
	S. Sapma	421,26	399,87	404,82
	95% G.A. Düşük	6960,84	6965,91	6929,77
	95% G.A. Yüksek	7275,44	7264,54	7232,10
08	Ortalama	7164,47	7203,92	7120,60
	S. Sapma	479,43	398,71	295,36
	95% G.A. Düşük	6985,45	7055,04	7010,31
	95% G.A. Yüksek	7343,50	7352,80	7230,90

Çizelge 4.7, 4.8 ve 4.9’da yer alan sonuçlara göre ürün gruplarının farklı bekleme noktalarında sistemde geçirdikleri ortalama süreleri arasında anlamlı farklar oluşmadığı görülmektedir. Örneğin, sınıf-tabanlı depo içi atama politikası altında depolanan *Product\_Groups\_21* için Şekil 4.5’e bakıldığında, belirlenen farklı bekleme noktalarında elde edilen sonuçlara göre güven aralıklarının çakıştığı, dolayısıyla anlamlı bir farkın oluşmadığı görülmektedir. Aynı durumun, diğer depo içi atama politikaları altında depolanan tüm ürün grupları için de Çizelge 4.7, 4.8 ve 4.9’da verilen sonuçlardan yola çıkılarak geçerli olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, burada hangi bekleme noktasının hangi depo içi atama politikası altında daha iyi sonuç verdiğini yorumlamak doğru bir yaklaşım olmayacaktır.



**Şekil 4. 5.** Güven aralıkları (*Product\_Groups\_21, i = 2*)

Ele alınan örnekte, performans ölçütü olarak ürün gruplarının sistemde geçirdikleri ortalama sürelerin yanında, D/GA makinelerinin kullanımdayken seyahat ettikleri süreler ile makinelerin kullanım yüzdeleri de dikkate alınmış olup sonuçlar, sırasıyla, Çizelge 4.10 ve 4.11’de yer almaktadır.

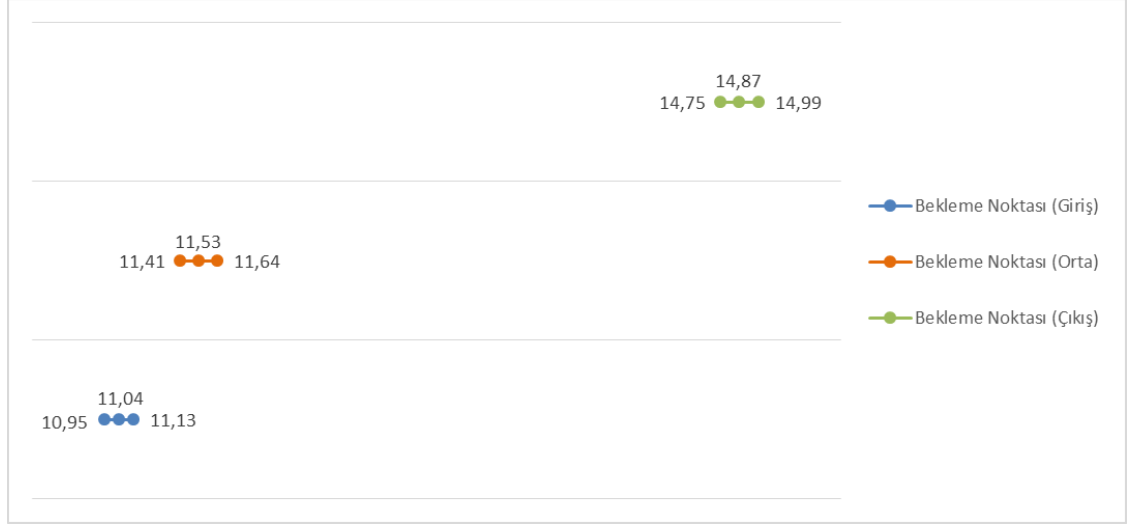
**Çizelge 4. 10.** D/GA makinesinin kullanımdayken seyahat ettiği ortalama süre

	Replikasyon	Bekleme Noktası (Giriş)	Bekleme Noktası (Orta)	Bekleme Noktası (Çıkış)
<b>Atanmış Depo İçi Atama Politikası (Crane_1)</b>	Ortalama	0,01	0,01	0,02
	Min	0,01	0,01	0,02
	Maks	0,01	0,01	0,02
	S. Sapma	0	0	0
	95%G.A.Düşük	0,01	0,01	0,02
	95%G.A.Yüksek	0,01	0,01	0,02
	<b>Sınıf-tabanlı Depo İçi Atama Politikası (Crane_2)</b>	Ortalama	0,01	0,01
Min		0,01	0,01	0,02
Maks		0,01	0,01	0,02
S. Sapma		0	0	0
95%G.A.Düşük		0,01	0,01	0,02
95%G.A.Yüksek		0,01	0,01	0,02
<b>Rassal Depo İçi Atama Politikası (Crane_3)</b>		Ortalama	0,01	0,01
	Min	0,01	0,01	0,02
	Maks	0,01	0,01	0,02
	S. Sapma	0	0	0
	95%G.A.Düşük	0,01	0,01	0,02
	95%G.A.Yüksek	0,01	0,01	0,02

**Çizelge 4. 11.** D/GA makinesinin kullanım yüzdesi (%)

	Replikasyon	Bekleme Noktası (Giriş)	Bekleme Noktası (Orta)	Bekleme Noktası (Çıkış)
<b>Atanmış Depo İçi Atama Politikası</b> (Crane_1)	Ortalama	10,68	11,23	14,42
	Min	10,32	10,60	13,97
	Maks	11,06	11,55	15,21
	S. Sapma	0,19	0,23	0,31
	95%G.A.Düşük	10,61	11,15	14,31
	95%G.A.Yüksek	10,76	11,32	14,54
<b>Sınıf-tabanlı Depo İçi Atama Politikası</b> (Crane_2)	Ortalama	9,49	10,47	13,24
	Min	9,02	9,88	12,80
	Maks	10,14	11,00	13,98
	S. Sapma	0,21	0,23	0,29
	95%G.A.Düşük	9,41	10,38	13,13
	95%G.A.Yüksek	9,56	10,56	13,35
<b>Rassal Depo İçi Atama Politikası</b> (Crane_3)	Ortalama	11,04	11,53	14,87
	Min	10,66	10,70	14,24
	Maks	11,49	12,04	15,59
	S. Sapma	0,24	0,31	0,32
	95%G.A.Düşük	10,95	11,41	14,75
	95%G.A.Yüksek	11,13	11,64	14,99

Elde edilen sonuçlarda, farklı depo içi atama politikaları ve farklı bekleme noktalarına göre makinelerin seyahat ettiği ortalama sürelerin birbirlerinden çok farklı olmadığı gözlemlenmektedir. Diğer bir yandan, makine kullanım yüzdelerinde anlamlı farkların oluştuğu görülmekle birlikte, örnek bir güven aralığı Şekil 4.6’da verilmiştir. Rassal depo içi atama politikası altında depolanan ürün grupları için belirlenen farklı bekleme noktaları sonuçlarının yer aldığı şekilde, güven aralıklarının çakışmadığı, dolayısıyla anlamlı farklılıkların olabileceği gösterilmektedir. Benzer durumun, diğer depo içi atama politikaları için de geçerli olduğu göz önüne alındığında makine kullanım yüzdeleri için yorum yapılabilir. Bu durumda, farklı bekleme noktaları ile çalıştırılan simülasyon modelinde, giren ve çıkan ürün sayılarının da yaklaşık olarak eşit olduğu tutulan değişkenler ile bilinmekte olduğundan, makine kullanım yüzdesi düşük olan bekleme noktasının daha iyi performansa sahip olduğu söylenebilir. Tüm depo içi atama politikalarında makine bekleme noktası giriş konumundayken kullanım yüzdesinin daha düşük olduğu görülmektedir.



**Şekil 4. 6.** Güven aralıkları (Rassal depo içi atama politikası,  $i = 3$ )

Bu çalışmada, genel olarak OD/GA sistemlerinin simülasyon ile modellenmesi üzerinde durulmuştur. Simülasyon ile modelleme için bir yaklaşım geliştirilmiş olup, önerilen yaklaşım örnek bir depo üzerinde örneklendirilmiştir. Yapılan çalışmanın amacı, OD/GA sistemleri için simülasyon ile modelleme alt yapısını geliştirmek olduğundan ele alınan örnekte farklı durumlar altında sistem simüle edilmiştir. Bu doğrultuda, kontrol parametrelerinden olan D/GA makinesi bekleme noktası ile depo içi atama politikalarının farklı kombinasyonları ele alınarak ilgili parametrelerin sistem üzerindeki etkisi analiz edilmeye çalışılmıştır. Ancak, model örneklendirilirken farklı kurgulardaki sistemlerin çalışması baz alındığından örneğin gerçek hayatta birebir karşılığı bulunmamaktadır. Ele alınan örnek deponun simülasyon ile performans analizi yapılırken aynı depoda bulunan koridorlara, farklı depo içi atama politikasının uygulanması ve ilgili politikaların karşılaştırılmaya çalışılması doğru bir sonuç vermeyebilir. Bununla birlikte, ele alınan atama politikaları altında depolanan ürün gruplarının sisteme giriş çıkışlarının sonuçlara olan etkisinin de ihmal edilmesinden dolayı hangi depo içi atama politikasının hangi D/GA makinesi bekleme noktasında daha iyi sonuç verdiğini yorumlamak doğru bir yaklaşım olmayabilir. Dolayısıyla, tek depo içi atama politikasının uygulandığı bir OD/GA sisteminde hangi bekleme noktasının hangi depo içi atama politikası altında daha iyi sonuç verdiğini araştırmak daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Bu doğrultuda, tek depo içi atama politikasının uygulandığı bir sistem üzerinde en iyi D/GA makinesi bekleme noktasının belirlenmesi için çalışılmaktadır.



## 5. SONUÇ

OD/GA sistemleri, hem üretim hem dağıtım ortamlarında ürünlerin depolanması ve geri-alınması için 1950'lerden günümüze kadar yaygın bir şekilde kullanılan sistemlerdir. Bir OD/GA sistemi, malzemeleri belirli bir otomasyon derecesinde hassas, doğru ve hızlı bir şekilde işleyen, depolayan ve geri-alan ekipman ve kontrollerin birleşimi olarak tanımlanabilir. Bir OD/GA sisteminde amaç, bilgisayar kontrolünde hızlı yük erişimi ile yüksek yoğunlukta depolama sağlamaktır. İmalat, depolama ve dağıtım merkezlerinde kullanılan OD/GA sistemleri, verimli çalışacak ve ürünlerin depolanması ve geri-alınması için hızlı tepki verecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu sistemlerin, diğer depo sistemlerine göre alanın verimli kullanılması, işçilik maliyetlerinin azaltılması, hata oranının düşürülmesi, yüksek stok seviyesine sahip olması, müşteri taleplerine hızlı cevap vermesi vb. gibi avantajları bulunmaktadır. Diğer bir yandan, OD/GA sistemleri tasarımının değiştirilme zorluğu ile birlikte sistemin yüksek maliyetli olması da bu sistemlerin dezavantajları arasında yer almaktadır. Dolayısıyla, OD/GA sistemleri tasarımının, sistem ihtiyaçlarını karşılayacak bir şekilde yapılması önem arz etmektedir.

OD/GA sistemini kullanacak olan müşterilerden gelen istek ve kısıtların, fiziksel tasarım ve kontrol parametrelerinin belirlenmesinde rol oynamasının yanında, sistem ile ilgili belirsizliklerin de olması OD/GA sistemi tasarımını karmaşık bir hale getirmektedir. Tüm bu unsurlar dikkate alındığında, OD/GA sistemi tasarımı karmaşık bir optimizasyon problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Farklı tasarım ve kontrol parametrelerinin hem birbirleriyle olan ilişkilerini hem de ilgili parametrelerin sistem üzerindeki etkisini görmek amacıyla da ilgili karmaşık optimizasyon probleminin çözümü gerekmektedir. Problem genel olarak daha dar kapsamda ele alındığında, bu tür bir optimizasyon probleminin çözümü için analitik modellerin kullanıldığı görülmektedir. Ancak, problem karmaşıklığı arttığında, en uygun çözümü geleneksel yöntemler ve deneyimlerle bulmak zorlaştığı gibi böyle bir problemi çözme süreci de uzun zaman almaktadır. Dolayısıyla, analitik modellerin yanında, karmaşık problemlerin çözümü için sıklıkla simülasyon modellerinin de kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada, OD/GA sistemlerinin simülasyonu ele alınmakta olup, simülasyon modelinin oluşturulması için bir yaklaşım önerilmektedir. Çalışmada, daha çok OD/GA sistemlerinin simülasyon ile modellenmesi için altyapı oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu altyapı kullanılarak farklı depo içi atama politikaları ve D/GA makinesi bekleme noktalarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, önerilen yaklaşımın örneklendirilmesi amacıyla gerçek hayatta birebir karşılığı olmayan bir örnek ele alınarak üç koridor, üç D/GA makinesi ve ayrı giriş ve çıkış noktalarından oluşan bir depo oluşturulmuştur. Depoda, her koridorda eşit sayıda olmak üzere toplam 24 farklı ürün grubunun, üç koridorda da farklı depo içi atama politikaları altında depolandığı varsayılmıştır. Bu doğrultuda, atanmış, sınıf-tabanlı ve rassal depo içi atama politikaları dikkate alınmış olup senaryo parametresi olarak D/GA makinesi için üç farklı bekleme noktası (giriş, orta ve çıkış noktaları) belirlenmiştir. Böylece, farklı depo içi atama politikalarının uygulandığı bir depoda, ürün gruplarının depolanması ve geri-alınmasında kullanılan D/GA makinelerinin farklı bekleme noktalarının sistem performansı üzerindeki etkisinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Sistem simülasyonundan elde edilen sonuçlar, sistem performansı açısından yorumlanmıştır. Gelecek çalışmalarda, geliştirilen simülasyon modelinin altyapısı kullanılarak farklı stratejilerin dikkate alınması ve bunların kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi amaçlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Ashayeri, J., Heuts, R. M., Valkenburg, M. W. T., Veraart, H. C., Wilhelm, M. R. 2002.** A geometrical approach to computing expected cycle times for zone-based storage layouts in AS/RS. *International Journal of Production Research*, 40(17): 4467-4483.
- Azzi, A., Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F. 2011.** Innovative travel time model for dual-shuttle automated storage/retrieval systems. *Computers & Industrial Engineering*, 61(3): 600-607.
- Bahrami, B., Aghezzaf, E. H., Limere, V. 2014.** Simulation based performance analysis of an end-of-aisle automated storage and retrieval system. 3rd International Conference on Operations Research and Enterprise Systems (ICORES 2014), 334-341.
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B. L., Nicol, D. 2004.** Discrete-event system simulation. *Paperback: Prentice Hall*.
- Bozer, Y. A., White, J. A. 1984.** Travel-time models for automated storage/retrieval systems. *IIE Transactions*, 16(4): 329-338.
- Çavdur, F., Değirmen, S., Şener, E. 2018.** Depolama ve geri-alma makinesi bekleme noktası optimizasyonu: atanmış depolama politikası durumu. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(2): 183-202.
- Değirmen, S., Çavdur, F., Şener, E. 2018.** Otomatik depolama ve geri-alma sistemlerinde depolama ve geri-alma makinesi bekleme noktası optimizasyonu: sınıf-tabanlı depolama politikası durumu. 7.Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, 3-5 Mayıs 2018, Bursa.
- Eldemir, F., Graves, R. J., Malmborg, C. J. 2003.** A comparison of alternative conceptualizing tools for automated storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 41(18): 4517-4539.
- Egbelu, P. J. 1991.** Framework for dynamic positioning of storage/retrieval machines in an automated storage/retrieval system. *The International Journal of Production Research*, 29(1): 17-37.
- Egbelu, P. J., Wu, C. T. 1993.** A comparison of dwell point rules in an automated storage/retrieval system. *The International Journal of Production Research*, 31(11): 2515-2530.
- Ekren, B. Y., Sari, Z., Lerher, T. 2015.** Warehouse design under class-based storage policy of shuttle-based storage and retrieval system. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3): 1152-1154.
- Fan, W., Dongfen, G., Shujuan, T., Hong, H., Xiao, C. 2015.** Travel time model of the storage/retrieval machine for multi-deep AS/RS based on Flexsim. *Open Cybernetics & Systemics Journal*, 9: 1833-1839.
- Gagliardi, J. P., Renaud, J., Ruiz, A. 2012a.** Models for automated storage and retrieval systems: a literature review. *International Journal of Production Research*, 50(24): 7110-7125.

- Gagliardi, J. P., Renaud, J., Ruiz, A. 2012b.** On storage assignment policies for unit-load automated storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 50(3): 879-892.
- Gagliardi, J. P., Renaud, J., Ruiz, A. 2014.** A simulation modeling framework for multiple-aisle automated storage and retrieval systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25(1): 193-207.
- Ghomri, L., Sari, Z. 2015.** Mathematical modeling of retrieval travel time for flow-rack automated storage and retrieval systems, *IFAC-PapersOnLine*, 48(3): 1906-1911.
- Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L. F. 2007.** Research on warehouse operation: a comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1): 1-21.
- Guo, S. M., Liu, T. P. 2008.** Simulation evaluation of single shuttle and twin shuttle AS/RS. *IJEBM*, 6(2): 106-115.
- Hamzaoui, M. A., Sari, Z. 2015.** Optimal dimensions minimizing expected travel time of a single machine flow rack AS/RS, *Mechatronics*, 31: 158-168.
- Han, M. H., McGinnis, L. F., Shieh, J. S., White, J. A. 1987.** On sequencing retrievals in an automated storage/retrieval system. *IIE transactions*, 19(1): 56-66.
- Hur, S., Lee, Y. H., Lim, S. Y., Lee, M. H. 2004.** A performance estimation model for AS/RS by M/G/1 queuing system. *Computers & Industrial Engineering*, 46(2): 233-241.
- Hwang, H., Lim, J. M. 1993.** Deriving an optimal dwell point of the storage/retrieval machine in an automated storage/retrieval system. *The International Journal of Production Research*, 31(11): 2591-2602.
- Ko, M., Park, S. C., Chang, M. 2013.** Control level simulation of an automatic storage and retrieval system in the automotive industry. *Concurrent Engineering*, 21(1): 13-25.
- Kulturel, S., Ozdemirel, N. E., Sepil, C., Bozkurt, Z. 1999.** Experimental investigation of shared storage assignment policies in automated storage/retrieval systems. *IIE Transactions*, 31(8): 739-749.
- Law, A. M., Kelton, W. D., Kelton, W. D. 2007.** Simulation modeling and analysis. McGraw-Hill, New York.
- Lerher, T., Sraml, M., Kramberger, J., Potrc, I., Borovinsek, M., Zmazek, B. 2006.** Analytical travel time models for multi aisle automated storage and retrieval systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30(3-4): 340-356.
- Lerher, T., Sraml, M., Potrc, I. 2011.** Simulation analysis of mini-load multi-shuttle automated storage and retrieval systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54(1-4): 337-348.
- Lerher, T., Sraml, M., Potrc, I., Tollazzi, T. 2010a.** Travel time models for double-deep automated storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 48(11): 3151-3172.
- Lerher, T., Potrc, I., Sraml, M., Tollazzi, T. 2010b.** Travel time models for automated warehouses with aisle transferring storage and retrieval machine. *European Journal of Operational Research*, 205(3): 571-583.

- Linn, R. J., Xie, X. 1993.** A simulation analysis of sequencing rules for ASRS in a pull-based assembly facility. *International Journal of Production Research*, 31(10): 2355-2367.
- Manzini, R., Gamberi, M., Regattieri, A. 2006.** Design and control of an AS/RS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(7-8): 766-774.
- Meller, R. D., Mungwattana, A. 2005.** AS/RS dwell-point strategy selection at high system utilization: A simulation study to investigate the magnitude of the benefit. *International Journal of Production Research*, 43(24): 5217-5227.
- Meneghetti, A., Monti, L. 2013.** Sustainable storage assignment and dwell-point policies for automated storage and retrieval systems. *Production Planning & Control*, 24(6): 511-520.
- Park, B. C. 1999.** Optimal dwell point policies for automated storage/retrieval systems with dedicated storage. *IIE Transactions*, 31(10): 1011-1113.
- Park, B. C. 2001.** An optimal dwell point policy for automated storage/retrieval systems with uniformly distributed, rectangular racks. *International Journal of Production Research*, 39(7): 1469-1480.
- Peters, B. A., Smith, J. S., Hale, T. S. 1996.** Closed form models for determining the optimal dwell point location in automated storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research*, 34(6): 1757-1771.
- Potrc, I., Lerher, T., Kramberger, J., Sraml, M. 2004.** Simulation model of multi-shuttle automated storage and retrieval systems. *Journal of Materials Processing Technology*, 157: 236-244.
- Randhawa, S. U., Shroff, R. 1995.** Simulation-based design evaluation of unit load automated storage/retrieval systems. *Computers & Industrial Engineering*, 28(1): 71-79.
- Regattieri, A., Santarelli, G., Manzini, R., Pareschi, A. 2013.** The impact of dwell point policy in an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 51(14): 4336-4348.
- Roodbergen, K. J., Vis, I. F. 2009.** A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 194(2): 343-362.
- Rosenblatt, M. J., Roll, Y., Vered Zyser, D. 1993.** A combined optimization and simulation approach for designing automated storage/retrieval systems. *IIE Transactions*, 25(1): 40-50.
- Sari, Z., Saygin, C., Ghouali, N. 2005.** Travel-time models for flow-rack automated storage and retrieval systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(9): 979-987.
- Sarker, B. R., Babu, P. S. 1995.** Travel time models in automated storage/retrieval systems: A critical review. *International Journal of Production Economics*, 40(2-3): 173-184.
- Schenone, M., Mangano, G., Grimaldi, S. 2016.** A simulation approach for computing travel times of warehousing systems: application for AS/RS in a class-based storage configuration. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 7(4): 79-94.

- Tang, X. Y., Yang, L. L., Zhang, J. J., Shi, J., Chen, L. C. 2013.** Research on AS/RS simulation based on Flexsim. *Applied Mechanics and Materials*, 347: 406-410.
- Van Den Berg, J. P. 2002.** Analytic expressions for the optimal dwell point in an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Economics*, 76(1): 13-25.
- Van Den Berg, J. P., Gademann, A. J. R. M. 2000.** Simulation study of an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 38(6): 1339-1356.
- Vasili, M., Hong, T. S., Homayouni, S. M., Ismail, N. 2008.** A statistical model for expected cycle time of SP-AS/RS: an application of Monte Carlo simulation. *Applied Artificial Intelligence*, 22(7-8): 824-840.
- Vasili, M. R., Tang, S. H., Vasili, M. 2012.** Automated storage and retrieval systems: a review on travel time models and control policies. *Warehousing in the Global Supply Chain*, 159-209.
- Yan, B., Lee, D. 2009.** AS/RS simulation and optimization based on Flexsim. Intelligent Systems and Applications, International Workshop, 23-24 May, Wuhan, China.
- Yin, Y. L., Rau, H. 2006.** Dynamic selection of sequencing rules for a class-based unit-load automated storage and retrieval system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(11-12): 1259-1266.
- Zhou, G., Mao, L. 2010.** Design and simulation of storage location optimization module in AS/RS based on FLEXSIM. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 2(2): 33.

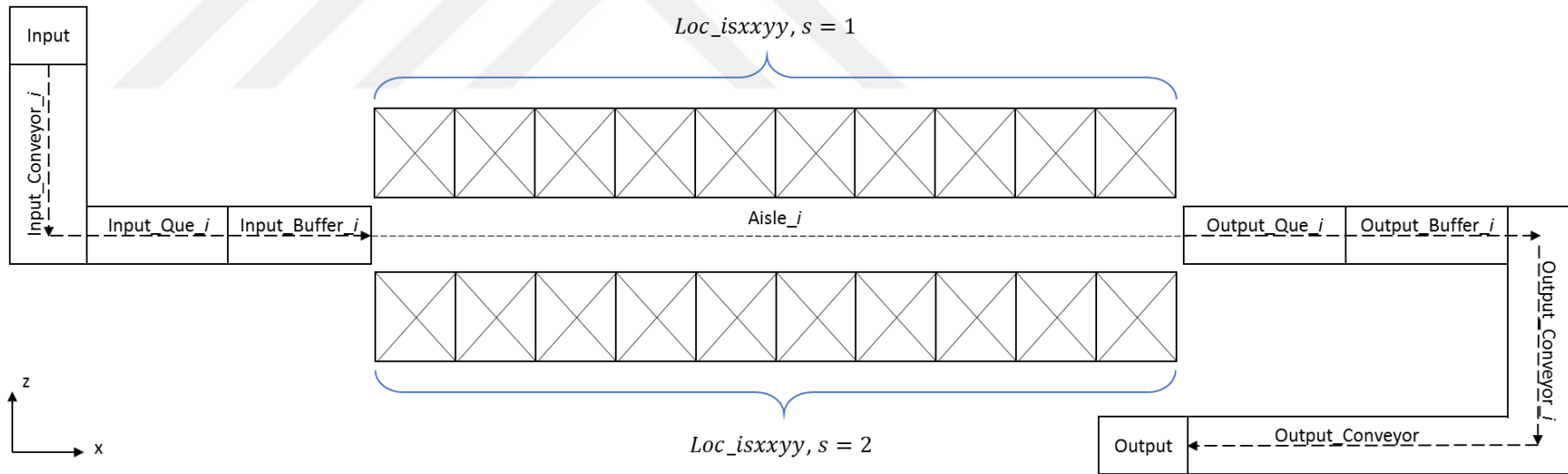
## EKLER

### Sayfa

EK 1 Lokasyonların Örnek Gösterimi .....	61
EK 2 Depo Tasarımı (Üstten Görünüş).....	62
EK 3 Birinci Koridor ( $i = 1$ ) için Simülasyon Ekran Görüntüsü.....	63
EK 4 İkinci Koridor ( $i = 2$ ) için Simülasyon Ekran Görüntüsü.....	64
EK 5 Üçüncü Koridor ( $i = 3$ ) için Simülasyon Ekran Görüntüsü .....	65

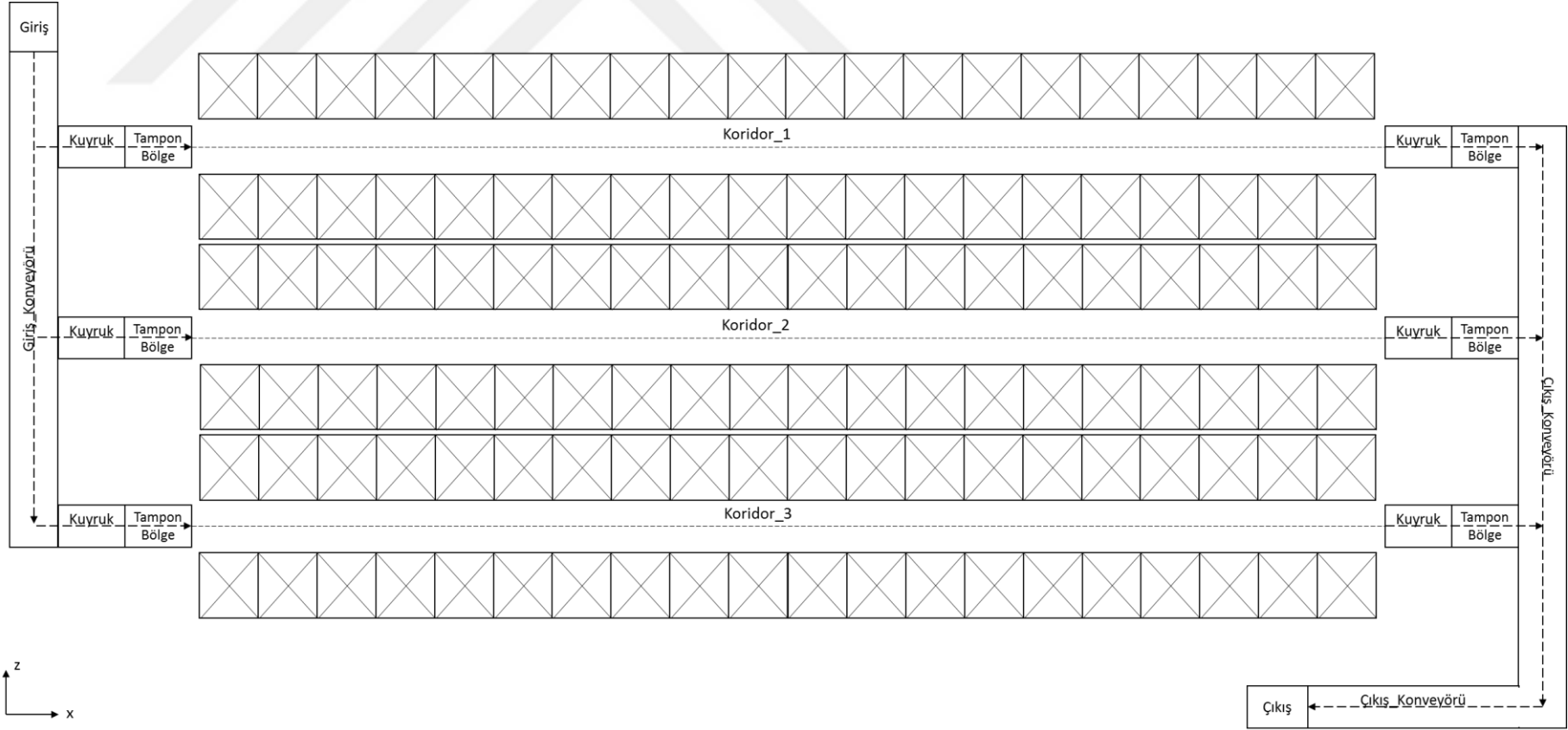


## EK 1 Lokasyonların Örnek Gösterimi





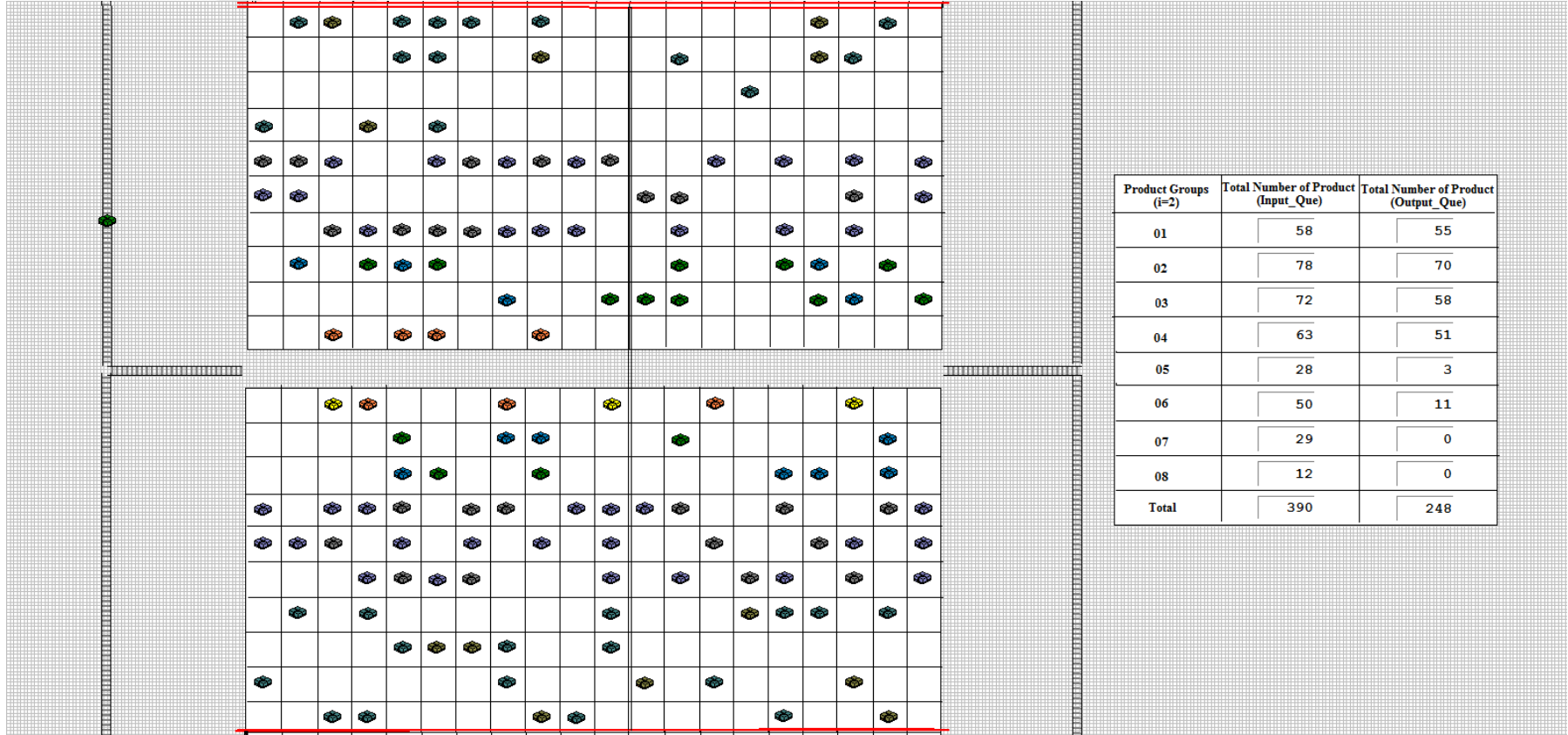
## EK 2 Depo Tasarımı (Üstten Görünüş)



### EK 3 Birinci Koridor (i = 1) için Simülasyon Ekran Görüntüsü

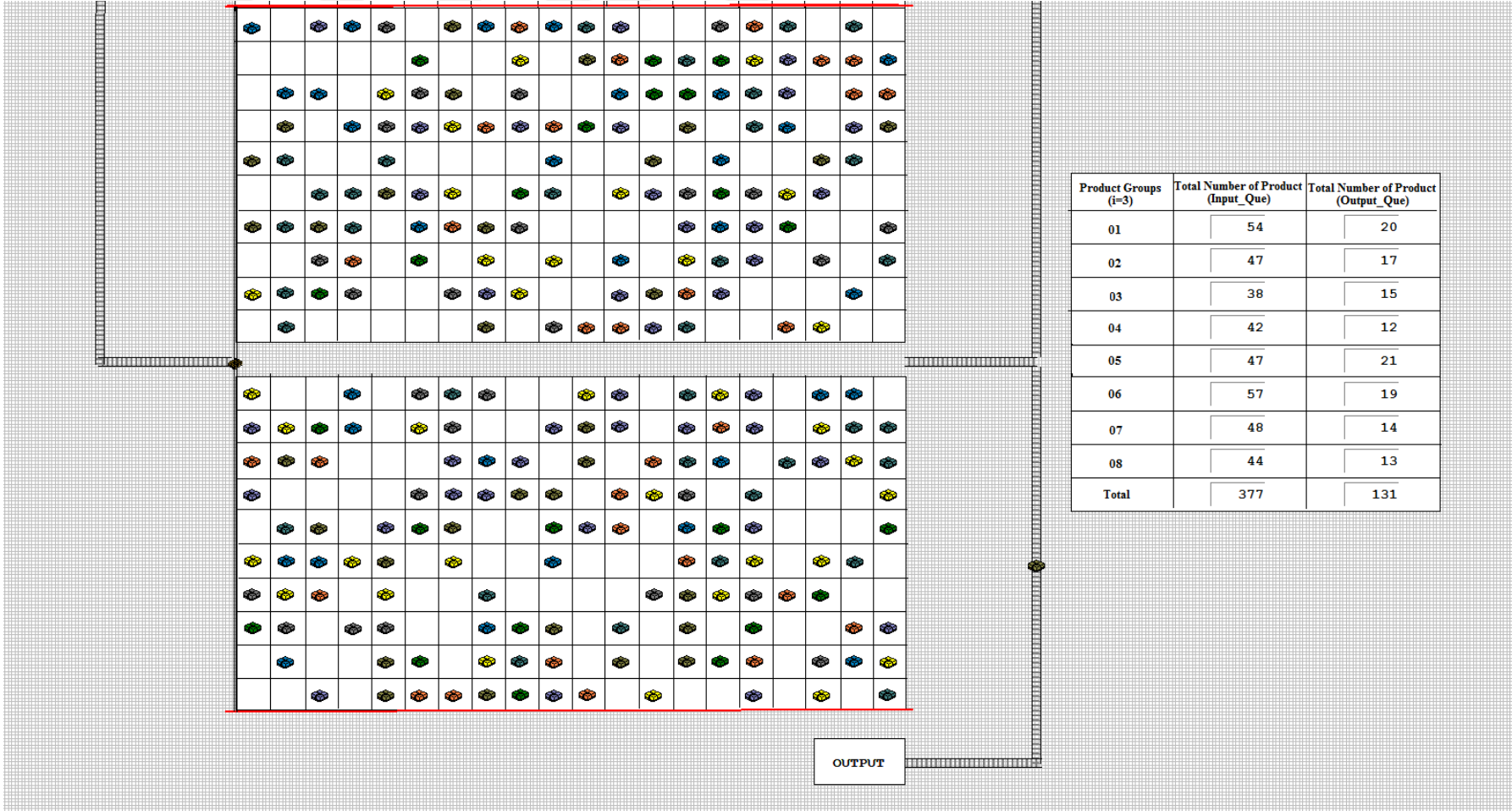


## EK 4 İkinci Koridor ( $i = 2$ ) için Simülasyon Ekran Görüntüsü



## EK 5 Üçüncü Koridor ( $i = 3$ ) için Simülasyon Ekran Görüntüsü

65



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sema DEĞİRMEN BEKTAŞ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmangazi, 13.07.1992  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Bursa İMKB Gürsu Anadolu Lisesi, 2010  
Lisans : Uludağ Üniversitesi, 2016  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, 2019

Çalıştığı Kurum : Desay Mimarlık İnşaat Yapı Taah. San. ve Tic. A.Ş.  
İletişim : degirmensema@gmail.com  
Yayınları :

**Cömertoğlu, M., Çavdur, F., Köse-Küçük, M., Değirmen, S. 2018.** Afet operasyonları yönetiminde insansız hava araçlarının kullanımı: literatür taraması. 7.Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, 3-5 Mayıs 2018, Bursa.

**Çavdur, F., Değirmen, S., Köse-Küçük, M. 2018.** Sınav çizelgeleme problemlerinde homojen sınav dağılımının oluşturulması için kümeleme ve hedef programlama temelli bir yaklaşım. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(1): 167-188.

**Çavdur, F., Değirmen, S., Şener, E. 2018.** Depolama ve geri-alma makinesi bekleme noktası optimizasyonu: atanmış depolama politikası durumu. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(2): 183-202.

**Değirmen, S., Çavdur, F., Şener, E. 2018.** Otomatik depolama ve geri-alma sistemlerinde depolama ve geri-alma makinesi bekleme noktası optimizasyonu: sınıf-tabanlı depolama politikası durumu. 7.Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, 3-5 Mayıs 2018, Bursa.

**Değirmen, S., Çavdur, F., Sebatlı, A. 2018.** Afet operasyonları yönetiminde insansız hava araçlarının kullanımı: gözetleme operasyonları için rota planlama. 7.Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, 3-5 Mayıs 2018, Bursa.

**Değirmen, S., Çavdur, F., Sebatlı, A. 2018.** Afet operasyonları yönetiminde insansız hava araçlarının kullanımı: gözetleme operasyonları için rota planlama. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(4): 11-26.