



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR İÇİN YAPAY ZEKA
DESTEKLİ ÇARPIŞMA ÖNLEME ALGORİTMALARININ
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Mustafa ÇOBAN

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Doktora Programı

EKİM 2024

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR İÇİN YAPAY ZEKA
DESTEKLİ ÇARPIŞMA ÖNLEME ALGORİTMALARININ
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Mustafa ÇOBAN
(181261344004)
ORCID: 0000-0002-6508-5901**

**Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Mekatronik Mühendisliği Doktora Programı**

**Danışman: Doç. Dr. Gökhan GELEN
ORCID: 0000-0002-2780-3386**

EKİM 2024

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 181261344004 numaralı Doktora Öğrencisi Mustafa ÇOBAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR İÇİN YAPAY ZEKA DESTEKLİ ÇARPIŞMA ÖNLEME ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Gökhan GELEN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri :
.....
.....
.....
.....

Teslim Tarihi : **Kasım 2024**
Savunma Tarihi : **31 Ekim 2024**



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, 2211/A numaralı TÜBİTAK Yurt İçi Genel Doktora Burs Programı ile desteklenmiştir.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Mustafa ÇOBAN

İmzası:

X X X X X

ÖNSÖZ

Doktora sürecinde bilgi birikimini ve tecrübelerini benimle paylaşıp desteğini esirgemeyen, fikirleriyle çalışmama yön veren danışmanım Doç. Dr. Gökhan Gelen'e çok teşekkür ederim. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında değerli görüşleriyle katkılarını sunan tez izleme komitesindeki Prof. Dr. Hakan Gürkan'a ve Dr. Öğretim Üyesi Ekrem Düven'e teşekkür ederim. Ayrıca tez savunmasında yer alıp, tez ile ilgili değerli görüş ve eleştirilerini paylaşan tüm öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Doktora ders döneminde birlikte yayın yapma fırsatı bulduğum Prof. Dr. Özgür Turay Kaymakçı'ya teşekkür ederim. Yüksek lisans ve doktora sürecinde birlikte çalıştığım başta Dr. Mustafa Kocakulak olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma destekleri için teşekkür ederim. Lisans eğitimim sırasında bana bu mesleği sevdiren, fikirleri ve yönlendirmeleriyle bana olan desteğini esirgemeyen Dr. Celal Sami Tüfekçi'ye teşekkürü bir borç bilirim. Eğitim hayatım boyunca bana emek veren ve beni ben yapan değerlere katkı veren tüm öğretmenlerime çok teşekkür ederim.

Doktora çalışmamı 2211/A Yurt İçi Genel Doktora Burs Programı kapsamında destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Son olarak eşim Nilüfer Çoban, babam Ali İhsan Çoban, annem Sebiha Çoban, kayınpederim Mehmet Duyan ve kayınvalidem Zehra Duyan'a teşekkür etmek istiyorum. Hayatımın her alanında olduğu gibi bu süreçte de onların bana olan inançlarını ve desteklerini hissetmek çok değerliydi.

Ekim 2024

Mustafa ÇOBAN
(Mekatronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Katkısı.....	1
1.2 Literatür Özeti	2
1.3 Tezin Organizasyonu.....	5
2. TEMEL KONULAR.....	6
2.1 Sonlu Durum Otomatları.....	6
2.2 Pekiştirmeli Öğrenme.....	7
2.3 Otonom Mobil Robotlar ve Otomatik Yönlendirmeli Araçlar	10
2.4 Çoklu OYA Sistemlerinde Rota Çakışmaları.....	11
2.5 Çoklu OYA Sistemlerinde Merkezi ve Merkezi Olmayan Kontrol Yöntemleri	11
3. MERKEZİ OLMAYAN ÇARPIŞMA ÖNLEME YÖNTEMİ	12
3.1 Önerilen Yöntem	12
3.2 Tek Yönlü Çalışma Tipine Sahip OYA Sistemi	14
3.2.1 Tek yönlü çalışma tipine sahip OYA sisteminin sonlu durum otomatları modellenmesi.....	15
3.2.2 Tek yönlü çalışma tipine sahip OYA sistemi için Q-öğrenme algoritması	17
3.3 İki Yönlü Çalışma Tipine Sahip OYA Sistemi	20
3.3.1 İki yönlü çalışma tipine sahip OYA sisteminin sonlu durum otomatları ile modellenmesi.....	22
3.3.2 İki yönlü çalışma tipine sahip OYA sistemi için Q-öğrenme algoritması	24
4. ÇOKLU ARAÇ SİSTEMLERİ İÇİN MERKEZİ OLMAYAN ÇARPIŞMA ÖNLEME YÖNTEMİ	28
4.1 Araçların Hareketlerini Gösteren Sonlu Durum Otomat Modelleri.....	29
4.2 Birden Fazla Çarpışma Bölgesine Sahip Sistemlerin Kontrolü İçin Önerilen Yöntem.....	35
4.3 Üç Adet Araç ve İki Adet Çarpışma Bölgesi İçeren Sistem	36
4.3.1 Üç adet araç ve iki adet çarpışma bölgesi içeren sistemin sonlu durum otomatları ile modellenmesi.....	37

4.3.2 Üç adet araç ve iki adet çarpışma bölgesi içeren sistem için Q-öğrenme algoritması	42
4.4 Dört Adet Araç ve Üç Adet Çarpışma Bölgesi İçeren Sistem	44
4.4.1 Dört adet araç ve üç adet çarpışma bölgesi içeren sistemin sonlu durum otomatları ile modellenmesi.....	45
4.4.2 Dört adet araç ve üç adet çarpışma bölgesi içeren sistem için Q-öğrenme algoritması	51
4.5 Beş Adet Araç ve Dört Adet Çarpışma Bölgesi İçeren Sistem	54
4.5.1 Beş adet araç ve dört adet çarpışma bölgesi içeren sistemin sonlu durum otomatları ile modellenmesi.....	56
4.5.2 Beş adet araç ve dört adet çarpışma bölgesi içeren sistem için Q-öğrenme algoritması	62
5. BENZETİM ÇALIŞMALARI	67
5.1 Benzetim Ortamı	67
5.2 Tek Yönlü Çalışma Tipine Sahip İki Adet Araç İçeren Sistemin Benzetim Sonuçları	69
5.3 İki Yönlü Çalışma Tipine Sahip İki Adet Araç İçeren Sistemin Benzetim Sonuçları	70
5.4 Üç Adet Araç ve İki Adet Çarpışma Bölgesi İçeren Sistemin Benzetim Sonuçları	71
5.5 Dört Adet Araç ve Üç Adet Çarpışma Bölgesi İçeren Sistemin Benzetim Sonuçları	72
5.6 Beş Adet Araç ve Dört Adet Çarpışma Bölgesi İçeren Sistemin Benzetim Sonuçları	75
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	81
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ.....	86

KISALTMALAR

AOS	: Ayrık Olay Sistemleri (Discrete Event Systems)
OYA	: Otomatik Yönlendirmeli Araç (Automated Guided Vehicle)
RF	: Radyo Frekans (Radio Frequency)



SEMBOLLER

$Q_t(s_t, a_t)$	: Şimdiki Q değeri
$Q_{t+1}(s_t, a_t)$	: Yeni Q değeri
$\max_a Q_t(s_{t+1}, a)$	: Maksimum tahmin edilen ödül değeri
α	: Öğrenme oranı
γ	: İndirim faktörü
$R(s_t, a_t)$	: Ödül değeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Tek yönlü hareket eden OYA'lar için ödülleri.....	17
Çizelge 3.2 : İki yönlü hareket eden OYA'lar için ödülleri.....	24
Çizelge 4.1 : OYA1 için sistem durumları ve olayları.	30
Çizelge 4.2 : OYA2 için sistem durumları ve olayları.	32
Çizelge 4.3 : OYA3 için sistem durumları ve olayları.	33
Çizelge 4.4 : OYA4 için sistem durumları ve olayları.	34
Çizelge 4.5 : OYA5 için sistem durumları ve olayları.	35
Çizelge 4.6 : Üç adet araç içeren sistemde OYA1'in durumları.	39
Çizelge 4.7 : Üç adet araç içeren sistemde OYA1'in geçişleri.	39
Çizelge 4.8 : Üç adet araç içeren sistemde OYA2'nin durumları.	40
Çizelge 4.9 : Üç adet araç içeren sistemde OYA2'nin geçişleri.	41
Çizelge 4.10 : Üç adet araç içeren sistemde OYA3'ün durumları.	42
Çizelge 4.11 : Üç adet araç içeren sistemde OYA3'ün geçişleri.....	42
Çizelge 4.12 : Üç adet araç içeren sistemde OYA1 ve OYA3 için ödülleri.....	42
Çizelge 4.13 : Üç adet araç içeren sistemde OYA2 için ödülleri.	43
Çizelge 4.14 : Dört adet araç içeren sistemde OYA1'in durumları.....	46
Çizelge 4.15 : Dört adet araç içeren sistemde OYA1'in geçişleri.	47
Çizelge 4.16 : Dört adet araç içeren sistemde OYA2'nin durumları.....	48
Çizelge 4.17 : Dört adet araç içeren sistemde OYA2'nin geçişleri.	49
Çizelge 4.18 : Dört adet araç içeren sistemde OYA3'ün durumları.....	50
Çizelge 4.19 : Dört adet araç içeren sistemde OYA3'ün geçişleri.	50
Çizelge 4.20 : Dört adet araç içeren sistemde OYA4'ün durumları.....	51
Çizelge 4.21 : Dört adet araç içeren sistemde OYA4'ün geçişleri.	51
Çizelge 4.22 : Dört adet araç içeren sistemde OYA1, OYA3 ve OYA4 için ödülleri.	52
Çizelge 4.23 : Dört adet araç içeren sistemde OYA2 için ödülleri.....	52
Çizelge 4.24 : Beş adet araç içeren sistemde OYA1'in durumları.	56
Çizelge 4.25 : Beş adet araç içeren sistemde OYA1'in geçişleri.	57
Çizelge 4.26 : Beş adet araç içeren sistemde OYA2'nin durumları.	58
Çizelge 4.27 : Beş adet araç içeren sistemde OYA2'nin geçişleri.	58
Çizelge 4.28 : Beş adet araç içeren sistemde OYA3'ün durumları.	59
Çizelge 4.29 : Beş adet araç içeren sistemde OYA3'ün geçişleri.	59
Çizelge 4.30 : Beş adet araç içeren sistemde OYA4'ün durumları.	61
Çizelge 4.31 : Beş adet araç içeren sistemde OYA4'ün geçişleri.	61
Çizelge 4.32 : Beş adet araç içeren sistemde OYA5'in durumları.	62
Çizelge 4.33 : Beş adet araç içeren sistemde OYA5'in geçişleri.	62
Çizelge 4.34 : Beş adet araç içeren sistemde OYA1, OYA3 ve OYA5 için ödülleri.	63
Çizelge 4.35 : Beş adet araç içeren sistemde OYA2 ve OYA4 için ödülleri.	63

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Sonlu durum otomatu.	7
Şekil 2.2 : Pekiştirmeli öğrenme blok şeması.....	8
Şekil 2.3 : Q-öğrenme algoritması akış diyagramı.	10
Şekil 3.1 : Çarpışma önleme için önerilen yöntemin akış şeması.	13
Şekil 3.2 : İki araçlı sistem için önerilen yöntemin blok şeması.	13
Şekil 3.3 : Tek yönlü hareket eden OYA'lar için çalışılan örnek problem.	14
Şekil 3.4 : Tek yönlü çalışma tipine sahip OYA için sonlu durum otomat modeli... 16	
Şekil 3.5 : Tek yönlü hareket eden OYA1'e ait Q tablosu.	19
Şekil 3.6 : Tek yönlü hareket eden OYA2'ye ait Q tablosu.	20
Şekil 3.7 : İki yönlü hareket eden OYA'lar için çalışılan örnek problem.	21
Şekil 3.8 : İki yönlü çalışma tipine sahip OYA için sonlu durum otomat modeli.... 23	
Şekil 3.9 : İki yönlü hareket eden OYA1'e ait Q tablosu.	26
Şekil 3.10 : İki yönlü hareket eden OYA2'ye ait Q tablosu.	27
Şekil 4.1 : Beş adet araç içeren örnek üretim sistemi.	28
Şekil 4.2 : OYA1'in hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli.....	30
Şekil 4.3 : OYA2'nin hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli.....	31
Şekil 4.4 : OYA3'ün hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli.....	32
Şekil 4.5 : OYA4'ün hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli.....	33
Şekil 4.6 : OYA5'in hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli.....	34
Şekil 4.7 : Üç adet araç içeren örnek üretim sistemi.	37
Şekil 4.8 : Üç adet araç içeren sistemde OYA1'in sonlu durum otomat modeli..... 38	
Şekil 4.9 : Üç adet araç içeren sistemde OYA2'nin sonlu durum otomat modeli.... 39	
Şekil 4.10 : Üç adet araç içeren sistemde OYA3'ün sonlu durum otomat modeli. ... 41	
Şekil 4.11 : Üç adet araç içeren sistemde OYA1 ve OYA3'e ait Q tablosu.....	43
Şekil 4.12 : Üç adet araç içeren sistemde OYA2'ye ait Q tablosu.	44
Şekil 4.13 : Dört adet araç içeren örnek üretim sistemi.....	45
Şekil 4.14 : Dört adet araç içeren sistemde OYA1'in sonlu durum otomat modeli. . 46	
Şekil 4.15 : Dört adet araç içeren sistemde OYA2'nin sonlu durum otomat modeli.47	
Şekil 4.16 : Dört adet araç içeren sistemde OYA3'ün sonlu durum otomat modeli. 49	
Şekil 4.17 : Dört adet araç içeren sistemde OYA4'ün sonlu durum otomat modeli. 50	
Şekil 4.18 : Dört adet araç içeren sistemde OYA1 ve OYA3'e ait Q tablosu.	52
Şekil 4.19 : Dört adet araç içeren sistemde OYA2'ye ait Q tablosu.	53
Şekil 4.20 : Dört adet araç içeren sistemde OYA4'e ait Q tablosu.	54
Şekil 4.21 : Beş adet araç içeren örnek üretim sistemi.	55
Şekil 4.22 : Beş adet araç içeren sistemde OYA1'in sonlu durum otomat modeli. .. 56	
Şekil 4.23 : Beş adet araç içeren sistemde OYA2'nin sonlu durum otomat modeli. 57	
Şekil 4.24 : Beş adet araç içeren sistemde OYA3'ün sonlu durum otomat modeli. . 59	
Şekil 4.25 : Beş adet araç içeren sistemde OYA4'ün sonlu durum otomat modeli. . 60	
Şekil 4.26 : Beş adet araç içeren sistemde OYA5'in sonlu durum otomat modeli. .. 62	

Şekil 4.27 : Beş adet araç içeren sistemde OYA1, OYA3 ve OYA5'e ait Q tablosu.	64
Şekil 4.28 : Beş adet araç içeren sistemde OYA2'ye ait Q tablosu.....	65
Şekil 4.29 : Beş adet araç içeren sistemde OYA4'e ait Q tablosu.....	66
Şekil 5.1 : Benzetim ortamı.	68
Şekil 5.2 : Tek yönlü çalışan OYA'ların çarpışma bölgesinde bulunma durumları..	69
Şekil 5.3 : İki yönlü çalışan OYA'ların çarpışma bölgesinde bulunma durumları. ..	70
Şekil 5.4 : Üç araç içeren sistemde OYA1 ve OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları.	71
Şekil 5.5 : Üç araç içeren sistemde OYA2 ve OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları.	72
Şekil 5.6 : Dört araç içeren sistemde OYA1 ve OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları.	73
Şekil 5.7 : Dört araç içeren sistemde OYA2 ve OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları.	74
Şekil 5.8 : Dört araç içeren sistemde OYA2 ve OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesinde bulunma durumları.	75
Şekil 5.9 : Beş araç içeren sistemde OYA1 ve OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları.	76
Şekil 5.10 : Beş araç içeren sistemde OYA2 ve OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları.	77
Şekil 5.11 : Beş araç içeren sistemde OYA2 ve OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesinde bulunma durumları.	78
Şekil 5.12 : Beş araç içeren sistemde OYA4 ve OYA5'in dördüncü çarpışma bölgesinde bulunma durumları.	79
Şekil 5.13 : Durum ve araç sayısı.	80

OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR İÇİN YAPAY ZEKA DESTEKLİ ÇARPIŞMA ÖNLEME ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Otomatik yönlendirmeli araçlar; fabrikalar, depolar ve dağıtım merkezleri gibi endüstriyel ortamlarda yaygın olarak kullanılan ve iş gücü maliyetlerinin azaltılması, üretim süreçlerinin verimliliğinin artırılmasını sağlayan taşıma sistemleridir. Çoklu araç sistemlerinde emniyetli ve verimli taşımanın gerçekleştirilmesi için araçların kontrolünün ve koordinasyonunun sağlanması büyük bir öneme sahiptir. Bu tezde, ortak çalışma bölgelerine ve çakışan rotalara sahip ortamlarda çalışan otomatik yönlendirmeli araç sistemlerinde çarpışmaların önlenmesini sağlayacak modelleme ve kontrol yöntemleri önerilmiştir. Çoklu araç içeren sistemlerin koordinasyonu için geliştirilen modelleme ve kontrol metotları, benzetim uygulamalarıyla test edilmiştir. Önerilen yöntemlerde, otomatik yönlendirmeli araçların çalışma ortamlarındaki hareketlerinin modellenmesi için sonlu durum makineleri kullanılırken, çarpışmaların önlenmesi için ise en yaygın pekiştirmeli öğrenme algoritmalarından biri olan Q-öğrenme kullanılmıştır. Araçların modelleme aşamasında, diğer araçların çarpışma bölgelerindeki durumları dikkate alınmış ve oluşturulan modellerin sade ve anlaşılır olması hedeflenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda, çoklu araç içeren sistemlerdeki karmaşıklığı azaltmak amacıyla merkezi olmayan modelleme yaklaşımları kullanılmıştır. Sistemdeki her bir araca özel oluşturulmuş olan sonlu durum otomat modelleri, araçların kontrolünü sağlayacak Q-öğrenme algoritmalarında çevre modeli olarak tanımlanmıştır. Bu modellere uygun olarak tasarlanan Q-öğrenme algoritmalarıyla, her bir aracın bulunduğu durumda gerçekleştirmesi gereken eylemleri içeren Q tabloları elde edilmiştir. Çok sayıda araç içeren ve çok sayıda çarpışma bölgesine sahip çeşitli sistemlerde, araçların kontrolünü sağlayacak Q tabloları benzetim uygulamalarında kullanılmış ve önerilen yöntemler test edilerek doğrulanmıştır. Benzetim uygulamalarının sonuçları, önerilen yöntemlerin potansiyel çarpışmaları önleyebileceğini ve genel verimliliği büyük ölçüde artırabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Çarpışma önleme, Mobil robot, Modelleme, Otomatik yönlendirmeli araç, Pekiştirmeli öğrenme, Sonlu durum otomatu.

DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED COLLISION AVOIDANCE ALGORITHMS FOR AUTOMATED GUIDED VEHICLES

SUMMARY

Automated guided vehicles are transportation systems widely used in industrial environments such as factories, warehouses, and distribution centers, providing reduced labor costs and increased efficiency in production processes. Ensuring the control and coordination of vehicles is crucial for safe and efficient transportation in multi-vehicle systems. In this thesis, modeling and control methods are proposed to prevent collisions in automated guided vehicle systems operating in environments with shared work zones and overlapping routes. The modeling and control methods developed for the coordination of multi-vehicle systems were tested through simulation applications. In the proposed methods, finite state machines were used to model the movements of AGVs in their working environments, while Q-learning, one of the most common reinforcement learning algorithms, was employed to prevent collisions. During the vehicle modeling phase, the states of other vehicles in the collision zones were considered, and simplicity and clarity in the created models were aimed for. In line with these objectives, decentralized modeling approaches were used to reduce the complexity in systems involving multiple vehicles. The finite state automata models, specifically designed for each vehicle, were defined as the environment model in the Q-learning algorithms, which would control the vehicles. Q-tables, containing the actions each vehicle should take in their respective states, were obtained through the Q-learning algorithms designed according to these models. In various systems involving a large number of vehicles and numerous collision zones, the Q-tables for controlling the vehicles were used in simulation applications, and the proposed methods were tested and validated. The results of the simulation applications demonstrate that the proposed methods can potentially prevent collisions and significantly enhance overall efficiency.

Keywords: Collision avoidance, Mobile robot, Modelling, Automated guided vehicle, Reinforcement learning, Finite state automata.

1. GİRİŞ

Günümüzde Endüstri 4.0 ve Nesnelerin İnterneti'nin yaygınlaşmasıyla birlikte, akıllı fabrikalar ve akıllı üretim yöntemleri oldukça önemli hale gelmiştir. Akıllı üretim yöntemleri, klasik üretim yöntemlerinden farklı olarak daha esnek ve daha hızlı üretim imkanı sunmaktadır. Akıllı üretim yöntemlerinde ürün veya parça taşımacılığı, otonom mobil robotlar veya otomatik yönlendirmeli araçlar (OYA) ile gerçekleştirilmektedir. Farklı yük kapasitelerine sahip olan bu araçlar, üretim ve montaj fabrikaları, akıllı depolar, liman terminalleri ve dağıtım merkezlerinde sıkça kullanılmaktadır. OYA'lar, üretim süreçlerinin otomasyonunu arttırmak, maliyetleri düşürmek, verimliliği arttırmak ve insan gücünü optimize etmek gibi birçok avantaj sunmaktadır. Üretim hacminin artmasıyla, tesislerde kullanılan OYA sayısı da artmaktadır. Birden fazla OYA'nın kullanıldığı sistemlerde, araçlara uygun görevler atanması ve çarpışmaların önlenerek hareketlerin gerçekleştirilmesi, sistemin emniyeti ve verimliliği için büyük önem taşımaktadır.

1.1 Tezin Amacı ve Katkısı

Çoklu OYA içeren sistemlerin karmaşıklığı, bu sistemlerin kontrolünü daha zor hale getirmektedir. Bu nedenle, son yıllarda çoklu araç sistemlerinin etkili ve güvenli bir şekilde çalışması için birçok araştırma yapılmaktadır. Araştırmalar genellikle rota planlaması, çarpışma önleme, görev atama ve planlama, araç konumlandırma gibi alanları kapsamaktadır. Ancak, çarpışma önleme ve görev atama çalışmaları daha ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmalar, tek yönlü, iki yönlü veya çok yönlü çalışabilen OYA'lar için merkezi veya merkezi olmayan kontrol yöntemleri, ızgara tabanlı veya düğüm tabanlı yöntemler, klasik veya yapay zeka tabanlı yöntemler gibi geniş bir yelpazede gerçekleştirilmektedir. İlk çalışmalarda genellikle basit ortamlar için merkezi kontrollü klasik yöntemler kullanılırken, sonraki çalışmalarda karmaşık sistemlere yönelik kontrol yöntemleri, dağıtılmış yapıya sahip kontrol yöntemleri ve yapay zeka tabanlı kontrol yöntemleri gibi çalışmalara daha fazla odaklanılmaya başlanmıştır.

OYA sistemlerinde en yaygın sorunlar, OYA'lara görev ataması ve çarpışmalardan kaçınmadır. Mevcut çalışmalarda önerilen yöntemlerin karmaşık olması yüksek performans gereksinimleri doğurmaktadır. Bu nedenle, daha düşük performans gereksinimi olan ve daha anlaşılır çözümlerin geliştirilmesi, bu tezin motivasyonunu oluşturmaktadır. Çarpışma önleme algoritmaları, hem klasik yöntemler için hem de yapay zeka tabanlı yöntemler için karmaşık olduğundan, daha basit ve yenilikçi bir yöntem ihtiyacına katkıda bulunmak amacıyla, bu çalışmada OYA'ların çarpışmadan kaçınması için sonlu durum makineleri ve Q-öğrenme tabanlı yeni yöntemler önerilmiştir. Q öğrenmede modelleme için genellikle Markov Karar Süreci (Markov Decision Process) kullanılır. Markov Karar Süreci ile sonlu durum makineleri arasında bazı benzerlikler vardır. Her iki model de bir sistemin durumları ve bu durumlar arasında gerçekleşen geçişlerle ilgilenir. Aralarındaki en önemli farklar ise, geçişlerin deterministik/stokastik olması ve ödül yapısıdır. Sonlu durum makineleri genellikle deterministik bir yapıya sahiptir, yani her bir girdiyle net bir şekilde bir durumdan diğerine geçiş olur. Markov Karar Süreci ise stokastik yapıdadır ve geçişler bir olasılık dağılımına dayanır. Burada belirli bir eylem her zaman aynı sonuca yol açmayabilir. Tez kapsamında önerilen yöntemlerde; Markov Karar Süreci ile olan benzerliği ve sunduğu yüksek modelleme yeteneği nedeniyle OYA'ların hareketlerini modellemek için sonlu durum makineleri kullanılmıştır. Sistemin kontrolü ise yenilikçi ve etkili çözümler sunması nedeniyle pekiştirmeli öğrenme yöntemiyle sağlanmıştır. Önerilen yaklaşımda, Markov Karar Süreci'nde bulunan ödül yapısı, sonlu durum makineleriyle oluşturulan modele entegre edilmiştir. Önerilen yöntemler, çok sayıda araç içeren ve birçok çarpışma bölgesine sahip sistemlerde benzetim uygulamalarıyla doğrulanmıştır. Bu tez çalışmasında önerilen yaklaşımla, karmaşık yapıya sahip çoklu araç sistemlerinde çarpışmaların önlenmesi adına literatüre katkıda bulunulmuştur.

1.2 Literatür Özeti

Çoklu OYA sistemlerinde, durumlar arasındaki değişimler olay tabanlı olarak ifade edilebilir. Bu tür sistemler, Ayrık Olay Sistemleri (AOS) olarak adlandırılmaktadır (Cassandras ve Lafortune, 1999). AOS modellenmesi için, sonlu durum makineleri (otomatlar), Petri ağları, yönlendirilmiş graflar vb. yöntemler kullanılmaktadır. Sonlu durum makineleri ve Petri ağları, modelleme yetenekleri ve esnek çözüm yöntemleri sunmaları nedeniyle en yaygın kullanılan yöntemlerdir.

Çoklu OYA sistemlerinde, araçların çarpışmalarının önlenmesi ve bölge kontrolünün sağlanması için AOS içeren birçok çalışma bulunmaktadır. Fanti (2002), OYA'ların kördüğünden ve çarpışmalardan kaçınması için araçları renkli zamanlı Petri ağlarıyla modelleyerek yeni bir kontrol yöntemi önermiştir. Fanti ve Zhou (2004), yönlendirilmiş graflar, otomatlar ve Petri ağları yaklaşımlarına dayalı kördüğüm kontrol yöntemleri hakkında bir araştırma sunmuştur. Wu ve Zhou (2005), çoklu OYA içeren bir otomatik üretim sisteminde kördüğünden kaçınmayı sağlamak için Petri ağlarıyla modelleme yöntemini önermiştir. Manca ve diğ. (2011), çoklu mobil robotların emniyetli ve etkin koordinasyonunu sağlamak için sonlu durum makineleriyle modelleme ve kördüğüm önleme çalışması yapmışlardır. Esnek üretim sistemlerindeki OYA'ların gözetimli kontrolünün sağlandığı bir çalışmada, üst seviye kontrol için sonlu durum otomatları kullanılmıştır (Hernandez ve diğ, 2013). Fanti ve diğ. (2015, 2018), OYA sistemlerinin kontrolü ve koordinasyonunu sağlamak için merkezi olmayan yöntemler önermişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda, OYA'lar için görev atama, kördüğüm ve çarpışmadan kaçınma yollarını belirleme gibi konular ele alınmıştır. OYA sistemlerindeki çarpışmaların önlenmesi için Wan ve diğ. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, etiketlenmiş Petri ağları kullanılarak maksimum izin veren bir denetleyici tasarlanmıştır. Malopolski (2018) tarafından yapılan çalışmada ise, tek yönlü, iki yönlü ve çok yönlü hareket yeteneğine sahip OYA'lar için ortamı ızgaralara bölen bir yaklaşımla çarpışmadan ve kördüğünden kaçınma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Zajac ve Malopolski (2021), tek yönlü, iki yönlü ve çok yönlü hareket yeteneğine sahip OYA'lar için ortamı ızgaralara bölen bir yaklaşımla daha verimli olan yapısal çevrim içi kontrol politikası geliştirmişlerdir. Luo ve diğ. (2019), birden fazla OYA içeren bir sistemde çarpışmaların önlenmesi için Petri ağları temelli maksimum izin veren bir kontrolcü tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Olayla tetiklenen renkli temel ağ yöntemiyle aktif ve pasif kördüğümleri önlemek için çoklu OYA sistemlerinin hareket koordinasyonunu sağlayan bir çalışma Chen ve diğ. (2022) tarafından sunulmuştur. Chen ve diğ. (2022) yaptıkları başka bir çalışmada, çoklu OYA sistemlerinin kontrolü ve koordinasyonunda düğüm ve ızgara yöntemlerinin kombinasyonuyla yeni bir yöntem geliştirmişler, sistem performansının ve verimliliğinin sadece düğüm tabanlı veya sadece ızgara tabanlı yöntemlere göre arttığını gözlemlemişlerdir. İki yönlü çalışma yeteneğine sahip OYA'lar için bölge kontrolü yapmak için gözetimli kontrol teorisi kullanılan bir çalışmada, sistem

karmaşıklığını azaltacak yeni bir yöntem geliştirilmiş ve araçların kördüğünden kaçınması sağlanmıştır (Maza, 2023).

Mobil robot ve OYA sistemlerinin koordinasyonu ve kontrolü için, pekiştirmeli öğrenme temelli yöntemler de sıkça kullanılmaktadır. Özellikle OYA'lara görev ataması ve araçların rota planlamasıyla ilgili çalışmalarda, derin pekiştirmeli öğrenme ve çok ajanlı pekiştirmeli öğrenme yöntemleri, sistemin karmaşıklığının artması nedeniyle önem kazanmaktadır. Liman terminallerindeki mobil robotların rotalarını belirlemek ve kördüğünden kaçınmayı sağlamak için, Q-öğrenme tekniğiyle geliştirilen bir yöntem sunulmuştur (Jeon ve diğ, 2011). Yapılan bu çalışmada, en kısa rotaları bulmanın yanı sıra bekleme süresini en aza indirecek bir yöntem geliştirilmiştir. Nagayoshi ve diğ. (2017), çoklu OYA sistemlerinin rota planlaması için merkezi olmayan pekiştirmeli öğrenme tabanlı bir yöntem geliştirmiştir. Çok sayıda makine ve çoklu OYA içeren sistemlerde, ürün üretim süresini ve makine-OYA bekleme sürelerini azaltmak için pekiştirmeli öğrenme tabanlı bir planlama yöntemi sunulmuştur (Xue ve diğ, 2018). Hu ve diğ. (2020), esnek iş sistemlerindeki OYA planlaması için derin pekiştirmeli öğrenme temelli bir planlama yöntemi geliştirmiştir. Çoklu mobil robot sistemlerinde, robot navigasyonunu sağlamak ve robotlar arasında ideal koordinasyonu gerçekleştirmek için derin pekiştirmeli öğrenme tabanlı bir yöntem sunulmuştur (Jestel ve diğ, 2021). Bu çalışmada, farklı pekiştirmeli öğrenme algoritmalarına uygulanabilen bir ödül fonksiyonu önerilmiş ve yöntemin hem eğitilmiş ortamda hem de bilinmeyen ortamlarda başarılı olduğu gözlenmiştir. Zhou ve diğ. (2021), konteyner terminallerindeki OYA'ların gerçek zamanlı yönlendirmesini sağlamak için pekiştirmeli öğrenme temelli bir yöntem geliştirmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, araçların konumları, hedef konumları, yönelimleri ve araç sayılarını içeren gerçek zamanlı durum bilgilerine dayanarak en kısa rotayı bulmayı sağlayan Q-öğrenme yöntemi önerilmiş ve bu yöntemin kararlı ve etkin bir çözüm olduğu belirlenmiştir. Çoklu OYA sistemlerinin rota planlaması ve araç koordinasyonu için Petri ağları ve derin pekiştirmeli öğrenme yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir çalışma sunulmuştur (Zhang ve diğ, 2021). Bu çalışmada, P-zamanlı Petri ağlarıyla sistem modellemesi yapılmış ve Markov Karar Süreçleri kullanılarak derin pekiştirmeli öğrenme tabanlı bir çözüm ortaya konulmuştur. Çoklu OYA içeren depolardaki optimum rota planlaması, OYA koordinasyonu ve kontrolü için çok ajanlı pekiştirmeli öğrenme tabanlı bir çalışma sunulmuştur (Choi ve diğ,

2022). Nümerik kontrollü makineler ve OYA'lar içeren bir üretim sisteminin gerçek zamanlı planlama işlemi için yapılan bir çalışmada, Markov Karar Süreçleri ve derin pekiştirmeli öğrenme yöntemleri kullanılmıştır (Sagar ve Jerald, 2022). Zhang ve diğ. (2022), merkezi kontrollü ve merkezi olmayan kontrollü OYA sistemlerinin avantajlarını ve dezavantajlarını karşılaştırmış, OYA planlama algoritmalarını incelemiş ve yapay zeka tabanlı karar verme algoritmalarını değerlendirmiştir. Otomatikleştirilmiş konteyner terminallerindeki çoklu OYA'lar için çarpışmaları içermeyen optimum rota planlama çalışması sunulmuştur (Hu ve diğ, 2023).

1.3 Tezin Organizasyonu

Bu tezin organizasyonu şu şekilde düzenlenmiştir: Birinci bölüm, tezin motivasyonunu, kapsamını, literatüre sağladığı katkıları ve literatür özetini içermektedir. İkinci bölüm, sonlu durum otomatları, Q-öğrenme, otonom mobil robotlar ve otomatik yönlendirmeli araçlar, çarpışma önleme ve kontrol kavramlarını açıklayarak temel bilgiler vermektedir. Üçüncü bölüm, iki adet OYA içeren bir sistem için önerilen merkezi olmayan kontrol yöntemlerini açıklar ve uygulamaları içerir. Dördüncü bölüm, ikiden fazla sayıda OYA içeren ve çok sayıda çarpışma bölgesine sahip sistemler için önerilen yenilikçi modelleme ve kontrol yöntemlerini sunar ve uygulamalarını içerir. Beşinci bölüm, önerilen yöntemleri test etmek ve doğrulamak için uygulanan benzetim sonuçlarını içerir. Son olarak altıncı bölüm ise, önerilen yöntemlerin literatüre sağladığı katkıları sunar ve gelecek çalışmalara ilişkin bakış açısı ile tezi sonlandırır.

2. TEMEL KONULAR

Tez kapsamında, çoklu OYA içeren sistemlerin modellenmesi için sonlu durum otomatları kullanılmıştır. Araçların çarpışmadan hareket etmesi ise Q-öğrenme yöntemiyle sağlanmıştır. Sonlu durum otomatları ve pekiştirmeli öğrenme hakkında genel tanıtım bilgileri bu bölümde sunulmuştur.

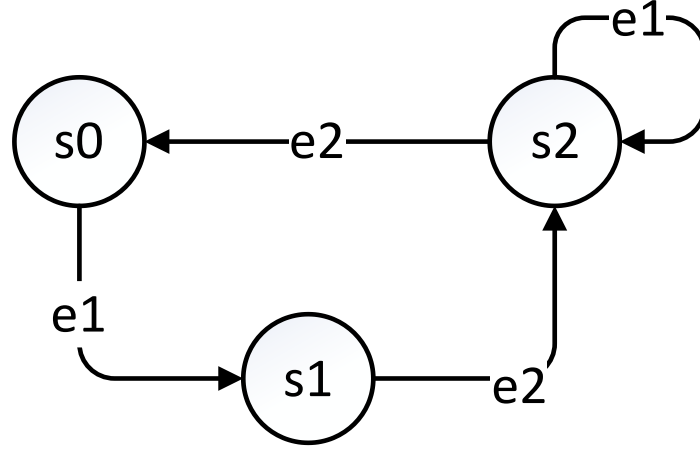
2.1 Sonlu Durum Otomatları

Sonlu durum otomatları; sınırlı sayıda durumlar, durumlar arası geçişler ve eylemler içeren soyut makinelerdir ve sistem modellemesinde kullanılırlar. Biçimsel dil kuramlarından biri olan otomatlarda, durumlar, sistemdeki anlık bilgiyi tutarken, geçişler ise sistemdeki durum değişimini gösterir. Geçişler, belirli kurallara göre gerçekleşir ve sistem mevcut durumdan bir sonraki duruma geçer. Eylem, sistemin durumu veya geçişi sırasındaki etkinliğin tanımıdır.

Sonlu durum otomatları, eylemi bulunan otomatlar ve eylemi bulunmayan otomatlar olmak üzere ikiye ayrılır. Eylemi bulunan otomatlar Moore ve Mealy makineleri olarak sınıflandırılır. Moore tipi makinelerde çıkış değerleri sadece o anki duruma bağlıken, Mealy tipi makinelerde ise çıkış değeri o anki durum ve giriş değerlerine bağlıdır. Eylemi bulunmayan otomatlar ise deterministik otomatlar ve deterministik olmayan otomatlar olarak ikiye ayrılır. Deterministik sonlu durum otomatlarında, bir durumdaki geçiş karşılık sonraki durum belirlidir. Deterministik olmayan sonlu durum otomatlarında ise bir durumdaki geçiş karşılık sonraki durum net değildir.

Tez kapsamında, bir durumdaki geçiş karşılık sonraki durumun belli olduğu senaryolarda çalışılmıştır. Bu nedenle, deterministik sonlu durum otomatları kullanılarak modellemeler yapılmıştır. Çalışılan sistemlerde, istenilmeyen durumlara geçiş olması durumunda, tasarlanan kontrolcü ile istenilen durumlara geçişin sağlanması amaçlanmıştır.

Şekil 2.1'de deterministik bir sonlu durum otomatu gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Sonlu durum otomatı.

Şekil 2.1'deki otomat modelinde, daireler ile gösterilen s0, s1 ve s2, sistemin durumlarını temsil ederken, oklar ile gösterilen e1 ve e2 ise geçişleri gösterir. Bu otomat modeli incelendiğinde, sistem s0 durumundayken e1 olayı meydana gelirse, sistem s1 durumuna geçer. Sistem s1 durumundayken e2 olayı gerçekleşirse, sistem s2 durumuna geçer. Sistem s2 durumundayken e1 olayı meydana gelirse, sistem s2 durumunda kalırken, bu durumda e2 olayı gerçekleşirse sistem s0 durumuna geçer. Sonlu durum otomatlarının işleyişi bu şekilde açıklanabilir.

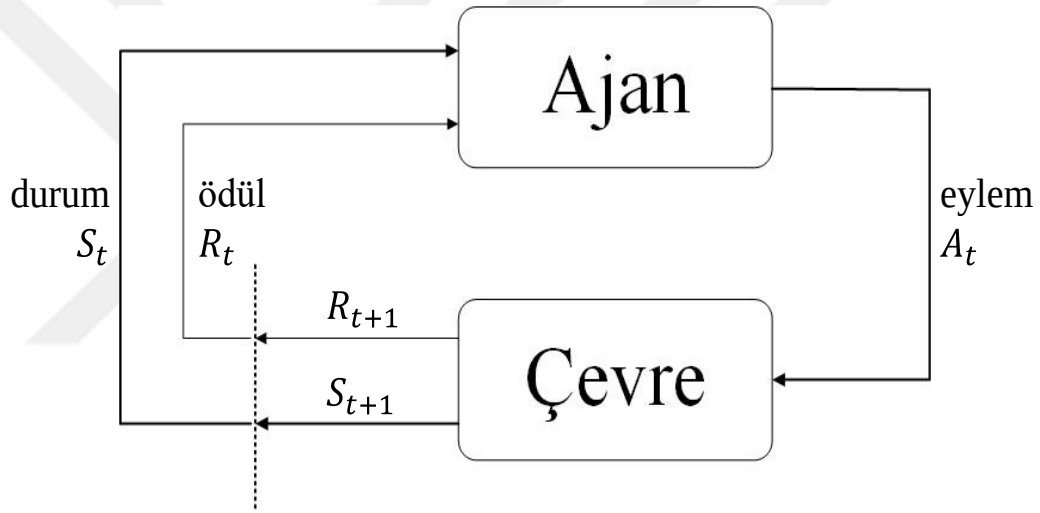
2.2 Pekiştirmeli Öğrenme

Pekiştirmeli öğrenme, bir makine öğrenme yaklaşımıdır ve belirli bir amaca ulaşmak amacıyla gereken eylemleri öğrenmek için çevreyle etkileşim içinde olan bir temsilciye dayanır. Pekiştirmeli öğrenme, temsilcinin çevresiyle etkileşime girerek sonuçları gözlemlemesine ve bu gözlemler sonucunda olumlu veya olumsuz ödüller alarak hangi eylemleri gerçekleştirmesi gerektiğini öğrenmesine olanak sağlar. Temel amaç, en yüksek ödül miktarını elde etmek için eylemleri en uygun şekilde gerçekleştirmektir.

Pekiştirmeli öğrenme; robotik, oyun programlama, proses kontrol problemleri, kaynak yönetimi, istatistik gibi çeşitli alanlarda kullanılan bir yöntemdir. Makine öğrenmesi modelleri genellikle Markov Karar Süreci olarak modellenir ve bu yapıda yapay zeka sistemi hakkında ön bilgiye ihtiyaç duyulur. Pekiştirmeli öğrenme algoritmaları, Markov Karar Süreci hakkında önceden bilgiye ihtiyaç duymazlar ve kesin yöntemlerin yetersiz olduğu durumlarda kullanılabilirler.

Pekiştirmeli öğrenme algoritmalarında, yapay zekanın çevreyle etkileşim halinde aldığı kararlar, ödül veya ceza sistemiyle kontrol edilir. Yapay zekanın gerçekleştirdiği eylemler, kazanılan ödül doğrultusunda eğitilerek, eylemlerin doğruluğu veya yanlışlığı değerlendirilir. Yapay zekanın hedefi, eğitim sürecinde en yüksek ödülü elde etmektir. Pekiştirmeli öğrenme algoritmasının beş temel unsuru vardır: ajan, durum, eylem, değer ve ödül. Ajan, eğitilen yapay zekayı temsil ederken; durum, ajanın bulunduğu durumu gösterir. Eylem, ajanın gerçekleştirebileceği eylemleri belirtirken; değer, ajanın bulunduğu durumun değerini gösterir. Son olarak ödül, ajanın bulunduğu durumda gerçekleştirdiği eylemler sonucunda kazanacağı veya kaybedeceği ödül miktarını ifade eder.

Pekiştirmeli öğrenme algoritmasının temel blok şeması Şekil 2.2'de sunulmuştur.



Şekil 2.2 : Pekiştirmeli öğrenme blok şeması.

Şekil 2.2'deki pekiştirmeli öğrenme blok yapısına bakıldığında, ajan, bulunduğu durumdan hareket etmek için bir politika çerçevesinde bir eylem gerçekleştirir. Ajan, bu eylem sonucunda çevreden bir tepki bekler. Bu tepkiler, eylem sonucu geçilen yeni durum ve alınan ödülde oluşur. Ajan, kazandığı ödüllerin yönlendirmesiyle eğitilir ve gerçekleştirdiği eylemlerin doğruluğunu anlar. Bu yöntemde, en yüksek ödülü elde etmek ve ajanı en iyi şekilde eğitmek amaçlanmaktadır.

Pekiştirmeli öğrenme yöntemi, çeşitli öğrenme algoritmalarını içermektedir. Bu algoritmalarından en popüler olanları Q-öğrenme ve Derin Q-öğrenme'dir. Her iki algoritma da durum → eylem → ödül → durum mantığıyla çalışır. Q-öğrenme algoritmasında, ajanın hedeflenen veya istenmeyen eylemlerine göre ödülleri belirlenir ve ödül tablosuna yazılır. Ajanın ödülle doğru giderken edindiği deneyimler, Q tablosu

olarak adlandırılan bir tabloda tutulur. Ajan, başlangıçta rastgele hareket eder, ödül veya ceza alındığında Q tablosunu günceller ve bu şekilde hafızasında tutar. Bu işlemleri sürekli olarak gerçekleştiren ajan, ortamı öğrenir ve doğru kararlar alabilir. Derin Q-öğrenme algoritması, Q tablosu yerine yapay sinir ağlarının kullanılmasıyla Q-öğrenme algoritmasından farklılık gösterir.

Q-öğrenme, model içermeyen ve değerlere dayalı bir öğrenme algoritmasıdır. Değer tabanlı algoritmalar, değer işlevini bir denkleme dayalı olarak günceller. Q-öğrenme yönteminde, Q değerleri Bellman denklemi kullanılarak güncellenir. "Q" terimi, kalite anlamına gelir ve belirli bir eylemin gelecekte ödül kazanmada ne kadar yararlı olduğunu temsil eder. Q-öğrenme algoritmasını gerçekleştiren ve Q değerlerini güncelleyen Bellman denklemi, Denklem 2.1'de tanımlanmıştır.

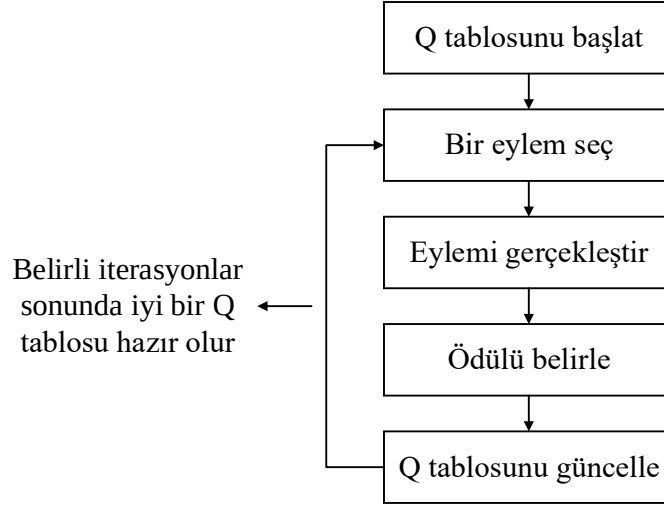
$$Q_{t+1}(s_t, a_t) = Q_t(s_t, a_t) + \alpha[R(s_t, a_t) + \gamma \max_a Q_t(s_{t+1}, a) - Q_t(s_t, a_t)] \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'de $Q_t(s_t, a_t)$ şimdiki Q değerini, $\max_a Q_t(s_{t+1}, a)$ maksimum tahmin edilen ödül değerini, $R(s_t, a_t)$ ödül değerini ve $Q_{t+1}(s_t, a_t)$ yeni Q değerini temsil eder. Aynı denklemde α katsayısı, öğrenme oranını temsil ederken, γ katsayısı gelecekteki ödüllerin önemini belirleyen indirim faktörünü ifade eder.

Öğrenme oranı, ağıın öğrendiği bilgiye ne kadar hızlı uygulanacağını belirler. Öğrenme oranı seçiminde bir denge bulunması önemlidir. Bunun nedeni, küçük bir oranın öğrenmeyi yavaşlatırken, büyük bir oranın osilasyon sorununa neden olabilmesi ve ağıın performansını düşürebilmesidir. Öğrenme oranı için 0 ile 1 arasında bir değer seçilirken, indirim faktörü genellikle 1'e yakın bir değer olarak seçilir ve gelecekteki ödüllere daha fazla önem verilir.

Denklem 2.1'deki $R(s_t, a_t)$, gerçekleşen eylem sonucunda alınan ödülü temsil eder ve her eylem sonucunda ilgili Q değeri eşitlik aracılığıyla hesaplanır. Q-öğrenme algoritması tasarımında iyi bir çevre modeli oluşturulması çok önemli yer tutmaktadır. Bu model oluşturulurken de ödül değerlerinin iyi biçimde belirlenmesi gerekir. Ödül değerleri ne kadar iyi belirlenir ve çevre modeli ne kadar iyi tasarlanırsa, ajanın çevreyi öğrenmesi o kadar kolay olur. Q-öğrenme algoritması ile oluşturulan Q tablosu, durum ve eylemlere göre güncellenerek ajanın çevreyi öğrenmesi sağlanır.

Q-öğrenme algoritmasının akış diyagramı Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 : Q-öğrenme algoritması akış diyagramı.

Şekil 2.3'te gösterilen algoritmaya göre, ilk adımda tüm elemanları sıfırdan oluşan bir Q tablosu oluşturulur. Ardından bir eylem seçilir ve bu eylem gerçekleştirilir. Eylem sonucu elde edilen ödül ile Q-öğrenme fonksiyonu denklemi kullanılarak Q değerleri hesaplanır ve Q tablosu güncellenir. Belirli bir döngüden sonra öğrenme tamamlanır ve iyi bir Q tablosu elde edilir. Bu Q tablosunda, durumlar ve durumlara karşılık gelen eylemlerin Q değerleri bulunur. Durumlara karşılık gelen en yüksek Q değerine sahip olan eylem, o durumda gerçekleşmesi gereken en uygun eylemi temsil eder. Bu şekilde, her bir durum için en ideal eylemler belirlenmiş olur.

2.3 Otonom Mobil Robotlar ve Otomatik Yönlendirmeli Araçlar

Otonom mobil robotlar ve otomatik yönlendirmeli araçlar (OYA) endüstriyel otomasyonun önemli bileşenleridir. Her iki sistem de verimlilik artırmak, iş gücü maliyetlerini azaltmak ve operasyonları optimize etmek için önemli avantajlar sağlar.

Otonom mobil robotlar, çevrelerinde serbestçe hareket edebilen ve karar alabilen robotlardır. Çevrelerinde bulunan engelleri algılayabilir, yol planlayabilir ve belirli bir görevi gerçekleştirmek için bağımsız olarak hareket edebilirler. Bu tür robotlar özellikle dinamik ve değişken ortamlarda yüksek esneklik sağlar.

OYA'lar, genellikle önceden tanımlanmış yollar veya işaretler boyunca hareket eden ve belirli görevleri yerine getiren araçlardır. Üretim ve depo gibi sabit, organize ortamlarda kullanılır ve daha yapılandırılmış bir hareket yapısına sahiptir.

Otonom mobil robotlar ve OYA'lar, endüstriyel otomasyon alanında benzer amaçlar için kullanılırlar da, teknik yetenekleri, esneklik seviyeleri, uygun oldukları ortamlar

ve maliyetleri açısından önemli farklılıklar gösterirler. Her iki sistem de iş süreçlerini iyileştirmek için kullanılır, ancak ihtiyaçlara göre avantajlarında farklılıklar bulunmaktadır.

2.4 Çoklu OYA Sistemlerinde Rota Çakışmaları

Çoklu OYA sistemlerinde rota çakışması, birden fazla aracın aynı anda aynı rotayı kullanmak istemesi durumunda meydana gelir ve doğru şekilde yönetilememe durumlarında çarpışmalara, duraklamalara veya verim kaybına yol açabilir. Özellikle depo, üretim hattı veya dağıtım merkezi gibi yoğun ortamlarda araçlar, sınırlı alanlarda malzeme taşıırken aynı rotaları veya kesişen yolları paylaşmak zorunda kalabilirler. Bu sorunu çözmek için zamanlama algoritmaları, öncelik tanıma sistemleri, merkezi ve merkezi olmayan kontrol mekanizmaları devreye girer. Bu kontrol mekanizmaları aracılığıyla rotaların çakışmasını önlemek ve araçların güvenli, verimli bir şekilde hareket etmelerini sağlamak mümkün hale gelmektedir.

2.5 Çoklu OYA Sistemlerinde Merkezi ve Merkezi Olmayan Kontrol Yöntemleri

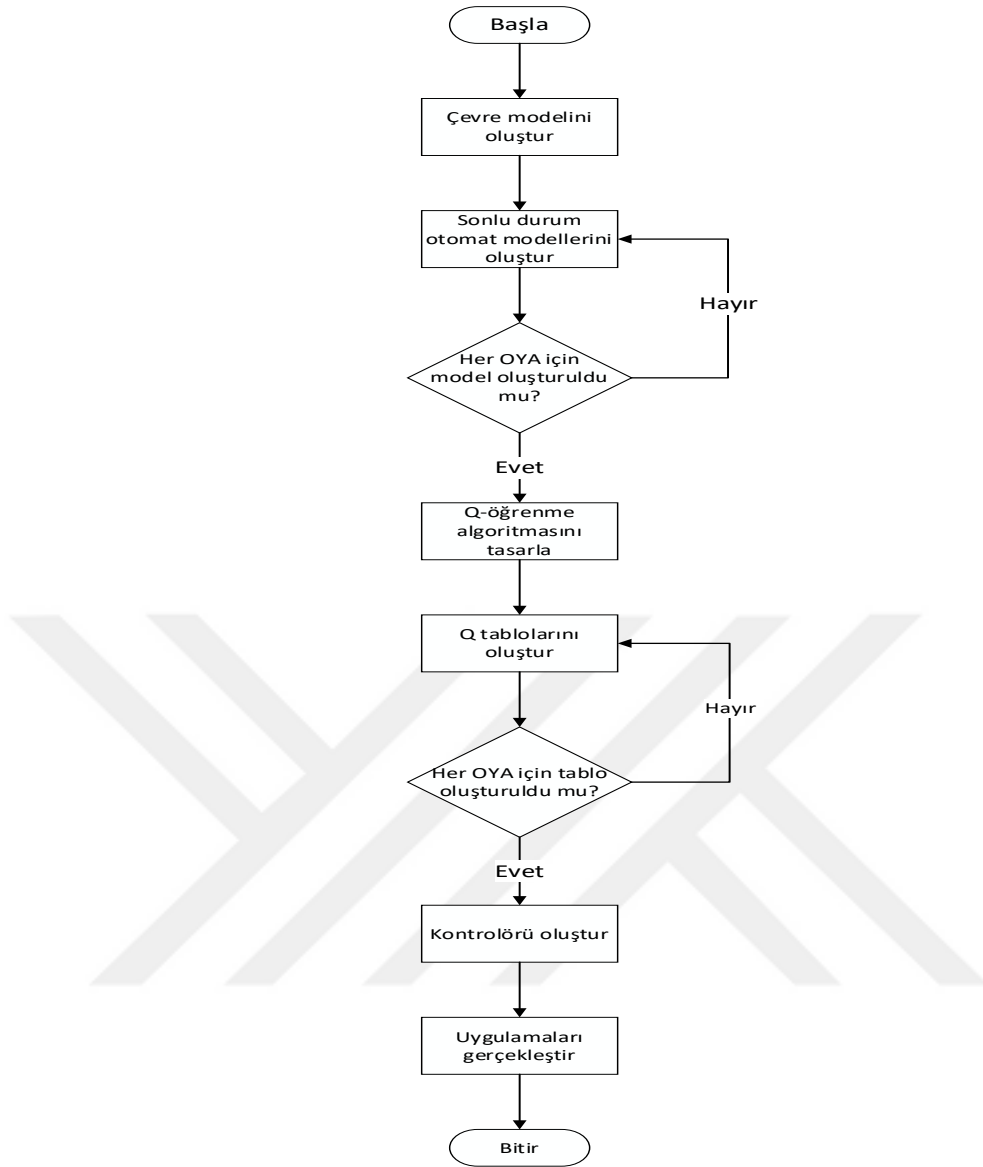
Çoklu OYA sistemlerinde merkezi ve merkezi olmayan kontrol yöntemleri, araçların güvenli ve verimli çalışmasını sağlamak için farklı yaklaşımlar sunar. Merkezi kontrol yönteminde, tüm araçlar tek bir kontrol ünitesi tarafından koordine edilir. Bu kontrol yöntemi, çarpışmaların önlenmesi ve sistem verimliliğinin artırılması açısından büyük avantaj sağlar. Ancak, merkezi bir sistemin arızası, tüm operasyonun durmasına yol açabilir ve büyük ölçekli sistemlerde yavaşlamalara neden olabilir. Diğer yandan, merkezi olmayan kontrol yönteminde her OYA bağımsız hareket eder ve çevresel verilere dayanarak kararlar alır, bu da yüksek esneklik ve ölçeklenebilirlik sunar. Sistemdeki araç sayısının artması, performansta büyük etkiler yaratmamaktadır. Bu yaklaşımın dezavantajı, araçlar arasındaki koordinasyon eksikliğinin çarpışma riskini artırabilmesidir. Ancak, her aracın kendi yerel bilgisine dayanarak anlık duruma hızlı tepki vermesi, dinamik ve değişken ortamlarda önemli bir avantaj sağlar. Merkezi bir kontrol sistemine bağlı olmadığından, bir aracın arızalanması durumunda diğer araçlar çalışmaya devam edebilir, bu da sistemin genel güvenilirliğini artırır. Bu özellikler, merkezi olmayan kontrolü, karmaşık ve dinamik iş ortamlarında tercih edilen bir seçenek haline getirir.

3. MERKEZİ OLMAYAN ÇARPIŞMA ÖNLEME YÖNTEMİ

Bu bölümde, tez kapsamında önerilen, otomatik yönlendirmeli araçların çarpışma kontrolünü sağlayacak Q-öğrenme ve sonlu durum makineleri tabanlı yöntemin detayları iki araçlı bir çarpışma senaryosu üzerinden açıklanmıştır. Endüstriyel ortamlardaki OYA'lar genellikle kendilerine tanımlı rotalarda çizgi takibi yaparlar ve hareket kabiliyetlerine göre tek yönlü ve iki yönlü olarak ikiye ayrılmaktadır. Tek yönlü araçlar, rotalarında belirli düğüm noktalarında durma ve bu düğümler arasında ileri yönlü çizgi takibi hareketi gerçekleştirme yeteneğine sahiptir. Diğer yandan çift yönlü hareket edebilen OYA'lar, düğüm noktaları arasında ileri hareket, durma ve geri hareket eylemlerini gerçekleştirir. Düğümler, araçların pozisyonlarını temsil etmektedir. Bu tez kapsamında, araçların konumlarını tespit edebilmek ve hareketlerini izleyebilmek için, radyo frekans (RF) sinyali tabanlı konumlandırma sisteminin kullanıldığı kabul edilmiştir. Bu sistemde, yerleştirilen RF alıcıları veya etiketleri, OYA'ların üzerindeki RF vericilerle iletişim kurar ve bu sinyaller kullanılarak OYA'ların konumu belirlenebilir.

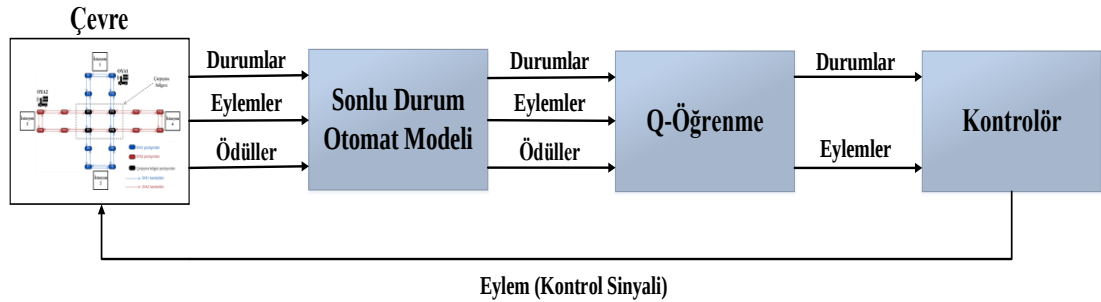
3.1 Önerilen Yöntem

İki adet OYA içeren sistem için merkezi olmayan yaklaşım kullanılarak çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu çerçevede ilk olarak sistemin çevre modeli belirlenir. Sistemin çevre modeline uygun olarak her bir araç için sonlu durum otomat modelleri oluşturulur. Sistemdeki bütün araçların otomat modelleri oluşturulduktan sonra, bu modellere uygun olacak şekilde Q-öğrenme algoritmaları tasarlanır. Q-öğrenme algoritmalarından, her bir aracı kontrol edecek olan Q tabloları elde edilir. Bütün araçlar için Q tablosu elde edildikten sonra, bu Q tablolarıyla her bir aracın gerçekleştirmesi gereken eylemler belirlenmiş olur. Araçların bulunduğu durumlara karşılık gerçekleştirmesi gereken eylemleri belirleyen kontrolörler hesaplanır. Hesaplanan kontrolörler, çevre modeline entegre edilir ve benzetim uygulamalarında gerçekleştirilerek doğrulanması sağlanır. Tez kapsamında, iki araçlı sistem için önerilen merkezi olmayan yöntemin akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Çarpışma önleme için önerilen yöntemin akış şeması.

Şekil 3.1’de verilen akış şeması temel alınarak, OYA içeren sistemlerdeki çarpışmaların önlenmesi için öncelikle iki araç içeren ve tek çarpışma bölgesinden oluşan örnek bir problem üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında önerilen yöntemin blok şeması Şekil 3.2’de görülmektedir.

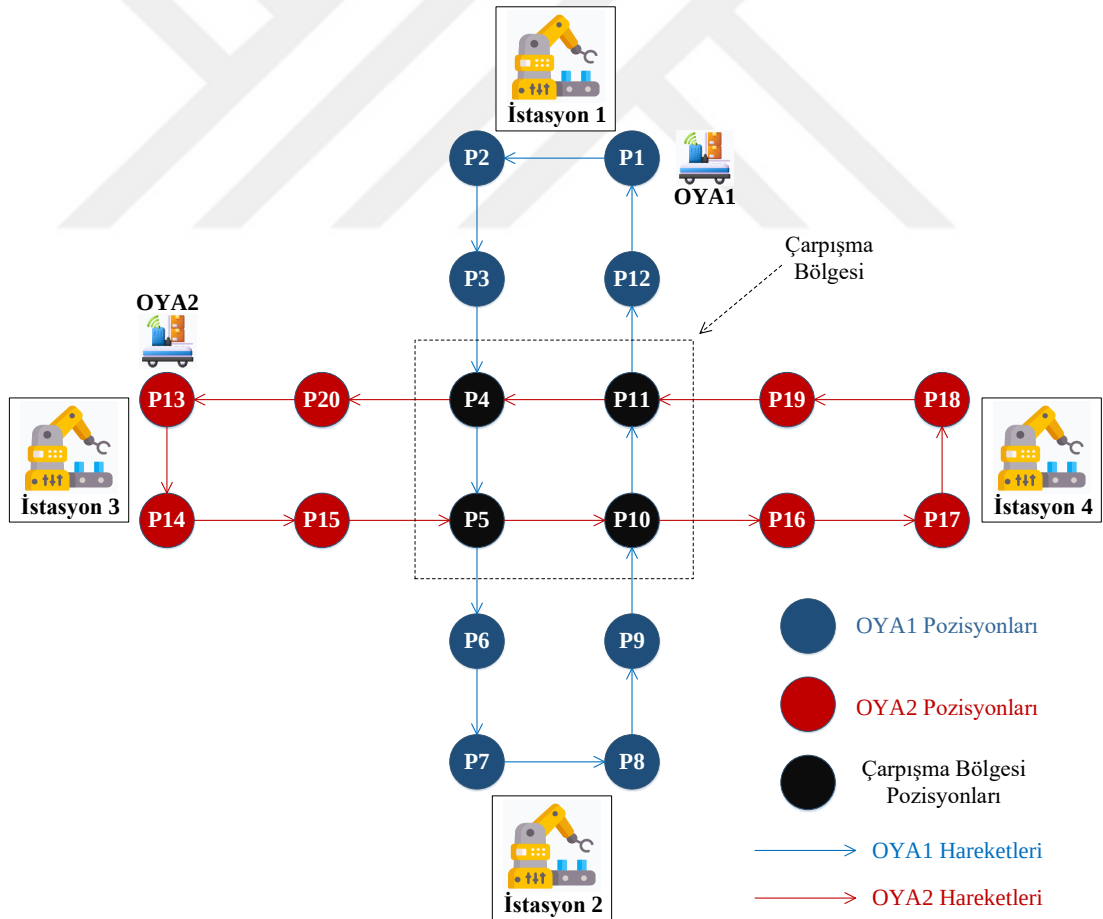


Şekil 3.2 : İki araçlı sistem için önerilen yöntemin blok şeması.

Şekil 3.2'de görülen blok diyagramı, çalışılan örnek problemdeki her bir araç için önerilen kontrol yöntemini gösterir. Çevreden alınan durum, eylem ve ödül bilgilerine göre her bir araç sonlu durum otomatlarıyla modellenir ve her bir araç için Q-öğrenme algoritması oluşturulur. Q-öğrenme algoritması sonucu oluşan Q tablosuyla, araçların bulunduğu durumlara karşılık gerçekleştirmeleri gereken eylemler belirlenir ve kontrolöre iletilir. Kontrolör tarafından, araçların gerçekleştirmeleri istenen eylemler, kontrol sinyali olarak araçlara gönderilir ve yeni durumlar gözlemlenir. Bu döngü sayesinde sistem kontrolü sağlanmış olur ve sistemdeki çarpışmalar önlenir.

3.2 Tek Yönlü Çalışma Tipine Sahip OYA Sistemi

Tek yönlü çalışma tipine sahip OYA'lar, bir rota boyunca sadece ileri hareket etme ve durma işlevini gerçekleştirirler. Tez kapsamında bu hareket kabiliyetine sahip OYA'lar için çalışılan örnek problem Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3 : Tek yönlü hareket eden OYA'lar için çalışılan örnek problem.

Şekil 3.3'te gösterilen mavi oklar, birinci OYA'nın hareket yönünü gösterirken, kırmızı oklar ise ikinci OYA'nın hareket yönünü belirtir. OYA1, mavi ve siyah düğümler

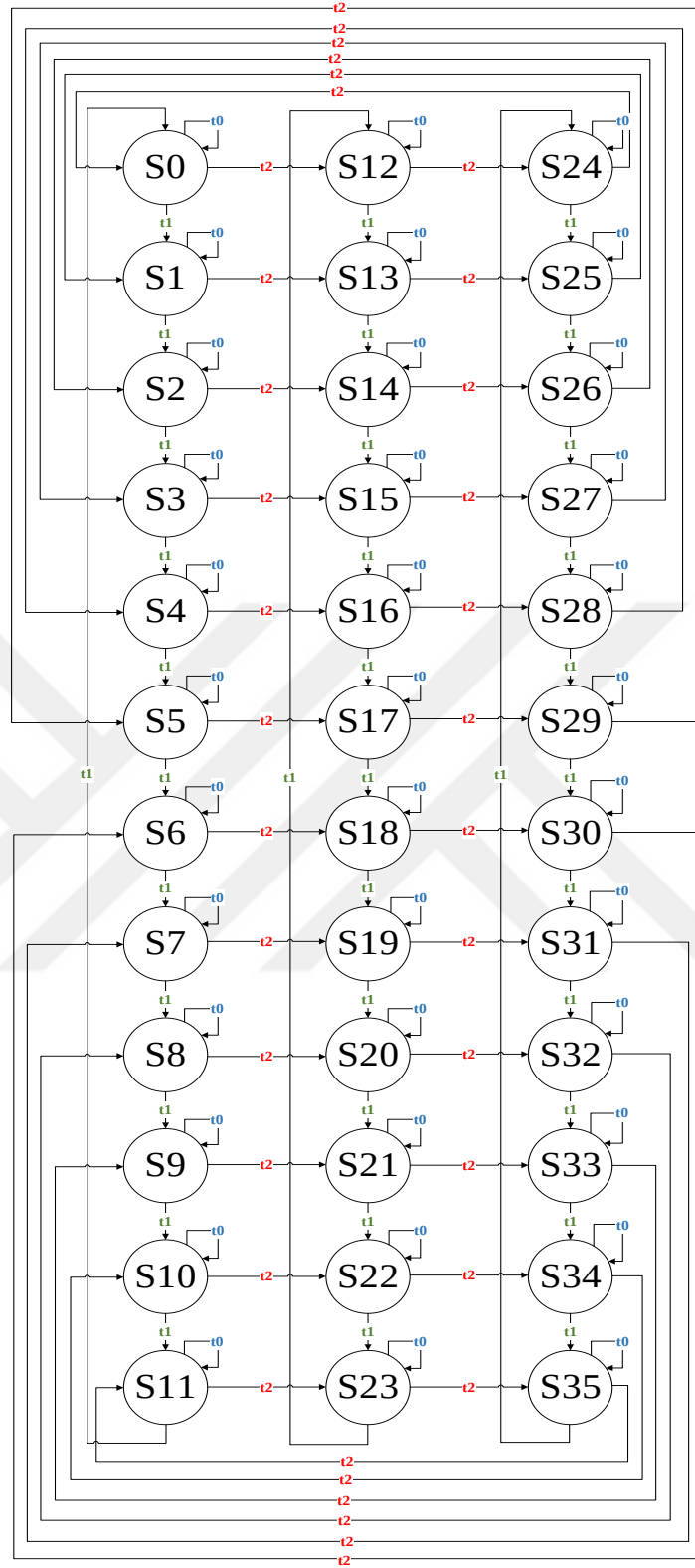
üzerinde hareket ederek İstasyon 1'den İstasyon 2'ye parça taşırken, OYA2 ise kırmızı ve siyah düğümler üzerinde hareket ederek İstasyon 3'ten İstasyon 4'e parça taşımaktadır. İki aracın ortak olarak kullandığı düğümler siyah renkle işaretlenmiş ve bu alana çarpışma bölgesi denilmiştir. OYA1, P1 noktasından hareketine başlayarak rotasındaki düğümleri takip eder ve tekrar P1 noktasına dönerek görevini tamamlar. OYA2 ise P13 noktasından hareketine başlayarak rotasındaki düğümleri takip eder ve tekrar P13 noktasına dönerek görevini tamamlar. Araçların çarpışma bölgesindeki düğümlerde aynı anda bulunmadan hareket etmeleri beklenmektedir.

Pekiştirmeli öğrenme algoritmalarından biri olan Q-öğrenme yöntemi kullanılarak sistemdeki araçların kontrolü sağlanmıştır. İlk olarak OYA'ların sonlu durum otomatları ile modellenmesi yapılmış ve araçların hareket edebileceği durumlar, sonraki durumlar ve ödülleri belirlenmiştir. Her bir araç için oluşturulan Q tablosu, Bellman denklemi kullanılarak güncellenmiş ve elde edilen Q tablosunda durumlara karşılık gelen eylemlerdeki maksimum Q değerine sahip eylem, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylem olarak atanmıştır. Araçlar, bu eylemleri gerçekleştirerek çarpışma yaşamadan hareketlerini gerçekleştirebilir.

3.2.1 Tek yönlü çalışma tipine sahip OYA sisteminin sonlu durum otomatları modellenmesi

Şekil 3.3'teki OYA sisteminde çarpışmaların önlenmesi için merkezi olmayan bir kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde her iki OYA için ayrı kontrol mekanizmaları oluşturulmuş ve araçların hareketlerinin kontrolü sağlanmıştır. Tek yönlü çalışma ortamında, OYA1 için Şekil 3.4'te görülen model oluşturulmuştur.

Şekil 3.4'teki modelde, OYA1'e ait her bir konum için üç farklı durum tanımlanmıştır. Bu durumlar, OYA2'nin çarpışma bölgesi dışında olduğu durumu, OYA2'nin çarpışma bölgesine yakın olduğu durumu ve OYA2'nin çarpışma bölgesi içinde bulunduğu durumu içermektedir. OYA1'in hareketi için 12 konum bulunduğundan, modelde toplam 36 durum belirlenmiştir. Sistemde durum değişimleri geçişler aracılığıyla gerçekleştirilir. Tek yönlü çalışma tipinde OYA1 için üç geçiş belirlenmiştir. İlk geçiş, OYA1'in beklemesi gereken eylemi, ikinci geçiş OYA1'in bir düğüm ileri hareket etmesini ve üçüncü geçiş ise OYA2'nin çarpışma bölgesindeki durum değişimini gösterir.



Şekil 3.4 : Tek yönlü çalışma tipine sahip OYA için sonlu durum otomat modeli.

Şekil 3.4'te görülen sonlu otomat modelinde S0 ile S11 arasındaki durumlar, OYA1'in P1 ile P12 konumları arasında bulunduğunu temsil ederken, OYA2'nin de çarpışma bölgesi dışında olduğu durumları göstermektedir. S12 ile S23 arasındaki durumlar da

benzer şekilde OYA1'in P1 ile P12 konumları arasında bulunduğunu, ancak OYA2'nin çarpışma bölgesi yakınındaki P15 veya P19 konumlarında olduğunu ifade etmektedir. S24 ile S35 arasındaki durumlar ise, OYA1'in P1 ile P12 konumları arasında bulunduğunu, ancak OYA2'nin çarpışma bölgesi içinde bulunduğunu belirtmektedir. Şekil 3.4'teki modelde t0 ile gösterilen geçiş OYA1'in beklediği eylemi, t1 ile gösterilen geçiş OYA1'in bir düğüm ileri hareket ettiği eylemi ve t2 ile gösterilen geçiş ise OYA2'nin çarpışma bölgesinde durum değiştirdiğini göstermektedir.

OYA1 için kullanılan Şekil 3.4'teki model, aynı çalışma tipine ve eşit düğüm sayısına sahip olan OYA2 için de kullanılabilir. Şekil 3.3'teki örnek problemde P13 ile P20 arasında gösterilen rotada, OYA2'nin hareketinin gerçekleştiği 12 düğüm bulunmaktadır. Bu modelde S0 ile S11 arasındaki durumlar, OYA2'nin P13 ile P20 konumları arasında bulunduğunu temsil ederken, OYA1'in çarpışma bölgesi dışında olduğu durumları göstermektedir. S12 ile S23 arasındaki durumlar da benzer şekilde OYA2'nin P13 ile P20 konumları arasında bulunduğunu, ancak OYA1'in çarpışma bölgesi yakınındaki P3 veya P9 konumlarında olduğunu ifade etmektedir. S24 ile S35 arasındaki durumlar ise, OYA2'nin P13 ile P20 konumları arasında bulunduğunu, ancak OYA1'in çarpışma bölgesi içinde bulunduğunu belirtmektedir. Şekil 3.4'teki modelde t0 ile gösterilen geçiş OYA2'nin beklediği eylemi, t1 ile gösterilen geçiş OYA2'nin bir düğüm ileri hareket ettiği eylemi ve t2 ile gösterilen geçiş ise OYA1'in çarpışma bölgesinde durum değiştirdiğini göstermektedir.

3.2.2 Tek yönlü çalışma tipine sahip OYA sistemi için Q-öğrenme algoritması

Tek yönlü hareket kabiliyetine sahip araçların kontrolü için Şekil 3.4'teki sonlu otomat modeline göre pekiştirmeli öğrenme yöntemlerinden biri olan Q-öğrenme algoritması oluşturulmuştur. Bu algoritma için belirlenen ödül değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Tek yönlü hareket eden OYA'lar için ödüller.

OYA Eylemleri	Ödül / Ceza
Yakınında diğer araç olmadığı halde bekleme	-1
Aracın gerçekleştirilmesi mümkün olmayan eylem	-12
Çarpışma bölgesinde araç varken bölgeye girme	-15
Çarpışma bölgesinde araç varken bölgeye girmeden bekleme	3
Yakınında diğer araç yokken ileri hareket etme	3
Hareketini tamamlayıp başlangıç noktasına dönme	10

Çizelge 3.1'de aracın gerçekleştirilmesi mümkün olmayan eylem, t2 eylemini ifade etmektedir. Modeldeki t2 eylemi, diğer aracın çarpışma bölgesindeki durumunu

değiştirdiğini gösteren bir eylem olduğu için kontrol edilemeyen bir eylem olarak kabul edilmiş ve ceza değeri yüksek tutularak bu eylemin gerçekleşmesinin önüne geçilmeye çalışılmıştır. Ancak diğer araç tarafından çarpışma bölgesinde durum değişikliği yaşanabileceği için bu eylem modelde tanımlanmış ve Q-öğrenme algoritmasında kullanılmıştır.

Q-öğrenme algoritması için, Çizelge 3.1'de verilen ödül/ceza değerlerine ve Şekil 3.4'te verilen sonlu otomat modeline uygun olarak pekiştirmeli öğrenme ortamı oluşturulmuştur. Her iki OYA için ayrı ayrı Q-öğrenme algoritması oluşturulmuş ve Q tabloları elde edilmiştir. Araçların aynı zamanda çarpışma bölgesi yakınında bulunması durumunda, OYA1'e öncelik tanınmıştır. Bu önceliğe göre, her iki araç aynı anda çarpışma bölgesi yakınında bulunduğunda, OYA1 hareket ederek çarpışma bölgesine girecek, OYA2 ise, OYA1 bölgeden çıkana kadar hareket etmeyecektir. OYA1 çarpışma bölgesinden ayrıldıktan sonra OYA2 harekete geçecektir. Bu işlemleri gerçekleştirecek Q-öğrenme algoritması için, hiperparametreler uygun şekilde seçilmelidir.

Q-öğrenme algoritmasında seçilecek temel hiperparametreler; öğrenme oranı, epsilon ve indirim faktörüdür. Bu parametreler, modelin çevreyi ne kadar iyi öğrenebildiğini temsil eder. Öğrenme oranı, ağıın öğrendiği bilgiye ne kadar hızlı uygulanacağını belirleyen bir parametredir. Bu oran küçük olduğunda öğrenme yavaş olurken, oranın büyük seçilmesi osilasyon problemine sebep olabilir ve ağıın performansı düşebilir. Bu nedenle, öğrenme oranı seçiminde bir denge bulunması önemlidir. Öğrenme oranı seçimi için 0 ile 1 arasında bir değer belirlenir. İndirim faktörü ise 0 ile 1 arası bir değer olup gelecekteki ödüllere daha fazla önem verilmesi adına genellikle 1 değerine yakın seçilmektedir. Epsilon değeri, bir ajanın rastgele eylemler seçme olasılığını belirleyen bir parametredir. Epsilon değeri, 0 ile 1 arasında bir değer alır ve bu değer ne kadar yüksekse, ajanın rastgele eylemler seçme olasılığı o kadar fazla olur. Bu durum, öğrenilen bilginin daha az kullanılmasına ve dolayısıyla daha düşük performansa yol açabilir. Eğer epsilon değeri çok küçükse, ajanın rastgele eylemler seçme olasılığı azalır ve bu da öğrenilen bilgiyi test etme ve optimize etme fırsatını azaltır. Bu nedenle, epsilon değerinin seçiminde de bir denge bulunması önemlidir.

Hiperparametre seçimleri, deneme-yanılma yöntemleriyle veya çeşitli algoritmalarla belirlenebilir. Izgara arama (grid search) algoritması da bu seçimler için kullanılan ve bir makine öğrenimi modelinin performansını optimize etmeyi sağlayan bir yöntemdir.

Bu yöntemde, modelin çeşitli hiperparametreleri için farklı değerler deneyerek hangi hiperparametrelerin en iyi performansı sağladığı belirlenir. Bu çalışmada, indirim faktörü değeri sabit olarak 0.95 olarak seçilmiş ve öğrenme oranı ile epsilon hiperparametrelerinin seçimi için ızgara arama algoritması kullanılmıştır. Öğrenme oranı için 0.1 ile 0.9 arasında 0.1 artışlarla değişen dokuz değer ve aynı şekilde değişen dokuz epsilon değeri için Q-öğrenme algoritması oluşturulmuş ve Q tabloları incelenmiştir. Oluşturulan Q tablolarının incelenmesi sonucunda, hem OYA1 için hem de OYA2 için öğrenme oranının "0.1", epsilon değerinin "0.4" olduğu değerlerde modelin ortamı iyi şekilde öğrendiği belirlenmiş ve hiperparametreler bu değerlerde seçilmiştir.

Tek yönlü hareket eden araç sistemi için seçilen hiperparametrelere göre, OYA1 için oluşturulan Q tablosu Şekil 3.5'te, OYA2 için oluşturulan Q tablosu ise Şekil 3.6'da görülmektedir.

Tek yönlü hareket eden OYA1 için Q tablosu

s0	64.23	68.66	53.23
s1	64.66	69.12	53.66
s2	65.12	69.6	54.12
s3	65.6	70.1	54.6
s4	66.1	70.64	55.1
s5	66.64	71.19	55.64
s6	67.19	71.78	56.19
s7	67.78	72.4	56.78
s8	68.4	73.06	57.4
s9	69.06	73.74	58.06
s10	69.74	74.47	58.74
s11	70.47	75.23	59.47
s12	64.23	68.66	45
s13	64.66	69.12	45
s14	65.12	69.6	45
s15	65.6	70.1	45
s16	66.1	70.64	45
s17	66.64	71.19	45
s18	67.19	71.78	45
s19	67.78	72.4	45
s20	68.4	73.06	45
s21	69.06	73.74	51
s22	69.74	74.47	51.32
s23	70.47	75.23	51.65
s24	55.01	60	51.96
s25	56	60	53.65
s26	60	42	54.12
s27	56	60	54.6
s28	56	60	55.1
s29	56	60	55.64
s30	56	60	56.19
s31	56	60	56.78
s32	60	48	57.4
s33	62	66.32	58.06
s34	62.32	66.65	58.74
s35	62.65	67	59.47

t0 t1 t2

Eylemler

Şekil 3.5 : Tek yönlü hareket eden OYA1'e ait Q tablosu.

Şekil 3.5'te yer alan Q tablosunda, satırlar OYA1'in durumlarını, sütunlar ise OYA1'in eylemlerini göstermektedir. Her satırdaki maksimum değere karşılık gelen sütun, o

durumda gerçekleştirilmesi gereken eylemi temsil eder. OYA1 için bulunduğu durumlara karşılık bu tablodaki maksimum değerli eylemlerin seçilmesi ile aracın kontrolü sağlanmış olur.

Tek yönlü hareket eden OYA2 için Q tablosu

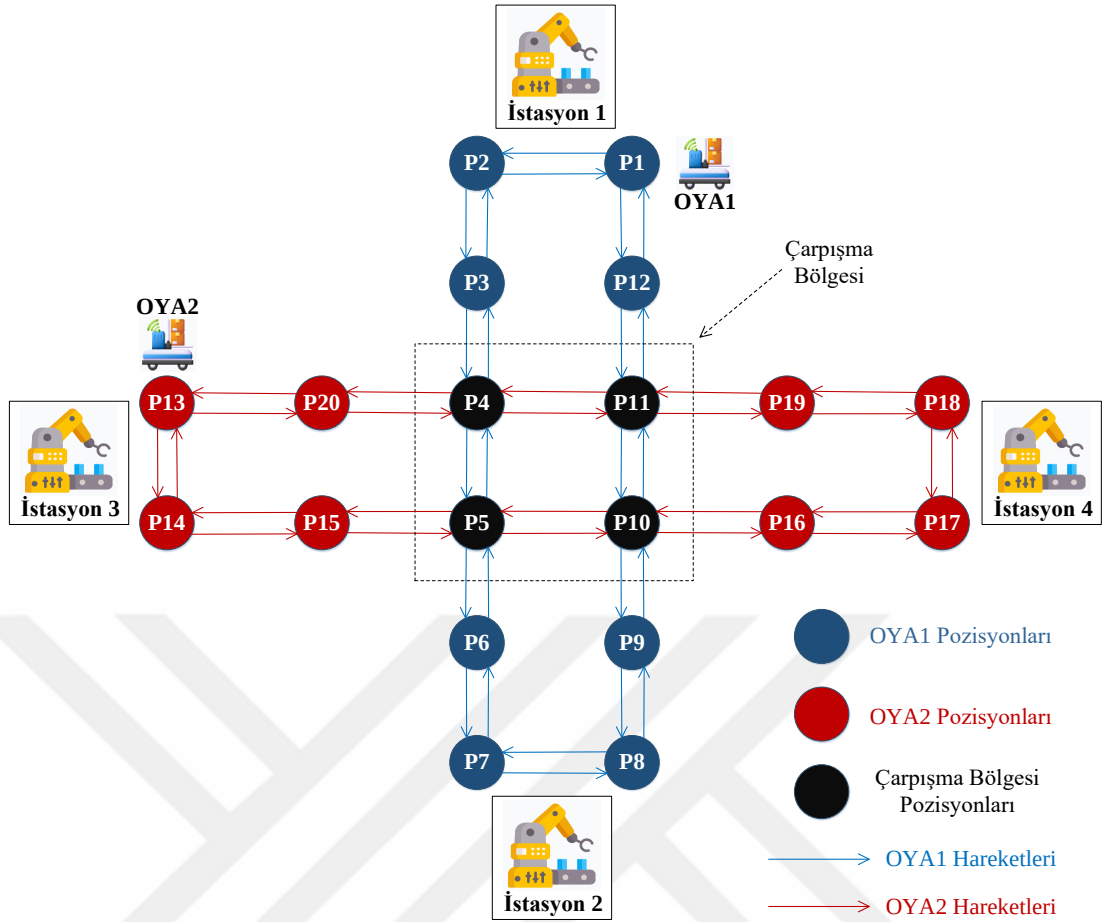
Durumlar	t0	t1	t2
s0	64.23	68.66	45
s1	64.66	69.12	45
s2	65.12	69.6	45
s3	65.6	70.1	45
s4	66.1	70.64	45
s5	66.64	71.19	45
s6	67.19	71.78	45
s7	67.78	72.4	45
s8	68.4	73.06	45
s9	69.06	73.74	51
s10	69.74	74.47	51.32
s11	70.47	75.23	51.65
s12	56	60	45
s13	56	60	45
s14	60	42	45
s15	56	60	45
s16	56	60	45
s17	56	60	45
s18	56	60	45
s19	56	60	45
s20	60	48	45
s21	62	66.32	51
s22	62.32	66.65	51.32
s23	62.65	67	51.65
s24	53.84	60	52.04
s25	56	60	53.66
s26	60	42	54.12
s27	56	60	54.6
s28	56	60	55.1
s29	56	60	55.64
s30	56	60	56.19
s31	56	60	56.78
s32	60	48	57.4
s33	62	66.32	58.06
s34	62.32	66.65	58.74
s35	62.65	67	59.47
	t0	t1	t2
	Eylemler		

Şekil 3.6 : Tek yönlü hareket eden OYA2'ye ait Q tablosu.

Şekil 3.6'da yer alan Q tablosunda, satırlar OYA2'nin durumlarını, sütunlar ise OYA2'nin eylemlerini göstermektedir. Her satırdaki maksimum değere karşılık gelen sütun, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylemi temsil eder. OYA2 için, bulunduğu durumlara karşılık bu tablodaki maksimum değerli eylemlerin seçilmesi ile aracın kontrolü sağlanmış olur.

3.3 İki Yönlü Çalışma Tipine Sahip OYA Sistemi

İki yönlü hareket kabiliyetine sahip olan OYA'larda, araçlar düğümlerde durma ve düğümler arasında ileri yönlü çizgi takibi hareketinin yanı sıra geri gitme hareketini de gerçekleştirir. Bu tür araçlar için ileri hareket etme, geri hareket etme ve durma eylemleri tanımlanmıştır. İki yönlü çalışma tipine sahip OYA'lar için çalışılan örnek problem Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : İki yönlü hareket eden OYA'lar için çalışılan örnek problem.

Şekil 3.7'deki mavi oklar, birinci OYA için hareket yönünü gösterirken, kırmızı oklar ise ikinci OYA için hareket yönünü belirtmektedir. OYA1 mavi ve siyah düğümler üzerinde hareket ederek İstasyon 1'den İstasyon 2'ye parça taşırken, OYA2 kırmızı ve siyah düğümler üzerinde hareket ederek İstasyon 3'ten İstasyon 4'e parça taşımaktadır. İki aracın ortak olarak kullandığı düğümler siyah ile işaretlenmiş olup bu alana çarpışma bölgesi denilmiştir. OYA1, P1 noktasından hareketine başlayarak rotası üzerindeki düğümleri takip eder ve tekrar P1 noktasına dönerek görevini tamamlar. OYA2 ise P13 noktasından hareketine başlayarak rotası üzerindeki düğümleri takip eder ve tekrar P13 noktasına dönerek görevini tamamlar. Bu çalışma tipinin tek yönlü çalışma tipinden tek farkı, araçların geri hareket etme kabiliyetine sahip olmasıdır.

Hem tek yönlü hem de iki yönlü çalışma tipinde, araçların aynı anda çarpışma bölgesinde bulunmaması istenir. Bu nedenle, her iki aracın da iyi bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Araçların kontrolü için pekiştirmeli öğrenme algoritmalarından Q-öğrenme yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak, OYA'lar sonlu durum otomatlarıyla modellenmiş ve bu modeller temel alınarak araçların çalışma platformu

oluşturulmuştur. Durumlar, sonraki durumlar ve ödülleri, gerçekleştirilebilecek eylemlere bağlı olarak belirlenmiştir. OYA kontrolü için kullanılan Q tablosu, Bellman denklemi kullanılarak güncellenmiş ve elde edilen Q tablosunda durumlara karşılık gelen eylemlerdeki maksimum Q değerine sahip eylem, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylem olarak belirlenmiştir. Araçlar, bu eylemleri gerçekleştirerek çarpışma yaşamadan hareketlerini gerçekleştirebilir.

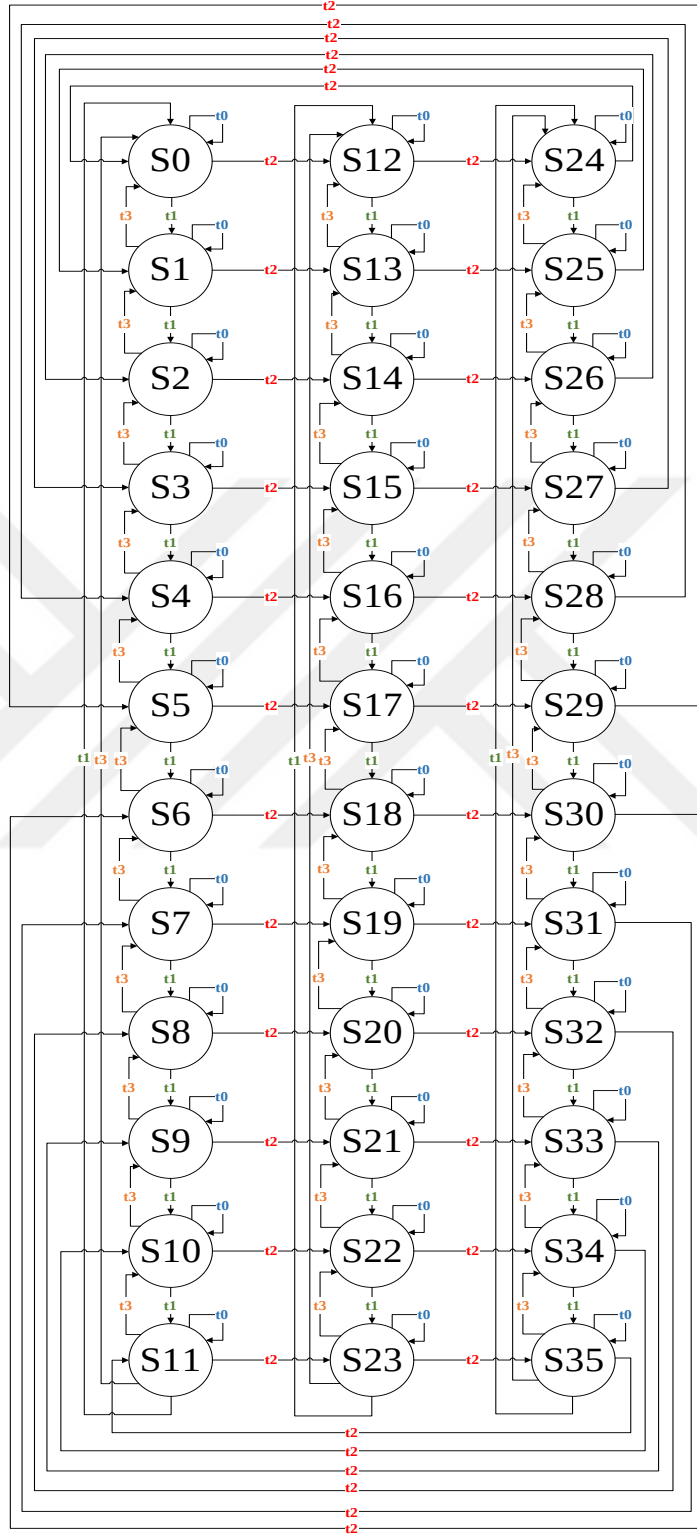
3.3.1 İki yönlü çalışma tipine sahip OYA sisteminin sonlu durum otomatları ile modellenmesi

Şekil 3.7'deki OYA sistemine yönelik çarpışmaların önlenmesi için tek yönlü hareket eden araçlarda olduğu gibi merkezi olmayan bir kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde de, her iki OYA için ayrı kontrol mekanizmalarının oluşturulmuş ve araçların hareketlerinin kontrolü sağlanmıştır. İki yönlü çalışma ortamında OYA1 için Şekil 3.8'de görülen model oluşturulmuştur.

Şekil 3.8'deki modelde, OYA1'in her bir konumu için üç farklı durum tanımlanmıştır. Bu durumlar; OYA2'nin çarpışma bölgesi dışında olduğu durum, OYA2'nin çarpışma bölgesi yakınında olduğu durum ve OYA2'nin çarpışma bölgesi içinde olduğu durumdur. OYA1'in hareketi için 12 farklı konum bulunduğundan, toplamda 36 durum belirlenmiştir. Sistemdeki durum değişiklikleri geçişler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. İki yönlü çalışmada OYA1 için dört farklı geçiş belirlenmiştir. İlk geçiş, OYA1'in beklediği eylemi temsil ederken, ikinci geçiş OYA1'in bir düğüm ileri hareket ettiği eylemi, üçüncü geçiş OYA2'nin çarpışma bölgesindeki durumunu değiştirdiğini ve dördüncü geçiş ise OYA1'in bir düğüm geri hareket ettiği eylemi ifade etmektedir.

Şekil 3.8'de görülen sonlu otomat modelinde S0 ile S11 arasındaki durumlar, OYA1'in sırasıyla P1 ile P12 konumları arasında bulunduğunu ifade ederken, OYA2'nin çarpışma bölgesi dışında olduğu durumları belirtir. S12 ile S23 arasındaki durumlar, OYA1'in P1 ile P12 konumları arasında bulunmasını temsil ederken OYA2'nin çarpışma bölgesi yakınındaki P15 veya P19 konumlarında bulunduğunu gösterir. S24 ile S35 arasındaki durumlar ise, OYA1'in P1 ile P12 konumları arasında bulunmasına karşılık, OYA2'nin çarpışma bölgesi içinde bulunduğunu belirtir. Şekil 3.8'de t0 ile gösterilen geçiş, OYA1'in beklediği eylemi temsil ederken, t1 ile gösterilen geçiş OYA1'in bir düğüm ileri hareket ettiği eylemi, t2 ile gösterilen geçiş OYA2'nin

Çarpışma bölgesinde durum değiştirdiğini, t_3 ile gösterilen geçiş ise OYA1'in bir düğüm geri hareket ettiği eylemi ifade eder.



şekil 3.8 : İki yönlü çalışma tipine sahip OYA için sonlu durum otomat modeli.

şekil 3.8'deki model, OYA1 için kullanıldığı gibi, aynı çalışma tipine ve eşit düğüm sayısına sahip OYA2 için de kullanılabilir. şekil 3.7'de P13 ile P20 arasında gösterilen

rotada, OYA2'nin hareket ettiği 12 düğüm bulunmaktadır. Bu modeldeki S0 ile S11 arasındaki durumlar, OYA2'nin sırasıyla P13 ile P20 konumları arasında bulunduğu, OYA1'in ise çarpışma bölgesi dışında olduğu durumları ifade eder. S12 ile S23 arasındaki durumlar, OYA2'nin P13 ile P20 konumları arasında bulunmasını temsil ederken OYA1'in çarpışma bölgesi yakınındaki P3 veya P9 konumlarında bulunduğunu gösterir. S24 ile S35 arasındaki durumlar ise, OYA2'nin P13 ile P20 konumları arasında bulunmasına karşılık OYA1'in çarpışma bölgesi içinde bulunduğunu belirtir. Şekil 3.8'deki modelde t0 ile gösterilen geçiş, OYA2'nin beklediği eylemi temsil ederken, t1 ile gösterilen geçiş OYA2'nin bir düğüm ileri hareket ettiği eylemi, t2 ile gösterilen geçiş OYA1'in çarpışma bölgesinde durum değiştirdiğini, t3 ile gösterilen geçiş ise OYA2'nin bir düğüm geri hareket ettiği eylemi ifade eder.

3.3.2 İki yönlü çalışma tipine sahip OYA sistemi için Q-öğrenme algoritması

İki yönlü hareket kabiliyetine sahip araçların kontrolü için Şekil 3.8'deki sonlu otomat modeline göre Q-öğrenme algoritması oluşturulmuştur. Bu algoritma için belirlenen ödül değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : İki yönlü hareket eden OYA'lar için ödüller.

OYA Eylemleri	Ödül / Ceza
Yakınında diğer araç olmadığı halde bekleme	-1
Yakınında diğer araç yokken geri hareket etme	-3
Aracın gerçekleştirmesi mümkün olmayan eylem	-12
Çarpışma bölgesinde araç varken bölgeye girme	-15
Çarpışma bölgesinde araç varken bölgeye girmeden bekleme	3
Yakınında diğer araç yokken ileri hareket etme	3
Çarpışma bölgesinde araç varken geri hareket ederek bölgeden çıkma	3
Hareketini tamamlayıp başlangıç noktasına dönme	10

Çizelge 3.2'deki aracın gerçekleştirmesi mümkün olmayan eylem, tek yönlü çalışmada da t2 olarak belirtilen ve gerçekleştirilemeyen bir eylemi ifade etmektedir. Bu eylem, diğer aracın çarpışma bölgesindeki durumunu değiştirdiğini göstermekte olup kontrol edilemez bir eylemdir ve bu eylemin gerçekleşmesini önlemek için yüksek bir ceza değeri verilmiştir. Ancak, diğer araç tarafından çarpışma bölgesinde durum değişimi olabileceği için, bu eylem modelde tanımlanmış ve Q-öğrenme algoritmasında kullanılmıştır. Ayrıca araçların geri hareket etme olanağının bulunmasıyla yeni bir ödül ve yeni bir ceza eklenmiştir. Araçların yakınında diğer aracın olmadığı durumlarda geri gitmesi halinde ceza verilecek, çarpışma bölgesinde araç varken

yanlışlıkla girilmesi durumunda geri hareket ederek çıkması durumunda da ödül verilecektir.

İki yönlü çalışma tipine sahip araçlar için Q-öğrenme algoritması tasarımı, Çizelge 3.2'deki ödül/ceza değerlerine ve Şekil 3.8'deki modele uygun olarak oluşturulan pekiştirmeli öğrenme ortamıyla başlatılmıştır. Her iki OYA için ayrı ayrı Q-öğrenme algoritmaları oluşturulmuş ve Q tabloları elde edilmiştir. Çarpışma bölgesine aynı anda yaklaşma durumunda, yine OYA1'e öncelik verilmiştir. Bu öncelik doğrultusunda, her iki araç aynı anda çarpışma bölgesine yaklaştığında, OYA1 hareket ederek bölgeye girecek ve OYA2, OYA1 bölgeden çıkana kadar bekleyecektir. OYA1 bölgeden ayrıldıktan sonra OYA2 harekete geçecektir. Tek yönlü çalışmadan farklı olarak, çarpışma bölgesinde araç bulunmasına rağmen bölgeye giren araç, geri hareket ederek bölgeden çıkabilecektir.

İki yönlü hareket gerçekleştiren OYA'ların hareketlerini gerçekleştirmek için tasarlanacak Q-öğrenme algoritmasında da tek yönlü hareket gerçekleştiren sistemlerde olduğu gibi uygun hiperparametreler seçilmelidir. Bu bölümde yapılan çalışmada, iki yönlü hareket edebilen araç sistemleri için indirim faktörü değeri sabit olarak 0.95 olarak belirlenmiştir. Bu sistemlerin kontrolünü sağlayacak Q-öğrenme algoritmasında öğrenme oranı ve epsilon hiperparametrelerinin seçimi için de ızgara arama algoritması kullanılmıştır. Öğrenme oranı için 0.1 ile 0.9 arasında 0.1 artışlarla değişen dokuz adet değer ve epsilon için aynı şekilde değişen dokuz adet değer kullanılarak Q tabloları oluşturulmuş ve incelenmiştir. Elde edilen Q tabloları incelenerek, her iki OYA için de öğrenme oranının "0.1", epsilon değerinin "0.4" olduğu durumda modelin çevreyi başarılı bir şekilde öğrendiği belirlenmiş ve iki yönlü çalışma tipine sahip araç sistemleri için hiperparametreler bu değerlerle seçilmiştir.

İki yönlü hareket kabiliyetine sahip araçlar için oluşturulan modelde, tek yönlü çalışan araçlarla aynı şekilde 36 adet durum belirlenmiştir. İki yönlü çalışan araçlarda geri gitme olanağının da bulunması nedeniyle, 4 adet eylem bulunmaktadır. İki yönlü çalışan araçlar, tek yönlü çalışma tipine sahip araçlardan eylem sayısı ile ayrılmaktadır. Her iki araç için oluşturulan modeller ve seçilen hiperparametreler doğrultusunda OYA1 için elde edilen Q tablosu Şekil 3.9'da, OYA2 için elde edilen Q tablosu ise Şekil 3.10'da görülmektedir.

Şekil 3.9'da yer alan Q tablosunda, satırlar OYA1'in durumlarını, sütunlar ise OYA1'in eylemlerini göstermektedir. Her satırdaki maksimum değere karşılık gelen sütun, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylemi temsil eder. OYA1 için, bulunduğu durumlara karşılık bu tablodaki maksimum değerli eylemlerin seçilmesi ile aracın kontrolü sağlanmış olur.

İki yönlü hareket eden OYA1 için Q tablosu

Durumlar	t0	t1	t2	t3
s0	64.23	68.66	53.23	68.47
s1	64.66	69.12	53.66	62.23
s2	65.12	69.6	54.12	62.66
s3	65.6	70.1	54.6	63.12
s4	66.1	70.64	55.1	63.6
s5	66.64	71.19	55.64	64.1
s6	67.19	71.78	56.19	64.64
s7	67.78	72.4	56.78	65.19
s8	68.4	73.06	57.4	65.78
s9	69.06	73.74	58.06	66.4
s10	69.74	74.47	58.74	67.06
s11	70.47	75.23	59.47	67.74
s12	64.23	68.66	45	68.47
s13	64.66	69.12	45	62.23
s14	65.12	69.6	45	62.66
s15	65.6	70.1	45	63.12
s16	66.1	70.64	45	54.6
s17	66.64	71.19	45	55.1
s18	67.19	71.78	45	64.64
s19	67.78	72.4	45	65.19
s20	68.4	73.06	45	65.78
s21	69.06	73.74	45	66.4
s22	69.74	74.47	51.32	58.06
s23	70.47	75.23	51.65	58.74
s24	54.24	60	49.9	60.1
s25	56	60	53.66	54
s26	60	42	54.12	54
s27	56	42	54.6	60
s28	56	60	55.1	42
s29	56	60	55.64	45
s30	56	60	56.19	54
s31	56	60	56.78	54
s32	60	42	57.4	54
s33	56	48.32	58.06	60
s34	62.32	66.66	58.74	42
s35	62.65	67.02	59.47	48.32
	t0	t1	t2	t3
	Eylemler			

Şekil 3.9 : İki yönlü hareket eden OYA1'e ait Q tablosu.

Şekil 3.10'da yer alan Q tablosunda, satırlar OYA2'nin durumlarını, sütunlar ise OYA2'nin eylemlerini göstermektedir. Her satırdaki maksimum değere karşılık gelen sütun, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylemi temsil eder. OYA2 için, bulunduğu durumlara karşılık bu tablodaki maksimum değerli eylemlerin seçilmesi ile aracın kontrolü sağlanmış olur.

İki yönlü hareket eden OYA2 için Q tablosu

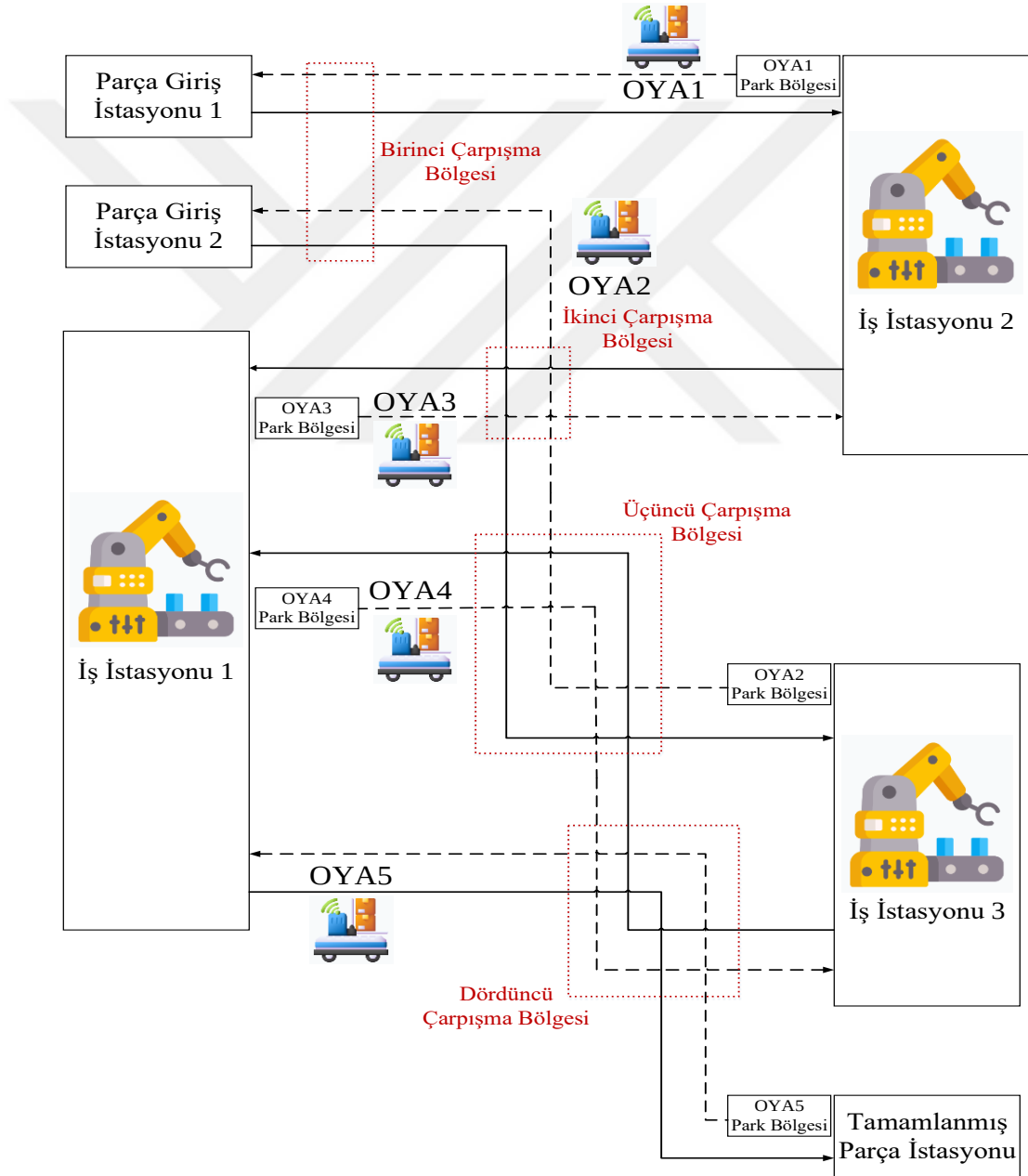
s0	64.23	68.66	45	59.47
s1	64.66	69.12	45	62.23
s2	65.12	69.6	45	62.66
s3	65.6	70.1	45	63.12
s4	66.1	70.64	45	63.6
s5	66.64	71.19	45	64.1
s6	67.19	71.78	45	64.64
s7	67.78	72.4	45	65.19
s8	68.4	73.06	45	65.78
s9	69.06	73.74	45	66.4
s10	69.74	74.47	51.32	67.06
s11	70.47	75.23	51.65	67.74
s12	56	60	45	51.65
s13	56	60	45	54
s14	60	42	45	54
s15	56	42	45	60
s16	56	60	45	42
s17	56	60	45	45
s18	56	60	45	54
s19	56	60	45	54
s20	60	42	45	54
s21	56	48.32	45	60
s22	62.32	66.65	51.32	42
s23	62.65	67	51.65	48.32
s24	55.88	60	53.19	51.63
s25	56	60	53.66	54
s26	60	42	54.12	54
s27	56	42	54.6	60
s28	55.99	60	55.1	41.99
s29	56	60	55.64	45
s30	56	60	56.19	54
s31	56	60	56.78	54
s32	60	42	57.4	54
s33	56	48.32	58.06	60
s34	62.31	66.65	58.74	42
s35	62.65	67	59.47	48.32
	t0	t1	t2	t3

Eylemler

Şekil 3.10 : İki yönlü hareket eden OYA2'ye ait Q tablosu.

4. ÇOKLU ARAÇ SİSTEMLERİ İÇİN MERKEZİ OLMAYAN ÇARPIŞMA ÖNLEME YÖNTEMİ

Bu bölümde, çoklu OYA içeren sistemler için çarpışma önleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu sistemlerdeki araçların tek yönlü hareket kabiliyetine sahip olduğu ve kendilerine tanımlı rotalarda çizgi takibi yaparak parça taşıma işlemlerini gerçekleştirdiği kabul edilmiştir. Çalışmalarda kullanılan üretim sistemi senaryosu, Wonham ve Cai (2019)'nin çalışmasında yer alan örnekten adapte edilmiştir ve bu sistem, Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1 : Beş adet araç içeren örnek üretim sistemi.

Şekil 4.1’de görülen sistem; iki farklı parça üretimi için iki adet parça giriş istasyonu, üç adet iş istasyonu, bir adet tamamlanmış parça istasyonu ve beş adet OYA içermektedir. Bu sistemde OYA’ların rotaları dört farklı bölgede çakışmaktadır. Bu bölgeler, çarpışma bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemde, OYA1 ile OYA2’nin rotaları birinci çarpışma bölgesinde, OYA2 ile OYA3’ün rotaları ikinci çarpışma bölgesinde, OYA2 ile OYA4’ün rotaları üçüncü çarpışma bölgesinde, OYA4 ile OYA5’in rotaları ise dördüncü çarpışma bölgesinde çakışmaktadır. Sistemin ideal biçimde çalışması için çarpışma bölgelerinde aynı anda iki aracın bulunmaması gerekmektedir.

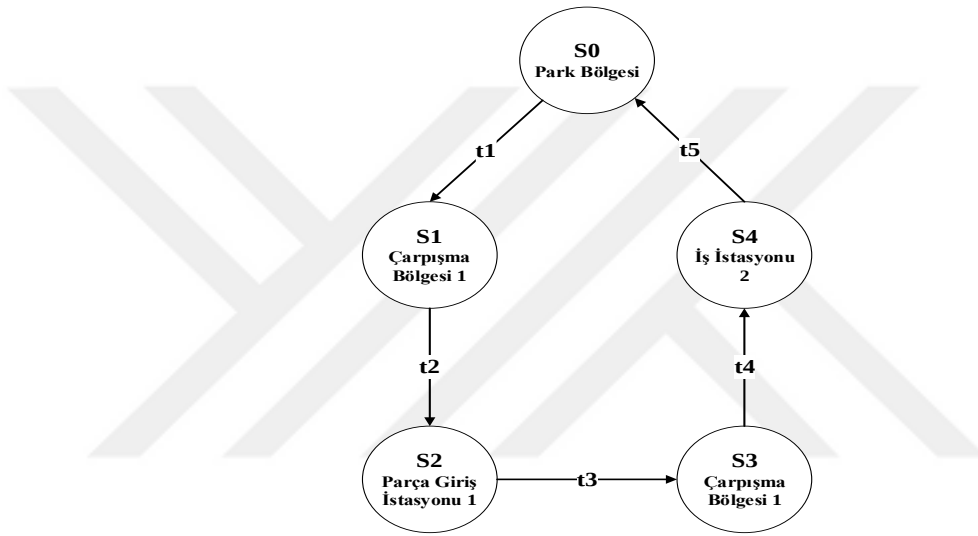
Şekil 4.1’deki sistemde OYA1, İş İstasyonu 2 ile Parça Giriş İstasyonu 1 arasında parça taşıma görevini gerçekleştirir ve hareketi sırasında birinci çarpışma bölgesine girip çıkmaktadır. Sistemdeki OYA2 ise, İş İstasyonu 3 ile Parça Giriş İstasyonu 2 arasında görev yaparken birinci, ikinci ve üçüncü çarpışma bölgelerine girip çıkmaktadır. İş İstasyonu 1 ve İş İstasyonu 2 arasında görev yapan OYA3, çalışması sırasında ikinci çarpışma bölgesine girip çıkmaktadır. İş İstasyonu 1 ile İş İstasyonu 3 arasında çalışan OYA4 ise, hareketi esnasında hem üçüncü hem de dördüncü çarpışma bölgesine girip çıkmaktadır. Son olarak OYA5, İş İstasyonu 1 ile Tamamlanmış Parça İstasyonu arasında görev yapmakta ve çalışması sırasında dördüncü çarpışma bölgesine girip çıkmaktadır. Sistemdeki araçlar, görevleri olmadığı zamanlarda kendilerine ait park bölgelerinde beklemekte ve bu alanda şarj olmaktadır. OYA1’in park bölgesi İş İstasyonu 2’nin yakınında, OYA2’nin park bölgesi İş İstasyonu 3’ün yakınında, OYA3’ün park bölgesi İş İstasyonu 1’in yakınında, OYA4’ün park bölgesi İş İstasyonu 1’in yakınında ve OYA5’in park bölgesi Tamamlanmış Parça İstasyonu yakınında bulunmaktadır.

4.1 Araçların Hareketlerini Gösteren Sonlu Durum Otomat Modelleri

Şekil 4.1’deki sistemde araçların gerçekleştirdiği hareketleri göstermek ve çarpışma önlemeyi gerçekleştirecek algoritmaların temelini oluşturmak için her bir aracın sonlu durum otomat modelleri oluşturulmuştur. Araçların otomat modelleri oluşturulurken bulunduğu bölgeler temel alınarak durumlar belirlenmiştir. Araçların bulunduğu bölgeyi tespit edebilmek ve hareketlerini izleyebilmek için, radyo frekans (RF) sinyali tabanlı konumlandırma sisteminin kullanıldığı kabul edilmiştir. Bu sistemde,

yerleştirilen RF alıcıları veya etiketleri, OYA'ların üzerindeki RF vericilerle iletişim kurar ve bu sinyaller kullanılarak OYA'ların konumu belirlenebilir.

Beş adet araç içeren sistem de OYA1 için oluşturulan sonlu durum otomat modeli Şekil 4.2'de görülmektedir. Bu model oluşturulurken, OYA1'in çalışması esnasında bulunduğu önemli konumlar dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, OYA1 için beş adet durum ve beş adet geçiş tanımlanmıştır. OYA1'in çalışması esnasında iki kez birinci çarpışma bölgesine girdiği görülmektedir. OYA1'in OYA2 ile aynı anda birinci çarpışma bölgesine girmemesi için oluşturulacak algorithmada, bu otomat modeli temel alınacaktır.



Şekil 4.2 : OYA1'in hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli.

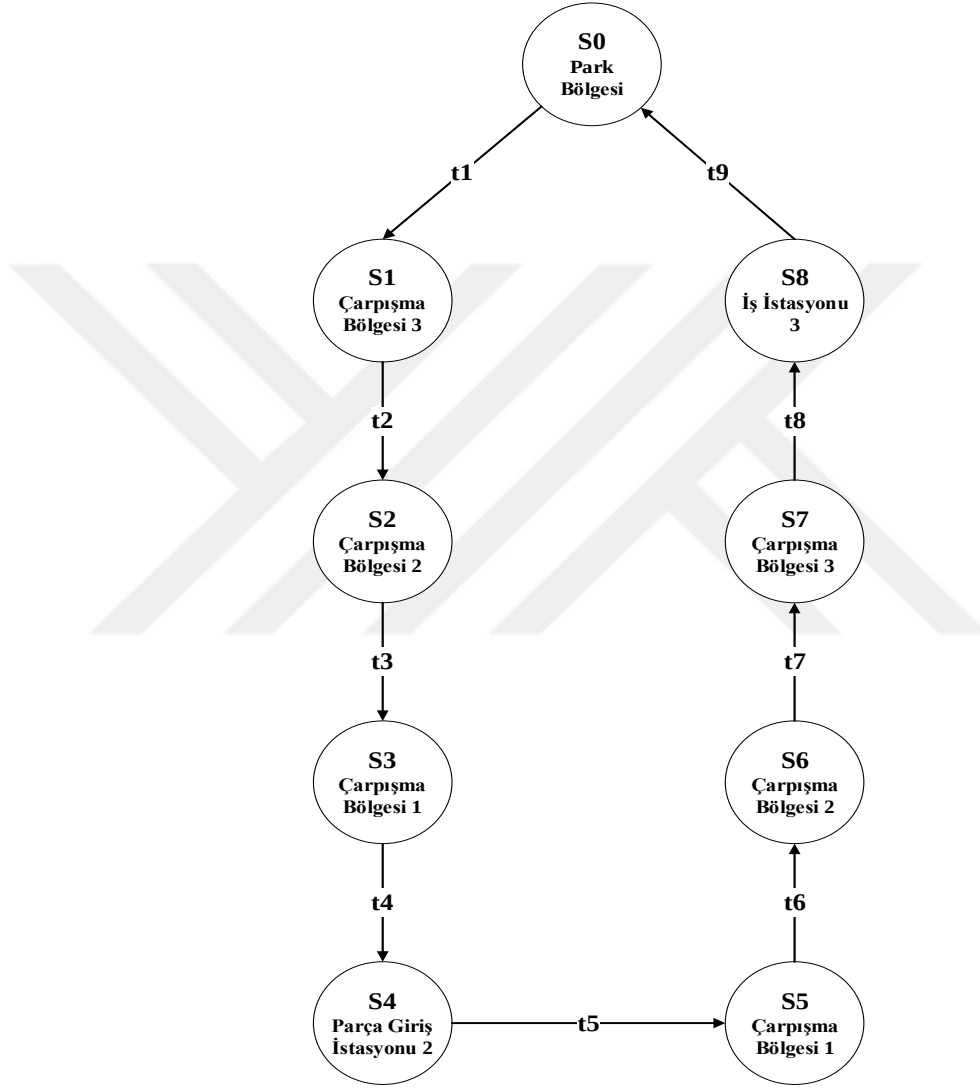
OYA1 için oluşturulan sistem modelinde, OYA1'in bulunduğu durumların ve gerçekleştirdiği olayların açıklamaları Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 : OYA1 için sistem durumları ve olayları.

Durumlar	Durum Açıklamaları	Olaylar	Olay Açıklamaları
S0	Park bölgesinde	t1	Park bölgesinden birinci çarpışma bölgesine girmesi
S1	Birinci çarpışma bölgesi içinde	t2	Birinci çarpışma bölgesinden Parça Giriş İstasyonu 1'e girmesi
S2	Parça Giriş İstasyonu 1'de	t3	Parça Giriş İstasyonu 1'den birinci çarpışma bölgesine girmesi
S3	Birinci çarpışma bölgesi içinde	t4	Birinci çarpışma bölgesinden İş İstasyonu 2'ye girmesi
S4	İş İstasyonu 2'de	t5	İş İstasyonu 2'den park bölgesine dönmesi

Şekil 4.1'deki sistemde OYA2'nin hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli Şekil 4.3'te görülmektedir. Bu model oluşturulurken, OYA2'nin çalışması esnasında

bulunduğu önemli konumlar dikkate alınmış ve OYA2 için dokuz adet durum ve dokuz adet geçiş tanımlanmıştır. OYA2'nin çalışması esnasında iki kez birinci çarpışma bölgesine, iki kez ikinci çarpışma bölgesine, iki kez de üçüncü çarpışma bölgesine girdiği görülmektedir. OYA2'nin; OYA1 ile birinci, OYA3 ile ikinci ve OYA4 üçüncü çarpışma bölgesine aynı anda girmemesi için oluşturulacak algorithmada, bu otomat modeli temel alınacaktır.



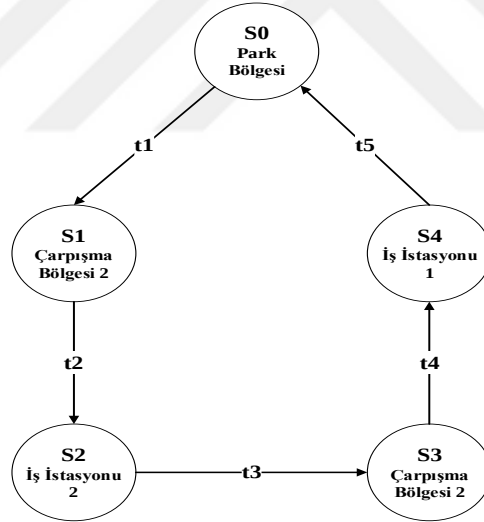
Şekil 4.3 : OYA2'nin hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli.

OYA2 için oluşturulan sistem modelinde, OYA2'nin bulunduğu durumların ve OYA2'nin gerçekleştirdiği olayların açıklamaları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Şekil 4.1'deki sistemde OYA3'ün hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli Şekil 4.4'te görülmektedir.

Çizelge 4.2 : OYA2 için sistem durumları ve olayları.

Durumlar	Durum Açıklamaları	Olaylar	Olay Açıklamaları
S0	Park bölgesinde	t1	Park bölgesinden üçüncü çarpışma bölgesine girmesi
S1	Üçüncü çarpışma bölgesi içinde	t2	Üçüncü çarpışma bölgesinden ikinci çarpışma bölgesine girmesi
S2	İkinci çarpışma bölgesi içinde	t3	İkinci çarpışma bölgesinden birinci çarpışma bölgesine girmesi
S3	Birinci çarpışma bölgesi içinde	t4	Birinci çarpışma bölgesinden Parça Giriş İstasyonu 2'ye girmesi
S4	Parça Giriş İstasyonu 2'de	t5	Parça Giriş İstasyonu 2'den Birinci çarpışma bölgesine girmesi
S5	Birinci çarpışma bölgesi içinde	t6	Birinci çarpışma bölgesinden ikinci çarpışma bölgesine girmesi
S6	İkinci çarpışma bölgesi içinde	t7	İkinci çarpışma bölgesinden üçüncü çarpışma bölgesine girmesi
S7	Üçüncü çarpışma bölgesi içinde	t8	Üçüncü çarpışma bölgesinden İş İstasyonu 3'e girmesi
S8	İş İstasyonu 3'te	t9	İş İstasyonu 3'ten park bölgesine dönmesi



Şekil 4.4 : OYA3'ün hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli.

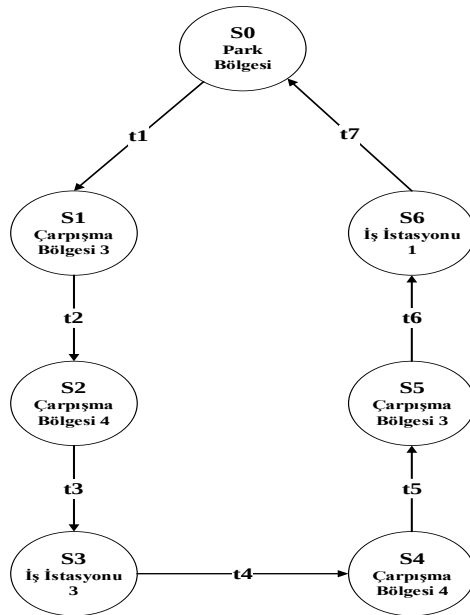
Şekil 4.4'teki model oluşturulurken, OYA3'ün çalışması esnasında bulunduğu önemli konumlar dikkate alınmış ve OYA3 için beş adet durum ve beş adet geçiş tanımlanmıştır. OYA1 ile benzer çalışma şekline sahip olan OYA3'ün, çalışması esnasında iki kez ikinci çarpışma bölgesine girdiği görülmektedir. OYA3'ün OYA2 ile aynı anda ikinci çarpışma bölgesine girmemesi için oluşturulacak algorithmada, bu otomat modeli temel alınacaktır.

OYA3 için oluşturulan sistem modelinde, OYA3'ün bulunduğu durumların ve gerçekleştirdiği olayların açıklamaları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : OYA3 için sistem durumları ve olayları.

Durumlar	Durum Açıklamaları	Olaylar	Olay Açıklamaları
S0	Park bölgesinde	t1	Park bölgesinden ikinci çarpışma bölgesine girmesi
S1	İkinci çarpışma bölgesi içinde	t2	İkinci çarpışma bölgesinden İş İstasyonu 2'ye girmesi
S2	İş İstasyonu 2'de	t3	İş İstasyonu 2'den ikinci çarpışma bölgesine girmesi
S3	İkinci çarpışma bölgesi içinde	t4	İkinci çarpışma bölgesinden İş İstasyonu 1'e girmesi
S4	İş İstasyonu 1'de	t5	İş İstasyonu 1'den park bölgesine dönmesi

Şekil 4.1'deki sistemde OYA4'ün hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli Şekil 4.5'te görülmektedir. Bu model oluşturulurken, OYA4'ün çalışması esnasında bulunduğu konumlar dikkate alınmış ve OYA4 için yedi adet durum ve yedi adet geçiş tanımlanmıştır. OYA4'ün çalışması esnasında iki kez üçüncü çarpışma bölgesine, iki kez de dördüncü çarpışma bölgesine girdiği görülmektedir. OYA4, birinci ve ikinci çarpışma bölgelerinde hareket etmediği için bu bölgelerde OYA4 için herhangi bir kontrol gerekmemektedir. OYA4'ün OYA2 ile üçüncü çarpışma bölgesinde, OYA5 ile de dördüncü çarpışma bölgesinde rotası çakışmaktadır. Bu nedenle OYA4'ün OYA2 ile üçüncü çarpışma bölgesine, OYA5 ile dördüncü çarpışma bölgesine aynı anda girmemesi için oluşturulacak algoritmada, bu otomat modeli temel alınacaktır.



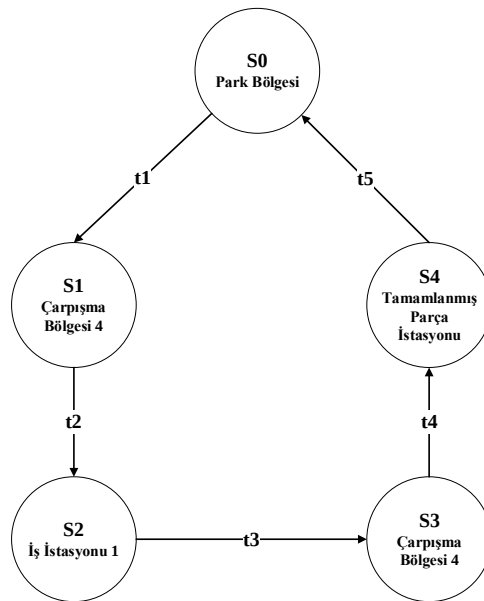
Şekil 4.5 : OYA4'ün hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli.

OYA4 için oluşturulan sistem modelinde, OYA4'ün bulunduğu durumların ve gerçekleştirdiği olayların açıklamaları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 : OYA4 için sistem durumları ve olayları.

Durumlar	Durum Açıklamaları	Olaylar	Olay Açıklamaları
S0	Park bölgesinde	t1	Park bölgesinden üçüncü çarpışma bölgesine girmesi
S1	Üçüncü çarpışma bölgesi içinde	t2	Üçüncü çarpışma bölgesinden dördüncü çarpışma bölgesine girmesi
S2	Dördüncü çarpışma bölgesi içinde	t3	Dördüncü çarpışma bölgesinden İş İstasyonu 3'e girmesi
S3	İş İstasyonu 3'te	t4	İş İstasyonu 3'ten dördüncü çarpışma bölgesine girmesi
S4	Dördüncü çarpışma bölgesi içinde	t5	Dördüncü çarpışma bölgesinden üçüncü çarpışma bölgesine girmesi
S5	Üçüncü çarpışma bölgesi içinde	t6	Üçüncü çarpışma bölgesinden İş İstasyonu 1'e girmesi
S6	İş İstasyonu 1'de	t7	İş İstasyonu 1'den park bölgesine dönmesi

Şekil 4.1'deki sistemde OYA5'in hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli Şekil 4.6'da görülmektedir. Bu model oluşturulurken, OYA5'in çalışması esnasında bulunduğu konumlar dikkate alınmış ve OYA5 için beş adet durum ve beş adet geçiş tanımlanmıştır. OYA1 ve OYA3 ile benzer çalışma şekline sahip olan OYA5'in çalışması esnasında iki kez dördüncü çarpışma bölgesine girdiği görülmektedir. OYA5'in OYA4 ile aynı anda dördüncü çarpışma bölgesine girmemesi için oluşturulacak algorithmada, bu otomat modeli temel alınacaktır.



Şekil 4.6 : OYA5'in hareketlerini gösteren sonlu durum otomat modeli.

OYA5 için oluşturulan sistem modelinde durumların ve olayların açıklamaları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 : OYA5 için sistem durumları ve olayları.

Durumlar	Durum Açıklamaları	Olaylar	Olay Açıklamaları
S0	Park bölgesinde	t1	Park bölgesinden dördüncü çarpışma bölgesine girmesi
S1	Dördüncü çarpışma bölgesi içinde	t2	Dördüncü çarpışma bölgesinden İş İstasyonu 1'e girmesi
S2	İş İstasyonu 1'de	t3	İş İstasyonu 1'den dördüncü çarpışma bölgesine girmesi
S3	Dördüncü çarpışma bölgesi içinde	t4	Dördüncü çarpışma bölgesinden Tamamlanmış Parça İstasyonu'na girmesi
S4	Tamamlanmış Parça İstasyonu'nda	t5	Tamamlanmış Parça İstasyonu'ndan park bölgesine dönmesi

Şekil 4.1'de verilen beş adet OYA platformu için oluşturulan modellere ve araçların çarpışma bölgelerinde bulunma durumlarına göre Q-öğrenme yöntemiyle kontrolün sağlanması için, her bir araca ait sonlu durum otomat modeli ile çarpışma bölgesindeki araçların bulunma durumuna göre olasılıkları içeren sonlu otomat modellerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu modeller oluşturulurken, çarpışma bölgesine girecek olan araçlardan birine öncelik tanınacak şekilde sistem modellenir ve durumlara göre yapılması gereken eylemler gerçekleştirilir.

4.2 Birden Fazla Çarpışma Bölgesine Sahip Sistemlerin Kontrolü İçin Önerilen Yöntem

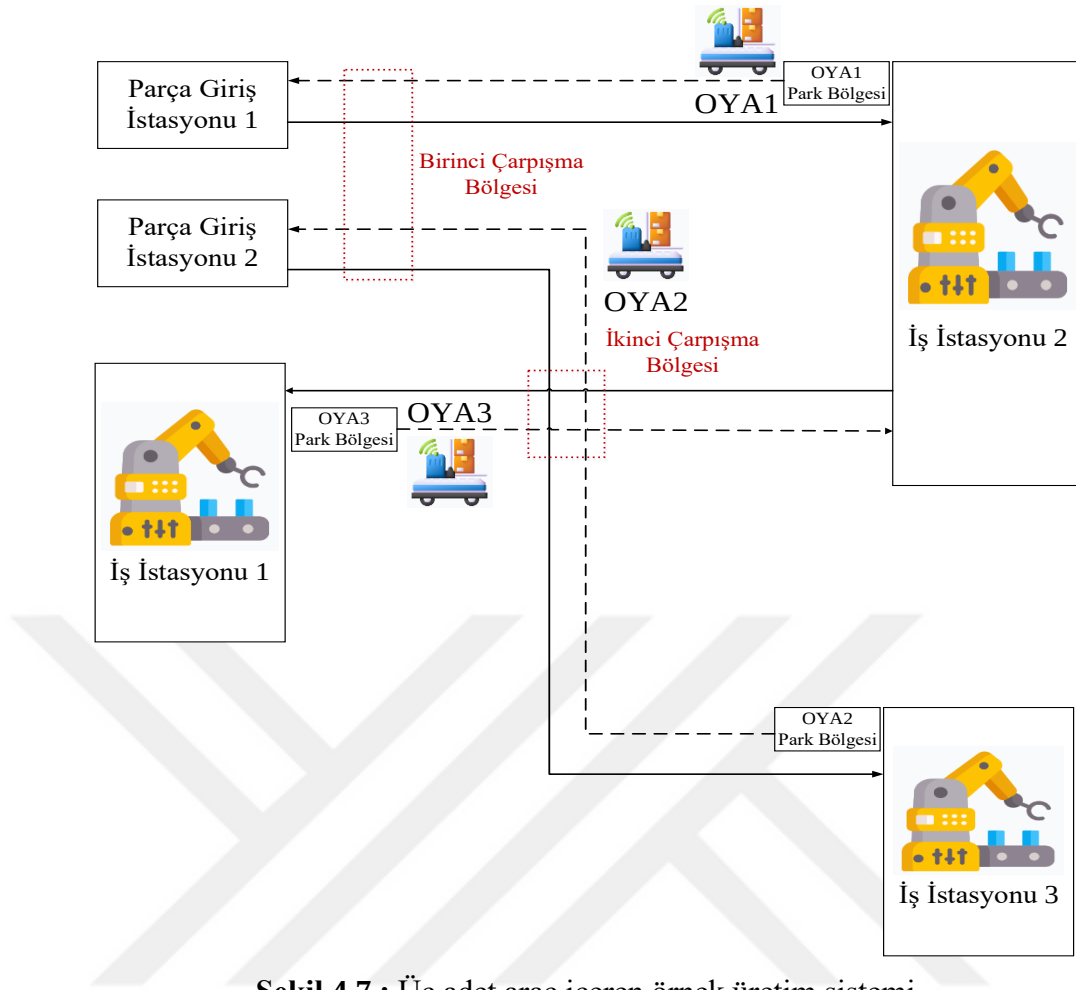
Tezin üçüncü bölümünde iki adet OYA içeren tek çarpışma bölgesine sahip sistemler için bir kontrol yöntemi önerilmiştir. Üçüncü bölümde önerilen yöntemde, araçların bulunduğu konumlara ve çarpışma bölgesine olan uzaklıklarına göre modeller oluşturularak çarpışma önleme gerçekleştirilmiştir. İki den fazla araç ve birden fazla çarpışma bölgesi içeren sistemlerde ise, bu yöntemi kullanmak hem zordur hem de karmaşıklığa sebep olmaktadır. Bu nedenle, tezin bu bölümünde, sonlu durum otomatları kullanılarak yeni bir modelleme yöntemi önerilmiştir. Önerilen modelleme yönteminin algoritması şu şekildedir:

- İlk olarak kontrol edilecek olan aracın bulunduğu önemli konumlara göre sonlu durum otomat modeli oluşturulur.

- Aracın çarpışma bölgeleri içinde olduğu durumlar ve çarpışma bölgelerine girmeden bir önceki durumlar tespit edilir.
- Çarpışma bölgelerine girmeden önceki durumlar ve çarpışma bölgesi içindeki durumların sayısı kadar modele yeni durum eklenir. Eklenen durumlar, kontrol edilecek aracın bulunduğu konumlara karşılık, çarpışma bölgesinde başka araçların bulunduğunu temsil eder.
- Her bir çarpışma bölgesi için yeni durum eklemesi yapılır. Burada dikkat edilecek husus, eklenecek durumların ilgili çarpışma bölgesiyle ilişkili olmasının gerekliliğidir. Bir çarpışma bölgesini etkileyen durum, başka çarpışma bölgesini etkilemeyebilir. Bu durumda sadece ilgili çarpışma bölgesiyle ilişkili durumlar için yeni durumlar eklenir.
- Araçların bir pozisyondan diğer pozisyona hareketi sırasında yapacağı hareketlere göre durum değişimleri ve durumlar arası geçişler belirlenir. Burada konum değişimini gerçekleştiren hareketler için tek bir geçiş değişkeni tanımlanır.
- Bir araç hareket ederken, diğer aracın çarpışma bölgesine girmesini ve çarpışma bölgesinden çıkmasını temsil etmek için iki farklı geçiş değişkeni tanımlanır.
- Aracın beklediği durumları temsil eden bir adet daha geçiş değişkeni tanımlanır ve toplam dört adet geçiş değişkeni oluşturulur.
- Araçların hareketlerine ve diğer araçların çarpışma bölgelerine girmelerine göre durum değişimleri ve durumlar arası geçişler belirlenerek her bir araca ait sonlu durum otomat modeli oluşturulur ve bu modelden kontrol algoritmaları tasarlanır.

4.3 Üç Adet Araç ve İki Adet Çarpışma Bölgesi İçeren Sistem

Tez kapsamında birden fazla çarpışma bölgesine sahip sistemler için önerilen yöntemin doğruluğunu test etmek amacıyla ilk olarak Şekil 4.1'deki beş adet OYA içeren örnek üretim sistemindeki OYA1, OYA2 ve OYA3'ün bulunduğu üç adet araç ve iki adet çarpışma bölgesi içeren sistem için bir çarpışma önleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu üç aracın bulunduğu sistem platformu Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 : Üç adet araç içeren örnek üretim sistemi.

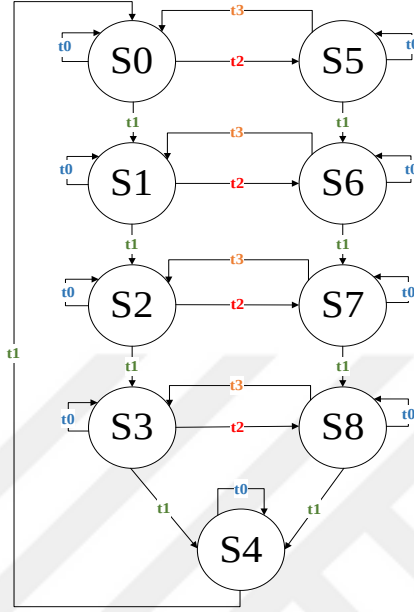
Şekil 4.7’de görülen sistemde, OYA1 ve OYA2’nin birinci çarpışma bölgesinde, OYA2 ile OYA3’ün ikinci çarpışma bölgesinde rotaları çakışmaktadır. Bu nedenle OYA1’in modellenmesinde birinci çarpışma bölgesi, OYA3’ün modellemesinde ikinci çarpışma bölgesi, OYA2’nin modellemesinde ise hem birinci hem de ikinci çarpışma bölgesi dikkate alınmıştır.

4.3.1 Üç adet araç ve iki adet çarpışma bölgesi içeren sistemin sonlu durum otomatları ile modellenmesi

Şekil 4.7’deki OYA sisteminde bulunan üç aracın çarpışmalarının önlenmesi için merkezi olmayan bir kontrol yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, her bir OYA için ayrı ayrı kontrol mekanizmalarının oluşturulur ve araçların hareketlerinin kontrolü sağlanır. Araçların kontrolü için Q-öğrenme algoritması kullanılmıştır. İlk olarak, her bir aracın sonlu durum otomat modeli oluşturulmuştur. Durumlar, sonraki durumlar ve ödülleri, gerçekleştirilebilecek eylemlere bağlı olarak belirlenmiştir. Araçların kontrolü için kullanılan Q tabloları, Bellman denklemi kullanılarak güncellenmiş ve elde edilen

Q tablolarında, durumlara karşılık gelen eylemlerdeki maksimum Q değerine sahip eylem, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylem olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.7'deki sistemde, OYA1 için oluşturulan otomat modeli Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8 : Üç adet araç içeren sistemde OYA1'in sonlu durum otomat modeli.

Şekil 4.8'deki modelde, OYA1'in birinci çarpışma bölgesi yakınındaki ve birinci çarpışma bölgesi içindeki konumları için iki farklı durum tanımlanmıştır. Bu durumlar; OYA2'nin birinci çarpışma bölgesi dışında olduğu durum ve OYA2'nin birinci çarpışma bölgesi içinde olduğu durumdur. OYA1'in hareketi için beş farklı konum belirlenmişti. Bu konumlardan dört tanesi, OYA1'in çarpışma bölgesi yakınında veya içinde bulunduğu durumlar olduğundan bu dört konum için sekiz farklı durum belirlenir. Geriye kalan tek konum, çarpışma bölgesinden ayrı bir konum olduğundan tek durumla ifade edilebilir. Sonuç olarak OYA1 için oluşturulan model dokuz adet durum içermektedir. Sistemdeki durum değişiklikleri geçişler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Önerilen yöntemde OYA1 için dört farklı geçiş belirlenmiştir. İlk geçiş, OYA1'in beklediği eylemi temsil ederken, ikinci geçiş OYA1'in bir konumdan diğer konuma geçtiği eylemi, üçüncü geçiş OYA2'nin birinci çarpışma bölgesine girdiğini ve dördüncü geçiş ise OYA2'nin birinci çarpışma bölgesi dışına çıktığını ifade etmektedir.

Şekil 4.8'de OYA1 için oluşturulan sistem modelinde, durumların açıklamaları Çizelge 4.6'da, geçişlerin açıklamaları Çizelge 4.7'de görülmektedir.

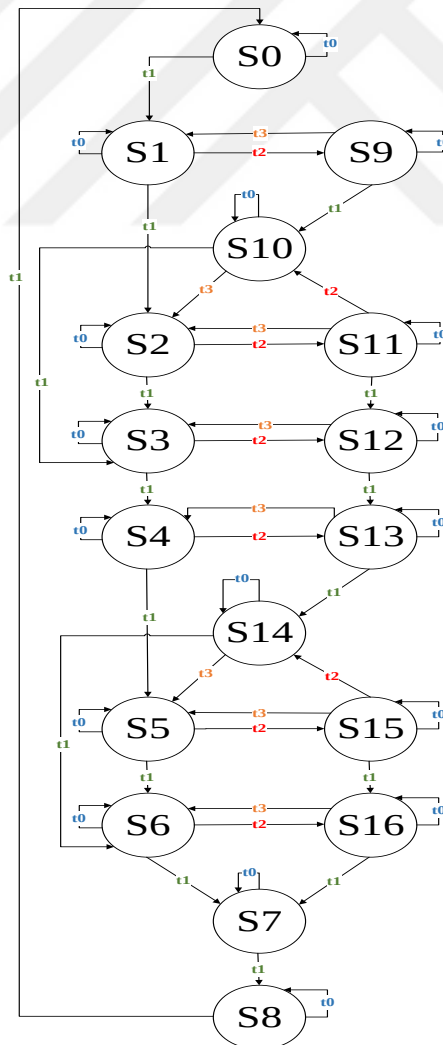
Çizelge 4.6 : Üç adet araç içeren sistemde OYA1'in durumları.

Durumlar	Durum Açıklamaları
S0	OYA1 park bölgesinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi dışında
S1	OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi dışında
S2	OYA1 Parça Giriş İstasyonu 1’de, OYA2 birinci çarpışma bölgesi dışında
S3	OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi dışında
S4	OYA1 İş İstasyonu 2’de
S5	OYA1 park bölgesinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde
S6	OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde
S7	OYA1 Parça Giriş İstasyonu 1’de, OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde
S8	OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde

Çizelge 4.7 : Üç adet araç içeren sistemde OYA1'in geçişleri.

Geçişler	Geçiş Açıklamaları
t0	Bekleme
t1	Bir konumdan diğer konuma hareket etme
t2	OYA2'nin birinci çarpışma bölgesine girmesi
t3	OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinden çıkması

Şekil 4.7’deki sistemde OYA2 için oluşturulan otomat modeli Şekil 4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.9 : Üç adet araç içeren sistemde OYA2'nin sonlu durum otomat modeli.

Şekil 4.9'daki modelde, OYA2'nin birinci çarpışma bölgesi yakınındaki, birinci çarpışma bölgesi içindeki, ikinci çarpışma bölgesi yakınındaki ve ikinci çarpışma bölgesi içindeki konumları için yeni durumlar tanımlanmıştır. Bu durumlar sırasıyla; OYA1'in birinci çarpışma bölgesi dışında olduğu durum, OYA1'in birinci çarpışma bölgesi içinde olduğu durum, OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesi dışında olduğu durum ve OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesi içinde olduğu durumdur. OYA2'nin hareketi için dokuz farklı konum belirlenmişti. Bu konumlardan bazıları sadece birinci çarpışma bölgesiyle ilişkili, bazıları sadece ikinci çarpışma bölgesi ile ilişkili, bazıları ise hem birinci hem de ikinci çarpışma bölgesi ile ilişkilidir. Bu ilişkiler ve hareketleri içeren sonlu durum otomat modeli göz önüne alındığında, OYA2 için Şekil 4.9'da görüldüğü gibi 17 adet durum içeren model oluşturulmuştur.

Sistemdeki durum değişiklikleri geçişler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Üç araç içeren sistem için önerilen yöntemde OYA2 için OYA1'e benzer şekilde dört farklı geçiş belirlenmiştir. Bu dört geçişten ilk geçiş, OYA2'nin beklediği eylemi temsil ederken, ikinci geçiş OYA2'nin bir konumdan diğer konuma geçtiği eylemi gösterir. Üçüncü geçiş OYA1'in birinci çarpışma bölgesine girdiğini veya OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesine girdiğini temsil ederken, dördüncü geçiş ise OYA1'in birinci çarpışma bölgesinden çıktığını veya OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinden çıktığını ifade etmektedir.

Şekil 4.9'daki OYA2 için oluşturulan sistem modelinde, durumların açıklamaları Çizelge 4.8'de, geçişlerin açıklamaları Çizelge 4.9'da görülmektedir.

Çizelge 4.8 : Üç adet araç içeren sistemde OYA2'nin durumları.

Durumlar	Durum Açıklamaları
S0	OYA2 park bölgesinde
S1	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S2	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi dışında, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S3	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi dışında
S4	OYA2 Parça Giriş İstasyonu 2'de, OYA1 birinci çarpışma bölgesi dışında
S5	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi dışında, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S6	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S7	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S8	OYA2 İş İstasyonu 3'te
S9	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S10	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S11	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde
S12	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde
S13	OYA2 Parça Giriş İstasyonu 2'de, OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde
S14	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde

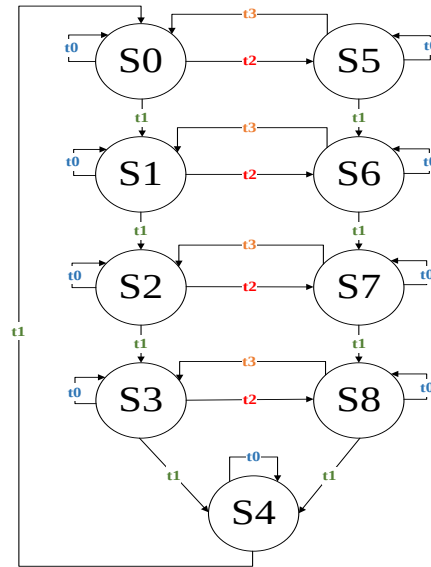
Çizelge 4.8 (devam) : Üç adet araç içeren sistemde OYA2'nin durumları

Durumlar	Durum Açıklamaları
S15	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S16	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde

Çizelge 4.9 : Üç adet araç içeren sistemde OYA2'nin geçişleri.

Geçişler	Geçiş Açıklamaları
t0	Bekleme
t1	Bir konumdan diğer konuma hareket etme
t2	OYA1'in birinci çarpışma bölgesine veya OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesine girmesi
t3	OYA1'in birinci çarpışma bölgesinden veya OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinden çıkması

Şekil 4.7'deki sistemde OYA3'ün çalışma şeklinin, OYA1 ile benzer yapıda olmasından dolayı, OYA1 için oluşturulan sonlu otomat modelinin benzeri OYA3 için de kullanılmıştır. Bu modelde, OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesi yakınındaki ve ikinci çarpışma bölgesi içindeki konumları için iki farklı durum tanımlanmıştır. Bu durumlar; OYA2'nin ikinci çarpışma bölgesi dışında olduğu durum ve OYA2'nin ikinci çarpışma bölgesi içinde olduğu durumdur. İkinci çarpışma bölgesi yakınındaki ve içindeki konumlar dikkate alındığında, OYA3 için oluşturulan modelde de dokuz adet durum bulunmaktadır. Üç adet araç içeren sistemdeki durum değişiklikleri geçişler aracılığıyla sağlanır. Önerilen yöntemde, OYA3 için yine dört farklı geçiş belirlenmiştir. İlk geçiş, OYA3'ün beklediği eylemi temsil ederken, ikinci geçiş OYA3'ün bir konumdan diğer konuma hareket ettiği eylemi gösterir. Modeldeki üçüncü geçiş, OYA2'nin ikinci çarpışma bölgesine girdiğini belirtirken dördüncü geçiş ise OYA2'nin ikinci çarpışma bölgesi dışına çıktığını ifade etmektedir.



Şekil 4.10 : Üç adet araç içeren sistemde OYA3'ün sonlu durum otomat modeli.

Şekil 4.10'da OYA3 için oluşturulan sistem modelinde, durumların açıklamaları Çizelge 4.10'da, geçişlerin açıklamaları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.10 : Üç adet araç içeren sistemde OYA3'ün durumları.

Durumlar	Durum Açıklamaları
S0	OYA3 park bölgesinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S1	OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S2	OYA3 İş İstasyonu 2'de, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S3	OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S4	OYA3 İş İstasyonu 1'de
S5	OYA3 park bölgesinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S6	OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S7	OYA3 İş İstasyonu 2'de, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S8	OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde

Çizelge 4.11 : Üç adet araç içeren sistemde OYA3'ün geçişleri.

Geçişler	Geçiş Açıklamaları
t0	Bekleme
t1	Bir konumdan diğer konuma hareket etme
t2	OYA2'nin ikinci çarpışma bölgesine girmesi
t3	OYA2'nin ikinci çarpışma bölgesinden çıkması

4.3.2 Üç adet araç ve iki adet çarpışma bölgesi içeren sistem için Q-öğrenme algoritması

Şekil 4.7'de verilen sistemde üç adet aracın birbirleriyle çarpışmadan hareket etmelerini sağlamak için her bir araca ait sonlu otomat modeline göre Q-öğrenme algoritması oluşturulmuştur. Bu sistemlerde OYA1 ve OYA3'ün benzer çalışma prensibine sahip olmaları nedeniyle, bu araçlar için tek bir Q-öğrenme algoritması geliştirilmiş ve her iki araca da aynı Q tablosu uygulanmıştır. Sistemde OYA2'nin iki çalışma bölgesinde de hareket etmesi nedeniyle, çarpışma bölgelerinde OYA2'ye öncelik tanınmıştır. Bu öncelik doğrultusunda, bir çarpışma bölgesine iki araç aynı anda yaklaştığında, OYA2 hareket ederek ilgili bölgeye girecek ve diğer araç OYA2 bölgeden çıkana kadar bekleyecektir. OYA2 bölgeden ayrıldıktan sonra diğer araç harekete geçecektir. Bu işlemleri gerçekleştirmek için OYA1 ve OYA3 için belirlenen ödül değerleri Çizelge 4.12'de, OYA2 için belirlenen ödül değerleri ise Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.12 : Üç adet araç içeren sistemde OYA1 ve OYA3 için ödüller.

OYA Eylemleri	Ödül / Ceza
Çarpışma bölgesinde veya yakınında araç olmadığı halde bekleme	-1
Aracın gerçekleştirmesi mümkün olmayan eylem	-15
Çarpışma bölgesinde veya yakınında araç varken bölgeye girme	-20
Çarpışma bölgesinde veya yakınında araç varken bölgeye girmeden bekleme	3
Çarpışma bölgesinde veya yakınında araç yokken hareket etme	3
Hareketini tamamlayıp park bölgesine dönme	5

Çizelge 4.13 : Üç adet araç içeren sistemde OYA2 için ödüller.

OYA Eylemleri	Ödül / Ceza
Çarpışma bölgesinde araç olmadığı halde bekleme	-1
Aracın gerçekleştirmesi mümkün olmayan eylem	-15
Çarpışma bölgesinde araç varken bölgeye girme	-20
Çarpışma bölgesinde araç varken bölgeye girmeden bekleme	3
Çarpışma bölgesinde araç yokken hareket etme	3
Hareketini tamamlayıp park bölgesine dönme	5

Üç araç içeren sistemdeki işlemleri gerçekleştirmek için Q-öğrenme algoritmasında uygun hiperparametreler seçilmelidir. Hiperparametre seçimleri için tezin üçüncü bölümünde olduğu gibi ızgara arama algoritması kullanılmıştır. Öğrenme oranı için 0.1 ile 0.9 arasında 0.1 artışlarla değişen dokuz adet değer ve epsilon için aynı şekilde değişen dokuz adet değer kullanılarak Q tabloları oluşturulmuş ve incelenmiştir. Elde edilen Q tablolarının incelenmesi sonucu, OYA1 ve OYA3 için öğrenme oranının “0.1”, epsilon değerinin “0.3” olduğu durumda, OYA2 için ise öğrenme oranının “0.1”, epsilon değerinin “0.2” olduğu durumda modelin çevreyi başarılı bir şekilde öğrendiği belirlenmiş ve hiperparametreler bu değerlerle seçilmiştir.

Hiperparametre seçimleri sonucu tasarlanan Q-öğrenme algoritmasında OYA1 ve OYA3 için elde edilen Q tablosu Şekil 4.11’de, OYA2 için elde edilen Q tablosu Şekil 4.12’de görülmektedir.

Üç adet araç içeren sistemde OYA1 ve OYA3 için Q tablosu

	t0	t1	t2	t3
s0	62.84	67.2	42	48.84
s1	63.2	67.58	37	49.2
s2	63.58	67.98	42	49.58
s3	63.98	68.4	44.98	49.98
s4	64.4	68.84	50.4	50.4
s5	60	37	42	48.84
s6	37	60	42	49.2
s7	60	44.98	42	49.58
s8	44.98	68.4	49.98	49.98

Şekil 4.11 : Üç adet araç içeren sistemde OYA1 ve OYA3’e ait Q tablosu.

Şekil 4.11’de yer alan Q tablosunda, satırlar OYA1’in ve OYA3’ün durumlarını, sütunlar ise bu iki aracın eylemlerini göstermektedir. Her satırdaki maksimum değere karşılık gelen sütun, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylemi temsil eder. OYA1 ve OYA3 için, bulundukları durumlara karşılık bu tabloda belirtilen eylemlerin seçilmesi ile araçların kontrolü sağlanmış olur. Örneğin; OYA1 veya OYA3’ün s5

veya s7 durumlarında iken maksimum değer t0 eyleminde olduğundan, bu durumlarda t0 eylemini gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Diğer durumlarda ise maksimum değer t1 eyleminde olduğundan bu eylemi gerçekleştirmeleri beklenir. Araçların bulunduğu durumlarda bu eylemleri seçmeleriyle, çarpışmaların önüne geçilebilir.

Üç adet araç içeren sistemde OYA2 için Q tablosu

	t0	t1	t2	t3
s0	59.41	63.59	45.41	45.41
s1	59.59	63.78	42	45.59
s2	59.78	63.98	42	45.78
s3	59.98	64.19	37	45.98
s4	60.19	64.41	42	46.19
s5	60.41	64.64	42	46.41
s6	60.64	64.88	41.64	46.64
s7	60.88	65.14	46.88	46.88
s8	61.14	65.41	47.14	47.14
s9	60	40.78	42	45.59
s10	39.64	63.98	40.09	43.91
s11	60	37	40.78	42
s12	36.6	60	41.25	45.74
s13	60	41.41	42	46.19
s14	39.78	64.64	45.41	45.84
s15	60	41.64	42	46.64
s16	41.38	64.88	46.39	46.08

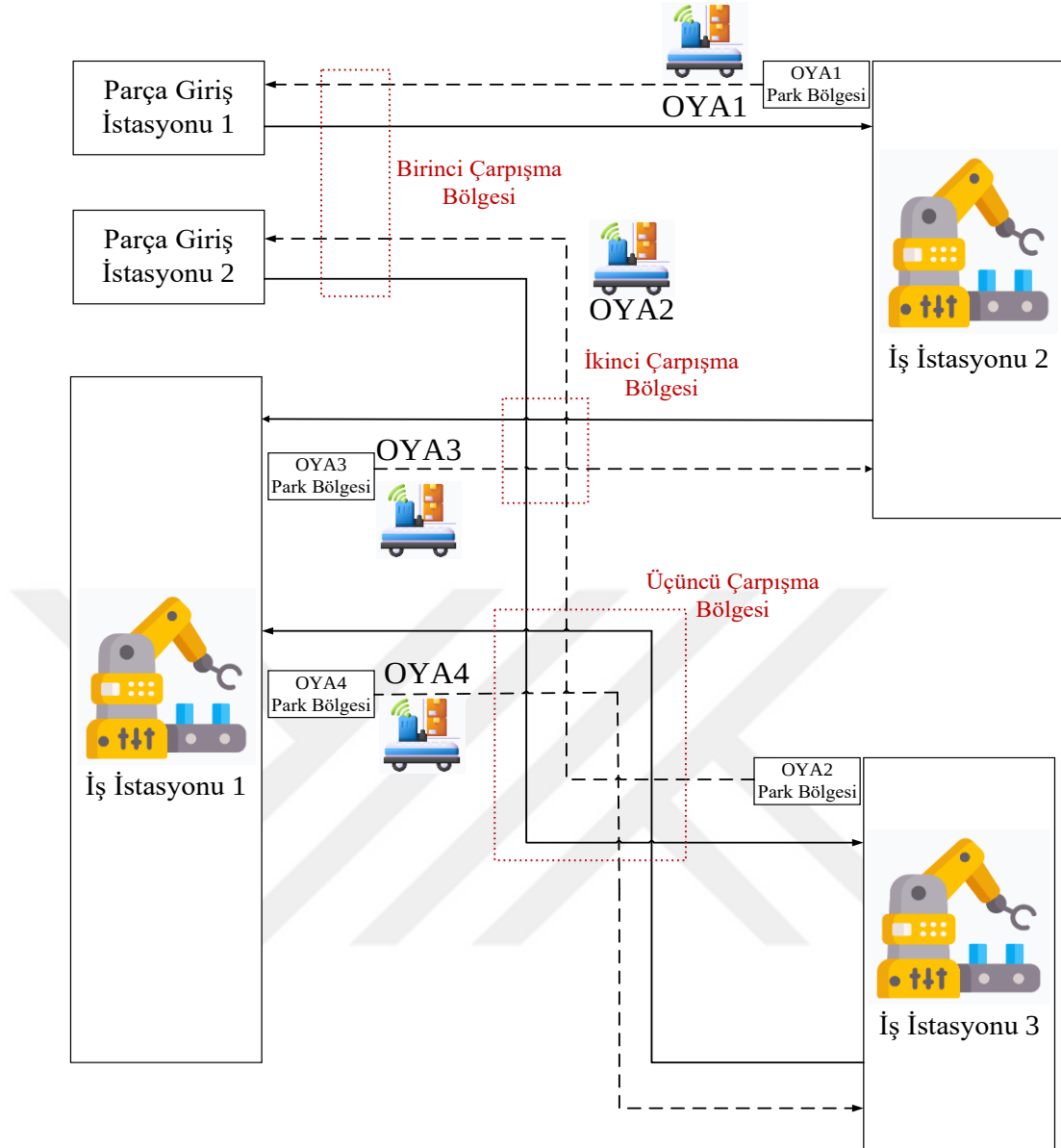
Eylemler

Şekil 4.12 : Üç adet araç içeren sistemde OYA2'ye ait Q tablosu.

Şekil 4.12'de yer alan Q tablosunda, satırlar OYA2'nin durumlarını, sütunlar ise OYA2'nin eylemlerini göstermektedir. Her satırdaki maksimum değere karşılık gelen sütun, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylemi temsil eder. OYA2 için bulunduğu durumlara karşılık bu tabloda belirtilen eylemlerin seçilmesi ile aracın kontrolü sağlanmış olur ve araçlar çarpışma olmadan hareketlerini gerçekleştirebilirler.

4.4 Dört Adet Araç ve Üç Adet Çarpışma Bölgesi İçeren Sistem

Tez kapsamında birden fazla çarpışma bölgesi içeren sistemlerdeki çalışmaların kapsamını genişletmek ve önerilen yöntemi daha karmaşık bir sistemde doğrulamak için, Şekil 4.13'teki dört adet araç ve üç adet çarpışma bölgesi içeren örnek üretim sisteminde çarpışma önleme çalışması gerçekleştirilmiştir.



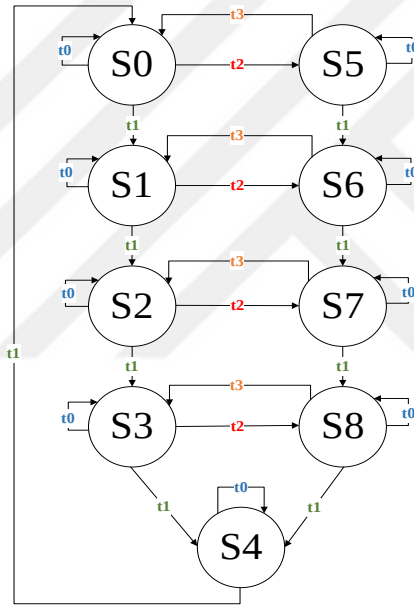
Şekil 4.13 : Dört adet araç içeren örnek üretim sistemi.

Şekil 4.13'te görülen sistemde, OYA1 ile OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinde, OYA2 ile OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinde, OYA2 ile OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesinde rotaları çakışmaktadır. Bu nedenle OYA1'in modellenmesinde birinci çarpışma bölgesi, OYA3'ün modellenmesinde ikinci çarpışma bölgesi, OYA4'ün modellenmesinde üçüncü çarpışma bölgesi, OYA2'nin modellenmesinde ise üç çarpışma bölgesi de dikkate alınmıştır.

4.4.1 Dört adet araç ve üç adet çarpışma bölgesi içeren sistemin sonlu durum otomatları ile modellenmesi

Şekil 4.13'teki OYA sisteminde bulunan dört aracın çarpışmalarının önlenmesi için de merkezi olmayan kontrol yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde önceki çalışmada

olduğu gibi her bir OYA için ayrı kontrol mekanizmalarının oluşturulur ve araçların hareketlerinin kontrolü sağlanır. Araçların kontrolü için Q-öğrenme algoritması kullanılmıştır. İlk olarak, her bir aracın sonlu durum otomat modeli oluşturularak durumlar, sonraki durumlar ve ödülleri, gerçekleştirilebilecek eylemlere bağlı olarak belirlenmiştir. Araçların kontrolü için kullanılan Q tabloları, Bellman denklemi kullanılarak güncellenmiş ve elde edilen Q tablolarında, durumlara karşılık gelen eylemlerdeki maksimum Q değerine sahip eylem, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylem olarak belirlenmiştir. Şekil 4.13'teki sistemde OYA1 için, Şekil 4.14'te görülen otomat modeli oluşturulmuştur. Üç adet araç içeren sisteme göre OYA1'in çalışma prensibinde bir değişiklik olmadığından, OYA1 için aynı otomat modeli kullanılmıştır.



Şekil 4.14 : Dört adet araç içeren sistemde OYA1'in sonlu durum otomat modeli.

Şekil 4.14'teki OYA1 için oluşturulan sistem modelinde, durumların açıklamaları Çizelge 4.14'te, geçişlerin açıklamaları Çizelge 4.15'te görülmektedir.

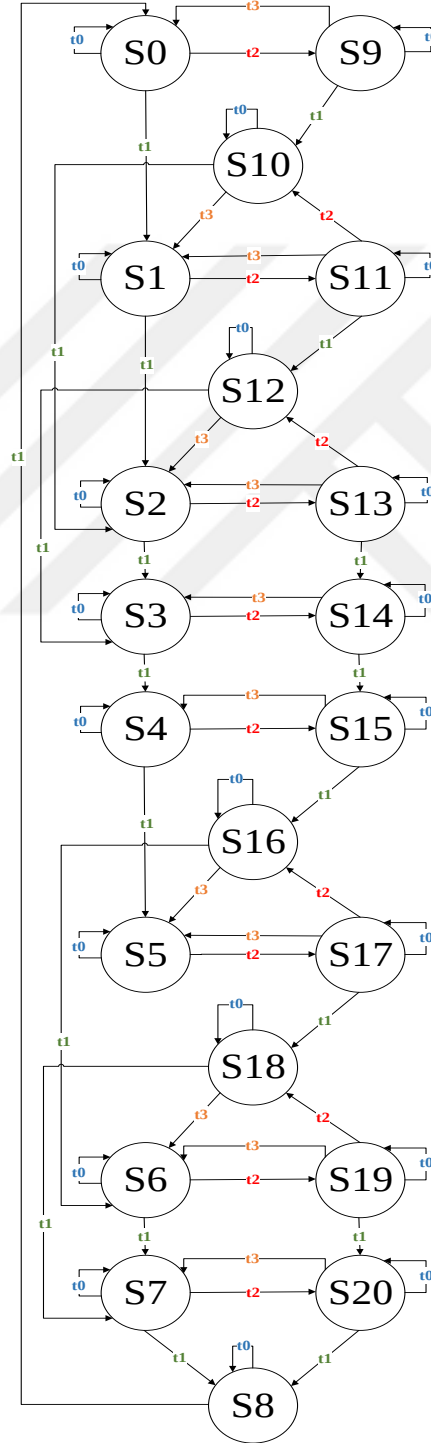
Çizelge 4.14 : Dört adet araç içeren sistemde OYA1'in durumları.

Durumlar	Durum Açıklamaları
S0	OYA1 park bölgesinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi dışında
S1	OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi dışında
S2	OYA1 Parça Giriş İstasyonu 1'de, OYA2 birinci çarpışma bölgesi dışında
S3	OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi dışında
S4	OYA1 İş İstasyonu 2'de
S5	OYA1 park bölgesinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde
S6	OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde
S7	OYA1 Parça Giriş İstasyonu 1'de, OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde
S8	OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde

Çizelge 4.15 : Dört adet araç içeren sistemde OYA1'in geçişleri.

Geçişler	Geçiş Açıklamaları
t0	Bekleme
t1	Bir konumdan diğer konuma hareket etme
t2	OYA2'nin birinci çarpışma bölgesine girmesi
t3	OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinden çıkması

Şekil 4.13'teki sistemde OYA2 için oluşturulan otomat modeli Şekil 4.15'te görülmektedir.



Şekil 4.15 : Dört adet araç içeren sistemde OYA2'nin sonlu durum otomat modeli.

Şekil 4.15'teki modelde, OYA2'nin birinci çarpışma bölgesi yakınındaki, birinci çarpışma bölgesi içindeki, ikinci çarpışma bölgesi yakınındaki, ikinci çarpışma bölgesi içindeki, üçüncü çarpışma bölgesi yakınındaki ve üçüncü çarpışma bölgesi içindeki konumları için yeni durumlar tanımlanmıştır. Bu durumlar sırasıyla; OYA1'in birinci çarpışma bölgesi dışında olduğu durum, OYA1'in birinci çarpışma bölgesi içinde olduğu durum, OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesi dışında olduğu durum, OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesi içinde olduğu durum, OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesi dışında olduğu durum ve OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesi içinde olduğu durumdur. OYA2'nin hareketi için dokuz farklı konum belirlenmişti. Bu konumlardan birinci, ikinci ve üçüncü çarpışma bölgesiyle ilişkili olan durumlar dikkate alınarak bir yeni bir model ortaya çıkarılmalıdır. Bu ilişkiler ve hareketleri içeren sonlu durum otomat modeli göz önüne alındığında, OYA2 için Şekil 4.15'te görüldüğü gibi 21 adet durum içeren model oluşturulmuştur. Önerilen yöntemde OYA2 için yine dört farklı geçiş belirlenmiştir. İlk geçiş, OYA2'nin beklediği eylemi temsil ederken, ikinci geçiş OYA2'nin bir konumdan diğer konuma geçtiği eylemi ifade eder. Üçüncü geçiş OYA1'in birinci çarpışma bölgesine girdiğini veya OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesine girdiğini veya OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesine girdiğini gösterir. Dördüncü geçiş ise OYA1'in birinci çarpışma bölgesinden çıktığını veya OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinden çıktığını veya OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesinden çıktığını ifade etmektedir.

Şekil 4.15'teki OYA2 için oluşturulan sistem modelinde, durumların açıklamaları Çizelge 4.16'da, geçişlerin açıklamaları Çizelge 4.17'de görülmektedir.

Çizelge 4.16 : Dört adet araç içeren sistemde OYA2'nin durumları.

Durumlar	Durum Açıklamaları
S0	OYA2 park bölgesinde, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S1	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi dışında, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S2	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi dışında, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S3	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi dışında
S4	OYA2 Parça Giriş İstasyonu 2'de, OYA1 birinci çarpışma bölgesi dışında
S5	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi dışında, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S6	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi dışında, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S7	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S8	OYA2 İş İstasyonu 3'te
S9	OYA2 park bölgesinde, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S10	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S11	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde

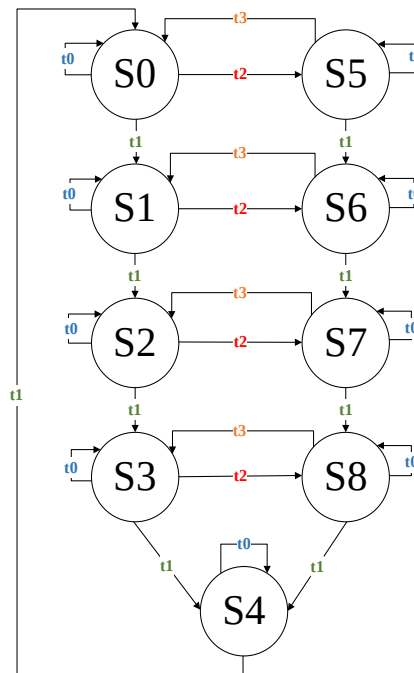
Çizelge 4.16 (devam) : Dört adet araç içeren sistemde OYA2'nin durumları.

Durumlar	Durum Açıklamaları
S12	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S13	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde
S14	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde
S15	OYA2 Parça Giriş İstasyonu 2’de, OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde
S16	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde
S17	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S18	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S19	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S20	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde

Çizelge 4.17 : Dört adet araç içeren sistemde OYA2'nin geçişleri.

Geçişler	Geçiş Açıklamaları
t0	Bekleme
t1	Bir konumdan diğer konuma hareket etme
t2	OYA1'in birinci çarpışma bölgesine veya OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesine veya OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesine girmesi
t3	OYA1'in birinci çarpışma bölgesinden veya OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinden veya OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesinden çıkması

Şekil 4.13'teki sistemde OYA3 için oluşturulan otomat modeli Şekil 4.16'da görülmektedir. Bu sistemde OYA3'ün çalışma şeklinin, OYA1 ile benzer yapıda olmasından dolayı, OYA1 için oluşturulan sonlu otomat modelinin benzeri OYA3 için kullanılmıştır.



Şekil 4.16 : Dört adet araç içeren sistemde OYA3'ün sonlu durum otomat modeli.

Şekil 4.16’da OYA3 için oluşturulan sistem modelinde, durumların açıklamaları Çizelge 4.18’de, geçişlerin açıklamaları Çizelge 4.19’da verilmiştir.

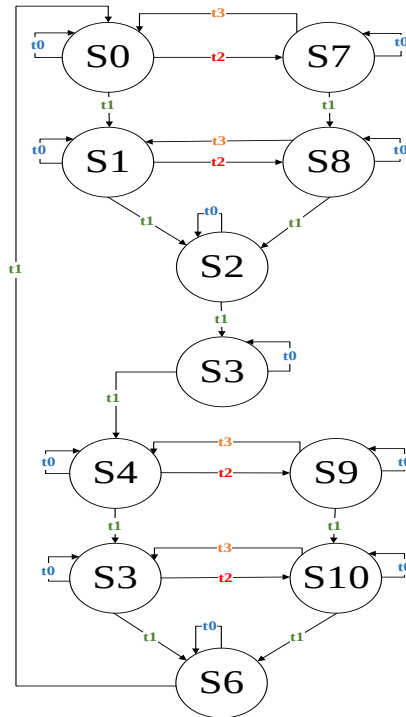
Çizelge 4.18 : Dört adet araç içeren sistemde OYA3'ün durumları.

Durumlar	Durum Açıklamaları
S0	OYA3 park bölgesinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S1	OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S2	OYA3 İş İstasyonu 2'de, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S3	OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S4	OYA3 İş İstasyonu 1'de
S5	OYA3 park bölgesinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S6	OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S7	OYA3 İş İstasyonu 2'de, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S8	OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde

Çizelge 4.19 : Dört adet araç içeren sistemde OYA3'ün geçişleri.

Geçişler	Geçiş Açıklamaları
t0	Bekleme
t1	Bir konumdan diğer konuma hareket etme
t2	OYA2'nin ikinci çarpışma bölgesine girmesi
t3	OYA2'nin ikinci çarpışma bölgesinden çıkması

Şekil 4.13'teki sistemde OYA4 için oluşturulan otomat modeli Şekil 4.17'de görülmektedir. Bu modelde, OYA4'nin üçüncü çarpışma bölgesi yakınındaki ve üçüncü çarpışma bölgesi içindeki konumları için yeni durumlar tanımlanmıştır. Bu durumlar; OYA2'nin üçüncü çarpışma bölgesi dışında olduğu durum ve OYA2'nin üçüncü çarpışma bölgesi içinde olduğu durumdur. OYA4'ün hareketi için yedi farklı konum belirlenmişti. Bu konumlardan üçüncü çarpışma bölgesiyle ilişkili olan durumlar dikkate alınarak OYA4 için bu şekilde görüldüğü gibi bir model oluşturulmuştur.



Şekil 4.17 : Dört adet araç içeren sistemde OYA4'ün sonlu durum otomat modeli.

Dört adet araç içeren sistemde OYA4 için oluşturulan modelde 11 farklı durum ve dört farklı geçiş belirlenmiştir. İlk geçiş, OYA4'ün beklediği eylemi temsil ederken, ikinci geçiş, OYA4'ün bir konumdan diğer konuma geçtiği eylemi göstermektedir. Oluşturulan modeldeki üçüncü geçiş, OYA2'nin üçüncü çarpışma bölgesine girdiğini belirtirken, dördüncü geçiş ise OYA2'nin üçüncü çarpışma bölgesinden çıktığını ifade etmektedir.

Şekil 4.17'de OYA4 için oluşturulan sistem modelinde, durumların açıklamaları Çizelge 4.20'de, geçişlerin açıklamaları Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.20 : Dört adet araç içeren sistemde OYA4'ün durumları.

Durumlar	Durum Açıklamaları
S0	OYA4 park bölgesinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S1	OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S2	OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi içinde
S3	OYA4 İş İstasyonu 3'te
S4	OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S5	OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S6	OYA4 İş İstasyonu 1'de
S7	OYA4 park bölgesinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S8	OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S9	OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S10	OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde

Çizelge 4.21 : Dört adet araç içeren sistemde OYA4'ün geçişleri.

Geçişler	Geçiş Açıklamaları
t0	Bekleme
t1	Bir konumdan diğer konuma hareket etme
t2	OYA2'nin üçüncü çarpışma bölgesine girmesi
t3	OYA2'nin üçüncü çarpışma bölgesinden çıkması

4.4.2 Dört adet araç ve üç adet çarpışma bölgesi içeren sistem için Q-öğrenme algoritması

Şekil 4.13'te verilen dört adet aracın birbirleriyle çarpışmadan hareket etmelerini sağlamak için, her bir araca ait sonlu otomat modeline göre Q-öğrenme algoritması oluşturulmuştur. Bu sistemlerde OYA1 ve OYA3'ün benzer çalışma prensibine sahip olmaları nedeniyle, bu araçlar için tek bir Q-öğrenme algoritması geliştirilmiş ve her iki araca da aynı Q tablosu uygulanmıştır. Sistemde OYA2'nin üç çalışma bölgesinde hareket etmesi nedeniyle, bu çarpışma bölgelerinde OYA2'ye öncelik tanınmıştır. Bu öncelik doğrultusunda, bir çarpışma bölgesine iki araç aynı anda yaklaştığında, OYA2 hareket ederek ilgili bölgeye girecek ve diğer araç OYA2 bölgeden çıkana kadar bekleyecektir. OYA2 bölgeden ayrıldıktan sonra diğer araç harekete geçecektir.

Tanımlanan işlemleri gerçekleştirmek için OYA1, OYA3 ve OYA4 için belirlenen ödül değerleri Çizelge 4.22’de, OYA2 için belirlenen ödül değerleri Çizelge 4.23’te verilmiştir.

Çizelge 4.22 : Dört adet araç içeren sistemde OYA1, OYA3 ve OYA4 için ödüller.

OYA Eylemleri	Ödül / Ceza
Çarpışma bölgesinde veya yakınında araç olmadığı halde bekleme	-1
Aracın gerçekleştirmesi mümkün olmayan eylem	-15
Çarpışma bölgesinde veya yakınında araç varken bölgeye girme	-20
Çarpışma bölgesinde veya yakınında araç varken bölgeye girmeden bekleme	3
Çarpışma bölgesinde veya yakınında araç yokken hareket etme	3
Hareketini tamamlayıp park bölgesine dönme	5

Çizelge 4.23 : Dört adet araç içeren sistemde OYA2 için ödüller.

OYA Eylemleri	Ödül / Ceza
Çarpışma bölgesinde araç olmadığı halde bekleme	-1
Aracın gerçekleştirmesi mümkün olmayan eylem	-15
Çarpışma bölgesinde araç varken bölgeye girme	-20
Çarpışma bölgesinde araç varken bölgeye girmeden bekleme	3
Çarpışma bölgesinde araç yokken hareket etme	3
Hareketini tamamlayıp park bölgesine dönme	5

Araçların çarpışmadan işlemlerini gerçekleştirmesini sağlamak için hiperparametre seçimlerinde önceki bölümlerdeki ile aynı şekilde ızgara arama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem sonucu elde edilen Q tabloları incelenerek, OYA1 ve OYA3 için öğrenme oranının “0.1”, epsilon değerinin “0.3” olduğu durumda, OYA2 için öğrenme oranının “0.1”, epsilon değerinin “0.6” olduğu durumda, OYA4 için ise öğrenme oranının “0.1”, epsilon değerinin “0.5” olduğu durumda modelin çevreyi başarılı bir şekilde öğrendiği belirlenmiş ve hiperparametreler bu değerlerle seçilmiştir. Hiperparametre seçimleri sonucu OYA1 ve OYA3 için elde edilen Q tablosu Şekil 4.18’de görülmektedir.

Dört adet araç içeren sistemde OYA1 ve OYA3 için Q tablosu

s0	62.84	67.2	42	48.84
s1	63.2	67.58	37	49.2
s2	63.58	67.98	42	49.58
s3	63.98	68.4	44.98	49.98
s4	64.4	68.84	50.4	50.4
s5	60	37	42	48.84
s6	37	60	42	49.2
s7	60	44.98	42	49.58
s8	44.98	68.4	49.98	49.98
	t0	t1	t2	t3

Eylemler

Şekil 4.18 : Dört adet araç içeren sistemde OYA1 ve OYA3’e ait Q tablosu.

Şekil 4.18'deki Q tablosunda, satırlar OYA1'in ve OYA3'ün durumlarını, sütunlar ise bu iki aracın eylemlerini göstermektedir. Her satırdaki maksimum değere karşılık gelen sütun, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylemi temsil eder.

Şekil 4.18'deki OYA1 ve OYA3'e ait Q tablosu incelendiğinde, araçlar "s5" veya "s7" durumunda iken, "t0" eylemi en yüksek Q değerine sahiptir. Bu iki durumda iken "t0" eylemi seçilmelidir. Diğer durumlarda ise "t1" eylemi en yüksek Q değerine sahiptir. Bu nedenle araçların bu durumlarda "t1" eylemini gerçekleştirmesi istenir. OYA1 ve OYA3'ün bulunduğu durumlara karşılık bu tabloda belirtilen eylemlerin seçilmesi ile bu iki aracın kontrolü sağlanmış olur.

Dört adet araç içeren sistemde, OYA2 için elde edilen Q tablosu Şekil 4.19'da görülmektedir.

Dört adet araç içeren sistemde OYA2 için Q tablosu

Durumlar	t0	t1	t2	t3
s0	59.41	63.59	42	45.41
s1	59.59	63.78	42	45.59
s2	59.78	63.98	42	45.78
s3	59.98	64.19	37	45.98
s4	60.19	64.41	42	46.19
s5	60.41	64.64	42	46.41
s6	60.64	64.88	42	46.64
s7	60.88	65.14	41.88	46.88
s8	61.14	65.41	47.14	47.14
s9	60	40.59	42	45.41
s10	40.59	63.78	45.59	45.59
s11	60	40.78	40.59	45.59
s12	40.78	63.98	45.78	45.78
s13	60	37	40.78	45.78
s14	37	60	42	45.98
s15	60	41.41	42	46.19
s16	41.41	64.64	46.41	46.41
s17	60	41.64	41.41	46.41
s18	41.64	64.88	46.64	46.64
s19	60	41.88	41.64	46.64
s20	41.88	65.14	46.88	46.88
Eylemler	t0	t1	t2	t3

Şekil 4.19 : Dört adet araç içeren sistemde OYA2'ye ait Q tablosu.

Şekil 4.19'daki Q tablosunda, daha önce sunulan Q tablolarında olduğu gibi satırlar OYA2'nin durumlarını, sütunlar ise OYA2'nin eylemlerini göstermektedir. Her

satırdaki maksimum değere karşılık gelen sütun, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylemi temsil eder. OYA2'nin bulunduğu durumlara karşılık bu tabloda belirtilen eylemlerin seçilmesi ile aracın kontrolü sağlanmış olur.

Dört adet araç içeren sistemde, OYA4 için elde edilen Q tablosu Şekil 4.20'de görülmektedir.

Dört adet araç içeren sistemde OYA4 için Q tablosu

s0	60.63	64.87	42	46.63
s1	60.87	65.13	46.87	46.87
s2	61.13	65.4	47.13	47.13
s3	61.4	65.68	47.4	47.4
s4	61.68	65.98	42	47.68
s5	61.98	66.3	47.98	47.98
s6	62.3	66.63	48.3	48.3
s7	60	41.87	42	46.63
s8	41.87	65.13	46.87	46.87
s9	60	42.98	42	47.68
s10	42.98	66.3	47.98	47.98
	t0	t1	t2	t3

Eylemler

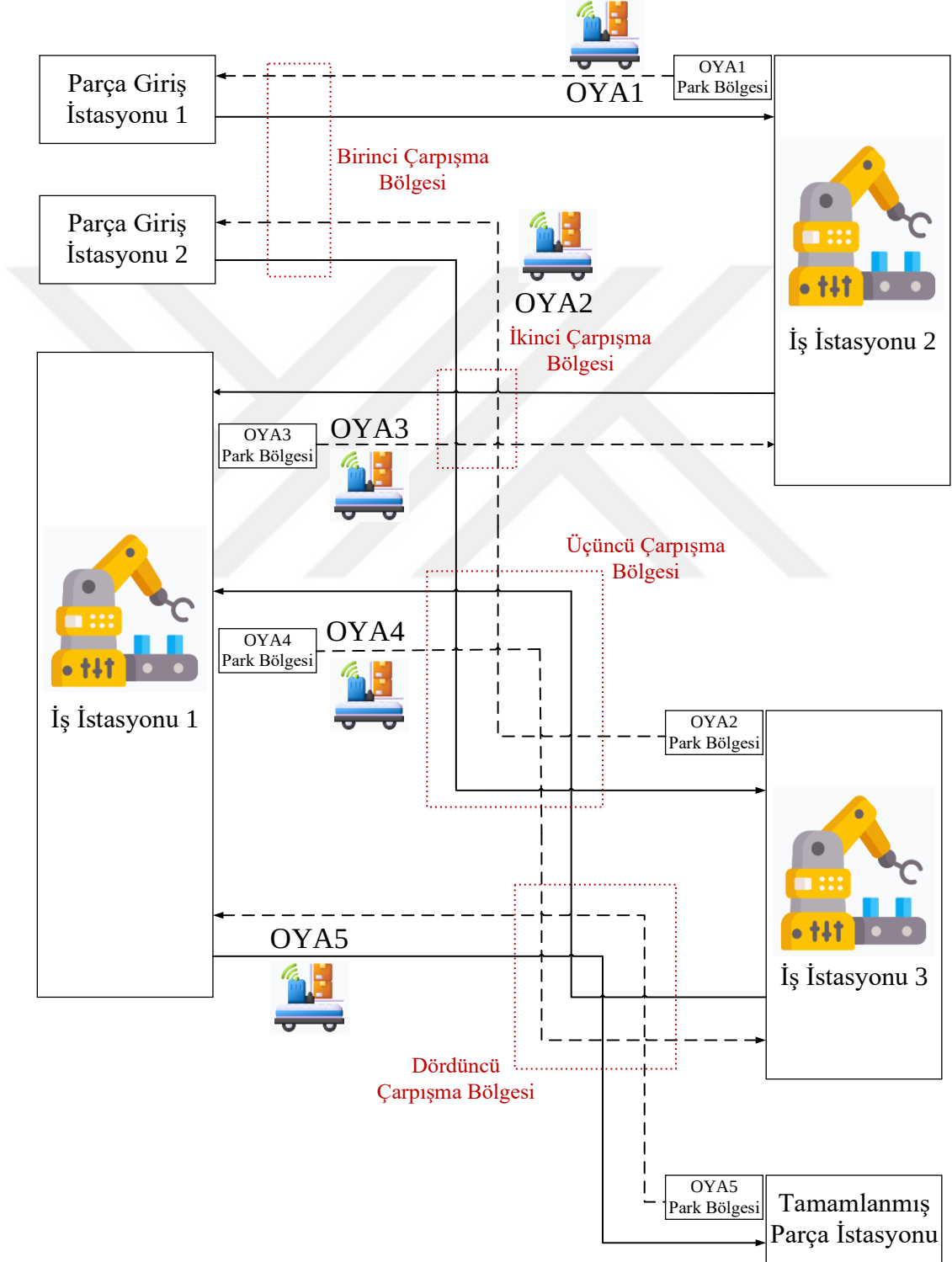
Şekil 4.20 : Dört adet araç içeren sistemde OYA4'e ait Q tablosu.

Şekil 4.20'de görülen Q tablosunda, satırlar OYA4'ün durumlarını, sütunlar ise OYA4'ün eylemlerini göstermektedir. Her satırdaki maksimum değere karşılık gelen sütun, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylemi temsil eder. OYA4'ün bulunduğu durumlara karşılık bu tabloda belirtilen eylemlerin seçilmesi ile aracın kontrolü sağlanmış olur.

4.5 Beş Adet Araç ve Dört Adet Çarpışma Bölgesi İçeren Sistem

Tez kapsamında önerilen yöntemi beş adet araç içeren sistemde doğrulamak için bu sistemin çarpışma önleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Beş aracın bulunduğu örnek üretim sistemi Şekil 4.21'de verilmiştir. Bu sistemde, OYA1 ile OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinde, OYA2 ile OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinde, OYA2 ile OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesinde, OYA4 ile OYA5'in dördüncü çarpışma

bölgesinde rotaları çakışmaktadır. Bu nedenle OYA1'in modellenmesinde birinci çarpışma bölgesi, OYA3'ün modellenmesinde ikinci çarpışma bölgesi, OYA5'in modellenmesinde dördüncü çarpışma bölgesi, OYA4'ün modellenmesinde üçüncü ve dördüncü çarpışma bölgesi, OYA2'nin modellenmesinde ise birinci, ikinci ve üçüncü çarpışma bölgesi dikkate alınmıştır.

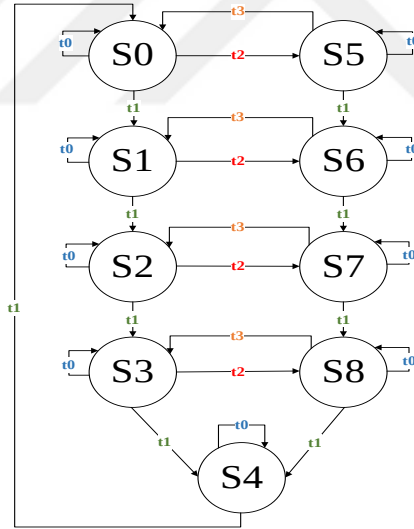


Şekil 4.21 : Beş adet araç içeren örnek üretim sistemi.

4.5.1 Beş adet araç ve dört adet çarpışma bölgesi içeren sistemin sonlu durum otomatları ile modellenmesi

Şekil 4.21'deki OYA sisteminde bulunan beş aracın çarpışmalarının önlenmesi için merkezi olmayan kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, önceki çalışmalarda olduğu gibi her bir OYA için ayrı kontrol mekanizmaları oluşturularak araçların hareketlerinin kontrolü sağlanır. Araçların kontrolü için Q-öğrenme algoritması kullanılmıştır. Her bir aracın sonlu durum otomat modeli oluşturularak durumlar, sonraki durumlar ve ödülleri, gerçekleştirilebilecek eylemlere bağlı olarak belirlenmiştir. Araçların kontrolü için kullanılan Q tabloları, Bellman denklemi kullanılarak güncellenmiş ve elde edilen Q tablolarında, durumlara karşılık gelen eylemlerdeki maksimum Q değerine sahip eylem, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylem olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.21'deki sistemde, OYA1 için oluşturulan otomat modeli Şekil 4.22'de, bu modeldeki durumların açıklamaları Çizelge 4.24'te, geçişlerin açıklamaları ise Çizelge 4.25'te görülmektedir.



Şekil 4.22 : Beş adet araç içeren sistemde OYA1'in sonlu durum otomat modeli.

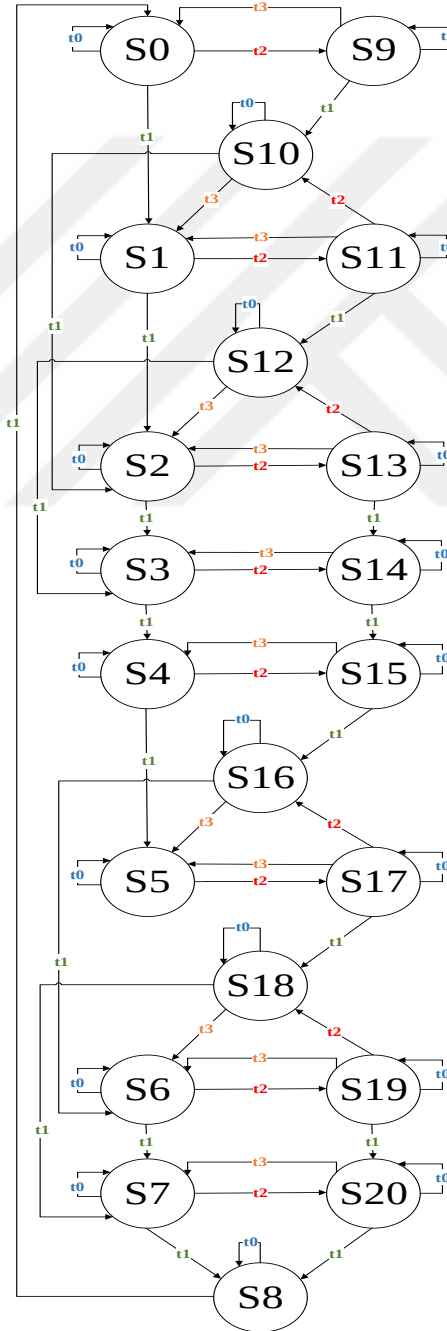
Çizelge 4.24 : Beş adet araç içeren sistemde OYA1'in durumları.

Durumlar	Durum Açıklamaları
S0	OYA1 park bölgesinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi dışında
S1	OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi dışında
S2	OYA1 Parça Giriş İstasyonu 1'de, OYA2 birinci çarpışma bölgesi dışında
S3	OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi dışında
S4	OYA1 İş İstasyonu 2'de
S5	OYA1 park bölgesinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde
S6	OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde
S7	OYA1 Parça Giriş İstasyonu 1'de, OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde
S8	OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde

Çizelge 4.25 : Beş adet araç içeren sistemde OYA1'in geçişleri.

Geçişler	Geçiş Açıklamaları
t0	Bekleme
t1	Bir konumdan diğer konuma hareket etme
t2	OYA2'nin birinci çarpışma bölgesine girmesi
t3	OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinden çıkması

Şekil 4.21'deki sistemde, OYA2 için oluşturulan otomat modeli Şekil 4.23'te görülmektedir. Dört adet araç içeren sisteme göre aynı çarpışma bölgelerinde çalıştığı için OYA2'nin çalışma prensibinde bir değişiklik olmamış ve OYA2 için dört araçlı sistemle aynı otomat modeli kullanılmıştır.



Şekil 4.23 : Beş adet araç içeren sistemde OYA2'nin sonlu durum otomat modeli.

Şekil 4.23'teki OYA2 için oluşturulan sistem modelinde, durumların açıklamaları Çizelge 4.26'da, geçişlerin açıklamaları Çizelge 4.27'de görülmektedir.

Çizelge 4.26 : Beş adet araç içeren sistemde OYA2'nin durumları.

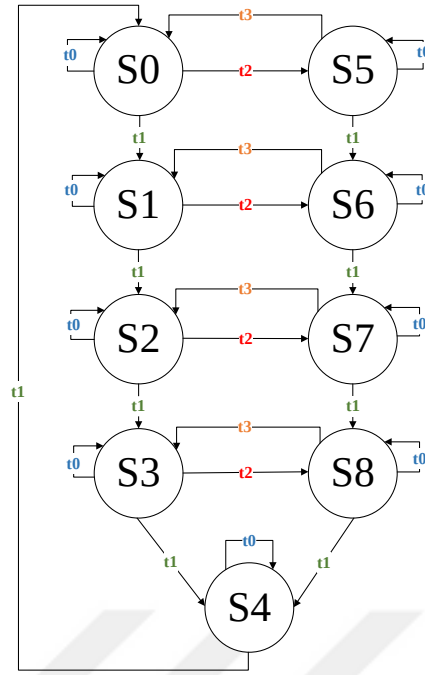
Durumlar	Durum Açıklamaları
S0	OYA2 park bölgesinde, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S1	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi dışında, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S2	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi dışında, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S3	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi dışında
S4	OYA2 Parça Giriş İstasyonu 2'de, OYA1 birinci çarpışma bölgesi dışında
S5	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi dışında, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S6	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi dışında, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S7	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S8	OYA2 İş İstasyonu 3'te
S9	OYA2 park bölgesinde, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S10	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S11	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S12	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S13	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde
S14	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde
S15	OYA2 Parça Giriş İstasyonu 2'de, OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde
S16	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA1 birinci çarpışma bölgesi içinde
S17	OYA2 birinci çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S18	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S19	OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S20	OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde

Çizelge 4.27 : Beş adet araç içeren sistemde OYA2'nin geçişleri.

Geçişler	Geçiş Açıklamaları
t0	Bekleme
t1	Bir konumdan diğer konuma hareket etme
t2	OYA1'in birinci çarpışma bölgesine veya OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesine veya OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesine girmesi
t3	OYA1'in birinci çarpışma bölgesinden veya OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinden veya OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesinden çıkması

Şekil 4.21'deki sistemde, OYA3 için oluşturulan otomat modeli Şekil 4.24'te görülmektedir. Bu sistemde de OYA3'ün çalışma şeklinin, OYA1 ile benzer yapıda olmasından dolayı, OYA1 için oluşturulan sonlu otomat modelinin benzeri OYA3 için kullanılmıştır.

Şekil 4.24'te OYA3 için oluşturulan sistem modelinde dokuz adet durum ve dört adet geçiş bulunmaktadır. Buradaki modelde bulunan durumların açıklamaları Çizelge 4.28'de, geçişlerin açıklamaları Çizelge 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.24 : Beş adet araç içeren sistemde OYA3'ün sonlu durum otomat modeli.

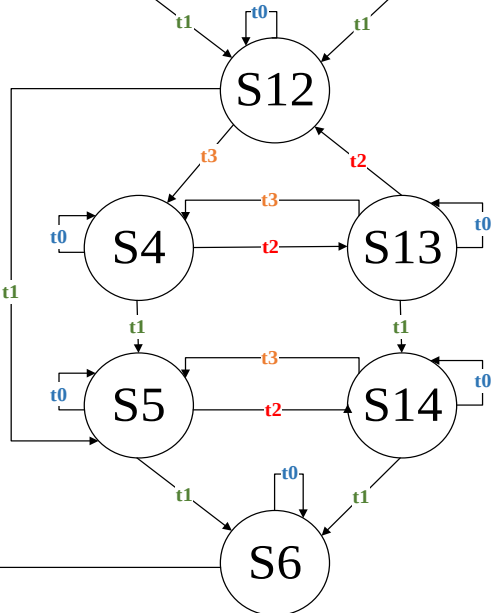
Çizelge 4.28 : Beş adet araç içeren sistemde OYA3'ün durumları.

Durumlar	Durum Açıklamaları
S0	OYA3 park bölgesinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S1	OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S2	OYA3 İş İstasyonu 2'de, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S3	OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi dışında
S4	OYA3 İş İstasyonu 1'de
S5	OYA3 park bölgesinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S6	OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S7	OYA3 İş İstasyonu 2'de, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde
S8	OYA3 ikinci çarpışma bölgesi içinde, OYA2 ikinci çarpışma bölgesi içinde

Çizelge 4.29 : Beş adet araç içeren sistemde OYA3'ün geçişleri.

Geçişler	Geçiş Açıklamaları
t0	Bekleme
t1	Bir konumdan diğer konuma hareket etme
t2	OYA2'nin ikinci çarpışma bölgesine girmesi
t3	OYA2'nin ikinci çarpışma bölgesinden çıkması

Şekil 4.21'deki sistemde OYA4 için oluşturulan otomat modeli Şekil 4.25'te görülmektedir. Bu modelde, OYA4'nin üçüncü çarpışma bölgesi yakınındaki, üçüncü çarpışma bölgesi içindeki, dördüncü çarpışma bölgesi yakınındaki ve dördüncü çarpışma bölgesi içindeki konumları için yeni durumlar tanımlanmıştır. Bu durumlar sırasıyla; OYA2'nin üçüncü çarpışma bölgesi dışında olduğu durum, OYA2'nin üçüncü çarpışma bölgesi içinde olduğu durum, OYA5'in dördüncü çarpışma bölgesi dışında olduğu durum ve OYA5'in dördüncü çarpışma bölgesi içinde olduğu durumdur. OYA4'ü hareketi için yedi farklı konum belirlenmişti. Bu konumlardan



60

Şekil 4.25'te OYA4 için oluşturulan sistem modelinde durumların açıklamaları Çizelge 4.30'da, geçişlerin açıklamaları Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Çizelge 4.30 : Beş adet araç içeren sistemde OYA4'ün durumları.

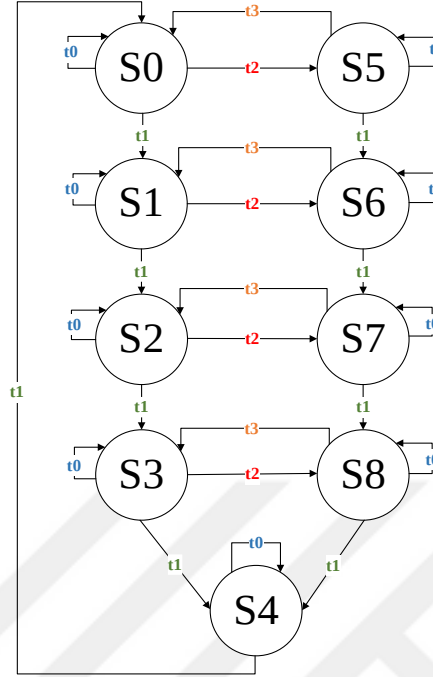
Durumlar	Durum Açıklamaları
S0	OYA4 park bölgesinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S1	OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi dışında, OYA5 dördüncü çarpışma bölgesi dışında
S2	OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA5 dördüncü çarpışma bölgesi dışında
S3	OYA4 İş İstasyonu 3'te, OYA5 dördüncü çarpışma bölgesi dışında
S4	OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi dışında, OYA5 dördüncü çarpışma bölgesi dışında
S5	OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi dışında
S6	OYA4 İş İstasyonu 1'de
S7	OYA4 park bölgesinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S8	OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S9	OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA5 dördüncü çarpışma bölgesi içinde
S10	OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA5 dördüncü çarpışma bölgesi içinde
S11	OYA4 İş İstasyonu 3'te, OYA5 dördüncü çarpışma bölgesi içinde
S12	OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA5 dördüncü çarpışma bölgesi içinde
S13	OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde
S14	OYA4 üçüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA2 üçüncü çarpışma bölgesi içinde

Çizelge 4.31 : Beş adet araç içeren sistemde OYA4'ün geçişleri.

Geçişler	Geçiş Açıklamaları
t0	Bekleme
t1	Bir konumdan diğer konuma hareket etme
t2	OYA2'nin üçüncü çarpışma bölgesine veya OYA5'in dördüncü çarpışma bölgesine girmesi
t3	OYA2'nin üçüncü çarpışma bölgesinden veya OYA5'in dördüncü çarpışma bölgesinden çıkması

Şekil 4.21'deki sistemde OYA5 için oluşturulan otomat modeli Şekil 4.26'da, durumların açıklamaları Çizelge 4.32'de, geçişlerin açıklamaları ise Çizelge 4.33'te verilmiştir. Bu sistemde OYA5'in çalışma şeklinin, OYA1 ve OYA3 ile benzer yapıda olmasından dolayı, bu iki aracın modelinin benzeri OYA5 için kullanılmıştır. Bu modelde, OYA5'in dördüncü çarpışma bölgesi yakınındaki ve dördüncü çarpışma bölgesi içindeki konumları için iki farklı durum tanımlanmıştır. Bu durumlar; OYA4'ün dördüncü çarpışma bölgesi dışında olduğu durum ve OYA4'ün dördüncü çarpışma bölgesi içinde olduğu durumdur. OYA5'in hareketi için beş farklı konum belirlenmişti. Dördüncü çarpışma bölgesi yakınındaki ve içindeki konumlar dikkate alındığında, OYA5 için oluşturulan modelde dokuz adet durum bulunmaktadır. Sistemdeki durum değişiklikleri geçişler aracılığıyla sağlanır ve OYA5 için yine dört farklı geçiş belirlenmiştir. İlk geçiş, OYA5'in beklediği eylemi temsil ederken, ikinci geçiş, OYA5'in bir konumdan diğer konuma geçtiği eylemi göstermektedir. Modeldeki

üçüncü geçiş, OYA4'ün dördüncü çarpışma bölgesine girdiğini belirtirken, dördüncü geçiş ise OYA4'ün dördüncü çarpışma bölgesi dışına çıktığını ifade etmektedir.



Şekil 4.26 : Beş adet araç içeren sistemde OYA5'in sonlu durum otomat modeli.

Çizelge 4.32 : Beş adet araç içeren sistemde OYA5'in durumları.

Durumlar	Durum Açıklamaları
S0	OYA5 park bölgesinde, OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi dışında
S1	OYA5 dördüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi dışında
S2	OYA5 İş İstasyonu 1'de, OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi dışında
S3	OYA5 dördüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi dışında
S4	OYA5 Tamamlanmış Parça İstasyonu'nda
S5	OYA5 park bölgesinde, OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi içinde
S6	OYA5 dördüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi içinde
S7	OYA5 İş İstasyonu 1'de, OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi içinde
S8	OYA5 dördüncü çarpışma bölgesi içinde, OYA4 dördüncü çarpışma bölgesi içinde

Çizelge 4.33 : Beş adet araç içeren sistemde OYA5'in geçişleri.

Geçişler	Geçiş Açıklamaları
t0	Bekleme
t1	Bir konumdan diğer konuma hareket etme
t2	OYA4'ün dördüncü çarpışma bölgesine girmesi
t3	OYA4'ün dördüncü çarpışma bölgesinden çıkması

4.5.2 Beş adet araç ve dört adet çarpışma bölgesi içeren sistem için Q-öğrenme algoritması

Şekil 4.21'de verilen beş adet aracın, birbirleriyle çarpışmadan hareket etmelerini sağlamak için her bir araca ait sonlu otomat modeline göre Q-öğrenme algoritması oluşturulmuştur. Bu sistemlerde, OYA1, OYA3 ve OYA5'in benzer çalışma

prensibine sahip olmaları nedeniyle, bu üç araç için tek bir Q-öğrenme algoritması geliştirilmiş ve her üç araca da aynı Q tablosu uygulanmıştır. Sistemde OYA2'nin üç farklı çarpışma bölgesinde hareket etmesi nedeniyle, bu bölgelerde OYA2'ye öncelik tanınmıştır. Bu öncelik doğrultusunda, bir çarpışma bölgesine iki araç aynı anda yaklaştığında, OYA2 hareket ederek ilgili bölgeye girecek ve diğer araç OYA2 bölgeden çıkana kadar bekleyecektir. OYA2 bölgeden ayrıldıktan sonra diğer araç harekete geçecektir. OYA4'ün üçüncü ve dördüncü çarpışma bölgesinde hareket etmesinden ötürü, dördüncü çarpışma bölgesinde OYA4'e öncelik tanınmıştır. Bu bölgedeki öncelik doğrultusunda, OYA4 ve OYA5 dördüncü çarpışma bölgesine aynı anda yaklaştığında, OYA4 hareket ederek ilgili bölgeye girecek ve OYA5, OYA4 bölgeden çıkana kadar bekleyecektir. OYA4 bölgeden ayrıldıktan sonra OYA5 harekete geçecektir.

Beş adet araç içeren sistemin kontrolünü sağlamak için OYA1, OYA3 ve OYA5 için belirlenen ödül değerleri Çizelge 4.34'te verilmiştir. Diğer araçlara göre çarpışma bölgelerinde öncelik sahibi olan OYA2 ve OYA4 için belirlenen ödül değerleri ise Çizelge 4.35'te görülmektedir.

Çizelge 4.34 : Beş adet araç içeren sistemde OYA1, OYA3 ve OYA5 için ödüller.

OYA Eylemleri	Ödül / Ceza
Çarpışma bölgesinde veya yakınında araç olmadığı halde bekleme	-1
Aracın gerçekleştirmesi mümkün olmayan eylem	-15
Çarpışma bölgesinde veya yakınında araç varken bölgeye girme	-20
Çarpışma bölgesinde veya yakınında araç varken bölgeye girmeden bekleme	3
Çarpışma bölgesinde veya yakınında araç yokken hareket etme	3
Hareketini tamamlayıp park bölgesine dönme	5

Çizelge 4.35 : Beş adet araç içeren sistemde OYA2 ve OYA4 için ödüller.

OYA Eylemleri	Ödül / Ceza
Çarpışma bölgesinde araç olmadığı halde bekleme	-1
Aracın gerçekleştirmesi mümkün olmayan eylem	-15
Çarpışma bölgesinde araç varken bölgeye girme	-20
Çarpışma bölgesinde araç varken bölgeye girmeden bekleme	3
Çarpışma bölgesinde araç yokken hareket etme	3
Hareketini tamamlayıp park bölgesine dönme	5

Araçların çarpışmadan işlemlerini gerçekleştirmesini sağlamak için hiperparametre seçimlerinde önceki bölümlerdeki ile aynı şekilde ızgara arama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem sonucu elde edilen Q tabloları incelenerek, OYA1, OYA3 ve OYA5 için öğrenme oranının “0.1”, epsilon değerinin “0.3” olduğu durumda, OYA2 için öğrenme oranının “0.1”, epsilon değerinin “0.6” olduğu durumda, OYA4 için ise öğrenme

oranının “0.1”, epsilon değerinin “0.3” olduğu durumda modelin çevreyi başarılı bir şekilde öğrendiği belirlenmiş ve hiperparametreler bu değerlerle seçilmiştir.

Hiperparametre seçimleri sonucu OYA1, OYA3 ve OYA5 için elde edilen Q tablosu Şekil 4.27'de görülmektedir.

Beş adet araç içeren sistemde OYA1, OYA3 ve OYA5 için Q tablosu

	t0	t1	t2	t3
s0	62.84	67.2	42	48.84
s1	63.2	67.58	37	49.2
s2	63.58	67.98	42	49.58
s3	63.98	68.4	44.98	49.98
s4	64.4	68.84	50.4	50.4
s5	60	37	42	48.84
s6	37	60	42	49.2
s7	60	44.98	42	49.58
s8	44.98	68.4	49.98	49.98

Eylemler

Şekil 4.27 : Beş adet araç içeren sistemde OYA1, OYA3 ve OYA5’e ait Q tablosu.

Şekil 4.27'de yer alan Q tablosunda, satırlar OYA1, OYA3 ve OYA5'in durumlarını, sütunlar ise bu araçların eylemlerini göstermektedir. Her satırdaki maksimum değere karşılık gelen sütun, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylemi temsil eder. Bu araçların bulunduğu durumlara karşılık, tablodaki maksimum değere sahip eylemlerin seçilmesi ile araçların kontrolü sağlanmış olur.

Beş adet araç içeren sistemde OYA2 için elde edilen Q tablosu Şekil 4.28'de görülmektedir. Bu Q tablosunda, satırlar OYA2'nin durumlarını, sütunlar ise OYA2'nin eylemlerini göstermektedir. Her satırdaki maksimum değere karşılık gelen sütun, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylemi temsil eder. OYA2 için bulunduğu durumlara karşılık, tabloda belirtilen eylemlerin seçilmesi ile aracın kontrolü sağlanmış olur.

Beş adet araç içeren sistemde OYA2 için Q tablosu					
Durumlar	s0	59.41	63.59	42	45.41
	s1	59.59	63.78	42	45.59
	s2	59.78	63.98	42	45.78
	s3	59.98	64.19	37	45.98
	s4	60.19	64.41	42	46.19
	s5	60.41	64.64	42	46.41
	s6	60.64	64.88	42	46.64
	s7	60.88	65.14	41.88	46.88
	s8	61.14	65.41	47.14	47.14
	s9	60	40.59	42	45.41
	s10	40.59	63.78	45.59	45.59
	s11	60	40.78	40.59	45.59
	s12	40.78	63.98	45.78	45.78
	s13	60	37	40.78	45.78
	s14	37	60	42	45.98
	s15	60	41.41	42	46.19
	s16	41.41	64.64	46.41	46.41
	s17	60	41.64	41.41	46.41
	s18	41.64	64.88	46.64	46.64
	s19	60	41.88	41.64	46.64
	s20	41.88	65.14	46.88	46.88
		t0	t1	t2	t3
Eylemler					

Şekil 4.28 : Beş adet araç içeren sistemde OYA2'ye ait Q tablosu.

Beş adet araç içeren sistemde OYA4 için elde edilen Q tablosu Şekil 4.29'da görülmektedir. Buradaki Q tablosunda, satırlar OYA4'ün durumlarını, sütunlar ise OYA4'ün eylemlerini göstermektedir. Her satırdaki maksimum değere karşılık gelen

sütun, o durumda gerçekleştirilmesi gereken eylemi temsil eder. OYA4 için bulunduğu durumlara karşılık, tabloda belirtilen eylemlerin seçilmesi ile aracın kontrolü sağlanmış olur.

Beş adet araç içeren sistemde OYA4 için Q tablosu

s0	60.63	64.87	42	46.63
s1	60.87	65.13	42	46.87
s2	61.13	65.4	37	47.13
s3	61.4	65.68	42	47.4
s4	61.68	65.98	36.68	47.68
s5	61.98	66.3	42.98	47.98
s6	62.3	66.63	48.3	48.3
s7	60	41.87	42	46.63
s8	41.76	65.13	46.8	46.82
s9	60	37	41.87	46.87
s10	37	60	42	47.13
s11	60	42.68	42	47.4
s12	42.68	65.98	47.68	47.68
s13	59.72	42.98	47.68	47.68
s14	42.98	66.3	47.98	47.98
	t0	t1	t2	t3

Eylemler

Şekil 4.29 : Beş adet araç içeren sistemde OYA4'e ait Q tablosu.

5. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Tezde önerilen yöntemlerin doğrulanması amacıyla üçüncü bölümdeki ve dördüncü bölümdeki uygulamaların benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölümde tek yönlü ve çift yönlü hareket kabiliyetine sahip iki adet araç içeren sistemlerde çalışılırken, dördüncü bölümde ise tek yönlü hareket kabiliyetine sahip üç, dört ve beş araç içeren sistemler üzerinde uygulamalar yapılmıştır. Uygulamalarda kullanılan araçların modellenmesi ve çalışma ortamlarının oluşturulması için Matlab&Simulink programında bulunan Robotics System Toolbox yardımcı aracı kullanılmıştır. Araçların kontrolünü sağlayacak eylemleri içeren Q tabloları, modeldeki eylemlere karar veren blok olarak eklenmiş ve gerçekleştirilen simülasyonlarla veriler alınmıştır. Bu verilerin grafikleri oluşturularak görselleştirme işlemleri yapılmış ve önerilen yöntemlerin doğrulanması gerçekleştirilmiştir.

5.1 Benzetim Ortamı

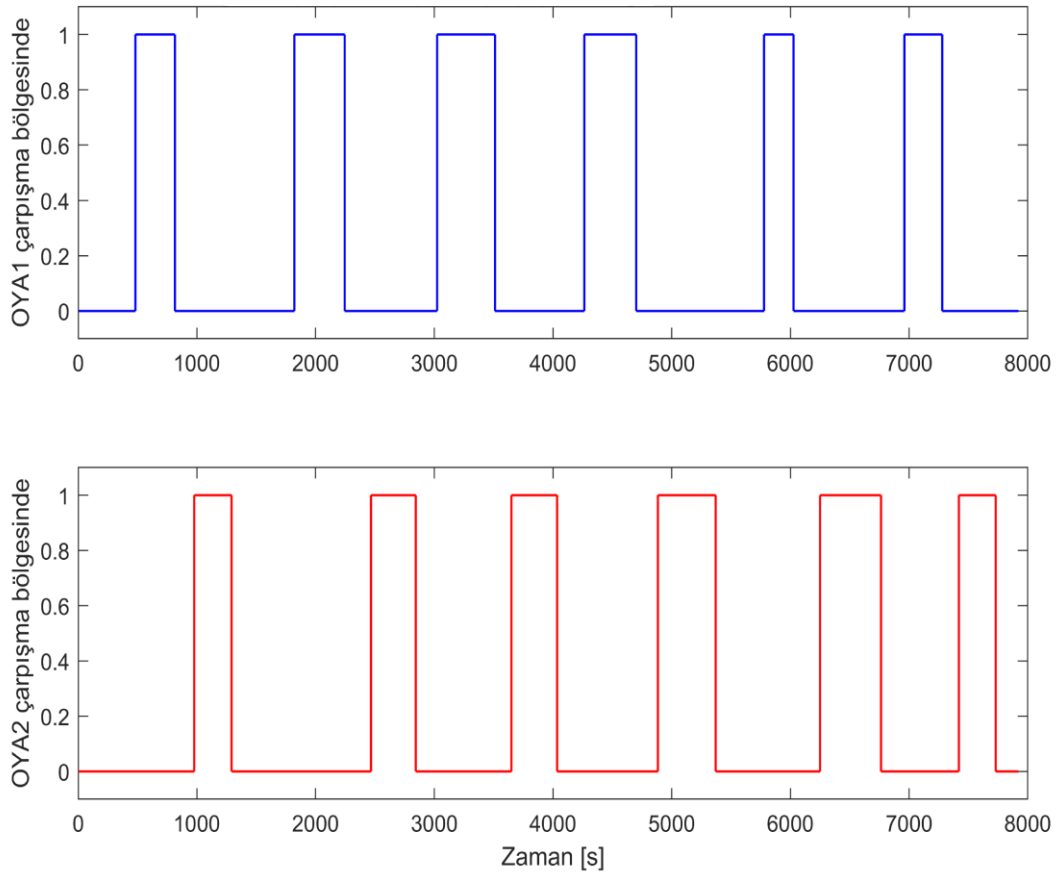
Tez kapsamında Robotic System Toolbox kullanılarak oluşturulan simülasyon ortamında, robotun planlama, kontrol ve davranışları Simulink platformu üzerinde modellenmiştir. Bu platformda oluşturulan benzetim çalışmasında, her bir bölgenin başlangıç ve bitiş konumları, Simulink'teki stateflow objesi kullanılarak oluşturulmuş ve araçların rotaları tanımlanmıştır. Araçların bu rotayı takip etmesi için, Robotic System Toolbox içerisinde tanımlı olan, diferansiyel sürüşe sahip robotun davranışını belirleyen plant modeline planlama ve kontrol blokları eklenmiştir.. Bu sayede, aracın mevcut pozisyonu başlangıç noktası olarak alınmakta ve stateflow içerisinde tanımlanan görev dizilerine uygun olarak hedef konumlar belirlenmektedir. Tüm bu süreçler, aracın planlanmış bir şekilde hedefe yönlendirilmesini sağlamaktadır.

Birden fazla araç içeren sistemler için, her bir araca ait rotayı içeren bloklar ile planlama ve kontrol blokları da eklenmelidir. Bu araçların birbirleriyle çarpışmaması için ise, gerekli kontrolcüler tasarlanarak sisteme entegre edilmelidir. Şekil 5.1'de, tez kapsamında oluşturulan benzetim ortamı görülmektedir. Bu ortamda, her bir araç için rotaları içeren bloklar, planlama blokları ve kontrol blokları eklenmiştir. Ayrıca araçların çarpışmasının önüne geçmek için oluşturulan kontrolcüler, Matlab fonksiyon blokları içerisinde oluşturularak modele entegre edilmiştir.

5.2 Tek Yönlü Çalışma Tipine Sahip İki Adet Araç İçeren Sistemin Benzetim

Sonuçları

Tezin üçüncü bölümünde, Şekil 3.3 ile gösterilen, tek yönlü çalışan OYA uygulamasındaki araçların çarpışma bölgesinde bulunma durumları Şekil 5.2’de görülmektedir. Şekil 5.2’deki grafikte, araçların çarpışma bölgesinde bulunma durumu 0 veya 1 değerleriyle ifade edilmiştir. Aracın çarpışma bölgesinde bulunma değerinin 1 olması, aracın çarpışma bölgesi içinde olduğunu belirtirken, bu değer 0 olması ise çarpışma bölgesinin dışında olduğunu göstermektedir. Buradan hareketle, Şekil 5.2’deki tek yönlü hareket kabiliyetine sahip araçların çarpışma bölgesinde bulunma değerleri incelenirse, OYA1 ve OYA2’nin, çalışma boyunca aynı anda çarpışma bölgesinde bulunmadığı görülmektedir. OYA1 çarpışma bölgesine her zaman OYA2’den önce girmiş ve araçlar hiçbir zaman aynı anda çarpışma bölgesinde bulunmamıştır. Her iki araç da herhangi bir çarpışma olmadan kendi rotalarında hareketlerini gerçekleştirmiştir. Şekil 5.2’deki sonuçlar, çalışmada önerilen yöntemin tek yönlü çalışan OYA’lar için uygun olduğunu doğrulamıştır.

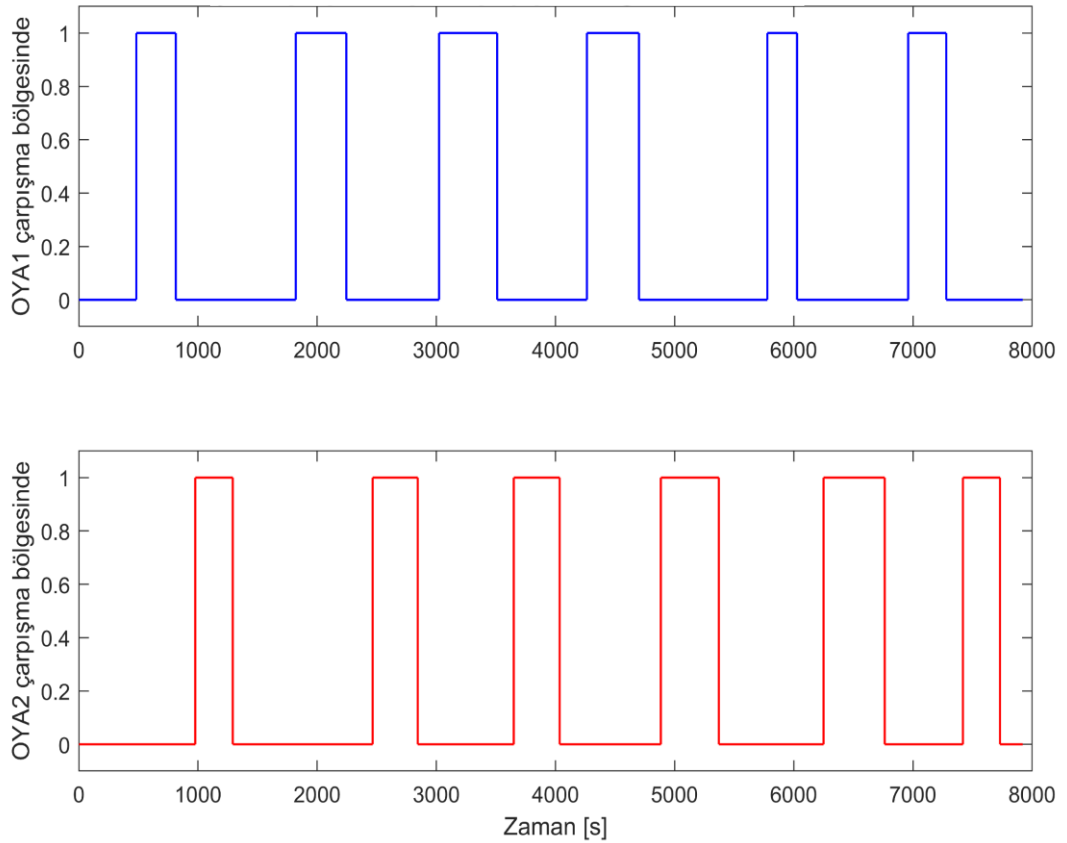


Şekil 5.2 : Tek yönlü çalışan OYA’ların çarpışma bölgesinde bulunma durumları.

5.3 İki Yönlü Çalışma Tipine Sahip İki Adet Araç İçeren Sistemin Benzetim

Sonuçları

Tezin üçüncü bölümünde, Şekil 3.7 ile gösterilen, iki yönlü çalışma gerçekleştiren OYA'ların çarpışma bölgesinde bulunma durumları Şekil 5.3'te görülmektedir. Şekil 5.3'teki grafikte araçların çarpışma bölgesinde bulunma durumu 0 veya 1 değerleriyle ifade edilmiştir. Tek yönlü çalışmada olduğu gibi aracın çarpışma bölgesinde bulunma değerinin 1 olması, aracın çarpışma bölgesi içinde olduğunu belirtirken, bu değer 0 olması ise aracın çarpışma bölgesinin dışında olduğunu göstermektedir. Buradan hareketle, Şekil 5.3'teki iki yönlü hareket kabiliyetine sahip araçların çarpışma bölgesinde bulunma değerleri incelenirse, OYA1 ve OYA2'nin, çalışma boyunca aynı anda çarpışma bölgesinde bulunmadığı görülmektedir. Tek yönlü çalışmada olduğu gibi OYA1 çarpışma bölgesine her zaman OYA2'den önce girmiş ve araçlar hiçbir zaman aynı anda çarpışma bölgesinde bulunmamıştır. Her iki araç da herhangi bir çarpışma olmadan kendi rotalarında hareketlerini gerçekleştirmiştir. Şekil 5.3'teki sonuçlar, çalışmada önerilen yöntemin iki yönlü çalışan OYA'lar için de uygun olduğunu doğrulamıştır.

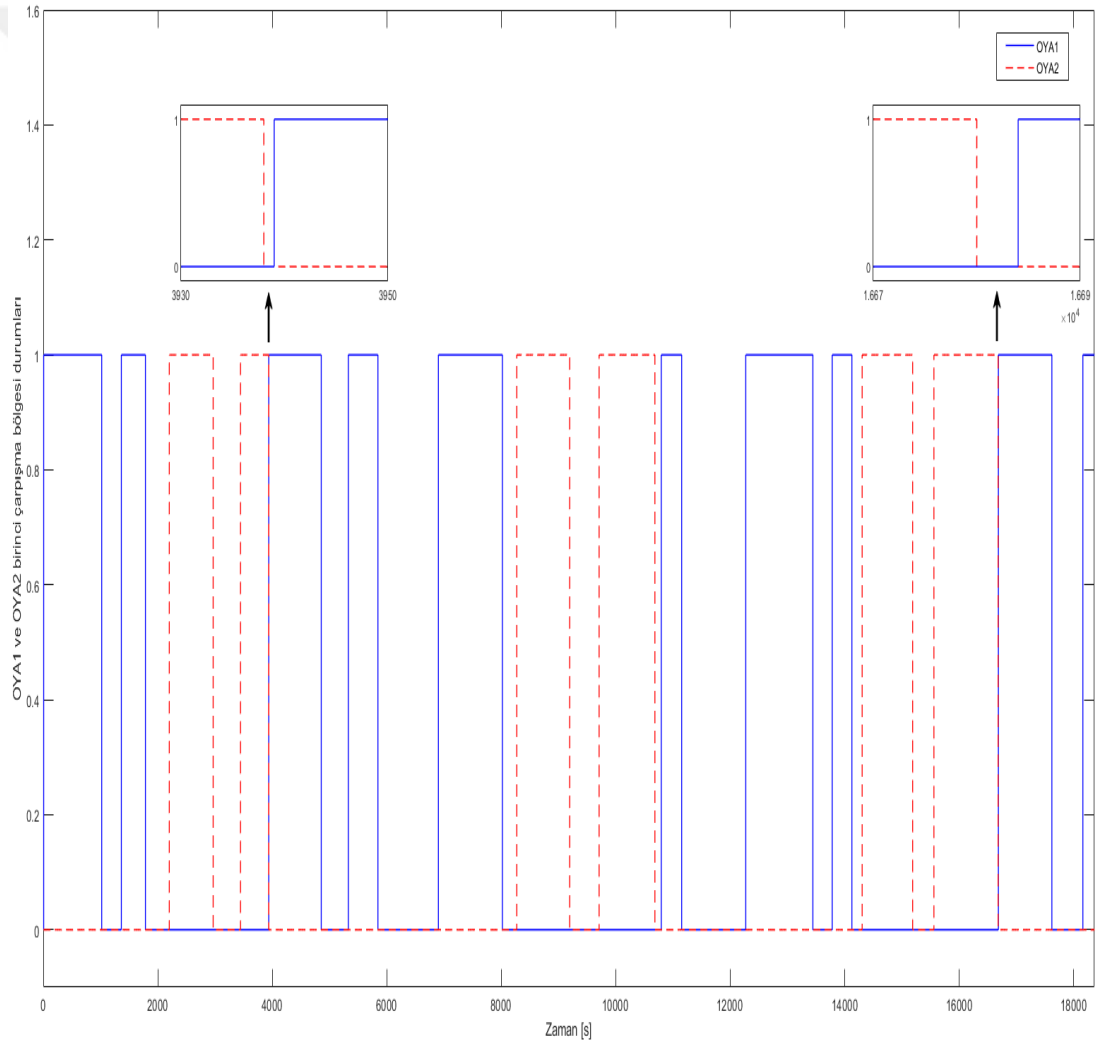


Şekil 5.3 : İki yönlü çalışan OYA'ların çarpışma bölgesinde bulunma durumları.

5.4 Üç Adet Araç ve İki Adet Çarpışma Bölgesi İçeren Sistemin Benzetim

Sonuçları

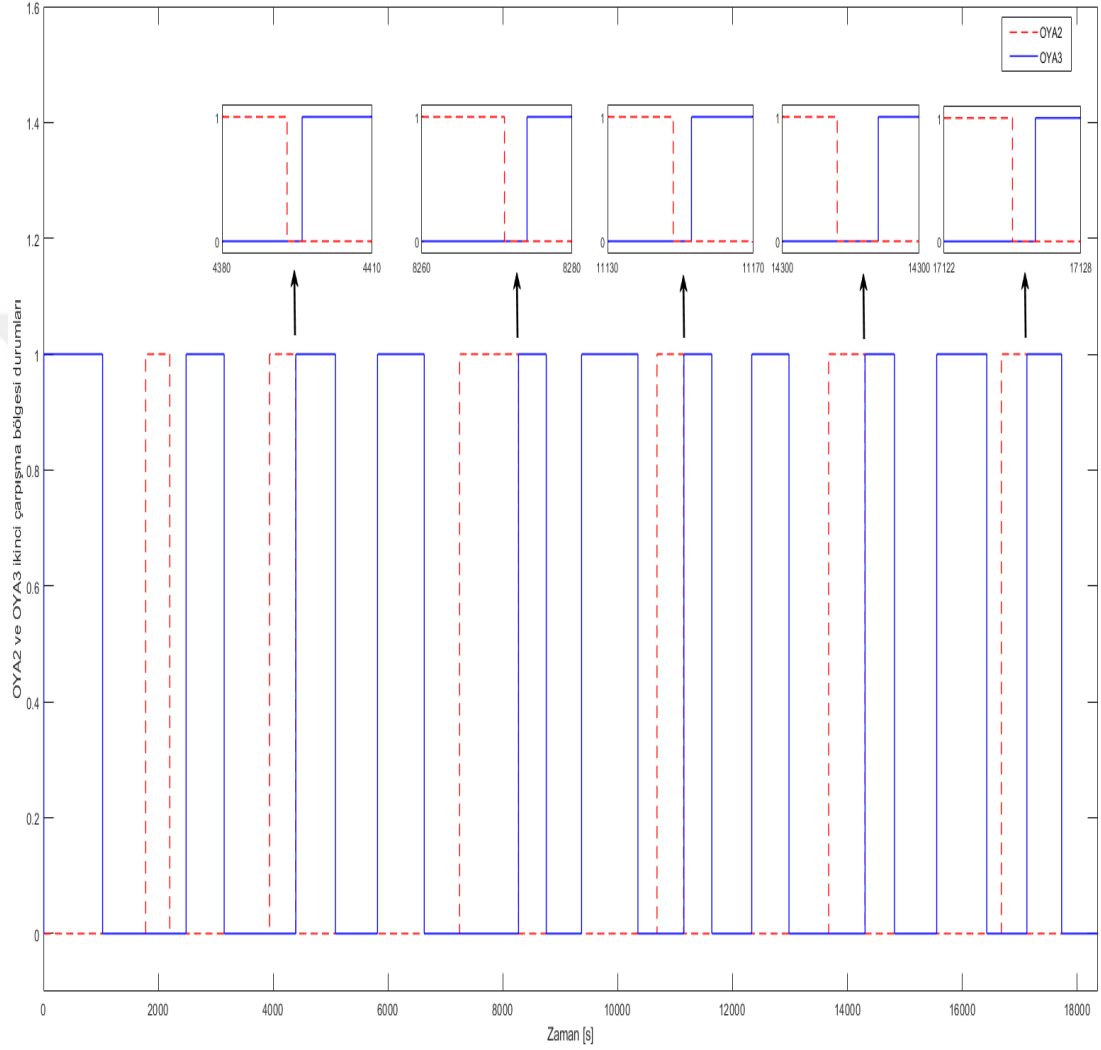
Tezin dördüncü bölümünde, Şekil 4.7'de gösterilen, üç adet OYA ve iki çarpışma bölgesine sahip sistemde, OYA1 ve OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları Şekil 5.4'te görülmektedir. Şekil 5.4'teki grafikte araçların çarpışma bölgesinde bulunma durumu önceki grafiklerdeki gibi 0 veya 1 değerleriyle ifade edilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, OYA1 ve OYA2'nin çalışma boyunca aynı anda birinci çarpışma bölgesinde bulunmadığı görülmektedir. Her iki araç da birinci çarpışma bölgesinde herhangi bir çarpışma yaşamadan kendi rotalarında hareketlerini gerçekleştirmiştir.



Şekil 5.4 : Üç araç içeren sistemde OYA1 ve OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları.

Üç adet OYA içeren ve iki çarpışma bölgesine sahip sistemde, OYA2 ve OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları Şekil 5.5'te görülmektedir. Şekil

5.5'teki grafikte araçların çarpışma bölgesinde bulunma durumu, önceki grafiklerdeki gibi 0 veya 1 değerleriyle ifade edilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, OYA2 ve OYA3'ün çalışma boyunca aynı anda ikinci çarpışma bölgesinde bulunmadığı görülmektedir. Her iki araç da ikinci çarpışma bölgesinde herhangi bir çarpışma yaşamadan kendi rotalarında hareketlerini gerçekleştirmiştir.



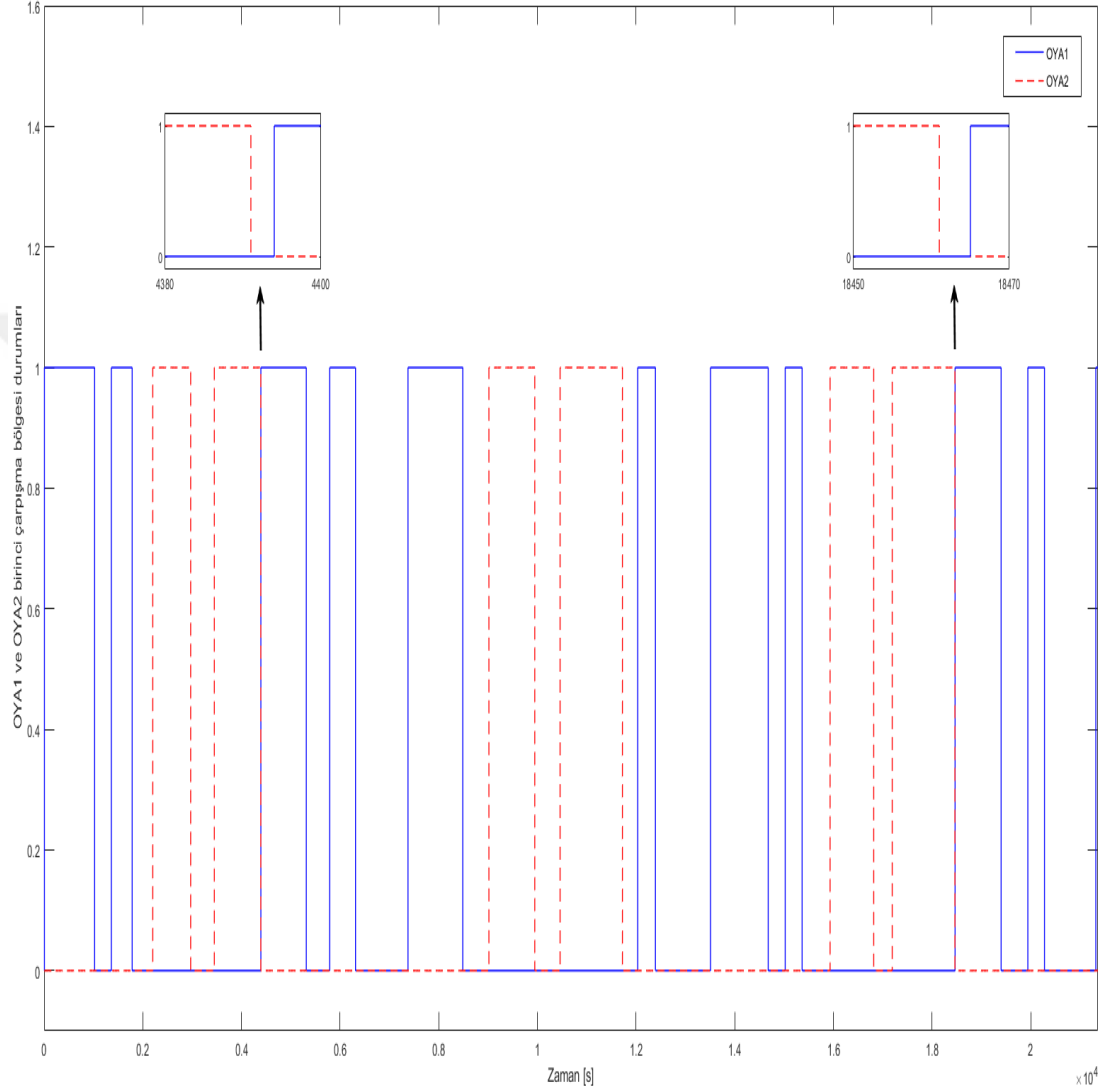
Şekil 5.5 : Üç araç içeren sistemde OYA2 ve OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları.

Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te görülen sonuçlar, üç adet araç içeren sistem için tez çalışması kapsamında önerilen yöntemi doğrulamıştır.

5.5 Dört Adet Araç ve Üç Adet Çarpışma Bölgesi İçeren Sistemin Benzetim Sonuçları

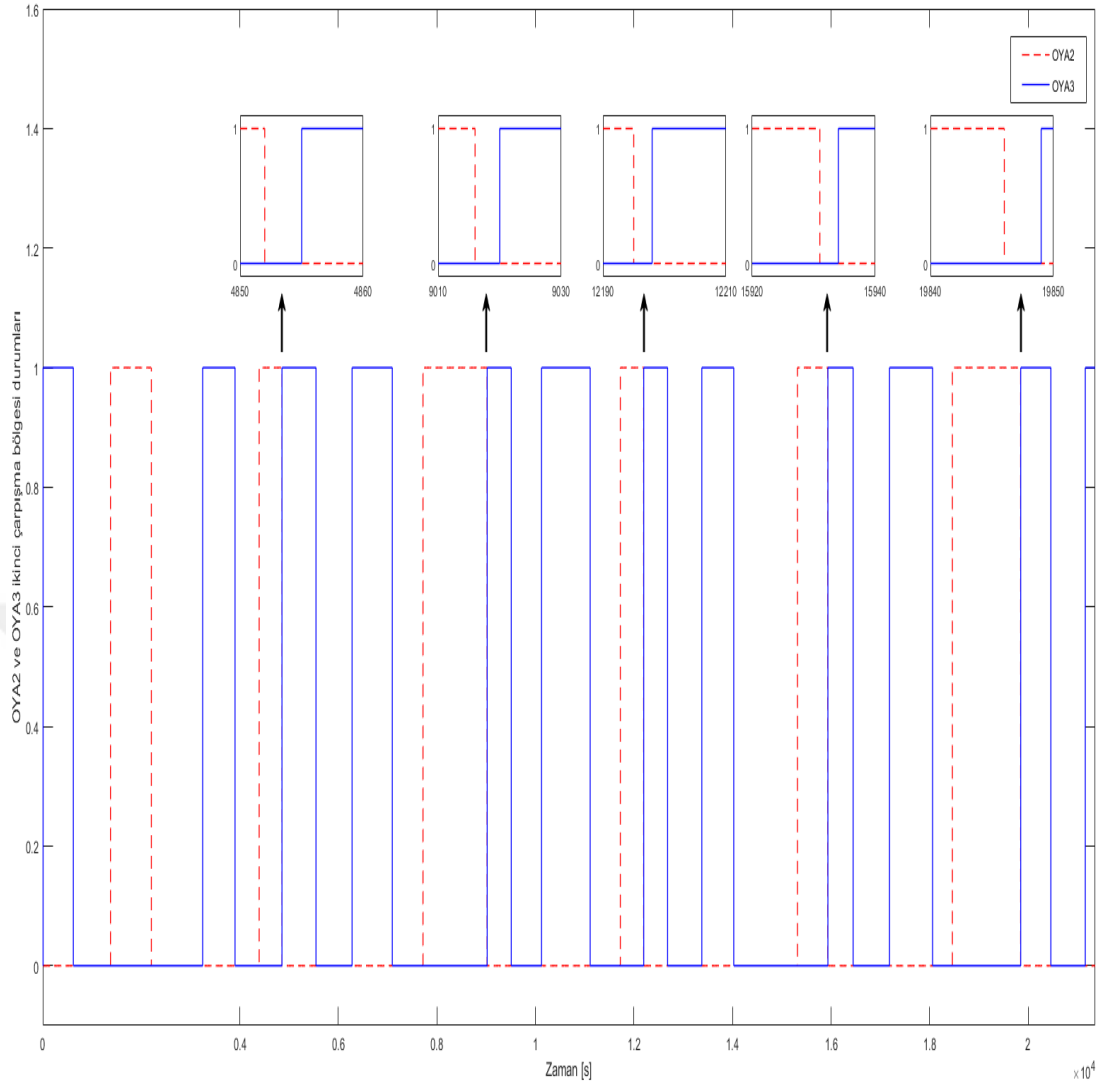
Tezin dördüncü bölümünde, Şekil 4.13'te gösterilen, dört adet OYA ve üç çarpışma bölgesine sahip sistemde, OYA1 ve OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinde bulunma

durumları Şekil 5.6’da görülmektedir. Şekil 5.6’daki grafik incelendiğinde, üç adet araç içeren sistemde olduğu gibi, OYA1 ve OYA2’nin çalışma boyunca aynı anda birinci çarpışma bölgesinde bulunmadığı görülmektedir. Dört araç içeren bu sistemde de, OYA1 ve OYA2’nin birinci çarpışma bölgesinde herhangi bir çarpışma yaşamadan kendi rotalarında hareketlerini gerçekleştirdiği gözlenmiştir.



Şekil 5.6 : Dört araç içeren sistemde OYA1 ve OYA2’nin birinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları.

Dört adet OYA içeren ve üç çarpışma bölgesine sahip sistemde, OYA2 ve OYA3’ün ikinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları Şekil 5.7’de görülmektedir. Şekil 5.7’deki grafik incelendiğinde, üç adet araç içeren sistemde olduğu gibi, OYA2 ve OYA3’ün çalışma boyunca aynı anda ikinci çarpışma bölgesinde bulunmadığı görülmektedir. Her iki araç da ikinci çarpışma bölgesinde herhangi bir çarpışma yaşamadan kendi rotalarında hareketlerini gerçekleştirmiştir.

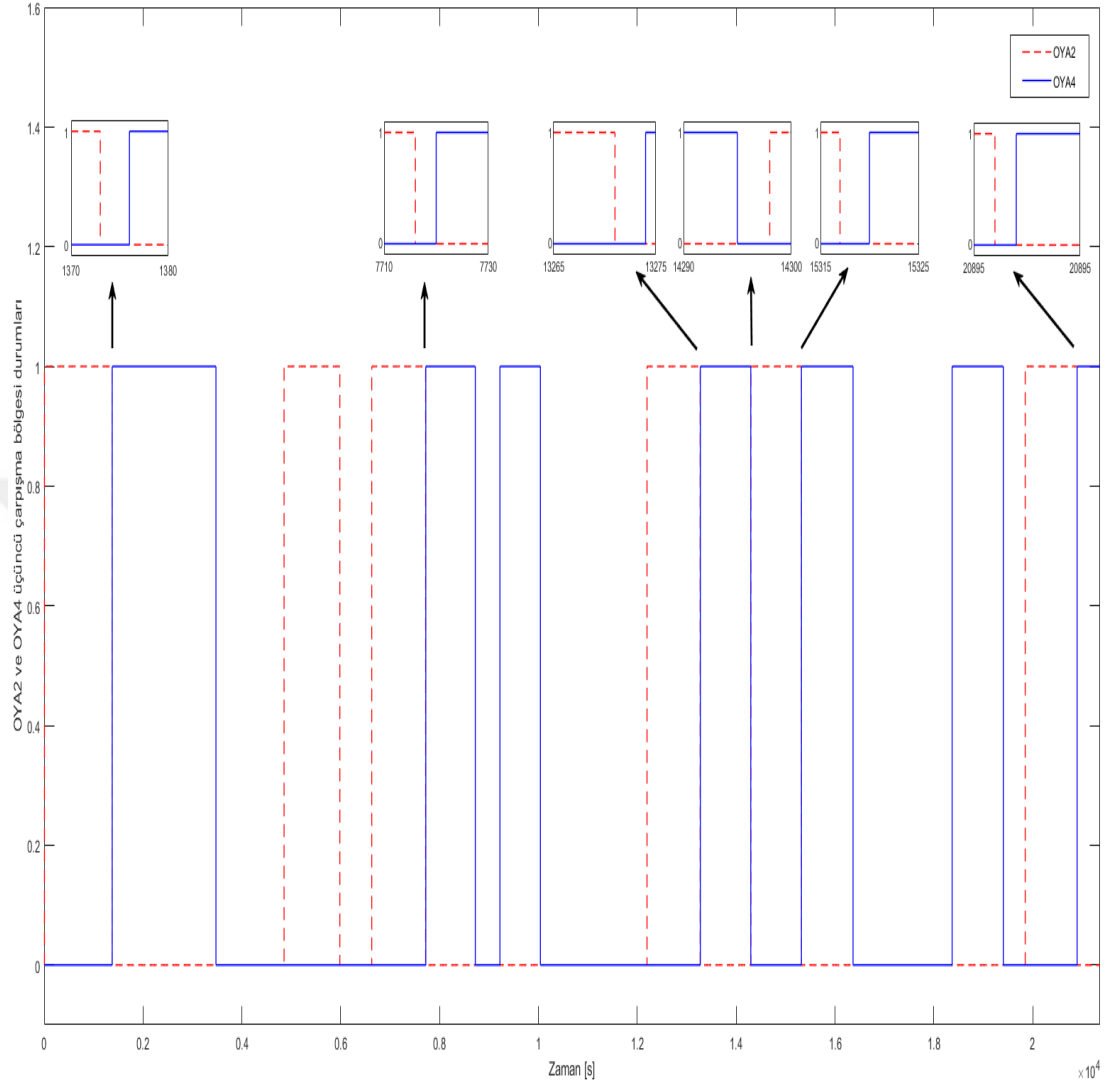


Şekil 5.7 : Dört araç içeren sistemde OYA2 ve OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları.

Dört adet araç içeren sistemde, OYA4'ün OYA3 ile herhangi bir rota çakışması olmadığı için, ikinci çarpışma bölgesinde sadece OYA2 ve OYA3'ün bulunma durumları incelenmiştir.

Dört adet OYA içeren ve üç çarpışma bölgesine sahip sistemde, OYA2'nin OYA4 ile de rotası bir bölgede çakışmaktadır. OYA2'nin OYA4 ile rotasının çakıştığı bölge, üçüncü çarpışma bölgesi olarak adlandırılmıştır. Bu sistemde, OYA2 ile OYA1'in birinci çarpışma bölgesinde, OYA2 ile OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinde ve OYA2 ile OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesindeki durumları ele alınmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, OYA2 ve OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesinde bulunma durumları Şekil 5.8'de görülmektedir. Şekil 5.8'deki grafik incelendiğinde, OYA2 ve OYA4'ün çalışma boyunca aynı anda üçüncü çarpışma bölgesinde bulunmadığı

görülmektedir. Her iki araç da üçüncü çarpışma bölgesinde herhangi bir çarpışma yaşamadan kendi rotalarında hareketlerini gerçekleştirmiştir.



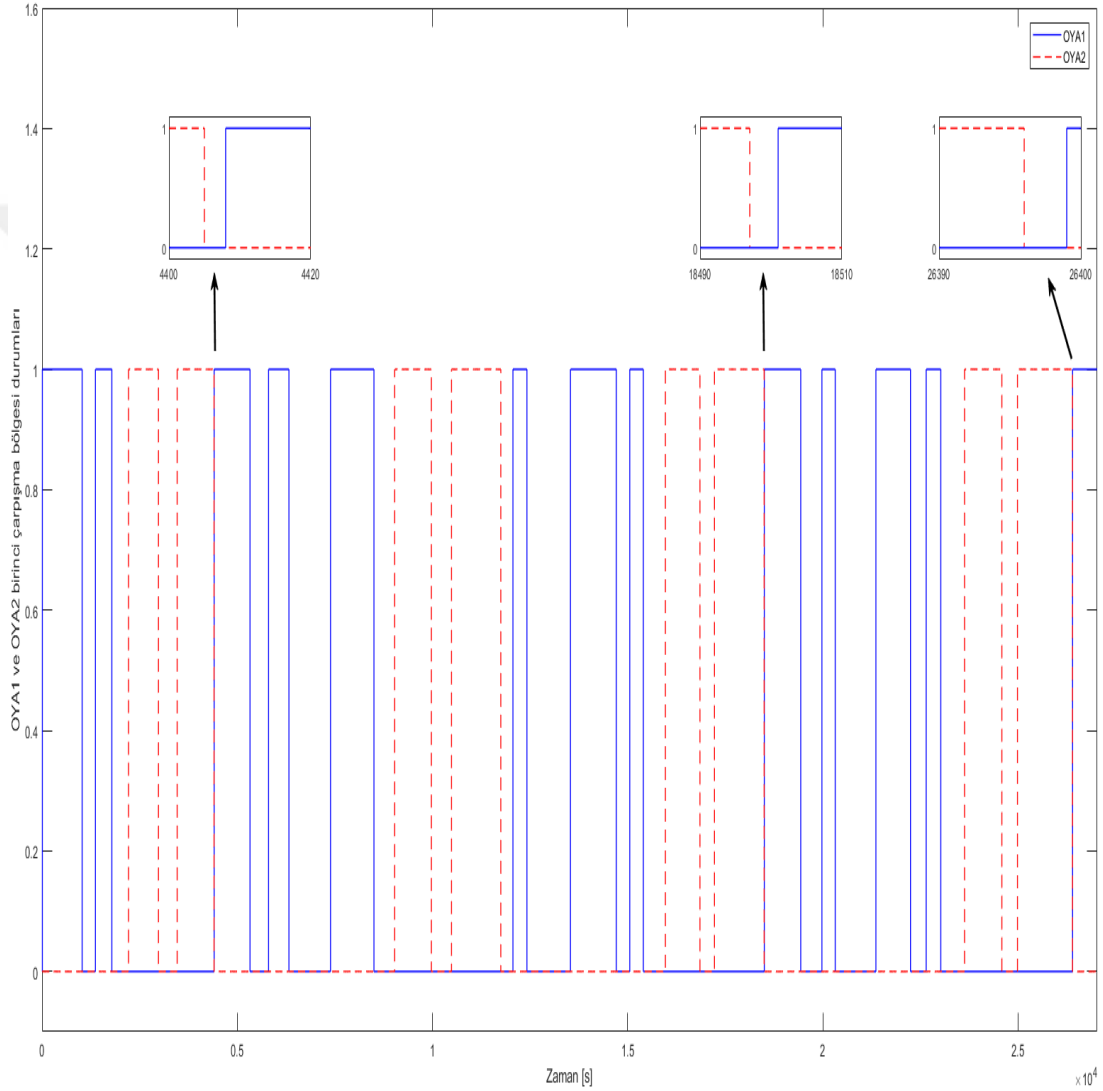
Şekil 5.8 : Dört araç içeren sistemde OYA2 ve OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesinde bulunma durumları.

Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de görülen sonuçlar, dört adet araç içeren sistem için tez çalışması kapsamında önerilen yöntemi doğrulamıştır.

5.6 Beş Adet Araç ve Dört Adet Çarpışma Bölgesi İçeren Sistemin Benzetim Sonuçları

Tezin dördüncü bölümünde, Şekil 4.21 ile gösterilen, beş adet OYA ve dört çarpışma bölgesine sahip sistem üzerinde çalışılmıştır. Bu sistemde, dört adet araç içeren sistemden farklı olarak, OYA4 ve OYA5'in ayrı bir bölgede rotaları çakışmaktadır.

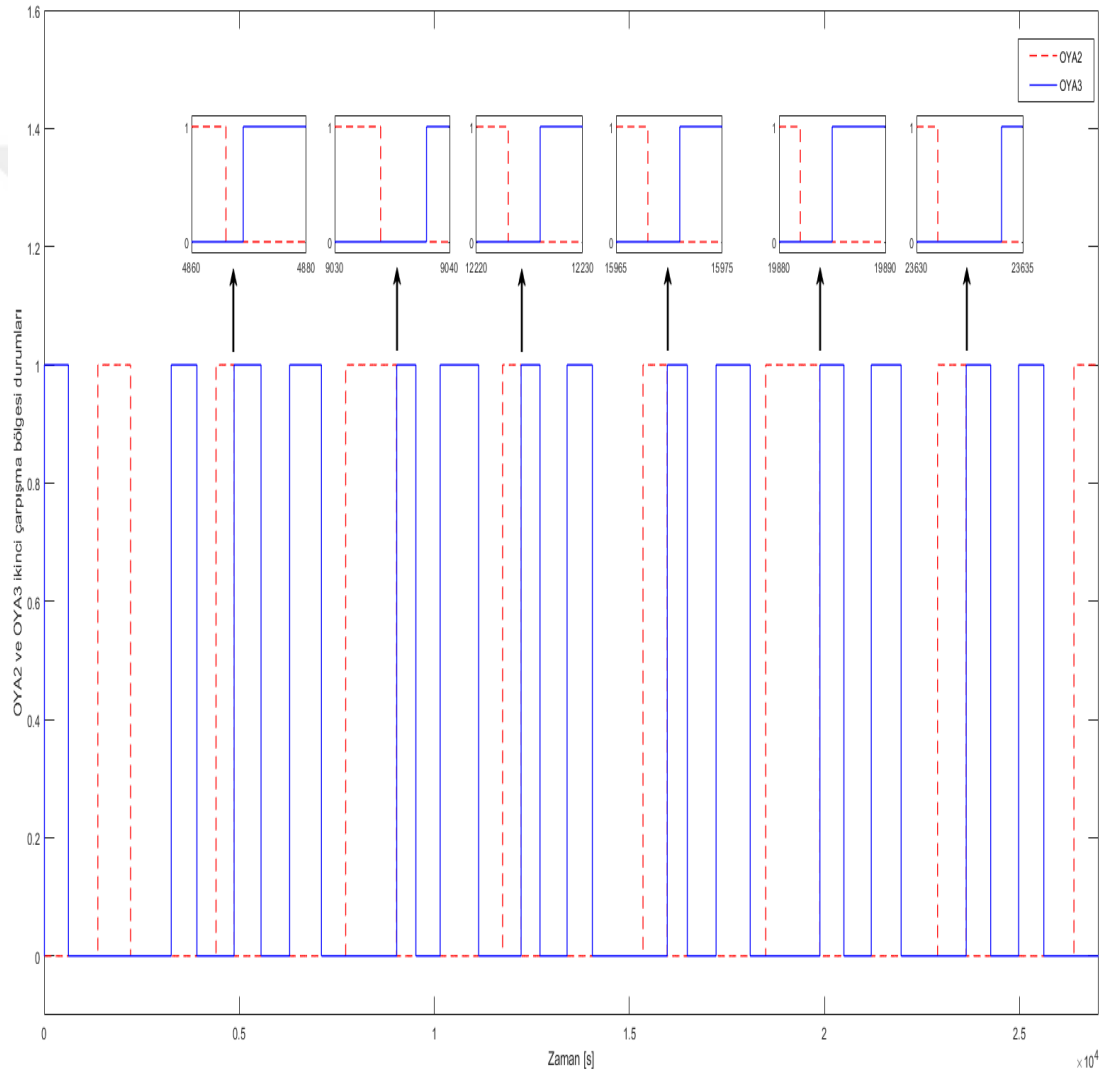
Beş adet araç içeren sistemde OYA1 ve OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları Şekil 5.9'da görülmektedir. Şekil 5.9'daki grafik incelendiğinde, üç adet araç içeren ve dört adet araç içeren sistemlerde olduğu gibi, OYA1 ve OYA2'nin çalışma boyunca aynı anda birinci çarpışma bölgesinde bulunmadığı görülmektedir. Her iki aracın da birinci çarpışma bölgesinde herhangi bir çarpışma olmadan kendi rotalarında hareketlerini gerçekleştirdiği gözlenmiş ve uygulanan kontrol yönteminin birinci çarpışma bölgesi için başarılı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.9 : Beş araç içeren sistemde OYA1 ve OYA2'nin birinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları.

Beş adet araç içeren sistemde, OYA5'in OYA2 veya OYA3 ile herhangi bir rota çakışması olmadığı için, ikinci çarpışma bölgesinde sadece OYA2 ve OYA3'ün bulunma durumları incelenmiş, OYA5'in bu bölgede bulunma durumuyla ilgili bir gözlem yapılmamıştır.

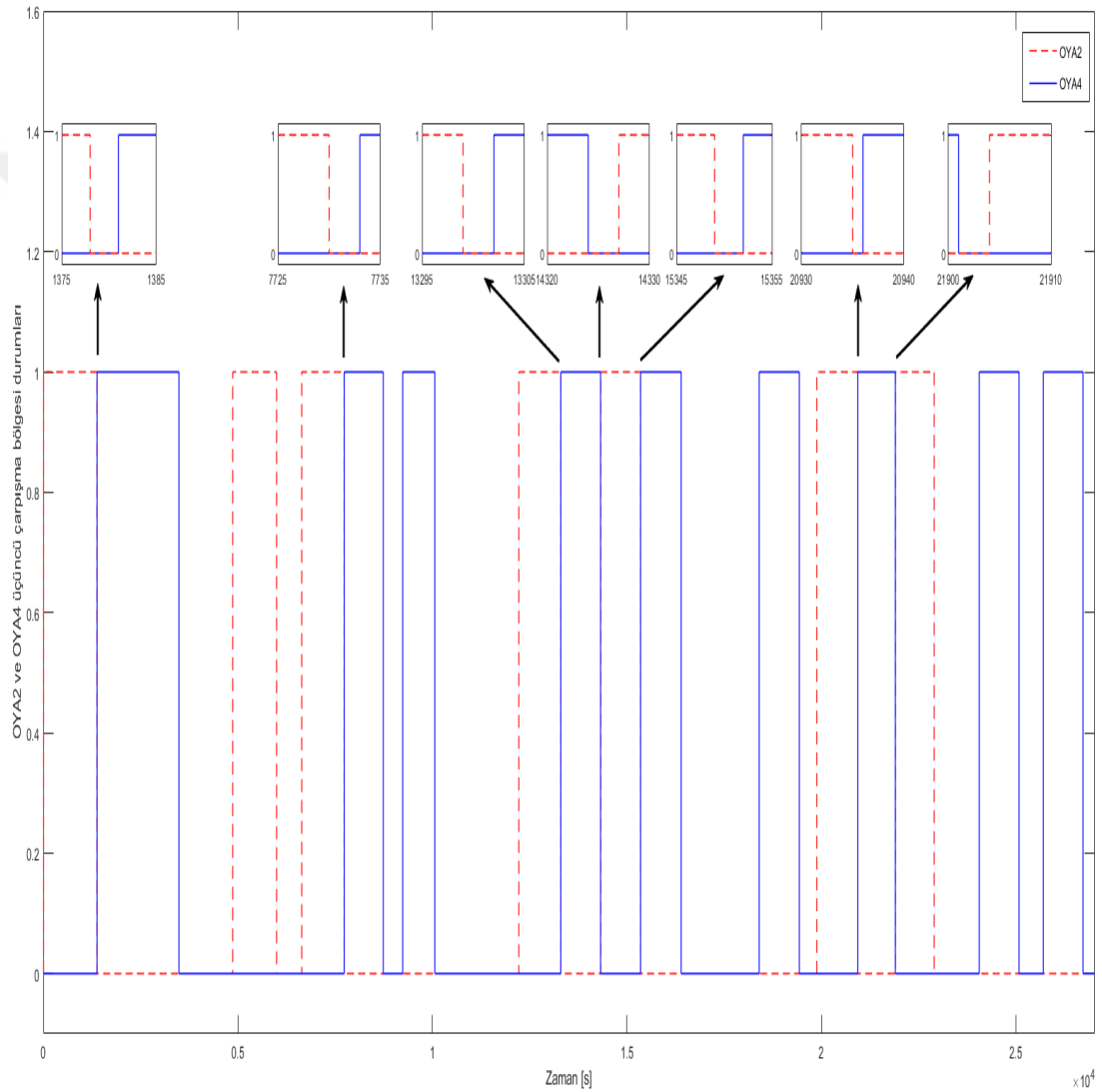
Beş adet araç içeren ve dört çarpışma bölgesine sahip sistemde, OYA2 ve OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları Şekil 5.10'da görülmektedir. Şekil 5.10'daki grafik incelendiğinde, üç adet araç içeren ve dört adet araç içeren sistemlerde olduğu gibi, OYA2 ve OYA3'ün çalışma boyunca aynı anda ikinci çarpışma bölgesinde bulunmadığı görülmektedir. Her iki aracın da ikinci çarpışma bölgesinde herhangi bir çarpışma olmadan kendi rotalarında hareketlerini gerçekleştirdiği gözlenmiş ve uygulanan kontrol yönteminin ikinci çarpışma bölgesi için başarılı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.10 : Beş araç içeren sistemde OYA2 ve OYA3'ün ikinci çarpışma bölgesinde bulunma durumları.

Beş adet araç içeren sistemde, OYA5'in üçüncü çarpışma bölgesinde herhangi bir rota çakışması olmadığı için, bu çarpışma bölgesinde sadece OYA2 ve OYA4'ün bulunma durumları incelenmiştir. OYA5'in üçüncü çarpışma bölgesinde bulunma durumuyla ilgili bir gözlem yapılmasına gerek bulunmamaktadır.

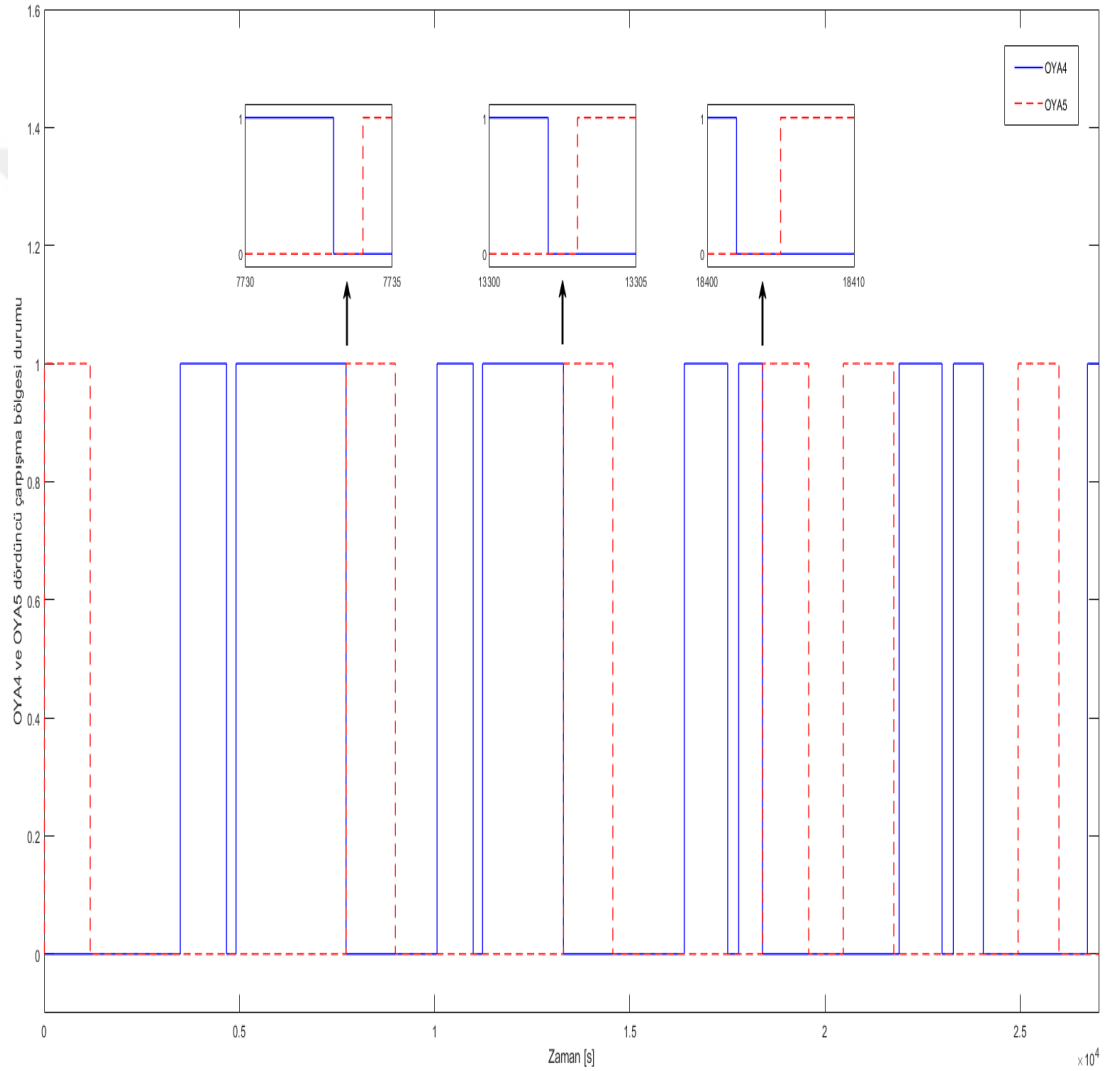
Beş adet OYA içeren ve dört çarpışma bölgesine sahip sistemde, OYA2 ve OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesinde bulunma durumları Şekil 5.11'de görülmektedir. Şekil 5.11'deki grafik incelendiğinde, üç adet araç içeren ve dört adet araç içeren sistemlerde olduğu gibi, OYA2 ve OYA4'ün çalışma boyunca aynı anda üçüncü çarpışma bölgesinde bulunmadığı görülmektedir. Her iki aracın da üçüncü çarpışma bölgesinde herhangi bir çarpışma olmadan kendi rotalarında hareketlerini gerçekleştirdiği gözlenmiş ve uygulanan kontrol yönteminin üçüncü çarpışma bölgesi için başarılı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.11 : Beş araç içeren sistemde OYA2 ve OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesinde bulunma durumları.

Beş adet OYA içeren ve dört çarpışma bölgesine sahip sistemde, OYA4'ün OYA5 ile rotası bir bölgede çakışmaktadır. Bu çalışmada, OYA4'ün OYA5 ile rotasının çakıştığı bölge, dördüncü çarpışma bölgesi olarak adlandırılmıştır. Bu sistemde OYA4 ile

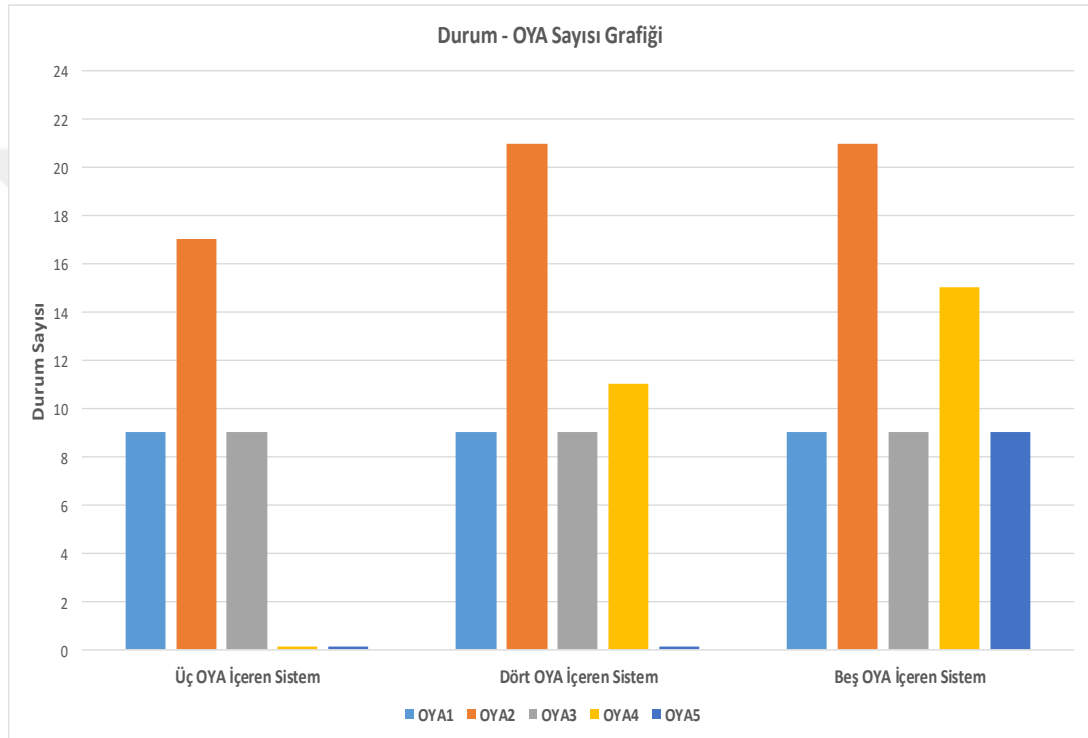
OYA2'nin üçüncü çarpışma bölgesinde ve OYA4 ile OYA5'in dördüncü çarpışma bölgesindeki durumları ele alınmıştır. OYA2 ile OYA4'ün üçüncü çarpışma bölgesindeki durumları Şekil 5.11'de verilmişti. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, OYA4 ile OYA5'in dördüncü çarpışma bölgesinde bulunma durumları Şekil 5.12'de görülmektedir. Şekil 5.12'deki grafik incelendiğinde, OYA4 ve OYA5'in çalışma boyunca aynı anda dördüncü çarpışma bölgesinde bulunmadığı görülmektedir. Her iki araç da dördüncü çarpışma bölgesinde herhangi bir çarpışma yaşamadan kendi rotalarında hareketlerini gerçekleştirmiştir.



Şekil 5.12 : Beş araç içeren sistemde OYA4 ve OYA5'in dördüncü çarpışma bölgesinde bulunma durumları.

Şekil 5.9'da birinci çarpışma bölgesi için, Şekil 5.10'da ikinci çarpışma bölgesi için, Şekil 5.11'de üçüncü çarpışma bölgesi için ve Şekil 5.12'de dördüncü çarpışma bölgesi için görülen sonuçlar, tez çalışması kapsamında beş adet araç içeren sistem için önerilen yöntemi doğrulamıştır.

Tez kapsamında üç araç, dört araç ve beş araçla yapılan çalışmalar sonucunda, her bir araca ait durum ile sistemdeki araç sayısını gösteren grafik, Şekil 5.13’te sunulmuştur. Bu grafik incelendiğinde, araçlar arasındaki çarpışma bölgesi sayısına göre araç durumları değişmektedir. Araç sayısı ve çarpışma bölgesi sayısı arttıkça, ilgili araca ait durum sayısı da artmaya devam edecektir. Üç adet ve dört adet araç içeren sistemlerde OYA2’nin, dört adet ve beş adet araç içeren sistemlerde ise OYA4’ün durumunun artmasının nedeni, bu araçların ortak çarpışma bölgelerindeki araç sayısının artmasıdır.



Şekil 5.13 : Durum ve araç sayısı.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstriyel ortamlarda emniyetli ve verimli üretimin gerçekleştirilmesi için, ürünleri taşıyan araçların kontrolü ve koordinasyonu büyük önem taşır. Bu tez çalışmasında, ortak çalışma bölgelerine ve çakışan rotalara sahip ortamlarda çalışan otomatik yönlendirmeli araçlar arasındaki çarpışmaların önlenmesi ve güvenli taşımacılığın gerçekleştirilmesi için etkili bir modelleme ve kontrol yöntemi önerilmiştir.

Tez kapsamında ilk olarak, tek yönlü ve iki yönlü hareket kabiliyetine sahip iki araç içeren sistemler üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tek çarpışma bölgesine sahip olan bu sistemlerde, araçların görev yaptıkları rotada belirli aralıklarla konumları tespit edilmiş ve kontrol edilecek aracın her bir konumuna karşılık diğer aracın çarpışma bölgesine yakınlık durumuna göre gerçekleştirmesi gereken eylemler belirlenmiştir. Bu sistemlerde, araçların modellemesi için sonlu durum makineleri kullanılmış, araçların konumuna ve çarpışma bölgesine yakınlık durumuna göre durumları ve eylemleri belirlenmiştir. Araçların çarpışma bölgesine aynı anda girmemesi için, her bir araca ait sonlu durum modeline uygun olarak pekiştirmeli öğrenme yöntemlerinden biri olan Q-öğrenme algoritması oluşturulmuştur. Bu algoritmadan elde edilen her bir araca ait Q tablolarıyla, araçların bulunduğu durumlara karşılık gerçekleştirmesi gereken eylemler belirlenmiş ve yapılan benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlarla önerilen yöntem doğrulanmıştır.

Tek çarpışma bölgesine sahip sistemlerde sunulan yaklaşım temel alınarak, çok sayıda araç içeren ve birden fazla çarpışma bölgesine sahip sistemlerdeki çarpışmaların önlenmesi için yeni bir yöntem daha önerilmiştir. Tez kapsamında, üç, dört ve beş adet araç içeren sistemler için yapılan çeşitli çalışmalarda, araçların hareket ettiği önemli konumlar ve bu konumların yakınlarında bulunan araçların hareketleri dikkate alınarak, araçlar için merkezi olmayan modelleme yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem kullanılarak karmaşık sistemlerin modellemesi ve kontrolü daha kolay hale getirilmiştir. Geliştirilen yeni yöntemde de araç modellemeleri için sonlu durum makineleri kullanılırken, çarpışmadan kaçınma için ise yine Q-öğrenme algoritması kullanılmıştır. Önerilen yeni yöntem, çok sayıda araç ve çok sayıda çarpışma bölgesi içeren sistemler üzerinde uygulanan benzetim çalışmalarıyla doğrulanarak, modelleme alanında literatüre katkı sağlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen modelleme ve kontrol yöntemleri kullanılarak endüstriyel ortamlarda çalışan OYA'lar herhangi bir çarpışma yaşamadan hareketlerini ve görevlerini güvenli biçimde gerçekleştirebilir. Gelecek dönemlerde çoklu OYA sistemlerindeki çarpışmalarının önlenmesinin yanı sıra dinamik çevre ortamlarında çalışan araçların görev planlamasının yapılması ve değişen şartlara göre rota değişimleri yapılarak verimliliğin artırılması için yeni çalışmaların gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.



KAYNAKLAR

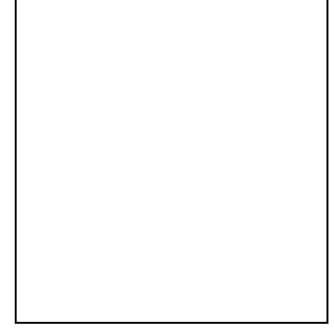
- Cassandras, C. G., & Lafortune, S.** (1999). Discrete event systems: The state of the art and new directions. *Applied and Computational Control, Signals, and Circuits: Volume1*, 1-65.
- Chen, X., Wu, W., & Hu, R.** (2022). A Novel Multi-AGV Coordination Strategy Based on the Combination of Nodes and Grids. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7(3), 6218-6225.
- Chen, X., Xing, Z., Feng, L., Zhang, T., Wu, W., & Hu, R.** (2022). An ETCEN-Based Motion Coordination Strategy Avoiding Active and Passive Deadlocks for Multi-AGV System. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*.
- Choi, H. B., Kim, J. B., Ji, C. H., Ihsan, U., Han, Y. H., Oh, S. W., Kim, K. H., & Pyo, C. S.** (2022, February). Marl-based optimal route control in multi-agv warehouses. In *2022 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC)* (pp. 333-338). IEEE.
- Fanti, M. P.** (2002, October). A deadlock avoidance strategy for AGV systems modelled by coloured Petri nets. In *Sixth International Workshop on Discrete Event Systems, 2002. Proceedings.* (pp. 61-66). IEEE.
- Fanti, M. P., Mangini, A. M., Pedroncelli, G., & Ukovich, W.** (2015, July). Decentralized deadlock-free control for AGV systems. In *2015 American Control Conference (ACC)* (pp. 2414-2419). IEEE.
- Fanti, M. P., Mangini, A. M., Pedroncelli, G., & Ukovich, W.** (2018). A decentralized control strategy for the coordination of AGV systems. *Control Engineering Practice*, 70, 86-97.
- Fanti, M. P., & Zhou, M.** (2004). Deadlock control methods in automated manufacturing systems. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-part A: systems and humans*, 34(1), 5-22.
- Hernández Martínez, E. G., Pérez Sampieri, J. C., & Aranda Bricaire, E.** (2013). Supervisory control of AGV's for flexible manufacturing cells.
- Hu, H., Jia, X., He, Q., Fu, S., & Liu, K.** (2020). Deep reinforcement learning based AGVs real-time scheduling with mixed rule for flexible shop floor in industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106749.
- Hu, H., Yang, X., Xiao, S., & Wang, F.** (2023). Anti-conflict AGV path planning in automated container terminals based on multi-agent reinforcement learning. *International Journal of Production Research*, 1-16.

- Jeon, S. M., Kim, K. H., & Kopfer, H.** (2011). Routing automated guided vehicles in container terminals through the Q-learning technique. *Logistics Research*, 3, 19-27.
- Jestel, C., Surmann, H., Stenzel, J., Urbann, O., & Brehler, M.** (2021, February). Obtaining robust control and navigation policies for multi-robot navigation via deep reinforcement learning. In *2021 7th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)* (pp. 48-54). IEEE.
- Luo, J., Wan, Y., Wu, W., & Li, Z.** (2019). Optimal petri-net controller for avoiding collisions in a class of automated guided vehicle systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(11), 4526-4537.
- Malopolski, W.** (2018). A sustainable and conflict-free operation of AGVs in a square topology. *Computers & Industrial Engineering*, 126, 472-481.
- Manca, S., Fagiolini, A., & Pallottino, L.** (2011). Decentralized coordination system for multiple AGVs in a structured environment. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), 6005-6010.
- Maza, S.** (2023). Hybrid supervisory-based architecture for robust control of Bidirectional AGVs. *Computers in Industry*, 144, 103797.
- Nagayoshi, M., Elderton, S. J., Sakakibara, K., & Tamaki, H.** (2017). Reinforcement Learning Approach for Adaptive Negotiation-Rules Acquisition in AGV Transportation Systems. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 21(5), 948-957.
- Sagar, K. V., & Jerald, J.** (2022). Real-time Automated Guided vehicles scheduling with Markov Decision Process and Double Q-Learning algorithm. *Materials Today: Proceedings*, 64, 279-284.
- Wan, Y., Luo, J., Zhang, Q., Wu, W., Huang, Y., & Zhou, M.** (2018). Controller design for avoiding collisions in automated guided vehicle systems via labeled petri nets. *IFAC-PapersOnLine*, 51(7), 139-144.
- Wonham, W. M., & Cai, K.** (2019). Supervisory control of discrete-event systems.
- Wu, N., & Zhou, M.** (2005). Modeling and deadlock avoidance of automated manufacturing systems with multiple automated guided vehicles. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 35(6), 1193-1202.
- Xue, T., Zeng, P., & Yu, H.** (2018, February). A reinforcement learning method for multi-AGV scheduling in manufacturing. In *2018 IEEE international conference on industrial technology (ICIT)* (pp. 1557-1561). IEEE.
- Zajac, J., & Malopolski, W.** (2021). Structural on-line control policy for collision and deadlock resolution in multi-AGV systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 80-92.
- Zhang, H., Luo, J., Lin, X., Tan, K., & Pan, C.** (2021, December). Dispatching and Path Planning of Automated Guided Vehicles based on Petri Nets and Deep Reinforcement Learning. In *2021 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)* (Vol. 1, pp. 1-6). IEEE.

- Zhang, Z., Chen, J., & Guo, Q.** (2023). Application of Automated Guided Vehicles in Smart Automated Warehouse Systems: A Survey. *CMES-COMPUTER MODELING IN ENGINEERING & SCIENCES*, 134(3), 1529-1563.
- Zhou, P., Lin, L., & Kim, K. H.** (2021). Anisotropic Q-learning and waiting estimation based real-time routing for automated guided vehicles at container terminals. *Journal of Heuristics*, 1-22.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Mustafa ÇOBAN

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2018, Bursa Teknik Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Araştırma Görevlisi: Bursa Teknik Üniversitesi (2016-2023)
- Sistem Mühendisi: Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (2023-Halen)

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Çoban, M., & Gelen, G.** A Decentralised Collision Avoidance Method Based on Q-learning for Multi-AGV Systems. *Transactions of FAMENA*.
- **Çoban, M., & Gelen, G.** A New Collision Avoidance Approach for Automated Guided Vehicle Systems Based on Finite State Machines. *Journal of Innovative Science and Engineering (JISE)*.

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Çoban, M., Kaymakçı, Ö. T., & Gelen, G.** (2019, October). Reliability analysis of assembly processes performed by human-robot interaction. In *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-8). IEEE.
- **Çoban, M., & Gelen, G.** (2018, October). Realization of human-robot collaboration in hybrid assembly systems by using wearable technology. In *2018 6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT)* (pp. 1-6). IEEE.

- **Çoban, M., & Gelen, G.** (2018, September). Wireless teleoperation of an industrial robot by using myo arm band. In *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)* (pp. 1-6). IEEE.

