

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇLARDA
YÖRÜNGE KONTROLÜ**

ÖZGÜR AYDIN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Asaf VAROL
ŞUBAT-2012**

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇLARDA
YÖRÜNGE KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÖZGÜR AYDIN
(092131107)**

**Anabilim Dalı: Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi
Programı: Bilgisayar Sistemleri**

Danışman: Prof. Dr. Asaf VAROL

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: ...// 2012
..... - 2012**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇLARDA YÖRÜNGE KONTROLÜ

ÖZGÜR AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK ve BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 17.02.2012 tarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından **oybirliği** ile **başarılı** olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Asaf VAROL

Üye: Yrd. Doç. Dr. Davut HANBAY

Üye: Yrd. Doç. Dr. Murat KARABATAK

Bu tezin kabulü fen bilimleri enstitüsü yönetim kurulunun /.... /2012 tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖNSÖZ

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme, eğitim-öğretim hayatım boyunca bana katkıda bulunmuş değerli hocalarıma, tez çalışması esnasında bilgilerini hiç çekinmeden paylaşan değerli meslektaşım Sayın Abdullah BAŞCI'ya, bu çalışmanın hazırlanmasında her türlü desteği sağlayarak bana yardımcı olan hocam Sayın Prof. Dr. Asaf VAROL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında sabır ve anlayışı ile hep yanımda olan, istemeyerek ihmal etmek zorunda kaldığım, eşim ve oğluma anlayış ve desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamı, oğlum Furkan'a ithaf ediyorum.

Özgür AYDIN
ELAZIĞ – 2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ONAY SAYFASI.....	I
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bakış	1
1.2. Literatür Araştırması	3
1.3. Tezin Amacı	5
1.4. Tezin Yapısı	5
2. OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR	7
2.1. Otomatik Yönlendirmeli Araçlar ve Tipleri.....	7
2.2. Otomatik Yönlendirmeli Araç GÜDÜM Sistemleri.....	8
2.2.1. Hat güdüm sistemi.....	9
2.2.2. Optik güdüm sistemi	10
2.2.3. Lazer güdüm sistemi	11
2.2.4. Jiroskop güdüm sistemi	12
2.2.5. Yol hesabı güdüm sistemi	12
2.2.6. Güdüm sistemleri karşılaştırması	13
3. OYA KİNEMATİK MODELİ	14
4. DC MOTORLAR.....	17
4.1. DC Motor Çeşitleri.....	17
4.1.1. Fırçalı DC motor	18
4.1.2. Fırçasız DC motor	18
4.1.3. Adım(Step) DC motor	18
4.2. DC Motorun Elektrik ve Mekanik Modeli ile Dinamik Denklemleri	19
5. KONTROL (DENETİM) SİSTEMLERİ	21
5.1. Kontrol Sistemleri Kavramları	21
5.1.2. Kontrol sistemi türleri	22
5.1.2.1. Açık çevrim kontrol sistemleri	22
5.1.2.2. Kapalı çevrim kontrol sistemleri	23
5.1.3. Kontrol sistemlerinde kullanılan denetim organları	27
5.1.3.1. Orantı kontrol etkisi (P Kontrol)	28
5.1.3.2. Orantı-Integral kontrol etkisi (PI Kontrol)	29
5.1.3.3. Orantı-Türev kontrol etkisi (PD Kontrol)	30

5.1.3.4.	Orantı-Integral-Türev kontrol etkisi (PID Kontrol)	32
6.	OYA UYGULAMA	36
6.1.	Simulink Ortamında OYA.....	36
6.1.1.	DC motor modellemesi	36
6.1.2.	PI modellemesi	38
6.1.3.	Modellemelerin birleştirilmesi	38
6.1.4.	Simulink grafik sonuçları	40
6.2.	Editör Ortamında OYA	43
6.2.1.	Programın denetimi	43
6.2.2.	Editör grafik sonuçları.....	43
7.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	46
	KAYNAKLAR.....	48
	ÖZGEÇMİŞ.....	

ÖZET

OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇLARDA YÖRÜNGE KONTROLÜ

Teknolojik faaliyetlerin günden güne gelişmesiyle birlikte tüm sektörlerde maliyeti düşürme, üretim kapasitesi ve iş hacmini arttırmaya yönelik çalışmalar artarken, insan etkisinin ve güvenlik zafiyetlerinin en aza indirgenmesine yönelik çalışmalar da hız kazanmıştır. Tüm bu gelişmeler ve beklentiler neticesinde iş akışı ve denetimini otomatikleştirme isteği insansız araçlar olan otomatik yönlendirmeli araçlardaki(OYA) çalışmaların ön plana çıkmasını sağlamıştır.

OYA'ların çeşitli sektörlerde kullanılması sebebiyle tipleri ve özellikleri değişmekte bu nedenle karşılaşılan problemler de farklılıklar göstermektedir. Genel olarak sıralanabilecek problemler, tasarım, işletme ve denetim problemleridir. Tasarım ve işletim problemleri genel olarak işe özeldir ancak denetim problemleri daha geneldir. Bu nedenle OYA denetimleri üzerinde yapılan çalışmalar büyük önem kazanmaktadır.

Bu tez çalışmasında otomatik yönlendirmeli araçlar için Matlab ortamında yörünge kontrolü gerçekleştirilmiştir. Çalışma hem Simulink hem de editör ortamı olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar grafikler ile gösterilmiştir.

Çalışma sonucunda kullanılan kontrolörler ile aracın verilen referans yörüngeyi küçük hatalar ile takip ettiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Otomatik yönlendirmeli araç, OYA çeşitleri, OYA denetimi, PI kontrol, OYA kinematik

SUMMARY

ORBIT CONTROL IN AUTOMATED GUIDED VEHICLES

While technologic operations develop day by day, demands such as cost reduction and studies concerning increase in production capacity and work volume throughout the sectors are on the rise, along with studies aiming to reduce human interaction and security vulnerabilities. As a result of all these developments and expectations, the automation demand throughout work flow and control has made studies related to unmanned automated guided vehicles (AGVs) well-known.

Due to the fact that AGVs are used in various business sectors, their type and their specifications are changing, and therefore the problems occurring are different in nature. Generally, the problems faced can be summarized as design related, operational and control problems. Design related and operational problems are generally job/business specific while control problems are more general. Therefore, studies regarding the control of AGVs gain more importance.

In this thesis study orbit control was performed in the Matlab environment for automated guided vehicles. The study has been performed in both the simulink and editor environment and the results obtained are shown in graphics.

At the end of the study, it was concluded that the vehicle follows the reference orbit with minor mistakes.

Keywords: Automated guided vehicle, AGV types, AGV control, PI control, AGV kinematics

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.	OYA üretim endüstrisi kullanım alanı örnekleri	2
Şekil 2.	Denetim sisteminin yapısı.....	7
Şekil 3.	Limanlarda kullanılan konveyör OYA	8
Şekil 4.	Forklift OYA	8
Şekil 5.	Hat manyetik alanı ve yönlendirme anteni	9
Şekil 6.	Lazer güdümlü sistem	11
Şekil 7.	Yol hesabı güdüm sistemi-encoder kullanımı.....	12
Şekil 8.	Üç tekerlekli otomatik yönlendirmeli araç sistem modeli	15
Şekil 9.	Fırçalı DC motor kesit görünümü	18
Şekil 10.	Fırçasız DC motor görünümü	18
Şekil 11.	Step motor iç görünümü.....	19
Şekil 12.	DC motorun elektrik ve mekanik modeli.....	19
Şekil 13.	Basit bir kontrol sisteminin blok diyagramı.....	22
Şekil 14.	Açık çevrim denetim sistemi blok diyagramı	23
Şekil 15.	Kapalı çevrim denetim sistemi yapısı	24
Şekil 16.	Geri besleme sistemi özelliklerini saptamak için blok diyagramı	24
Şekil 17.	Lineer kontrol sisteminin birim basamak cevabı	26
Şekil 18.	Orantı kontrol sistem blok diyagramı	28
Şekil 19.	PI kontrol blok diyagramı	29
Şekil 20.	Farklı T_i değerleri için PI kontrol çıkış grafiği	30
Şekil 21.	PD kontrol blok diyagramı.....	31
Şekil 22.	Farklı T_d değerleri için PD kontrol çıkış grafiği	32
Şekil 23.	PID denetleyicinin yapısı kontrolü	32
Şekil 24.	Kontrolörlerin çeşitli parametre değerleri ile karşılaştırılması	34
Şekil 25.	Simulink ortamında boş çalışma alanı	36
Şekil 26.	DC motor modellemesi	37
Şekil 27.	Başlangıç değerleri.....	37
Şekil 28.	PI kontrol modellemesi	38
Şekil 29.	OYA modellemesi	39
Şekil 30.	Yörüngelerin çizdirileceği blok diyagramı	39
Şekil 31.	Uygulamanın modellemesi	40
Şekil 32.	Araç gövde açısı kontrolü	41
Şekil 33.	Araç gövde hız kontrolü.....	42
Şekil 34.	Araç gerçek ve referans yörünge kontrolü.....	42
Şekil 35.	Gerçek & takip edilen yol	44
Şekil 36.	Sağ ve sol tekerlek açısal hız değişimi	44
Şekil 37.	Hata oranı	45

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Güdüm sistemleri karşılaştırması.....	13
Tablo 2. Motor Terimleri	17
Tablo 3. Motor Parçaları	17

SEMBOL ve KISALTMALAR LİSTESİ

KISALTMALAR

OYA	: Otomatik yönlendirmeli araç
RF	: Radyo frekans
DC	: Doğru akım
PD	: Oransal türev
PI	: Oransal integral
PID	: Orantı integral türev
CACSD	: Bilgisayar destekli denetim sistemi tasarımı

SEMBOLLER LİSTESİ

$b(t)$	: Geri besleme işareti
B_m	: Sürtünme momenti katsayısı [Nms]
$c(t)$	: Çıkış işareti
G	: Kontrol edilen sistem
H	: Geri besleme elemanı
K	: Kontrol elemanı
K_d	: Türev kazancı
K_i	: İntegral kazancı
K_p	: Orantı kazancı
J_m	: Atalet momenti katsayısı [kgm^2]
L	: İki tekerlek arası mesafe [m]
L_m	: Motor Endüktansı [H]
r	: Tekerlek yarıçapı [m]
M_p	: Maksimum aşma
$r(t)$	: Giriş işareti
R_m	: Motor iç direnci [Ω]
T_m	: Motor momenti [Nm]
T_d	: Türev zaman sabiti
t_g	: Gecikme zamanı
T_i	: İntegral zaman sabiti
t_o	: Oturma zamanı
t_t	: Tepe zamanı
t_y	: Yükselme zamanı
$u(t)$	: Kontrol işareti
v	: Araç gövde hızı [m/sn]
v_L	: Sol teker doğrusal hızı [m/sn]
v_R	: Sağ teker doğrusal hızı [m/sn]
v_r	: Referans hız [m/sn]
v_x	: X doğrultusundaki hız [m/sn]
v_y	: Y doğrultusundaki hız [m/sn]
ω_R	: Sağ tekerleğin açısal hızı [rad/sn]

ω_L	: Sol tekerleğin açısal hızı $[rad/sn]$
ω_q	: Referans açısal hız $[rad/sn]$
ω_R	: Sağ teker açısal hızı $[rad/sn]$
ω_L	: Sol teker açısal hızı $[rad/sn]$
φ	: Aracın x eksenine ile yaptığı açı $[rad]$
φ_r	: Referans açı $[rad]$

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bakış

Sanayi ve endüstri kuruluşlarının devamlılığını sağlayabilmesi yatırım yaptıkları iş sahasının gelir sağlaması ile mümkündür. Bu nedenle kuruluşların teknolojik gelişmeleri yakından takip etmeleri ve gelişmelere bağlı olarak iş sahalarını optimize etmeleri gerekmektedir. Endüstrideki yüksek verim, kaynakların optimum düzeyde kullanılmaları ile mümkündür. Özellikle seri imalat yapan endüstrilerde elde edilecek ürün için harcanacak zaman ve üretim sırasında açığa çıkacak olan kayıp malzeme en aza indirgenmek istenmektedir. Bu bağlamda bazı bileşenlerin üretim içerisindeki hatalarını en aza indirmek amaçlanabilmekte, hatta üretim faaliyetlerine dâhil edilmemesi istenebilmektedir. İnsan gücü ve etkinlikleri diyebileceğimiz bu bileşenler, güvenlik zafiyetlerini de beraberlerinde getirdiklerinden dolayı günümüz teknolojisinde üretim alanı içerisinde tercih edilmeyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu amaçla kuruluşlar, üretim sahası içerisindeki iş akışını ve denetimini otomatikleştirebilmek için insansız araçlar olan otomatik yönlendirmeli araçlara (OYA) ilgi göstermeye başlamıştır.

OYA, çevrimiçi veya çevrimdışı olarak belirlenen bir yörüngeyi takip ederek, tasarım ve işletim amacına ve üzerindeki özelliklere bağlı olarak farklı işlerde kullanılabilen insansız araçlardır. Bu araçlar tamamen bilgisayar denetimli olup sürücüye ihtiyaç duymazlar. Bir yörünge üzerinde bir yerden başka bir yere malzeme taşınmasında, yüklenmesinde kullanılabilirler.

OYA kullanmanın önemli faydaları şöyle sıralanabilir:

- a) Pek çok yük taşıma sistemi içerisinde OYA en ekonomik olanıdır. Kısa bir sürede kendi maliyetlerini amorti ederler.
- b) OYA'lar diğer taşıma sistemlerinin konveyör, üretim bantları, otomatik yükleme/boşaltma birimleri, asansör ve kapı gibi alt birimleriyle etkileşimli olarak çalışabilecek şekilde tasarlanabilirler.
- c) Bilgisayarlı denetim sayesinde istasyonlar arasında mal takibine ve tesliminin gerçek zamanda doğrulanmasına imkân tanır.

- d) Sürücüsüz araç kullanıldığından dolayı iş gücü gereksinimini azaltırken, karmaşık mal takibi işlemlerini ortadan kaldırdığı için de hızı ve verimliliği artırır.
- e) Fabrika içerisinde üretim sahasının değişmesi ve taşınan ürünün boyutlarının artması gerekebilir. Bu durumlarda OYA'ların yörüngesi ve kapasitesi düşük maliyetlerle kolayca değiştirilebilir ve yeni yükleme/boşaltma noktaları tanımlanabilir.
- f) Limitsiz yükleme ve boşaltma noktası oluşturulabilir.
- g) Yapılan çalışmalar neticesinde OYA'lı yük taşıma sistemlerinde ürün ve teçhizat tahribatı daha az olmaktadır.
- h) Bir fabrikanın yük taşıma sistemi bir çok OYA'dan oluşabilir. Bir OYA'nın bakımı gerçekleştirilirken diğerleri bundan etkilenmezler, dolayısıyla sistem üretim kapasitesinde bir düşme olmaz.
- i) Gürültülü değildirler ve işletilmesi için fazla enerjiye ihtiyaç yoktur.
- j) Mevcut bir yapıya, çalışmakta olan sistemi çok fazla engellemeden kolayca entegre edilebilirler [1].

OYA sistemleri, lazer, manyetik bant, mıknatıs, yer altı kablosu ve son zamanlarda hızla gelişen GPS teknolojisi gibi yöntemler ile yönlendirilebilen operatörsüz (insansız) taşıma araçlarından, yükleme, boşaltma istasyonlarından ve merkezi yönetim birimlerinden oluşan oldukça esnek sistemlerdir. Günlük hayatta birçok alanda karşımıza çıkan OYA sistemleri, üretim endüstrisi, yük taşıma, gezegen keşifleri, gözetleme ve askeri operasyon uygulamaları gibi alanlarda kullanılmaktadır (Şekil 1.1).



a



b

Şekil 1.1. OYA üretim endüstrisi kullanım alanı örnekleri

a) Çizgi takibi b) Hat takibi

OYA ilk olarak 1953 yılında A. M. Barret tarafından bir depodaki malzemeleri taşımak amacıyla kullanılmıştır. İlk ticari amaçlı OYA olan bu sistemde bir çekici araç tavana döşenmiş hatlar aracılığıyla yönlendirilmiştir.

Günümüzde kullanılan OYA'lara en yakın ilk model ise 1973 yılında Volvo firması tarafından kullanılmıştır. Volvo firması araç gövdelerini montaj hatları ile taşıyacak sistemi geliştirerek iş yükünü azaltmış ve üretim kapasitesini arttırmıştır. Sistemin çok etkin bir şekilde kullanılmasından dolayı diğer otomobil firmaları da bu sistemi Volvo firmasından satın alarak kullanmaya başlamıştır.

İlerleyen yıllarda fabrika zeminlerine döşenen hatlar üzerinden elektrik akımı taşınarak tek hatlı yönlendirme sistemleri kullanıldı. 90'lı yıllara doğru sensör teknolojilerindeki gelişmeleri takiben lazer yönlendirme sistemleri, 1991 yılında jiroskoplu yönlendirme sistemleri, 1992' de ise kablosuz yönlendirme sistemleri kullanıldı.

OYA'ların çeşitli sektörlerde kullanılması sebebiyle tipleri ve özellikleri değişmekte, bu nedenle karşılaşılan problemlerde farklılıklar göstermektedir. Genel olarak sıralanabilecek problemler tasarım, işletme ve denetim problemleridir. Tasarım ve işletim problemleri işe özeldir, fakat denetim problemleri daha geneldir. OYA denetimleri üzerinde yapılan çalışmalar büyük önem kazanmaktadır.

1.2.Literatür Araştırması

1992 yılında, birbirini takip eden OYA'lar arasındaki açısal farkı bulmak amacıyla akustik sensörlerin kullanımı incelenmiş [2], OYA'nın yön ve yol geometrisini doğru olarak belirleyen bir uzman sistem veri tabanı ile ileri beslemeleri denetim şeması üzerine çalışmalar yapılmıştır [3].

1994 yılında, fabrika ortamlarındaki iş bekleme süresini azaltmak, trafik kontrolünü iyileştirmek amacıyla, yük ve benzeri nesnelerin OYA'lar ile aktarımında yapay sinir ağları modellemesi kullanılmıştır [4].

1995 yılında, yolun kavis ve engel durumlarını algılayan görüş sistemleri kullanılmış, OYA'ların yönlendirilmesi ve hız kontrolü üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir [5].

1996 yılında, yön belirleme hatalarının ölçülemediği durumlarda konum bilgisine göre optik algılayıcı dizisi ile kararlı bir denetleyici oluşturulmuştur [6].

2001 yılında, Petri NET metodu kullanılarak OYA sistemlerinde ortaya çıkan uyuşmazlık (conflict) ve tıkanıklıklar (deadlock) ele alınmıştır [7].

2002 yılında, genişletilmiş kalman filtresi kullanılarak, dış ortamlarda çalışan OYA' ların çeşitli çevre şartlarındaki konumlandırma ve denetleme sorunları ile ilgili olarak farklı sensörlerden gelen bilgiler birleştirilmiş, konum ve hız tahmini üzerine çalışmışlar yapılmıştır [8].

2002 yılında, kızılötesi sinyallerin kullanımı incelenmiştir [9]. Farklı bir çalışmada ise Bulanık denetim şeması kullanılarak OYA' lar için, hız ve yönlendirme kontrolü gerçekleştirilmiştir [10].

2003 yılında, limanlarda kullanılmak üzere ana bilgisayara bağlı bir yönlendirme sistemi geliştirilmiştir. Bu çalışma için genişletilmiş kalman filtresi kullanılmış ve ± 1 cm'lik hata payı ile başarılı bir çalışma gerçekleştirilmiştir [11].

2004 yılında, hücre aracılı bağışıklık algoritması kullanılmış, limanlarda kullanılan OYA' lar için otomatik yönlendirme denetimi yapılmıştır [12]. Diğer bir çalışmada ise, OYA' lardaki görüş sistemlerine ek olarak sensörler kullanılmış, sensörler ve görüş sistemindeki bilgiler birleştirilerek yolun takibi ve zorluk derecesi hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bulanık mantık denetleyicisi ile yolun devamı hakkında tahminlerde bulunulmuştur [13].

2005 yılında, tek giriş tek çıkış iterativi kullanılarak OYA denetimi yapılmıştır [14].

2006 yılında, GPS (Global Positioning System) teknolojisi kullanılarak OYA' nın yörünge takibi performansı incelenmiştir [15].

2008 yılında, OYA' lardaki pozisyon hataları incelenmiş, bulanık mantık denetleyicisi ile araç kinematik denklemleri ve yörünge hataları analizi gerçekleştirilmiştir [16]. Diğer bir çalışmada ise, yol planlama için farklı bir bakış açısı getirilmiştir. Aynı yörünge üzerindeki OYA' ların birbirleri ile haberleşmesi sağlanmıştır. Her bir OYA' nın yörünge üzerinde

karşılaştığı engel, en iyi rotayı elde edebilmek amacıyla kayıt altına alınmış ve bu kayıtlı bilgiler kullanılarak yönlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir [17].

2008 yılında, bir OYA sisteminin ön tarafına kamera yerleştirilerek OYA'nın yoldaki işaret çizgilerini takip etmesi sağlanmıştır [18].

1.3. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, Matlab Simulink ortamında, otomatik yönlendirmeli bir aracın yörünge kontrolünü gerçekleştirmektir.

Çalışmada iki farklı yörünge kriteri uygulanmıştır. İlk çalışma, Simulink ortamında gerçekleştirilmiş ve OYA'ya ait blok diyagramları oluşturulmuştur. Aracın yörüngesi için gerilim ve araç açısı verilerek PI denetimi ile aracın kontrolü gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan mobil aracın birbirinden bağımsız iki adet DC Motor kullanılarak hareketi sağlanmış olup, kullanılan DC motorlar farklı devir ve yönlerde dönerek araç yön açısını belirlemektedir. DC Motora, giriş işareti olarak gerilim verilmiş olup, motor rotor açısal hızları kullanılarak aracın gövde açısı ve hızı hesaplanmaktadır.

İkinci çalışmada ise, bir M-File dosyası içerisinde OYA dinamik denklemleri için komutlar oluşturulmuş, araca bir fonksiyonel yörünge verilmiştir. Aracın takip edeceği referans yörünge ile takip ettiği yörünge grafik yardımıyla gösterilmiştir. Bu çalışmada ise PD denetimi kullanılmıştır.

1.4. Tezin Yapısı

Tezin ikinci bölümünde; OYA sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiş, güdüm sistemleri tanıtılmış ve bir OYA sisteminin hangi özelliklere sahip olması gerektiği noktasında açıklamalar yapılarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Üçüncü bölümde; tekerlekli robot modellemelerinde kullanılan sınırlandırmalar ve kabullere değinilmiş, OYA sisteminin kinematik denklemlerine yer verilerek bu denklemler açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde; OYA'nın kontrolü için kullanılacak olan denetim sistemlerine değinilmiş ve matematiksel denklemlerine yer verilmiştir.

Beşinci bölümde; DC motorlar hakkında genel bilgiler verilerek, DC motor terimleri açıklanmıştır. DC motora ait elektriksel ve mekanik model gösterilerek, denklemleri nasıl elde edildiği anlatılmıştır.

Altıncı bölümde; Matlab simulink çalışması anlatılmış ve sonuçların grafiksel gösterimine yer verilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

Son bölümde ise elde edilen bilgiler ve simülasyon sonuçları genel olarak değerlendirilmiştir.

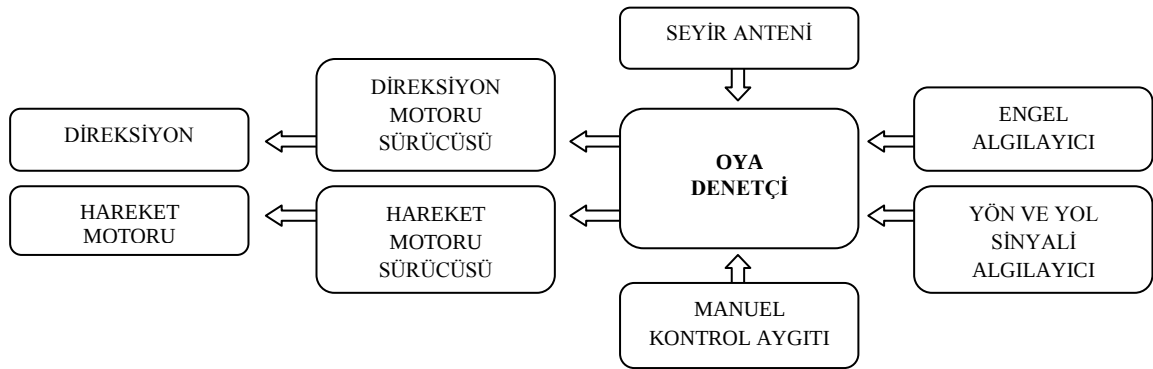
2. OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇLAR

2.1. Otomatik Yönlendirmeli Araçlar ve Tipleri

OYA sistemlerine bakıldığında denetim, algılayıcılar ve RF modem olarak üç bölümden oluşurlar. Denetleyici, verileri toplayarak, aracın yönünü, yörüngesini ve hızını ayarlayıcı konumundadır. Bu kararları verebilmesi için güdüm sistemleri ve algılayıcılardan çeşitli bilgiler alır.

Algılayıcılar ise çevre parametrelerinin ölçülmesinde kullanılan elemanlardır. Örneğin, aracın hız ve konum bilgisini ölçmek için kodlayıcı, akü sıcaklığını ölçmek için sıcaklık, engel algılamasında yaklaşım algılayıcıları kullanılabilir.

RF modemler ise çeşitli noktalardaki OYA'ları tek bir yönetici bilgisayardan yönetmek ve yönlendirebilmek amacıyla kullanılan sistemlerdir. RF modemler kullanılmadan önce bu işlemler tek bir hat üzerinden gerçekleştirilebilmekteydi ve bu sistemler esnek olmayan sınırlı bir yapıya sahiptirler. RF modemler ile gerçekleştirilen OYA'ların denetim sistemi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Denetim sisteminin yapısı [19]

Yapılacak işin niteliğine, işlev ve kapasitesine göre OYA'lar farklılık gösterebilir. Bu çeşitlendirmeler sektörlerdeki farklılıklardan dolayı ortaya çıkmaktadır. OYA'lar forklift (Şekil 2.3), birim yük, konveyör (Şekil 2.2), çekici OYA gibi çeşitlere ayrılabilirler [20].



Şekil 2.2. Limanlarda kullanılan konveyör OYA



Şekil 2.3. Forklift OYA

2.2. Otomatik Yönlendirmeli Araç Güdüm Sistemleri

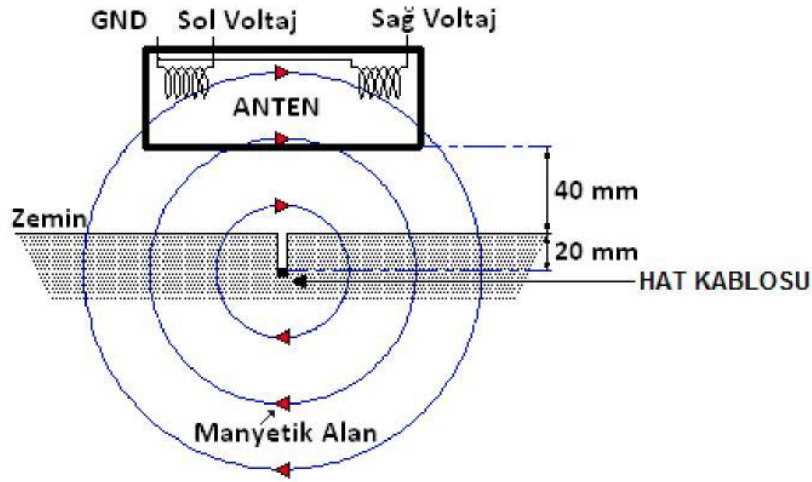
Güdüm sistemi, füze, roket, uydu veya benzeri bir aracın bulunduğu bir konumdan ayrılarak, hedeflenen noktaya giderken hangi yörüngeyi takip edeceğini belirten elektromanyetik aygıt veya aygıtlara verilen isimdir.

Üç ana görev grubundan oluşan güdüm sistemleri girdi, işlem ve çıktı parametrelerini gerçekleştirmektedir. Ham veri girişi modüllerinden oluşan girdi grubunda dış ortamdan bilgiler alınmaktadır. Bu işlemler için algılayıcılar kullanılmaktadır. Dış ortamdan elde edilen bu ham veri işlemci grubunda elektronik regülasyon, manipülasyon ve destek ünitelerinde işlendikten sonra belirli algoritmalara göre derlenerek çıktı grubuna gönderilmektedir. Çıktı grubu ise gelen bu verilere veya komutlara göre güdümlenen aracın yönünü bulmasını sağlamaktadır [21].

Güdüm sistemlerinin en güvenilir olanları üretim sahasının değişmesine veya genişlemesine karşın esnek değildirler. Güvenirlikleri düşük olan gruplar ise esnek bir yapıya sahiptir. Bu türdeki güdüm sistemleri üretim sahası ve yörüngedeki değişikliklere kolayca uyarlanabilirler.

2.2.1. Hat güdüm sistemi

Hat güdüm sistemi ilk OYA'lardan bu yana en çok tercih edilen ve en güvenilen sistem olmasına rağmen esnek bir yapıya sahip değildirler. Bu güdüm sisteminde, önceden belirlenmiş bir kanal içerisinde elektrik akımını taşıyan hat gömülür. Aracın kontrolü yönetici bir bilgisayardan gelen RF sinyalleri tarafından sağlanabileceği gibi, hat üzerinde oluşan elektromanyetik alan ile de gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 2.4. Hat manyetik alanı ve yönlendirme anteni

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi bir hat kablosu içerisinde manyetik alan oluşturan alternatif akım taşınır. Hat kablosu merkez kabul edildiğinde manyetik alanın algılanması için, aracın sağında ve solunda kalacak şekilde iki bobin yerleştirilir. OYA, tam olarak hat üzerinde ise bobinler üzerine düşen gerilim eşit olacağından, kontrol sinyali sıfır olur ve araç mevcut ilerlemesini sürdürür. Ancak bobinler üzerindeki gerilim farklı ise yörünge üzerinde bir sapma durumu söz konusudur. Bu gibi durumda iki bobin arasındaki hata sinyali fark alınarak bulunur. Sinyalin büyüklüğüne göre sapma miktarı, hata sinyalinin işaretine bakılarak ise sapmanın yönü belirlenir. Elde edilen bu bilgiler aynı zamanda kontrol sinyalidir ve OYA üzerindeki motor sürücüsünün yönlendirme işleminde kullanılmaktadır.

Diğer husus ise hat OYA tarafından düzgün takip edilse bile konumunu, nerede duracağını, nereden döneceğini bilmesi gerekir. Bu nedenle kritik noktalarda aracın ihtiyaç duyacağı

bilgileri öğrenebilmesi amacıyla hat üzerinde yörüngeyi dik kesecek şekilde yerleştirilmiş çapraz antenler kullanılmaktadır. Bu antenler yardımıyla yönetici bilgisayar ve OYA iletişim kurar, yörünge üzerindeki ilerlemesini gerçekleştirir.

Sistemin esnek olmayışı, kurulum maliyetlerinin yüksek olması, yörüngede herhangi bir değişim söz konusu olduğunda veya hattın herhangi bir noktasında bir problem meydana geldiğinde yeniden sökölüp-döşenmesi gerekliliği, yörüngeyi takip edileceği ortamın düz olması gibi dezavantajları bulunmasına karşın diğer birçok güdüm sistemine nazaran daha güvenilirdir. Optik sistemlere göre daha kirli ortamlarda çalışabilmesi aynı zamanda hat üzerindeki sinyalin kesilmesi durumunda aracın güvenlik açısından durması gibi avantajlara sahiptir. Bu nedenle günümüzde bile OYA güdüm sistemleri içerisinde en çok tercih edilen ve en güvenilir sistem özelliğini korumaktadır [22].

2.2.2. Optik güdüm sistemi

Yere yapıştırılmış reflektörlerden yansıyan ışık beneklerini ve zemine boya veya kimyasal maddelerle çizilen yolları takip ederek yörüngesini gerçekleştiren güdüm sistemleridir.

Kimyasal madde kullanılarak oluşturulan güdüm sisteminde aracın takip edeceği yörüngeyi araca ifade edebilmek için zemine boya veya fosforlu kimyasal partiküller ile bir hat çizilir. Araç altında bulunan sensörler aracılığı ile hat üzerinden yansıyan ışık algılanır. Bu bilgiler OYA'ya konumu hakkında bilgi edinmesini sağlar. OYA gelen bu verileri kullanarak dön, yavaşla ve dur gibi komutları gerçekleştirir.

İkinci tip optik güdüm sisteminde ise aracın altına monte edilen bir halojen lambanın zemine değişik şekillerde yerleştirilmiş cam ve benzeri parçalardan yansıyan ışık açısına göre yönünü belirlemesi mantığı ile çalışmaktadır. Zeminden yansıyan ışığın şekline göre sağa dön, sola dön veya dur gibi komutlar OYA üzerinde bulunan sensörler aracılığı ile algılanır ve icra edilir.

Maliyetinin düşük olması, üretim sahasının değişmesine kolayca uyarlanabilmesi ve hat üzerinden problem çıkan veya aksaklık gösteren bölümlerin rahatlıkla düzeltilebilmesi gibi

avantajları vardır. Ancak, iş yoğunluğuna bağlı olarak sıklıkla cam parçalarında aşınma ve boyaların netliğini korumaması durumu söz konusudur. Ayrıca bu güdüm sistemlerinde zeminin sürekli olarak temiz tutulması gerekmektedir [22].

2.2.3. Lazer güdüm sistemi

Hat güdümlü ve optik sistemlerden farklı olan Lazer güdüm sistemlerinde yansıtıcı noktalar zemin yerine duvara monte edilmektedir (Şekil 2.5). Bu yansıtıcı noktalar, araç üzerinde bulunan lazer tarayıcılar tarafından algılanarak Oya'nın tam konumu hesaplanabilir. Aracın konumunun doğru tespit edilebilmesi amacıyla duvarlara karşılıklı biçimde iki veya üç yansıtıcı hedef yerleştirilir. OYA üzerinde bulunan lazer tarayıcılar tarafından, yansıtıcı noktalar ile araç arasındaki uzaklık ve yansıyan ışığın açıları ölçülür. Bu ölçümlerden aracın x ve y koordinat bilgileri bulunur. Oya üzerinde bulunan işlemci ya da yönetici bilgisayar bu bilgileri kullanarak aracın bir sonraki konumunu ve iş akışını ayarlamaktadır [23].



Şekil 2.5. Lazer güdümlü sistem

Lazer sistemler, daha önce bahsedilen optik ve hat güdümlü sistemlere göre esnek bir yapıya sahiptirler. Yörüngenin değişmesi durumunda, yansıtıcı hedeflerin yerlerini değiştirmek yeterlidir. Ancak bu sistemlerin ilk kurulumu sırasında, yansıtıcı hedeflerin ve özel noktaların sisteme tanıtılması gerekmektedir.

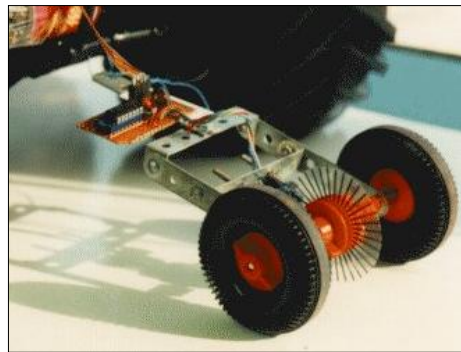
2.2.4. Jiroskop güdüm sistemi

Jiroskop, OYA’larda yn ölçümünde ve ynn ayarlanmasında kullanılan araçlardır. Aracın ivmesi ile jiroskop üzerinde farklı yönlerde oluşan kuvvetler karşılaştırılarak OYA’nın yönü belirlenir. İvmelerin iki kere integrali alınarak düzeltilebilir konum sapması bilgisine ulaşılır [22].

Bu sistemlerin en önemli avantajları esnek ve güvenilirliklerinin yüksek olmasıdır. Fakat mekanik parçalarının zamanla aşınmasından dolayı yönlendirmede küçük hatalar meydana gelebilmektedir. Bu hataları giderebilmek amacıyla bazı yönlendirme araçları yörünge üzerindeki zemine yerleştirilebilir.

2.2.5. Yol hesabı güdüm sistemi

Tekerlekler zerine yerleştirilen kodlayıcılar ile bağlı olduğu şaftın hareketine karşılık tekerleğin dönme açısını ölçerek çalışan sistemlerdir (şekil 2.6). Bu sistemde, referans olarak OYA’nın başlangıç konum bilgisi göz önünde bulundurulur. OYA üzerinde bulunan denetleyici, kodlayıcı tarafından gelen bilgiyi hafızasında kayıtlı bulunan harita ile karşılaştırarak aracın konumu hakkında bilgi sahibi olur. Bu tür yörünge takibi gerçekleştirilen güdüm sistemlerindeki en büyük problem, zemin üzerinde oluşabilecek patinaj durumudur. Diğer bir problem ise ağır yükler altında tekerleklerin deforme olmasıdır. Her iki problemin de minimum seviyeye indirgenebilmesi için bu tip güdüm sistemlerinin pürüzsüz zeminlerde kullanılması gerekmektedir.



şekil 2.6. Yol hesabı güdüm sistemi - encoder kullanımı

Yol hesabı güdüm sistemlerinde, tekerlek dönmeye başladığında kodlayıcı bir sayaç gibi çalışmaya başlar, sayaç üzerindeki bilgi arttıkça denetleyici de OYA'nın hareket ettiğini anlar. Çok esnek bir yapıya sahiptirler ve ucuzdurlar. Fakat bu sistemler kayma ve patinaj gibi istenmeyen durumların oluşması nedeniyle güvenli değildirler.

2.2.6. Güdüm sistemleri karşılaştırması

Bir güdüm sisteminin esnek ve güvenilir, maliyetinin düşük, zemin açısından hem düz hem de pürüzlü, aynı zamanda temiz ve kirli ortamlarda çalışması beklenir. Yapılan incelemeler neticesinde (Tablo 2.1) bu beklentilere cevap veren en iyi sistemler lazer ve jiroskop güdüm sistemleridir.

Tablo 2.1. Güdüm sistemlerinin karşılaştırılması

	Esneklik	Güvenirlik	Maliyet	Zemin	Ortam
Hat güdüm sistemi	Hayır	Yüksek	Yüksek	Düz	Kirli/Temiz
Optik güdüm sistemi	Evet	Yüksek	Düşük	Düz	Temiz
Lazer güdüm sistemi	Evet	Yüksek	Yüksek	Düz/Pürüzlü	Kirli/Temiz
Jiroskop güdüm sistemi	Evet	Yüksek	Yüksek	Düz/Pürüzlü	Kirli/Temiz
Yol hesabı güdüm sistemi	Evet	Düşük	Düşük	Düz	Kirli/Temiz

3. OYA KİNEMATİK MODELİ

Bir OYA tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli husus, tekerleklerin kontrol mekanizması ve elde edilecek mekanik momenttir. OYA'lar tasarımlarına göre tek tekerlekli, iki tekerlekli, üç tekerlekli, römork ve araba tip olmak üzere 5 gruba ayrılırlar. Genel olarak yapılan çalışmalarda iki ve üç tekerlekli yapılar kullanılmıştır. İki tekerlekli yapılarda teker ekseninin aracın ağırlık merkezine oturtulması zorluğu, aracın dengede tutulma problemi ve aracın tüm yükünün iki tekerlek üzerine binmesi ve daha büyük motor kullanım problemlerinden dolayı daha küçük kapasiteli araçlarda tercih edilmektedir (Mini Sumo Robot vb).

Tekerlekli robot modellemelerinde, robot aşağıdan yukarıya doğru değerlendirilmeli, her bir tekerlek için kuvvetler ve bağımlılıklar ayrı ayrı ifade edilmelidir. Modelleme yapılırken robotun holonomik olmayan yapısından kaynaklanan bazı sınırlandırmalar ve kabuller mevcuttur. Bunlar sırasıyla;

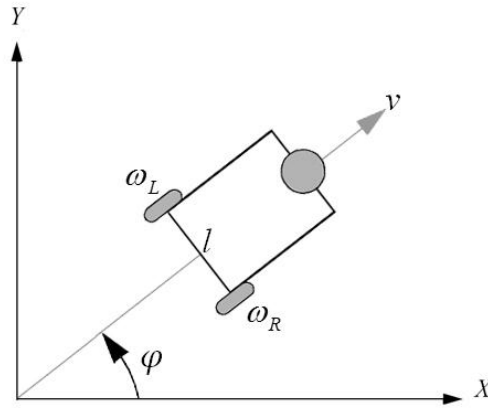
- a) Her bir teker yatay düzleme diktir.
- b) Tekerleklerin dönme eksenleri sabitlenmiştir.
- c) Tekerlekler ve yatay düzlem arasında temas tek bir noktadadır.
- d) Tekerlekler kendi yatay düzlemlerinde dönerler ve bu dönme hareketi robot düzlemine sabittir.

Uygulamalarda önde bir arkada iki tekerlekli veya önde iki tekerlekli ve arkada tek tekerlekli araçlar kullanılmaktadır. Önde bir, arkada iki tekerlek bulunduran yapının dezavantajı şudur: Öndeki tekerlek yönlendirme görevini yerine getireceği için bir motor bu işe ayrılmak zorundadır. İleri veya geri hareketi sağlamak için ise arka tekerleklere döndürme momenti uygulayacak bir tahrik sistemine ihtiyaç vardır. Tek bir motor yeterli momenti sağlamayabilir. Moment sağlansa bile momentin büyük oluşu motor boyutunun büyütülmesini gerektireceğinden tercih edilmez. Bu yüzden, kullanılacak motorlar yönlendirme işini yerine getirirken aynı zamanda ileri ve geri hareketi sağlayacak momenti de üretmelidirler. Bunu sağlayan yapı da önde iki tekerlek bulunduran yapıdır. Bu tür robotlar için yol planı holonomik olmayan hareket altında ve lineer olmayan sistemler olduğundan çok zor yapılır. Birçok araştırmacı iki tekerli ve araba tip hareketli robotlar

için çeşitli kontrol stratejileri araştırmışlardır. Robotik sistemlerde holonomik olmayan davranışlar mekanizmanın daha az sayıda hareket edici tarafından kontrol edilmesinden dolayı ilgi görmüştür.

Araştırması yapılan tekerlekli robotlarda arkadaki iki tekerlek, birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilen doğru akım motorlarına bağılıdır. Dolayısıyla tekerleklerin hareketleri birbirlerini etkilemezler. Farklı devirlerde hatta ters yönde dönebilirler. Fakat bu tekerleklerin sağı veya sola dönmesi söz konusu değıldir.

Ön tekerlek ise, serbest hareket ile her yöne dönebilmektedir. Arka tekerlekler, aracı ileri ve geri hareket ettirirken aynı zamanda farklı devirlerde dönerek aracın yön değıştirmesini de sağılamaktadırlar.



şekil 3.1. Üç tekerlekli otomatik yönlendirmeli araç sistem modeli

r tekerlek yarıçapını, l tekerlekler arasındaki uzaklığı ω_R ve ω_L sırasıyla sağı ve sol tekerleklerin açısal hızlarını, v aracın hızını ve φ araç ekseninin x eksenine yaptığı açıyı göstermek üzere, şekil 3.1'deki aracın kinematik denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir [24]:

Sağı tekerleğin doğrusal hızı:

$$v_R = r \cdot \omega_R \quad (3.1)$$

Sol tekerleğin doğrusal hızı:

$$v_L = r \cdot \omega_L \quad (3.2)$$

Aracın doğrusal hızı:

$$v = \frac{v_R + v_L}{2} = \frac{r}{2} (\omega_R + \omega_L) \quad (3.3)$$

OYA'nın hareket denklemlerinden aşağıdaki diferansiyel denklem çıkarılabilir:

Aracın açısındaki değişim:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{r}{l} (\omega_R - \omega_L) \quad (3.4)$$

x doğrultusundaki hız:

$$\frac{dx}{dt} = v_x = v \cdot \cos(\varphi) = \frac{r}{2} (\omega_R + \omega_L) \cos(\varphi) \quad (3.5)$$

y doğrultusundaki hız:

$$\frac{dy}{dt} = v_y = v \cdot \sin(\varphi) = \frac{r}{2} (\omega_R + \omega_L) \sin(\varphi) \quad (3.6)$$

ile gösterilebilir.

4. DC MOTORLAR

Doğru akım motorları, doğru akım elektrik enerjisini dairesel mekanik enerjiye dönüştüren elektrik makineleridir [25]. DC motorlar, fırçalı, fırçasız ve step motor olmak üzere üç çeşittir. DC motor çeşitlerini anlatmaya başlamadan önce tez çalışmasının farklı bölümlerinde kullanılan motor terimlerini (Tablo 4.1) ve genel olarak tüm motorlar üzerinde bulunan motor parçalarını (Tablo 4.2) bilmek faydalı olacaktır.

Tablo 4.1. Motor terimleri [26].

Terim	Açıklama
Tork	Motordan tekerleğe iletilen itme (dönme momenti) kuvvetidir.
Devir	Motorun tam bir turudur.
rpm	Motorun bir dakikada tamamladığı devir sayısıdır.
Redüktör	Motorlara bağlı dişli sistemidir.

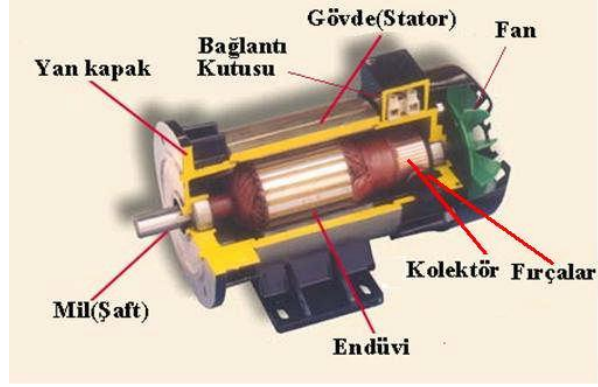
Tablo 4.2. Motor parçaları [27].

Parça İsmi	Açıklama
Endüvi (Rotor)	Motorların mille beraber dönen kısmıdır.
Fırça	Kolektörlü motorlarda kolektöre basan parçalardır.
Kolektör	Motorun hareketli olan bölümüne akımın aktarıldığı eleman
İndüktör	N-S kutuplarının oluşturulması için yapılmış olan sargıların yerleştirildiği bölüm

4.1. DC Motor Çeşitleri

4.1.1. Fırçalı DC motor

En temel doğru akım motoru fırçalı doğru akım motorudur (Şekil 4.1). DC motorların hareketli olan parçalarındaki manyetik alan, elektrik akımı ile oluşturulur. Fırça ve kolektör adı verilen özel bir düzenek ile motorun hareketli olan bu bölümüne akım aktarılır. Fırça ve kolektör kullanılan motorlara fırçalı DC motor denir [26].



Şekil 4.1. Fırçalı DC motor kesit görünümü

4.1.2. Fırçasız DC Motor

Motor üzerindeki dönen kısımların (rotor) sabit mıknatıstan, duran kısımların ise mini bobinli sargılardan oluştuğu, kolektör ve fırça düzenekleri bulunmayan motor çeşididir [25]. Şekil 4.2’de fırçasız DC motor görüntülenmektedir.



Şekil 4.2. Fırçasız DC motor görünümü

4.1.3. Adım (Step) DC Motor

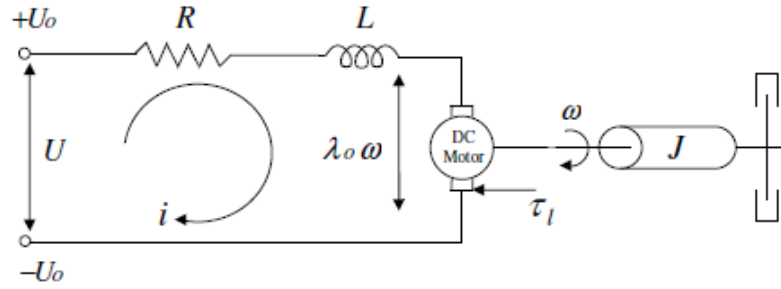
Step motorlar, sargılarına uygulanan elektrik palsine göre istenen miktarda dönme yapabilen DC motorlardır (Şekil 4.3). Robot yapımında ve kontrollü dönüş hareketinin gerektiği durumlarda sıklıkla kullanılırlar. Güç ve momentleri sınırlıdır.



Şekil 4.3. Step motor iç görünümü

4.2. DC Motorun Elektrik ve Mekanik Modeli ile Dinamik Denklemleri

Bir DC motora ait elektriksel ve mekaniksel model Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. DC motorun elektrik ve mekanik modeli

Yönlendirici dinamiğinin dahil edildiği bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğunda armatür devresi indüktansını göz önünde bulundurmayıp tork, açısal hız ve gerilim arasındaki ilişki ifade edilmiştir. Bu kabul küçük yönlendiriciler için kabul edilebilir, fakat büyük motorlar için kabul edilemez. Yukarıdaki şekil, arka tekerleklerden birinin modeli ve sürücü düzeneği olarak gösterilmiştir. Diğer tekerlek için de aynı model geçerlidir. Burada kullanılan motor serbest uyarmalı doğru akım motorudur. Motorun ürettiği moment, bir dişli kutusu üzerinden tekerleğe iletilmektedir. Sistemin dinamiğini çıkarırken motorun ve tekerleğin dinamiğini ayrı ayrı ele almak gerekir. Denklem (4.1.)’de motor üzerinde oluşan açısal hız ve uygulanan gerilim ilişkisi görülmektedir.

$$U_a = R_a \dot{I}_a + L_a \frac{d\dot{I}_a}{dt} + K_b \omega_m \quad (4.1.)$$

Buradan motorlara ait akım değerlerinin türevleri elde edilir ve her iki motor için yazılabilir.

$$\frac{d\dot{I}_r(t)}{dt} = \dot{I}_R = \frac{U_R - R_a \dot{I}_R - K_b \omega_{rm}}{L_a} \quad (4.2.)$$

$$\frac{d\dot{I}_L(t)}{dt} = \dot{I}_L = \frac{U_L - R_a \dot{I}_L - K_b \omega_{lm}}{L_a} \quad (4.3.)$$

Motor akım değerleri ve motorlara ait tork sabitleri ile motor tork değerleri elde edilebilir. Dişliden önce ve sonrası için tork ve armatür akımı ilişkisi ve tork ile hız arasındaki ilişki aşağıda gösterilmiştir.

$$\tau_m = K_t \dot{I}_a, \quad \tau_t = n \tau_m, \quad \omega_m = n \omega_t \quad (4.4.)$$

Sağ ve sol tekerlek için tork ifadesi yazılırsa

$$\begin{bmatrix} \tau_r \\ \tau_l \end{bmatrix} = n K_t \begin{bmatrix} \dot{I}_{ar} \\ \dot{I}_{al} \end{bmatrix} \quad (4.5.)$$

n dişli oranı ve K_t motor tork sabitidir. Denklemler düzenlendiği takdirde açısal hız ve doğrusal hızın dâhil edildiği genel ifade bulunur.

$$U_a = R_a \dot{I}_a + L_a \frac{d\dot{I}_a}{dt} + K_b T_v W \quad (4.6.)$$

Yukarıdaki denklemlerden:

$$T_v = \begin{bmatrix} \frac{1}{r} & \frac{b}{r} \\ \frac{1}{r} & -\frac{b}{r} \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad W = \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}$$

olur.

5. KONTROL (DENETİM) SİSTEMLERİ

Son yıllarda önemli bir bilim dalı haline gelen kontrol sistemleri, gerek literatürde gerekse de günlük uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kontrol sistemleri ile günlük yaşamda kullanılan birçok sistemi kontrol edebilmek mümkündür. Örneğin; evlerde kullanılan klimalar, buzdolapları, şofben vb. birçok elektronik cihaz bünyesinde bir kontrol sistemi barındırmakta ve belli bir ısı derecesinde çalışması için ayarlanabilmektedir. Bu cihazların bazıları tam otomatik sistemler olabildiği gibi bazıları ise aç-kapa sistemi ile çalışmaktadır.

Kontrol sistemleri, birçok mühendislik, ekonomi vb. alanlarda da kullanılabilmektedir. Üretilen ürün özelliklerinin kontrolü, uçaklarda kullanılan otomatik pilot kontrolü, gemilerde yön bulmak amacıyla kullanılan kontrolörler vb. sistemler, endüstri alanında gerçekleştirilen kontrol sistemlerine örnektir [28].

5.1. Kontrol Sistemleri Kavramları

Temel olarak bir kontrol sisteminin üç temel ögesi bulunmaktadır. Bu öğeleri tanımlamak gerekirse;

Sistem : Belli bir işlev için bir araya getirilmiş, bir bütünü oluşturan ve birbiri ile bağlı olan elemanlar topluluğuna sistem denilmektedir. Diğer bir ifade ile belirli bir işlemi gerçekleştirmek üzere birlikte hareket eden elemanların kombinasyonuna verilen isimdir.

Giriş : Kontrol edilecek sistemi kontrol etmek amacı ile uygulanan işaret veya işaretlerdir.

Çıkış : Kontrol edilen sistemin giriş değerleriyle birlikte hesaplanarak sonuçların elde edildiği işaret veya çıkış işaretleri olarak adlandırılır.

Kontrol sistemleri, bir sistemde bir veya birden fazla parametrenin ölçülmesi ve bu ölçülen parametrenin istenen bir değerde, amaca uygun bir şekilde sabit tutulmasına sağlayan sistemlerdir.

Şekil 5.1’de basit bir kontrol sistemine ait blok diyagramı gösterilmektedir. Kontrol bloklarında sisteme bir giriş işareti verilir ve bir çıkış elde edilirse bu gibi kontrol yapılarına bir girişli ve bir çıkışlı sistem denir.



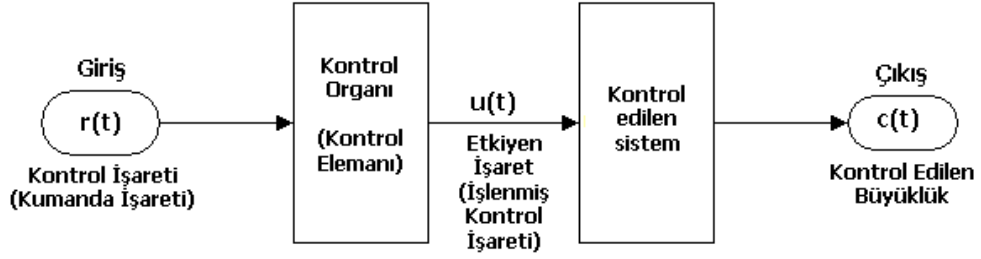
Şekil 5.1. Basit bir kontrol sisteminin blok diyagramı

5.1.2. Kontrol sistemi türleri

Kontrol sistemleri, çıkışların veya kontrol edilen işaret büyüklüğünün kontrolü bakımından ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; Açık Çevrim Denetim Sistemi ve Kapalı Çevrim Denetim Sistemleridir.

5.1.2.1. Açık çevrim kontrol sistemleri

Sistemi kontrol eden düzeneğin, sistemin çıkışından etkilenmediği, sadece verilen referans değerine göre denetim işleminin yapıldığı sistemlerdir (Şekil 5.2). Hassasiyet gerektirmeyen sistemlerde kullanılan bir denetim sistemi mekanizmasıdır. Sisteme etkiyen bozucu faktörlerin algılanması insan faktörüyle olabilmektedir. Verilen referans işareti kontrol elemanı tarafından alınır ve oransal bir kontrol işareti üretir. Bu işaret, kontrol edilen sisteme verildiğinde, sistem giriş değişkenini süreç içine alır ve istenilen çıkış işaretini verir. Açık çevrim denetim sistemi, genellikle kumanda edilen sistemin yapısının ve sisteme etkiyen diğer girişlerin önceden çok iyi bilindiği uygulamalarda kullanılır. Açık çevrim denetim sistemi günlük yaşantımızda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir anahtarla bir lambanın kumandası en temel açık çevrim denetim sistemi örneğidir [28].



Şekil 5.2. Açık çevrim denetim sistemi blok diyagramı

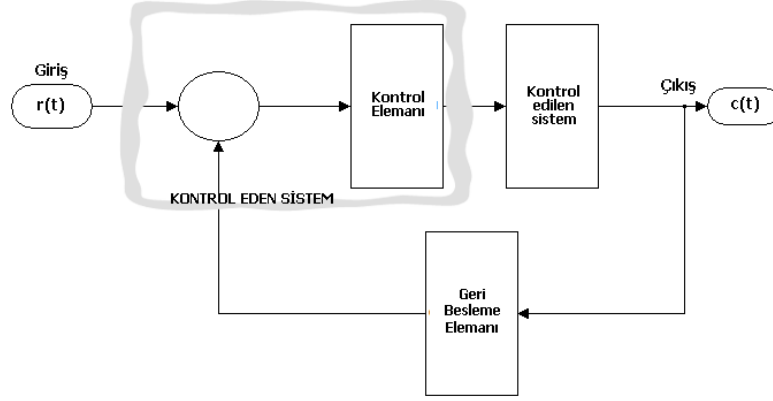
Açık çevrim kontrol sistemi, geri besleme kullanılmadan kontrol organı ile sürecin kontrol edildiği sistemdir.

Bu sistemi daha iyi anlamak için trafik kontrolü yapan trafik ışıkları örneğini göz önüne alabiliriz. Bu sistemde bir zaman ayarlayıcı bulunur ve ışıklar bu ayarlayıcıya göre çalışırlar. Sisteme göre belli bir t_k zamanı boyunca kırmızı ışık yanar ve geçişleri durdurur. Diğer bir t_y zamanı boyunca da yeşil ışık yanarak trafik akışı sağlanır ve bu işlem t_k ve t_y için uygun görülen süreler aralığında sürekli olarak devam eder. Böyle bir kontrol sisteminin trafik yoğunluğu olması durumunda da aynı şekilde çalışması nedeniyle verimli bir sistem olduğu söylenemez. Bu kontrol sisteminde girişler (t_k , t_y) kırmızı ve yeşil ışıkların yanma süreleri, çıkış ise trafik yoğunluğudur ve kontrol sisteminin girişleri ışıkların yanma sürelerinden etkilenmemektedir. Farklı bir ifade ile belirtmek gerekirse kumanda işareti olan girişler, çıkışı oluşturan durumlardan bağımsızdırlar. Bu şekilde çalışan sistemler açık çevrim kontrol sistemini oluşturmaktadır. Bu sistemde, sistem çıkışı olan trafik yoğunluğu ölçülür, referans bir değerle karşılaştırılır ve trafik ışıklarının yanma süreleri bu işlemlere göre belirlenirse, bu sistemin kapalı çevrim bir kontrol sistemi olduğu söylenilebilir [29].

5.1.2.2. Kapalı çevrim kontrol sistemleri

Denetim faaliyetinin, sistemin denetlenen çıkışına bağlı olduğu sistemdir (Şekil 5.3). Kapalı çevrim denetim sisteminin açık çevrim denetim sisteminden en temel farkı ‘geri besleme’ etkisidir. Kapalı çevrim denetim sistemi içinde ‘geri beslemeli denetim’ de bir

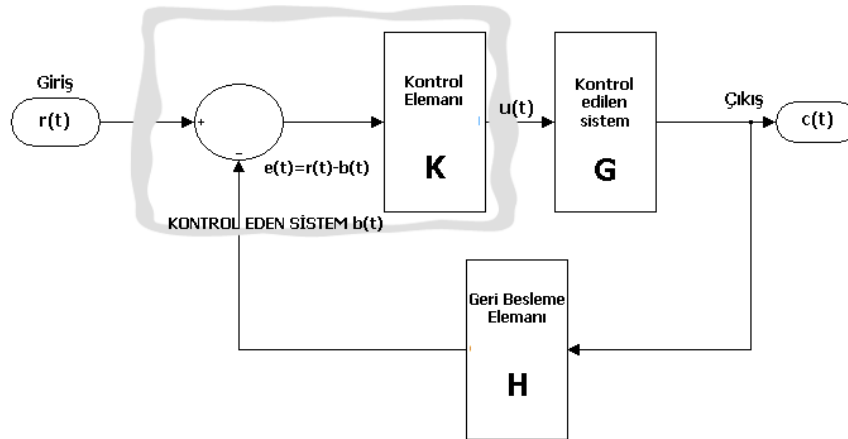
sistemdir ve denetlenen çıkış değişkeninin ölçülüp geri beslenerek istenen giriş değeri ile karşılaştırılmasını sağlar.



Şekil 5.3. Kapalı çevrim denetim sistemi yapısı

Geri besleme negatif veya pozitif yönde etki edebilir. Negatif etkinin anlamı, çıkışın girişe ters yönde etki etmesidir. Pozitif etkinin anlamı ise çıkışın girişe aynı yönde etki etmesi demektir. Ancak kapalı çevrim denetim sisteminde kullanılan çoğunlukla negatif geri beslemedir [30].

Geri besleme etkisini sadece girişi çıkış ile karşılaştırmak, kontrol işaretini veya sapmayı küçültmek olarak görmek yanlıştır. Bu etki geri beslemenin kontrol sistemlerine getirdiği özelliklerden sadece bir tanesidir. Şekil 5.4, geri beslemenin sıkça kullanıldığı diğer bir durumu göstermektedir.



Şekil 5.4. Geri besleme sistemi özelliklerini saptamak için blok diyagramı

Şekil 5.4’de gösterilen K, G ve H değerleri kazanç olarak ele alınacaktır. Pozitif geri besleme için (+), negatif geri besleme için ise (-) alınacaktır. Bu kabuller neticesinde aşağıdaki bağlantılar yazılabilir.

$$\left. \begin{aligned} e(t) &= r(t) - b(t) \\ u(t) &= Ke(t) \\ b(t) &= c(t)H \\ c(t) &= u(t)G \end{aligned} \right\} \quad (5.1.)$$

Yukarıda verilen bağlantılardan aşağıda verilen iki önemli ifade elde edilerek sistemin transfer fonksiyonu

$$T(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{KG(s)}{1 \pm KG(s)H(s)} \quad (5.2.)$$

ve hatanın girişe oranı

$$\frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 \pm KG(s)H(s)} \quad (5.3.)$$

şeklinde yazılabilir.

Şekil 5.4’deki sistem, açık çevrim kontrol devresi veya geri beslemesiz kullanılacak olursa, ileri yol kazancı $b=0$ ve $H=0$ olacağından denklem (5.2.) den $\frac{c}{r} = KG$ olacaktır. Geri besleme kullanıldığı takdirde ileri yol kazancı denklem (5.2.) deki gibi olacaktır. Denklem (5.2.) den görüleceği üzere ileri yol kazancı $1 \pm KGH$ ifadesi ile bölünmektedir. Payda ifadesinin değerinin birden büyük olması, kazancın küçük olacağına anlamına gelmektedir. Denklem (5.2.) ifadesinde paydanın sıfır olması durumunda:

$$KGH = -1 \text{ negatif geri besleme için} \quad (5.4.)$$

$$KGH = +1 \text{ pozitif geri besleme için} \quad (5.5.)$$

olduğu anlaşılır.

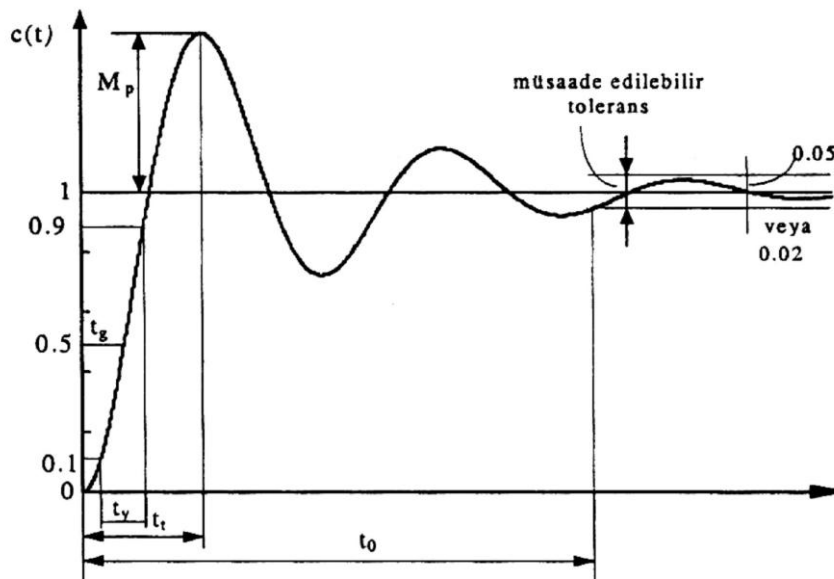
Paydanın sıfır olması çıkış/giriş oranının sonsuz olduğu anlamına gelmektedir. Kontrol sistemine sınırlı bir r girişi verildiği takdirde çıkışta sınırlı kalmayan bir çıkış büyüklüğü elde edilir ki bu da sistemin kararlı olmaması anlamına gelmektedir. Sistemde bulunan parametrelerin değişebileceği düşünüldüğünde her hangi bir elemanın değerinin değişmesine bağlı olarak denklem (5.2.) formülünden ileri yol kazancının değişimi belirlenebilir.

Geri beslemenin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Açık çevrim kontrol sistemine nazaran daha duyarlı bir yapıdadır.
2. Sistemde eleman değerleri değişmesinin çıkışa yansıması azalır.
3. Kazancın değiştirilmesini sağlayabilir.
4. Bant genişliğini değiştirebilir.

Yukarıda belirtilen özelliklere ek olarak sistemde fazla kazanç elde etmek istenmesi durumunda kararsızlıklar ve salınım söz konusu olabilmektedir.

Şekil 5.5’de kontrol edilen bir lineer sistemin birim basamak cevabı gösterilmiştir. Şekilde gösterilen parametreler sistemin geçici durumunun belirlenmesinde kullanılan parametrelerdir.



Şekil 5.5. Lineer kontrol sisteminin birim basamak cevabı [31]

Şekil 5.5’de yer alan parametreleri kısaca özetlenecek olursa:

1. Gecikme zamanı (t_g) : Sistemin çıkışının istenilen değerin yarısına ilk ulaşması için geçen süredir.
2. Yükselme zamanı (t_y) : Sistem çıkış değerinin % 10’dan % 90’ına, % 20’den %80’ine veya % 0’dan % 100’üne ulaşması için geçen süredir. Titreşimli sönümlü sistemlerde yükselme zamanı için % 10-90, aşırı sönümlü birinci dereceden sistemlerde ise % 0-100 aralıkları kullanımı uygundur.
3. Tepe zamanı (t_t) : Sistem çıkışının istenilen değeri ilk defa aşarak tepe yaptığı noktaya erişmesi için geçen süredir.
4. Maksimum aşma (M_p) : Cevap eğrisinin istenilen değerden ölçülen maksimum tepe noktası değeridir. Bu aşma değeri sistemin bağıl kararlılığını göstermektedir. Birinci dereceden gecikmeli sistemler için cevap eğrisi istenilen değeri hiçbir zaman aşmadığından dolayı maksimum aşma tanımlanamamaktadır.
5. Oturma zamanı (t_o) : Cevap eğrisinde yer alan titreşim genliklerinin müsaade edilen tolerans değeri sınırlarına erişmesi için geçen süredir. Müsaade edilebilir tolerans değerleri genellikle istenilen değerin % 2-5’i olarak tanımlanır [31].

5.1.3. Kontrol sistemlerinde kullanılan denetim organları

Bir kapalı çevrim denetim sistemi içinde denetim organının görevi, ölçme elemanı üzerinden geri beslenen çıkış büyüklüğünü, başvuru giriş büyüklüğü ile karşılaştırmak ve karşılaştırmadan ortaya çıkabilecek hata değerinin yapısına ve kendi denetim etkisine bağlı olarak uygun bir kumanda veya denetim sinyali üretmektir.

Denetim organlarında kullanılan başlıca 4 temel denetim etkisi şunlardır:

1. İkili veya aç-kapa denetim etkisi
2. Orantılı denetim etkisi (P etkisi)
3. Integral denetim etkisi (I etkisi)
4. Türev denetim etkisi (D etkisi)

Bu temel denetim etkilerinin bir veya birkaçının bir arada uygun şekilde kullanılmasıyla değişik denetim etkilerinde çalışan denetim organları oluşturulur.

Denetlenecek sistemin dinamik yapısı göz önüne alınarak çözüm olacak şekilde üç temel denetleyiciden gerekli olanlar alınarak esas denetleyici tasarlanır. Sadece P veya PI denetleyici yeterli oluyorsa, PID kullanmak gereksizdir. Bu nedenle temel denetleyicilerin ve bunların bileşimlerinin ayrı ayrı özelliklerinin incelenmesi faydalı olacaktır.

5.1.3.1. Orantı kontrol etkisi (P Kontrol)

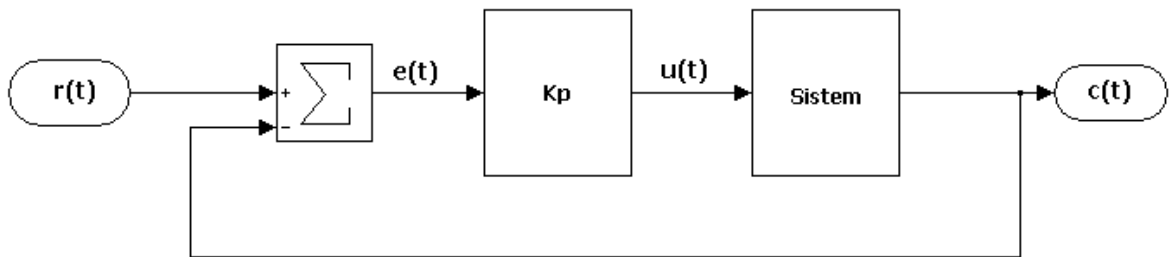
Orantı kontrolde, denetlenen sistemin çıkışı oransal bir sabit ile sistemin girişine Şekil 5.6'da gösterildiği gibi oranlanır. Sistemin çıkışı olan $u(t)$ ile giriş hata işareti $e(t)$ arasındaki bağlantı

$$u(t) = K_p e(t) \quad (5.6.)$$

biçiminde gösterilebilir. Burada K_p orantı kazancıdır. Bu etkinin transfer fonksiyonu ise

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (5.7.)$$

şeklinde gösterilebilir.



Şekil 5.6. Orantı kontrol sistem blok diyagramı

Orantı kontrol kapalı çevrim denetim sisteminde, herhangi bir anda kontrol organı çıkışı $u(t)$ hatanın büyüklüğüne bağlıdır. Hata ne kadar büyük ise düzeltici kontrol işareti olan $u(t)$ de o oranda büyük olacaktır. Hatanın çok küçük olması durumunda kontrol organının yeterli düzeltici sinyali üretememesi, bu nedenle de kalıcı-durum hatası olması söz konusudur. Kalıcı-durum hatasının azaltılması K_p 'nin değerlerinin artırılması ile

mümkündür, ancak ortadan kaldırılması için yeterli değildir. Orantı kontrol sistemi çok basit bir yapıda olması nedeniyle çok yavaş çalışan sistemler dışında pek kullanılmamaktadır.

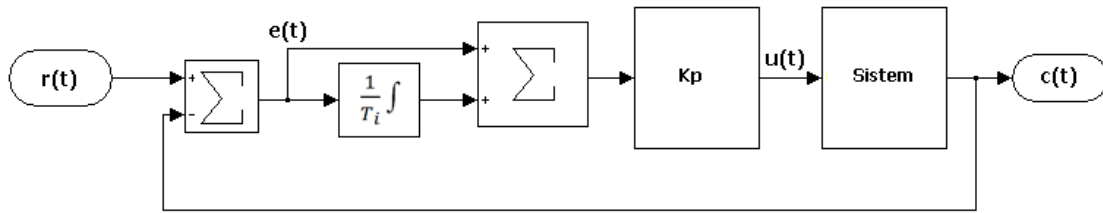
5.1.3.2. Orantı-Integral kontrol etkisi (PI Kontrol)

Orantı kontrolde sürekli olarak bir kalıcı-durum hatası ortaya çıktığından, K_p ayarının değiştirilmesi suretiyle hata azaltılabilmekte, ancak sıfırlanamamaktadır. Bu durumu gidermek amacıyla orantı kontrol organına, hatanın integrali ile orantılı bir kontrolün ilave edilmesi şekliyle oluşturulmuş kontrol türüdür. İntegral etkinin transfer fonksiyonu

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \text{ ya da } \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{1}{T_i s} \quad (5.8.)$$

şeklinde gösterilebilir.

K_i integral kazancını, T_i ise integral zaman sabitini temsil etmektedir. Formüllerden de anlaşılacağı üzere $K_i = 1/T_i$ dir. PI kontrol sisteminin blok diyagramı Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. PI kontrol blok diyagramı

PI kontrolünün transfer fonksiyonu;

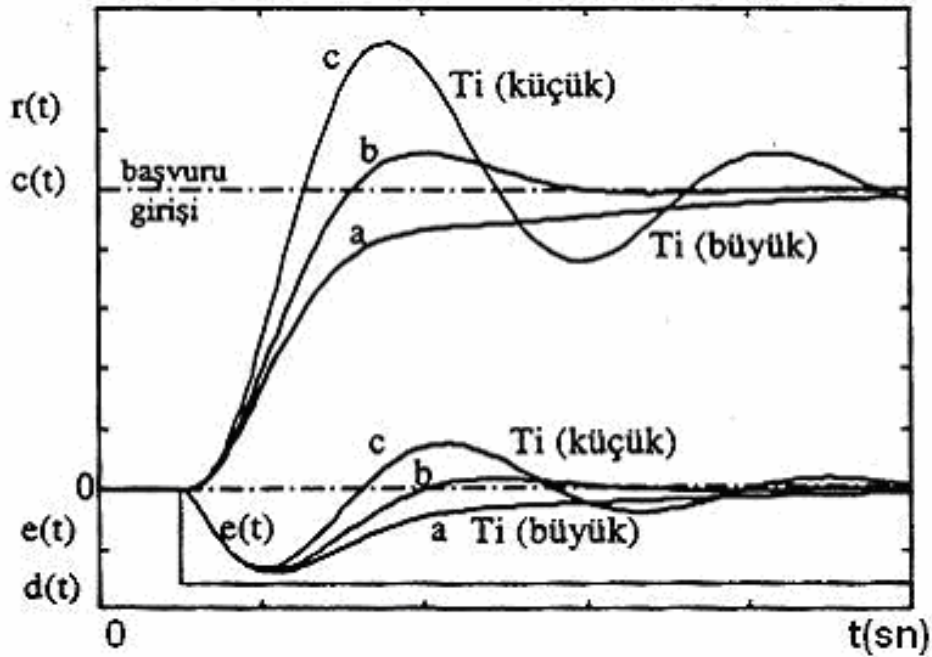
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (5.9.)$$

biçiminde, kontrol çıkış ise

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right) \quad (5.10.)$$

şeklinde ifade edilebilir.

İntegral etkisinin kalıcı-durum hatalarını giderdiğini görebilmek için Şekil 5.8’de çeşitli T_i (integral zaman sabiti) değerleri uygulaması gösterilmiştir. T_i ’nin yüksek olduğu durumlarda kalıcı-durum hatasını sıfırlama süresinin uzadığı (a eğrisi), T_i ’nin düşük olduğu durumlarda ise cevabın istenilen değere ulaşmasının kısa bir süre aldığı, ancak kısa süreli bir salınım gerçekleştirdiği gözlemlenebilmektedir (c eğrisi). Uygun T_i değeri seçimiyle birlikte hem salınım daha az olacaktır hem de sistemin istenilen değere ulaşma süresi kısılacaktır (b eğrisi).



Şekil 5.8. Farklı T_i değerleri için PI kontrol çıkış grafiği [31]

5.1.3.3. Orantı-Türev kontrol etkisi (PD Kontrol)

Orantı etkiye türev etkisinin ilave edilmesi ile elde edilir. PD denetleyici sürekli hal hatasını ortadan kaldırmamasına rağmen kararlı duruma geçiş süresi PI denetleyiciye göre çok daha kısadır.

Türev kontrolünün transfer fonksiyonu

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_d s \text{ veya } \frac{U(s)}{E(s)} = T_d s \quad (5.11)$$

şeklinde elde edilir.

K_d türev kontrol organı kazancı, T_d türev zaman sabitidir. Türev etkisinin en önemli özelliği, hatanın büyümesini önceden kestirmesi ve hata büyümeden düzeltme etkisinin bulunmasıdır. Öte yandan sürekli hal hatasında ortaya çıkan sabitin türevi sıfır olduğundan türev etkinin sabit hata üzerinde etkisi bulunmamaktadır. Ayrıca türev etki, hatanın zamana göre değişiminde etkili olduğundan dolayı tek başına değil, diğer kontrol etkileri ile kullanılmak zorundadır.

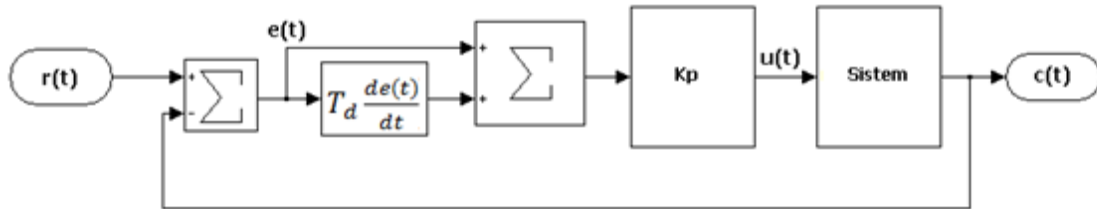
PD kontrol organının transfer fonksiyonu,

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s) \quad (5.12)$$

olarak yazılır. T_d , türev zaman sabitidir. Şekil 5.9'da gösterilen PD kontrol blok diyagramının çıkışı ise,

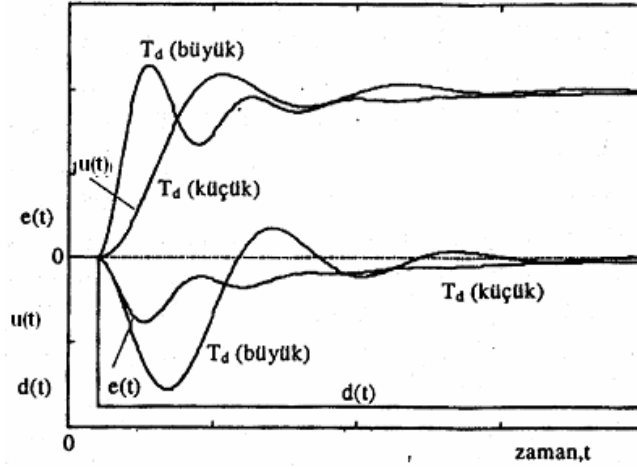
$$u(t) = K_p \left(e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (5.13)$$

biçiminde yazılır.



Şekil 5.8. PD kontrol blok diyagramı

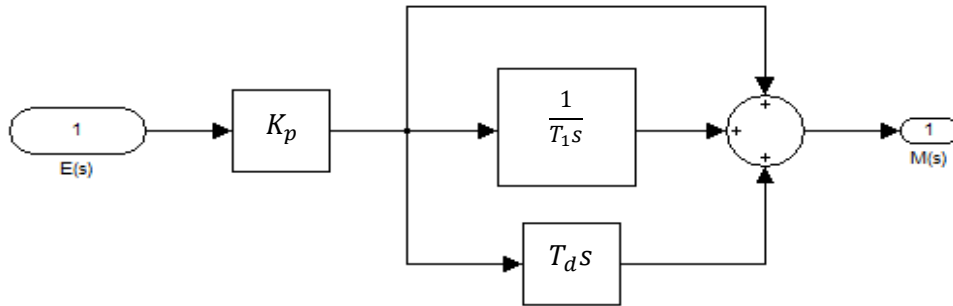
Şekil 5.9' da çeşitli T_d değerleri için türev kontrol organının nasıl etki ettiği gözlemlenebilmektedir. Büyük T_d değerleri için hatanın çok kısa sürede telafi edilebildiği, küçük T_d değerleri için bu sürenin biraz daha uzayabildiği, ancak her iki durumda da yalnız başına kullanılan orantı kontrolden daha hızlı olarak hataları düzeltmektedir. Ayrıca Şekil 5.9'da sürekli hal-durum hatasının ortadan kaldırılamadığı da açıkça görülebilmektedir.



Şekil 5.9. Farklı T_d değerleri için PD kontrol çıkış grafiği [31]

5.1.3.4. Orantı-Integral-Türev kontrol etkisi (PID Kontrol)

PID günümüzde çok kullanılan bir kontrol yöntemidir. Çok geniş bir uygulama alanı olmasına rağmen PID için standart bir tanımlama yoktur [30].



Şekil 5.10. PID denetleyicinin yapısı

PID denetim; P, I ve D gibi 3 temel denetim etkisinin bileşiminden meydana gelmiştir ve denetim organının çıkışı (denetim yasası):

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_i}{K_p} \int_0^t e(t) dt + \frac{K_d}{K_p} \frac{de}{dt} \quad (5.14)$$

biçiminde ifade edilir. Buradaki semboller:

$m(t)$: Denetim organı çıkışı,

$e(t)$: Hata oranı,

- K_i : İntegral etki kazancı
 T_i : İntegral zaman sabiti , ($T_i = \frac{K_p}{K_i}$)
 K_d : Türev etki zamanı
 K_p : Türev denetim organı kazancı
 K_p : Orantı kazancı

biçiminde tanımlanır. Buradan transfer fonksiyonu olan:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} \tau_d s \right) \quad (5.15)$$

elde edilir. PID denetim, üç temel etkisinin üstünlüklerini tek bir birim içinde birleştiren bir denetimdir. Ancak bu denetim organı diğerlerine göre daha karmaşıktır. Eğer K_p, τ_i, τ_d katsayıları uygun biçimde seçilirse bu denetim organından en iyi şekilde yararlanılabilir [30].

Denetlenecek sistemin dinamik yapısı göz önüne alınarak çözüm olacak şekilde üç temel denetleyiciden gerekli olanlar alınarak esas denetleyici tasarlanır. Sadece P veya PI denetleyici yeterli oluyorsa PID kullanmak gereksizdir. Bu nedenle temel denetleyicilerin ve bunların bileşimlerinin ayrı ayrı özelliklerinin incelenmesi faydalı olacaktır.

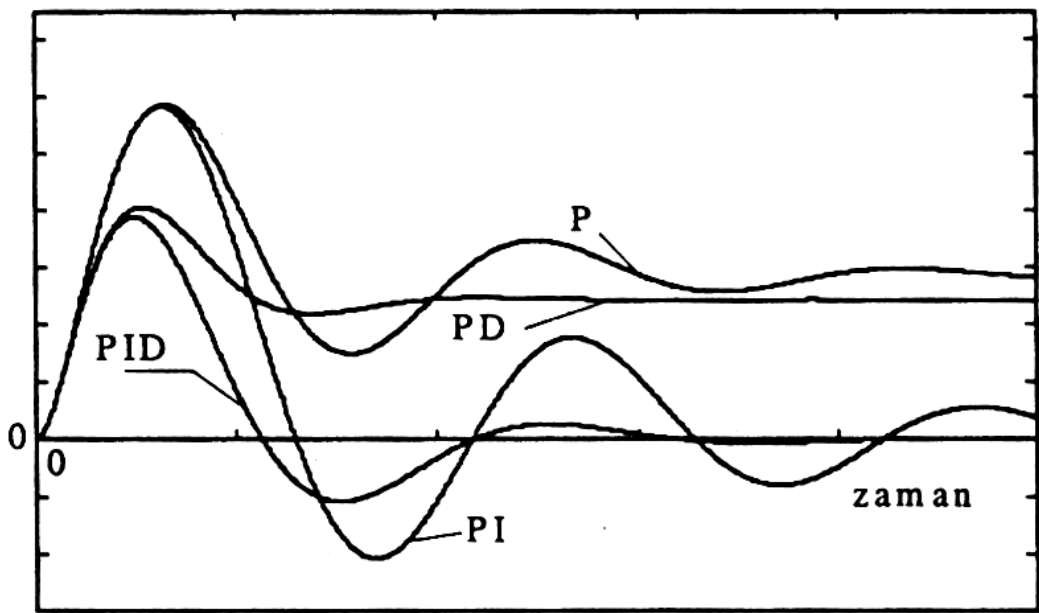
- a) P denetleyici: Transfer fonksiyonuna bakıldığında $\tau_i \rightarrow \infty$ ve $\tau_d \rightarrow 0$ için denetleyici sadece P etkisi ile çalışır. P denetleyici kullanılması durumunda denetlenen çıkış büyüklüğünde sürekli hal denetim hatası meydana gelir. Çünkü P denetleyici o andaki hata ile orantılı bir kontrol işareti üretir, hatanın geçmişini göz önüne almaz. K_p ayarı ile duyarlılığı arttırılsa dahi yeterli olmaz. Genellikle K_p orantı bandı cinsinden verilir. P denetleyici çok yavaş çalışan sistemler dışında yalnız başına pek kullanılmaz.
- b) PI denetleyici: Orantı etkiye integral etkisinin ilave edilmesi ile elde edilir. Yapısı basit olmakla beraber hatanın geçmişini de göz önünde bulundurduğu için sürekli

hal hatasını ortadan kaldırır. Çok yaygın olarak kullanılır. Bozucu etkilere karşı etkilidir. Sistemde ortaya çıkan gürültü işaretlerini ortadan kaldırır. İstenmeyen tarafı ise kararlı duruma geçiş süresinin biraz uzun sürmesidir.

c) PD denetleyici: orantı etkiye türev etkisinin ilave edilmesi ile elde edilir. PD denetleyici sürekli hal hatasını ortadan kaldırmamasına rağmen kararlı duruma geçiş süresi PI denetleyiciye göre çok daha kısadır. Bu denetleyicinin en önemli sakıncası ise gürültü işaretlerini de kuvvetlendirmesidir.

d) PID denetleyici: PI ve PD denetleyicilerinin iyi taraflarını toplayan ve kötü taraflarını ortadan kaldıran denetleyici türüdür. PD denetleyiciye göre sürekli hal hatasını ortadan kaldırırken, PI denetleyiciye göre de daha hızlı kararlı duruma ulaşabilmektedir. Özellikle uzun zaman gecikmesine sahip sistemlerin denetlenmesinde kullanılmaktadır.

P, PI, PD ve PID kontrol etkilerini daha iyi anlayabilmek için Şekil 5.11'de çeşitli parametrele elde edilmiş karşılaştırma grafiğine bakılmalıdır.



Şekil 5.11. Kontrolörlerin çeşitli parametre değerleri ile karşılaştırılması [31]

Grafik özetlenecek olursa;

1. P kontrol denetiminin sitem içerisinde yalnız başına kullanılması ile istenilen çıkış değerini yakalamak mümkün değildir. Çünkü, P kontrol denetiminde sisteme etki eden yalnızca kazançtır. Bu değerın büyütölmesi ile sistemin yükselme zamanı küçölür ve buna bağılı olarak sistem hızlı bir etki gösterebilir, ancak sistemin aşım değeri artacağından kararlılık bozulabilir. Ayrıca grafiğıe dikkat edilecek olursa, P kontrolde sürekli bir kalıcı-durum hatası ortaya çıkmaktadır.
2. PI kontrol denetiminde, P kontrol denetiminde meydana gelen sürekli-durum hatası zaman içerisinde azaltılarak, sıfır düzeyine çekilmeye çalışılır. PI kullanılan sistemlerde sistemin kararlı duruma geçiş süresinin uzadığı grafik ile gözlemlenebilmektedir.
3. PD kontrolde hatanın ortaya çıkması ile birlikte hem orantı hem de türev etki üzerindeki hata azaltılır. Bu nedenle hatanın tepe noktası P ve PI denetimine göre daha düşük olur. Ancak hatanın değışim oranına ters yönde etki etmesi nedeniyle PD kontrolde de sürekli-durum hatası bulunur.
4. PID denetimde ise her ne kadar başlangıç hatası büyük olsa da kalıcı-durum hatası sıfırlanır ve sistemin kararlı hale gelme süresi kısılır [31].

6. OYA UYGULAMA

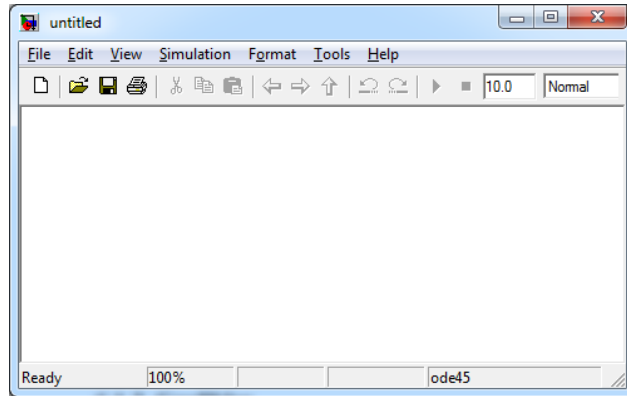
Bu bölümde OYA'nın nasıl oluşturulduğu anlatılmıştır. Çalışmada ilk farklı yörünge kriteri uygulanmıştır. İlk çalışma, Simulink ortamında gerçekleştirilmiş ve OYA'ya ait blok diyagramları oluşturulmuştur. Aracın yörüngesi için gerilim ve araç açısı parametreleri verilerek PI denetimi ile aracın kontrolü gerçekleştirilmiş ve grafik sonuçları yorumlanmıştır.

İkinci çalışmada ise, bir M-File dosyası içerisinde OYA dinamik denklemleri için komutlar oluşturulmuş, araca bir fonksiyonel yörünge verilmiştir. Aracın takip edeceği referans yörünge ile takip ettiği yörünge grafik yardımıyla gösterilmiştir. Bu çalışmada ise PD denetimi kullanılmıştır.

6.1. Simulink Ortamında OYA

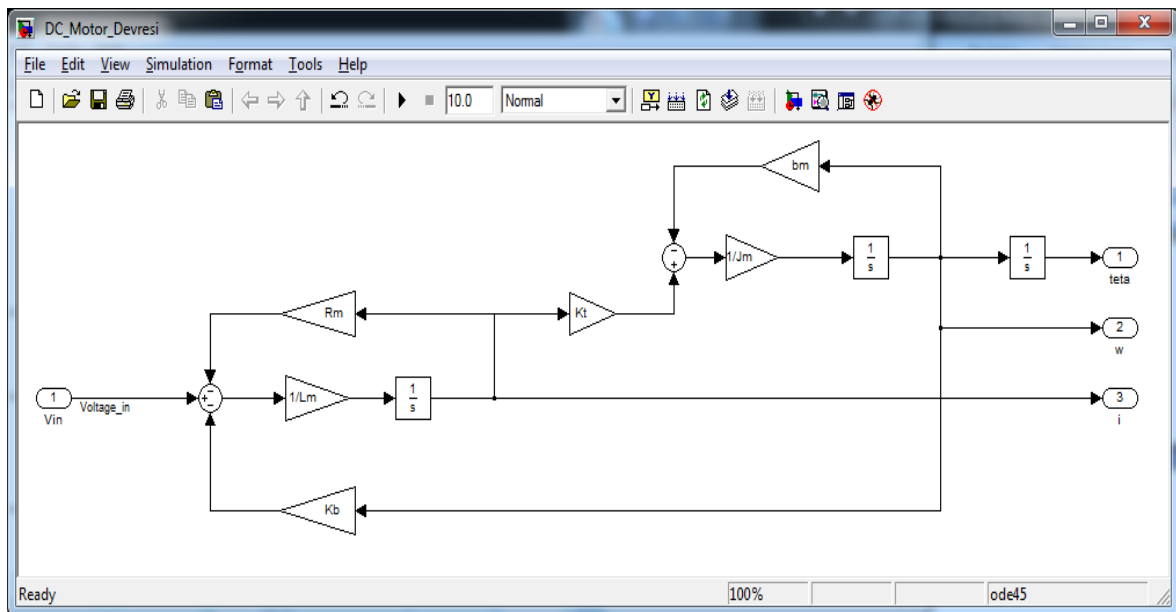
6.1.1. DC motor modellemesi

Modellemeyi gerçekleştirmek için sırasıyla MATLAB > Simulink > New > Model adımlarını uygulayarak Şekil 6.1'de gösterildiği gibi boş bir model penceresi oluşturalım.



Şekil 6.1. Simulink ortamında boş çalışma alanı

DC motorun dinamik modelini beşinci bölümde matrissel formda verilen denklemler aracılığı ile oluşturulmuştur. Giriş işareti olarak motor gerilimini verip rotor açısı, açısal hızı ve akımını belirtilen denklemler elde edilmiştir (Şekil 6.2).



Simulink blok diyagramlarındaki tork sabiti, atalet momenti, rotor endüktans ve direnci gibi parametreler, farklı motor uygulamalarında kullanılabilmesi amacıyla değişken şeklinde tanımlanmıştır. Bu değişkenlerin başlangıç değerleri ise Matlab editör ortamında Şekil 6.3’de gösterildiği üzere atanmıştır.

Editor - H:\SEMPOZYUM-KONFERANS\2011 - TEZ ÇALIŞMAM\MATLAB\OYA_Simulink\baslangic_degerleri.m

File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help

Stack: Base

1 % Başlangıç Parametreleri

2

3 L = 0.45; % Araç sağ sol teker arası uzaklığı

4 r = 0.05; % Araç teker yarıçapı

5 V_ref = 20; % araç başlangıç referans hızı

6 Fi_ref = 0.2; % Araç başlangıç referans açısı

7 sure=100;

8

9 % Maxson motor parametreleri

10

11 Rm = 2.06; % Motor direnci (ohm)

12 Lm = 0.238; % motor indüktansı (Henrys)

13 Kb = 1/((406*2*pi)/60); % Zıt Elektro Motor Sabiti (Volt-sec/Rad)

14 Kt = 0.0235; % Tork Sabiti (Nm/A)

15 Jm = 1.07e-3; % Rotor Ataleti (Kg m^2)

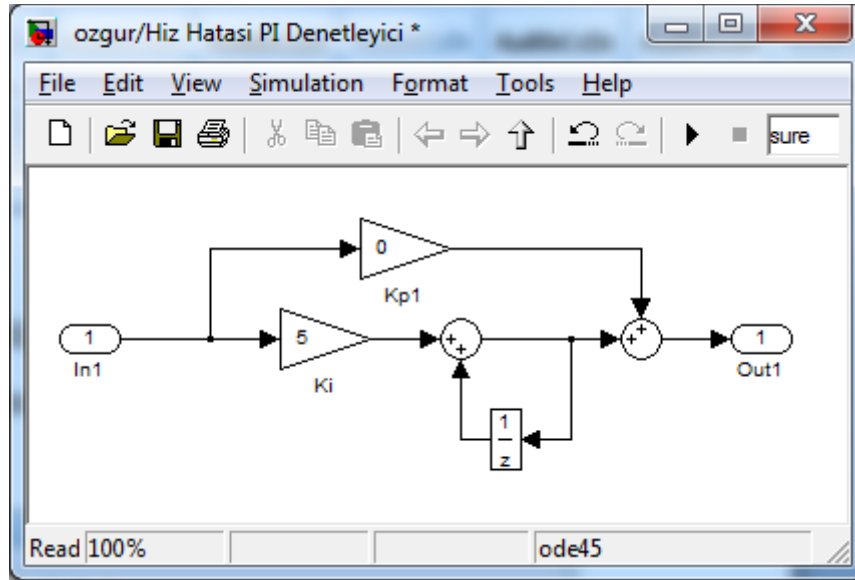
16 bm = 12e-2; % Mekanik (viskos) sürtünme

17

script Ln 16 Col 53 OVR

6.1.2. PI modellemesi

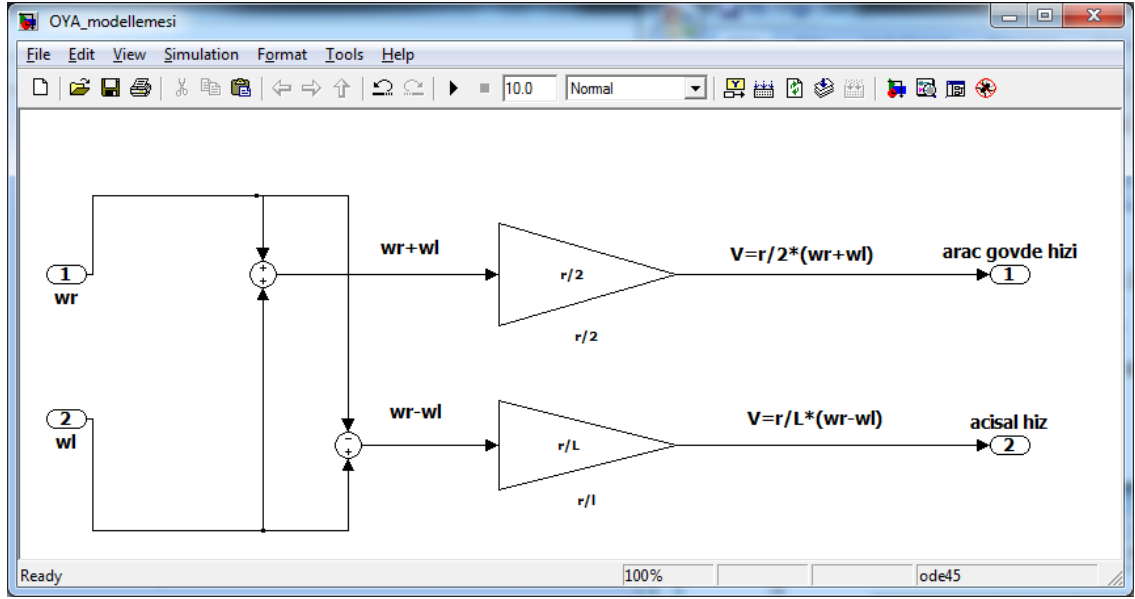
DC motorların istenen referans değerlerde çalışabilmesi amacıyla sistemde PI kontrol kullanılmıştır. Araç üzerinde iki ayrı DC motorun oluşu ve bu motorlara girilen gerilim değerinin farklı olmasından dolayı her bir motor için iki farklı PI kontrolör blok diyagramı tasarlanmıştır. Tasarlanan blok diyagramı Şekil 6.4’de gösterilmiştir. Blok diyagramında giriş hata değeri, oransal kazanç ile integral kazancının çarpılması ve integral kazanç ile çarpım değerinin bir önceki değerinin toplamı olarak ifade edilmiştir.



Şekil 6.4. PI kontrol modellemesi

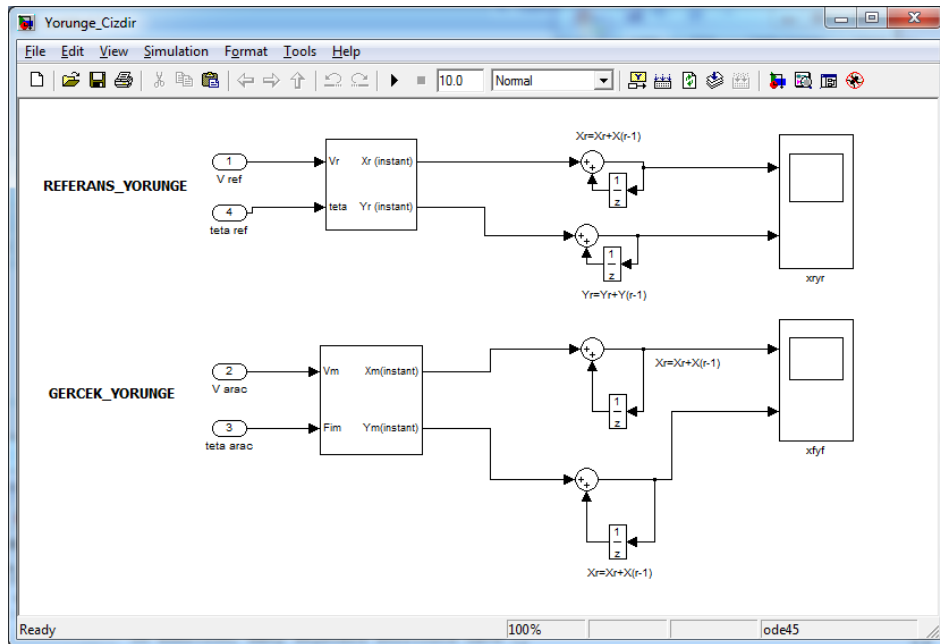
6.1.3. Modellemelerin birleştirilmesi

OYA’nın kinematik denklemlerini kullanarak aracın gövde açısındaki ve açısal hızındaki değişimleri elde etmek ve bunları referans değerlerle karşılaştırmak amacı ile Şekil 6.5’de verilen blok diyagramı oluşturulmuştur. Blok diyagramda giriş değeri olarak sağ ve sol motor açısal hızları alınmış olup araç tekerlek yarıçapı (r) ve tekerleklerin birbirine olan mesafe (l) değerleri kullanılarak araç gövde hızı ve gövde açısı hesaplanmıştır.



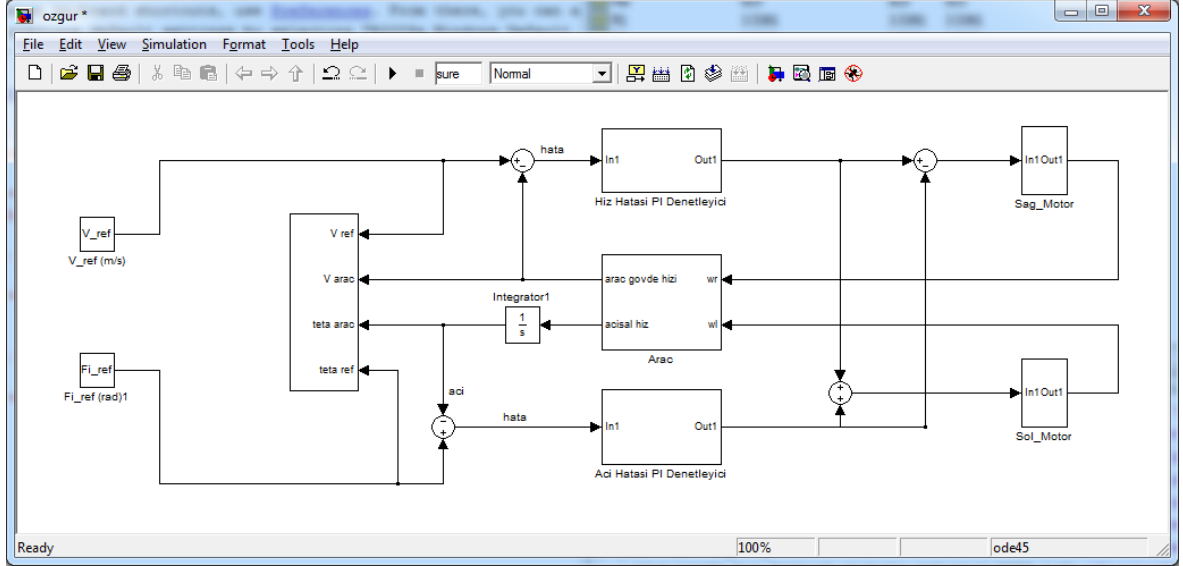
Şekil 6.5. OYA modellemesi

Yapılan çalışmada gerçek yörünge ile referans yörünge'nin görsel olarak karşılaştırılıp analiz edilebilmesi için Şekil 6.6' da verilen blok diyagramı tasarlanmıştır. Giriş işareti olarak aracın gövde hızını ve gövde açısını alan yapı, araç kinematik denklemleri yardımı ile aracın x ve y eksenleri doğrultusundaki bileşenler elde edilerek aracın x-y koordinat düzlemindeki yörüngesi çizdirilmiştir.



Şekil 6.6. Yörüngelerin çizdirileceği blok diyagramı

Araç için tasarlanan kontrol yapısı Şekil 6.7’de verildiği gibi oluşturulmuştur. Yukarıda bahsedilen ölçü ve kontrol blokları işlem sadeliği açısından alt bloklar içine alınmıştır.



Şekil 6.7. Uygulamanın modellemesi

Şekil 6.7’de gösterildiği gibi araç gövde hızı ve yön açısı referans olarak verilmiş olup kontrolörün performansı incelenmiştir. Blok diyagramda referans ve ölçüm değerleri karşılaştırılmış olup hata kontrolöre verilerek uygulanması gereken giriş gerilimi elde edilmiştir.

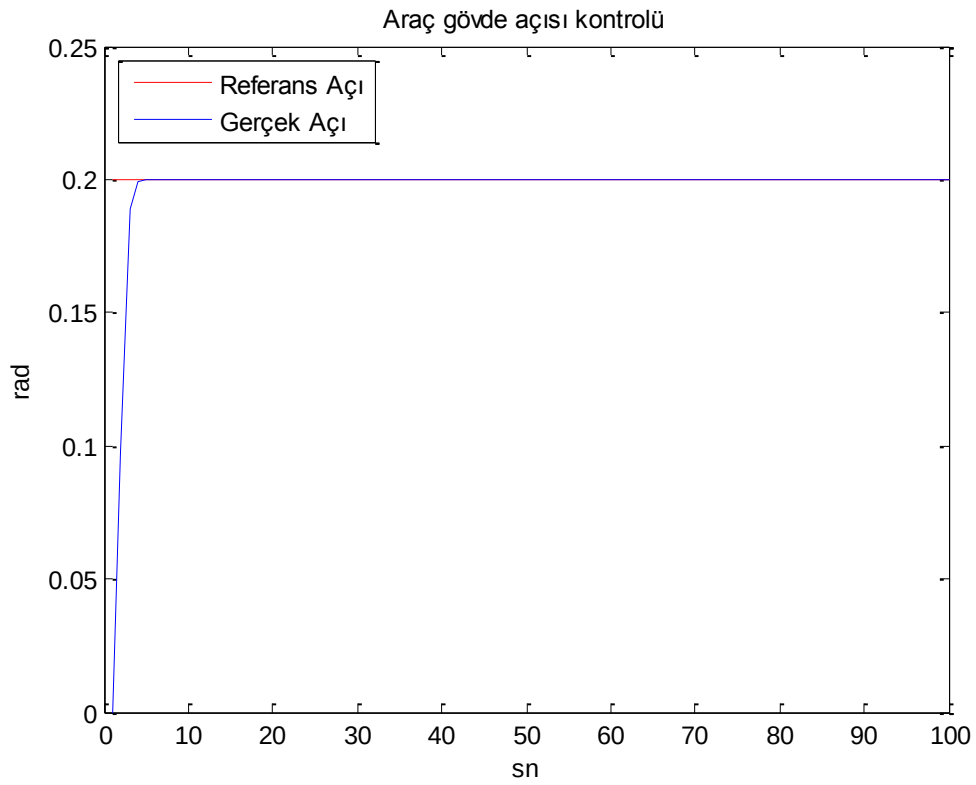
Aracın hız ve gövde açısını kontrol etmek için motorlardan birine hız ve açı hatası toplanarak verilip, diğerine ikisinin farkı verilmiştir. Açı hatasının negatif veya pozitif olma durumunda hata telafisi için motorlar farklı giriş gerilimleri sürülmüş olacak ve bu da motorların farklı hızlarda dönüp aracın istenen gövde açısını elde etmesini sağlayacaktır.

6.1.4. Simulink grafik sonuçları

Araç hareket ve yön kabiliyeti araç üzerindeki birbirinden bağımsız DC motorlar aracılığı ile yapıldığından, kontrolörler ile DC motorun giriş gerilimi kontrol edilmiş olup referans değerler elde edilmeye çalışılmıştır. Yörünge kontrolü gerçekleştirilen aracın dinamik denklemleri hareket ve yön sağlayıcı olarak DC motorların kullanılması nedeni ile ihmal

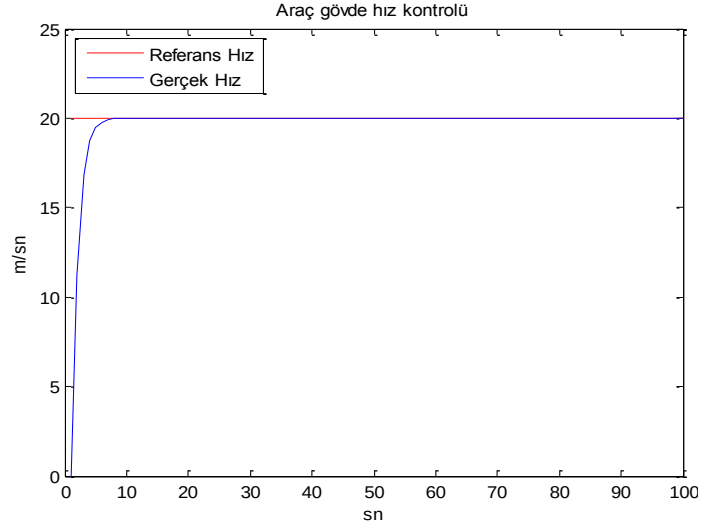
edilmiş ve araç dinamik modeli yerine DC motorun yüksüz durum için durum uzay modeli ele alınmıştır.

Gerçekleştirilen modellemelerde uygun PI değerleri seçilmesiyle Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da aracın gerçek lineer hız ve yön açısının referans lineer hız ve yön açısını hızlı ve küçük hata ile takip ettiği görülmektedir.



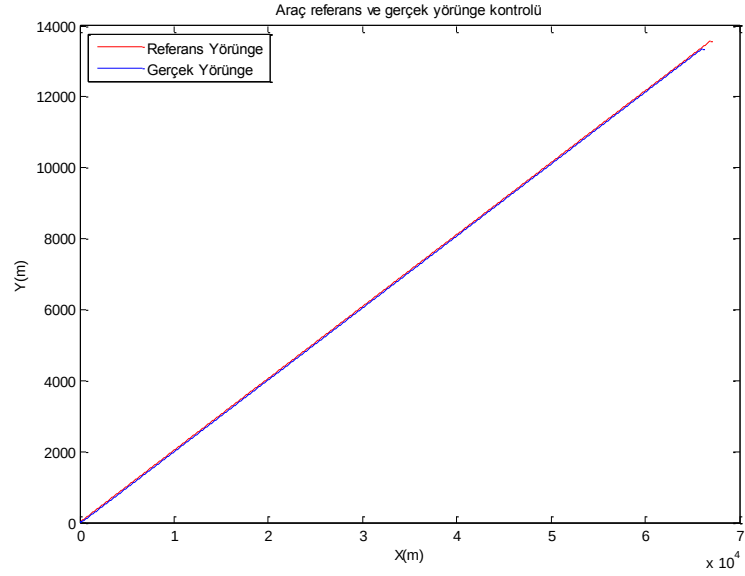
Şekil 6.8. Araç gövde açısı kontrolü

Uygulaması gerçekleştirilen araç için başlangıç açısı 0.2 rad verilmiş ve kontrolörün bu değeri yakalama süresi Şekil 6.8’deki grafik üzerinde gösterilmiştir. Uygulama sonucunda verilen referans açının kısa bir sürede gerçek açı tarafından yakalandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.9. Araç gövde hız kontrolü

Şekil 6.9'da araca 20 m/sn'lik bir referans hız verilmiş ve araç gerçek hızının referans hızı yakalama süresi gösterilmiştir. Gerçek hızın ilk değeri 0 m/sn'dir. Uygulama sonunda gerçek hızın verilen referans hız değerini çok kısa bir sürede yakaladığı görülmektedir.



Şekil 6.10. Araç gerçek ve referans yörünge kontrolü

Şekil 6.10'da aynı anda hem araç için verilen referans hız ve referans açı ile birlikte takip edilmesi istenilen yörünge hem de gerçek hız ve gerçek açının takip ettiği yörünge

gösterilmiştir. Gerçek yörünge için başlangıçta hem referans açının hem de referans hızın yakalanması esnasında hafif bir salınım gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, Simulink ortamında gerçekleştirilen bu çalışmada PI kontrolör kullanılarak referans yörüngenin takip edilmesi amaçlanmıştır. Uygun PI değerleri kullanılarak aracın referans girişler için hızlı cevap verdiği ve hataları minimize ederek yörüngeyi takip ettiği görülmüştür.

6.2. Editör Ortamında OYA

6.2.1. Programın denetimi

Matlab simülink ortamında gerçekleştirilen kontrol yapısı;

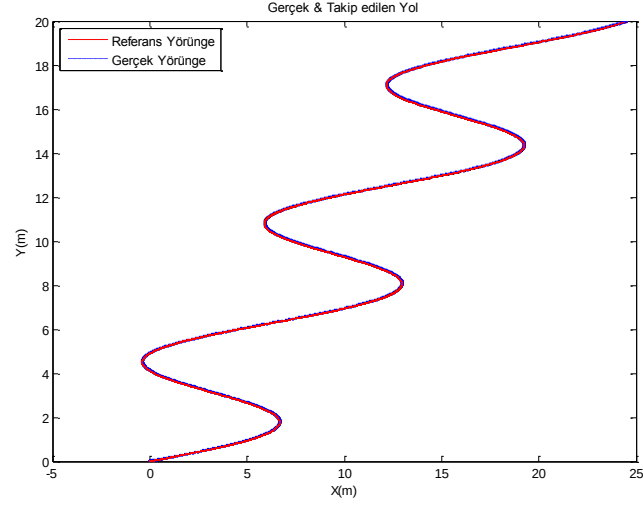
- a) Zamana bağlı olarak yörünge kontrolünü referans olarak işleyememesi,
- b) Takip edilmesi istenen yörüngenin önceden belirtilerek, ters kinematik denklemleri ile referans gövde hızı ve açısının hesaplanamaması,
- c) Araç kinematik ve dinamik denklem karmaşasının modellenmesi gibi zorluklar nedeniyle çalışma ayrıca Matlab editör ortamında hazırlanmıştır.

Bu çalışma ile birlikte tekerlekler üzerindeki açısal değişimler ve yörünge takibi gözlemlenebilmiştir.

6.2.2. Editör grafik sonuçları

Simulink ortamında gerçekleştirilen modelleme için araca fonksiyonel bir yörünge verilemediğinden çalışma aynı zamanda Editör ortamında gerçekleştirilmiştir.

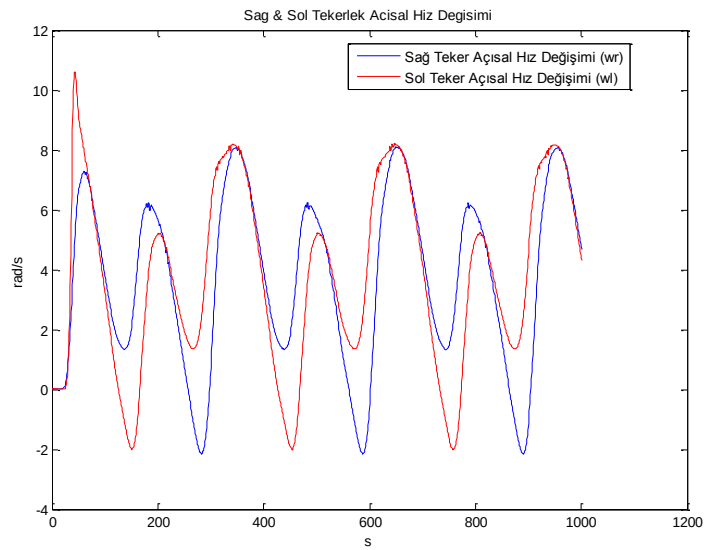
Editör ortamında gerçekleştirilen bu çalışmada araca x ve y doğrultularında takip etmesi için fonksiyonel bir yörünge verilmiş ve Şekil 6.11’de yörünge için aracın takip etmesi gereken referans yörünge ve aracın takip ettiği gerçek yörünge gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Gerçek & takip edilen yol

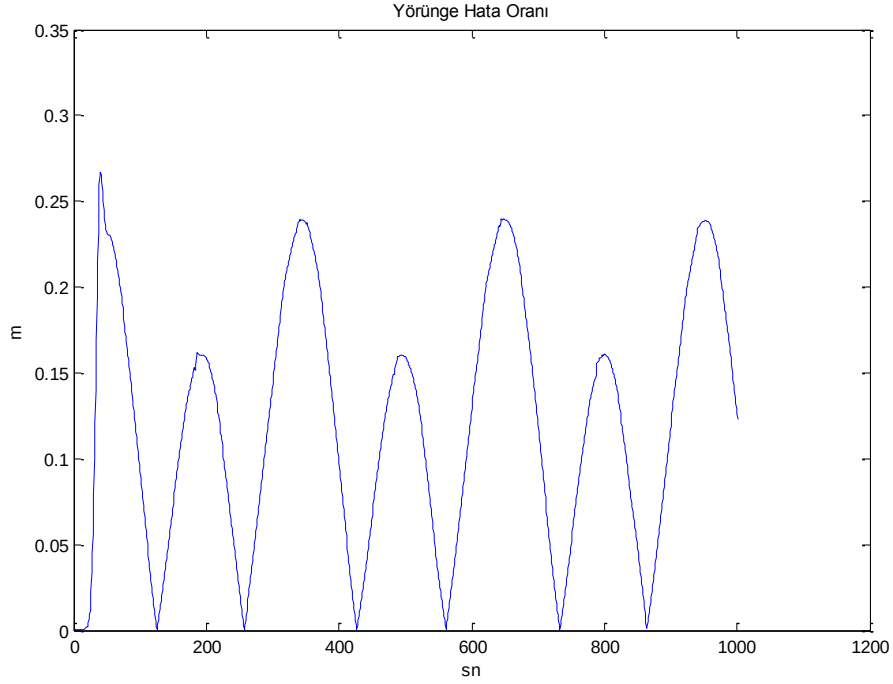
Şekil 6.11’de takip edilmesi istenen yörünge için araca, x doğrultusunda $5 \cdot \sin(t) + t$, y doğrultusunda ise t parametreleri tanımlanmıştır. Aynı zamanda aracın başlangıç açısı için $\pi/4$ değeri verilmiştir.

Araç yörüngesindeki sapmaların telafi edilebilmesi için PD kontrol kullanılmış ve Şekil 6.11’de de anlaşılabileceği üzere referans yörüngesinin çok küçük hatalar ile takip edilebildiği anlaşılmıştır.



Şekil 6.12. Sağ ve sol tekerlek açısal hız değişimi

Şekil 6.12’de kontrolörün, araç tekerlek açısız hızlarının verilen referans yörüngedeki kıvrımlardan dolayı aracın yörüngeyi takip edebilmesi için tekerlek açısız hızlarını azalttığı ve çoğalttığı görülebilmektedir.



Şekil 6.14. Hata oranı

Şekil 6.14’de, gerçek yörüngenin referans yörüngeyi takip ederken yörünge üzerinde meydana gelen hata oranı gösterilmektedir. Buna göre aracın verilen referans yörüngeyi küçük sapmalar ile takip ettiği gözlemlenmektedir.

Simulink ortamında gerçekleştirilen çalışmanın eksik yönlerini telafi niteliğinde Matlab editör ortamında yapılan bu çalışma sonucunda, aracın referans yörüngeyi çok küçük hatalar ile takip edebildiği gözlemlenmiş, kontrolörün yörüngeden sapmayı minimize ederek aracın tekrar referans yörüngeyi takip ettiği görülmüştür.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında yörünge kontrolü için kinematik ve dinamik denklemleri verilen aracın kapalı çevrim blok diyagramları (Şekil 6.7) Matlab Simulink ortamında gerçekleştirilmiş olup temel kontrolörlerden PI kontrolör (Şekil 6.4) modellenen araca uygulanmıştır. Uygulama sonucunda aracın istenen yörüngeyi küçük hata ile takip ettiği görülmüştür (Şekil 6.10). Ayrıca araç dinamik ve kinematik değişim kontrolünün verilen yörüngeye bağlı olarak değişimlerini incelemek amacıyla Matlab editor ortamında araç modellemesi yapılmış ve grafik sonuçları (Şekil 6.11 – 6.13) incelenmiştir.

Her iki ortamda gerçekleştirilen yapı için DC motorlar üzerinde bir yük olmadığı varsayılmış ve denklemler buna göre düzenlenmiştir. Referans yörüngelerin düşük hatalar ile takip edildiği, referans girişleri için kontrolörlerin hızlı cevap ürettiği grafiklerle kanıtlanmıştır.

Yapılan çalışma neticesinde, aracın parametrelerinde her hangi bir değişim söz konusu olduğunda, aracın değişimlere cevap verebilmesi için kontrolörler üzerindeki parametrelerinde değiştirilmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle otomatik yönlendirmeli araçlar üzerine yapılacak yörünge takibi çalışmalarında Adaptif denetim organlarının kullanılmasının uygun olacağı kanısına varılmıştır.

Sonuç olarak, son yıllarda otomatik yönlendirmeli araçların kontrolü büyük ilgi görmüş ve birçok araştırmacı bu konularda çalışmalar yapmıştır. Tasarlanan kontrolörlerin çoğu araç kinematiği üzerine yapılmıştır [34–37]. Bununla birlikte gerçek uygulamalarda yüksek hız veya ağır yük taşınması gereken yerlerde istenen derecede yörünge kontrolünü sadece araç kinematiği dikkate alınarak gerçekleştirmek zor olmuştur. Bu yüzden araç kinematik ve dinamik denklemlerini birlikte kullanılarak kontrolör tasarlamak zorunluluk haline gelmiştir. Yük değişimlerinden kaynaklanan dinamik değişimler ve araç parametrelerinde meydana gelecek değişimlerin araç kinematik denklemleri ile adaptasyonunu gerçekleştirmek, kontrolör seçimini önemli kılmıştır. Bu amaçla son yıllarda sistem karmaşası ve bilinmeyen dinamiklerin çözülmesi için birçok lineer olmayan kontrolör tekniği uygulanmıştır. Dinamik geri beslemeli doğrusallaştırma yöntemi (Dynamic

Feedback Linearization) [37], bulanık mantık (Fuzzy Control) [38–40], yapay sinir ağı (Neural Control) [41–43], kayan tip kontrol yöntemi (Sliding-mode Control) [44-45], geri adım kontrol yöntemi (Back-stepping Control) [46] ve adaptif kontrol (Adaptive Control) [47-48] yörünge kontrolü problemlerini çözümlmek amacıyla kullanılan kontrolör tekniklerindendir. Bundan sonra yapılacak olan OYA çalışmaları, araç parametrelerinde meydana gelebilecek değişimlerinde göz önünde bulundurulması, belirtilen tekniklerin kullanılması ile birlikte daha etkili sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Miller, R.K., “Automated Guided Vehicles and Automated Manufacturing”, ***Society of Manufacturing Engineers Publications Development Department Marketing Division***, (1987).
2. Tanaka, Y., Shioya, M., Kimura, G., and Mori, A., “Detection of Angular Difference by Acoustic Wave Sensor Used in AGV System”, ***Faculty of Technology, Dept. of Electrical Engineering Tokyo Metropolitan University 1-1***, Minami-Ohsawa, Hachiohji, Tokyo 192-03, Japan, (1992).
3. Rajagopalan, R. and Cheng R.M.H., “Guidance Control Scheme Employing Knowledge-Base For AGV Navigation”, ***Centre for Industrial Control Department of Mechanical Engineering Concordia University Montreal***, Quebec, Canada, (1992).
4. Bostel, A.J. and Gan W., “Generation of Optimal Routes in a Neural Network Based AGV Controller”, ***Intelligent Sys. Engineering Conference***, (5-9 September 1994).
5. Assaf, Y., “Predictive Control Strategy For Unmanned Vehicle Navigation”, ***American Control Conference***, Seattle Washington USA, (1995).
6. Tso, S.K., Fung, Y.H., and Cheung Y.P., “Fuzzy-logic Control for Differential-Wheel-drive AGVs Using Linear Opto-sensor Arrays”, ***1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation***, Minneapolis Minnesota, (April 1996).
7. Wijesoma W.S. and Kodagoda K.R.S., “Design of Stable Fuzzy Controllers for an AGV”, ***2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems***, (2000).
8. Wu, N. and Zhoo, M., “Resource-Oriented Petri Nets in Deadlock Avoidance of Agv Systems”, ***2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation Seul***, Korea, (2001).
9. Teo, T.Y., Chai, J.S., and Yao, W.L., “Design of a Positioning System for AGV Navigation”, ***Seventh International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV’02)***, Singapore, (2002).
10. Kadagoda, K.R.S. and Wijesoma, W.S., “Fuzzy Speed and Steering Control of an AGV”, ***IEEE Transactions on Control Systems Tech.***, 10:1, (2002).
11. Lou, K.Y. and Goh, C.H., “Design and Real-time Implementation of a Control System for Port AGV Application”, ***IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation***, Kobe, JAPAN, (2003).

12. Lee, Y.J., Kim, S.K., and Lee, K.S., "Auto Steering Control of Unmanned Container Transport (UCT) With Vision System and Cell-Mideated Immune Algorithm Controller (2004)", *The 30th Annual Conference of The IEEE Industrial Electronics Society*, Busan, KOREA, (2004).
13. Fang, Q. and Xie, C., "A Study on Intelligent Path Following and Control for Vision-Based Automated Guided Vehicle", *World Congress on Intelligent Control and Automation*, Hangzhou. P.R. China, (2004).
14. Corteletti, R. and Barros, P.R., "A Siso Strategy to Control an AGV", *Cefet - Ma/Dee/Lac-Av*, Sao Luis, MA, Brazil, (2005).
15. Joerger, M., Christ, J., and Duncan, R., "Integrated Design of an AGV For Improved GPS Based Following Performance", *International Journal of Vehicle Design*, 42(3-4):263-286, (2006).
16. Wu, Y., Wang, J., Yin, X., and Zhao, Z., "Study for AGV Trajectory Control by Using Fuzzy Reasoning", *Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discover*, (2008).
17. Majdi, M., Anvar, H.S., Barzamini, R., and Soleimanpour, S., "Multi AGV Path Planning in Unknown Environment Using Fuzzy Inference Systems", *ISCCSP*, Malta, (2008).
18. Du, Y., Gao X., Liu, Z. and Sun, M., "The New Navigation System for Automatic Guided Vehicle", *Control and Decision Conference*, Chinese, (2008).
19. Zhan, Y., Liu, H., Liu, Z., Luo, Y., and Dong, J., "The Goods-Flowing System AGV Technology of YUXI Cigarette Factory and the Developmental Research of AGV Nationalization Technology", *Vehicle Electronics Conference*, 1: 425 – 428, (1999).
20. Singh, N., "Systems Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing", *New York John Wiley*, (1996).
21. İnternet : http://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCd%C3%BCm_sistemi, (Erişim tarihi: 31 Ekim 2011).
22. Henlich, O., "Robot Navigation", *Imperial College*, London, (1997).
23. Forger, G., "Non-wire Guidance Systems Take Control of AGVs", *Modern Materials Handling*, (1998).
24. Ertuğrul, M., şabanoviç, A. ve Kaynak, O., "Various VSS Techniques on the Control of Automated Guided Vehicles and Autonomous Mobile Robot", *Project report of*

CAD/CAM Robotics Dept. TUBİTAK Marmara Research Center, Gebze-Kocaeli, Turkey, (1994).

25. İnternet: <http://www.nedirkimdirnasil.com/index.php/dc-motor-ve-parcalari>, (Erişim Tarihi: 15 Aralık 2011).
26. İnternet: http://www.robotiksistem.com/motorlar_motor_cesitleri.html, (Erişim Tarihi: 26 Aralık 2011).
27. İnternet: MEB, “Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi”, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/523EO0190.pdf, (Erişim Tarihi: 21 Aralık 2011).
28. İnternet: <http://elektroteknoloji.com/blog/acik-cevrim-denetim-sisteminin-tanimi-ve-ornekler>, (Erişim Tarihi: 27 Aralık 2011).
29. Dumanay, A.B., “PID, Bulanık Mantık ve Kayan Kip Kontrol yöntemleri ile internet üzerinden DC motor hız kontrolü”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, (2009).
30. Sarioğlu, M.K., “Otomatik Kontrol I-II”, *İTÜ Baskı Atelyesi*, İstanbul, 2-12, (1985).
31. İnternet: Özdemir, N., <http://w3.balikesir.edu.tr/~nozdemir/kontrol1.pdf>, (Erişim Tarihi: 15 Kasım 2011).
32. Çolakoğlu, İ., “Süreç Kontrol” , *Mersin Üniversitesi*, 70-84, (2007).
33. İnternet: <http://www.xdelete.com/elektronik/pid-nedir-ve-pid-ayari-nasil-yapilir.html>, (Erişim tarihi: 18 Aralık 2011).
34. Das, T. and Kar, I.N., “Design and implementation of an adaptive fuzzy logic-based controller for wheeled mobile robots”, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 14: 501–510, (2006).
35. Carelli, R., Santos-Victor, J., Roberti, F., and Tosetti, S., “Direct visual tracking control of remote cellular robots”, *Robotics and Autonomous Systems*, 54: 805 – 814, (2006).
36. Sun, S., “Designing approach on trajectory-tracking control of mobile robot”, *Robotics Computer-Integrated Manufacturing*, 21: 81 – 85, (2005).
37. Oriolo, G., De Luca, A., and Venditteli, M., “WMR control via dynamic feedback linearization: design implementation, and experimental validation”, *IEEE Transactions*, 10: 835 – 852, (2002).

38. Hsiao, M., Tsai, S., and Liu, S., “Combined Interval Type-2 Fuzzy Kinematic and Dynamic Controls of the Wheeled Mobile Robot with Adaptive Sliding-Mode Technique”, **FUZZ-IEEE 2009**, Korea, 706 – 711, (2009).
39. Sepúlveda, R., Castillo, O., Melin, P. , Rodríguez-Díaz, A., and Montiel, O. , “Experimental study of intelligent controllers under uncertainty using type-1 and type-2 fuzzy logic”, **Information Sciences**, 177: 2023 – 2048, (2007)
40. Lin, W.S., Huang, C.L., and Chuang, M.K., “Hierarchical fuzzy control for autonomous navigation of wheeled robots”, **IEE Proceedings: Control Theory and Applications**, 152: 598 – 606, (2005).
41. Hendzel, Z. and Szuster, M., “Discrete neural dynamic programming in wheeled mobile robot control”, **Commun Nonlinear Sci Numer Simulat**, 16: 2355 – 2362, (2011).
42. Su, K., Chen, Y., and Su, S., 2010. “Design of neural-fuzzy-based controller for two autonomously driven wheeled robot”, **Neurocomputing**, 73: 2478 – 2488, (2010).
43. Das, T., Kar, I.N., and Chaudhury, S., “Simple neuron-based adaptive controller for a nonholonomic mobile robot including actuator Dynamics”, **Neurocomputing**, 69: 2140 –2151, (2006).
44. Keighobadi, J. and Mohamadi, Y., “Fuzzy Sliding Mode Control of Non-holonomic Wheeled Mobile Robot”, **SAMI 2011 IEEE 9th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics**, Smolenice, Slovakia, (2011).
45. Chen, C., Li, T., and Yeh, Y., “EP-based kinematic control and adaptive fuzzy sliding-mode dynamic control for wheeled mobile robots”, **Information Sciences**, 179: 180–195, (2009).
46. Pourboghra, F. and Karlsson, M.P., “Adaptive control of dynamic mobile robots with nonholonomic constraints”, **Computers and Electrical Engineering**, 28: 241–253, (2002).
47. Das, T. and Kar, I.N., “Design and implementation of an adaptive fuzzy logic-based controller for wheeled mobile robots”, **IEEE Transactions on Control Systems Technology**, 14: 501– 510, (2006).
48. Martins, F., Celeste, W.C., Carelli, R., Sarcinelli-Filho, M., and Bastos-Filho, T., “An adaptive dynamic controller for autonomous mobile robot trajectory tracking”, **Control Engineering Practice**, 16: 1354 – 1363, (2008).

ÖZGEÇMİŞ

12 Aralık 1981 tarihinde İstanbul'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi İstanbul'da tamamladıktan sonra iki yıl eğitimime ara verdim ve bu süreçte özel bir firmanın bilgi işlem bölümünde 1,5 yıl görev aldım.

2002 yılında Gazi Üniversitesi Çorum Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Programcılığı Bölümünü bitirdim. 2004 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Öğretmenliği bölümünü kazandım. Lisans eğitimim süresince kendi iş yerimi kurarak birçok web sitesi ve otomasyon sistemi yazılımı gerçekleştirdim.

2009 yılından itibaren Bingöl Üniversitesi Enformatik Bölüm Başkanlığı bünyesinde öğretim görevlisi olarak görev yapmaktayım.

Evli ve bir çocuk babasıyım.