

TC.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYMA KIPLI KONTROL VE BULANIK MANTIK  
KULLANARAK ELEKTRIKLI ARAÇLARIN HIZ KONTROLÜ**

Gonca ÖZMEN KOCA

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR EĞİTİMİ  
ANABİLİM DALI

ELAZIĞ  
2005

TC.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYMA KIPLI KONTROL VE BULANIK MANTIK  
KULLANARAK ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN HIZ KONTROLÜ**

Gonca ÖZMEN KOCA

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR EĞİTİMİ  
ANABİLİM DALI

Bu tez, 08.07.2005 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Z. Hakan AKPOLAT

*Z. Akpolat*

Üye : Doç. Dr. Hanifi GÜLDEMİR

*H. Güldeir*

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ALTUN

*H. Altun*

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15.07.2005 tarih ve 2005/224 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

## TEŐEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam boyunca engin bilgisinden yararlandığım, her yönden yol göstericim olan danışmanım Doç. Dr. Z. Hakan AKPOLAT'a, değerli bölüm hocalarıma ve arkadaşlarıma, manevi açıdan desteğini hep hissettiğim aileme, tezin düzenlenmesinde büyük emek harcayan ve her an yanımda olan eşime teşekkürlerimi sunarım.

Gonca ÖZMEN KOCA



# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>I</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>III</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>V</b>
<b>SİMGELER LİSTESİ</b> .....	<b>VI</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>VII</b>
<b>EKLER LİSTESİ</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>X</b>

## **BÖLÜM 1: GİRİŞ**

1.1. Elektrikli Araçların Tarihsel Gelişimi.....	2
1.2. Kayma Kipli Kontrol Ve Erişim Kuralı Yaklaşımı .....	2
1.3. Bulanık Mantık ve Uygulama Alanları.....	3
1.4. Tez Çalışmasının Amacı .....	4
1.5. Tezin İçeriği.....	5

## **BÖLÜM 2: ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ÖZELLİKLERİ**

2.1. Temel Elektrikli Araç Yapıları .....	6
2.1.1. Akümülatör, elektrik motoru ve mekanik diferansiyelden oluşan sistemler.....	6
2.1.2. Akümülatör ve iki elektrik motoru kullanılan diferansiyelsiz sistemler .....	7
2.1.3. Akümülatör, elektrik motoru ve içten yanmalı motordan oluşan karma sistemler .....	8
2.2. Elektrikli Araçlarda Motor Sürücü Sistemleri .....	8
2.2.1. EA motor sürücülerinden beklenen temel özellikler.....	9
2.2.2. Elektrik motorunun seçimi.....	9

## **BÖLÜM 3: ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN MATEMATİKSEL MODELİ**

3.1. Bir Elektrikli Aracın Matematiksel Modeli .....	11
3.1.1. Hızlanma durumu.....	11
3.1.2. Yavaşlama (frenleme) durumu .....	15

## **BÖLÜM 4: KAYMA KIPLİ KONTROL VE BULANIK MANTIK**

4.1. Kayma Kipli Kontrol .....	19
4.1.1. Erişim Kuralı Yaklaşımı .....	22

4.2. Bulanık Mantık .....	23
4.2.1. Bulanık Mantığın Başlıca Uygulama Alanları.....	24
4.2.2. Bulanık Denetim Sistemi .....	24
4.2.2.1. Bulanıklaştırma.....	25
4.2.2.2. Kural tabanı ve bulanık çıkarım.....	26
4.2.2.3. Durultma .....	30
4.2.3. Sugeno Tipi Bulanık Denetleyiciler.....	31

## **BÖLÜM 5: ERİŞİM KURALI YAKLAŞIMI VE BULANIK MANTIK KULLANARAK ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN FARKLI YOL ŞARTLARINDA DAYANIKLI HIZ KONTROLÜ**

5.1. Elektrikli Aracın Hızlanma Modeli İçin Erişim Kuralı Yaklaşımı ile Denetleyici Tasarımı.....	34
5.2. Elektrikli Aracın Yavaşlama Modeli İçin Erişim Kuralı Yaklaşımı ile Denetleyici Tasarımı.....	43
5.3. Önerilen Denetim Sistemi .....	50

## **BÖLÜM 6: SONUÇLAR**

<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>61</b>
------------------------	-----------

## **ÖZGEÇMİŞ**

## **EKLER**

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Akümülatör, elektrik motoru ve mekanik diferansiyelden oluşan sistem.....	7
Şekil 2.2. Akümülatör ve iki elektrik motoru kullanılan diferansiyelsiz sistem .....	7
Şekil 2.3. Akümülatör, elektrik motoru ve içten yanmalı motordan oluşan paralel karma..... sistem .....	8
Şekil 3.1. EA' nın hızlanma ve sabit hız periyotlarında araca etkiyen kuvvetler .....	11
Şekil 3.2. Sürücü sistem.....	12
Şekil 3.3. Kayma oranıyla dönme sürtünme katsayısı arasındaki ilişki.....	14
Şekil 4.1. İkinci derece bir sistem için ulaşma ve kayma modları .....	21
Şekil 4.2. En sık kullanılan üyelik fonksiyonları .....	24
Şekil 4.3. Bulanık denetleyicinin genel yapısı.....	25
Şekil 4.4. Hata ve hata değişiminin grafiksel olarak bulunması .....	26
Şekil 4.5. Çıkış üyelik fonksiyonları.....	27
Şekil 4.6. $e=-0.7$ ve $de=0.3$ değerleri için ilgili kuralların uygulanışı .....	29
Şekil 4.7. İma edilen bulanık çıkış kümeleri.....	29
Şekil 4.8. Toparlama işlemi .....	30
Şekil 4.9. Giriş üyelik fonksiyonları .....	31
Şekil 5.1. Denetlenen sistemi ve tasarlanacak denetleyiciyi içeren kapalı çevrim blok .....	34
Şekil 5.2. $a=0.9$ değerinde farklı yol şartları için aracın hızlanması..... (40km/h referans hız değerine).....	39
Şekil 5.3. Araç hızı 40km/h değerine yükselirken kuru yol şartı için hatanın değişimi .....	41
Şekil 5.4. $a=0.9$ değerinde kuru yol şartı için aracın hızlanması .....	42
(60km/h referans hız değerine).....	42
Şekil 5.5. Kuru yol şartı için aracın hızlanması (20km/h referans hız değerine).....	43
Şekil 5.6. $a=0.3$ değerinde farklı yol şartları için aracın yavaşlaması..... (20km/h referans hız değerinden).....	47
Şekil 5.7. $a=0.3$ değerinde kuru yol şartı için aracın yavaşlaması .....	50
(40km/h referans hız değerinden).....	50
Şekil 5.8. Ayrık zamanda alçak geçiren filtre.....	51
Şekil 5.9. Girişlerin üyelik kümeleri.....	51
Şekil 5.10. BM ve EK yaklaşımı kullanılarak farklı yol şartları için araç gövdesinin..... hızlanması (50km/h referans hız değerine) .....	53
Şekil 5.11. BM ve EK kullanılarak 50km/h referans hız değerine ulaşılırken..... farklı yol şartları için hatanın değişimi.....	56

Şekil 5.12. BM ve EK yaklaşımı kullanılarak farklı yol şartları için aracın yavaşlaması .....  
(30km/h hız değerinden)..... 57



## TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1.Kural tablosu.....	27
Tablo 4.2.Bulunan hata ve hatanın türevlerine göre etkin olan kurallar .....	27
Tablo 5.1. Hızlanma durumu için maksimum a değerleri.....	52
Tablo 5.2. Yavaşlama durumu için maksimum a değerleri .....	53



## SİMGELER LİSTESİ

$W$	:aracın toplam kütlesi (N)
$W_f, W_r$	:ön ve arka tekerlek yükü (N)
$\dot{V}$	:araç gövdesinin ivmesi ( $m/sn^2$ )
$\rho$	:hava yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
$C_d$	:hava direnç katsayısı
$A$	:aracın hava sürtünmesine maruz kalan ön yüzeyi ( $m^2$ )
$V$	:araç gövdesinin hızı (m/sn)
$W_L$	:bozucular (N)
$J$	:atalet momenti ( $kg.m^2$ )
$\dot{\omega}$	:tekerleğin açısal ivmesi ( $rad/sn^2$ )
$\omega$	:tekerleğin açısal hızı (rad/sn)
$B_\omega$	:sürtünme katsayısı ( $N.m.sn^2/rad^2$ )
$T$	:tekerleğin sürücü torku (N.m)
$K_t$	:tork sabiti (N.m/A)
$K_e$	:indüksiyon voltaj sabiti (V.sn/rad)
$K$	:kontrol kazancı
$R_a$	:bobin direnci ( $\Omega$ )
$L$	:bobin indüktansı (H)
$r_\omega$	:tekerleğin yarıçapı (m)
$S$	:anahtarlama fonksiyonu
$e$	:hata
$de$	:hatanın değişimi
$u$	:kontrol işareti

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>EA</b>	: Elektrikli Araçlar
<b>BEA</b>	: Batarya ile Çalışan Elektrikli Araçlar
<b>HEA</b>	: Hibrit Elektrikli Araçlar
<b>YHEA</b>	: Yakıt Hücresi Kullanan Elektrikli Araçlar
<b>KKK</b>	: Kayma Kipli Kontrol
<b>EK</b>	: Erişim Kuralı
<b>BM</b>	: Bulanık Mantık



## **EKLER LİSTESİ**

- Ek-1 a) MATLAB/SIMULINK programında elektrikli aracın hızlanma modeli için EK yaklaşımı ve BM kullanılarak yapılan hız denetimine ait blok şeması
- b) Denetlenen Sistem bloğunun iç yapısı (elektrikli aracın hızlanma modeli)
- c) EK yaklaşımı kullanılarak oluşturulmuş denetleyici bloğunun iç yapısı (hızlanma modeli için)
- Ek-2 a) MATLAB/SIMULINK programında elektrikli aracın yavaşlama modeli için EK yaklaşımı ve BM kullanılarak yapılan hız denetimine ait blok şeması
- b) Denetlenen Sistem bloğunun iç yapısı (elektrikli aracın yavaşlama modeli)
- c) EK yaklaşımı kullanılarak oluşturulmuş denetleyici bloğunun iç yapısı (yavaşlama modeli için)
- d)  $x_{1d}$  (referans hız girişi) bloğunun iç yapısı



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# KAYMA KIPLİ KONTROL VE BULANIK MANTIK KULLANARAK ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN HIZ KONTROLÜ

**Gonca ÖZMEN KOCA**

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi

Ana Bilim Dalı

2005, Sayfa: 62

Bu tezde, fırçasız doğru akım motoru kullanılan bir arkadan itişli elektrikli araç için dayanıklı hız denetleyicisi geliştirilmiştir. Öncelikle, elektrikli aracın matematiksel modeli hızlanma ve yavaşlama (frenleme) durumları için çıkartılmıştır. Tezin temel amacı; elektrikli aracın, farklı yol koşullarında ve farklı referans hız değerlerinde kararlı, güvenli ve yüksek performanslı hızlanmasını ve yavaşlamasını sağlayacak dayanıklı bir denetleyici tasarlamaktır. Bu amaçla, dayanıklı denetim yöntemlerinden biri olan Kayma Kipli Kontrol (KKK) sistem tasarımında kullanılan Erişim Kuralı (EK) yaklaşımı ile elektrikli araç için hız denetleyicisi tasarlanmış ve bu denetim yönteminin uygulanmasıyla ilgili problemler benzetim sonuçlarıyla gösterilmiştir. Daha sonra, Bulanık Mantık ve EK yaklaşımı birlikte kullanılarak yeni bir denetim sistemi geliştirilmiştir. Önerilen denetim sisteminin farklı yol koşulları ve farklı referans hız değerleri için dayanıklı bir denetim sağladığını gösteren benzetim sonuçları sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Elektrikli araç, dayanıklı hız denetimi, Bulanık Mantık, Erişim Kuralı yaklaşımı

## **ABSTRACT**

### **MASTERS THESIS**

# **CONTROL OF ELECTRIC VEHICLES USING SLIDING MODE CONTROL AND FUZZY LOGIC**

**Gonca ÖZMEN KOCA**

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electronic and Computer Education

2005, Page: 62

In this thesis, a robust speed controller is developed for a rear driven Electric Vehicle (EV) in which a brushless DC motor is used. First of all, The mathematical models of EV are derived for both acceleration and deceleration cases. The main objective of the thesis is to design a robust controller that provides stable, safe and high performance acceleration and deceleration for different road conditions and different speed references. For this aim, a speed controller for the EV is designed using the Reaching Law (RL) Control approach which is a technique to design Sliding Mode Control (SMC) systems and the application problems of this system is developed by using Fuzzy Logic (FL) and RL approach together. Simulation results showing the robustness of the purposed controller for different road conditions and different reference speed values are presented.

**Key words:** Electric vehicle, robust velocity control, Fuzzy Logic, Reaching Law approach

## 1. GİRİŞ

Artan taşıt sayısı, yakıt tüketimi ve hava kirliliği özellikle son yıllarda araştırmacıları Elektrikli Araçlarla (EA) ilgili çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Çevre koruma ve enerji tüketimini azaltma çabalarının artışı da EA'larla ilgili çalışmalara yönelimi ve EA'ların gelişimini hızlandırmıştır.

Egzoz gazıyla çevreye yayılan kurşun elementi, petrol türevleri yakıldığında ortaya çıkan zehirli gazlar ve benzinli motorlarda kullanılan motor yağları önemli ölçüde hava ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Ayrıca motorlu araç sayısının hızlı artışı ve petrol kaynaklarının tükenme noktasına yaklaşması, araştırmacıları araçları farklı tahrik sistemleri ile hareket ettirmenin yollarını bulmaya zorlamıştır. Güvenilir, etkili ve çevreyle dost olan elektrik enerjisi araçların elektrik motorları ile hareket ettirilebileceği düşüncesinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu araçlar çeşitli türlerdeki elektrik motorlarını kullanmaktadır. Bir elektrikli aracın tahrik sistemi temel olarak elektrik enerjisi kaynağı, elektrik motoru ve kontrol sisteminden oluşmaktadır. Çevre kirliliğine yol açmaması yanında EA'lar içten yanmalı araçlara göre daha kısa kontrol periyodunda daha doğru kontrol edilebilirler. Ayrıca sessiz çalışırlar ve motor torku tam olarak bilinebilir. Elektrik motorlarının tork cevapları, birkaç milisaniye civarındadır ve içten yanmalı motorlara göre yaklaşık 10-100 katı daha hızlıdır [1]. Bu durum EA için geri besleme kontrolünü mümkün kılar. İçten yanmalı makineler veya hidrolik frenlerle karşılaştırıldığında elektrik motorlarıyla üretilen frenleme ve sürme torku daha küçük belirsizliklere sahiptir [1]. Elektrik motorlarının bu avantajları araç hareket kontrolü için yeni yapıların oluşturulmasına zemin hazırlamıştır.

Elektrikli araçlar genel olarak üç grupta toplanır:

- 1) Batarya (akümülatör) ile Çalışan Elektrikli Araçlar (BEA): Sıfır emisyon ile çalışırlar. İtici gücü elektrik motoru sağlar. Bu gün için BEA'ların benzinli araçların yerini alamamış olmasının başlıca sebepleri, akümülatörlerin ağır, hantal, kapasitelerinin sınırlı ve dolum sürelerinin oldukça uzun olmasıdır. Bu araçlar batarya probleminden dolayı küçük, kısa mesafeli ve düşük hızlı toplu taşıma araçlarında tercih edilir.
- 2) Hibrit (karma) Elektrikli Araçlar (HEA): Bu araçlarda itici gücü elde edebilmek için elektrik motorları ve içten yanmalı motorlar birlikte kullanılır. Düşük emisyon ve uzun sürüş mesafesi avantajları yanında kompleks yapısı ve yüksek maliyeti tercih edilmesini sınırlar. Ticari olarak tüketiciyle buluşmaya hazırdır fakat en büyük sorun maliyetinin yüksek olmasıdır.
- 3) Yakıt Hücreli Kullanan Elektrikli Araçlar (YHEA) : Bu araçlar iyi bir gelecek vaat ederken henüz teknoloji bu sistemlerin ekonomik olarak oluşturulması için yeterli değildir. En önemli problemleri maliyet ve yakıt alma sistemleriyle ilgilidir. Bataryaların enerjilerinin ve enerji

yoğunluklarının benzinden düşük olması araştırmacıları son zamanlarda yakıt hücresi kullanan elektrikli araçlara yöneltmiştir ve konuyla ilgili önemli adımlar atılmıştır. Belki gelecekte YHEA'lar ile elektrikli araçların avantajlarına ek olarak içten yanmalı motorların performansı yakalanacaktır.

HEA'ların kompleks yapısı, maliyeti ve YHEA'ların henüz olgunlaşmamış teknolojisi göz önünde bulundurulursa bu gün için en cazip elektrikli araçlar BEA'lar olarak görünmektedir. Özellikle batarya teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak BEA'larla ilgili çalışmalar tekrar gündeme gelmiştir.

### **1.1. Elektrikli Araçların Tarihsel Gelişimi**

1890'ların sonlarında elektrikli araçlar caddelere ve araba galerilerine hakim olmuştur. Oldsmobile ve Studebaker gibi bazı otomobil şirketleri başarılı EA şirketleri olarak çalışmaya başlamış, ancak sonraları bu şirketlerde benzin gücüyle çalışan araçların üretimine geçilmiştir.

Diğer tüm araçlarda olduğu gibi EA'ların da ilk üretimleri el yapımıdır. 1910 da benzin ile çalışan arabaların motorize montajının başarılması üzerine finansmanı çok iyi olan araba üreticileri dışındaki araba firmaları yok olmuştur. Elektriğin alt yapısının şehir sınırları dışında hemen hemen hiç oluşmamış olması elektrikli araçlarla yolculuğun şehir sınırları içerisinde kalmasına sebep olmuştur. EA'ların üretiminin azalmasına katkıda bulunan diğer bir faktör ise starter olarak adlandırılan elektrik motorlarının benzinle çalışan araçlara eklenmesidir. Böylece EA'lar büyük ölçüde önemini yitirmiştir. I. Dünya Savaşı'nın sonuna kadar EA üretimi durmuş ve varolan elektrikli araçlar taksi, kamyon ve dağıtım aracı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

1960'ların sonu 1970'lerin başında, hava kirliliği ve OPEC'in yakıt ambargosundan dolayı EA'lar yeniden gündeme gelmiştir. 1990'ların başında, birkaç büyük otomobil yapımcısı EA üretimine tekrar başlamış ancak üretim ilk yapılanlarla benzer şekilde özellikle el yapımı ve çok az sayıda yapılmıştır. Bununla birlikte zamanla yapımları azalmış, en son 2003 yılında büyük firmalardan Toyota da EA üretimini bırakmıştır. Ancak artan hava kirliliği, taşıt sayısı ve özellikle büyük teknolojik gelişmeler son yıllarda araştırmacıların bu konuyla yakından ilgilenmesine neden olmuştur.

### **1.2. Kayma Kipli Kontrol Ve Erişim Kuralı Yaklaşımı**

Fiziksel sistemlerin hiçbiri doğrusal değildir. Bu sistemlerin önemli bir kısmında doğrusal denetleyiciler kullanılamaz ve çoğu zaman doğrusal olmayan dayanıklı bir denetime ihtiyaç duyulur. Kayma Kipli Kontrol (KKK) ilk kez 1950'lerin başlarında tek girişli yüksek dereceli diferansiyel eşitlikler ile ifade edilen sistemler için kullanılmıştır [2].Ancak çatırdama probleminden ve tasarım aşamasının eksikliğinden dolayı 1970'lere kadar profesyonel

mühendislik uygulamalarında yer alamamıştır. 1970'lerde dayanıklı bir kontrol sağladığı kabul gören KKK yöntemi ile ilgili çalışmalar artmıştır. En çok çalışılan konular; çatırdama problemini azaltmaya, tasarım aşamalarını basitleştirmeye ve erişim modunun performansının denetimini sağlamaya yöneliktir. Özellikle 1977 yılında 'IEEE Transactions on Automatic Control' adlı dergide yayınlanan makalelerden sonra doğrusal olmayan sistemlerin dayanıklı kontrolüne yönelik KKK ile ilgili önemli gelişmeler olmuştur [3]. Bu konuyla ilgili kontrol araştırmalarını yapan bir grup oluşmuştur. 1983 yılında Slotine ve Sastry tarafından doğrusal olmayan sistemler için yüksek bir performans sağlayan KKK ile ilgili iyi sonuçlar elde edilmiştir [4]. KKK sayesinde sistem sınırlı bir anlamda parametre belirsizliklerine ve harici bozuculara duyarsız hale gelir. Ancak bu yöntemin başta çatırdama problemi olmak üzere önemli birkaç dezavantajının olduğu gözlenmiştir. Kalıcı durumda ulaşılmak istenilen nokta etrafında yüksek frekans osilasyonları olarak ortaya çıkan çatırdama problemi sistemin modellenmemiş yüksek frekans dinamiklerini de beraberinde getirir [4].

Slotine ve Sastry 1983 yılında doğrusal olmayan zamana bağımlı sistemlerin büyük bir kısmı için istenilen değeri doğru bir şekilde izlemeye yönelik birçok gelişme kaydetmiştir [4]. Bu yöntemde izleme doğruluğu ile modellenmemiş yüksek frekans dinamiklerine dayanıklılık arasında bir zıtlık vardır. İzleme doğruluğu artarken modellenmemiş yüksek frekans dinamiklerine dayanıklılık azalmaktadır.

Erişim Kuralı (EK) yaklaşımı, KKK yönteminin kullanımı için yeni bir metot olarak Gao ve Hung tarafından tanıtılmıştır [2]. Bu yaklaşımda, Erişim Kuralı (EK) anahtarlama fonksiyonunun dinamiklerini belirtmek için kullanılan diferansiyel bir eşitliktir. Kontrol girişi, sistemin bilinen modeli ve bozucuların sınırlarının erişim kuralı ile birlikte sentez haline getirilmesi ile elde edilir.

Klasik KKK ile EK yaklaşımı arasındaki en önemli fark tasarım aşamasına başlama noktasıdır. EK yaklaşımında dizayn, ulaşılmak istenilen anahtarlama fonksiyonu (EK) dinamiğinin tanımlanmasıyla başlar. Kontrol kuralı, sistem ve EK eşitlikleri kullanılarak kolayca türetilir. Buna karşılık klasik yöntemde, önce bir Lyapunov fonksiyonu tanımlanır. Daha sonra kontrol kuralı bu fonksiyondan erişim şartını da sağlayacak şekilde türetilir. Böylece EK yaklaşımı metodu kontrol kuralının türetilmesini kolaylaştırır [2].

### **1.3. Bulanık Mantık ve Uygulama Alanları**

Bulanık Mantık (BM) ve Bulanık Küme Teorisi, ilk olarak 1965 yılında Prof. Dr. Lotfi A Zadeh'in yazdığı 'Fuzzy Sets' isimli makalesi ile doğmuş ve hızla gelişmiştir [5]. 1974 yılında Mamdani tarafından BM kullanılarak bir buhar makinesinin denetimi gerçekleştirilmiştir. 1980 yılında çimento fırınlarının BM ile denetimi bir Hollanda şirketi

tarafından yapılmıştır. 1987 yılında ise Hitachi takımı Japon Sendai metrosunun denetleyicisini yine bu mantıkla oluşturmuştur [6].

1990 yılında Japonya’da bulanık denetleyicileri kullanan ürünler tüketiciye sunulmuştur. Örneğin çamaşır makinelerinde çamaşırın cinsine, miktarına ve kirliliğine göre etkili yıkama ve su kullanma programını seçen bulanık denetleyici tasarlanmıştır. Ayrıca özellikle arabalarda yakıt püskürtme ve ateşleme sistemlerinin denetiminde olmak üzere televizyon, elektrik süpürgesi gibi ev aletlerinde de BM denetim kullanılmıştır.

BM tabanlı kontrol uygulamaları doğrusal olmayan zamana bağımlı sistemler için etkili kontrolörlerin gelişmesine imkan vermesiyle son zamanlarda büyük bir önem kazanmıştır [7]. Elektrikli Araçların (EA) hız denetiminde BM özellikle tercih edilmektedir [8]. Çünkü sistem çok karmaşıktır ve kontrol edilmesi zordur. Bir parametrenin değişmesi diğer parametreleri de çok etkiler. Ayrıca bulanık denetleyiciler klasik denetleyiciler ile karşılaştırıldığında daha kaliteli ve performansı daha iyi EA’ların üretilmesine sebep olurlar [8].

ABS’li EA’lar için tekerleğin kaymasını kontrol eden BM tabanlı kontrolörler kullanılmıştır [7]. Fren sistemi doğrusal değildir ve zamana bağımlıdır. Bulanık denetleyiciler dayanıklı bir çekiş sağlayacak özelliklere sahiptir [7]. Ayrıca aracın gerçek hızını kestirip daha sonra bulanık denetleyiciler ile buna göre referans hız üreten sistemlerde EA’lar için kullanılmaktadır [9].

Son yıllarda özellikle Amerika, Japonya ve Almanya’da ticari ve endüstriyel bulanık sistemler başarıyla gerçekleştirilmiştir ve bu sayı gittikçe artmaktadır.

#### **1.4. Tez Çalışmasının Amacı**

Bir aracın hız kontrolü yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta farklı yol şartları için aracın iyi bir performansla çalışmasını sağlamaktır. Bu bağlamda, tez çalışmasında BM ve EK yaklaşımını birlikte kullanarak farklı yol ve hızlarda dayanıklı bir hız denetiminin sağlanması amaçlanmıştır.

Parametre değişimleri ve bozucu girişlere karşı dayanıklı bir kontrolün sağlanması amacıyla EK yaklaşımı kullanılarak hızlanma ve yavaşlama durumları için ayrı ayrı kontrol kuralları çıkarılmıştır. Her yol şartında aracın farklı bir karakteristikle belirli bir hız değerine ulaşması veya bir hız değerinden yavaşlaması da Tip1 BM kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 1.5. Tezin İçeriği

Tezin 2. bölümünde, EA'n temel yapı ve özelliklerine değinilmiştir. Elektrikli motor sürücülerinden beklenen temel özellikler ve uygun motorun seçimi için gerekli özellikler anlatılmıştır.3. bölümde, sabit mıknatışlı fırçasız doğru akım motoru kullanan arkadan itişli bir EA'n matematiksel modeli, hızlanma ve yavaşlama durumları için çıkarılmıştır. 4. bölümde, KKK ve BM'n temellerine değinilmiştir. 5. bölümde, erişim kuralı yaklaşımı ve BM kullanarak EA'ların farklı yol şartlarında dayanıklı hız kontrolünü sağlayan bir denetim yöntemi sunulmuştur, farklı yol şartları ve hız değerleri için elde edilen benzetim sonuçları gösterilmiştir. 6. Bölüm'de ise bu tez çalışmasında elde edilen genel sonuçlara ve önerilere değinilmiştir.



## 2. ELEKTİRLİ ARAÇLARIN ÖZELLİKLERİ

Elektrikli araçlar elektrik motoru, güç konverteri, enerji kaynağı ve kendine özgün bazı karakteristikleri içerir. İtici güç olarak elektrikli motor sürücüler kullanılır. Enerji sistemini batarya ve ultra kapasitörler oluşturur. Enerji kaynağı olarak elektrik şarjı kullanılır.

Günümüzde Elektrikli araçlar ile ilgili en büyük problemler batarya ve bataryanın kullanımı, şarj sorunu ve yüksek performans isteğidir. Daha çok 100-200 km kısa mesafeli toplu taşımacılıkta tercih edilir.

Yıllar süren gelişmeler sonucunda EA teknolojileri olgunlaşmıştır. Fiyatı düşürmek ve sürüş mesafesini arttırmak için ileri teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin elektrikli itici güç sistemini geliştirmek için ileri indüksiyon motorlar ve sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motorları, gelişmiş bataryalar ile EA enerji kaynağını arttırmak için de ultra kapasitörler kullanılmıştır. Daha hafif bir gövde teknolojisi için daha hafif ama sağlam materyaller, aerodinamik rezistansı azaltmak için gövdenin düşük sürtünme katsayısı, düşük ve orta hızlarda sürüş rezistansını azaltmak için de düşük dönme rezistansına sahip tekerlekler kullanılmıştır. Ayrıca ileri şarj teknikleri yanında gücün idareli kullanımı ve çeşitli sıcaklıklardaki EA yardımcı (yedek parça) yapılarının geliştirilmesi de önem kazanmıştır [10].

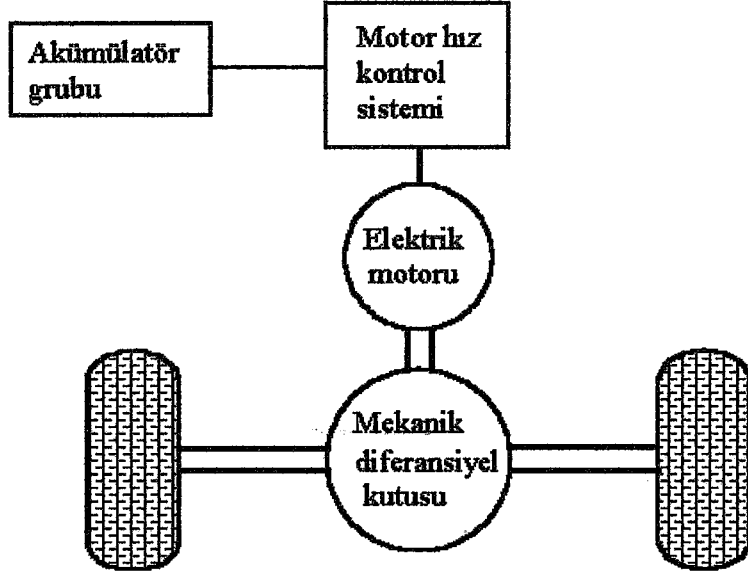
### 2.1. Temel Elektrikli Araç Yapıları

EA'lar için farklı tahrik sistemleri oluşturulmuştur. Tamamen elektrik enerjisi ile çalışan sistemler olduğu gibi elektrik enerjisi ile içten yanmalı motorların birlikte kullanıldığı karma sistemler de bulunmaktadır [11].

#### 2.1.1. Akümülatör, elektrik motoru ve mekanik diferansiyelden oluşan sistemler

Bu sistemlerde elektrik motoru ile akümülatör, içten yanmalı motor ve yakıt deposu ile yer değiştirmiştir. Şekil 2.1'de sistemin blok şeması gösterilmiştir.

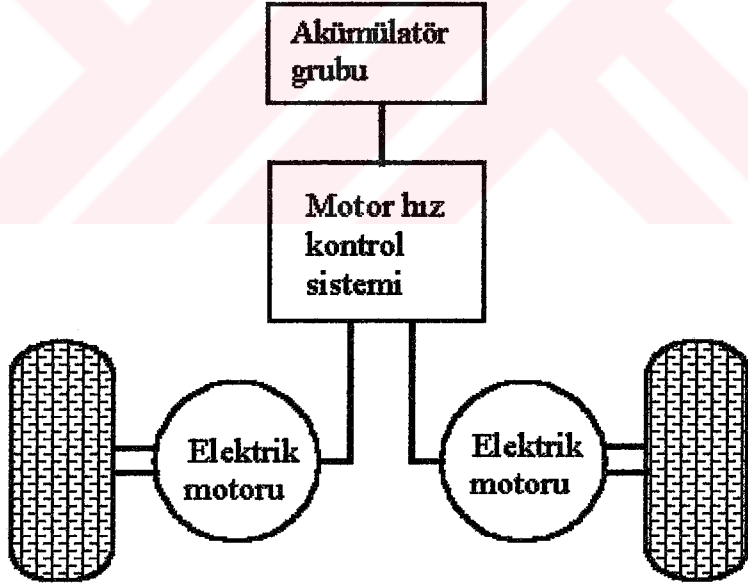
Mekanik diferansiyel kutusu dönüş hareketini tekerleklere iletmek ve tekerlekler arasındaki güç dağılımını düzenlemek için kullanılmaktadır. Ayrıca elektrik motorlarının hız kontrol esnekliği olduğundan vites kutusuna gerek kalmamıştır.



Şekil 2.1. Akümülatör, elektrik motoru ve mekanik diferansiyelden oluşan sistem [11]

### 2.1.2. Akümülatör ve iki elektrik motoru kullanılan diferansiyelsiz sistemler

Bu yapıda çekiş yapan öndeki iki tekerleğe veya arkadaki iki tekerleğe bağımsız birer motor bağlanır. Sistemin blok şeması Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

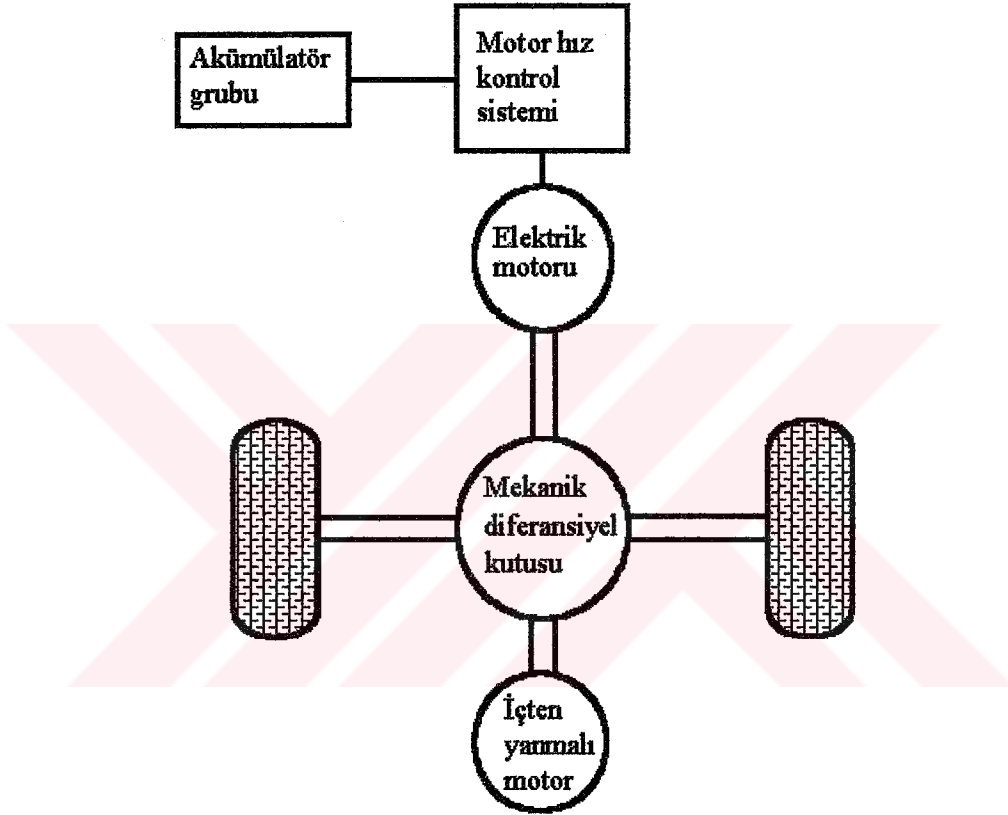


Şekil 2.2. Akümülatör ve iki elektrik motoru kullanılan diferansiyelsiz sistem [11]

Bu sistemde mekanik aktarma organlarının kullanılmamış olması verimi ve güvenilirliği artırır. Ayrıca bakım gereksinimini de azaltır. Motorlar için uygun kontrol kuralları belirlenerek aracın farklı yol şartlarında optimum çekiş sağlaması amaçlanır.

### 2.1.3. Akümülatör, elektrik motoru ve içten yanmalı motordan oluşan karma sistemler

Bu tahrik sistemleri "paralel karma sistemler" olarak adlandırılmaktadır. Elektrik motoru ve içten yanmalı motor paralel çalışır. İki motorda aracın mekanik güç hattına sürekli bağlıdır. Duruma göre ikisinden biri aracı hareket ettirmektedir. Akümülatörlerin tamamen boşalması, yakıtın tükenmesi veya yol şartlarının değişmesi (sıkışık trafik veya otopan) gibi durumlarda optimal çalışmayı sağlamak amacıyla birisi tercih edilir. Sisteme ait blok şeması Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Akümülatör, elektrik motoru ve içten yanmalı motordan oluşan paralel karma sistem [11]

### 2.2. Elektrikli Araçlarda Motor Sürücü Sistemleri

Elektrikle yürütme işlemini sağlayan kısım EA'ların kalbi sayılır. Motor sürücüsü, şanzıman (hareketin iletilmesi) ve tekerlekleri içerir. Şanzıman bazen isteğe bırakılır. Elektrik motoru, güç konverteri ve elektronik kontrolörden oluşan motor sürücüsü elektriksiz yürütme işlemini sağlayan kısmın ana unsurlarıdır.

### 2.2.1. EA motor sürücülerinden beklenen temel özellikler

Elektrikli Araçlarda kullanılacak motorlardan beklenen özellikler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Yüksek ani güç ve yüksek güç yoğunluğu,
- Yüksek hızda yüksek güç ihtiyacı yanında, düşük hızda yol alma (kalkınma) ve tırmanma için yüksek tork,
- Sabit tork ve sabit güç bölgelerini içeren çok geniş hız aralığı,
- Hızlı tork cevabı,
- Yüksek verimli geniş hız ve tork bölgeleri,
- Farklı koşullarda yüksek güvenilirlik ve dayanıklılık,
- Makul fiyatlar.

Yürütme işlemini sağlayan elektriksel kısmın seçimi 3 faktöre bağlıdır. Bunlar sürücü istekleri (beklentileri), araçta mecburi kullanılması gereken kısımlar ve enerji kaynağıdır. Sürücü beklentileri; hızlanma, maksimum hız, tırmanma kapasitesi, frenlemeyi içerir. Mecburi kısımlar; araç tipi, araç ağırlığı ve yük durumlarını kapsar. Enerji konusu ise; batarya ve kapasiteler ile bunların kullanımını ele alır.

EA'lardaki elektriksel kısmın geliştirilmesi çeşitli teknolojilerin büyümesine bağlıdır. Özellikle elektrik motorları, güç elektroniği, mikro elektronik ve kontrol stratejilerinin daha üst seviyeye ulaşması elektriksel kısmın geliştirilmesi ile doğrudan ilgilidir. İndüksiyon motoru ve sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motorları EA'lar için en çok tercih edilen motorlardır. En popüler güç konverter teknolojisi ise, darbe genişlik modülasyonlu base'i izole edilmiş bipolar transistörlü inverterlerdir. Son olarak, en yaygın kontrol teknolojisi; mikroişlemci ve DSP tabanlı vektör kontrolü olduğu söylenebilir.

### 2.2.2. Elektrik motorunun seçimi

Elektrik Araçları söz konusu olduğunda genellikle ilk akla gelen motorlar doğru akım motorlarıdır. Bu motorların tork-hız karakteristikleri çekme gereksinimleri için uygundur ve hız kontrolleri basittir. Ama doğru akım motorları komütatör içerir ve bu nedenle sürekli bakım gerektirir. Son zamanlarda teknolojik gelişmeler komütatörsüz motorlara yönelmeye yol açmıştır. Çünkü komütatörsüz motorlar yüksek güç yoğunluğu, düşük fiyat, daha çok güvenilirlik ve daha az bakım gereksinimi avantajlarına sahiptir. İndüksiyon motorlar komütatörsüz motor tipleri olarak çok tercih edilir. Bu motorlar gelişmiş, güvenilir ve bakım gereksinimi az olan motorlardır. Alternatif olarak, sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motorları da kullanılır [12]. Bunlar manyetik alan oluşturmak için sabit mıknatıs kullanırlar. Böylece

yüksek verimli ve yüksek güç yoğunluklu motorlar elde edilmiş olunur. Anahtarlamalı relüktans motorlar da basit ve sağlam yapılarından dolayı kullanılabilirler.

Bugün en çok kullanılan komütatörsüz motor sürücülerini İndüksiyon motorlarıdır. İndüksiyon motorların dinamik performansını arttırmak için vektör kontrolü tercih edilir. Vektör kontrolü hız aralığının normalden üç, dört kat daha fazla olmasını sağlar ama yüksek hızlardaki verimleri düşüktür.

Modern motorlar arasında İndüksiyon motor sürücülerle yarışabilecek en iyi motor sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motor sürücüleridir. Bu motorların özellikleri aşağıda kısaca belirtilmiştir:

- Manyetik alan, yüksek enerjili sabit mıknatıslarla oluşturulduğundan ağırlık ve hacim küçülmüştür.
- Güç yoğunlukları yüksektir.
- Rotor bakır kayıpları olmadığından dolayı, verimleri indüksiyon motorlardan yüksektir.
- Isı statorda açığa çıkıp etrafa dağıtılabilir.
- Üretici hataları riskinin olmaması, aşırı ısınma ve mekanik bozulmanın olmamasından dolayı yüksek güvenilirliğe sahiptir.
- Rotorun düşük elektro-mekanik zaman sabitinden dolayı verilen giriş gücünde rotorun hızlanması artırılabilir.



$$\frac{W}{g}\dot{V} = \mu_r W_r - \frac{1}{2}\rho C_d A V^2 - W_L \quad (3.1)$$

denklemini yazılabilir. Burada,

$$W_r = \frac{W l_f}{l} + \frac{W h}{g l} \dot{V} + \frac{\rho C_d A H}{2 l} V^2 \quad (3.2.a)$$

dur. Ayrıca ön tekerlek yükü;

$$W_f = \frac{W l_r}{l} + \frac{W h}{g l} \dot{V} + \frac{\rho C_d A H}{2 l} V^2 \quad (3.2.b)$$

olarak ifade edilebilir.

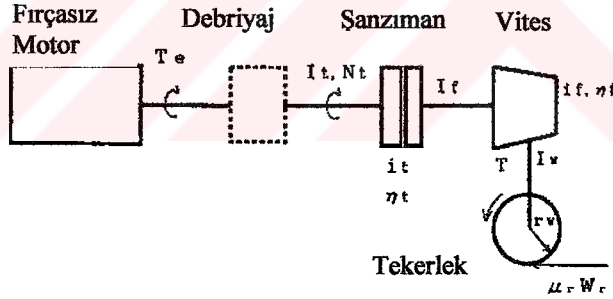
(3.1) ve (3.2.a) denklemlerinden;

$$\dot{V} = \frac{g \rho C_d A (l - \mu_r H)}{2 W (l - \mu_r h)} V^2 + \frac{\mu_r g l_f}{(l - \mu_r h)} - \frac{g l}{W (l - \mu_r h)} W_L \quad (3.3)$$

eşitliği elde edilir. Şekil 3.2'den yine Newton'un 2. yasası ( $\sum T = J\dot{\omega}$ ) kullanılarak;

$$J\dot{\omega} = T - \mu_r W_r r_\omega - B_\omega \omega_\omega^2 - W_L r_\omega \quad (3.4)$$

eşitliği yazılabilir.



Şekil 3.2. Sürücü sistem [13]

Denklem (3.2.a) denklem (3.4)'de yerine yazılırsa;

$$\dot{\omega}_\omega = \frac{B_\omega}{J} \omega_\omega^2 - \frac{\mu_r r_\omega W l_f}{J l} - \frac{\mu_r r_\omega W h}{J g l} \dot{V} - \frac{\mu_r r_\omega \rho C_d A H}{2 J l} V^2 + \frac{T}{J} - \frac{W_L r_\omega}{J} \quad (3.5)$$

denklemini elde edilir. J dönen elemanların (motor, tekerlekler, sürücü transmisyon sistemi gibi) toplam atalet momentidir ve

$$J = I_\omega + \{I_f + (I_t + I_e)\eta_i i_t^2\} \eta_f i_f^2 \quad (3.6)$$

olarak ifade edilir. Denklem (3.5)'de T, tekerleğin sürücü momentidir. 3 fazlı 4 kutuplu fırçasız motorun kullanılması durumunda moment (tork) ifadesi;

$$T = \frac{3K_t \eta_i (KU_m - K_e \omega_\omega)}{R_a + pL} \quad (3.7)$$

olarak yazılabilir  $\left(p = \frac{d}{dt}\right)$ . Genellikle L ihmal edilebilecek kadar küçüktür. L ihmal edilirse

( $L \approx 0$ ) ve denklem (3.7) denklem (3.5)'de yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_\omega = & -\frac{B_\omega}{J} \omega_\omega^2 - \frac{3K_t \eta_i K_e}{JR_a} \omega_\omega - \frac{\mu_r r_\omega W l_f}{Jl} - \frac{\mu_r r_\omega W h}{Jgl} \dot{V} - \frac{\mu r_\omega \rho C_d A H}{2Jl} V^2 \\ & + \frac{3KK_t \eta_i}{JR_a} U_m - \frac{r_\omega}{J} W_L \end{aligned} \quad (3.8)$$

ifadesi elde edilir.

Sürtünme katsayısı  $\mu$ , kayma oranı  $\lambda$ 'ya bağlıdır [14]. Şekil 3.3'de  $\mu$  ile kayma oranı  $\lambda$  arasındaki ilişki dört farklı yol koşulu için gösterilmiştir.

Sürtünme katsayısı, matematiksel olarak;

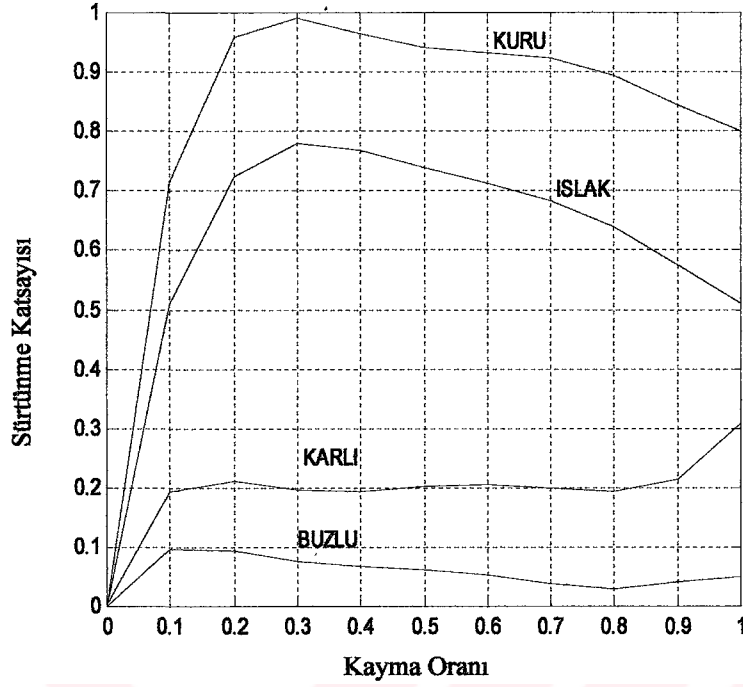
$$\mu = f(\lambda) \quad (3.9)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada kayma oranı,

$$\lambda = \frac{\omega_\omega - V/r_\omega}{z} \quad (3.10)$$

$$z = \begin{cases} \omega_\omega & (\text{hızlanma için}) \\ \frac{V}{r_\omega} & (\text{yavaşlama için}) \end{cases}$$

olarak ifade edilir.



Şekil 3.3. Kayma oranıyla dönme sürtünme katsayısı arasındaki ilişki [13]

Denklem (3.3), denklem (3.8)'de yerine yazılırsa;

$$\dot{\omega}_\omega = -\frac{B_\omega}{J} \omega_\omega^2 - \frac{3K_t \eta_i K_e}{JR_a} \omega_\omega - \frac{\mu_r r_\omega W l_f}{Jl} - \frac{\mu_r r_\omega W h}{Jgl} \left( -\frac{g \rho C_d A (l - \mu_r H)}{2W(l - \mu_r h)} V^2 + \frac{\mu_r g l_f}{(l - \mu_r h)} - \frac{gl}{W(l - \mu_r h)} W_L \right) - \frac{\mu_r r_\omega \rho C_d A H}{2Jl} V^2 - \frac{r_\omega W_L}{J} + \frac{3KK_t \eta_i U_m}{JR_a}$$

ifadesi elde edilir. Durum değişkenleri,

$$x_2 = \omega_\omega \quad (\text{tekerleğin açısal hızı})$$

$$x_1 = \frac{V}{r_\omega} \quad (\text{araba gövdesinin eşdeğer açısal hızı})$$

olarak tanımlanırsa, sistemin doğrusal olmayan durum uzay modeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\dot{x}_1 = -\frac{g \rho C_d A r_\omega (l - \mu_r H)}{2W(l - \mu_r h)} x_1^2 + \frac{\mu_r g l_f}{r_\omega (l - \mu_r h)} - \frac{gl}{r_\omega W (l - \mu_r h)} W_L \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned}\dot{x}_2 = & -\frac{B_\omega}{J}x_2^2 - \frac{3K_t K_e \eta_i}{JR_a}x_2 - \frac{\mu_r r_\omega^3 \rho C_d A(H-h)}{2J(l-\mu_r h)}x_1^2 - \frac{\mu_r r_\omega W_l f}{J(l-\mu_r h)} \\ & + \frac{3KK_t \eta_i}{JR_a}U_m - \frac{r_\omega l}{J(l-\mu_r h)}W_L\end{aligned}\quad (3.12)$$

Eğer,

$$x = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \end{bmatrix}^T \quad (x : \text{durum vektörü})$$

$$U = \begin{bmatrix} 0 & U_m \end{bmatrix}^T \quad (U : \text{kontrol girişi})$$

$$W_L \quad (W_L : \text{bozucular})$$

olarak gösterilirse, sistemin durum uzay modeli,

$$\dot{x} = F(x) + GU + DW_L \quad (3.13)$$

$$y = x$$

olur, burada;

$F$  : durum matrisi

$G$  : tekil olmayan kontrol matrisi (determinantı 0 olmayan matris)

$D$  : harici bozucu matrisidir.  $F$ ,  $G$  ve  $D$  matrisleri aşağıda verilmiştir:

$$F = \begin{bmatrix} -\frac{g\rho C_d A r_\omega (l-\mu_r H)}{2W(l-\mu_r h)}x_1^2 + \frac{\mu_r g l f}{r_\omega (l-\mu_r h)} \\ \frac{\mu_r r_\omega^3 \rho C_d A(H-h)}{2J(l-\mu_r h)}x_1^2 - \frac{B_\omega}{J}x_2^2 - \frac{3K_t K_e \eta_i}{JR_a}x_2 - \frac{\mu_r r_\omega W_l f}{J(l-\mu_r h)} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$G = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \frac{3KK_t \eta_i}{JR_a} \end{bmatrix} ; \quad D = \begin{bmatrix} \frac{g l}{r_\omega W (l-\mu_r h)} \\ \frac{r_\omega l}{J(l-\mu_r h)} \end{bmatrix}$$

Burada,  $\alpha$  keyfi seçilen bir sabittir ve  $G$ 'yi tekil olmayan bir matris yapmak için tanımlanmıştır.

### 3.1.2. Yavaşlama (frenleme) durumu

Hızın azalması durumunda, ön ve arka tekerlekler arasında bölüşülen fren gücü; aracın istikamet (yön) kontrolü (tayini), araç gövdesinin kararlılığı ve aracın frenleme mesafesi gibi sürüş performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İdeal frenleme durumunda, yol yüzeyine karşı ön ve arka tekerlek sürtünme katsayılarının eşit olur.

Burada ön ve arka tekerleğin referans azalma hızını aynı anda takip ettiği varsayılmıştır. Hızın azalmasında;  $W_r$ , arka tekerlek yükü hızlanma durumundaki değerinden daha azdır ve  $W_f$

ön tekerlek yükü artmaktadır. Bu olay yük kayması olarak adlandırılır. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi kayma oranı %10-%20 civarında olduğu zaman sürtünme katsayısı maksimum olur. Aynı zamanda kayma oranı 0 olduğu zaman tekerleğin yan yüzeyine uygulanan kuvvet maksimum olur, kayma oranı arttıkça bu kuvvet lineer bir şekilde azalır. Kayma oranının %100 olduğu durum kilitlenme durumu olarak adlandırılır.

Sürtünme-Kayma eğrisinde pozitif eğim kararlı frenlemeyi gösterirken negatif eğim de kararsız frenlemeyi gösterir. Tekerlek dönmesini (rotasyonunu) sürtünme katsayısı ve kayma karakteristiklerine göre kontrol etmek faydalıdır. Böylece yan yüzey gücünün yeterince güçlü olduğu yerde kayma oranı %10-%20 civarındadır. Burada dönme sürtünme katsayısı maksimum olur ve maksimum fren gücü, tekerlekler kilitlenmeden en kısa kararlı frenleme uzaklığını oluşturur. Bu nedenle arka ve ön tekerlekler, araç gövdesinin referans hızı izlemesi için kontrol edilmelidir. Böylece %20 kayma oranı sürdürülür (sabit tutulur). Kararlı frenleme ve kısa mesafede aracın durması şartlarını sağlayan hız için;  $\mu_r = \mu_f$  dir. Buna göre, sistemin dinamik eşitlikleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\frac{W}{g} \dot{V} = \mu_r W_r + \mu_f W_f - \frac{1}{2} \rho C_d A V^2 - W_L \quad (3.15)$$

$$J_r \dot{\omega}_{or} = -\mu_r W_r r_{\omega} - B_{or} \omega_{or}^2 + K_{Br} U_{Br} \quad (3.16)$$

$$J_f \dot{\omega}_{of} = -\mu_f W_f r_{\omega} - B_{of} \omega_{of}^2 + K_{Bf} U_{Bf} \quad (3.17)$$

Denklem (3.2.a) ve (3.2.b)'de verilen  $W_r$  ve  $W_f$  denklem (3.15), (3.16) ve (3.17)'de yerine yazılırsa ve durum değişkenleri,

$$\frac{V}{r_{\omega}} = x_1 \quad (\text{araba gövdesinin eşdeğer açısız hızı})$$

$$\omega_{or} = x_2 \quad (\text{ön tekerleğin açısız hızı})$$

$$\omega_{of} = x_3 \quad (\text{arka tekerleğin açısız hızı})$$

olarak tanımlanırsa, frenleme esnasındaki durum denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{x}_1 = -\frac{g \rho C_d A r_{\omega} (l - (\mu_r - \mu_f) H)}{2W(l - (\mu_r - \mu_f) h)} x_1^2 + \frac{g(\mu_r l_f + \mu_f l_r)}{r_{\omega} (l - (\mu_r - \mu_f) h)}$$

$$-\frac{gl}{W(l-(\mu_r-\mu_f)h)}W_L \quad (3.18)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 = & -\frac{B_{or}}{J_r}x_2^2 - \frac{3K_tK_e\eta_i}{J_rR_a}x_2 - \frac{\mu_r r_\omega^3 \rho C_d A(H-hl)}{2J_r l(l-(\mu_r-\mu_f)h)}x_1^2 \\ & - \frac{\mu_r r_\omega W(l_f l - h(\mu_r l_f - \mu_f l_r))}{J_r l(l-(\mu_r-\mu_f)h)} + \frac{K_{Br}}{J_r}U_{Br} + \frac{\mu_r r_\omega h}{J_r(l-(\mu_r-\mu_f)h)}W_L \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_3 = & -\frac{B_{of}}{J_f}x_3^2 + \frac{\mu_f r_\omega^3 \rho C_d A(Hl-h)}{2J_f l(l-(\mu_r-\mu_f)h)}x_1^2 - \frac{\mu_r r_\omega W(l_f l - h(\mu_r l_f - \mu_f l_r))}{J_r l(l-(\mu_r-\mu_f)h)} \\ & + \frac{K_{Bf}}{J_f}U_{Bf} + \frac{\mu_f r_\omega h}{J_f(l-(\mu_r-\mu_f)h)}W_L \end{aligned} \quad (3.20)$$

Böylece, sistem dinamiğini temsil eden, denklem (3.13)'de sistemin yavaşlama modeli için F, G ve D matrisleri,

$$F = \begin{bmatrix} \left\{ -\frac{g\rho C_d A r_\omega (l-(\mu_r-\mu_f)H)}{2W(l-(\mu_r-\mu_f)h)}x_1^2 + \frac{g(\mu_r l_f + \mu_f l_r)}{r_\omega(l-(\mu_r-\mu_f)h)} \right\} \\ \left\{ -\frac{B_{or}}{J_r}x_2^2 - \frac{3K_tK_e\eta_i}{J_rR_a}x_2 - \frac{\mu_r r_\omega^3 \rho C_d A(H-hl)}{2J_r l(l-(\mu_r-\mu_f)h)}x_1^2 \right\} \\ \left\{ -\frac{\mu_r r_\omega W(l_f l - h(\mu_r l_f - \mu_f l_r))}{J_r l(l-(\mu_r-\mu_f)h)} \right\} \\ \left\{ -\frac{B_{of}}{J_f}x_3^2 + \frac{\mu_f r_\omega^3 \rho C_d A(Hl-h)}{2J_f l(l-(\mu_r-\mu_f)h)}x_1^2 \right\} \\ \left\{ +\frac{\mu_f r_\omega W(2h(\mu_r l_f + \mu_f l_r) - l_r l)}{J_f l(l-(\mu_r-\mu_f)h)} \right\} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{K_{Br}}{J_r} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_{Bf}}{J_f} \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} -\frac{gl}{W(l - (\mu_r - \mu_f)h)} \\ \frac{\mu_r r_\omega h}{J_r(l - (\mu_r - \mu_f)h)} \\ -\frac{\mu_f r_\omega h}{J_f(l - (\mu_r - \mu_f)h)} \end{bmatrix}$$

olarak yazılabilir.



## 4. KAYMA KIPLİ KONTROL VE BULANIK MANTIK

### 4.1. Kayma Kipli Kontrol

Kayma Kipli Kontrol (KKK), değişen parametrelere sahip veya lineer olmayan sistemlerin kontrolü için kullanılan en etkili dayanıklı kontrol yöntemlerinden biridir [15]. Bu kontrol yöntemi, bozucu girişler ve modellenmemiş parametrelerin etkisinin görüldüğü durumlarda belirsizliklerin ve bozucuların sınırları bilindiği sürece dayanıklı bir kontrol sağlar. KKK değişken yapıllı kontrol olarak da adlandırılmaktadır. Bu metodun en büyük dezavantajı kontrol sinyalinin bir değerden başka bir değere sonsuz hızda anahtarlanması varsayımdır. Pratik sistemlerde mikroişlemciler sonlu bir örnekleme zamanına sahip olduğundan kontrol girişinin sonsuz hızda anahtarlanması imkansızdır. Sonlu örnekleme periyodundan dolayı, pratik KKK uygulamalarında kayma ve kalıcı durum modlarında çatırdama problemi oluşur. Çatırdama, kalıcı durumda ulaşılacak istenilen nokta etrafında yüksek frekans osilasyonları olarak ortaya çıkar ve sistemin modellenmemiş yüksek frekans dinamiklerini ortaya çıkarır. Son yıllarda yapılan pek çok çalışmada bu çatırdamaları azaltma veya yok etmeye yönelik yöntemler önerilmiştir [16].

KKK'de asıl amaç kaçınıcı dereceden olursa olsun sistemin davranışını birinci dereceye indirgeyecek kontrol girişini belirleyerek sistemi birinci derece gibi davranmaya zorlamaktır. Böylece bozucu girişler ve modellenmemiş parametrelerin etkisinin görüldüğü durumlarda bile kararlı ve dayanıklı bir kontrolün elde edilmesi sağlanır.

İkinci derece tek girişli kanonik formdaki bir sistemi göz önüne alalım:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + bu(t) + df(t) \quad (4.1)$$

Burada  $x(t) = [x_1(t), \dot{x}_1(t)]^T$  şeklinde ifade edilen durum vektörü,  $u(t)$  kontrol sinyali,  $A$ ,  $b$  ve  $d$  sabit matrisler ve  $f(t)$  bozucu girişidir. Parametre belirsizlikleri dikkate alınarak denklem (4.1),

$$\dot{x}(t) = (A_n + \Delta A)x(t) + (b_n + \Delta b)u(t) + (d_n + \Delta d)f(t) \quad (4.2)$$

şeklinde yeniden yazılabilir.

Denklem (4.2)'deki  $A_n$ ,  $b_n$  ve  $d_n$  nominal sistem parametrelerinden oluşan matris ve vektörleri,  $\Delta A$ ,  $\Delta b$  ve  $\Delta d$  bilinmeyen sistem parametrelerinin belirsizliğini gösteren matris ve vektörleri temsil etmektedir. Belirsizliklerin toplamını  $L(x, t)$  ile ifade edersek;

$$L(x, t) = B_p(\Delta Ax(t) + \Delta bu(t) + df(t)) \quad (4.3)$$

olur. Buna göre denklem (4.2),

$$\dot{x}(t) = A_n x(t) + b_n (u(t) + L(x, t)) \quad (4.4)$$

olarak ifade edilir.

Denklem (4.3)'deki  $B_p$ ,  $b_n$ 'in sözde (pseudo) tersidir. Aslında  $b_n$  kare matris olmadığı için gerçek anlamda tersi mevcut değildir. Ancak tersi  $B_p = (b_n^T b_n)^{-1} b_n^T$  şeklinde hesaplanabilir. Ayrıca  $|L(x, t)| \leq L_{\max}$  şeklinde sınırlı olarak kabul edilmiştir.

Burada kontrol problemi, model belirsizlikleri ve harici bozucular olsa bile  $x$  durum vektörünün ulaşılmak istenilen durum vektörü  $x^d$ 'i izlemesinin sağlanmasıdır. İzleme hatasını,

$$e = x - x_d = \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_d \\ \dot{x}_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e \\ \dot{e} \end{bmatrix} = [e \quad \dot{e}]^T \quad (4.5)$$

ve anahtarlama fonksiyonunu ise,

$$S = \lambda e + \dot{e} = Ce \quad (4.6)$$

şeklinde ifade edebiliriz. Burada  $S = 0$ 'ın sağlanması durumunda,  $x$ 'in  $x_d$ 'yi izlemesi ve hatanın  $1/\lambda$  zaman sabiti ile azalması garanti altına alınmış olmaktadır. Şekil 4.1'de ikinci derece bir sistem için kayma ve ulaşma modları gösterilmektedir. Denklem (4.6)'da,  $S = \lambda e + \dot{e} = 0$  olarak alınırsa  $\dot{e} = -\lambda e$  doğrusu üzerindeki her noktada  $S = 0$  şartı sağlanır. Orijine doğru kaymayı sağlayacak yani  $e$  ve  $\dot{e}$ 'i sıfır yapacak kontrol girişi  $u$ 'yu belirlemek için bir Lyapunov fonksiyonu kullanılır [17]. Uygun bir Lyapunov fonksiyonu,

$$V = \frac{1}{2} S^2 \quad (4.7)$$

olarak tanımlanabilir.  $V$ 'nin başlangıç değeri sıfırdır. Lyapunov fonksiyonunun sürekli azalan olması ve kontrolün gerçekleşmesi için gerekli şart,

$$\dot{V} = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} (S^2) \leq -\eta |S| \quad (4.8)$$

dir [18].  $\eta$  pozitif bir sayı olmak üzere ulaşma şartı,

$$\dot{S} \operatorname{sgn}(S) \leq -\eta \quad (4.9)$$

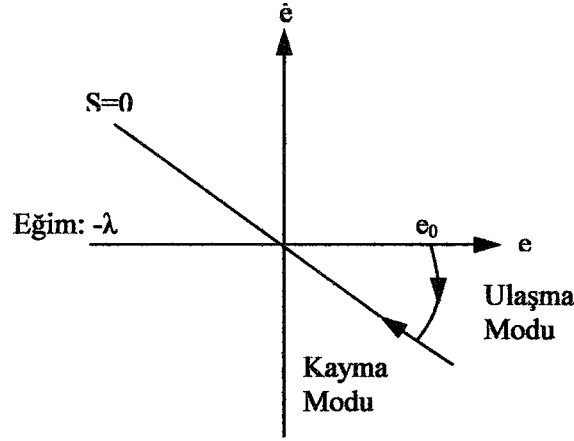
olarak elde edilir. Burada,

$$\operatorname{sgn}(S) = \begin{cases} +1 & S > 0 \\ -1 & S < 0 \end{cases}$$

dir.

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, ulaşma modu  $S = 0$  doğrusuna ulaşma olarak tanımlanır. Kayma modu ise  $e$ 'nin  $S = 0$  doğrusuna ulaştıktan sonra bozucu girişler ve parametre değişiklikleri altında bile, bu doğru üzerinden orijine kaymasıdır.  $S = 0$  ve  $\dot{S} = 0$  olursa bu

bize  $S = 0$  doğrusu üzerinde hareket edildiğini gösterir. Sonsuz hızda anahtarlama için ortalama değer  $S = 0$  doğrusu üzerinde olur.



Şekil 4.1. İkinci derece bir sistem için ulaşma ve kayma modları

Eğer parametre değişiklikleri ve bozucu girişlerin olmadığını varsayarsak denklem (4.1)

$$\dot{x}(t) = A_n x(t) + b_n u(t) \quad (4.10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklem (4.6)'da eşitliğin her iki tarafının türevi alınıp sıfıra eşitlenirse;

$$\dot{S} = \lambda \dot{e} + \ddot{e} = 0 \quad (4.11)$$

ifadesi elde edilir. Bu denklemde, denklem (4.5) ve (4.10) yerine yazılırsa, eşdeğer kontrol kuralı [17];

$$u_{eq} = (Cb_n)^{-1} C(\dot{x}^d - A_n x) \quad (4.12)$$

olarak elde edilir.

$\dot{S} = 0$ , kayma modundaki dinamik olarak tanımlanır.  $\dot{S} = 0$  eşitliği kullanılarak elde edilen  $u_{eq}$  tam olarak bilinen parametreler için eşdeğer kontrol kuralını temsil etmektedir. KKK'de bir kontrol kuralı iki kısımdan oluşur: Birincisi  $u_{eq}$ , ikincisi ise parametre değişiklikleri ve bozucu giriş etkisini bastırarak olan  $u_{max} \text{sgn}(S)$  terimidir. Bu yaklaşıma göre kontrol kuralı,

$$u = u_{eq} - u_{max} \text{sgn}(S) \quad (4.13)$$

olarak ifade edilir.

Denklem (4.5) ve (4.6) kullanılarak, denklem (4.13), (4.4)'de yerine yazılırsa,

$$\dot{S} = Cb_n (-u_{max} \text{sgn}(S) + L) \quad (4.14)$$

elde edilir. Bu eşitlik  $S$ 'in dinamiğini belirler. Denklem (4.9), (4.14)'de yerine yazılırsa,

$$Cb_n u_{\max} \geq Cb_n L \operatorname{sgn}(S) + \eta \quad (4.15)$$

olur. Dayanıklı bir kontrolün sağlanması için,

$$\begin{aligned} Cb_n > 0 \text{ için } u_{\max} &\geq L_{\max} + (Cb_n)^{-1} \eta \\ Cb_n < 0 \text{ için } u_{\max} &\leq -L_{\max} + (Cb_n)^{-1} \eta \end{aligned} \quad (4.16)$$

olması gerekir. Böylece denklem (4.2) ve (4.9) ile ifade edilen sistem için dayanıklı bir kontrolör tasarlanmış olur.

#### 4.1.1. Erişim Kuralı Yaklaşımı

Erişim Kuralı (EK) yaklaşımı, Gao ve Hung tarafından KKK yönteminin kullanımı için yeni bir metot olarak tanıtılmıştır [2]. Bu yaklaşımda, Erişim Kuralı (EK) diferansiyel bir eşitliktir. Kontrol girişi, sistemin bilinen modeli ve bozucuların sınırlarının erişim kuralı ile birlikte sentez haline getirilmesi ile elde edilir. Asimptotik kararlı olan anahtarlama fonksiyonunun diferansiyel eşitliğinin aslında bir erişim şartı olduğuna dikkat edilmelidir.

3. Bölüm'de Denklem (3.13) ile ifade edilen durum uzay modeline sahip sistem için EK yaklaşımı kullanılarak yapılan denetleyici tasarımı aşağıda verilmiştir.

Anahtarlama fonksiyonu;

$$S = Ce = C(x - x_d) \quad (4.17)$$

olarak ifade edilir. Ulaşılmak istenen değeri izleme hatası,

$$e = x - x_d \quad (4.18)$$

dır. Amacımız  $S$ 'i sıfır yapmaktır. Bu aynı zamanda hatayı sıfır yapmak yani istenilen  $x_d$  değerine ulaşmak demektir.

$S$ 'in dinamiğinin azalan olmasını garanti etmek için;

$$\dot{S} = -\beta S - \beta \psi \operatorname{sgn}(S) \quad (4.19)$$

denklemini verilmiştir. Denklem (3.13)  $C$  matrisi ile çarpılırsa;

$$C\dot{x} = CF(x) + CGU + CDW_L \quad (4.20)$$

elde edilir. Denklem (4.17)'nin türevi alınırsa;

$$\begin{aligned} \dot{S} &= C\dot{e} = C(\dot{x} - \dot{x}_d) \\ C\dot{x} &= \dot{S} + C\dot{x}_d \end{aligned} \quad (4.21)$$

olur. Denklem (4.20)'de  $C\dot{x}$  yerine denklem (4.21)'deki değeri yazılırsa;

$$\dot{S} + C\dot{x}_d = CF(x) + CGU + CDW_L \quad (4.22)$$

olarak elde edilir. Denklem (4.19) (4.22)'de yerine yazılırsa;

$$-\beta S - \beta\psi \operatorname{sgn}(S) + C\dot{x}_d = CF(x) + CGU + CDW_L \quad (4.23)$$

ifadesi bulunur. Denklem (4.23)'de  $U$  kontrol girişi yalnız bırakılırsa, kontrol kuralı;

$$U = (CG)^{-1}[C(\dot{x}_d - F(x) - DW_L) - \beta S - \beta\psi \operatorname{sgn}(S)] \quad (4.24)$$

olarak elde edilir.

## 4.2. Bulanık Mantık

Bulanıklık kavramı, niteliği tam anlaşılamayan, iyi seçilmeyen, açık seçik görünmeyen, net olmayan şekilde tanımlanır. Bu kavram, dereceli üyelik kavramı yardımı ile teknik bilim dünyasına da taşınmıştır. Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Teorisi ilk kez 1965 yılında Kaliforniya üniversitesinden Azeri kökenli Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılarak çalışmalara başlanmıştır [5].

Bulanık Kümelere (BK) dayalı olan Bulanık Mantık (BM) genelde, gerçek dünyada meydana gelen her değere bir üyelik derecesi vererek insan düşüncesine özdeş işlemlerin gerçekleşmesini sağlar. Böylece belirsiz ve kesin olmayan verileri modellemeye yardımcı olur. Örneğin  $100^\circ C$  suyun sıcaklığı 'sıcak' olarak ifade edilirse,  $95^\circ C$  suyun sıcaklığının 'sıcak değil' kabul edilmesi doğru olmadığı gibi yanlış da değildir. Bu sebeple önermelerin doğru (1), yanlış (0) değerleri arasındaki değerleri de içermesi daha doğru sonuç verecektir. BK kavramı olarak ifade edilen bu yaklaşım az, sık, orta, düşük, çok gibi dilsel etiketleri kullanarak dereceli veri modellemesini gerçekleştirmektedir. Böylece daha gerçekçi sonuçlar elde edilir.

Geleneksel var-yok mantığında kümeye kesinlikle ait yada kesinlikle ait değil şeklinde iki grup vardır. Keskin küme olarak adlandırılan bu kümelere üye olanlarla olmayanlar arasında kesin bir fark vardır. Ancak gerçekte çoğu terim için bu kesinlik kavramının kullanılması doğru olmaz. BM'lerde ise üye olandan olmayana geçiş kesin biçimde değildir.

BM evrendeki bütün bireylere üyelik derecesi atayarak matematiksel olarak tanımlar. Bu üyelik dereceleri [0-1] kapalı aralıktadır. BM teorisine göre; bir elamanın kümeye üye olup olmadığının eğer üye ise hangi oranda üyesi olduğunun saptanması için üyelik fonksiyonları tanımlanır. En sık kullanılan üyelik fonksiyonları Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. En sık kullanılan üyelik fonksiyonları

#### 4.2.1. Bulanık Mantığın Başlıca Uygulama Alanları

Bulanık mantık; bulanık matematik, bulanık sistemler, bulanık karar verme, belirsizlik ve bilgi, bulanık mantık ve yapay zeka gibi birçok araştırma alanında kullanılmaktadır. Bulanık matematik; bulanık kümeler, bulanık ölçümler, bulanık analiz, bulanık ilişkiler, bulanık topoloji gibi bir çok alanı içinde barındırmaktadır. Bulanık sistemler; bulanık kontrol, bulanık işaret işleme ve haberleşme konuları ile ilgilenmektedir. Bulanık işaret işlemede örüntü ve görüntü tanımadada bulanık mantık kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsi geçen alanların hiçbiri bağımsız değildir, aralarında kuvvetli bir ilişki vardır. Örneğin bulanık matematik ve bulanık mantık kavramları kullanılarak bulanık denetim oluşmuştur.

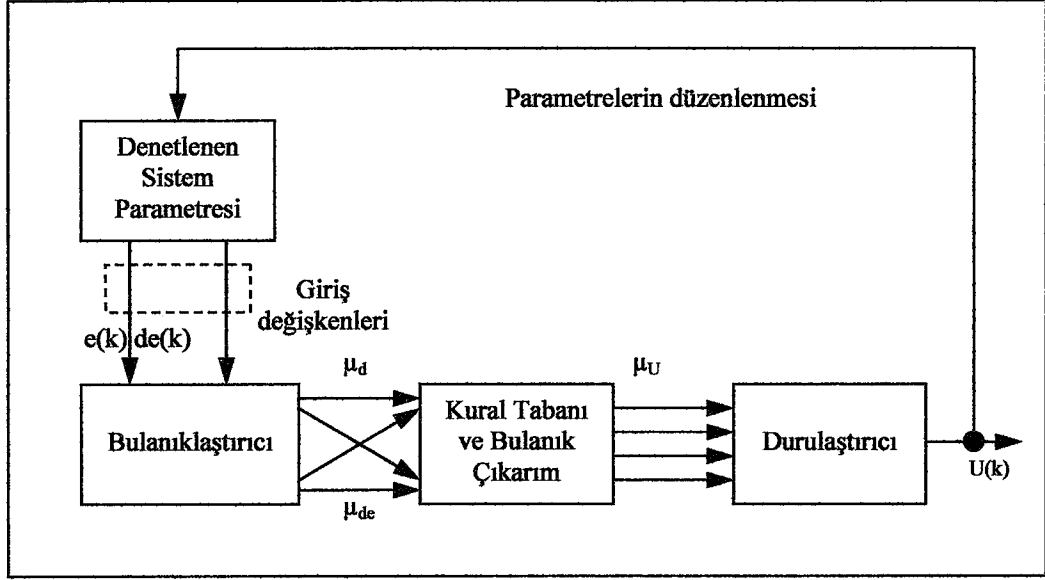
Günümüzde denetimi BM'a dayalı olarak gerçekleştirilen sistemler çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Otomatik çamaşır makinesi, mikrodalga fırın, ısıtıcı, elektrik süpürgesi, televizyon, kablosuz ütü, tıraş makinesi gibi akıllı olarak nitelendirdiğimiz aletler hep bu mantığa dayalı çalışır. Ayrıca uçak iniş kontrol sistemi veya şoförsüz araba uygulamaları da yine BM'ın uygulama alanlarındandır.

#### 4.2.2. Bulanık Denetim Sistemi

Bulanık denetim sistemlerinin çalışmasında insanın düşünme tarzı kullanılmıştır. Bulanık denetleyici yapısı üç ana bölümden oluşur [18]. Bunlar;

- Bulanıklaştırma
- Kural Tabanı ve Bulanık Çıkarım
- Durultma olarak adlandırılır.

Bulanık denetleyicinin genel yapısı Şekil 4.3'de verilmiştir.

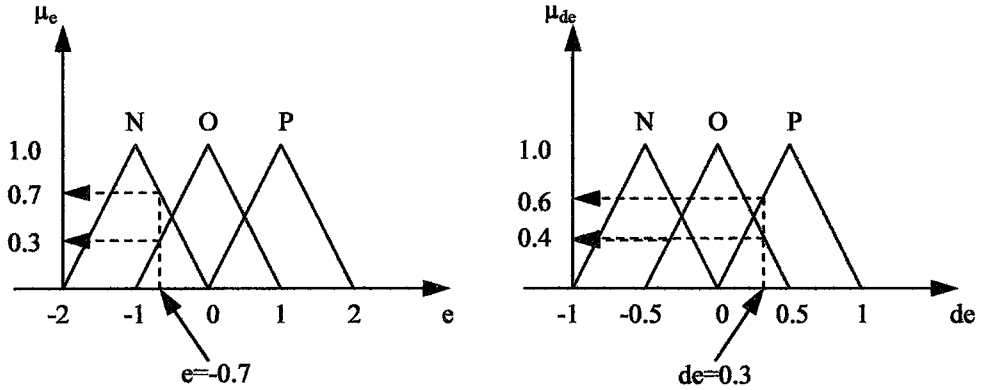


Şekil 4.3. Bulanık denetleyicinin genel yapısı [18]

Şekil 4.3'e göre, önce gerekli parametreler ölçülür. Sonra bu değerler bulanıklaştırıcı ile bulanık sonuçlandırma işleminin yapılacağı bulanık çıkarıma hazır bir hale getirilir. Bulanık çıkarım kısmında bulandırıcının çıkışları (üyelik dereceleri) ve kural tabanı kullanılarak bulanık bir küme oluşturulur. Son olarak da bir durultma yöntemiyle bulanık sonuç değeri elde edilir.

#### 4.2.2.1. Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırıcı giriş değişkenlerinin değerlerini çıkarım mekanizmasında kolayca kullanılacak üyelik derecelerine dönüştürür. Giriş değişkenlerinin aldığı her değere, ilgili giriş değişkeni için tüm bulanık kümelerde bir üyelik derecesi hesaplar. Örneğin ayarlanması gereken parametrenin hatasının ( $e$ ) ve hatanın türevinin ( $de$ ) olduğunu varsayalım. Böylece hata ve hatanın türevi olmak üzere iki giriş tanımlanmış olur. Ayarlanan parametrenin gerçek ve istenen değerleri arasındaki fark hata, bu hatanın değişimi ise hatanın türevi girişini oluşturmaktadır. Bu girişler için Şekil 4.4'de üyelik fonksiyonları ile karakterize edilen bulanık kümelerin tanımlandığını varsayalım. Burada N-'negatif', O-'yaklaşık sıfır',P-'pozitif' anlamlarında kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Hata ve hata değişiminin grafiksel olarak bulunması [18]

Girişleri  $e = -0.7$  ve  $de = 0.3$  değerleri için üyelik dereceleri aşağıda verilmiştir:

Hata ( $e = -0.7$ )		Hatanın değişimi ( $de = 0.3$ )	
Üyelik derecesi	Bulanık Küme	Üyelik derecesi	Bulanık Küme
0.7	N	0.4	O
0.3	O	0.6	P
0	P	0	N

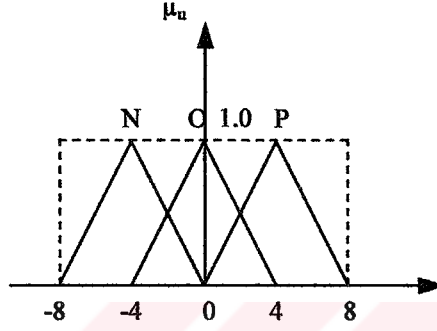
Böylece verilen giriş değerleri ile her üyelik fonksiyonu için bir üyelik derecesi hesaplanmış olur.

#### 4.2.2.2. Kural tabanı ve bulanık çıkarım

Bulanık çıkarım işlemlerinin yapılabilmesi için kural tabanının (veya tablosunun) belirlenmesi gerekir. Kural tablosu sistem hakkında uzman kişilerin sözel ifadelerinden elde edilen IF-THEN kurallarından oluşur. Yukarıda ki örnek için elde edilen bir kural tablosu örneği Tablo 4.1'de verilmiştir. Burada  $u$  çıkış değişkenini temsil etmektedir. Çıkış üyelik fonksiyonları ise Şekil 4.5'de verilmiştir.

**Tablo 4.1.**Kural tablosu [18]

	$N_{de}$	$O_{de}$	$P_{de}$
$N_e$	$P_u$	$P_u$	$O_u$
$O_e$	$P_u$	$O_u$	$N_u$
$P_e$	$O_u$	$N_u$	$N_u$



**Şekil 4.5.** Çıkış üyelik fonksiyonları [18]

Tablo formatında verilen kurallar örneğin,

IF (  $e$  is  $N_e$  AND  $de$  is  $N_{de}$  ) THEN (  $u$  is  $P_u$  ) şeklinde yazılır. Burada AND operatörü yerine OR veya NOT operatörleri de kullanılabilir. Verilen  $e = -0.7$  ve  $de = 0.3$  için üyelik değerlerinin dört farklı kombinasyonu olduğu görülmektedir. Tablo 4.2’de görüldüğü gibi kural tablosunun dört kuralı etkin olacaktır.

**Tablo 4.2.**Bulunan hata ve hatanın türevlerine göre etkin olan kurallar [18]

	$N_{de}$	$O_{de}$	$P_{de}$
$N_e$		<b>2</b>	<b>3</b>
$O_e$		<b>5</b>	<b>6</b>
$P_e$			

} Çıkış Üyelik Fonksiyonları

Başka bir ifadeyle,

- hata negatif ve hatanın değişimi yaklaşık sıfır ise 2. kuralın uygulanması gerekir yani uygulanacak kontrol işareti pozitif olacaktır.

- Hata ve hatanın türevi yaklaşık sıfır ise 5. kuralın uygulanması gerekir yani uygulanacak kontrol işareti sıfır olacaktır.
- Hata negatif ve hatanın değişimi pozitif ise 3. kuralın uygulanması gerekir yani uygulanacak kontrol işareti sıfır olacaktır.
- Hata yaklaşık sıfır ve hatanın değişimi pozitif ise 6. kuralın uygulanması gerekir yani uygulanacak kontrol işareti negatif olacaktır.

Çıkarım mekanizmasında üç ana işlem gerçekleştirilir. Birincisi, terimler arasında yapılan işlemlerdir. Yukarıda da bahsedildiği gibi terimler AND, OR veya NOT işlemleri ile bağlanır. Ancak kontrol uygulamalarında genellikle AND işlemi kullanılır. Giriş değişkenlerinin üyelik dereceleri arasındaki işlem sonucunda her kural için bir kuralın kesinlik derecesi elde edilir. İkincisi, kuralın kesinlik derecesi ile ilgili kuralın bulanık çıkış kümesi arasındaki ima işlemidir. Üçüncüsü, ima edilen bulanık çıkış kümelerinin toparlanması işlemidir. AND, OR, İMA ve TOPARLAMA ifadeleri için genellikle aşağıda belirtilen işlemler kullanılır.

AND: minimum veya çarpma işlemi

OR: maksimum veya olasılık VEYA'sı

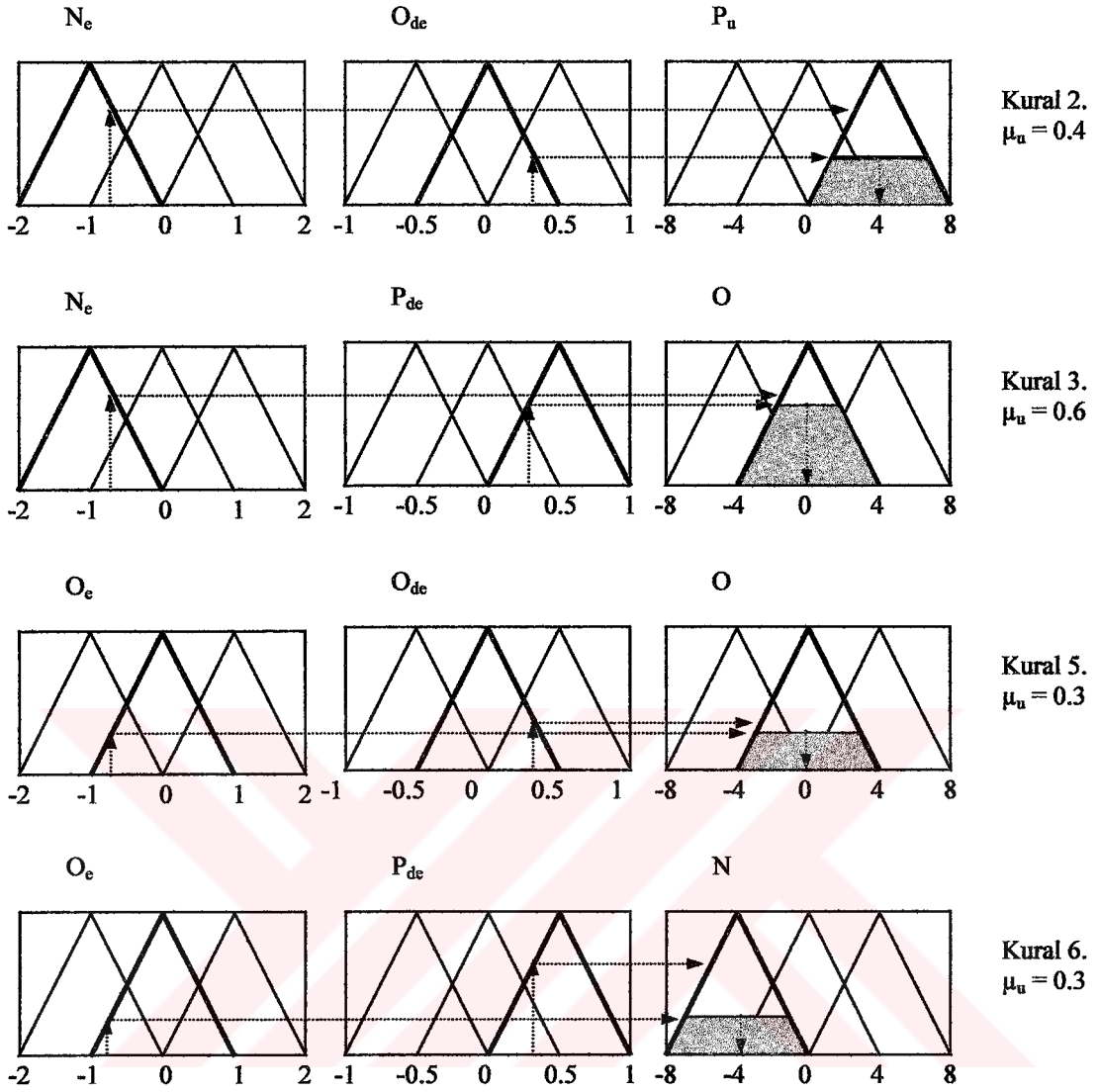
İMA: minimum veya çarpma işlemi

TOPARLAMA: maksimum veya toplama işlemi

Tablo 4.2'de belirtilen dört kural için kuralların kesinlik dereceleri minimum operatörü kullanılarak aşağıda görüldüğü gibi hesaplanabilir:

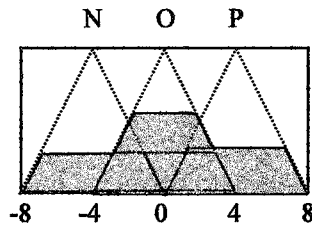
$e = N$ ve $de = O$ için	$u = P$	→	$\min(0.7, 0.4) = 0.4 = \mu_{u1}$
$e = N$ ve $de = P$ için	$u = O$	→	$\min(0.7, 0.6) = 0.6 = \mu_{u2}$
$e = O$ ve $de = O$ için	$u = O$	→	$\min(0.3, 0.4) = 0.3 = \mu_{u3}$
$e = O$ ve $de = P$ için	$u = N$	→	$\min(0.3, 0.6) = 0.3 = \mu_{u4}$

İlgili kuralların kesinlik derecelerinin bulunması ve ima işleminin gerçekleştirilmesi Şekil 4.6'da verilmiştir.

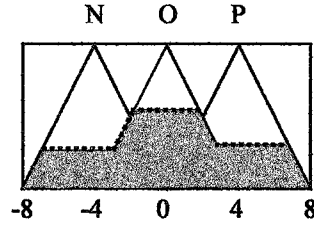


Şekil 4.6.  $e=-0.7$  ve  $de=0.3$  değerleri için ilgili kuralların uygulaması [18]

İma edilen bulanık çıkış kümeleri Şekil 4.7'de, toplama işlemi sonucunda elde edilen bulanık küme ise Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.7. İma edilen bulanık çıkış kümeleri [18]



Şekil 4.8. Toparlama işlemi [18]

Şekil 4.6 ve 4.8'de görüldüğü gibi ima işlemi için minimum, toparlama işlemi için de maksimum operatörü kullanılmıştır.

#### 4.2.2.3. Durultma

Bulanık denetimin son işlemi, uygulanacak kontrol işaretinin normalize edilmiş değerlerinin saptanması yani durulamanın gerçekleştirilmesidir. Durulama, bulanıklaştırıcının aksine bulanık niceliği kesin bir değere dönüştürme işlemidir. Farklı durulama yöntemleri olmasına rağmen en popülerleri 'Ağırlık Merkezi' yöntemidir. Bu yöntemde bulanık çıkış kümesinin ağırlık merkezi denklem (4.25) ile hesaplanır.

$$u^* = \frac{\int u \mu_{out}(u) du}{\int \mu_{out}(u) du} \quad (4.25)$$

$\mu_{out}(u)$  fonksiyonunun integralini hesaplanın zor veya zaman alıcı olduğu durumlarda ağırlık merkezi yöntemi yerine merkezlerin ağırlıklı ortalaması yöntemini kullanmak daha akıllıcadır. Bu yöntemde göre kontrol işaretinin normalize değeri denklem (4.26) kullanılarak hesaplanır.

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{ui} u_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{ui}} \quad (4.26)$$

Bu yöntem toparlama işlemine ihtiyaç duymamaktadır. Çünkü direk ima edilen bulanık çıkış kümelerini kullanılır. Şekil 4.7.'deki ima edilmiş bulanık kümesini kullanarak denklem (4.26)'i gerçekleştirirsek kontrol işaretinin normalize değeri;

$$u^* = \frac{0.4 * (4) + 0.6 * (0) + 0.3 * (0) + 0.3 * (-4)}{0.4 + 0.6 + 0.3 + 0.3} = 0.25 \quad (4.27)$$

olarak bulunur.

### 4.2.3. Sugeno Tipi Bulanık Denetleyiciler

Çok sık kullanılan başka bir bulanık denetleyici türünde Sugeno tipi denetleyicidir [6]. Sugeno tipi bulanık denetleyicilerin çıkışları, şimdiye kadar anlatılan standart bulanık denetleyicilerde olduğu gibi bulanık kümelerle değil de giriş değişkenlerinin fonksiyonları türünden ifade edilir [6]. Sugeno tipi bir denetleyicide kurallar,

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A \text{ AND } x_2 \text{ is } B) \text{ THEN } y = f(x_1, x_2) \quad (4.28)$$

şeklinde ifade edilir. Bu denetleyicilerde durultucu birimine ihtiyaç duyulmaz. Çünkü çıkış doğrudan bir fonksiyonla hesaplanır. Denetleyici çıkışı ise genellikle çıkışların ağırlıklı ortalaması bulunarak hesaplanır. Sugeno tipi bulanık denetleyici tasarımını gerçekleştiren bir örnek [6] aşağıda verilmiştir. Çıkış fonksiyonları,

$$f_1(x_1, x_2) = 3x_1 - 2x_2 + 1 \quad (4.29)$$

$$f_2(x_1, x_2) = x_1 + x_2$$

$$f_3(x_1, x_2) = 2x_1 + x_2 - 2$$

$$f_4(x_1, x_2) = x_1 - 3x_2 + 5$$

kurallar ise,

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A \text{ AND } x_2 \text{ is } B) \text{ THEN } y = f(x_1, x_2) \quad (4.30)$$

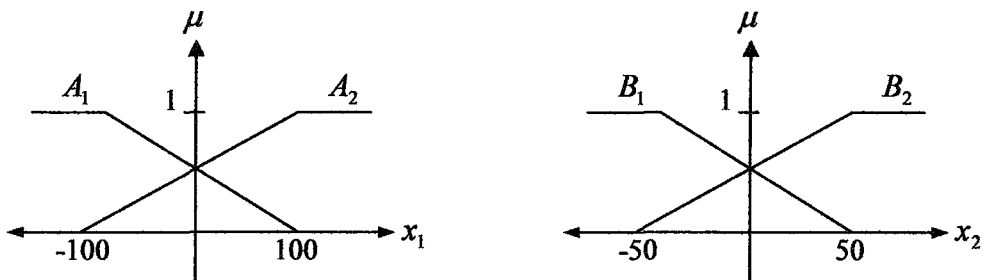
$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A \text{ AND } x_2 \text{ is } B) \text{ THEN } y = f(x_1, x_2)$$

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A \text{ AND } x_2 \text{ is } B) \text{ THEN } y = f(x_1, x_2)$$

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A \text{ AND } x_2 \text{ is } B) \text{ THEN } y = f(x_1, x_2)$$

olarak verilmiştir.  $x_1=50, x_2=0$  değerleri için denetleyicinin çıkışını hesaplayalım;

$x_1$  ve  $x_2$  için tanımlanan üyelik fonksiyonları Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Giriş üyelik fonksiyonları [6]

Bulandırıcıda yapılan hesaplar aşağıda verilmiştir.

$x_1 = 50$  olmak üzere;

$$\mu_{A_1}(x_1) = \begin{cases} 0 & x_1 > 100 \\ 1 & x_1 < -100 \\ -\frac{1}{200}x_1 + 0.5 & -100 \leq x_1 \leq 100 \end{cases} \quad (4.31)$$

$$\mu_{A_1}(50) = -\frac{1}{200}50 + 0.5 = 0.25$$

$$\mu_{A_2}(x_1) = \begin{cases} 0 & x_1 < 100 \\ 1 & x_1 > -100 \\ \frac{1}{200}x_1 + 0.5 & -100 \leq x_1 \leq 100 \end{cases} \quad (4.32)$$

$$\mu_{A_2}(50) = \frac{1}{200}50 + 0.5 = 0.75$$

olur.

$x_2 = 0$  olmak üzere;

$$\mu_{B_1}(x_2) = \begin{cases} 0 & x_2 > 50 \\ 1 & x_2 < -50 \\ -\frac{1}{100}x_2 + 0.5 & -50 \leq x_2 \leq 50 \end{cases} \quad (4.33)$$

$$\mu_{B_1}(0) = -\frac{1}{100}0 + 0.5 = 0.5$$

$$\mu_{B_2}(x_2) = \begin{cases} 0 & x_2 < -50 \\ 1 & x_2 > 50 \\ \frac{1}{100}x_2 + 0.5 & -50 \leq x_2 \leq 50 \end{cases} \quad (4.34)$$

$$\mu_{B_2}(0) = \frac{1}{100}0 + 0.5 = 0.5$$

dir. Girişlerin  $x_1 = 50$  ve  $x_2 = 0$  değerleri için üyelik dereceleri aşağıda verilmiştir:

$x_1 = 50$		$x_2 = 0$	
<u>Üyelik derecesi</u>	<u>Bulanık Küme</u>	<u>Üyelik derecesi</u>	<u>Bulanık Küme</u>
0.25	$A_1$	0.5	$B_1$
0.75	$A_2$	0.5	$B_2$

Bu üyelik dereceleri kullanılarak kuralların kesinlik dereceleri,

1. kuralın kesinlik derecesi:  $\mu_{11}^{CR} = 0.25 * 0.5 = 0.125$

2. kuralın kesinlik derecesi:  $\mu_{12}^{CR} = 0.25 * 0.5 = 0.125$

3. kuralın kesinlik derecesi:  $\mu_{21}^{CR} = 0.75 * 0.5 = 0.375$

4. kuralın kesinlik derecesi:  $\mu_{22}^{CR} = 0.75 * 0.5 = 0.375$

olarak bulunur. Çıkışın değerini bulmak için ağırlıklı ortalama metodu kullanılır [6]. Buna göre:

$$y = \frac{\mu_{11}^{CR} * f_1(50,0) + \mu_{12}^{CR} * f_2(50,0) + \mu_{21}^{CR} * f_3(50,0) + \mu_{22}^{CR} * f_4(50,0)}{\mu_{11}^{CR} + \mu_{12}^{CR} + \mu_{21}^{CR} + \mu_{22}^{CR}} \quad (4.35)$$

$$y = 82.5$$

olarak hesaplanır.

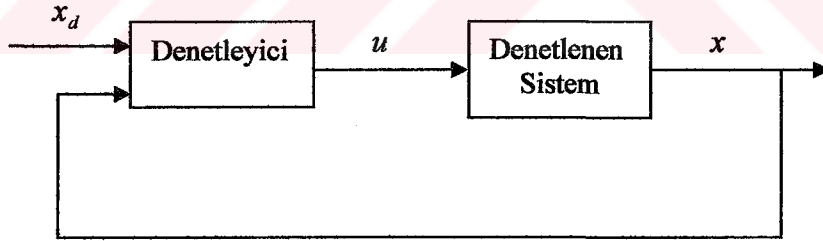
## 5. ERİŞİM KURALI YAKLAŞIMI VE BULANIK MANTIK KULLANARAK ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN FARKLI YOL ŞARTLARINDA DAYANIKLI HIZ KONTROLÜ

Bu bölümde öncelikle, Kayma Kipli Kontrol (KKK) tasarımında kullanılan Erişim Kuralı (EK) yaklaşımı ile bir elektrikli araç için hız denetleyicisi tasarlanacak bu denetim yöntemindeki problemler benzetim sonuçlarıyla ortaya konacaktır.

Daha sonra farklı yol koşullarında ve farklı hızlarda elektrikli araçlar için dayanıklı bir hız kontrolü sağlamak amacıyla Bulanık Mantık (BM) ve EK yaklaşımı birlikte kullanılarak yeni bir denetim sistemi anlatılacaktır. Önerilen yeni denetim sisteminin etkinliğini gösteren benzetim sonuçları, arkadan itişli bir elektrikli araç için 3. Bölüm'de verilen hızlanma ve yavaşlama modelleri için ayrı ayrı sunulacaktır. MATLAB/SIMULINK kullanılarak yapılan benzetim çalışmalarına ait blok şemaları Ek-1 ve Ek-2'de verilmiştir.

### 5.1. Elektrikli Aracın Hızlanma Modeli İçin Erişim Kuralı Yaklaşımı ile Denetleyici Tasarımı

Bu bölümde EK yaklaşımı ile bir elektrikli aracın hız denetimi yapılacaktır. Bunun için, denetlenen sistemi ve tasarlanacak denetleyiciyi içeren kapalı çevrim blok diyagramı Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Denetlenen sistemi ve tasarlanacak denetleyiciyi içeren kapalı çevrim blok diyagramı

Burada  $x_d$  ulaşılmak istenilen hız değeridir. Şekil 5.1'de de görüldüğü gibi gerçek hız değeri ile ulaşılmak istenilen hız değeri karşılaştırılır ve elde edilen hataya göre denetleyici çıkışında bir kontrol sinyali ( $U$ ) üretilir. Bu kontrol sinyali sisteme uygulanarak istenilen hız değerine ulaşılmaya çalışılır. Yani amaç hatayı sıfır yapmaktır.

Sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motoru kullanan bir arkadan itişli elektrikli aracın matematiksel modeli hızlanma ve yavaşlama (frenleme) durumları için 3. Bölüm'de

çıkartılmıştır. Buna göre, denetlenecek elektrikli aracın hızlanma durumuna ait Denklem (3.13) ve (3.14) ile gösterilen durum uzay modeli aşağıda verilmiştir.

$$\dot{x} = F(x) + GU + DW_L$$

$$y = x$$

$$F = \begin{bmatrix} -\frac{g\rho C_d A r_\omega (l - \mu_r H)}{2W(l - \mu_r h)} x_1^2 + \frac{\mu_r g l_f}{r_\omega (l - \mu_r h)} \\ \frac{\mu_r r_\omega^3 \rho C_d A (H - h)}{2J(l - \mu_r h)} x_1^2 - \frac{B_\omega}{J} x_2^2 - \frac{3K_t K_e \eta_i}{JR_a} x_2 - \frac{\mu_r r_\omega W l_f}{J(l - \mu_r h)} \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \frac{3KK_t \eta_i}{JR_a} \end{bmatrix} ; \quad D = \begin{bmatrix} -\frac{gl}{r_\omega W (l - \mu_r h)} \\ \frac{r_\omega l}{J(l - \mu_r h)} \end{bmatrix}$$

Burada  $F$ ,  $G$  ve  $D$  matrisleri sırasıyla; durum matrisi, tekil olmayan kontrol matrisi (determinantı 0 olmayan matris) ve harici bozucu matrisidir. Ayrıca  $x$  durum vektörünü,  $U$  kontrol girişini ve  $W_L$  ise bozucuları göstermektedir. Bunlar aşağıda verilmiştir.

$$x = [x_1 \quad x_2]^T$$

$$U = [0 \quad U_m]^T$$

$x$  vektörü, daha önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi;

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

şeklinde dir. Burada;

$$x_1 = \frac{V}{r_\omega} \quad (\text{araba gövdesinin eşdeğer açısal hızı})$$

$$x_2 = \omega_\omega \quad (\text{tekerleğin açısal hızı})$$

dır.

Bu kısımda amacımız araç gövdesinin eşdeğer açısal hızını kontrol etmektir. Aynı anda hem araba gövdesinin, hem de tekerleğin açısal hızlarının kontrol edilmesi imkansızdır. Çünkü bu modelde tekerleğin açısal hızı ile aracın hızı arasında direkt bir bağıntı yoktur. Farklı yol şartları için aracın belirli bir hızda gitmesi istenilirken, tekerleğinde yine belirlediğimiz farklı bir

hızda dönmesi mümkün değildir. Seçtiğimiz araç arkadan itişli olduğu için ön tekerleğin açısız hızı, araç gövdesinin eşdeğer açısız hızına eşittir. Böylece ön tekerlek hızı ölçülmek suretiyle arabanın gövdesinin hızı kestirilebilir. Arka tekerleğin açısız hızı  $x_2 = x_{2d}$  olarak alınıp tasarım buna göre gerçekleştirilir.

Denetleyici tasarımının birinci bölümünde KKK tasarımında kullanılan EK yaklaşımı ile yukarıda matematiksel modeli verilen elektrikli araç için hız denetleyicisi tasarlanacaktır. 4. Bölüm'de anlatılan EK yaklaşımına göre, ulaşılmak istenilen değeri izleme hatası ( $e$ ) aşağıda verilmiştir.

$$e = x - x_d$$

Denklem (4.8) ile ifade edilen anahtarlama fonksiyonu ise;

$$S = Ce = C(x - x_d)$$

dır. Amacımız  $S$ 'i sıfır yapmaktır. Bu aynı zamanda hatayı sıfır yapmak yani istenilen  $x_d$  değerine ulaşmak demektir. 4. Bölümde Denklem (4.24) ile gösterilen kontrol girişi aşağıda verilmiştir.

$$U = (CG)^{-1} [C(\dot{x}_d - F(x) - DW_L) - \beta S - \beta \psi \operatorname{sgn}(S)]$$

Denklem (4.8)'e göre;

$$S = Ce = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

olur. Burada;

$$e_1 = x_1 - x_{1d},$$

$$e_2 = x_2 - x_{2d} \quad (5.2)$$

dir. Benzetim gerçekleştirilirken  $x_2 = x_{2d}$  olarak alınacağından  $e_2$  hatası sıfır olur. Böylece sadece  $e_1 = 0$  yani  $x_1 = x_{1d}$  olduğu zaman  $S = 0$  olur. Buda istenilen amaca ulaşmak anlamına gelir.

Denklem (4.24)'de elde edilen  $U$  kontrol sinyalinin hızlanma modeli kullanılarak yeniden düzenlenmesi için gerekli işlemler aşağıda verilmiştir.

$$(CG)^{-1} = [\lambda_1 \quad 1] \begin{bmatrix} 0 \\ q \end{bmatrix} = \frac{1}{q} \quad (5.3)$$

$$C(\dot{x}_d - F(x) - DW_L) = [\lambda_1 \quad 1] \left( - \begin{bmatrix} -ax_1^2 + b \\ -dx_1^2 - ex_2^2 - fx_2 - g \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -c \\ -m \end{bmatrix} W_L + \begin{bmatrix} \dot{x}_{1d} \\ \dot{x}_{2d} \end{bmatrix} \right) \quad (5.4)$$

Denklem (5.3) ve (5.4)'deki sabitler,

$$a = \frac{g\rho C_d A r_\omega (l - \mu_r H)}{2W(l - \mu_r h)}$$

$$b = \frac{\mu_r g l_f}{r_\omega (l - \mu_r h)}$$

$$c = \frac{gl}{r_\omega W(l - \mu_r h)}$$

$$d = \frac{\mu_r r_\omega^3 \rho C_d A (H - h)}{2J(l - \mu_r h)}$$

$$e = \frac{B_\omega}{J}$$

$$f = \frac{3K_t \eta_i K_e}{JR_a}$$

$$g = \frac{\mu_r r_\omega W l_f}{J(l - \mu_r h)}$$

$$m = \frac{r_\omega l}{J(l - \mu_r h)}$$

$$q = \frac{3KK_t \eta_i}{JR_a}$$

şeklindedir.

$$\beta S = \beta_1 [\lambda_1 \quad 1] \begin{bmatrix} x_1 - x_{1d} \\ x_2 - x_{2d} \end{bmatrix}, \quad \beta \psi \operatorname{sgn}(S) = \beta_1 \psi_1 \operatorname{sgn}(S) \quad (5.5)$$

dir. Denklem (5.3), (5.4) ve (5.5) kullanılarak oluşturulan kontrol sinyali aşağıda verilmiştir.

$$U = \frac{1}{q}((a\lambda_1 + d)x_1^2 + ex_2^2 + fx_2 - \beta_1\lambda_1x_1 + (m + c\lambda_1)W_L + (g - \lambda_1b) \\ + \lambda_1\dot{x}_{1d} + \dot{x}_{2d} - \beta_1\psi_1 \operatorname{sgn}(S) + \beta_1\lambda_1x_{1d} - \beta_1x_2 + \beta_1x_{2d})$$

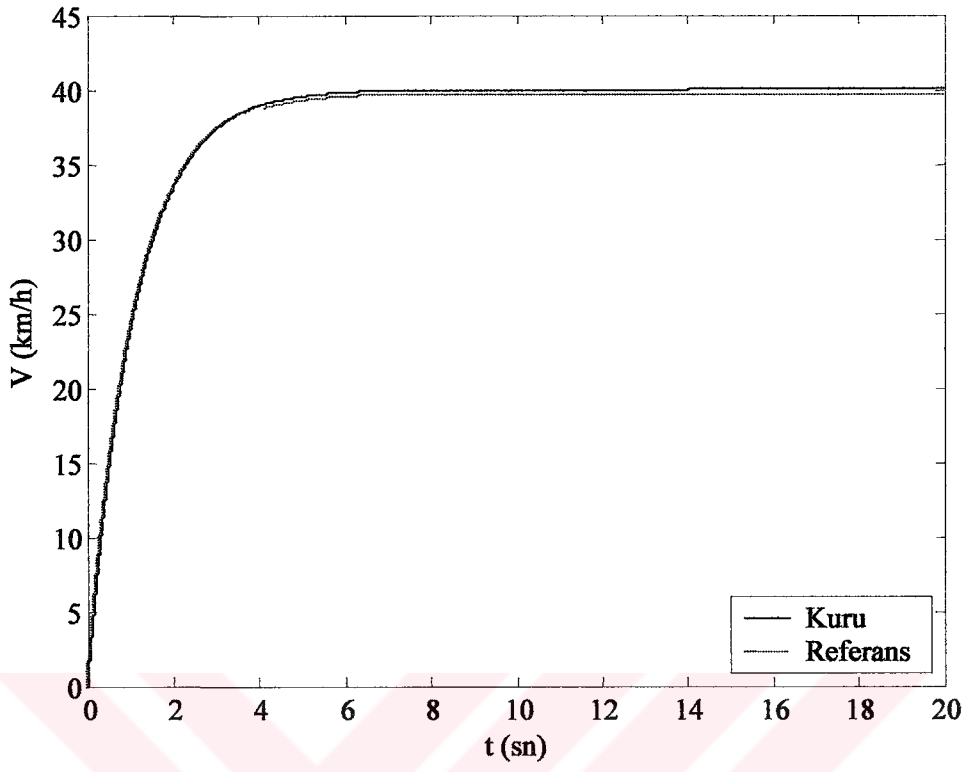
$x_2 = x_{2d}$  olarak alınır;

$$U = \frac{1}{q}((a\lambda_1 + d)x_1^2 + ex_2^2 + fx_2 - \beta_1\lambda_1x_1 + (m + c\lambda_1)W_L + (g - \lambda_1b) \\ + \lambda_1\dot{x}_{1d} + \dot{x}_2 - \beta_1\psi_1 \operatorname{sgn}(S) + \beta_1\lambda_1x_{1d}) \quad (5.6)$$

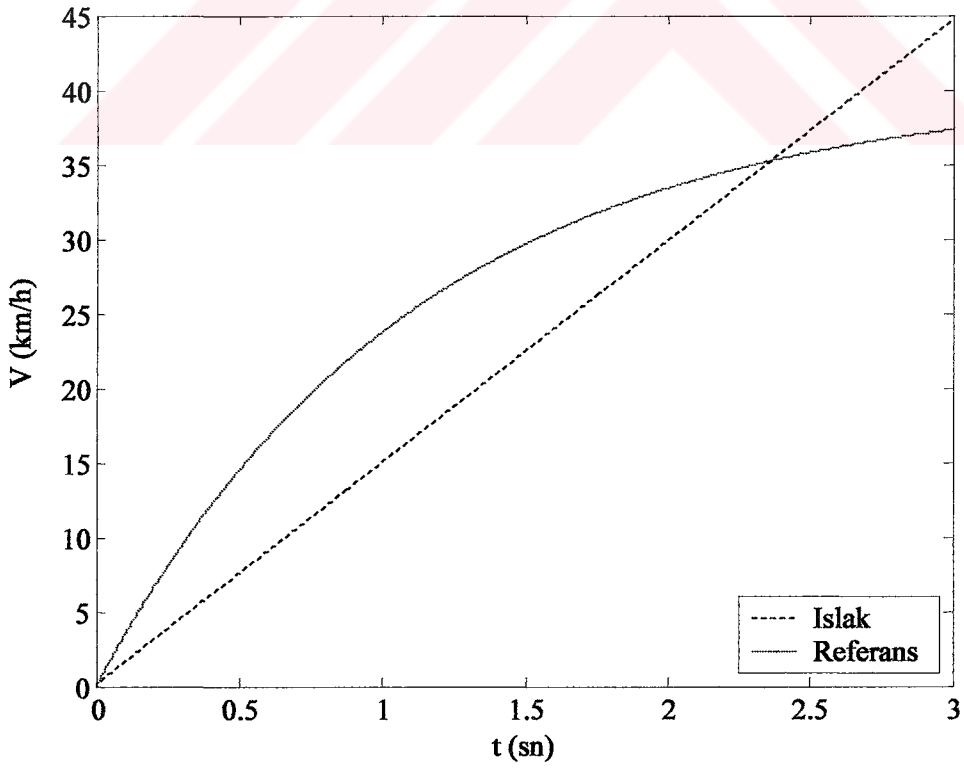
şeklinde ifade edilir.

Aracın dinamiğinden dolayı araç gövdesinin belirli bir hız değerine ani yükselmesi mümkün olmaz. Bu yüzden hız talebinin de istenilen değere belirli bir sürede ulaşılmasını sağlayan bir referansa sahip olması gerekir. Bu referansı, transfer fonksiyonu  $G_f(s) = \frac{a}{s+a}$  olan alçak geçiren bir filtre girişine birim basamak uygulayarak çıkışından elde edebiliriz. Yükselme ani olmadığı için araç gövdesinin bu hız talebini takip etmesi kolay olacaktır.

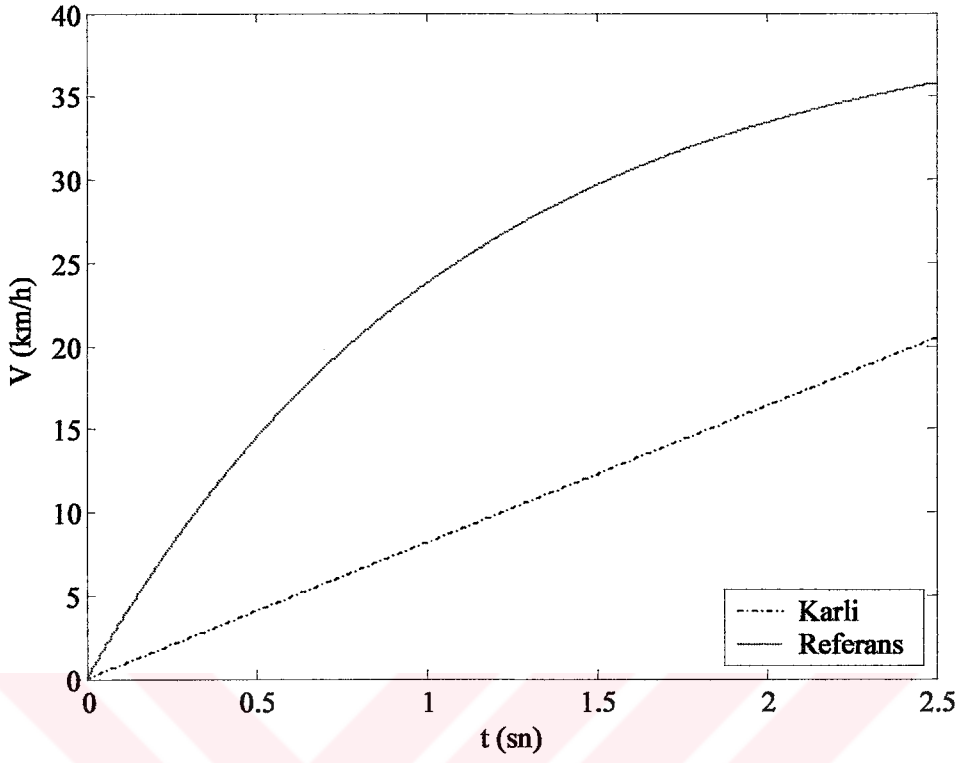
Denklem (5.6)'daki  $U$  kontrol sinyalinin farklı yol şartlarında sabit bir  $a$  değeri için hızlanma modeline uygulanması ile elde edilen benzetim sonuçları Şekil 5.2'de verilmiştir. Bu benzetim sonuçları farklı yol şartlarında  $a = 0.9$  sabit değeri için elde edilmiştir. Referans hız 40 km/h seçilmiştir.



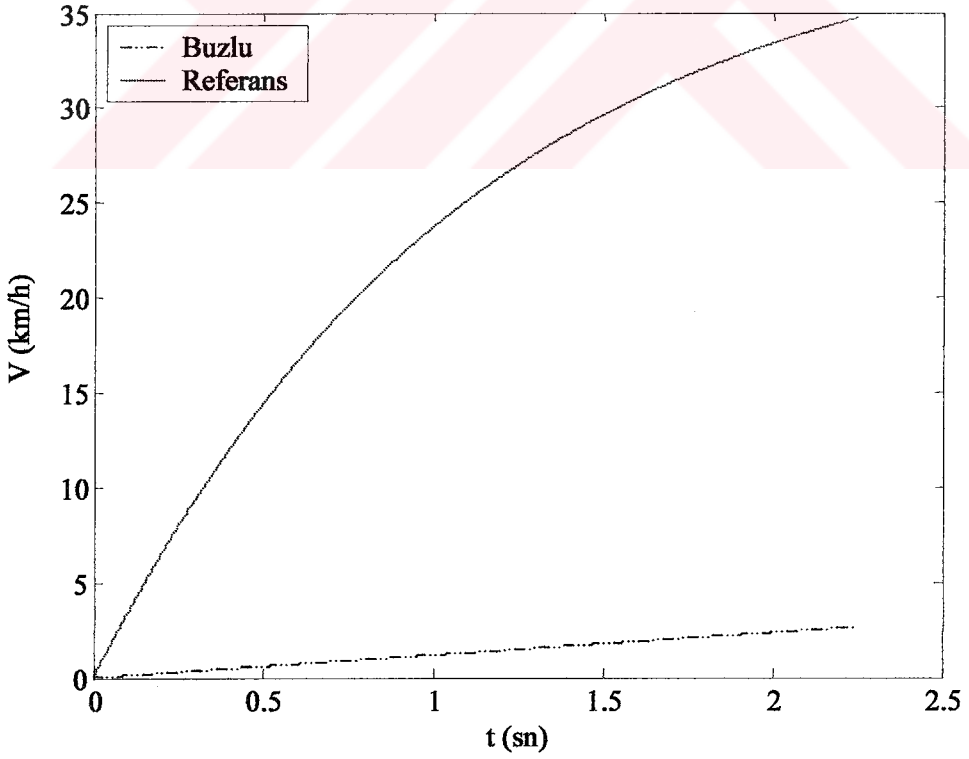
a) Kuru yol şartı



b) Islak yol şartı



c) Karlı yol şartı

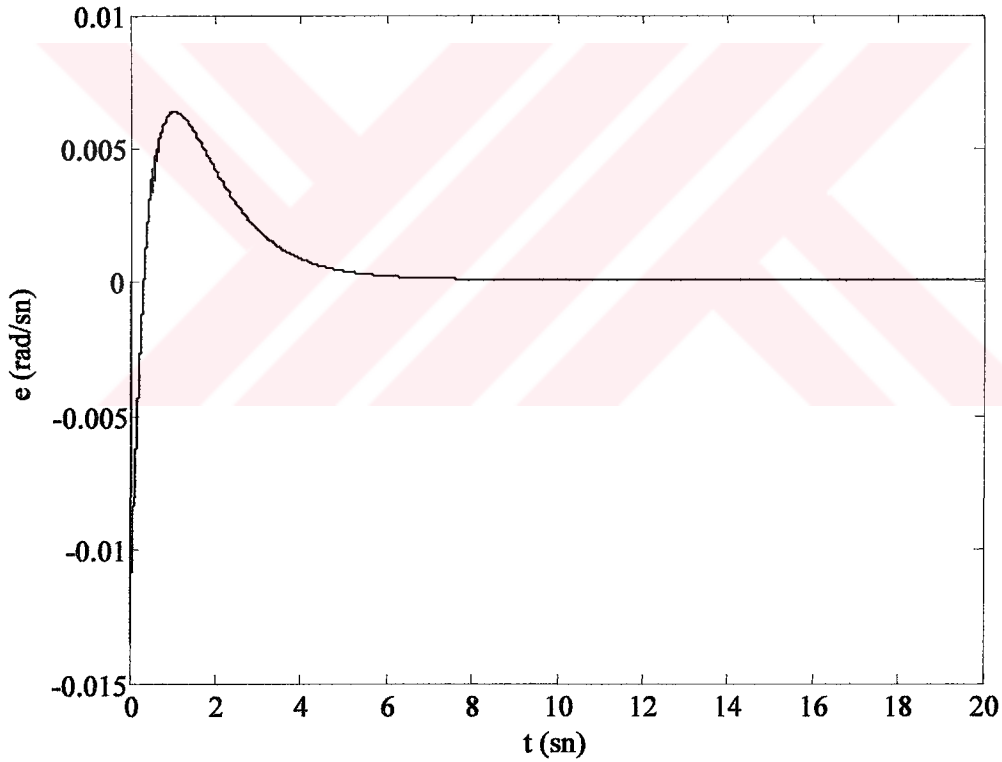


d) Buzlu yol şartı

Şekil 5.2.  $a=0.9$  değerinde farklı yol şartları için aracın hızlanması (40km/h referans hız değerine)

Şekil 5.2'de görüldüğü gibi  $\alpha = 0.9$  sabit değeri için kuru yol şartında istenilen hız değerine (40km/h) ulaşılmıştır. Ancak ıslak, karlı ve buzlu yol şartlarında kararsız sonuçlar gözlenmiştir. Bunun sebebi seçilen  $\alpha$  değerinin her yol şartında kararlı bir hızlanmayı sağlamak için uygun olmamasıdır. Sistem cevabının,  $\alpha$ 'nın büyük değerleri için daha hızlı olması beklenir. Ancak ıslak, karlı ve buzlu yol şartlarında  $\alpha$  değeri büyük seçilirse araç bu hızlı referansı takip edemeyecektir.  $\alpha$  değerinin en kötü yol şartına (buzlu) göre yani küçük değerlerde seçilmesi ise kuru yol şartlarında bile aracın düşük performansla çalışmasına sebep olacaktır.

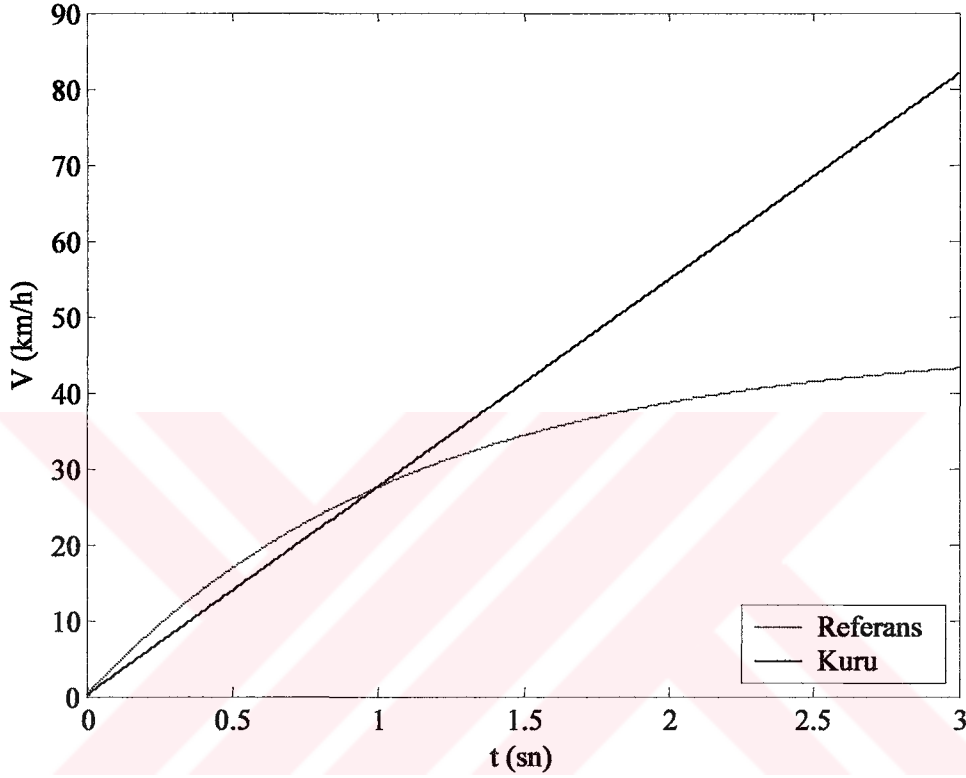
Şekil 5.3'de, Şekil 5.2.a.'daki benzetim kullanılarak kuru yol şartında, araç gövdesinin eşdeğer açısal hızı ( $x_1$ ) ile ulaşılacak istenilen açısal hız değeri ( $x_{1d}$ ) arasındaki hatanın ( $e$ ) zamana göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Araç hızı 40km/h değerine yükselirken kuru yol şartı için hatanın değişimi

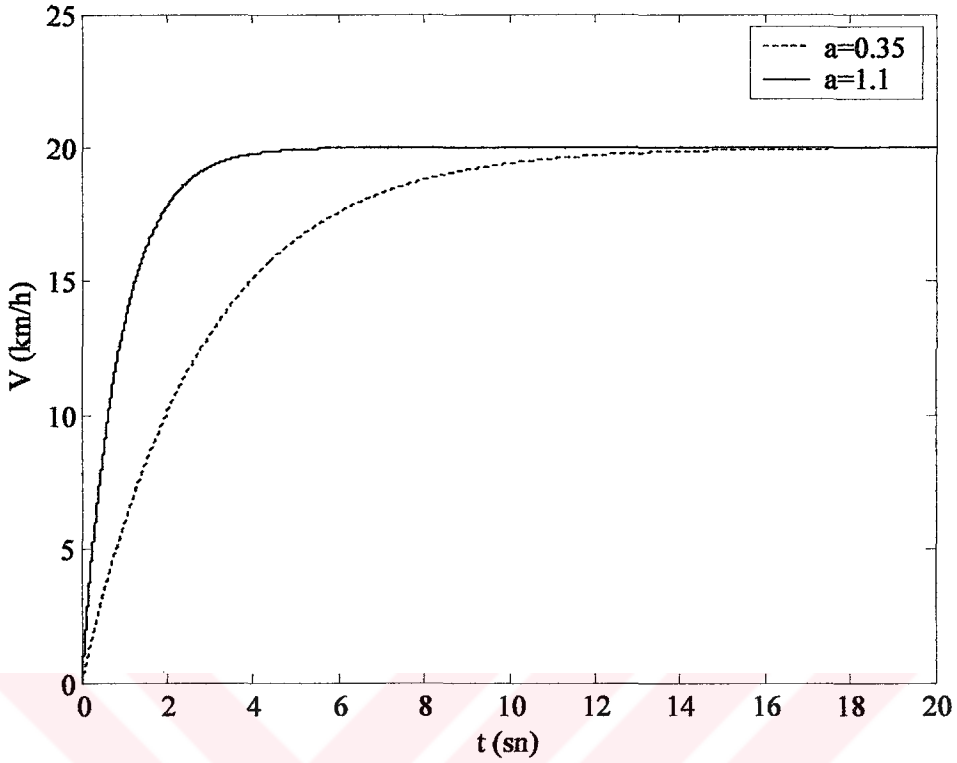
Hatanın gittikçe azalıp sifira yaklaşması,  $\alpha = 0.9$  değerinde kuru yol şartı için aracın kararlı bir hızlanmaya sahip olduğunu ve birkaç saniye içinde istenilen hız değerine ulaşıldığını göstermektedir. Ancak ıslak, karlı ve buzlu yol şartlarında hata sifira indirilememiştir. Bunun sebebi, bu yol şartlarında  $\alpha = 0.9$  değeri için istenilen hıza ulaşılamamasıdır.

Buraya kadar verilen benzetim sonuçlarında ulaşılmak istenilen hız (40km/h) ve  $a(0.9)$  sabit tutulmuş, yol şartları değiştirilmiştir. Şekil 5.4'deki benzetim sonucunda ise kuru yol şartında  $a = 0.9$  için 60km/h hız değerine ulaşmaya çalışılmıştır. Ancak bu  $a$  değerinde kararsız bir sonuç elde edilmiştir.



Şekil 5.4.  $a=0.9$  değerinde kuru yol şartı için aracın hızlanması (60km/h referans hız değerine)

Aynı benzetim  $a = 0.35$  ve  $a = 1.1$  gibi farklı iki  $a$  değerinde 20km/h hız değerine ulaşmak için gerçekleştirilmiştir. Bu benzetime ait sonuç Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Kuru yol şartı için aracın hızlanması (20km/h referans hız değerine)

Şekil 5.5’de görüldüğü gibi  $a$ ’nın her iki değerinde de istenilen hız değerine ulaşılmıştır.  $a$  değeri ne kadar büyük seçilirse sistem cevabı o kadar hızlı olur.  $a = 1.1$  yerine  $a = 0.35$  değerinin seçilmesi durumunda sistem cevabındaki yavaşlama görülmektedir. Buda  $a$ ’nın seçiminin sistem performansı üzerinde ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.

## 5.2. Elektrikli Aracın Yavaşlama Modeli İçin Erişim Kuralı Yaklaşımı ile Denetleyici Tasarımı

Denetlenecek elektrikli aracın yavaşlama durumuna ait matematiksel model 3. Bölüm’de elde edilmiştir. Bu modele göre Denklem (3.21)’de çıkarılmış durum uzay modeli matrisleri aşağıda verilmiştir.

$$F = \begin{bmatrix} \left\{ \frac{g\rho C_d A r_\omega (l - (\mu_r - \mu_f)H)}{2W(l - (\mu_r - \mu_f)h)} x_1^2 + \frac{g(\mu_r l_f + \mu_f l_r)}{r_\omega (l - (\mu_r - \mu_f)h)} \right\} \\ \left\{ -\frac{B_{\omega r}}{J_r} x_2^2 - \frac{3K_t K_e \eta_i}{J_r R_a} x_2 - \frac{\mu_r r_\omega^3 \rho C_d A (H - hl)}{2J_r l (l - (\mu_r - \mu_f)h)} x_1^2 \right\} \\ \left\{ \frac{\mu_r r_\omega W (l_f l - h(\mu_r l_f - \mu_f l_r))}{J_r l (l - (\mu_r - \mu_f)h)} \right. \\ \left. \left\{ -\frac{B_{\omega f}}{J_f} x_3^2 + \frac{\mu_f r_\omega^3 \rho C_d A (Hl - h)}{2J_f l (l - (\mu_r - \mu_f)h)} x_1^2 \right\} \right. \\ \left. \left. + \frac{\mu_f r_\omega W (2h(\mu_r l_f + \mu_f l_r) - l_r l)}{J_f l (l - (\mu_r - \mu_f)h)} \right\} \right\} \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{K_{Br}}{J_r} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_{Bf}}{J_f} \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} \frac{gl}{W(l - (\mu_r - \mu_f)h)} \\ \frac{\mu_r r_\omega h}{J_r (l - (\mu_r - \mu_f)h)} \\ \frac{\mu_f r_\omega h}{J_f (l - (\mu_r - \mu_f)h)} \end{bmatrix}$$

Hızlanma modeli için kullanılan denklem (4.24)'deki kontrol kuralı yavaşlama modeli için de geçerlidir.

$$U = (CG)^{-1} [C(\dot{x}_d - F(x) - DW_L) - \beta S - \beta \psi \operatorname{sgn}(S)]$$

Bu modelde hızlanma modelinden farklı olarak, araç gövdesinin açısız hız bilgisi ön tekerleğin açısız hızı ölçülerek elde edilemez.  $\mu_f$ 'in sıfırdan farklı olmasından dolayı ön tekerleğe de kuvvet etkimektedir. Bu çalışmada bir gözetleyici ile araç gövdesinin açısız hızının ölçülebildiği kabul edilerek aracın istenilen hızda gitmesi sağlanacaktır.

Kontrol kuralındaki  $x$  vektörü;

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

şeklindedir. Burada,

$$x_1 = \frac{V}{r_\omega} \quad (\text{araba gövdesinin eşdeğer açısız hızı})$$

$$x_2 = \omega_r \quad (\text{arka tekerleğin açısız hızı})$$

$$x_3 = \omega_f \quad (\text{ön tekerleğin açısız hızı})$$

dır. Denklem (4.24) ile verilen  $U$  kontrol sinyalinin yavaşlama modeli kullanılarak yeniden düzenlenmesi için gerekli işlemler aşağıda verilmiştir.

$$(CG)^{-1} = \left( \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 \\ C_4 & C_5 & C_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ k_1 & 0 \\ 0 & r_1 \end{bmatrix} \right)^{-1} = \begin{bmatrix} k_1 C_2 & r_1 C_3 \\ k_1 C_5 & r_1 C_6 \end{bmatrix}^{-1} \quad (5.7)$$

$$C(\dot{x}_d - F(x) - DW_L) = \begin{bmatrix} -a_1 x_1^2 + b_1 \\ d_1 x_1^2 - e_1 - g_1 x_2^2 - h_1 x_2 \\ -m_1 x_3^2 + n_1 x_1^2 + o_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -c_1 \\ f_1 \\ -p_1 \end{bmatrix} W_L \quad (5.8)$$

Denklem (5.7) ve (5.8)'deki sabitler,

$$a_1 = \frac{g\rho C_d A r_\omega (l - (\mu_r - \mu_f)H)}{2W(l - (\mu_r - \mu_f)h)}$$

$$b_1 = \frac{g(\mu_r l_f + \mu_f l_r)}{r_\omega (l - (\mu_r - \mu_f)h)}$$

$$c_1 = \frac{gl}{W(l - (\mu_r - \mu_f)h)}$$

$$d_1 = \frac{\mu_r r_\omega^3 \rho C_d A (H - hl)}{2J_r l (l - (\mu_r - \mu_f)h)}$$

$$e_1 = \frac{\mu_r r_\omega W (l_f l - h(\mu_r l_f - \mu_f l_r))}{J_r l (l - (\mu_r - \mu_f)h)}$$

$$f_1 = \frac{\mu_r r_\omega h}{J_r (l - (\mu_r - \mu_f)h)}$$

$$g_1 = \frac{B_{\omega r}}{J_r}$$

$$h_1 = \frac{3K_t K_e \eta_i}{J_r R_a}$$

$$k_1 = \frac{K_{Br}}{J_r}$$

$$m_1 = \frac{B_{\omega f}}{J_f}$$

$$n_1 = \frac{\mu_f r_o^3 \rho C_d A (Hl - h)}{2J_f l (l - (\mu_r - \mu_f)h)}$$

$$o_1 = \frac{\mu_f r_o W (2h(\mu_r l_f + \mu_f l_r) - l_r l)}{J_f l (l - (\mu_r - \mu_f)h)}$$

$$p_1 = \frac{\mu_f r_o h}{J_f (l - (\mu_r - \mu_f)h)}$$

$$r_1 = \frac{K_{Bf}}{J_f}$$

şeklinde dir.

$$\beta S = \beta C e = \begin{bmatrix} \beta_1 & 0 \\ 0 & \beta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 \\ C_4 & C_5 & C_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 - x_{1d} \\ x_2 - x_{2d} \\ x_3 - x_{3d} \end{bmatrix},$$

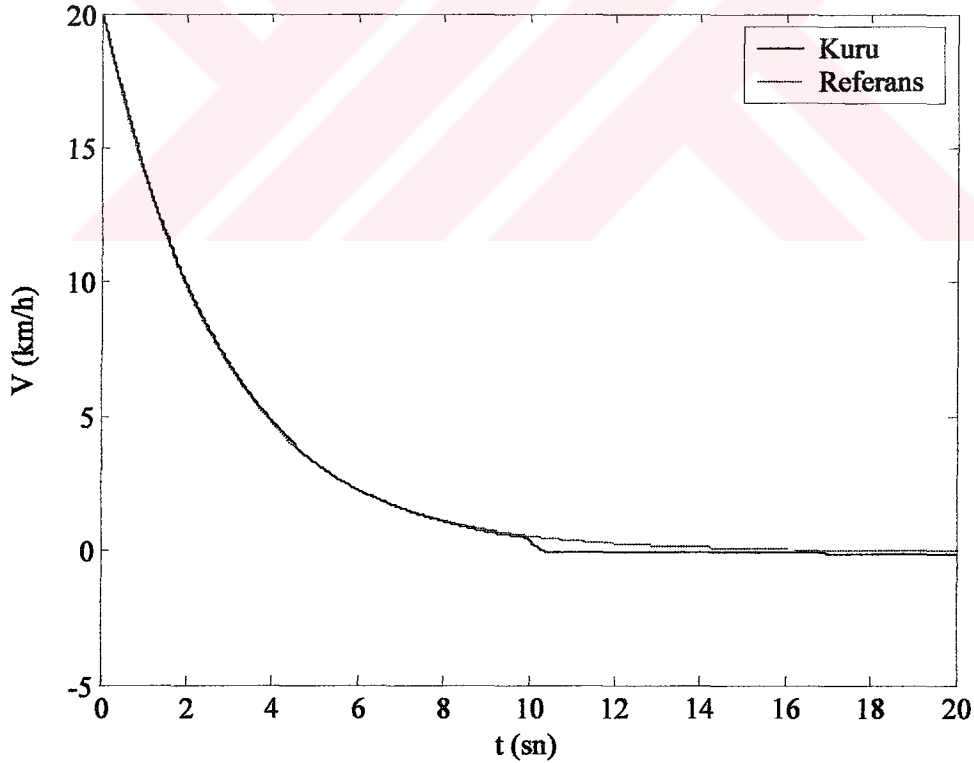
$$\beta \psi \operatorname{sgn}(S) = \begin{bmatrix} \beta_1 & 0 \\ 0 & \beta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_1 & 0 \\ 0 & \psi_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \operatorname{sgn}(S_1) \\ \operatorname{sgn}(S_2) \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

dir. Denklem (5.7), (5.8) ve (5.9) kullanılarak oluşturulan kontrol sinyalleri aşağıda verilmiştir.

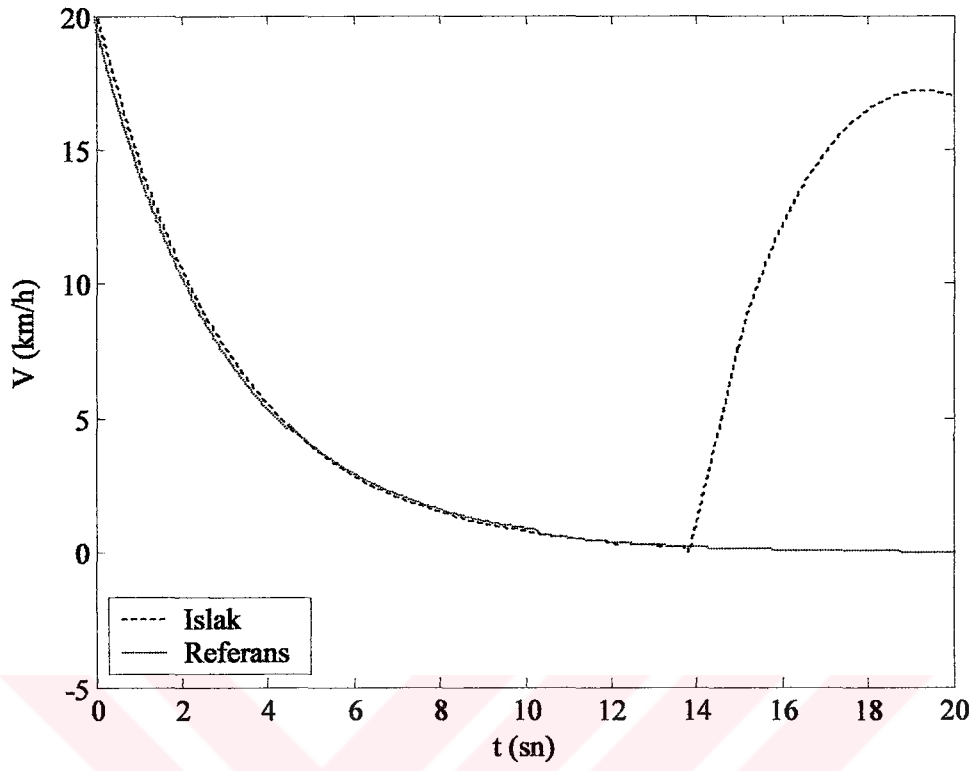
$$U_1 = \frac{1}{k_1 (C_2 C_6 - C_3 C_5)} [((C_1 C_6 - C_3 C_4) a_1 + (C_3 C_5 - C_2 C_6) d_1) x_1^2 + (C_2 C_6 - C_3 C_5) g_1 x_2^2 + (C_2 C_6 - C_3 C_5) h_1 x_2 + ((C_3 C_4 - C_1 C_6) b_1 + (C_2 C_6 - C_3 C_5) e_1) + ((C_1 C_6 - C_3 C_4) c + (C_3 C_5 - C_2 C_6) f_1) W_L + (\beta_2 C_3 C_4 - \beta_1 C_1 C_6) (x_1 - x_{1d}) + (\beta_2 C_3 C_5 - \beta_1 C_2 C_6) (x_2 - x_{2d}) + (\beta_2 C_3 C_6 - \beta_1 C_3 C_6) (x_3 - x_{3d}) + (C_1 C_6 - C_3 C_4) \dot{x}_{1d} + (C_2 C_6 - C_3 C_5) \dot{x}_{2d} - (\beta_1 \psi_1 C_6) \operatorname{sgn}(S_1) + (\beta_2 \psi_2 C_3) \operatorname{sgn}(S_2)]$$

$$\begin{aligned}
U_2 = \frac{1}{r_1(C_2C_6 - C_3C_5)} & [((C_3C_5 - C_2C_6)n_1 + (C_2C_4 - C_1C_5)a_1)x_1^2 + \\
& (C_2C_6 - C_3C_5)m_1x_3^2 + ((C_1C_5 - C_2C_4)b_1 + (C_3C_5 - C_2C_6)o_1) + \\
& ((C_2C_4 - C_1C_5)c) + (C_2C_6 - C_3C_5)p_1)W_L + \\
& (\beta_1C_1C_5 - \beta_2C_2C_4)(x_1 - x_{1d}) + (\beta_1C_2C_5 - \beta_2C_2C_5)(x_2 - x_{2d}) + \\
& (\beta_1C_3C_5 - \beta_2C_2C_6)(x_3 - x_{3d}) + (C_2C_4 - C_1C_5)\dot{x}_{1d} + \\
& (C_2C_6 - C_3C_5)\dot{x}_{3d} + (\beta_1\psi_1C_5)\text{sgn}(S_1) - (\beta_2\psi_2C_2)\text{sgn}(S_2)
\end{aligned} \tag{5.10}$$

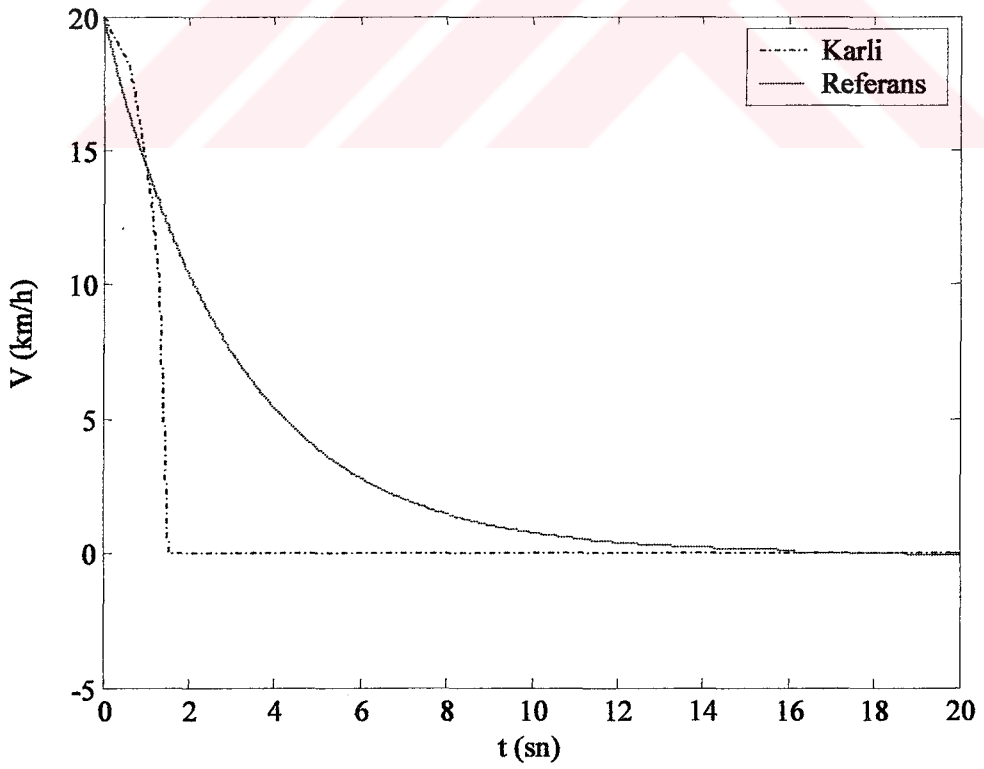
Hızlanma modelinde olduğu gibi referans hız sinyali bir alçak geçiren filtre yardımıyla oluşturulacaktır. Şekil 5.6'da verilen benzetim sonuçları, Denklem (5.10)'daki  $U$  kontrol sinyallerinin farklı yol şartlarında sabit bir  $a$  değeri için yavaşlama modeline uygulanması ile elde edilmiştir. Bu benzetim sonuçları farklı yol şartlarında  $a = 0.3$  sabit değeri için elde edilmiştir.



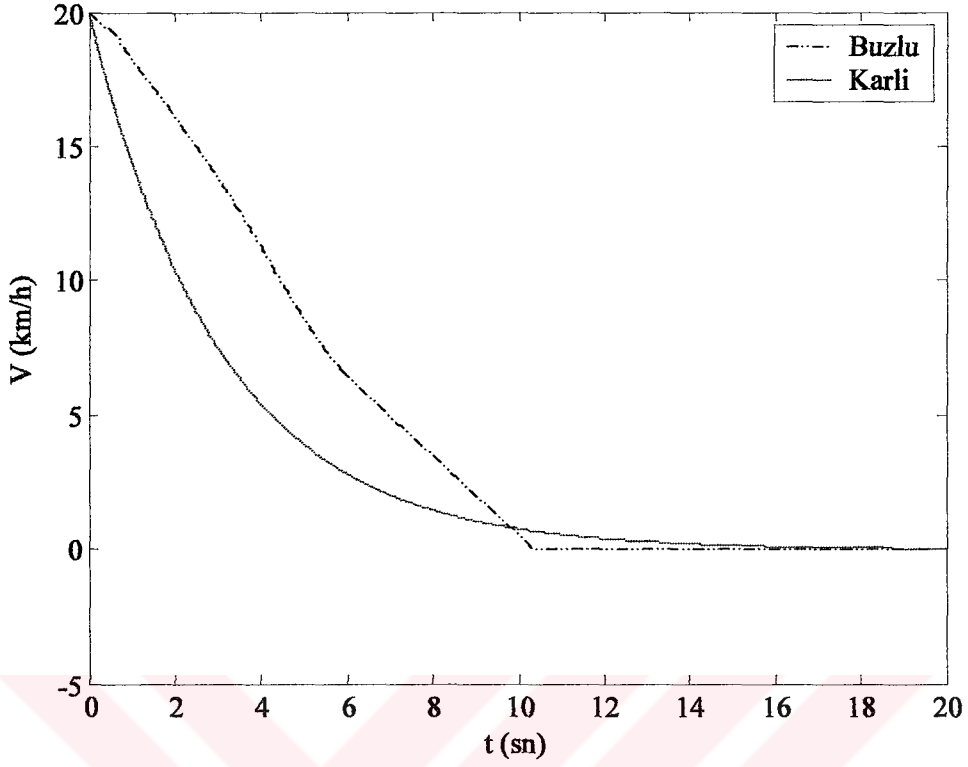
a) Kuru yol şartı



b) Islak yol şartı



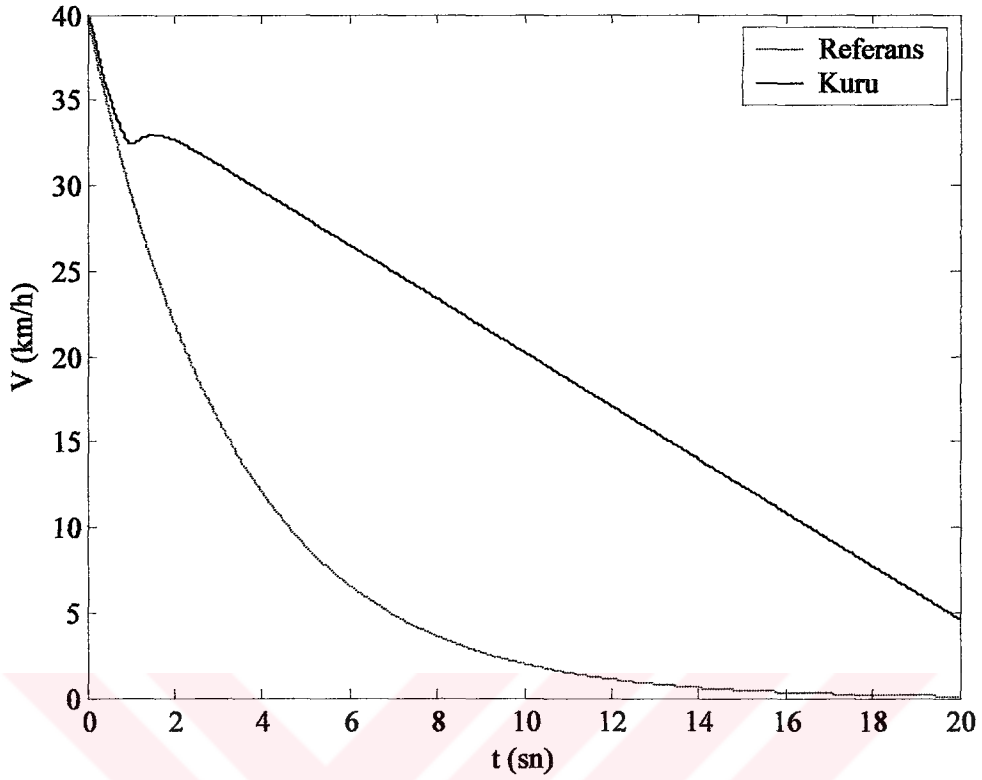
c) Karlı yol şartı



d) Buzlu yol şartı

Şekil 5.6.  $a=0.3$  değerinde farklı yol şartları için aracın yavaşlaması (20km/h referans hız değerinden)

Şekil 5.6'da görüldüğü gibi  $a = 0.3$  sabit değeri için kuru yol şartında kararlı bir yavaşlama grafiği elde edilmiştir. Ancak ıslak, karlı ve buzlu yol şartlarında kararsız sonuçlar gözlenmiştir. Bunun sebebi seçilen  $a$  değerinin her yol şartı için uygun olmamasıdır. Aynı  $a$  değeri için kuru yol şartında 40km/h hız değerinden yavaşlama durumu için benzetim sonucu Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7.  $a=0.3$  değerinde kuru yol şartı için aracın yavaşlaması (40km/h referans hız değerinden)

Şekilde görüldüğü gibi  $a = 0.3$  için bu hız değerinde de yine istenilen bir şekilde yavaşlama elde edilememiştir.

### 5.3. Önerilen Denetim Sistemi

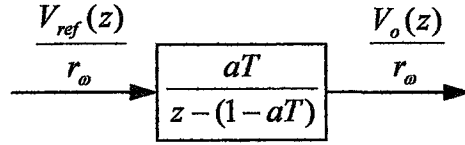
Buraya kadar yapılan benzetim sonuçları tüm yol şartlarında ve hız değerlerinde sabit bir  $a$  değerinin kullanılmasının kararlı bir sürüşün sağlanmasını engellediğini göstermiştir. Bu nedenle farklı yol şartlarında ve farklı hızlarda o duruma en uygun  $a$  değerinin belirlenmesi ve kullanılması gerekir. Uygun  $a$  değerinin seçilmesi için BM ve EK yaklaşımını beraber kullanan yeni bir denetleyici tasarlanmıştır. Denetleyicide  $a$  değerinin seçimi bir bulanık filtre ile sağlanmıştır. Bulanık mantık ile gerçekleştirilen filtrenin transfer fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$G_f(s) = \frac{a}{s + a} \quad (5.11)$$

Bu filtrenin ayrık zamandaki eşdeğeri [19];

$$G_f(z) \cong \frac{aT}{z - (1 - aT)} \quad (5.12)$$

olarak ifade edilir. Filtre giriş çıkış değişkenleri ile birlikte Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. Ayrık zamanda alçak geçiren filtre

Tasarlanacak filtrenin çıkışı Şekil 5.8’ den aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{V_o(z)}{V_{ref}(z)} = \frac{B}{z - A}$$

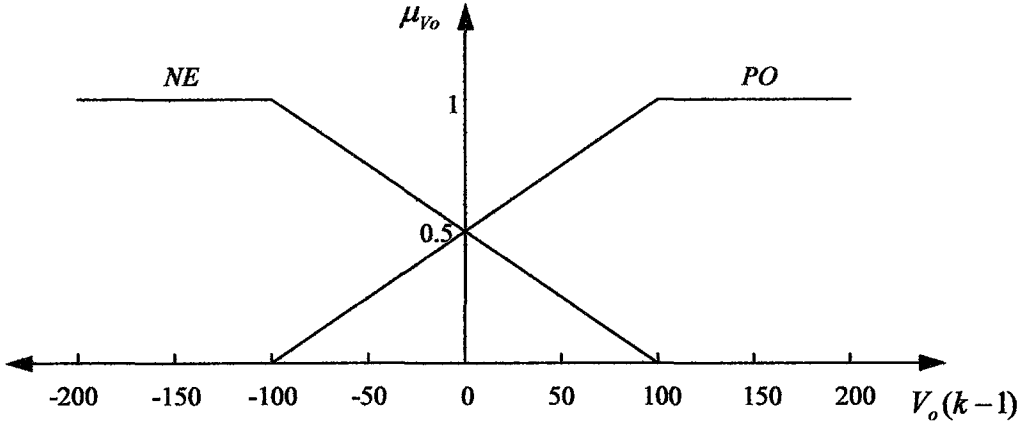
Burada  $A = 1 - aT$ ,  $B = aT$  ve  $T = 10^{-4}$  (örnekleme periyodu) olarak alınmıştır.

Çıkış ifadesi,

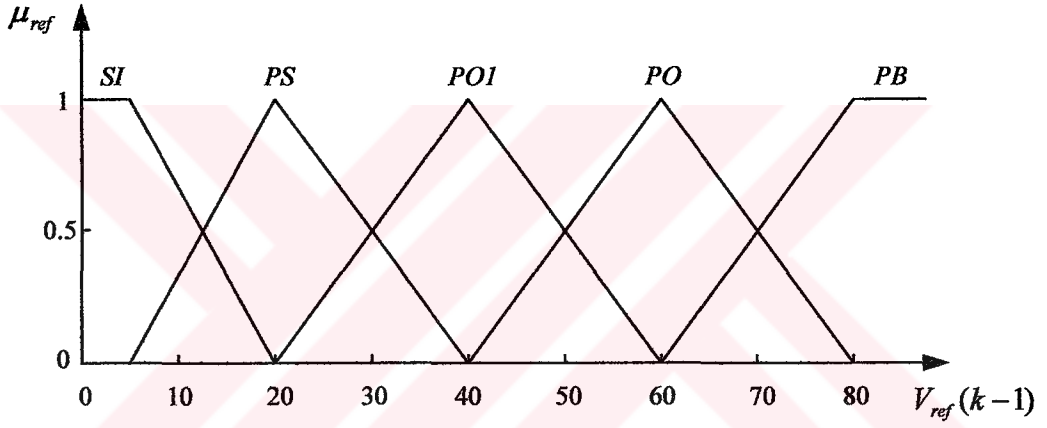
$$V_o(z) = z^{-1}AV_o(z) + Bz^{-1}V_{ref}(z)$$

$$V_o(k) = AV_o(k-1) + BV_{ref}(k-1) \quad (5.13)$$

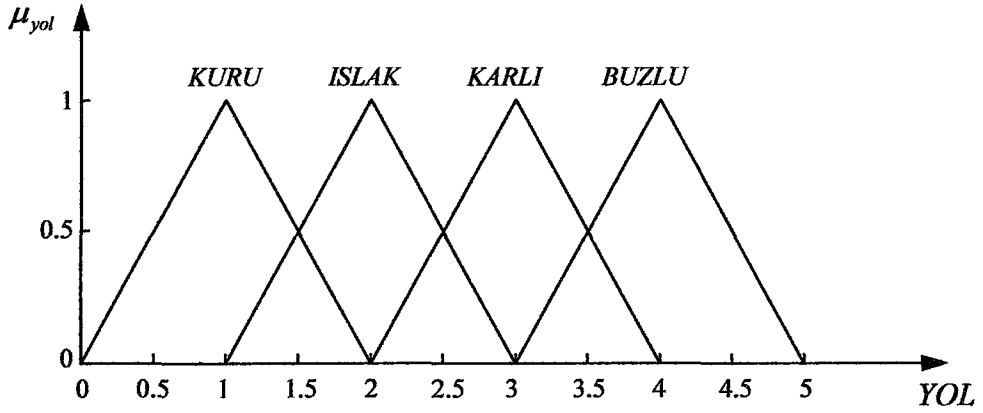
olarak yazılabilir. Sugeno tipi bulanık filtremizin girişleri;  $V_o(k-1)$ ,  $V_{ref}(k-1)$  ve  $YOL$  alınmış ve çıkış fonksiyonu olarak da Denklem (5.13) kullanılmıştır. Girişlerin üyelik fonksiyonları Şekil 5.9’da verilmiştir.



a)  $V_o(k-1)$  girişinin üyelik fonksiyonları



b)  $V_{ref}(k-1)$  girişinin üyelik fonksiyonları



c) YOL girişinin üyelik fonksiyonları

Şekil 5.9. Girişlerin üyelik fonksiyonları

Yol ve referans hız durumuna göre Tablo 5.1’de hızlanma ve Tablo 5.2’de yavaşlama için maksimum  $a$  değerleri verilmiştir. Bu değerler deneme yanılma yöntemiyle en iyi sistem cevabını sağlayacak şekilde seçilmiştir.

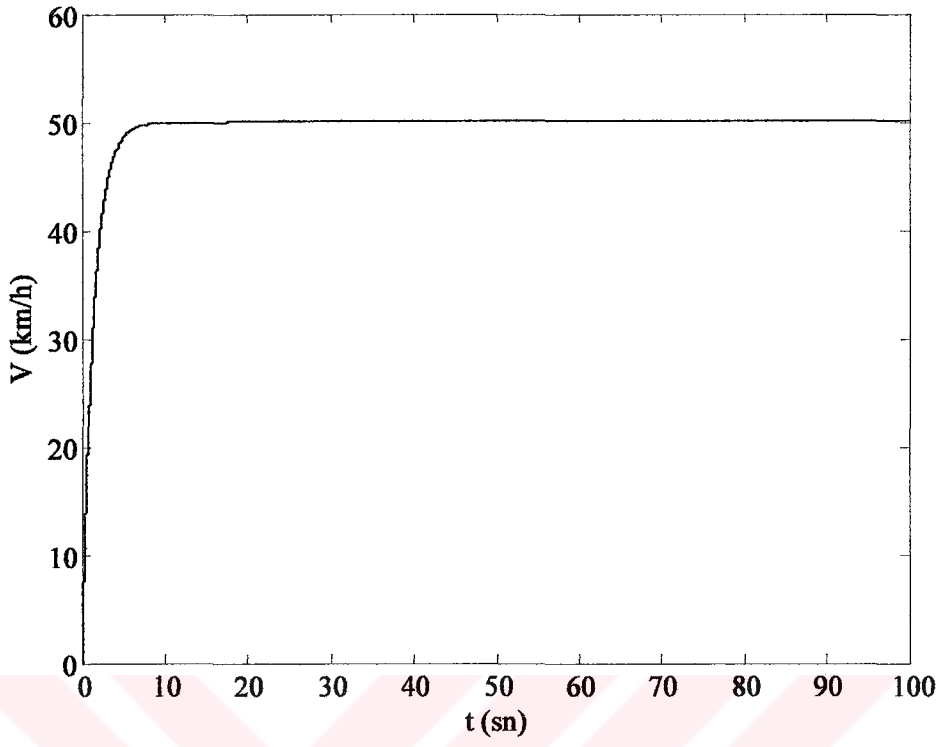
**Tablo 5.1. Hızlanma durumu için maksimum  $a$  değerleri**

$V_{ref}$ YOL	5 km/h	20 km/h	40 km/h	60 km/h	80 km/h
Kuru	4.8	1.1	0.9	0.55	0.35
Islak	3	1	0.6	0.4	0.3
Karlı	1	0.25	0.12	0.08	0.06
Buzlu	0.4	0.11	0.05	0.035	0.025

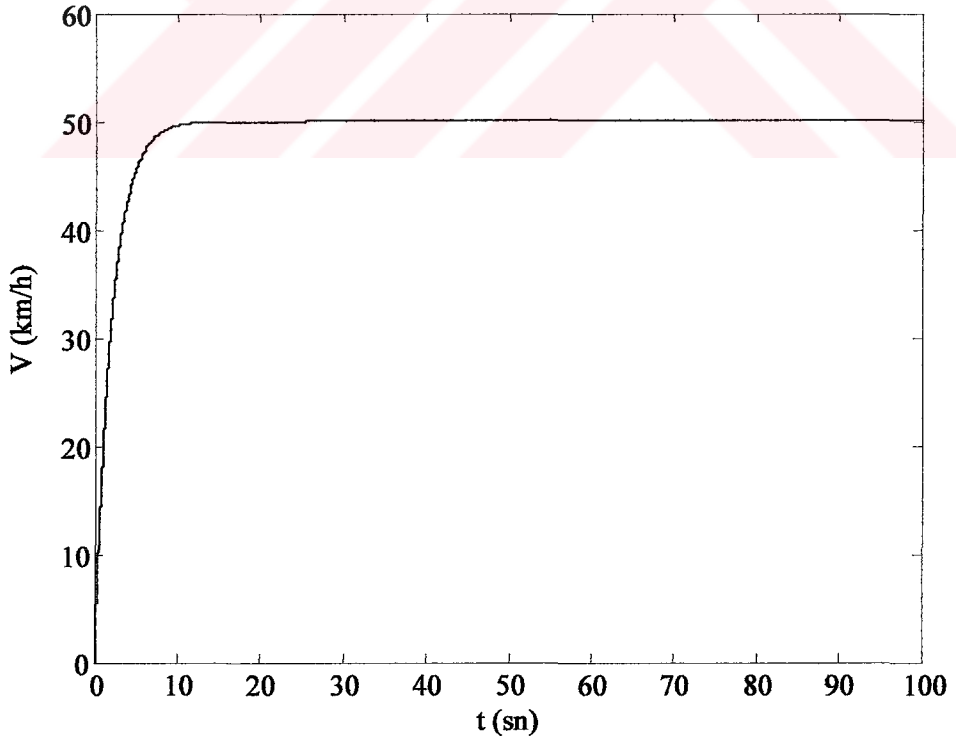
**Tablo 5.2. Yavaşlama durumu için maksimum  $a$  değerleri**

$V_{ref}$ YOL	5 km/h	20 km/h	40 km/h	60 km/h	80 km/h
Kuru	0.8	0.3	0.2	0.12	0.1
Islak	0.5	0.25	0.1	0.09	0.08
Karlı	0.1	0.06	0.01	0.025	0.001
Buzlu	0.03	0.009	0.005	0.0045	0.0005

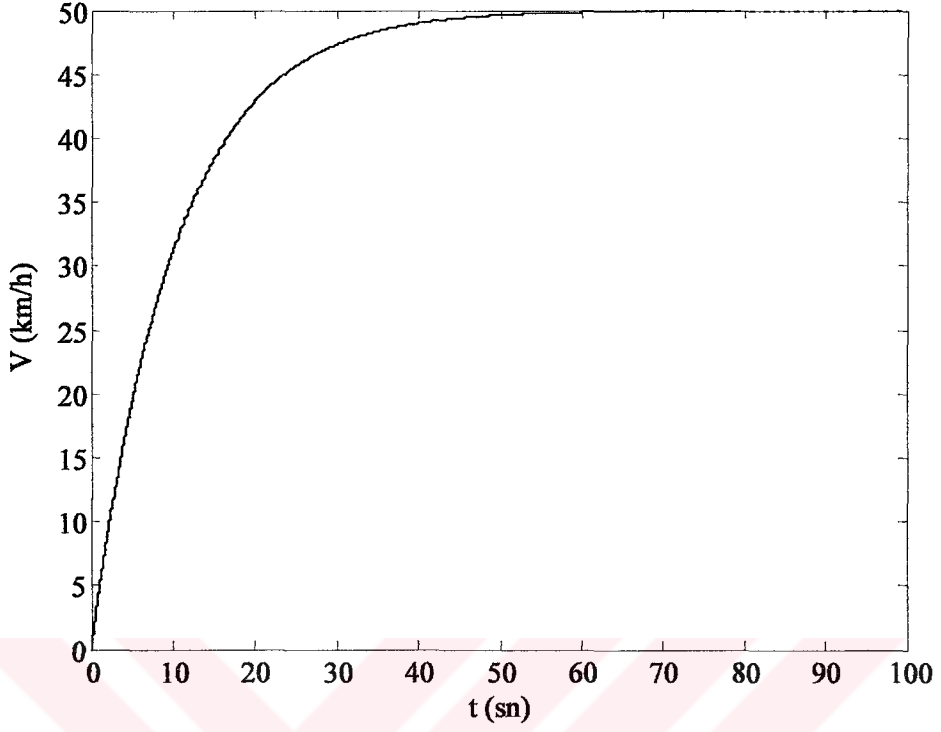
Tablo 5.1 ve 5.2’de de görüldüğü gibi alçak geçiren filtrede sabit bir  $a$  değeri seçmenin iki türlü sakıncası vardır. Birincisi,  $a$  değeri çok küçük seçilerek her türlü yol şartında aracın çalışması sağlanabilir. Ancak araç normal yol şartlarında bile düşük performansla çalışmak zorunda kalacaktır.  $a$  değeri büyük seçilirse de yol şartları kötüleştikçe araçta kararlı bir sürüş gözlenemeyecektir. İkincisi,  $a$  değeri farklı hızlarda aynı seçilirse; küçük bir  $a$  için düşük hızlarda ki performans düşük olacaktır, büyük bir  $a$  için ise yüksek hızlarda kararlı bir sürüş sağlanamayacaktır. Bu nedenle farklı hız ve yol şartlarında farklı  $a$  değerleri seçmemize imkan veren bir bulanık filtre tasarlanmıştır. Bu bulanık filtre ve EK yaklaşımı birlikte kullanılarak oluşturulan denetleyici ile farklı hız ve yol şartlarında araç hızının 50km/h hıza yükselmesi durumuna ait benzetim sonuçları Şekil 5.10’da verilmiştir.



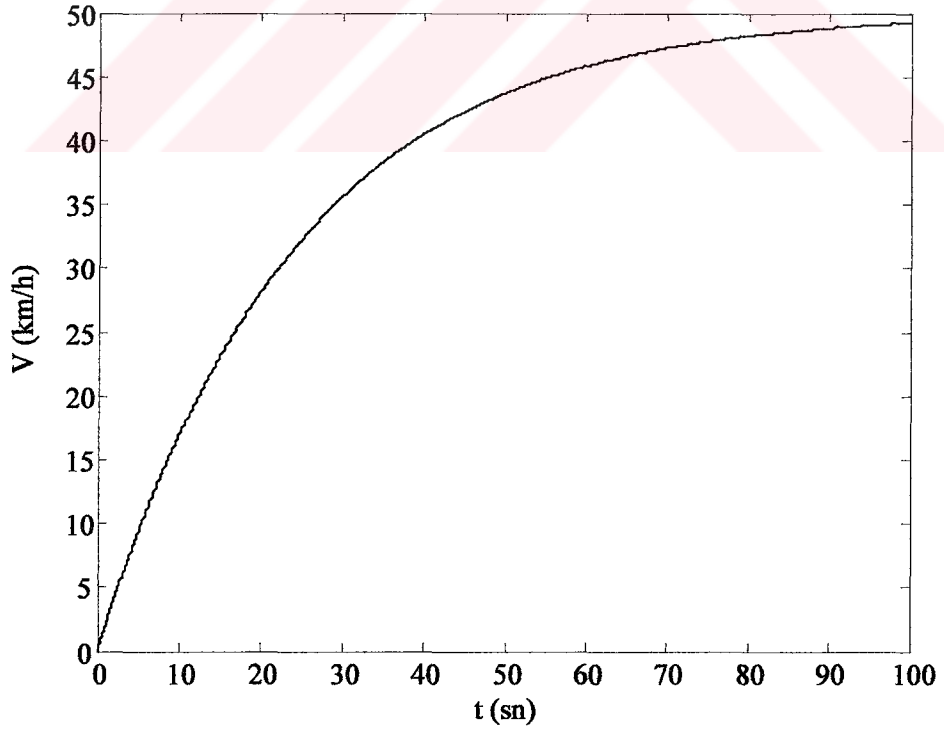
a) Kuru yol şartı



b) Islak yol şartı



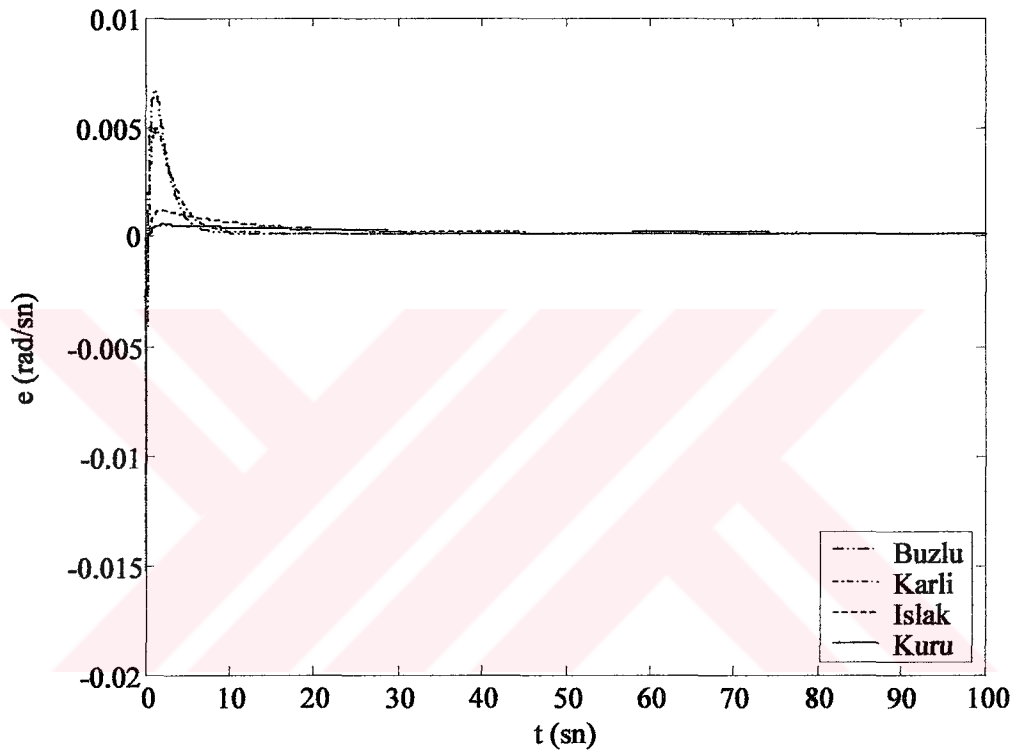
c) Karlı yol şartı



d) Buzlu yol şartı

Şekil 5.10. BM ve EK yaklaşımı kullanılarak farklı yol şartları için araç gövdesinin hızlanması (50km/h referans hız değerine)

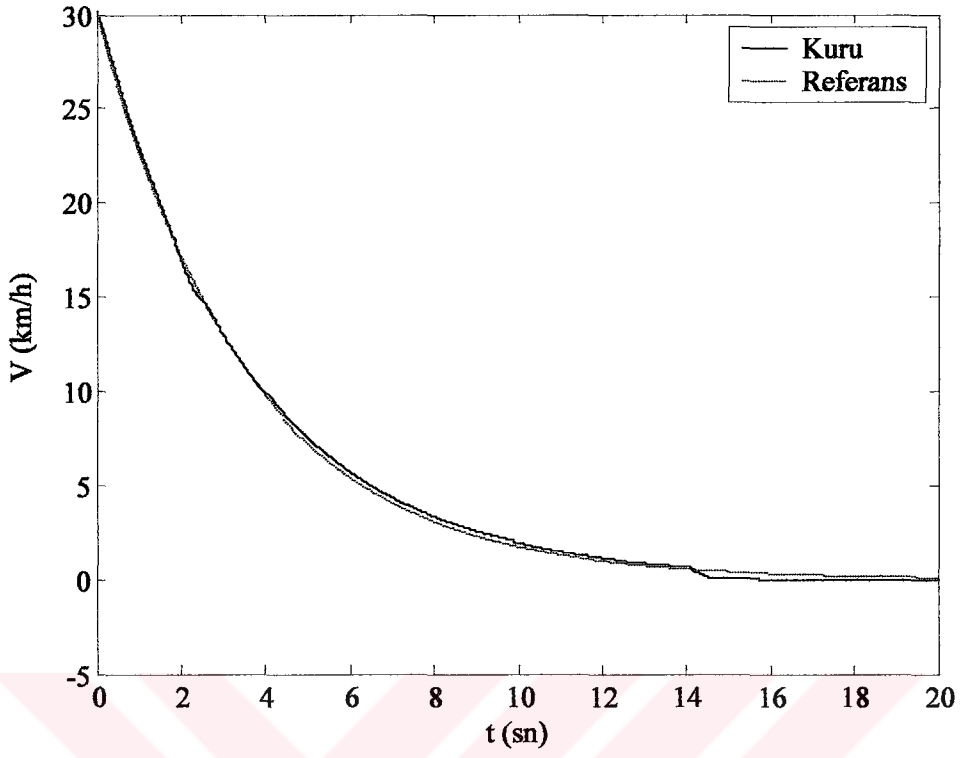
Şekilde görüldüğü gibi her yol şartında uygun bir karakteristikle istenilen hız değerine ulaşılmıştır. Bulanık filtre 5, 20, 40, 60 ve 80km/h hız değerleri referans alınarak tasarlanmıştır. Ancak BM yaklaşımı sayesinde hızlanma modelinin 50km/h'lik ara hız değeri için de iyi bir performansla çalıştığı görülmektedir. Burada referans hız ile araç hızı birbirine çok yakın olduğundan aynı grafikte gösterilmemiştir. Bunun yerine araç gövdesinin eşdeğer açısız hızı ( $x_1$ ) ve ulaşılacak istenilen açısız hız değeri ( $x_{1d}$ ) arasındaki hatanın ( $e$ ) değişimi Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



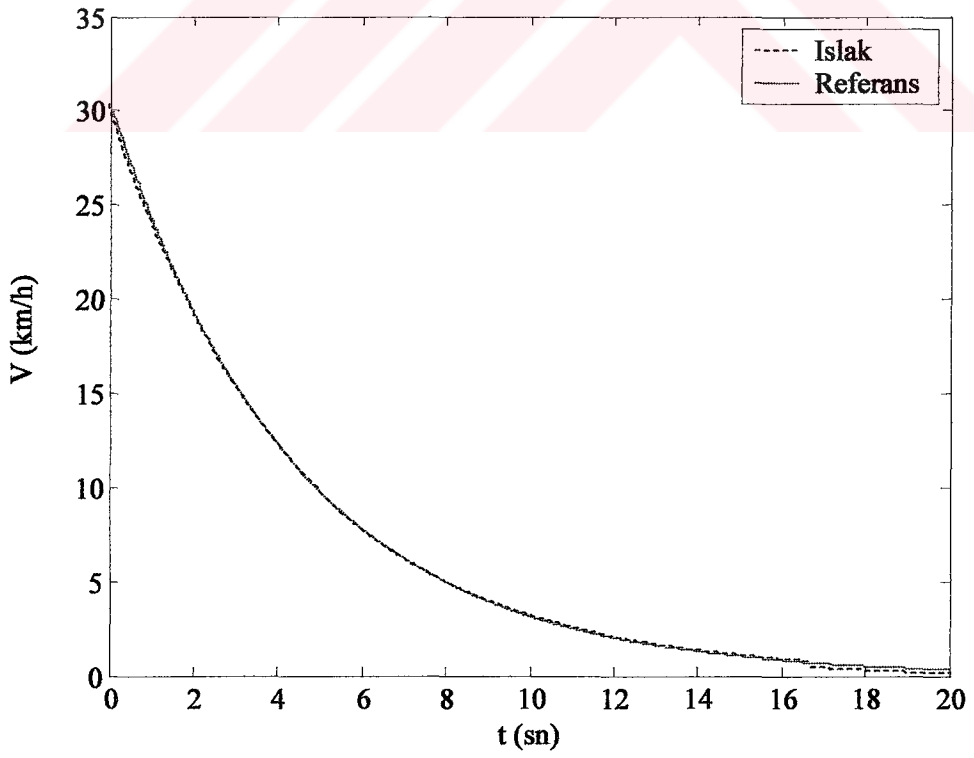
Şekil 5.11. BM ve EK kullanılarak 50km/h referans hız değerine ulaşılırken farklı yol şartları için hatanın değişimi

Kalkış anında küçük bir hata ile araç hareket etmekte ve istenilen hız değerine (50km/h) ulaşıldığında hata sıfıra yaklaşmaktadır. Yol şartları kötüleştikçe sürtünmenin azalmasından dolayı sistem cevap hızı yavaşlamaktadır.

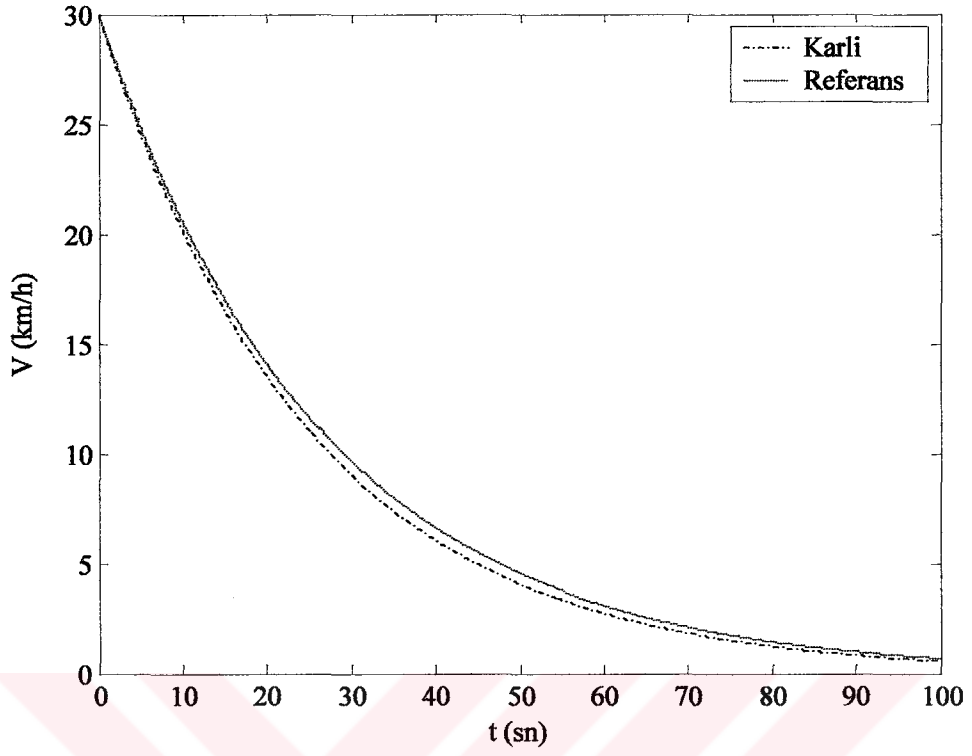
Yavaşlama modeli için sadece EK yaklaşımı kullanılarak tasarlanmış denetleyicide farklı hız ve yol şartlarında sabit bir  $\alpha$  değeri ile her durum için iyi bir sonuç elde edilememiştir. Bundan yola çıkılarak farklı hız ve yol şartlarında Tablo 5.2'deki  $\alpha$  değerlerini seçmemize imkan veren bir bulanık filtre oluşturulmuştur. BM ve EK yaklaşımı kullanılarak araç hızının 30 km/h hız değerinden yavaşlama durumu için benzetim sonuçları Şekil 5.12'de verilmiştir.



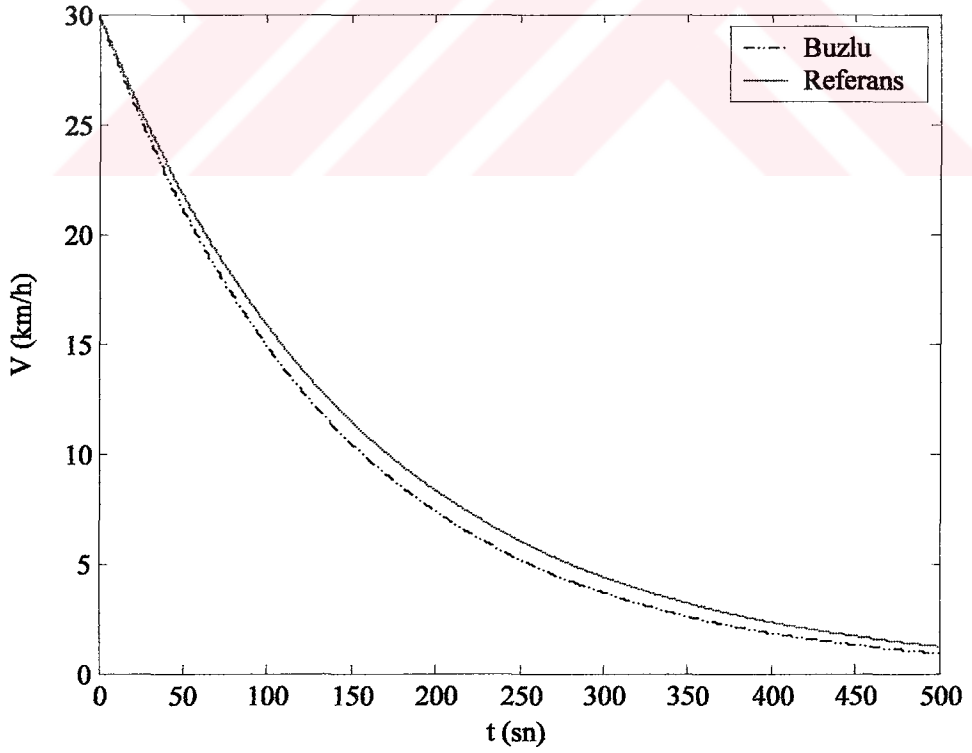
a) Kuru yol şartı



b) Islak yol şartı



c) Karlı yol şartı



d) Buzlu yol şartı

Şekil 5.12. BM ve EK yaklaşımı kullanılarak farklı yol şartları için aracın yavaşlaması (30km/h hız değerinden)

Şekilde görüldüğü gibi yol şartları kötüleştikçe aracın durması daha uzun süre almıştır. Bu sürenin bu kadar uzun olmasının başlıca sebebi aracın ağırlığının büyük seçilmesidir. Aslında genellikle EA'lar daha düşük boyutlarda ve ağırlıklarda üretilmektedir.



## 6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Erişim Kuralı (EK) yaklaşımı ve Bulanık Mantık (BM) kullanılarak bir Elektrikli Aracın (EA) farklı yol şartlarında dayanıklı hız kontrolü yapılmıştır. Temel amaç; EA için farklı hız ve yol şartlarında daha iyi bir sürüş performansı sağlamaktır. Bulanık mantığın kullanıldığı denetim sistemi, her yol şartında farklı hız değerlerine yükselme ve bu değerlerden yavaşlamak için seçilen referans sinyali ile aracın kararlı hareketini oluşturur. Böylece araç; hız değeri ne olursa olsun uygun bir eksponansiyel eğri ile istenilen değere yükselir yada bu değerden düşer.

Denetleyici olarak öncelikle PI, PD, PID gibi klasik doğrusal denetleyiciler denenmiş ancak bu denetleyiciler sadece kuru yol şartlarında ve bazı hız değerlerinde normale yakın sonuçlar vermiştir. EA'nın doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğu düşünülürse, doğrusal olmayan bir kontrol yöntemi kullanmanın daha iyi sonuçlar elde etmemizi sağlayacağı söylenebilir. Bu amaçla bir dayanıklı kontrol yöntemi olan Kayma Kipli Kontrol (KKK) tasarım yöntemi olan Erişim Kuralı (EK) yaklaşımı kullanılmıştır. Hızlanma ve yavaşlama modelleri ayrı ayrı oluşturulmuş ve her biri için ayrı kontrolörler tasarlanmıştır. Araç arkadan itişli olduğundan hızlanma durumunda ön tekerlek sürtünme katsayısı sıfır kabul edilmiştir. Yavaşlama esnasında ise hem ön hem de arka tekerleklere kuvvet uygulanmıştır.

Bu çalışmada, EK yaklaşımı dayanıklı bir hız kontrolü sağlamak, BM denetleyici ise en uygun referans hızlanma ve yavaşlama sinyalini elde etmek için kullanılmıştır. Geliştirilen denetleyici sayesinde yol şartlarına göre araç çok ani hızlanma veya yavaşlama isteğine maruz kalmayacaktır. Bu da enerjinin tasarruflu kullanımını sağlayacaktır.

Matematiksel modelde araç gövdesinin ağırlığı gibi bazı değerlerden dolayı yavaşlama durumunda karlı ve buzlu zeminler için aracın durma mesafesi uzun olmaktadır. Bu nedenle tezde bu durumlara ait benzetim sonuçlarına sadece düşük hızlar için yer verilmiştir.

Sonuç olarak, 5. Bölüm'de ayrıntılı bir şekilde ele alınan benzetim sonuçları da EK yaklaşımı ve BM kullanılarak tasarlanan denetleyicinin sistem denetimi üzerindeki olumlu etkilerini göstermiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Hori, Y., 2002, Future Vehicle Driven by Electricity and Control, IEEE, AMC 2002-Maribor, Slovenia.
- [2] Gao, W.B., Hung, J. C., 1993, Variable Structure Control of Nonlinear Systems, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 40, No. 1, pp. 45-55.
- [3] Young, K. D., Utkin, V. I., Özgüner, Ü.,1999, A Control Engineer's Guide to Sliding Mode Control, IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 7, No. 3, pp. 328-342.
- [4] Slotine, J.-J. E., 1984, Sliding Controller Design for Non-linear Systems, Int. J. Control, Vol. 40, No.2, pp. 421-434.
- [5] Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy Sets, Informat. Contr., Vol. 8, pp. 338-353.
- [6] Akpolat, Z.H., 2000, Bulanık Mantık Ders Notları
- [7] Khatun, P., Bingham, C. M., Schofield, N., Mellor, P. H., 2003, Application of Fuzzy Control Algorithms for Electric Vehicle Antilock Braking/Traction Control Systems, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 52, No. 5, pp. 1356-1364.
- [8] Verma, S. S. M., Verma, S. P., Implementation of a Fuzzy Logic Speed Controller for Electric Vehicles on a 32-Bit Microcontroller, IEEE Canada ,pp. 1004-1009.
- [9] Pusca, R., Ait-Amirat, Y., Berthon, A., Kauffmann, J.-M., 2004, Fuzzy-Logic-Based Control Applied to a Hybrid Electric Vehicle with Four Separate Wheel Drives, IEE Proc.-Control Theory Appl., Vol. 151, No. 1, pp. 73-81.
- [10] Chan, C. C., 2002, The State of The Art of Electric And Hybrid Vehicles, IEEE Proceedings, Vol. 90, No. 2, pp. 247-274.
- [11] Elektrikli Otomobiller, <http://www.obitet.gazi.edu.tr/Teknoloji/elektrikli.htm>.
- [12] Luo, F. L., Yeo, H. G., 2000, Advanced PM Brushless DC Motor Control & System for Electric Vehicles, IEEE, pp. 1336-1343.

- [13] An, D. P., Nezu, K., Akuto, T., 1995, Design of Longitudinal Control System for Brushless Motor Electric Vehicle Using VSTC Control Theory, *JSME International Journal*, Vol. 38, No. 4, pp. 756-764.
- [14] Sakai, S., Sado, H., Hori, Y., 2002, Anti Skid Control with Motor in Electric Vehicle, *IEEE, AMC 2000-Nagoya*, pp. 317-322.
- [15] Utkin, V. I., 1993, Sliding Mode Control Design Principles and Applications to Electric Drives, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 40, No. 1, pp. 23-35.
- [16] Hung, J. Y., Gao, W., Hung, J. C., 1993, Variable Structure Control: A Survey, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 40, No. 1, pp. 2-21.
- [17] Slotine, J.-J. E., Li, W., 1991, *Applied Nonlinear Control*, Prentice-Hall.
- [18] Nabiyeu, V. V., 2003, *Yapay Zeka, Seçkin*, Ankara, pp. 639-652.
- [19] Workman, F. P., 1990, *Digital Control of Dynamic Systems*, Addison Wesley.

## ÖZGEÇMİŞ

Gonca ÖZMEN KOCA

gozmen@firat.edu.tr

Tlf: 424 2370000 / 3321

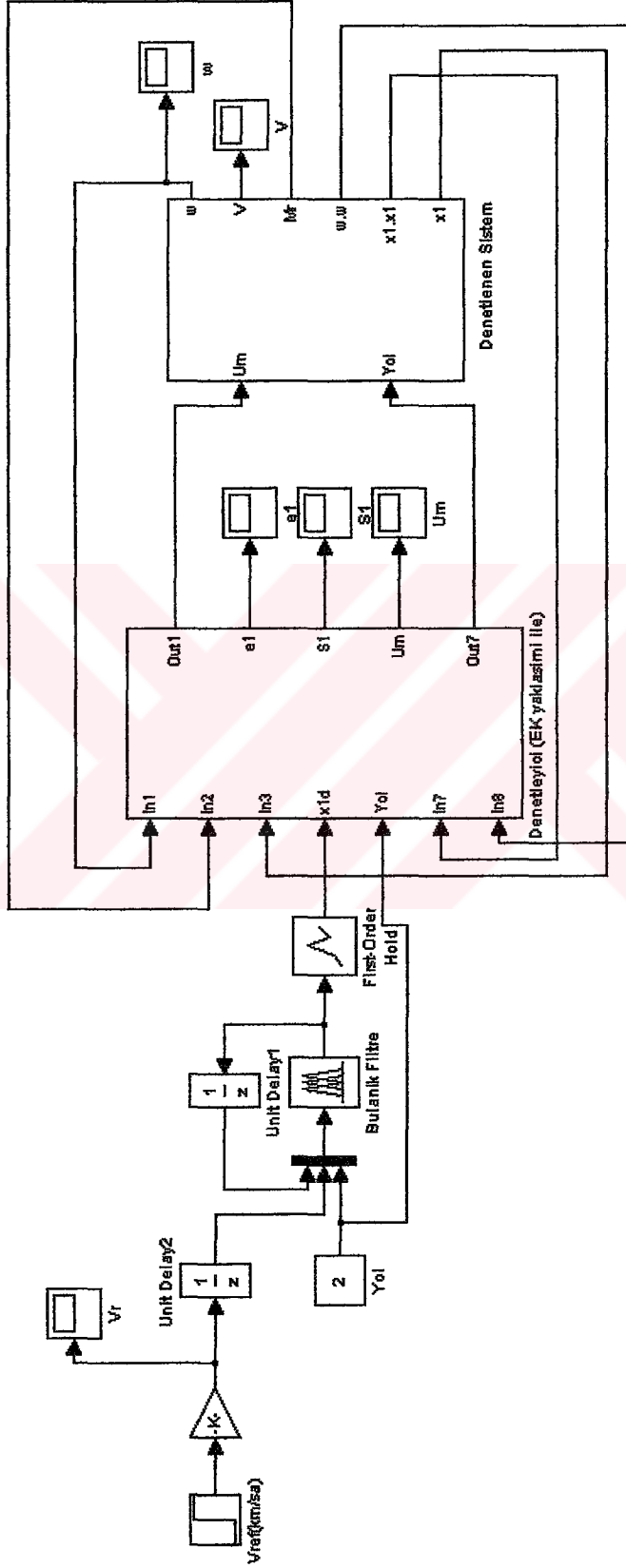
Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü

ELAZIĞ

1980 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 1998 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2002 yılında bu bölümden mezun oldu. Bir dönem sonra Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü Kontrol Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2004 yılında aynı bölümde açılan araştırma görevliliği sınavını kazanarak göreve başladı. Halen bu görevi sürdürmektedir. Yabancı dili İngilizcedir.

## EK-1

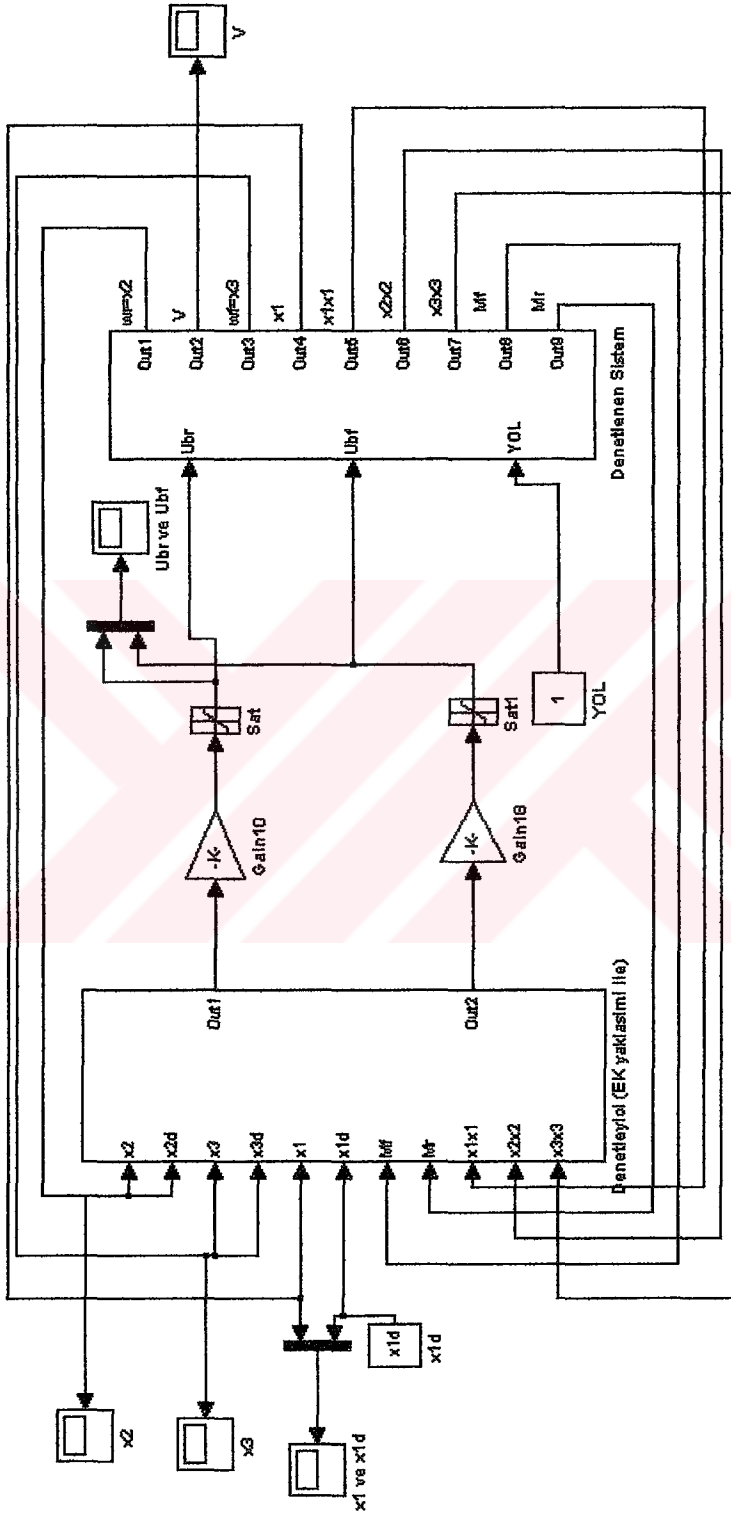


Şekil E1.a. MATLAB/SIMULINK programında elektrikli aracın hızlanma modeli için EK yaklaşımı ve BM kullanılarak yapılan hız denetimine ait blok şeması



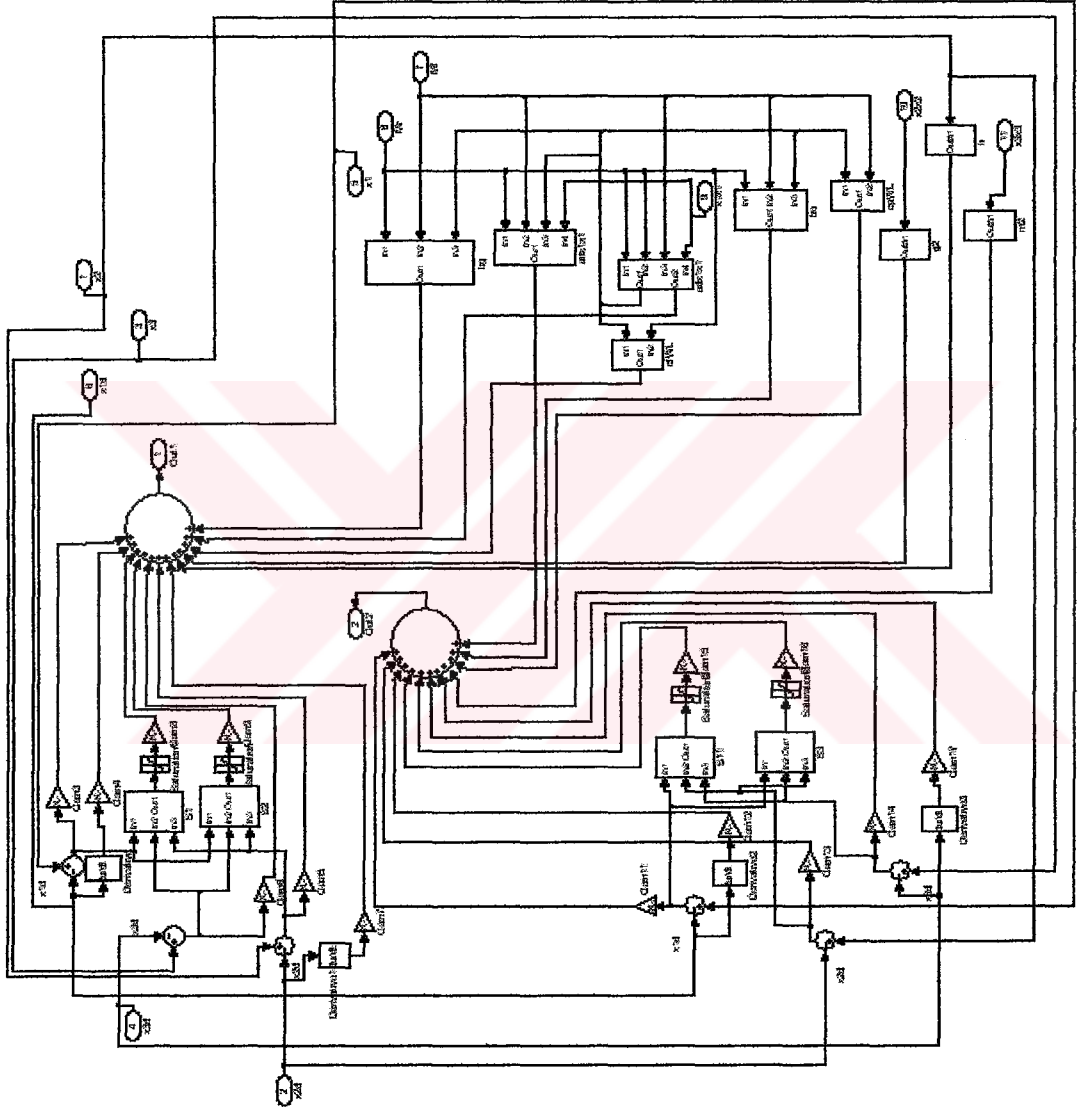


## EK-2

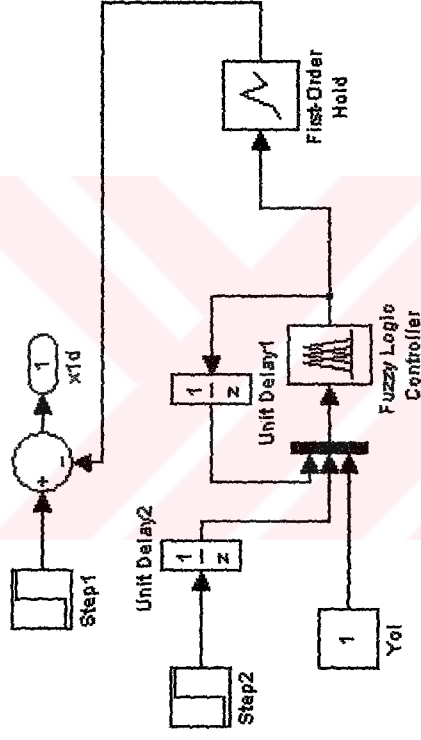


Şekil E2.a. MATLAB/SIMULINK programında elektrikli aracın yavaşlama modeli için EK yaklaşımı ve BM kullanılarak yapılan hız denetimine ait blok şeması





Şekil E2.c. EK yaklaşımı kullanılarak oluşturulmuş denetleyici bloğunun iç yapısı (yavaşlama modeli için)



Şekil E2.đ.  $x_{1d}$  (referans hız girişi) bloğunun iç yapısı