

**BULANIK KAYMA KIPLİ KONTROL YÖNTEMİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Pamukkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Özcan DÜLGER

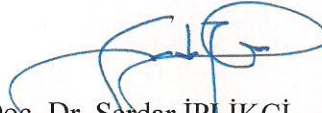
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sezai TOKAT


Ağustos, 2009

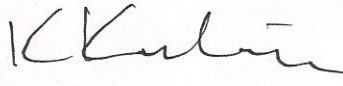
DENİZLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Özcan DÜLGER tarafından Yrd. Doç. Dr. Sezai TOKAT yönetiminde hazırlanan “**Bulanık Kayma Kipli Kontrol Yönteminin İyileştirilmesi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Serdar İPLİKÇİ
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr. Sezai TOKAT
Jüri Üyesi(Danışman)


Yrd. Doç. Dr. Kadir KAVAKLIOĞLU
Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
03.09/2009 tarih ve ...19... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Halil KARAHAN
Müdür

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza : 

Öğrenci Adı Soyadı : Özcan DÜLGER

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında akademik bilgilerini bana aktaran ve yardımlarını hiç esirgemeyen tez danışmanım ve değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Sezai Tokat'a çok teşekkür ediyorum.

Bana vermiş oldukları tüm destekleri için Elektrik – Elektronik Mühendisliği öğretim üyesi Doç. Dr. Serdar İplikçi'ye, en zor anlarımda hep yanımda olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Necdet Güner'e, kıymetli hocalarım; Yrd. Doç. Dr. A.Kadir Yaldır, Yrd. Doç. Dr. Gürhan Gündüz ve Yrd. Doç. Dr. Kadir Kavaklıoğlu'na çok teşekkür ediyorum.

Yüksek lisansım boyunca bilimsel çalışmalarım için burs vererek bana karşılıksız maddi destekte bulunan Türkiye'nin en değerli kurumlarından biri olan TÜBİTAK'a çok teşekkür ediyorum. Ayrıca, benden desteğini esirgemeyen sevgili Muhittin Karaman'a, en zor anlarımda yanımda olan ve manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili dostum Uğur Oral ve değerli ailesine teşekkürlerimi borç bilirim. Beni yetiştirip bu günlere getiren değerli annem Güner Dülger ile babam Murat Dülger'e ve yüksek lisans sürecinde bana desteği olan herkese çok teşekkür ediyorum.

ÖZET

BULANIK KAYMA KIPLİ KONTROL YÖNTEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Dülger, Özcan

Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği ABD

Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Sezai TOKAT

Ağustos 2009, 64 Sayfa

Bulanık mantık kontrol ve kayma kipli kontrolün kararlılık ve istenen performans ölçütlerini elde etmek için birleştirilmesi kontrol araştırmalarının etkin bir alanını oluşturmaktadır. Bu çalışmalar temel olarak iki grupta sınıflandırılabilir. Birinci gruptaki çalışmalar geleneksel kayma kipli kontrol stratejilerini kullanırlar. Daha sonra bu şekilde, kontrol mekanizmalarını sınıflandırmak veya geliştirmek için bulanık modellerden yararlanırlar. Bu tür kontrol stratejileri kayma kipli bulanık kontrol olarak bilinmektedir. İkinci gruptaki çalışmalar genellikle tek girişli bir bulanık mantık kontrolör kullanan geleneksel kayma kipli kontrolörün giriş-çıkış ilişkisinin tahmini değerini elde etmekle ilgilenirler. Bu yapıda ise kayma kipli kontrolör prensipleri parametre uyarlaması veya dayanıklı ve kararlı bir tasarım için bulanık mantık kontrolör yapısı içinde kullanılmaktadır. Bu tür kontrolörler bulanık kayma kipli kontrolör olarak bilinmektedir. Bu tez çalışmasında ikinci grupta olan bulanık kayma kipli kontrolör yapıları incelenerek literatürde tanımlanmış olan iki girişli hiyerarşik bulanık kayma kipli kontrolör yapısının daha da iyileştirilmesi üzerinde durulmuştur. Bu amaçla tek girişli bir hiyerarşik bulanık kayma kipli kontrolör tasarlanarak daha az kural tablosu ile aynı sonuç ya da daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Benzetim çalışmalarında kayma kipli kontrolöre ait kayma yüzeyi değişkeni ve ölçekleme faktörleri genetik algoritma optimizasyon yöntemi ile adil bir şekilde elde edilmiştir. Hiyerarşik yapılar ile klasik PID, bulanık PI ve geleneksel kayma kipli kontrolör yapılarının doğrusal ve doğrusal olmayan sistemler üzerinde performansları karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçlarında hiyerarşik yapıların en iyi sonucu verdiği görülmüş ve ayrıca sonuçlar iki girişli hiyerarşik bulanık kayma kipli kontrolörün performansının tek girişli yapı ile daha az kural kullanılarak elde edildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık Kontrol, Kayma Kipli Kontrol, Bulanık Kayma Kipli Kontrol, Hiyerarşik Bulanık Kayma Kipli Kontrol, Tek Girişli Hiyerarşik Bulanık Kayma Kipli Kontrol, Genetik Algoritma Optimizasyonu.

Doç. Dr. Serdar İPLİKÇİ

Yrd. Doç. Dr. Sezai TOKAT

Yrd. Doç. Dr. Kadir KAVAKLIOğLU

ABSTRACT**IMPROVMENT OF THE FUZZY SLIDING MODE CONTROL METHOD**

Dülger, Özcan

M. Sc. Thesis in Computer Engineering
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Sezai TOKAT

August 2009, 64 Pages

Integrating fuzzy logic control and sliding mode control to achieve stability and desired performance criteria is an active area of the control researches. These studies can be classified in two groups. The studies in the first group use conventional sliding mode control strategies. Then in some way, they make use of fuzzy models to simplify or to improve the control mechanism. This kind of control strategies are known as sliding mode fuzzy controller. The studies in the second group deal with obtaining an approximate value of the input-output relation of a conventional sliding mode controller generally realized with a single input fuzzy logic controller. In this structure, the sliding mode control principles are used in the fuzzy logic controller architecture for parameter adaptation or for a robust and stable design. This kind of controllers are known as fuzzy sliding mode controllers. In this thesis fuzzy sliding mode control strategies are surveyed and a higher order hierarchical fuzzy sliding mode control with two inputs method which is proposed in the literature is improved. Then a higher order hierarchical fuzzy sliding mode control with one input is designed and obtaining the same or better result with a low rule base. In the simulations the sliding surface parameters and scaling factors are obtained fairly by a genetic algorithms optimization. The performance of hierarchical structures, classical PID, fuzzy PI and conventional sliding mode control are compared in a linear and non-linear systems. From the simulations it is seen that the best result are obtained with hierarchical structures and also the results show that the performance of higher order hierarchical fuzzy sliding mode control with two inputs can be obtained by using less fuzzy rules with a one input rule base.

Keywords : Fuzzy Logic Control, Sliding Mode Control, Fuzzy Sliding Mode Control, Hierarchical Fuzzy Sliding Mode Control, Hierarchical Fuzzy Sliding Mode Control with One Input, Genetic Algorithm Optimization.

Assoc. Prof. Dr. Serdar İPLİKÇİ
Asst. Prof. Dr. Sezai TOKAT
Asst. Prof. Dr. Kadir KAVAKLIOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Yüksek Lisans Tezi Onay Formu.....	i
Bilimsel Etik Sayfası.....	ii
Teşekkür.....	iii
Özet.....	iv
Abstract.....	v
İçindekiler.....	vi
Şekiller Dizini.....	viii
Tablolar Dizini.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. BULANIK MANTIK VE BULANIK MANTIK KONTROLÖR.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Tarihçesi.....	4
2.3. Bulanık Mantık Teorisi.....	4
2.3.1. Bulanık kümeler.....	5
2.3.2. Üyelik fonksiyonları.....	6
2.3.3. Bulanık küme işlemleri.....	7
2.3.4. Dilsel değişkenler.....	10
2.4. Bulanık Mantık Kontrolör.....	11
2.5. Bulanık Mantık Kontrolör Uygulama Örnekleri.....	16
3. KAYMA KİPLİ KONTROL.....	17
3.1. Giriş.....	17
3.2. Kayma Yüzeyi Tasarımı.....	18
3.3. Kayma Kipli Kontrolöre ait Kavramlar.....	20
3.4. Kayma Kipli Kontrol Uygulama Örnekleri.....	22
4. BULANIK KAYMA KİPLİ KONTROL.....	24
4.1. Giriş.....	24
4.2. Klasik PID Yapısı.....	28
4.3. Bulanık PD ve Bulanık PI Yapıları.....	30
4.4. Klasik Bulanık Kayma Kipli Kontrolör.....	31
4.5. İki Girişli Hiyerarşik Yöntem Kullanan Yüksek Dereceli Bulanık Kayma Kipli Kontrol Sistemi.....	34
4.6. Tek Girişli Hiyerarşik Yöntem Kullanan Yüksek Dereceli Bulanık Kayma Kipli Kontrol Sistemi.....	36
5. GENETİK ALGORİTMALAR.....	37
5.1. Giriş.....	37
5.2. Genetik Algoritma ile Diğer Geleneksel Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	37
5.3. Genetik Algoritmanın Dayanağı.....	39
5.4. Genetik Algoritma Faktörleri.....	42
5.4.1. Kodlama.....	43
5.4.2. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması.....	43
5.4.3. Çoğalma.....	43
5.4.4. Çaprazlama.....	44
5.4.5. Mutasyon.....	45
5.4.6. Uygunluk fonksiyonu.....	45

5.4.7. Yeni neslin oluşturulması.....	46
5.4.8. Sonlanma koşulu.....	46
5.4.9. Şema teorisi.....	47
6. BENZETİM ÇALIŞMALARI.....	48
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 (a) Bulanık küme ile (b) klasik kümenin karşılaştırılması.....	6
Şekil 2.2 Üyelik fonksiyonlarının alabildiği değişik şekiller.....	7
Şekil 2.3 (a) A ve \bar{A} klasik kümesinin, (b) $A \cup \bar{A} = E$ matematiksel ifadesinin ve (c) $A \cap \bar{A} = \emptyset$ matematiksel ifadesinin $[0,1]$ aralığındaki grafikleri.....	9
Şekil 2.4 (a) Bulanık küme (A) ve onun tümleyeninin (\bar{A}), (b) $A \cup \bar{A} \neq E$ matematiksel ifadesinin ve (c) $A \cap \bar{A} \neq \emptyset$ matematiksel ifadesinin $[0,1]$ aralığındaki grafikleri.....	9
Şekil.2.5 Hız değerlerine ait dilsel değişkenlerin bulanık kümedeki gösterimi (WEB_2 2009)..	11
Şekil 2.6 Bulanık mantık kontrolör kullanımı.....	11
Şekil 2.7 Bulanık mantık kontrolör yapısı.....	12
Şekil 2.8 (a) $e(k)$ 'nin (b) $de(k)$ 'nin (c) u 'nun üyelik fonksiyonu.....	13
Şekil 2.9 Yükseklik yönteminin gösterimi.....	15
Şekil 2.10 Ağırlık merkezi yönteminin gösterimi.....	15
Şekil 3.1 Örnek bir kayma yüzeyi.....	21
Şekil 4.1 Klasik PID yapısı.....	28
Şekil 4.2 İki değişkenli bulanık mantık kontrolör: (a) PD türü ve (b) PI türü.....	30
Şekil 4.3 Klasik bulanık kayma kipli kontrolöre ait blok diyagramı.....	33
Şekil 4.4 İki girişli hiyerarşik yöntem kullanan yüksek dereceli bulanık kayma kipli kontrolör (Li vd 1997).....	35
Şekil 4.5 Hiyerarşik kayma yüzeylerinin yapısı (Qian vd 2006).....	36
Şekil 4.6 Tek girişli hiyerarşik yöntem kullanan yüksek dereceli bulanık kayma kipli Kontrolör.....	36
Şekil 6.1 Bir üçüncü dereceden bulanık kayma kipli kontrolör.....	49
Şekil 6.2 Doğrusal sistemin kontrol sonuçları (PD türü).....	50
Şekil 6.3 Doğrusal sistemin kontrol sonuçlarının yakından görünümü (PD türü).....	51
Şekil 6.4 Doğrusal sistemin kontrol sonuçları (PI türü).....	52
Şekil 6.5 Doğrusal sistemin kontrol sonuçlarının yakından görünümü (PI türü).....	53
Şekil 6.6 Doğrusal olmayan sistemin kontrol sonuçları (PI türü).....	54
Şekil 6.7 Doğrusal olmayan sistemin kontrol sonuçlarının yakından görünümü (PI türü).....	55

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Kural tablosu.....	14
Tablo 4.1 Ziegler - Nichols 2. Yöntem parametre değerleri.....	29
Tablo 4.2 Hata ve hatanın değişimi için iki boyutlu bir kural tabanı (Li 1997).....	31
Tablo 4.3 Tek girişli kural tablosu (Li 1997).....	33
Tablo 5.1 Doğal genetik ile genetik algoritma terimlerinin karşılaştırılması.....	42
Tablo 6.1 Doğrusal sistem için hesaplanan performans ölçütü ve tasarım parametreleri (PD türü).....	50
Tablo 6.2 Doğrusal sistem için hesaplanan performans ölçütü ve tasarım parametreleri (PI türü).....	52
Tablo 6.3 Doğrusal olmayan sistem için hesaplanan performans ölçütü ve tasarım parametreleri (PI türü).....	54

1. GİRİŞ

Zadeh'in 1965 yılındaki bulanık mantık ile ilgili makalesinden ve Mamdani'nin 1974'de bulanık mantık kontrol uygulamasından sonra bu alanda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bulanık mantığın en önemli faydası bir sistemin kontrolünde, uzman kişilerden dilsel ifadeler olarak alınan bilgilerin bulanık mantık kurallarıyla ifade edilebilmesidir. Diğer bir faydası ise matematiksel modeli tam olarak bilinmeyen sistemlere uygulanabilmesidir.

Kayma kipli kontrol kavramı 1950'li yılların sonlarına doğru ortaya çıkmış ve Utkin'in 1977 yılındaki makalesinden sonra yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu yeni kontrol yöntemi uçuş kontrolü, robot kontrolü, elektrik motorlarının kontrolü gibi birçok alanda uygulama alanı bulmuştur. Bu kontrol yönteminde, kontrol kuralı kontrol işlemi sırasında sistemin durumuna bağlı olarak, daha önceden belirlenen kurallara göre değiştirilmektedir. Böylece sistem, kararlı ve kararsız yörüngeler arasında hareket ederek kayma yüzeyine ulaşmakta ve hata değerleri sifıra gitmektedir (Edwards ve Spurgeon 1998). Bu kontrol yönteminin en olumlu yanı sistem durumları kayma yüzeyinde iken sistemin parametre değişimlerine ve dış bozucu etkilere karşı duyarsız olmasıdır. Olumsuz yanı ise süreksiz kontrol işaretinin sistemi kayma yüzeyi üzerinde tutmak için ani işaret değişimleri ile çatırtıya neden olmasıdır. Bu ise fiziksel sistem elemanlarına zarar vermektedir. Bununla birlikte, işaret (signum) fonksiyonunun yerine, bu fonksiyonun sürekli bir yaklaşımı olan doyum (saturation) fonksiyonu kullanılarak çatırtının önüne geçmek ve sisteme uygun doyum bölgesi seçimi ile işaret fonksiyonu kullanılan duruma göre benzer performanslar elde etmek mümkündür (Palm 1992). Çatırtıyı önlemenin diğer bir yolu da kayma kipli kontrolörü doğrudan matematiksel süreksizlikler içermeyen bir Lyapunov fonksiyonu kullanarak tasarlamaktır (Yagiz 2000).

Bulanık mantık kontrol ile kayma kipli kontrolün iyi özelliklerini bir araya getirmek için literatürde çalışmalar yapılmaktadır. Kayma kipli kontrol teorisinin bulanık mantık kontrol yapısı içinde kullanılması ile elde edilen yapılar bulanık kayma kipli kontrolör yapıları olarak adlandırılmaktadır (Tokat vd 2003). Chen ve Chang (1998) kayma kipli kontrol teorisinin bulanık mantık kontrol yapısı içinde kullanılması ile elde edilen bulanık kayma kipli kontrolör tasarımında bulanık mantık kontrolör bloğunun giriş değeri olarak kayma fonksiyonunu, çıkış değeri olarak ise kontrol işaretini kullanmıştır. Burada kayma fonksiyonu yaklaşık olarak sıfır ise sistem kayma yüzeyinde demektir. Eğer kayma fonksiyonunun değeri büyük ise sistem yüzeyden uzak demektir, böylece daha büyük bir kuvvet uygulanarak sistemin kayma yüzeyine girmesi sağlanır. Li ve Shieh (2000) araba - ters sarkaç sistemini kontrol etmek için, girişleri kayma fonksiyonu ve kayma fonksiyonunun türevi, çıkışı ise kontrol işaretindeki değişim olan bulanık kayma kipli kontrolör kullanmışlardır. Choi ve Kim (1997) bulanık mantık kontrolör için giriş olarak kayma fonksiyonu ve kayma fonksiyonunun türevini çıkış olarak ise kayma kipli kontrolörün süreksiz kontrol kazancını kullanarak farklı bir bulanık kayma kipli kontrolör yapısı oluşturmuşlar ve geliştirdikleri kontrolörü iki serbestlik dereceli robot koluna uygulayarak izleme hatasının azaldığını gözlemlemişlerdir. Abdelhameed (2005) süreksiz kontrol kazancını uyarlamak için girişleri kayma fonksiyonu ve kayma fonksiyonunun mutlak değerleri ile önerilen çatırtı indeksi olan bulanık mantık kontrolörü kullanmıştır.

Bu tez çalışması yedi bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde bulanık mantık teorisi ve bulanık mantık kontrolör yapısı hakkında ayrıntılı bilgiler verilip literatürdeki bazı çalışmalar anlatılmıştır. Daha sonra üçüncü bölümde kayma kipli kontrolör hakkında bilgiler verilmiş ve literatür çalışmalarından bazı örnekler anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise kayma kipli kontrol yöntemlerinin bulanık mantık kontrol yapısı içerisinde kullanılmasına dayanan farklı bulanık kayma kipli kontrolör tasarımları belirtilmiştir. Bu bölümde hiyerarşik bulanık kayma kipli kontrolör yapısı da ele alınmıştır. Beşinci bölümde genetik algoritma optimizasyon yönteminden bahsedilmiştir. Daha sonra altıncı bölümde dördüncü bölümde anlatılan yöntemler kullanılarak doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin kontrol edilmesi üzerinde durulmuş ve elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar yardımı ile belirtilmiştir. Yedinci bölümde ise bir önceki bölümde ele aldığımız uygulamaların sonuçları ve yorumları üzerinde durulmuştur.

2. BULANIK MANTIK TEORİSİ VE BULANIK MANTIK KONTROLÖR

2.1 Giriş

Klasik mantıkta bir önerme ya 'doğru' ya da 'yanlış' olarak kabul edilir. Üçüncü bir durumun gerçekleşmesi imkânsız kabul edilir ve çoğu zaman bu durum bir çelişki olarak adlandırılır. Doğruluk önermeleri, {yanlış, doğru}, veya sayısal olarak {0, 1} , kümesinin elemanları ile ilişkilendiren bir küme olarak görülebilir (Zadeh 1965).

Bulanık mantıkta ise önermeler, 'doğru', 'yanlış', 'çok doğru', 'çok yanlış', 'çok çok doğru', 'çok çok yanlış', 'yaklaşık olarak doğru', 'yaklaşık olarak yanlış', v.b. gibi, olabileceğidir. Yani, doğruluk, önermelerle, klasik yanlış ve doğru arasındaki sonsuz sayıdaki doğruluk değerlerini içeren bir kümedeki değerler, ya da sayısal olarak [0, 1] gerçel sayı aralığıyla ilişkilendiren bir fonksiyondur (Zadeh 1965).

Aristo mantığı olarak adlandırılan klasik mantığın bulanık mantıktan en önemli farkı sadece uç değerlere izin vermesidir. Klasik matematiksel yöntemlerle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek bu nedenle zorluklar içerir; çünkü kesin bilgiye dayalı bu tip bir yapıda verilerin de eksiksiz olması gerekir. Bulanık mantık bu zorunluluğu ortadan kaldırır ve eksik bilgiyi değerlendirebilmemizi sağlar.

Bulanık mantığın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük fayda ise "insana özgü deneyimden ile öğrenme" olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanınmasıdır. Bu nedenle karmaşık, modellenme zorlukları bulunan ve doğrusal olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygun bir yöntemdir (Mamdani ve Assilian 1975, Lee 1990).

2.2 Tarihçesi

Bulanık mantık teorisinin temelleri ilk olarak 1960 yılında, University of California, Berkeley'den Dr. Lotfi Zadeh tarafından doğal dildeki belirsizliği modellemek için ortaya konmuştur. İlk uygulaması ise 1973 yılında, Londra'daki Queen Mary College'de profesör olan H. Mamdani tarafından bir buhar makinesinde gerçekleştirilmiştir.

Bulanık mantık kuramının ilk önemli endüstriyel uygulaması Danimarka'daki bir çimento fabrikasında F.L. Smith tarafından 1980 yılında gerçekleştirilmiştir. Değirmen içinde çok hassas bir denge ile oranlanması gereken sıcaklık ve oksijen ayarı en uygun bir biçimde yapılmıştır. Bir başka dikkate değer uygulama ise Hitachi firması tarafından 1987 yılında Sendai Metro'sunda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sayesinde trenin istenen konumda durması üç kat iyileştirilmiş ve kullanılan enerji %10 azaltılmıştır. Bunun üzerine Hitachi firmasına benzeri bir sistemi Tokyo Metro'suna da kurması için talep gelmiştir. Yamaichi Securities'in geliştirdiği bulanık mantık temelli uzman sistem, 1988 yılının ekim ayında Kara Pazar adlı Tokyo Borsası'nda yaşanan krizin sinyallerini on sekiz gün önceden haber vermiştir. Bu kadar başarılı uygulamaların ardından bulanık mantığa olan ilgi artmış, uluslararası bir çalışma ortamı oluşturabilmek amacıyla 1989 yılında aralarında SGS, Thomson, Omron, Hitachi, NCR, IBM, Toshiba ve Matsuhita gibi dünya sanayi devlerinin bulunduğu 51 firma tarafından LIFE (Laboratory for Interchange Fuzzy Engineering) laboratuvarları kurulmuştur (Günel 1997). LIFE'ın yanında FLSI (Fuzzy Logic Systems Institute) adındaki diğer araştırma merkezi de elektronik, otomotiv ve üretim teknolojisi alanında bulanık mantık ile ilgili yeni uygulamalar kazandırmaktadır.

2.3 Bulanık Mantık Teorisi

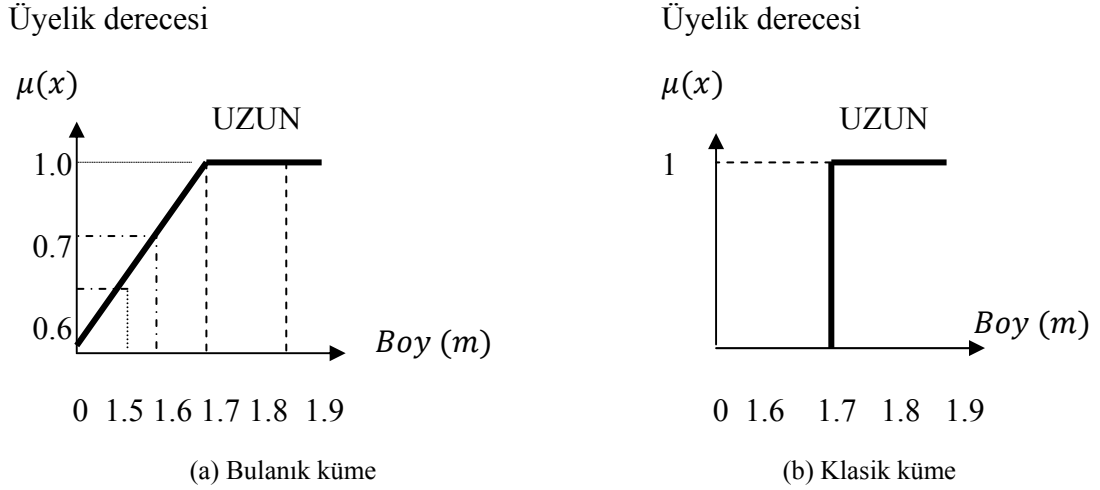
Bulanık mantık teorisinde bir ifade tamamen doğru ise klasik mantıkta olduğu gibi değeri 1 olur. Tamamen yanlış ise 0 değerini alır. Bunun dışında klasik mantıktan farklı olarak kısmen doğru veya yanlış ise 0 - 1 aralığında bir değer alır. Ölçme teorisinde olasılık ölçümlerini bulanık ölçümün özel bir durumu olarak ele alan çalışmalar

bulunmaktadır. Fakat bulanık kümeler için kullanılan üyelik dereceleri olasılık teorisinde kullanılan olasılık değeri ile aynı anlamda değildir. Olasılık değeri bir olayın olup olamayacağını bir ölçütüdür. Bulanık sayıların üyelik dereceleri ise bir olayın ne dereceye kadar olduğunu, bir şartın ne dereceye kadar olacağını gösterir. Üyelik derecesi bir olayın benzerlik derecesini ifade ederken, olasılık ise olma sıklığını gösterir (Massad vd 2008).

Bulanık mantık teorisinin olumu yönleri insan düşünce sistemine ve tarzına yakın olması, uygulanmasında mutlaka matematiksel bir modele gereksinim duyulmaması, yazılımın basit olması nedeniyle ekonomik olması, üyelik değerlerinin kullanımı sayesinde diğer kontrol tekniklerine göre esnek olması ve doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesine izin verebilmesi sayılabilir (Kıyak ve Kahvecioğlu 2003). Bulanık mantık teorisinin olumsuz yanları ise uygulamada kullanılan kuralların oluşturulmasının uzmana bağlı olması, üyelik fonksiyonlarının deneme - yanılma yolu ile bulunmasından dolayı uzun zaman alabilmesi ve kararlılık analizlerinin yapılmasındaki zorluklardır (Kıyak ve Kahvecioğlu 2003).

2.3.1 Bulanık kümeler

Bulanık küme kavramında klasik kümelerdeki “elemanıdır” veya “elemanı değildir” ifadesi yerine “şu kadar elemanıdır” veya “şu kadar elemanı değildir” ifadeleri yer alır. Bir eleman için eleman olma durumu 1 ve olmama durumu 0 ile değil 0 ile 1 arasındaki üyelik derecesi ile gösterilir. Örneğin “Uzun boylu kime denir?” sorusuna cevap verecek olan bir UZUN alt kümesini her iki mantığa göre tanımlayalım (WEB_1 2009). Şekil 2.1’de de görüldüğü gibi klasik küme mantığına göre 160 cm. boyundaki bir kişi uzun boylu insanlar kümesi içinde değildir. Hatta 169 cm. boyundaki bir kişi uzun boylu insanlar kümesi içinde değildir. Oysa bulanık mantığa göre 160 cm. boyundaki kişiye kısa denilmez. Çünkü kısmen de olsa uzun boylu insanlar kümesi içindedir. Bulanık mantıkta 160 cm boyundaki biri 0.6 üyelik derecesiyle, 170 cm. boyundaki biri 0.7 üyelik derecesiyle, 180 cm. boyundaki biri de 1.0 üyelik derecesiyle uzun boylu olabilir (WEB_1 2009)



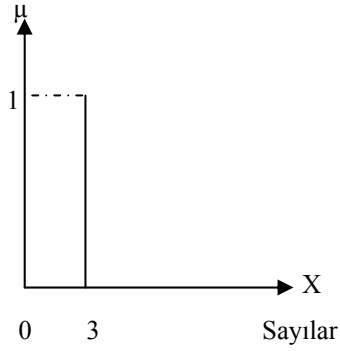
Şekil 2.1 (a) Bulanık küme ile (b) klasik kümenin karşılaştırılması

2.3.2 Üyelik fonksiyonları

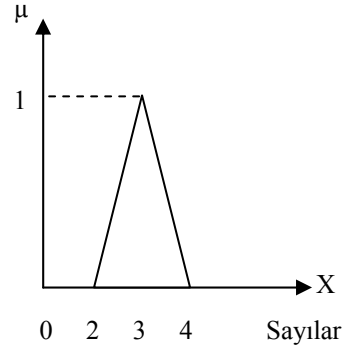
Uygulamaların birçoğunda üyelik fonksiyonu, örnekte verilen UZUN gibi basit bir şekilde olmayacaktır. Üyelik fonksiyonlarının alabileceği muhtemel temel şekiller Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Konuşma dilinde kullanılan her bir nitelikli tanımlamalar bir üyelik fonksiyonu olarak yazılırlar. Her noktada ve uygulanan sınırlarda üyelik sınıfları belirlenir (Baba 1995).

Bulanık mantıkta, dilsel ifade kolaylığı sağlayacak şekilde bölgelerin sınırlarını belirtmede ve algılayıcı bilgilerine ait üyelik ağırlıklarının tespit edilmesinde kullanılmak üzere uygun üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gerekir.

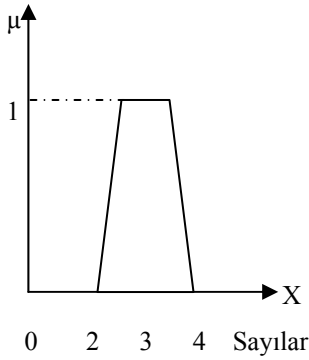
Üyelik fonksiyonları, sistem parametrelerini tanımlar. Üyelik fonksiyonlarının sayısına ve şekline ait hiçbir kısıtlama yoktur. Tamamıyla tasarımcının istek ve tecrübesine bağlıdır. Bu zamana kadar olan çalışmalarda en çok üçgen, yamuk, çan eğrisi şeklinde üyelik fonksiyonları kullanıldığı görülmektedir (Baba 1995).



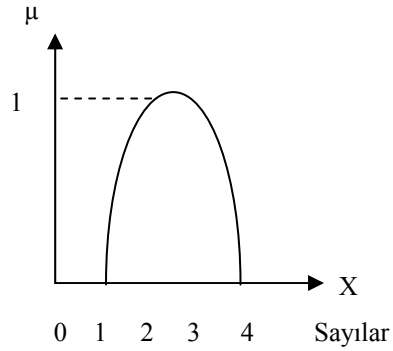
(a) Klasik (crisp) küme



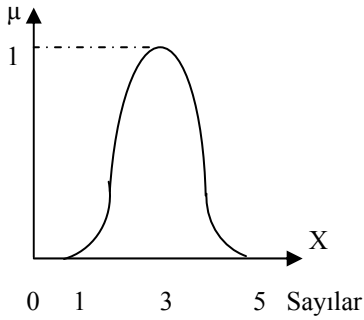
(b) Üçgensel (Triangular) bulanık küme



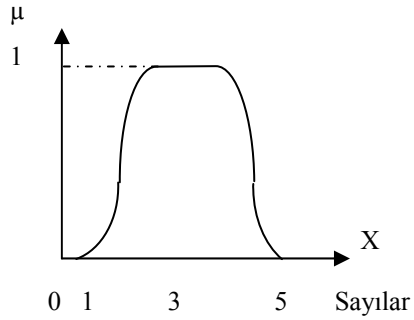
(c) Trapezoidal bulanık küme



(d) Quadratik bulanık küme



(e) Gaussain bulanık küme



(f) Çan eğrisi bulanık küme

Şekil 2.2 Üyelik fonksiyonlarının alabildiği değişik şekiller

2.3.3 Bulanık küme işlemleri

Bulanık küme teorisi, klasik küme teorisinin geliştirilmiş halidir. Bu nedenle, bulanık küme işlemlerini tanımlarken, E evrensel uzayının klasik alt kümeleri arasında var olan ilişkilerin genişletilmesi yeterli olacaktır (Zadeh 1977).

A ve B , μA ve μB üyelik fonksiyonu E evrensel uzayındaki iki bulanık küme olsun. Bulanık kümeler için birleşim, kesişim ve tümleyici küme teorik işlemler kendi üyelik fonksiyonları yoluyla tanımlanır (Zadeh 1977).

Tanım 2.1: Birleşme Özelliği: A ve B kümelerinin birleşimi $A \cup B$ olarak gösterilir. Aynı zamanda $A \cup B$ kümesi E evrensel kümesinin bir bulanık alt kümesidir. Bu kümenin üyelik fonksiyonu biçimindeki matematiksel ifadesi şöyledir:

$$\forall x \in U, \quad \mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu A(x), \mu B(x)\} \quad (2.1)$$

Boole cebirindeki karşılığı VEYA (OR) işlemidir (Zadeh 1977).

Tanım 2.2: Kesişim Özelliği: A ve B kümelerinin kesişimi $A \cap B$ şeklinde ifade edilir ve üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi şöyledir:

$$\forall x \in U, \quad \mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu A(x), \mu B(x)\} \quad (2.2)$$

Boole cebirindeki karşılığı VE (AND) işlemidir (Zadeh 1977).

Tanım 2.3: Tümleme (Complement) Özelliği: A bulanık kümesinin tümleyeni $\bar{\mu A}$ olarak ifade edilir ve üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi şöyledir:

$$\forall x \in U, \quad \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu A(x) \quad (2.3)$$

Boole cebirindeki karşılığı DEĞİL (NOT) işlemidir (Zadeh 1977).

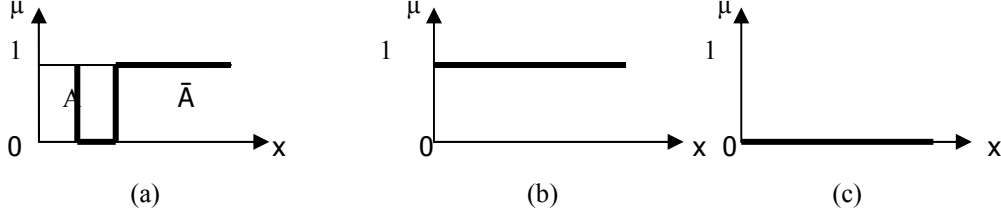
Bulanık kümeler, birleşme, değişme, dağılma ve De-Morgan kuralları gibi özellikleri ile klasik kümelere benzemektedir. Bulanık kümeler ile klasik kümeler arasındaki en büyük fark bir kümenin tümleyenini alma işleminde ortaya çıkmaktadır. Bu fark grafiksel olarak Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de gösterilmiştir (Zadeh 1977).

A bulanık kümesinin tümleyeni ile birleşimi evrensel küme değildir. A bulanık kümesinin tümleyeni ile kesişimi boş küme değildir. Matematiksel olarak:

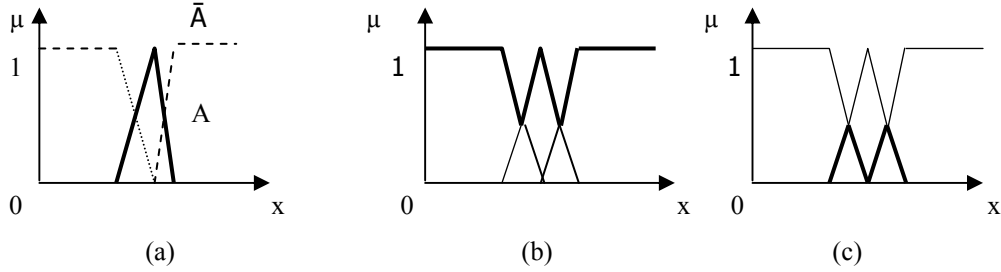
$$A \cup \bar{A} \neq E \quad (2.4)$$

$$A \cap \bar{A} \neq \emptyset \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 2.3 (a) A ve \bar{A} klasik kümesinin, (b) $A \cup \bar{A} = E$ matematiksel ifadesinin ve (c) $A \cap \bar{A} = \emptyset$ matematiksel ifadesinin $[0,1]$ aralığındaki grafikleri



Şekil 2.4 (a) Bulanık küme (A) ve onun tümleyeninin (\bar{A}), (b) $A \cup \bar{A} \neq E$ matematiksel ifadesinin ve (c) $A \cap \bar{A} \neq \emptyset$ matematiksel ifadesinin $[0,1]$ aralığındaki grafikleri

Tanım 2.4: Bulanık İlişki (Fuzzy Relation): $U_i \{i = 1, 2, \dots, n\}$ şeklinde $i \geq 2$ olmak üzere tanımlanan bulanık kümelerin elemanları arasındaki ilişkinin varlığının ve yokluğunun derecesi bulanık ilişkiyle temsil edilmektedir. Bir n bulanık ilişki $U_1 \times \dots \times U_n$ deki bulanık kümedir ve

$$R\{U_1 \times \dots \times U_n\} = \{(x_1, \dots, x_n), \mu R(x_1, \dots, x_n) \mid (x_1, \dots, x_n) \in U_1 \times \dots \times U_n\} \quad (2.6)$$

olarak ifade edilir (Zadeh 1977).

Tanım 2.5: Kartezyen Çarpım (Cartesian Product): Birden fazla uzay varsa, bu uzaylar üzerinde tanımlanmış bulunan bulanık kümeler arasında *kartezyen çarpım* tanımlamak gereklidir (Zadeh 1977).

Eğer A_1, A_2, \dots, A_n bulanık kümeleri sırasıyla U_1, U_2, \dots, U_n bulanık kümeleri içerisinde tanımlanmışlar ise A_1, A_2, \dots, A_n 'nin kartezyen çarpımı:

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(U_1, U_2, \dots, U_n) = \min \{\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)\} \quad (2.7)$$

üyelik fonksiyonlu $U_1 \times \dots \times U_n$ çarpım uzayındaki bir bulanık kümedir (Zadeh 1977).

Tanım 2.6: Sup-Star Kompozisyon: Eğer R ve S , $U \times V$ ve $V \times W$ ' deki bulanık ilişkiler ise R ve S 'nin kompozisyonu $R \circ S$ ile tanımlanan ve

$$R \circ S = \{[(x, w), \sup(\mu_R(x, v) * \mu_S(v, w))], x \in X, v \in V, w \in W\} \quad (2.8)$$

bağıntısı ile ifade edilen bir bulanık ilişkidir. Burada $*$, üçgen normların sınıfındaki herhangi bir operatör olabilir; minimum, cebirsel çarpım, sınırlı çarpım veya kesin çarpım (Lee 1990).

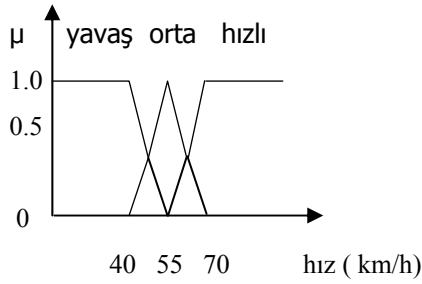
2.3.4 Dilsel değişkenler

Bulanık mantığı oluşturan temel yapı taşlarından biri de dilsel değişkenlerdir. Dilsel bir değişken hem değeri bulanık bir sayı olan bir değişken hem de değerleri dilsel terimlerle tanımlanan bir değişken olarak kabul edilir (WEB_2 2009).

Örneğin, hız bir dilsel değişken gibi gösterilirse, bu durumda $T(\text{hız})$ terim kümesi şöyle olabilir:

$$T(\text{hız}) = \{\text{yavaş}, \text{orta}, \text{hızlı}, \text{çok yavaş}, \text{çok veya az hızlı}\}$$

Burada $T(\text{hız})$ 'da ki her terim $E = [0,100]$ örnek uzayındaki bulanık küme ile karakterize edilir. Burada “yavaş” 40 km/h’ in altında bir hız, “orta” terimini 55km/h’ e yakın bir hız, “hızlı” ise 70 km/h’ den fazla bir hız olarak tanımlayabiliriz. Bu terimlerin üyelik fonksiyonu Şekil 2.5’de gösterilen bulanık küme olarak karakterize edebiliriz (WEB_2 2009).

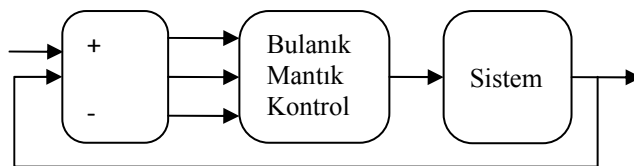


Şekil 2.5 Hız değerlerine ait dilsel değişkenlerin bulanık kümedeki gösterimi (WEB_2 2009)

Bu örnekte de görüldüğü gibi, tanımlar tamamıyla insanların söylemlerine göre geliştirilmiştir. Bu tanımlara ise dilsel terimler denir ve bir dilsel değişkenin muhtemel değerlerini sergilerler. Dilsel değişkenler, gerçek değerleri dilsel değerlere dönüştürürler. Bunların işlevsel olarak elde edilmesi ve uygulama aşamasına getirilmeleri büyük ölçüde sistemde daha önce elde edilmiş deneyimlere bağlıdır ve bu deneyimlere dayalı olarak kurulan sistemlere ise uzman sistem adı verilmektedir (Elkan 1993).

2.4 Bulanık Mantık Kontrolör

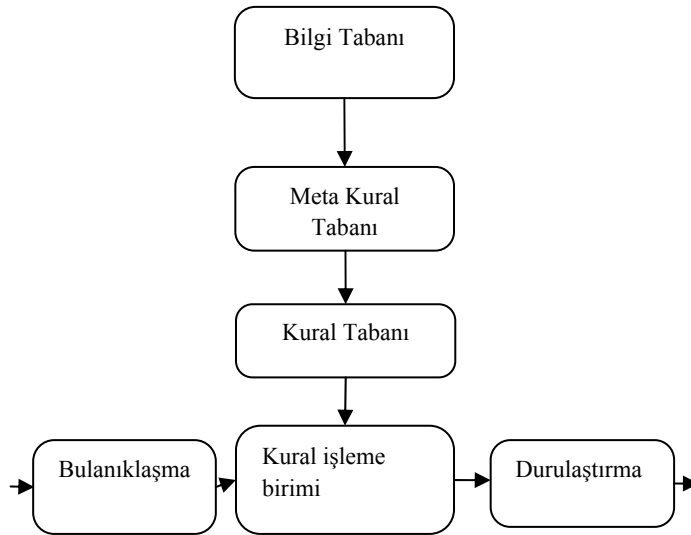
Bulanık mantık kontrolörün (BMK) çalışma ilkesi, insanın düşünme tarzı temel alınarak tasarlanmaktadır. Bulanık mantık kontrolör genellikle matematiksel modeli bilinmeyen veya doğrusal matematik modeli kurulamayan sistemlerde oldukça etkilidir. Genel anlamda bir bulanık mantık kontrolör kullanılması Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Bulanık mantık kontrolör kullanımı

Bulanık mantık kontrol bulanıklaştırma (fuzzification), bulanık sonuçlandırma (fuzzy inference) ve durulaştırma (defuzzification) şeklinde üç aşamada yapılmaktadır.

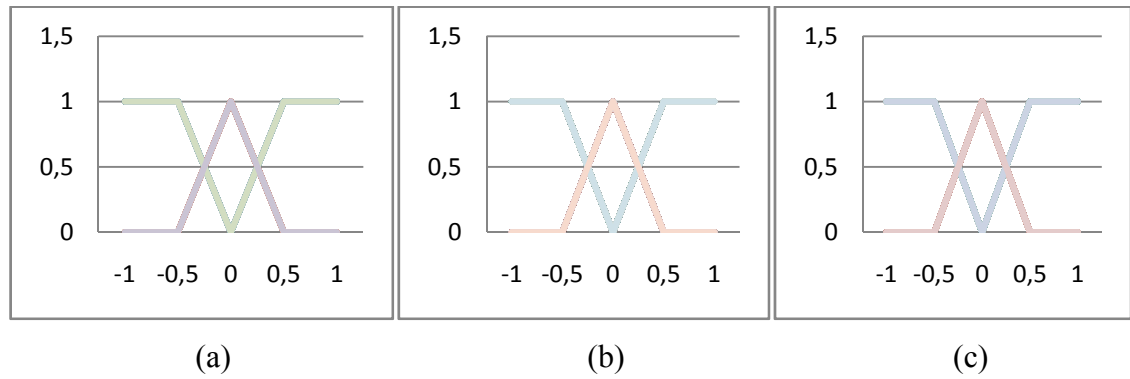
Önce kontrol edilmesi gereken modelin parametreleri ölçülür. Kesin olan giriş değerleri bulanıklaştırma işlemi sonucu bulanık biçimde ifade edilir. Bulanık kuralları sağlayan bilgi tabanı, kontrol edilen sistemin ayarlanması için gerekli bulanık değerleri çıkarır. Sonra ise bulanık sonuç değeri, durulaştırma yöntemlerinden biri ile kesinleştirilir ve sistemin ayarlanması yapılır (Kaynak ve Armağan 1992). Bulanık mantık kontrolörün yapısı Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Bulanık mantık kontrolör yapısı

Bu akış düzeninde, bulanıklaştırıcı birim, bulanık işlem sisteminin ilk birimi olarak devreye girmektedir. Kesin veya geri besleme sonuçları biçiminde bu birime giren bilgiler, burada bir ölçek değişikliğine uğrayarak bulanıklaştırılmaktadır. Başka bir deyişle; bu bilgilerin her birine bir üyelik değeri atanıp, dilsel bir yapıya dönüştürülerek, buradan kural işleme birimine gönderilir. Kural işleme birimine gelen bilgiler, kural işleme biriminde depolanmış bir şekilde bulunan bilgi tabanına dayalı “eğer ... ise, ... olsun” (if ... and ... then ... else) gibi kural işleme bilgileri ile birleştirilir. Burada sözü edilen mantıksal önermeler, problemin yapısına göre sayısal değerlerle de kurulabilmektedir (Kıyak ve Kahvecioğlu 2003). Son adımda; problemin yapısına uygun mantıksal karar önermeleri kullanılarak elde edilen sonuçlar durulaştırıcı birime gönderilir. Durulaştırıcı birime gönderilen bulanık küme ilişkilerinde, bir ölçek değişikliği daha gerçekleştirilerek bulanık haldeki bilgilerin her biri gerçel sayılara dönüştürülür (Yen vd 1995, Chen ve Pham 2000). Bu birimleri genel bir BMK uygulaması üzerinde detaylı bir şekilde anlatalım.

Bu uygulamada ayarlanması gereken parametrelerin hatasının, bu hatanın türevinin ve duruma göre hatanın ivmesi sisteme giriş olarak kullanılmıştır. Sistemde kullanılan hata, ayarlanan parametrenin istenenle gerçek değerleri arasındaki farkı, hatanın türevi bu hatanın değişimini, hatanın ivmesi hatanın türevinin değişimini ifade etmektedir. Bu değerler, bulanık mantık kontrol sistemine girmeden önce $[-1,1]$ kapalı aralığını standartlaştırılmaktadır. Şekil 2.7'deki yapıdan da anlaşıldığı gibi önce giriş değerleri ilk olarak bulanıklaştırılacaktır. Bu üyelik derecelerinin bulunması anlamına gelir. Giriş değerleri olan hata $e(k)$ ve hatanın türevi $de(k) = e(k) - e(k - 1)$ için değişken aralığı dil bilimsel değişkeni ifade etmek için bölümlenebilir. Bu bulanık değişkenler, değerlerini sözlü {N-“Negatif”, Z-“Sıfır”, P-“Pozitif”} bulanık alt kümelerinden alsın. Örneğin, hatanın türevinin pozitif olması, son hata değerinin bir önceki hata değerine göre artmasını göstermektedir. Şekil 2.8'de hata, hatanın türevi ve kontrol işareti u için bulanık alt kümeler görülmektedir. Burada e 'nin değeri kesin olarak bilinir ve sonuçta evrensel kümede olmayan bir değer elde edilebilir. Bu amaçla ilk aşamada bulanıklaştırma işleminin yapılması gerekir. Bulanıklaştırma sonucunda üyelik değerleri bulunmaktadır ve bu değerlere dilbilimsel değişkenler denilmektedir.



Şekil 2.8 (a) $e(k)$ 'nin (b) $de(k)$ 'nin (c) u 'nun üyelik fonksiyonu

Bulanık çıkarım işlemleri kural tablosunun belirlenmesini gerektirmektedir. $e(k)$ ve $de(k)$ için uygun olarak üçer üyelik fonksiyonu iştirak ettiğinden kural sayısı 9 olacaktır. Mümkün olabilecek kurallar Tablo 2.1'de verilmektedir.

Tablo 2.1 Kural tablosu

e(k)\de(k)	N	Z	P
N	N	N	Z
Z	N	Z	P
P	Z	P	P

Bu tabloya göre hata negatif, hatanın değışimi sıfır olunca uygulanacak kontrol işaretinin negatif olması istenmektedir. Yine bu tabloya göre hata ve hatanın türevi sıfır ise kontrol işareti sıfır; hata pozitif, hatanın türevi pozitif ise kontrol işareti pozitif olmaktadır. Bu kuralların çıkış değeri, Mamdani operatörü kullanılarak üyelik fonksiyonlarının orta değeri olarak ele alınmaktadır.

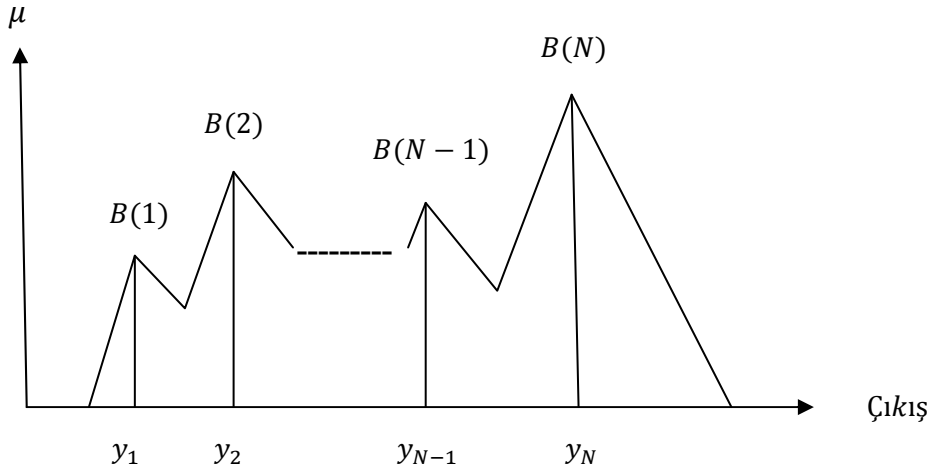
BMK'nın son işlemi ise, uygulanacak olan kontrol işaretinin standartlaştırılmış değerlerinin saptanmasıdır. Bu işlem durulaştırma bloğu yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Durulaştırma, bulanıklaştırıcının aksine bulanık niceliği kesin niceliğe dönüştürme işlemidir. Görüldüğü gibi bulanık mantık sürecinin çıkışı iki veya daha fazla üyelik fonksiyonunun mantıksal birleşimidir. Durulaştırma ile ilgili farklı yöntemler vardır. Örnek olarak aşağıdaki durulaştırma yöntemleri gösterilebilir.

- Yükseklik Yöntemi
- Ağırlık Merkezi Yöntemi
- Ağırlıklı Ortalama Yöntemi
- Ortalama Maksimum Üyelik Yöntemi

Yükseklik yönteminin kullanılması için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. Yükseklik yöntemine göre durulaştırma işlemi yapıldığında, kesin sonuç aşağıdaki ifadeden elde edilir.

$$y_0 = \frac{\sum \mu(y_i)y_i}{\sum \mu(y_i)} \quad (2.9)$$

Denklem 2.9’da görülen y_i değerleri, bulanıklaştırmada oluşmuş her bir fonksiyonun üyelik derecesi en büyük olan elemanlarıdır. $\mu(y_i)$ değerleri ise, bu elemanlara karşılık gelen üyelik derecelerini belirtir. Yükseklik yönteminin mantığının anlaşılması amacıyla Şekil 2.9’da bir örnek gösterilmiştir.

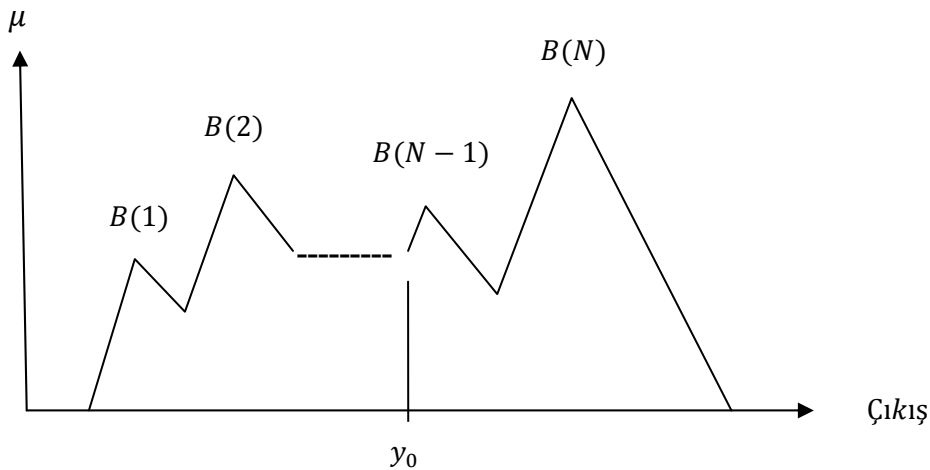


Şekil 2.9 Yükseklik yönteminin gösterimi

Burada $B(1), B(2) \dots B(N)$ her bir kurala karşılık gelen çıkışları göstermektedir.

Durulaştırma işlemlerinde, yaygın olarak kullanılan işlemlerden biri de Şekil 2.10’da gösterilen ağırlık merkezi yöntemidir. Adından anlaşılacağı gibi bu yöntemle, çıkış fonksiyonunun altında kalan alanın ağırlık merkezi Eşitlik 2.10’daki ifadeden faydalanılarak bulunur.

$$y_0 = \frac{\int \mu(y)y}{\int \mu(y)} \quad (2.10)$$



Şekil 2.10 Ağırlık merkezi yönteminin gösterimi

Durulaştırma işleminde bu iki yöntemin dışında, simetrik üyelik fonksiyonlarının bulunması halinde kullanılan ağırlıklı ortalama yöntemleri ve ortalama maksimum üyelik yöntemleri de mevcuttur (Kahvecioğlu 2003).

2.5 Bulanık Mantık Kontrolör Uygulama Örnekleri

Kahvecioğlu, 2003 yılında bulanık mantık kullanarak uçağın iniş kontrol problemini uygulamıştır. Yaptığı çalışmada uçağın son yaklaşma ve iniş aşaması için uygun kontrol kuvveti, bulanık mantık yardımıyla bulunmaktadır. Arzu edilen irtifa ve düşey hız çiftine karşılık gelen kontrol kuvvetinin bulunması problemi ele alınmaktadır.

Esendal, 2007 yılındaki çalışmasında Eğirdir gölündeki mevsimlere göre su seviyesi değişimlerinin modellenmesi için bulanık mantık yöntemi önermiştir. Çalışmasında, bulanık mantık modeli; yağış, akış, buharlaşma ve sulama suyu ihtiyacı değişkenlerinin fonksiyonu olarak Eğirdir gölündeki mevsimsel su seviyesi değişimini tahmin edilmiştir.

Kömür, 2005 yılında İTÜ dergisinde yayınlanan çalışmasında, deprem sonrası hasar görmüş yapıda deprem hasarının tespitinde kullanılan katlar arası kalıcı yer değiştirme ve karakteristik beton basınç dayanımının hasar tespitine etkisi daha gerçekçi olan bulanık mantık yaklaşımı ile ele alınmıştır. Sonuçlar irdelendiğinde klasik mantığın keskin ve tavizsiz sınırlarına kıyasla, bulanık mantığın insan düşünüş ve yargısına daha uygun sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Murat, 2006 yılında İMO Teknik Dergi'de yayınlanan çalışmasında, trafik hacmi, kırmızı sürenin devre süresine oranı, kuyruktaki ortalama taşıt sayısı parametreleri dikkate alınarak ve bulanık mantık tekniğinden faydalanarak, sinyalli kavşaklardaki taşıt gecikmelerini modellemiştir.

3. KAYMA KIPLİ KONTROL

3.1 Giriş

Kayma kipli kontrol, değişken yapılı sistemler kuramının bir alt sınıfı olarak ortaya çıkmıştır (Edwards ve Spurgeon 1998). Yüksek hızlı, doğrusal olmayan bir geri besleme ile önceden belirlenen bir kayma yüzeyi üzerinde zamanda süreksiz bir şekilde anahtarlama yapılarak elde edilen, belirgin, doğrusal olmayan, dayanıklı bir kontrol yöntemidir (Utkin 1983). Literatürde çokça yer bulmasının ve değişik alanlara uygulanmasının nedeni, kullanım kolaylığı (Young vd 1999), dış bozucular ve parametre belirsizlikleri ile başa çıkmadaki becerisidir (Zinober 1994).

Kayma kipli kontrol tasarım süreci iki adımlı bir yordam olarak düşünülebilir. Bu adımlar sırasıyla; istenen kararlı dinamiklere karşı düşen bir kayma yüzeyinin belirlenmesi ve belirlenen kayma yüzeyine ulaşmayı sağlayan bir kontrol kuralının elde edilmesidir (Hung vd 1993).

Kayma kipli kontrole sahip bir sisteme ilişkin faz yörüngesi iki ayrı bölümde ele alınabilir (Hung vd 1993). Kayma yüzeyi dışında bulunan herhangi bir başlangıç koşulundan başlayan sistem yörüngeleri kayma yüzeyine ulaşma eğilimindedir. Kayma yüzeyine ulaşmak için geçen süre ulaşma zamanı ve faz yörüngesinin bu bölgesi ise ulaşma kipi olarak adlandırılır. Ulaşma kipinde sistem, parametre belirsizlikleri ve dış bozuculara karşı duyarlıdır (Edwards ve Spurgeon 1998). Kayma yüzeyine ulaşıldığı zaman kayma kipi başlar ve kayma kipi boyunca yörüngeler parametre belirsizlikleri ve dış bozuculara karşı duyarsızdır (Slotine ve Sastry 1983). Bu özellikten dolayı ulaşma kipini kısaltarak yada tamamen ortadan kaldırarak sistem duyarlılığını azaltmak ya da tamamen yok etmek için literatürde önerilmiş birçok değişik yöntem bulunmaktadır (Chang ve Hüzmüzlü 1993).

Kayma kipli kontrol sistemleri sürekli ve ayırık zamanlı olmak üzere ikiye ayrılır. Kontrol yapısının ayırık zaman anlarında değiştiği anahtarlama ayırık zamanlı, sistem yörüngelerinin kayma yüzeyinde anahtarlandığı herhangi bir anda değiştiği anahtarlama ise sürekli zamanlı kayma kipli kontrolü oluşturur (Sarıtürk vd 1987).

3.2 Kayma Yüzeyi Tasarımı

Sürekli kontrol kuralına sahip sistemlerin tasarım problemi, genellikle kayma yüzeyi parametrelerinin seçilmesi problemine indirgenebilir ve bu parametreler ilgili sistemin performansını tamamen belirlemektedir (Utkin 1978). Bu yüzden kayma kipli kontrolör performansının iyileştirilmesi ile ilgili hem ayırık zamanlı hem de sürekli zamanlı kayma kipli kontrolör için literatürde sunulan uyarlamalı stratejilerin birçoğu kayma yüzeyi tasarımı ile ilgilidir.

Kayma yüzeyi tasarımı için en sık kullanılan yöntem, geleneksel kayma kipli kontrolöre ait sabit ve doğrusal kayma yüzeyi için performansını iyileştirecek şekilde zamanla değişen bir düzen geliştirmektir. Doğrusal kayma yüzeyi, döndürme veya öteleme işlemleri kullanılarak izleme davranışını iyileştirecek şekilde durum uzayında hareket ettirilebilir. Utkin (1978), çok girişli durumda izleme kontrolü sırasında kayma kipini elde etmek için, yörüngenin önceki tüm kayma yüzeylerinin kesişiminde yer aldığı varsayımı altında durum uzayında tanımlı zamanla değişen kayma yüzeylerini bir doğrusal kayma yüzeyi kümesi için kontrol kuralını türeterek tanıtmıştır.

Choi vd (1993) yaptıkları çalışmada ikinci dereceden sistemler için öteleme ve döndürme düzenlerini tanımlamışlar ve zamanla değişen doğrusal kayma yüzeyi için kayma kipinin varlığını ispatlamışlardır.

Hareketli doğrusal kayma yüzeyi düşüncesi daha sonra yüksek dereceden sistemler için genelleştirilmiştir (Roy ve Olgac 1997). Ha vd (1999) ise Choi vd (1993) tarafından elde edilen sonuçlardan yola çıkarak öteleme ve kayma düzenine sahip kayma kipli kontrolör tasarımı için bulanık mantıklı bir ayarlama yaklaşımı önermiştir. Hareketli

doğrusal kayma yüzeyi düşüncesindeki önemli bir olumsuzluk, bekleme sürelerinden dolayı bozuculara karşı oluşan duyarlılıktır. Bekleme süresi, hesaplanan bir doğrusal kayma yüzeyinden bir başka doğrusal yüzeye geçiş aşamasında geçen zaman dilimidir. Bartoszewicz (1995) bu süreksizlik etkisi üzerinde durmuş ve Choi vd (1994) tarafından önerilen hareketli kayma yüzeyinin sürekli bir eşdeğerini elde etmiştir. Diğer yandan, Slotine ve Li (1991) klasik bir kayma kipli kontrolörün kayma yüzeyi konumunu belirleyen katsayıları sistem çıkışının bir işlevi olarak arttırmayı önermiştir. Bu katsayılar başlangıçta küçük değerli seçilerek ulaşma kipi süresinin azaltılması sağlanmıştır.

Kayma yüzeyleri doğrusal bir biçimde oluşturulduğunda, sistem durumlarını kayma yüzeyi üzerinde tutmak için gerekli kontrol işaretinin genliği genellikle izleme hatasının genliği ile birlikte artış gösterir (Jabbari vd 1990). Ayrıca, doğrusal kayma yüzeyinin sahip olduğu doğrusal dinamikler her zaman için kontrol edilen sistemin global dinamik özellikleri için uygun olmayabilir (Chu ve Tomizuka 1996). Literatürde, bu olumsuzlukları azaltmak için önerilen alternatif bir kayma yüzeyi tasarım yöntemi doğrusal olmayan kayma yüzeyleri kullanılmasıdır. Kayma kipli kontrolör tasarımında doğrusal olmayan kayma yüzeyi kullanıldığı zaman daha fazla sayıda sentez yapılabileceği için tasarım alternatifleri de doğrusal kayma yüzeyine göre daha fazladır (Su ve Stepanenko 1994). Örnek bir uygulama Jabbari vd (1990) tarafından en düşük zamanlı kontrol elde etmek için kullanılan parabolik kayma yüzeyleridir. Shtessel (1995) kayma yüzeyini doğrusal olmayan bir dinamik operatör olarak tasarlamıştır. Takahashi vd (1999), sinüzoidal bir gerilim kaynağı için genlik ve frekans referans değerlerinde değişiklikler olduğu durumda sinüzoidal referans işaretinin daha hızlı izlenmesini sağlayan elipsoidal bir kayma yüzeyi elde etmiştir. Performansta iyileşmeye rağmen bu çalışmalarda doğrusal olmayan işlevlerin bulunması analitik açıdan zorluklar içermektedir ve doğrusal olmayan işlevlere ait parametrelerin tanımlanması da karmaşıktır. Ayrıca, klasik kayma kipli kontrolör ve hareketli doğrusal kayma kipli kontrolör ile karşılaştırıldığında doğrusal olmayan kayma yüzeyine bağlı kontrol kuralının elde edilmesi de daha zordur.

Yukarıda özetlendiği gibi, uyarlamalı doğrusal kayma yüzeyi tasarımları kolay fakat doğrusal olmayan yöntemlere göre performans olumsuzluklarına sahiptir. Doğrusal olmayan kayma yüzeyleri uygun şekilde tasarlandığında performans hem dayanıklılık

hem de sistem geçici hal yanıtı cinsinden arttırılabilir ve sistem için en iyileştirme koşulları sağlanabilir (Chu ve Tomizuka 1996). Fakat kayma yüzeyi denklemlerindeki doğrusal olmama özelliği kontrolör tasarımını karmaşıktırmaktadır.

Sürekli zamanlı kayma kipli kontrolörler için verilen kayma yüzeyi tasarım yöntemlerine benzer çalışmalar ayırık zamanlı kayma kipli kontrolörler için de yapılmıştır (Bartoszewicz 1997).

3.3 Kayma Kipli Kontrolöre ait Kavramlar

Doğrusal olmayan yapıları da içeren en genel durum denklemi ifadesi:

$$\dot{x}(t) = g(x, u, t) \quad (3.1)$$

şeklinde verilebilir. Burada:

$$x(t) \triangleq [x_1(t) \ x_2(t) \ \dots \ x_n(t)]^T \in R^{-nx1} \quad (3.2)$$

$$u(t) \triangleq [u_1(t) \ u_2(t) \ \dots \ u_n(t)]^T \in R^{mx1} \quad (3.3)$$

Bozucuların ve belirsizliklerin göz ardı edilip modellenmediği bir sisteme ait en genel durum denklemi ifadesi:

$$\dot{x} = f(x, t) + B(x, t)u(t) \quad (3.4)$$

olarak verilebilir (Fossen ve Foss, 1991). Burada $f(x, t) \in R^{nx1}$ ve $B(x, t) \in R^{nxm}$ sistem dinamiklerini belirleyen fonksiyonlardır. Bu fonksiyonların doğrusal olup olmamasına göre farklı yapılar elde edilebilir. Yüksek hızlı, doğrusal olmayan bir geri besleme ile önceden belirlenen bir kayma yüzeyi üzerinde zamanda süreksiz bir şekilde anahtarlama yapılarak elde edilen, belirgin, doğrusal olmayan, dayanıklı bir kontrol yöntemidir. Kayma kipli kontrol sisteminin birçok alanda uygulanmasının temel nedeni bu sistemin kullanım kolaylığı ve dış bozucular ve parametre belirsizlikleri ile başa çıkmadaki becerisidir. Kayma kipli kontrol kuramı bu en genel yapı üzerinde tanıtılmaya çalışılacaktır.

Kayma kipli kontrolör tasarım süreci iki adımlı bir yordam olarak düşünülebilir. Bu adımlar sırasıyla; istenen kararlı dinamiklere karşı düşen bir kayma yüzeyinin belirlenmesi ve belirlenen kayma yüzeyine ulaşmayı sağlayan bir kontrol kuralının elde edilmesidir (Hung vd 1993).

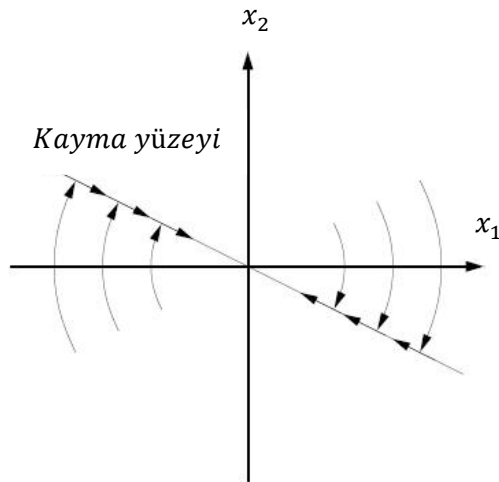
Kayma Kipli Kontrolör tasarımında 2.dereceden bir Anahtarlama Yüzeyi Denklem 3.5’ de verilmiştir.

$$s(x) = x_2 + c_1 x_1 \quad (3.5)$$

Denklem 3.5’de kullanılan anahtarlama fonksiyonu, m giriş için vektörel olarak

$$s(x) \triangleq [s_1(x) \ s_2(x) \ . \ . \ s_m(t)]^T \quad (3.6)$$

şeklinde tanımlanır. Burada, $s_i(x)$ değeri $i = 1, \dots, m$ olmak üzere i . kontrol kuralına ait anahtarlama fonksiyonudur. Kontrol kuralında $s_i(x) = 0$ üzerinde bir süreksizlik olduğu ve bu yüzden kontrol kuralı işaret değiştirdiği için $s_i(x) = 0$ eşitliği i . kontrol kuralına ait anahtarlama yüzeyi olarak adlandırılır (Hung vd 1993).



Şekil 3.1 Örnek bir kayma yüzeyi

Eğer anahtarlama yüzeyinin her iki tarafındaki sistem yörüngeleri yüzeye doğru yönelmiş ise, yani $x(t)$ bir kayma kipi oluşturuyorsa, elde edilen anahtarlama yüzeyine kayma yüzeyi ya da kayma manifoldu adı verilir (Hung vd 1993). Ancak, kayma kipli kontrolör tasarımında bazen sisteme ait durum yörüngeleri dışında bir anahtarlama yüzeyi de seçilebilir. Fakat bu durumda her zaman kayma kipi sağlanmayabilir.

$\mathbf{x} = 0$ Denge noktasından geçen herhangi bir anahtarlama yüzeyi $s(\mathbf{x})$ olsun. Eğer t_0 anında $s(\mathbf{x}) = 0$ ise ve $\forall t > t_0$ için $s(\mathbf{x}) = 0$ ise $\mathbf{x}(t)$ yörüngesine sistemin kayma kipi denir (Hung vd 1993). Kayma kipine ulaşana kadar olan tüm $\mathbf{x}(t)$ durum yörüngeleri sistemin ulaşma kipi ya da ulaşma fazı olarak adlandırılır (Edwards ve Spurgeon, 1998). Kayma kipinin varlığı en azından $s(\mathbf{x})$ yüzeyinin belirli bir civarında yüzeye yönelen durum yörüngelerinin kararlı olmasını gerektirir. Bu ise sistem durumlarının en azından asimptotik olarak yüzeye yaklaşması anlamına gelir. Kayma kipine ulaşmayı ve orada kalmayı belirleyen yeterlilik ölçütlerine ulaşma koşulu denir (Edwards ve Spurgeon, 1998). Ulaşma koşulunun gerçekleştiği en büyük $s(\mathbf{x})$ komşuluğuna ise çekim bölgesi (region of attraction) denir.

Ulaşma zamanı kayma kipine girinceye kadar geçen ve sistemin parametre belirsizlikleri ve dış bozuculara duyarlı olduğu süre ulaşma ya da vuru zamanı olarak adlandırılır (Edwards ve Spurgeon, 1998). Ulaşma zamanı tek girişli durum için:

$$t_{ulasma} = \inf\{t | s(\mathbf{x}) = 0, \forall t \geq t_{ulasma}\} \quad (3.7)$$

biçiminde tanımlanabilir. Burada “*inf*” fonksiyonu en büyük alt sınırı ifade eder.

3.4 Kayma Kipli Kontrol Uygulama Örnekleri

Akat ve Efe'nin 2007 yılındaki çalışmasında bir manyetik askı sistemi ele alınmış ve sistem üzerinde dört farklı kontrol yöntemi denenerek bu yöntemlerin farklı karşılaştırma ölçütlerinin hangilerinde daha başarılı olduklarının cevabı aranmıştır. Kayma Kipli Kontrol (KKK), Geri beslemeli Doğrusallaştırmaya (GD) dayalı denetim, doğrusallaştırma sonucu elde edilen modelle tasarlanan bir PI kontrolörü ve nümerik verilere dayanarak geliştirilen Nörokontrol (NK) yaklaşımı bildiriye konu olan dört yöntemdir. Geri beslemeli sistemin performansını incelemek için sinüzoidal ve trapezoid tipte referans konum işaretleri öngörülmüştür. Yöntemler basitlik, $i(t)$ akımının varyansı (uygulanabilirlik) ve izleme hatasının sifıra yakınsama zamanı ölçütleri göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır.

Yannier ve Sabanovic (2007) Kayma Kipli Kontrol (KKK) yönteminin analog elektronikle uygulanması ve geliştirilen kontrolcünün piezoelektrik aktüatörlere uygulanması incelenmiştir. Sayısal uygulamalar öncelikle ADC ve DAC çeviricilerin yavaşlığı nedeniyle sınırlı hızlara erişebilirler. Öte yandan piezoelektrik aktüatörler neredeyse sayısal işlemcilerin çalışma frekansına yaklaşan yüksek rezosans frekansları ve sahip oldukları histeresiz nedeniyle kontrolü güç, doğrusal olmayan sistemlerdir. Direk analog uygulama ile çalışma frekansında sınırlama olmadan performansın iyileştirmesi beklenmektedir.

Efe, Kaynak, Yu, Wilamowski 2000 yılında yaptığı çalışmada doğrusal olmayan dinamik sistemlerin kayma kipli kontrol için Gauss Merkezci Taban Fonksiyonlu Sinir Ağlarının (GMTFSA) kullanımı tartışılmaktadır. Sunulan yaklaşım bir kontrolcünün parametrelerinin dinamik olarak uyarlanmasına dayalıdır. Önerilen uyarlama mekanizması, kontrolcü çıkışında tanımlanan bir boyutlu sıfır hata öğrenme düzeyi ile sistem çıkışlarında tanımlanan kayma yüzeyi arasındaki doğrusal olmayan bir transformasyonun varlığından hareketle hem kontrolcü parametrelerinin hem de sistemin kayma kipinde tutulmasını, böylelikle hassas bir referans izleme yeteneğinin elde edilebileceğini göstermektedir. Yaklaşımın performansı gözlenen değişkenlere eklenen gürültü ve başlangıç koşullarındaki büyük hataların bertaraf edilebilmesi anlamında değerlendirilmiş ve tasarımda sistem denklemlerinin bilinmediği varsayılmıştır.

4. BULANIK KAYMA KIPLİ KONTROL

4.1 Giriş

Bulanık mantık kontrol ve kayma kipli kontrolün kararlılık ve istenen performans ölçütlerini elde etmek için birleştirilmesi kontrol araştırmalarının etkin bir alanını oluşturmaktadır (Kaynak vd 2001). Bu alışmalar temel olarak iki grupta sınıflandırılabilir. Birinci gruptaki çalışmalar geleneksel kayma kipli kontrol stratejilerini kullanırlar. Daha sonra bir şekilde, kontrol mekanizmalarını sınıflandırmak veya geliştirmek için bulanık modellerden yararlanırlar (Jeong vd 1996, Zhang ve Man 2000). Bu tür kontrol stratejileri kayma kipli bulanık kontrol olarak bilinmektedir (SMFC) (Song ve Smith 2000). İkinci gruptaki çalışmalar genellikle tek girişli bir bulanık mantık kontrolör kullanan geleneksel kayma kipli kontrolörün giriş-çıkış ilişkisinin tahmini değerini elde etmekle ilgilenirler (Li vd 1997). Bu yapıda ise kayma kipli kontrolör prensipleri parametre uyarlaması veya dayanıklı ve kararlı bir tasarım için bulanık mantık kontrolör yapısı içinde kullanılmaktadır (Kaynak vd 2001). Bu tür kontrolörler bulanık kayma kipli kontrolör (FSMC) olarak bilinmektedir.

Bulanık mantık kontrol ve kayma kipli kontrol son yirmi yıldır geliştirilmekte ve doğrusal olmayan sistemlere uygulanmaktadır (Hung vd 1993, Lee 1990). Bulanık mantık kontrolün en etkileyici özelliği uzman bilgisinin kolay bir şekilde kontrol kurallarına dahil edilebilmesidir. Bir bulanık mantık kontrolör bir kayma kipli kontrolöre çok benzemesine rağmen (Palm 1992), bulanık mantık kontrolörün kararlılığını ispatlamanın çok zor olmasından ve kayma kipli kontrolörün kararlılığı özünde olmasından dolayı bulanık mantık kontrol ve kayma kipli kontrolün birleşimi hala araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Kayma kipli kontrolün diğer yararları onun değişmezlik özelliği (invariance property) ve yüksek boyutlu sistemleri daha

düşük boyutlu alt sistemlere ayrıştırma yeteneğidir. Bu öznelik bir bulanık mantık kontrolün kural tabanının uzunluğunun azalmasında yardımcı olabilir. Bulanık mantık kontrol ve kayma kipli kontrolün birleşiminin diğer doğrudan faydası ise bulanık mantığın kayma kipli kontrolde yaygın olan çatırtıyı etkin bir şekilde yok etmesidir (Utkin 1992).

Güzelkaya vd 2002 yılında yaptıkları çalışmada, kayma yüzeyine ait eğim değeri yeni bir zamana bağlı katsayı yardımı ile sürekli zamanda güncellenmektedir. Yeni bir katsayı değeri olan k_c bulanık mantık kontrolörden elde edilmekte olup; giriş değerleri sistem hatası ve normalize ivme olarak yeni tanımlanmış olan r_v değişkenidir. r_v değişkeni aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$r_v(k) = \frac{\Delta e(k) - \Delta e(k-1)}{\Delta e(\cdot)} \cong \frac{\Delta^2 e(k)}{\Delta e(\cdot)} \quad (4.1)$$

burada $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$ hatadaki artan değişimdir, $\Delta^2 e(k)$ hatadaki ivme değeridir ve $\Delta e(\cdot)$ ise aşağıdaki gibi seçilmektedir:

$$\Delta e(\cdot) = \begin{cases} \Delta e(k) & \text{eğer } |\Delta e(k)| \geq |\Delta e(k-1)| \\ \Delta e(k-1) & \text{eğer } |\Delta e(k)| < |\Delta e(k-1)| \end{cases} \quad (4.2)$$

Sistem yanıtında yumuşak ve kararlı bir artış ya da azalma görüldüğünde $\Delta e(k) \cdot \Delta e(k-1)$ çarpımı pozitif olur ve $r_v(k)$ kullanılarak sistem yanıtının hızı hakkında fikir üretilir. Hem ivmeleme bilgisi olan $\Delta^2 e(k)$ 'yi normalize etmek hem de yavaşlama ve hızlanma bilgisini elde etmek için tanımlanan $r_v(k)$ değişkeni $[-1;1]$ aralığında değerler alır ve sistem yanıtı hakkında bağlı hız bilgisini verir. Eğer sistem yanıtı çok hızlanarak ilerliyor ise $r_v(k)$ 1 değerine yaklaşır ve sistem çok yavaşlıyorsa -1 değerine yaklaşır. Sistem yanıtı sabit bir hızda ilerliyorsa $r_v(k)$ değeri sıfır değerini alır (Eksin vd 2002). Eksin'in çalışmasında önceden belirlenmiş bir c kayma yüzeyi eğimi, k_c katsayısı ile çarpılarak ayarlanmaktadır. k_c değerlerinin elde edilmesinde yararlanılan meta-kurallar şu şekilde özetlenmiştir:

- Sistem yanıtı yeterince yavaş değil ise k_c katsayı faktörü:
 - Esas olarak çıkış hatasının değerine bağlıdır ve hata arttıkça artar.
 - Normalize ivme r_v arttıkça azalır.

- Sistem yanıtı yeterince yavaş ise k_c katsayı faktörü esas olarak r_v değerine bağlıdır ve r_v değeri azaldıkça çok ani olarak artar.

Bu meta kurallarının oluşturulmasındaki temel düşünce, sistem yanıtı önceden belirlenen bir referans noktasına doğru hızlı bir şekilde yaklaşırken hatanın katsayı faktörünü etkileyen en önemli etmen olmasıdır. Bunun yanında, sistem yanıtı çok yavaş ise k_c katsayı faktörünü etkileyen baskın etmen yeni değişken r_v 'dir.

Tek boyutlu kural tabanı ve giriş değeri s olan geleneksel bulanık kayma kontrolörlerde, genel tasarım kanunu $|s|$ 'in değerinin artmasıyla kontrol sinyali u 'nun monoton olarak artması temeline dayanıyor. Eğer $|s|$ 'in değeri hem büyük hem de küçük hatalar için aynı olursa, bu kural her iki durumda da aynı davranışa sahiptir (Palm vd 1996). Palm 1992 yılında, büyük hata değerleri için farklı kontrol davranışı uygulamak için uzaklık bilgisi d_1 ve $|s|$ 'i bulanık kayma kipli kontrolör girişi için kullanmıştır. Bu çalışmadan esinlenerek, Choi vd 1999 yılında, ana köşegen çizgiden mevcut durumlara olan uzaklık değeri olan bir d_2 değişkeni önermiştir. Bu yeni bilgiyi bulanık mantık kontrolör girişi olarak kullanarak, bir bulanık kayma kipli kontrol yapısı elde edilmiştir. $s > 0$ için kontrol sinyalinin işareti negatif, $s < 0$ için pozitif olmaktadır.

Chen ve Hsu 1994 yılında giriş değişkenleri s ve s' 'in türevi olan iki girişli bir bulanık mantık kontrolör önermişlerdir. Kurallar bir bakıma $s\dot{s} < 0$ erişme kanunu belirlemek için tanımlanmaktadır. Her bir giriş değeri için 3 dilsel değişkenle (negatif, sıfır, pozitif) tanımlanmış 9 kural içeren kural tablosu sunmuşlardır ve çıkış değeri direkt olarak kontrol sinyali (u) ile bağlantılıdır. Benzer şekilde, Shih ve Lu 1993 yılında s ve \dot{s} için 5 dilsel değişkenle tanımlanmış 25 kural ile aynı fikri sunmuştur ve bulanık mantık kontrolör çıkışı kontrol sinyalinin değişimi (Δu) olmaktadır.

Genel olarak, bulanık kayma kipli kontrolörler Mamdani-türü yapılar kullanılmaktadırlar. Yu vd 1998 yılında, ayrıca çalışma noktası çevresinde doğrusal bir sistem modellemek için Takagi-Sugeno türü bulanık mantık kontrolör kullanmıştır. Her özgün model için bir kayma kipli kontrolör tasarlanmakta olup bulanık sistem için kayma kipli kontrolörün kararlılığı elde edilmektedir.

Hacıoğlu 2005 yılındaki çalışmasında, bir değişken yapılı kontrol yöntemi olan kayma kipli kontrolcünün performansını iyileştirmek amacıyla, bulanık mantıklı kayma kipli kontrolör sunmuştur. atırtısız kayma kipli kontrolörün kontrol kazancı ve kayma yüzeyi eğimi iki farklı bulanık mantık algoritması ile sistemin durumuna göre ayarlanmaktadır. Sunulan kontrolör üç serbestlik derecesine sahip bir robotun yörünge takibinde kullanılmıştır. Önerilen kontrolörün performansı sabit kayma yüzeyi eğimi ve sabit kontrol kazancına sahip kayma kipli kontrolörün performansı ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca kullanılan kontrolörlerin sağamlılığı, robotun son uzvunun kütlesinde beklenmeyen bir değişiklik yapılarak incelenmiştir.

Lo ve Kuo 1998 yılındaki yaptıkları çalışmalarında ayırıştırılmış (decoupled) bulanık kayma kipli kontrolör tasarımı sunmuşlardır. Ayırıştırma yöntemi dördüncü dereceden doğrusal olmayan sistemlerin sınıfları için sadece beş bulanık kontrol kuralı ile asimptotik kararlılığı elde etmek için basit bir yol sunmaktadır. Kontrolörün arkasındaki fikirler şöyledir. İlk olarak, tüm sistemi iki ikinci dereceden sistemlere ayırıştır öyle ki her alt sistem bir kayma yüzeyi terimi olarak adlandırılan ayırık kontrol hedefine sahip olsun. Daha sonra, ikinci hedef durumlarından bilgiler ve ana hedef, sırasıyla her iki alt sistemin kendi kayma yüzeylerine gelmesi için kontrol hareketi retsin. Bulanık kontrolörden kayma kipli kontrolöre bir yakından ilişki bulanık kontrolörün kararlılık ve dayanıklılığından emin olmak için bulanık kümelerin karakteristiklerinin analitik olarak tanımlanmasıdır. En sonunda, ayırıştırılmış bulanık kayma kipli kontrol üç tane yüksek doğrusal olmayan sistemleri kontrol etmek için kullanılıyor ve tasarlanmış yaklaşımın doğruluğu onaylanıyor.

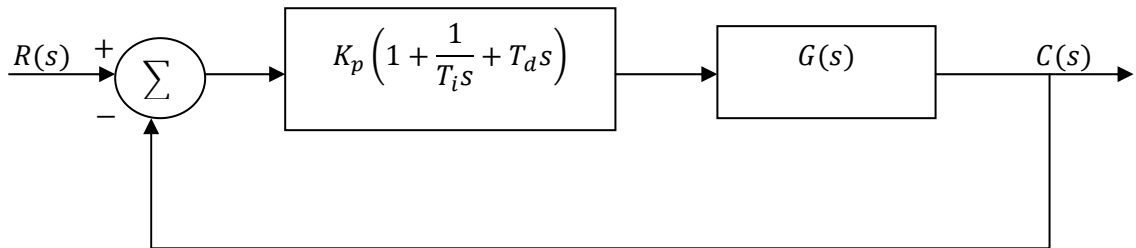
Eksin, Güzelkaya ve Tokat 2002 yılında yaptıkları çalışmada, bulanık mantık ve kayma kipli kontrol kuramlarının birlikte ele alınması ile elde edilen bulanık kayma kipli kontrolör üzerinde durmuş ve sistem performansı üzerinde önemli etkisi olan kayma yüzeyinin ayarlanması için ikinci derece sistemlerde geçerli olan yeni bir yöntem sunmuşlardır. Yeni yöntem ile kayma yüzeyine ait eğim değeri yeni biz zamana bağlı katsayı yardımı ile sürekli zamanda gncellenmektedirler. Önerilen yöntemin geleneksel bir bulanık kayma kipli kontrolöre göre olan üstünlüğü, doğrusal olmayan bir sistem üzerinde yapılan benzetimler ile gösterilmiştir.

Literatürde bulanık kayma kipli kontrolörü diğer kontrol konularıyla birleştiren birçok çalışmalar vardır. Örnek olarak, Hwang vd tarafından 1997 yılında bir doğrusal servo motoru için bulanık kayma kipli kontrol uygulaması yapılmıştır. Dinamik modeli bir yapay sinir ağı ile öğrenilen ileri besleme kontrolör türü ile bulanık kayma kipli kontrolörü birleştirmiştir. Doğrusal servo motoru modelinin dinamikleri ile yapay sinir ağı modeli arasındaki en büyük uyumsuzluk, ileri besleme kontrolörün performansının çok kötü olmasıdır. Bu yüzden, bulanık kayma kipli kontrolör sistem performansını geliştirmek için kullanılmaktadır. Ayrıca bulanık kayma kipli kontrolörü genetik algoritmalarla birleştirmek literatürde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Chen ve Chang 1998 yılında bulanık kayma kipli kontrolör yapısının kontrol parametrelerini uygun değerini elde etmek için ve elde edilmiş sonuçları diğer tasarımlarla karşılaştırmak için genetik algoritma yöntemi önermişlerdir.

Parametre adaptasyonu veya dayanıklı ve kararlı bir tasarım için kayma kipli kontrol prensiplerinin bir bulanık mantık kontrolör yapısında kullanıldığı uygulamalar da vardır. Örnek olarak, Efe vd 2000 yılında kayma yüzeyi değişkenini temel alan, öğrenme performansını tanımlayan bir Lyapunov fonksiyonu kullanarak öğrenme algoritmaları bir bulanık mantık kontrolör tanımlamıştır.

4.2 Klasik PID Yapısı

Aşağıdaki şekilde, bir sistemin PID kontrolü görülmektedir.



Şekil 4.1 Klasik PID yapısı

Ziegler ve Nichols, verilen bir sistem için oransal kazanç K_p , integral zamanı T_i ve türev zamanı T_d değerlerinin bulunması için kurallar önermişlerdir. PID kontrolörlerin

parametrelerinin bu şekilde belirlenmesi ya da PID kontrolör ayarı sistem üzerindeki bazı denemelerle çalışma esnasında yapılabilir. Ziegler-Nichols ayarlama kuralları adı altında iki yöntem vardır: birinci yöntem ve ikinci yöntem. İlerleyen bölümlerde kullanacağımız ikinci yöntemden bahsedelim.

İkinci yöntemde, ilk olarak $T_i = \infty$ ve $T_d = 0$ yapılır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi sadece oransal kontrol kullanılarak K_p değeri 0'dan sistemin çıkışının sürekli osilasyon yaptığı kritik K_{cr} kazancı kadar artırılır. (Eğer K_p 'nin tüm değerleri için sistem osilasyon yapmıyorsa o zaman bu yöntem bu sisteme uygulanmaz.) Ziegler ve Nichols K_p, T_i ve T_d parametrelerinin aşağıdaki tabloya göre belirlenmesini önermişlerdir.

Tablo 4.1 Ziegler-Nichols 2. Yöntem parametre değerleri

Kontrolör tipi	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5K_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Ziegler-Nichols'ün ikinci yöntemiyle ayarlanan PID kontrolör aşağıdaki transfer fonksiyonuna sahiptir:

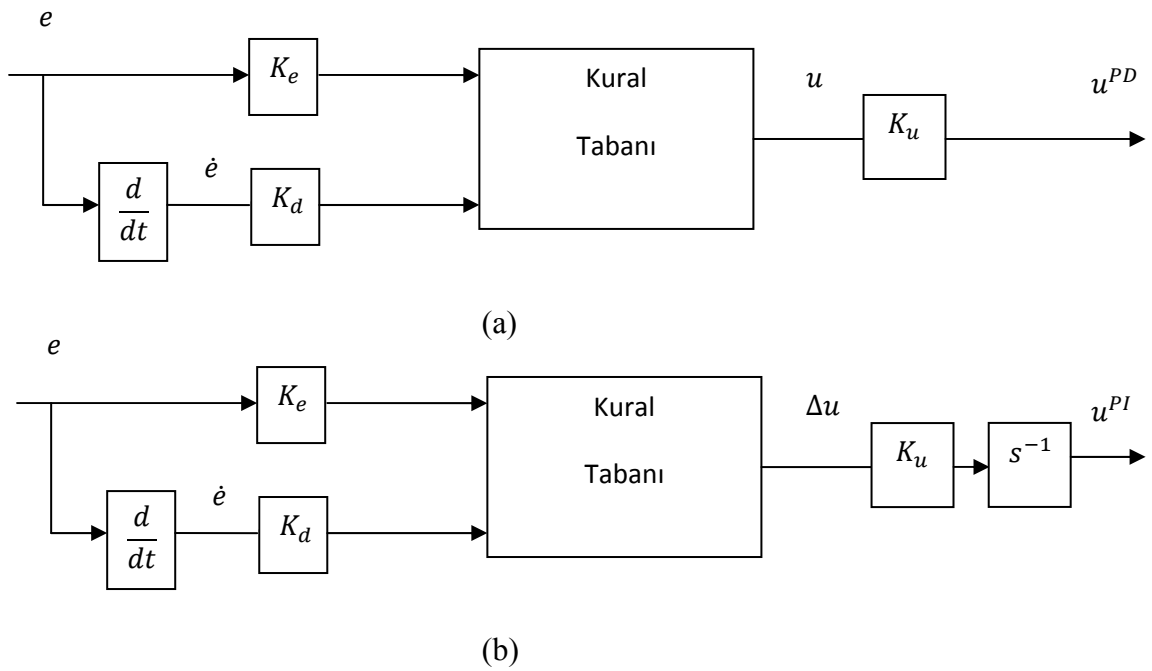
$$\begin{aligned}
 G(s) &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \\
 &= 0.6K_{cr} \left(1 + \frac{1}{0.5P_{cr}s} + 0.125P_{cr}s \right) \\
 &= 0.075K_{cr}P_{cr} \frac{\left(s + \frac{4}{P_{cr}} \right)^2}{s}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

Böylece PID kontrolörün orijinde bir kutbu, $s = -\frac{4}{P_{cr}}$ 'de de çift katlı sıfırı vardır.

Sistemin matematiksel modeli biliniyorsa (transfer fonksiyonu gibi) o zaman kritik K_{cr} kazancı ve ona karşı düşen w_{cr} frekansını köklerin yer eğrileri yöntemiyle

bulabiliriz ki burada $w_{cr} = \frac{2\pi}{P_{cr}}$ 'dir. Bu değerler köklerin yer eğrilerinin jw -eksenini kestiği noktalardan bulunabilir. Elbette, köklerin yer eğrileri jw -eksenini kesmiyorsa bu yöntem uygulanamaz.

4.3 Bulanık PD ve Bulanık PI Yapıları



Şekil 4.2 İki değişkenli bulanık mantık kontrolör: (a) PD türü ve (b) PI türü

En çok kullanılan bulanık mantık kontrolörler Şekil 4.2'de gösterilen PD ve PI türü içeren iki değişkenli bulanık mantık kontrolörlerdir. Bu tür kontrolörlerde bulanıklaştırma ve kural işleme bilgileri oluşturulurken hata (e) ve hatanın değişimi (\dot{e}) bilgileri kullanılmaktadır. İki değişkenli bulanık mantık kontrolör ayrıca ikinci dereceden bir bulanık kayma kipli kontrolör olarak da tasarlanabilir (Palm 1992).

Burada $E = K_e e$ ve $R = K_d \dot{e}$ olarak alınırsa Li'nin 1997'deki çalışmasında E ve R değişkenleri için tanımladığı iki boyutlu kural tabanı Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Hata ve hatanın değişimi için iki boyutlu bir kural tabanı (Li 1997)

R \ E	NB	NO	NK	ZR	PK	PO	PB
NB	ZR	PK	PO	PB	PB	PB	PB
NO	NK	ZR	PK	PO	PB	PB	PB
NK	NO	NK	ZR	PK	PO	PB	PB
ZR	NB	NO	NK	ZR	PK	PO	PB
PK	NB	NB	NO	NK	ZR	PK	PO
PO	NB	NB	NB	NO	NK	ZR	PK
PB	NB	NB	NB	NB	NO	NK	ZR

Bu kural tabanında dilsel değişkenler sırasıyla NB – Negatif Büyük, NO – Negatif Orta, NK – Negatif Küçük, ZR – Sıfır, PK – Pozitif Küçük, PO – Pozitif Orta, PB – Pozitif Büyük değerlerini ifade etmektedir.

4.4 Klasik Bulanık Kayma Kipli Kontrolör

$$x^{(n)} = f(x, t) + u \quad (4.4)$$

şeklinde verilen n . dereceden bir sistemi ele alalım. Burada x , $nx1$ boyutlu durum vektörü u ise kontrol işaretidir. Denklem 4.4’de verilen sistem için geleneksel kayma yüzeyi (Hung ve Gao 1993):

$$s = \left(\frac{d}{dt} + c \right)^{n-1} e \quad (4.5)$$

olarak ifade edilir. Kayma kipli kontrolörlerde Denklem 4.5 için ikinci derece için kayma yüzeyi denklemi:

$$s = \dot{e} + ce = 0 \quad (4.6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada r referans ve y sistem çıkışı olmak üzere $e = r - y$ izleme hatasını verir ve $c > 0$ olmak üzere sabit bir değeri ifade eder. Uygun anahtarlama yüzeyi elde edildikten sonra kontrol problemi $s = 0$ dışında bulunan

herhangi bir hata durumunun, s yüzeyine sonlu zamanda ulaşmasını sağlayacak bir u kontrol işaretinin tasarlanmasına dönuşür. Bu hareketin oluşmasını sağlayacak yeterli bir koşul:

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

şeklinde seçilen Lyapunov fonksiyonunun:

$$\dot{V} = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} s^2 \leq -\mu |s| \quad \mu > 0 \quad (4.8)$$

şeklinde seçilen kararlılık kriterini sağlamasıdır. Burada, Denklem 4.6 değeri Denklem 4.8'de yerine koyulursa, $s = 0$ 'ı sağlayacak en temel anahtarlama kuralının:

$$u = u_e + K \operatorname{sgn}(s) \quad K > 0 \quad (4.9)$$

olduğu görülür (Hung ve Gao 1993). Burada u_e kestirilmiş bilinmeyen sistem dinamiklerini kompanze eden eşdeğer kontrol işaretidir. Kayma yüzeyinin işareti ile doğru orantılı olan ikinci kısım ise kayma yüzeyinden sapmaları kompanze eder. Sistem dinamiklerindeki anahtarlama ve zaman gecikmelerinden dolayı Denklem 4.9 ile ideal kayma kipine ulaşamaz ve çattırtı oluşur. Bunu önlemek için:

$$u = u_e + K \operatorname{sat}(s/\varphi) = \begin{cases} u_e + K \operatorname{sgn}(s) & |s| \geq \varphi \\ u_e + K s/\varphi & |s| < \varphi \end{cases} \quad (4.10)$$

şeklinde doyum işlevi kullanılarak anahtarlama kuralı değıştirilir. Denklem 4.10'da φ sınır katmana ait genişlik bilgisidir. Hata ve hatanın türevi bilgilerinin bulanık değerlerinden oluşturulan bulanık bir faz düzlemi kullanılarak tasarlanan ve bulanık faz düzleminin köşegen çizgisi boyunca iki yarı düzleme ayrıldığı köşegen şekilli kural tablosunda kontrol işaretinin genliğı kural tablosunda sistemin o an bulunduğu konumun köşegene olan uzaklığı ile orantılıdır. Köşegen yapılı bir BMK' da kontrol kuralları:

$$EGER \quad s = \langle \text{dilsel değışken} \rangle \quad ISE \quad u = \langle \text{dilsel değışken} \rangle \quad (4.11)$$

olarak yazılabilir. Burada s köşegene olan uzaklığıdır. Bu durumda kontrol kuralı:

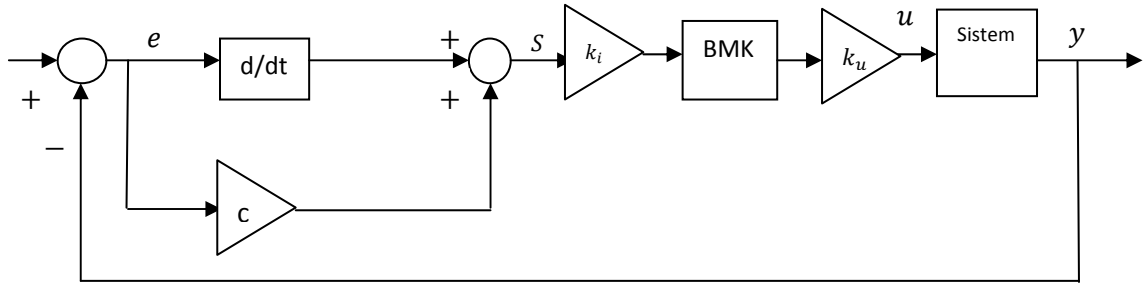
$$u_{fuzz} = -K_{fuzz} (|s|) \cdot \operatorname{sgn}(s) \quad (4.12)$$

biçiminde dönüşür. Burada $0 < K_{fuzz} < u_{max}$ şeklindedir ve bulanık kayma kipli kontrolör olarak adlandırılır. Denklem 4.10'da verilen sınır katmanlı kayma kipli kontrolör ile köşegen yapılı BMK' ya ait Denklem 4.12'de verilen kontrol kuralı arasındaki benzerlik göze çarpmaktadır. Tek girişli bu tip bir BMK' ya ait kurallar Tablo 4.3'deki gibidir ve kayma kipli kontrol kuramındaki anahtarlama hattından esinlenerek elde edilir. Tablo 4.3'de verilen dilsel değişkenlerdeki harfler P: Pozitif, N: Negatif, B: Büyük, O: Orta, K: Küçük ve S: Sıfır şeklindedir.

Tablo 4.3 Tek girişli kural tablosu (Li 1997)

s	PB	PO	PK	S	NK	NO	NB
u	PB	PO	PK	S	NK	NO	NB

Hata ve hatanın türevi bilgileri s bilgisinde kullanıldığı için, bu yapı doğrusal bir PD-tipi kontrolör yaklaşımıdır. Söz konusu bulanık kayma kipli kontrolöre ait blok diyagramı Şekil 4.3'de verilmiştir. Burada k_i ve k_u bulanık mantık kontrolörüne ait giriş ve çıkış ölçekleme faktörleridir.



Şekil 4.3 Klasik bulanık kayma kipli kontrolöre ait blok diyagramı

Hem bulanık kayma kipli hem de kayma kontrolörler için sistem performansı kayma yüzeyi eğimi c 'ye oldukça duyarlıdır. Eğer büyük c değerleri kullanılırsa hızlı yanıt elde edilir fakat kontrol işaretinin büyük değerlerinden dolayı sistem kararsızlığa gidebilir. Bunun tersi olarak, eğer küçük c değeri kullanılırsa sistem daha kararlı olur fakat kontrol işaretinin küçük değerleri sistem yanıtını yavaşlatır. Bu yüzden c 'nin uygun değerinin belirlenmesi oldukça önemlidir (Tokat vd 2003).

Bulanık mantık kontrol ile kayma kipli kontrolörün üstün özelliklerinden yararlanmak için birlikte kullanılmaları kontrol kuramının etkin bir alanıdır. Elde edilen hibrid bulanık kayma kipli kontrolün dinamik davranışı en çok kontrol yapısının üzerinde anahtarlandığı kayma yüzeyine bağlıdır.

4.5 İki Girişli Hiyerarşik Yöntem Kullanan Yüksek Dereceli Bulanık Kayma Kipli Kontrol Sistemi

Denklem 4.4’de verilen sistem için Denklem 4.5’deki gibi belirtilen $(n - 1)$. derece kayma yüzeyi fonksiyonu gerekmektedir. Yüksek dereceli bulanık kayma kipli kontrolörü oluşturmak için yüksek boyutlu bir kural tabanı kullanılabilir (Palm 1992). Buna karşın, bir yüksek boyutlu kural tabanını oluşturmak ve uygulamak oldukça zordur. Bu nedenle, Li vd 1997 yılında iki boyutlu bir kural tabanı ile yüksek dereceli bir bulanık kayma kipli kontrolör oluşturmak için bir hiyerarşik yöntem önermişlerdir. n . dereceden bir sistem için kayma yüzeyi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$s_{n-1} = \left(c + \frac{d}{dt} \right)^{(n-1)} e = \sum_{k=0}^{n-1} P_{k=0}^k c^{(n-k-1)} e^{(k)} \quad (4.13)$$

burada P değeri:

$$P_{n-1}^k = \frac{(n-1) \dots (n-k)}{k!}$$

olmaktadır. Bu kayma yüzeyi hiyerarşik bir yöntem ile aşağıda gösterildiği gibi oluşturulmaktadır:

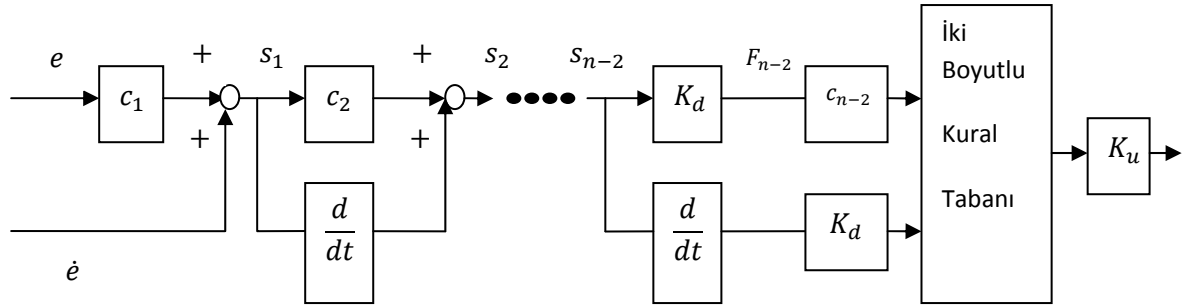
$$\begin{aligned} s_1 &= ce + \dot{e} \\ s_2 &= cs_1 + \dot{s} \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} &\vdots \\ s_{n-1} &= cs_{n-2} + \dot{s}_{n-2} \end{aligned}$$

Daha sonra bulanık mantık kontrolörün $(n - 1)$. derece kayma fonksiyonu $F_{n-1} = K_d c_{n-1}$ Tablo 4.2’de gösterilen iki boyutlu normal bir kural tabanı tarafından gerçekleştirilecektir. Buradaki K_d değeri hatanın türevinin ölçekleme faktörü olmaktadır. Kontrol çıkışı U değeri aşağıdaki gibi açıklanabilir:

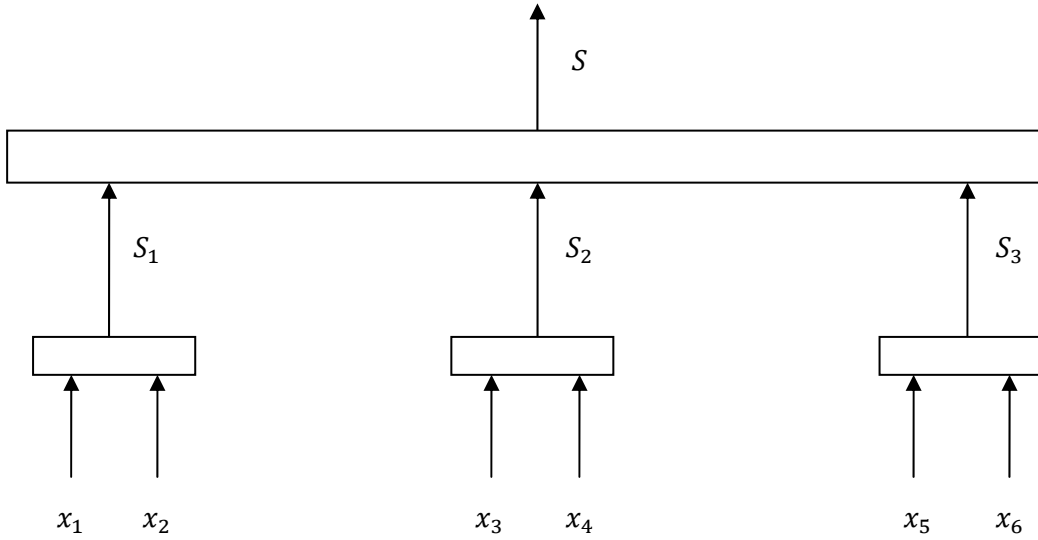
$$U = u_e + K_u \gamma B \text{sat}\left(\frac{F_{n-1}^*}{A}\right) \quad (4.15)$$

Burada $K_u B$ değeri doğrusal olmayan aktarım (relay) terimi, γ doğrusal olmayan kazanç parametresi, A sınır katmanı değeri, $F_{n-1}^* = F_{n-1} - kA$ ve $F_{n-1} = K_d c_{n-1}$ dir.



Şekil 4.4 İki girişli hiyerarşik yöntem kullanan yüksek dereceli bulanık kayma kipli kontrolör (Li vd 1997)

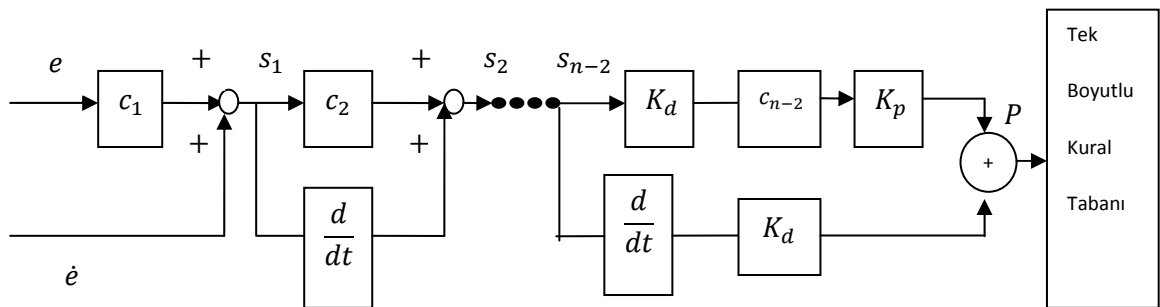
Li dışında, Lin ve Mon 2005 yılındaki çalışmalarında birçok alt sisteme ayırdıkları ve her alt sistem için uygun bir kayma yüzeyi tanımlanmış bir doğrusal olmayan sistemin sınıfları için istenilen ayrıştırma performansını ve sistem kararlılığını elde etmek için hiyerarşik bulanık kayma kontrol yöntemi kullanan bir tasarım önermişlerdir. Lin ve Chin 2006 yılında Lin ve Mon'un çalışmasına benzer olan ayrıştırılmış doğrusal olmayan sistemleri kontrol etmek için uyarlanabilir hiyerarşik bulanık kayma kipli kontrol yöntemi kullanmışlardır. Ayrıştırılan alt sistemlerin durum değişkenleri bir kontrol girişi kullanılarak eş zamanlı bir şekilde kontrol edilmektedir. Kontrol edilen sistemin uyarlama kanunu Lyapunov fonksiyonu kullanılarak türetilmektedir. Böylelikle kontrol edilen sistemin kararlı olması garanti altına alınmaktadır. Daha sonra bu önerdikleri yöntemi vinç sistemine uygulamışlardır. Qian vd 2006 yılında yaptıkları çalışmada hiyerarşik kayma yüzeyi tasarlayarak oluşturdukları bulanık kayma kipli kontrol yöntemini ters sarkaç sistemine uygulamışlardır. Tasarladıkları yöntemde üç alt sistem oluşturmuşlardır ve her alt sistem kendine ait kayma yüzeyine sahiptir daha sonra bu üç kayma yüzeyinin toplamı ile ortak bir kayma yüzeyi değişkeni tanımlamışlardır. Tasarladıkları bu hiyerarşik yöntem Şekil 4.5'de gösterilmektedir.



Şekil 4.5 Hiyerarşik kayma yüzeylerinin yapısı (Qian vd 2006)

4.6 Tek Girişli Hiyerarşik Yöntem Kullanan Yüksek Dereceli Bulanık Kayma Kipli Kontrol Sistemi

Bu bölümde 4.5. bölümde anlatılan Li'nin tasarladığı hiyerarşik yapılı bulanık kayma kipli kontrol yönteminde kullanılan kayma yüzeyi değişkenleri s_{n-1} ve \dot{s}_{n-1} toplanarak yeni bir $P = s_{n-1}K_p + \dot{s}_{n-1}$ değişkeni önerilmiştir. Bu değişken sayesinde tek boyutlu bir kural tabanı kullanılarak daha az uzman bilgisi ile kontrol edilen sistemlerden önceki yöntemler ile benzer olan sonuçlar alınmaya çalışılacaktır. Önerilen P değişkeninden sonra hiyerarşik bulanık kayma kipli kontrol yapısı Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Tek girişli hiyerarşik yöntem kullanan yüksek dereceli bulanık kayma kipli kontrolör

5. GENETİK ALGORİTMALAR

5.1 Giriş

Genetik algoritmalar, dayanak noktasını doğal seleksiyon ve genetik biliminden alan uyarlanabilir, sezgisel ve çok yönlü arama algoritmalarıdır. Genetik algoritmaların temel kavramları başta Charles Darwin'in en güçlüsünün hayatta kalması prensibi olmak üzere doğal sistemdeki evrimsel süreçleri taklit etmek için tasarlanmıştır. Genetik algoritmalar ile optimizasyon fikri ilk olarak Michigan Üniversitesi profesörü John Holland tarafından 1970'lerde ortaya atılmıştır. Holland'ın 1975 yılında yayımladığı "Doğal ve yapay sistemlerde adaptasyon" (Adaptation in Natural and Artificial System) isimli kitabında karmaşık problemlerin çözümünde yapısal bir arama yapmak için matematik tabanlı yapay evrim yöntemi incelemiştir. Genetik algoritmaların diğer bir öncüsü ise Dr. David E. Goldberg'tür. 1989 tarihinde yayımlanan "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning" başlıklı yazısında geniş mühendislik alanlarında genetik algoritma uygulamaları önermiştir. 1996 tarihli bir Wall Street Journal yazısı genetik algoritmalar üzerinde Dr. Goldberg'ten bir alıntı yapmıştır: "Üç milyar yıllık evrim yanlış olamaz. Oradaki en güçlü algoritmadır." (Mitchell 1996).

5.2 Genetik Algoritma ile Diğer Geleneksel Yöntemlerin Karşılaştırılması

Optimizasyon yöntemleri eldeki bir probleme en iyi çözümü bulmaya çalışırlar. Optimizasyon problemlerinde problemin özelliğine bağlı olarak pek çok alternatif yöntem vardır. Günümüzde kullanılan optimizasyon yöntemleri genel olarak üç sınıfta ele alınabilir (Lankhorst 1968). Bunlar hesap tabanlı (calculus based), sıralama (numaralandırma) tabanlı (enumeration based) ve rastgele arama (random search) yöntemleridir. Hesap tabanlı yöntemler optimizasyon problemlerinde oldukça fazla

çalışılmış ve kullanılmıştır. Hesap tabanlı yöntemler dolaylı ve doğrudan yöntemlerden oluşur. Bu yöntemler fonksiyonun türevinin köklerinin fonksiyonun en küçük ve en büyük değer veren noktaları olmasından yararlanır. Dolaylı yöntemlerde amaç fonksiyonunun türevi sifıra eşitlenerek sonuca ulaşılmaya çalışılır. Doğrudan yöntemlerde (tepe tırmanma vs.) yerel eğim (gradient) doğrultusunda hareket edilerek yerel optimuma ulaşılmaya çalışılır. Bu tür yöntemlerin kullanılmasında iki temel sorun vardır. İlk olarak bu yöntemler çözüm uzayının araştırılmaya başlandığı noktaya yakın en iyi çözümü oluşturan yerel optimumlarda takılabilir. İkinci olarak hesap tabanlı yöntemlerde optimize edilen fonksiyonunun türevinin alınabilmesi gereklidir. Ancak gerçek hayattaki problemlerin çözüm uzayı genelde süreksiz ve düzensizdir, bu nedenle de amaç fonksiyonlarının türevi alınamaz. Sıralama tabanlı yöntemler (dinamik programlama, dal ve sınır yöntemi vs.) amaç fonksiyonunun en iyi değerini çözüm uzayındaki noktaların her birini sırasıyla değerlendirerek bulmaya çalışır. Bunun için çözüm uzayının belli aralıklarla ayrılarak (discretization) çözüm uzayında olası çözüm noktalarının belirlenmesi gereklidir. Çözüm algoritması amaç fonksiyonunun değerini çözüm uzayındaki her bir nokta için sırayla hesaplar. Bu yöntemin kolaylığı cazip olsa da, oldukça verimsizdir. Çoğu gerçek problem için çözüm uzayı tümünün araştırılmasının mantıklı olmayacağı kadar büyüktür. Rastgele arama yöntemleri ise çözüm uzayının araştırılacağı yönün rastgele seçilmesine dayalıdır. Rastgele araştırma sonucunda elde edilen en iyi sonuçlar kaydedilerek seçilen arama amacı doğrultusunda arama süreci yeni bir doğrultuda yönlendirilir. Bu tür yöntemler, hesap tabanlı yöntemlerin aksine, türev bilgisi gerektirmemeleri, amaç fonksiyonu ile ilgili bir kısıtlamalarının olmaması ve hatalı bilgiler içerebilen (noisy) ayrık (disjoint) bir çözüm uzayını araştırabilmeleri nedeniyle gerçek problemlerin çözümü için oldukça kullanışlıdırlar. Ancak, bu tür rastgele yöntemlerin uygun bir zaman dilimi içerisinde en iyi çözümü bulma konusunda garantisi yoktur. Dolayısıyla araştırma sürecinin verimli bir şekilde yönlendirilmesi üzerinde durulması gereken önemli bir konudur. Bu nedenle, Genetik Algoritmalar, Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing) ve Yasaklı Arama (Tabu Search) gibi rastgele aramaya dayalı teknikler buluşsal yöntemler (heuristics) kullanarak rastgele arama sürecini daha akıllı hale getirmeyi amaçlarlar. Böylece bu yöntemler diğer yöntemlerle çözülemeyen problemlere tutarlı ve en veya en iyiye yakın kabul edilebilir sonuçların kısa bir sürede elde edilmesini sağlarlar.

Rastgele aramaya dayalı buluşsal bir yöntem olarak genetik algoritmaları klasik optimizasyon yöntemlerinden ayıran 4 özelliği vardır: (Goldberg 1989).

- Genetik algoritmalar parametreleri değil parametrelerin kodlanmış gösterimlerini kullanırlar. Herhangi bir fonksiyonu optimize etmek için parametrelerin sonlu elemanlı bir alfabeden oluşturulan sonlu diziler kullanılarak kodlanması yeterlidir.
- Genetik algoritmalar çözüm uzayını bir tek noktadan değil, bir grup noktadan araştırır. Böylece yerel en iyi sonuçlara takılmadan en iyi sonuca hızlı bir şekilde ulaşma şansı artmış olur.
- Genetik algoritmalar çözüme ulaşmak için sadece amaç fonksiyonunu kullanırlar, türev veya başka ek bilgi gerektirmezler. Dolayısıyla da pek çok problemde kolaylıkla kullanılabilirler.
- Genetik algoritmalar önceden belirlenmiş (deterministic) kurallara göre değil, olasılığa bağlı (probabilistic) kurallara göre çalışırlar. Bu özellik genetik algoritmalara başka yöntemlerle ulaşılamayan çözümlere ulaşabilme olanağı vermektedir.

5.3 Genetik Algoritmanın Dayanağı

İnsanlar çevreleriyle ilgilenmeye başladıktan sonra her dölün daima atasına benzediğini gözlemişlerdir Bir çocuğun bazı halleri davranışları yetenekleri anne ve babasına benzer. Bir bireyin kendi ata dölüne benzeme eğilimine soyaçekim (kalıtım) denir. Yani anne, baba ve yavru arasındaki benzerlik ve farklılıkların nedeni ile bu özelliklerin nesilden nesile geçişini inceleyen bilim dalına genetik denir. Genel olarak bütün türlerde oğul dölleri temel plan bakımından atalarına benzerler. Bu temel plan kalıtımla dölden dölle iletilir. Genetik ile ilgili temel kavramlar aşağıda açıklanmıştır (Mitchell 1996):

Gen: Bir karakteri temsil eden ve bu karakterin yavru döllere aktarılmasını sağlayan DNA parçasına gen adı verilir. Her karakterin geni kromozom üzerinde lokus denen belirli bir yerde bulunur.

Alel Gen: Bir karakteri temsil eden kromozomların karşılıklı bölgelerinde (lokuslarda) bulunan iki gen çiftine alel gen adı verilir. Alel genler aynı karakter üzerine zıt etki yaparlar. Örneğin A, a

Çok Alellik: Aynı karakteri temsil eden ikiden fazla gen bulunmasına çok alellik adı verilir.

Homolog Kromozom: Karşılıklı bölgelerinde (lokuslarında) aynı karakteri temsil eden ve biri anadan diğeri babadan gelen iki gen bulunduran kromozomlara homolog kromozom denir.

Genotip: Bir canlının sahip olduğu genler topluluğuna genotip adı verilir.

Fenotip: Bir canlının gözle görülebilen tüm özelliklerine fenotip adı verilir. Canlının dış görünüşüdür. Genotip ve çevre etkisiyle meydana gelir.

Homolog Karakter (Arı Döl): Bir kromozomun karşılıklı bölgelerinde (lokuslarında) aynı özellikte iki alel gen bulunması olayına homolog karakter denir. Bu iki alel gen karakter oluşumunda aynı yönde etki ederler. Ana babadan aynı karakterleri almış bireylerdir. Örneğin AA, bb, cc

Heterozigot Karakter (Melez Döl): Bir kromozomun karşılıklı bölgelerinde (lokuslarında) farklı özellikte iki alel gen bulunması olayına heterozigot karakter denir. Bu iki alel gen karakter oluşumunda zıt yönde etki ederler. Ana babadan farklı karakterleri almış bireylerdir. Örneğin Aa, Bb, Cc

Baskın Gen (Dominant): Bir karakterin oluşumunda etkisini her zaman gösteren gene baskın gen denir. Büyük harfle gösterilir.

Çekinik Gen (Resesif): Bir karakterin oluşumunda ancak homozigot ise etkisini gösterebilen gene çekinik gen denir. Küçük harfle gösterilir.

Eksik baskınlık: Alel genler arasında dominantlık resesiflik olmadığında bu alellerin fenotipte kendini belli etme kuvveti eşdeğer olur. Yavrular ana ve babadan farklı bir ara karakter gösterir.

Bağımsız Gen: Bir çift kromozom üzerinde sadece bir alel gen bulunması olayına bağımsız gen denir.

Bağlı Gen: Bir çift kromozom üzerinde birden fazla alel gen bulunması olayına bağlı gen denir.

Karakter Oluşumu: Bir canlının tüm özelliklerine birden “karakter” adı verilir. Canlının karakterini DNA üzerindeki genler belirler. Yavru bireyde karakteri oluşturan genlerden biri anneden diğeri babadan gelir, karakteri oluşturan bu gen çiftine “alel gen” adı verilir. Bir karaktere etki eden faktörler aşağıdaki gibidir:

- *Kalıtım:* Canlının anne ve babasından üreme sırasında DNA aracılığıyla aldığı karakterlere kalıtım denir.
- *Modifikasyon:* Işık, ısı ve besin gibi çevresel faktörlerin genleri etkilemesi ile canlıda oluşan karakterlere modifikasyon adı verilir. Oluşan değişiklikler kalıtsal değildir, yani yavru bireye aktarılmaz.
- *Mutasyon:* Sıcaklık, kimyasal Maddeler ve radyasyon gibi çevresel faktörlerin genlerin yapısını bozması ile canlıda oluşan karakterlere mutasyon denir. Vücut hücrelerinde oluşan mutasyon sadece canlıyı etkiler kalıtsal değildir, üreme hücrelerinde oluşan mutasyon ise kalıtsaldır ve yavru bireye aktarılır.
- *Varyasyon:* Aynı türdeki canlılar arasında mutasyon yada çevresel etkiler sonucunda oluşan farklılıklara varyasyon adı verilir.
- *Adaptasyon:* Canlının var olan karakterinin bulunduğu ortama uyum sağlaması sonucu yaşamaya devam edilmesi olayına adaptasyon adı verilir. Canlının var olan karakterinin ortama uyum sağlayamaması canlının ölmesine neden olur bu olaya “doğal seçicilik” adı verilir.

Bir yapay genetik sistemin dizgileri (string) biyolojik sistemdeki kromozomlara çok benzer olmaktadır. Bu dizgilerin toplamına yapı denmektedir. Bu yapılar belirli parametre kümeleri, çözüm alternatifleri veya çözüm uzayında bir nokta oluşturmak için gerekli şifreleri çözmektedirler. Dizgiler değişik değerler alan özellikler veya algılayıcılardan oluşmaktadır. Özellikler dizginin değişik pozisyonlarında yer alabilir. Doğal genetik ile genetik algoritmaların terimleri arasındaki karşılaştırma Tablo 5.1’de verilmiştir (Mitchell 1996).

Tablo 5.1 Doğal genetik ile genetik algoritma terimlerinin karşılaştırılması

Doğal Genetik	Genetik Algoritma
Kromozom	Verinin dizgisi
Gen	Özellik, algılayıcı veya karakter
Alel	Özellik değeri
Lokus	Dizgi pozisyonu
Genotip	Yapı
Fenotip	Parametre kümesi, alternatif çözüm
Epistatis	Doğrusal olmama

5.4 Genetik Algoritma Faktörleri

Genetik algoritmalar bir çözüm uzayındaki her noktayı, kromozom adı verilen ikili bit dizisi ile kodlar. Her noktanın bir uygunluk değeri vardır. Tek bir nokta yerine, genetik algoritmalar bir popülasyon olarak noktalar kümesini muhafaza eder. Her kuşakta, genetik algoritma, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörleri kullanarak yeni bir popülasyon oluşturur. Birkaç kuşak sonunda, popülasyon daha iyi uygunluk değerine sahip üyeleri içerir. Bu, Darwin’in rastsal mutasyona ve doğal seçime dayanan evrim modellerine benzemektedir. Genetik algoritmalar, çözümlerin kodlanmasını, uygunlukların hesaplanmasını, çoğalma, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanmasını içerir (Jang 1997).

5.4.1 Kodlama

Bir problemin çözümü için genetik algoritma geliştirmenin ilk adımı, tüm çözümlerin aynı boyutlara sahip bitler dizisi biçiminde gösterilmesidir. Dizilerden her biri, problemin olası çözümler uzayındaki rastsal bir noktayı simgeler (Yeniay 2001). Parametrelerin kodlanması, probleme özgü bilgilerin genetik algoritmanın kullanacağı şekle çevrilmesine olanak tanır (Jang 1997).

5.4.2 Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

Genetik algoritmalar, çözüm adımlarına belirlenen gösterim şekline uygun kodlanmış bireylerden oluşan bir başlangıç popülasyonu oluşturarak başlarlar. Başlangıç popülasyonunu oluşturan bireyler (kromozomlar) rastgele veya çözülecek probleme özgü özel bilgiler kullanılarak kodlanırlar. Çözümü aranan problem ile ilgili özel bilgi veya durumlar mevcut ise, bu durum çözüm uzay kümesini sınırlandıracak şekilde başlangıç popülasyonunu oluşturmada kullanılabilir (Feldman vd 1994).

Genetik algortmada kullanılacak popülasyon büyüklüğünün belirlenmesi için net kurallar yoktur. Popülasyon büyüklüğü problemin yapısına göre belirlenmelidir. Genetik algoritmanın çalışmasında sonraki adımların daha verimli olabilmesi için, başlangıç popülasyonunun olası çözümlerin önemli bir bölümünü kapsayacak şekilde farklı çözümler barındıracak kadar geniş olması gereklidir. Ancak, popülasyonun büyük olması daha çok çeşitlilik sağlayarak daha sağlam sonuçlar verirken, genetik algoritmanın çalışması için ihtiyaç duyulan kaynak gereksinimini artıracaktır (Drake ve Marks 2000).

5.4.3 Çoğalma

Çoğalma operatöründe diziler, amaç fonksiyonuna göre kopyalanır ve iyi kalıtsal özellikleri gelecek kuşağa daha iyi aktaracak bireyler seçilir. Üreme operatörü yapay bir seçimdir. Dizileri uygunluk değerlerine göre kopyalama, daha yüksek uygunluk değerine sahip dizilerin, bir sonraki kuşaktaki bir veya daha fazla yavruya daha yüksek

bir olasılıkla katkıda bulunması anlamına gelmektedir. Çoğalma, bireyleri seçme işleminden, seçilmiş bireyleri bir eşleme havuzuna kopyalama işleminden ve havuzda bireyleri çiftler halinde gruplara ayırma işleminden oluşur (Fığlalı 2002).

Uygunluk değerinin hesaplanması adımından sonra mevcut kuşaktan yeni bir popülasyon yaratılmalıdır. Seçim işlemi, bir sonraki kuşak için yavru üretmek amacıyla hangi ailelerin yer alması gerektiğine karar vermektedir. Bu doğal seçimdeki en uygunun yaşaması durumuna benzerdir. Bu yöntemin amacı, ortalama uygunluğun üzerindeki değerlere çoğalma fırsatı tanımaktır. Bir dizinin kopyalanma şansı, uygunluk fonksiyonuyla hesaplanan dizinin uygunluk değerine bağlıdır (Jang 1997). Seçim yöntemlerine rulet tekerleği seçimi, turnuva seçimi ve sıralama seçimi gibi seçim yöntemleri örnek verilebilir.

5.4.4 Çaprazlama

Seçim algoritması sonucunda belirlenen, mevcut popülasyon içerisinde göreceli olarak daha iyi performansa sahip olup en iyi çözüme daha yakın olması muhtemel adaylar, çaprazlama işlemi ile birleştirilerek yeni bireyler oluşturulur. Bu şekilde, çözüm uzayının araştırılması süreci rastgele olmayıp, mevcut genetik bilgi doğrultusunda en iyi sonuca götürecek şekilde yönlendirilmiş olur (Pareira 2000).

Seçim işleminde olduğu gibi çaprazlama işleminde de alternatif yöntemler mevcuttur. En çok kullanılan yöntem tek noktadan çaprazlama (single-point crossover) olsa da, iki noktadan çaprazlama, çok noktadan çaprazlama ve homojen çaprazlama (uniform crossover) yöntemleri de kullanılabilir (Beasley vd 1993).

Noktalı çaprazlama işleminde çaprazlama için seçilen iki çözüm adayının karşılıklı değerlerinin (genlerinin) çaprazlama noktası/noktalarına göre değiş tokuşu yapılır. Homojen çaprazlamada ise yeni bireyin genleri rastgele olarak çaprazlamaya katılan bireylerin (anne ve baba) genlerinden gelir.

Çaprazlama işlemi sonucunda her iki atanın (anne ve baba) kısmi özelliklerine sahip yeni bir birey (child) elde edilmiş olur. Çaprazlama işlemi her zaman yapılmaz.

Çaprazlama önceden belirlenmiş bir olasılık yüzdesine bağlı olarak rastgele (stokastik) olarak yapılır.

5.4.5 Mutasyon

Mutasyon işleminde seçilen bir bireyin genetik bilgisi, kullanılan kodlama sistemine uygun şekilde rastgele olarak değiştirilir. Örnek olarak, ikili kodlama sistemi ile kodlanmış bir bireyin 1 olan bir geninin 0'a veya 0 olan bir geninin 1'e dönüştürülmesi verilebilir.

Mutasyon ile var olan popülasyona yeni genetik bilgi eklenmiş olur. Bu popülasyonun çeşitliliğini arttırarak, çaprazlamanın tersine, algoritmanın çalışma sürecini rastgele bir şekilde çözüm uzayının yeni alanlarına yönlendirir. Mutasyon işlemi, genetik algoritmalara yerel alt optimumlarda takılıp kalmama ve yeni ve daha önceden fark edilmemiş çözümlere ulaşabilme özelliği kazandırmaktadır (Pareira 2000).

Mutasyon, seçim ve çaprazlama ile beraber uygulandığından yalnızca çözüm uzayının verimli bir şekilde araştırılmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda çözüm aday kümesinin çeşitliliğinin kaybolmaması için güvence sağlamış olur (Goldberg 1989).

Mutasyon da çaprazlama gibi önceden belirlenmiş bir olasılık yüzdesine göre rastgele olarak yapılır. Mutasyonlar en uygun çözüme ulaşma açısından faydalı da olabilirler faydasız da olabilirler. Bu nedenle, popülasyonun genetik bilgisinin bir anda çok fazla değişmemesi için mutasyon olasılığı düşük tutulur.

5.4.6 Uygunluk fonksiyonu

Genetik algoritmaların kullanmanın nihai amacı karmaşık bir optimizasyonuna problemine en iyi veya en iyiye yakın bir çözümü en kısa sürede ve en kolay şekilde bulabilmektir (Pareira 2000). Bunu gerçekleştirmek için genetik algoritmalar var olan çözüm alternatiflerinin performansını bir uygunluk (amaç) fonksiyonu kullanarak ölçerler ve daha iyi çözüm alternatiflerine ulaşmaya çalışırlar.

Uygunluk fonksiyonu (fitness function), çözüm adayı bireylerin kromozomlarını (kodlanmış dizileri) uygunluk değerini gösteren rakamsal bir değere eşleştirir. Hesaplanan uygunluk değeri, bireyin amaç fonksiyonuna göre değerini, dolayısıyla da çözüme yakınlığını göstermektedir.

5.4.7 Yeni neslin oluşturulması

Genetik işlemlerin mevcut nesle uygulanmasıyla oluşturulan yeni bireylerden hangilerinin yeni nesle aktarılacağı, bu yeni bireylerin uygunluk fonksiyonuna göre elde edilen değerleri kullanılarak belirlenirler. Yeni bireyler kullanılarak mevcut nesilden, yeni neslin oluşturulmasında iki temel yaklaşım mevcuttur (Beasley vd 1993). Basit (generational) yöntemde, her yeni nesilde, mevcut neslin tamamı, yeni oluşturulan bireylerden en iyi uygunluk değerlerine sahip bireylerle yenilenir. Dengeli (steady state) yöntemde ise yeni bireylerden, iyi uygunluk değerine sahip olanlar, baştaki neslin zayıf bireyleri ile değiştirilerek yeni nesil oluşturulur.

Basit yöntemde, yeni nesil oluşturulurken, mevcut nesildeki yüksek performansa sahip bireylerin çaprazlama ve mutasyon işlemleri sırasında değiştirilerek kaybolması ve yeni neslin performansı daha düşük bireylerden oluşması riski söz konusudur. Bu problemi gidermek için elitizm kullanılabilir (Beasley vd 1993). Elitizm, performansı en iyi bireyle (bireyler) temsil edilen o ana kadarki en iyi çözümün korunarak, değiştirilmeksizin bir sonraki nesle aktarılmasını sağlar. Böylece her yeni nesil, en azından bir önceki nesildeki en iyi bireyi içermiş olur ve olası çözümün performansının sonraki nesillerde azalması mümkün olmaz.

5.4.8 Sonlanma koşulu

Genetik algoritmanın çalışma döngüsünün sona erip, çözüme ulaşılabilmesi için önceden belirlenmiş bir çıkış koşulunun sağlanmış olması gerekir. Sonlanma koşulunun sağlanması (termination) üç durumdan birinin gerçekleşmesi ile olabilir (Lankhorst 1968):

- 1) Tatmin edici bir sonuca ulaşılmış olması
- 2) Genetik algoritmanın belli bir çözüme yakınsaması

3) Önceden belirlenmiş en fazla nesil sayısına ulaşılması

Genetik algoritma belli bir çözüme yakınsadığında nesli oluşturan tüm bireyler benzerdir ve genetik algoritmanın adımlarının tekrarlanması sonucu değiştirmez. En fazla nesil sayısı ise genetik algoritmanın yakınsamadığı bazı problemlerde süresiz olarak çalışmasını engellemek amacıyla belirlenir.

Genetik algoritma, sonuca ulaşmadığı, yakınsamadığı veya en fazla nesil sayısına ulaşmadığı durumlarda seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerini kullanarak yeni nesillerin oluşturulmasına devam eder.

5.4.9 Şema teorisi

Genetik algoritmalarda oluşan başarılı bireyler incelenirse, bu bireyler arasındaki benzerlikler bulunabilir. Bu benzerliklerden yola çıkarak şemalar oluşturulabilir. İkilik dizi kodlaması için aşağıdaki yöntem önerilebilir. 0, 1 ve # ('#' o konumda 0 veya 1 olmasının önemsiz olduğunu gösterir). Örnek olarak ikinci ve dördüncü bitleri 1, altıncı biti 0 olan çözümlerin başarılı olduğu bir toplumda şu şema oluşturulabilir:

$$\#1\#1\#0 \quad (5.1)$$

Bu şemaya uygun aşağıdaki ikilik diziler yazılabilir:

$$010100, 010110, 011100, 011110, 110100, 110110, 111100, 111110. \quad (5.2)$$

Görüldüğü gibi şemaların katılması ikilik dizilerle gösterilen arama aralığını büyütmektedir. Arama aralığının büyümesinin sonucun bulunmasını zorlaştırması beklenir ancak durum böyle değildir. Seçim ve yeniden kopyalama ile iyi özellikler daha çok bir araya gelerek daha iyi değerlere sahip şemalara uygun çözümler elde edilir. Genetik algoritma kendi içinde sanal olarak şemaları oluşturur. Toplumun bireyleri incelenerek bu şemalar ortaya çıkarılabilir. Genetik algoritmalar şemaları oluşturmak için toplum üyelerinin kodları dışında bir bilgi tutmaz. Genetik algoritmaların bu özelliğine içsel paralellik (implicit parallelism) denir. Her nesilde, iyiyi belirleyen şemalardaki belirsiz ya da önemsiz elemanlar azalır. Böylece genetik algoritmalar sonuca doğru belli kalıplar içinde ilerler (Goldberg 1989).

6. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu bölümde dördüncü bölümde bahsedilen Klasik PID (CPID), Bulanık PD (FuzzyPD), Bulanık PI (FuzzyPI), Klasik bulanık kayma kipli kontrol (CFSMC), İki girişli hiyerarşik bulanık kayma kipli kontrol (HFSSMC) ve Tek girişli hiyerarşik bulanık kayma kipli kontrol (PFSSMC) yöntemleri kullanılarak değişik doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin kontrol edilmesi anlatılacaktır. Uygulamalar SIMULINK ortamında gerçekleştirilmiştir. Ölçeleme faktörlerini ve kayma yüzeyi eğiminin değerlerini bulmak için Genetik Algoritma optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Genetik Algoritmada kromozom yapısı ayarlanmasını istenilen parametre sayısı + başarımlı ölçütü değişkeninden oluşmaktadır. Kromozomda bu değişkenlerin değerleri tutulmaktadır. Popülasyon büyüklüğü 100 olarak seçilmiştir. Bitiş koşulu olarak algoritma 50 iterasyon olarak çalıştırılmıştır. Çaprazlama yöntemi olarak tek noktadan çaprazlama yöntemi seçilmiştir. Mutasyon yöntemi olarak ebeveynin tüm genlerini gaussian dağılımına göre değiştirme yöntemi seçilmiştir. Seçme yöntemi olarak normalize geometrik dağılıma dayanan sıraya göre seçme kullanılmıştır. Seçme oranı 0.08 olarak belirlenmiştir. Performans ölçütü olarak mutlak hata integrali (IAE), mutlak hata ile zaman çarpımının integrali (ITAE) ölçütleri kullanılmıştır. Performans indeksi $1000 / (IAE + ITAE)$ hesabından elde edilmektedir. İlk olarak

$$\frac{5}{s^3+4.5s^2+5.5s+15} = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (6.1)$$

üçüncü dereceden doğrusal bir sistemi ele alalım. Bu denklemi

$$\frac{5}{s^3+4.5s^2+5.5s+15} \frac{X(s)}{X(s)} = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (6.2)$$

şeklinde gösterirsek buradan

$$Y(s)=5X(s)$$

$$U(s)=s^3X(s)+4.5s^2X(s)+5.5sX(s)+15X(s) \quad (6.3)$$

olur ve Denklem 6.3'e Laplace dönüşümü uygularsak:

$$u(t) = \ddot{x} + 4.5\dot{x} + 5.5x + 15x \quad (6.4)$$

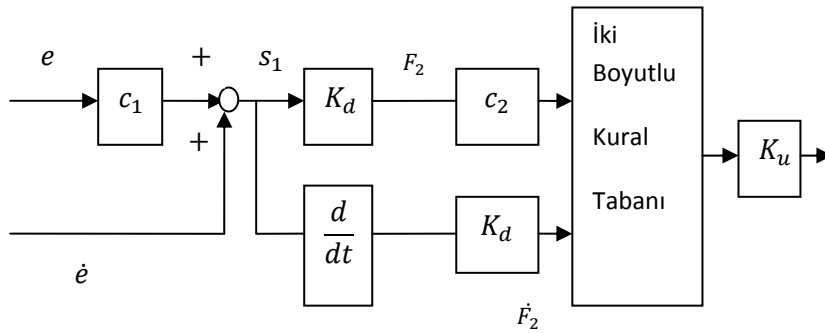
haline dönüşür. Buradan kanonik formu ele alarak bir dönüşüm daha uygularsak kontrol edeceğimiz matematiksel model:

$$u(t) = \dot{x}_3 + 4.5x_3 + 5.5x_2 + 15x_1 \quad (6.5)$$

halini alır. Denklem 6.3'ten yola çıkarsak $y_d = 1$ başlangıç koşulu altında $x_{1d} = 0.2, x_{2d} = 0$ ve $x_{3d} = 0$ başlangıç değerlerini alır. Denklem 6.5'ten yola çıkarak tek boyutlu bir klasik kayma kipli kontrolörün kayma yüzeyi

$$s = c_1(x_1 - x_{1d}) + c_2(x_2 - x_{2d}) + (x_3 - x_{3d}) \quad (6.6)$$

olarak tanımlanır. Ayrıca Bölüm 4.5'te anlatılan Li'nin önerdiği hiyerarşik yöntem kullanan bulanık kayma kipli kontrolör kuramına göre üçüncü dereceden bir sistem için tasarlanan bulanık kayma kipli kontrolör yapısı Şekil 6.1'de gösterilmektedir.



Şekil 6.1 Bir üçüncü dereceden bulanık kayma kipli kontrolör

E ve R BMK'nın girişleri olsun öyleki $E = F_2c_2$ ve $R = \dot{F}_2 = \dot{s}_1K_d$ olsun. Bu durumda Tablo 4.2'deki Li'nin önermiş olduğu kural tabanını kullanabiliriz.

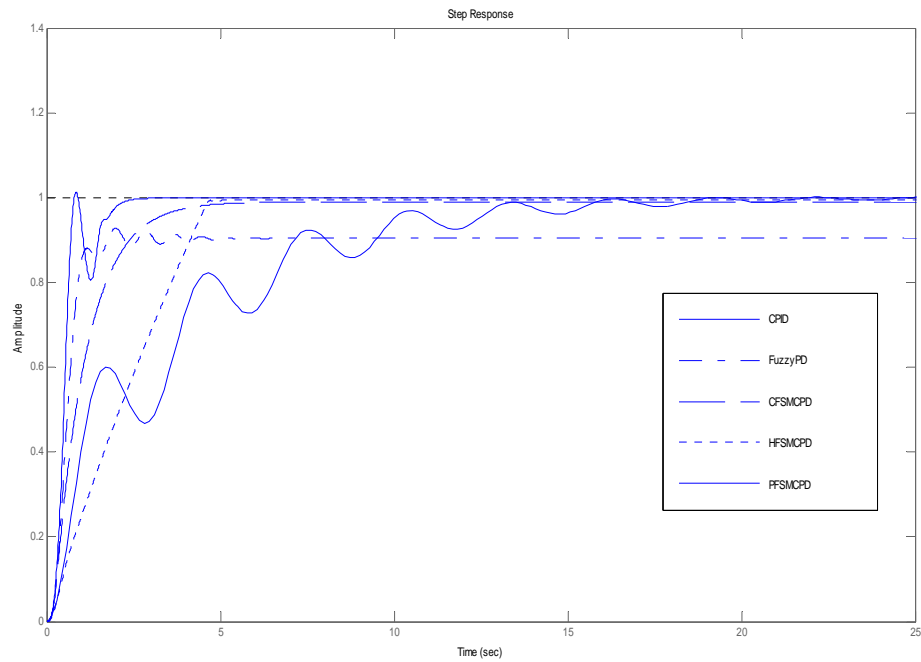
Klasik PD için Ziegler – Nichols yöntemine göre $K_{cr} = 1.95$ ve $P_{cr} = 2.68s$ olmaktadır. Ziegler – Nichols ikinci yöntem tablosuna göre $K_p = 1.17$, $T_i = 1.34$ ve $T_d = 0.3350$ olmaktadır. Burada $K_e = K_p$, $K_d = K_pT_d$, $K_i = \frac{K_p}{T_i}$ olarak alalım.

İlk olarak dördüncü bölümde anlatılan ve PD türü kullanan kontrol yöntemleri ile TS (Örnekleme zamanı) = $0.01sn$, t_{final} (simülasyon süresi) = $50sn$ koşulları altında sistemi kontrol edelim. Kayma yüzeyi değişkeni ve ölçekleme faktörlerini Genetik Algoritma ile aynı sınır aralıklarını kullanarak dört kontrol yöntemi için hesaplayalım. Bu işlem sonucunda elde ettiğimiz değerler Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Doğrusal sistem için hesaplanan performans ölçütü ve tasarım parametreleri (PD türü)

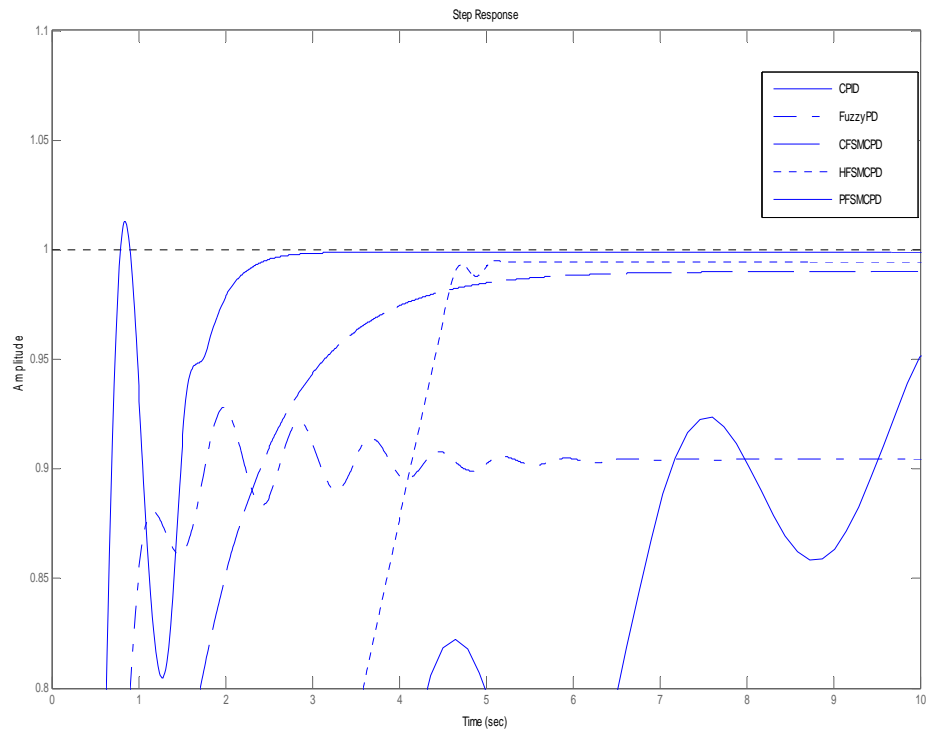
	c_1	c_2	K_e	K_d	K_i	K_p	K_u	IAE	ITAE	B.Ölçütü
CPID	-	-	1.17	0.3920	0.8731	-	-	-	-	-
FUZZYPD	-	-	14.9898	4.4456	-	-	9.9119	5.3296	119.6423	8.0018
CFSMCPD	14.6625	14.6625	-	12.1162	-	-	8.2949	1.5973	13.3750	66.7899
HFSMCPD	14.8116	14.8116	-	1.2979	-	-	9.8410	2.4497	10.0796	79.8124
PFSMCPD	3.7234	3.7234	-	11.6810	-	8.0650	9.7144	0.6518	1.7104	423.3363

Bu elde edilen parametrelerle kontrol yöntemleri çalıştırıldıktan sonra Şekil 6.2’deki gibi bir sonuç elde edilmiştir.



Şekil 6.2 Doğrusal sistemin kontrol sonuçları (PD türü)

Sonuçlardan açık bir şekilde görülüyor ki en kötü performansı FuzzyPD ile elde ederken, CFSMCPD ile biraz daha iyi sonuç elde ediyoruz. HFSMCPD ile ise bu iki yöntemden daha iyi bir sonuç elde ederken, en iyi sonuç önerdiğimiz yöntem ile sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara Şekil 6.3’de daha yakından bakarsak önerdiğimiz yöntem ile kısa sürede referans noktasına gelmeye çalıştığından az bir süre salınım yapsa da diğer yöntemlere göre daha az bir sürede istenen noktaya geldiği ve kararlı bir yapıya sahip olduğu açıkça görülmektedir.



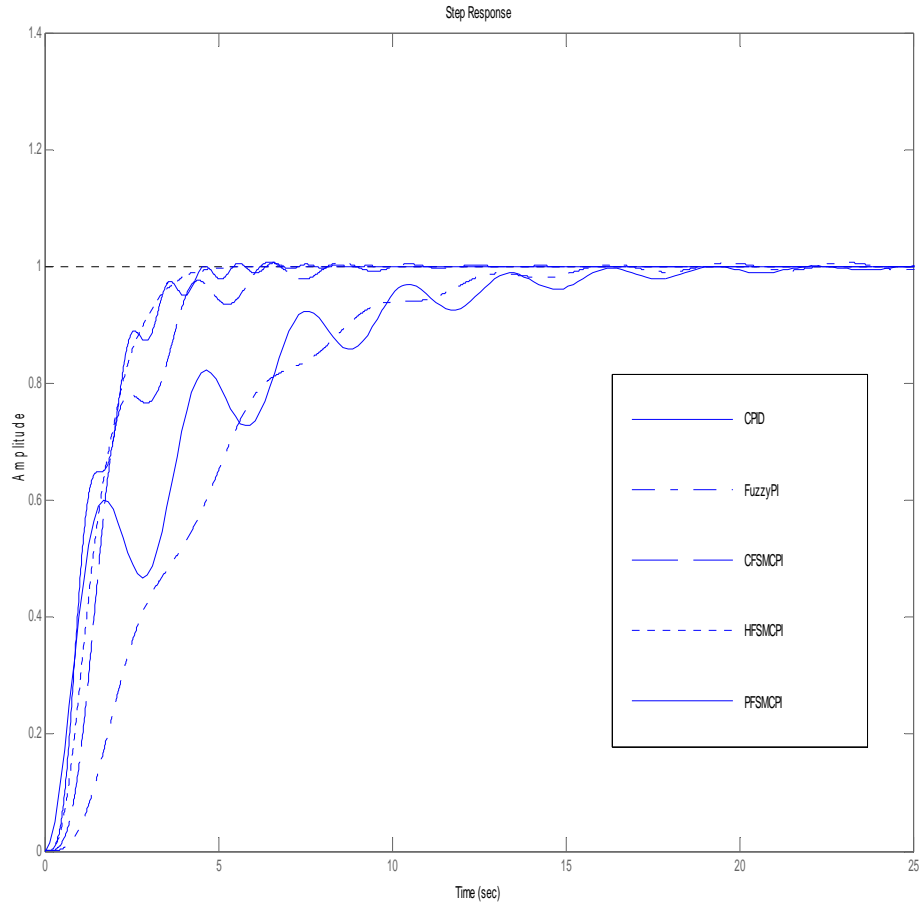
Şekil 6.3 Doğrusal sistemin kontrol sonuçlarının yakından görünümü (PD türü)

Yukarıdaki işlemleri benzer şekilde PI türü için yapalım. Kayma yüzeyi değerleri ve ölçekleme faktörleri Tablo 6.2’de gösterilmektedir.

Tablo 6.2 Doğrusal sistem için elde edilen performans ölçütü ve tasarım parametreleri (PI türü)

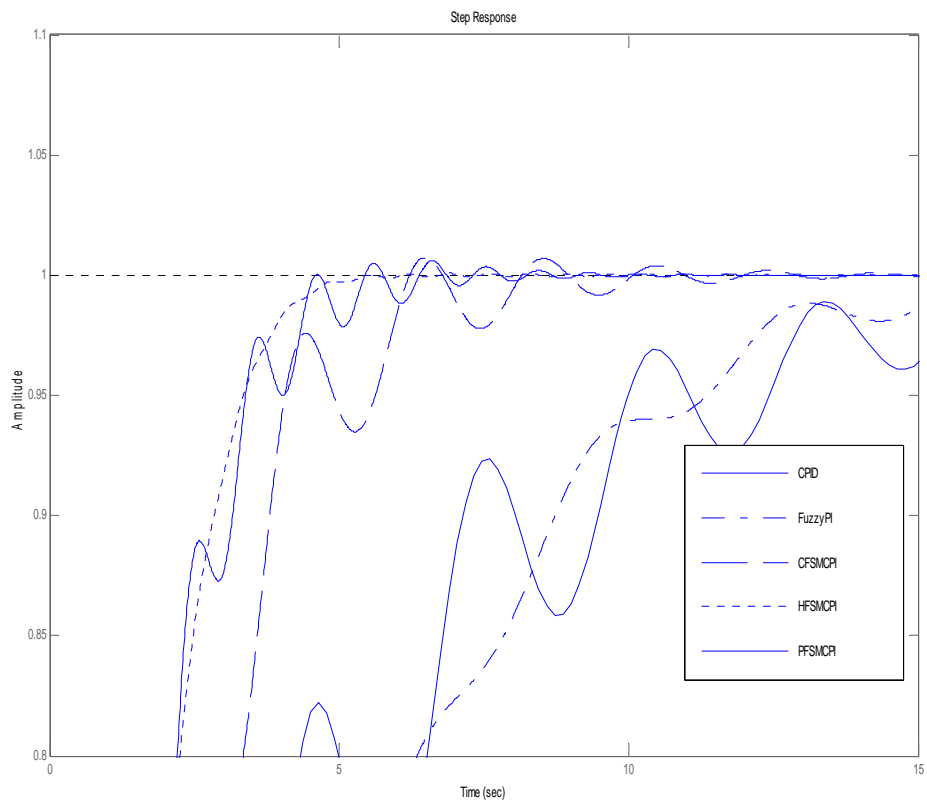
	c_1	c_2	K_e	K_d	K_i	K_p	K_u	IAE	ITAE	B.Ölçütü
CPID	-	-	1.17	0.3920	0.8731	-	-	-	-	-
FUZZYPI	-	-	8.8599	0.1068	-	-	0.5064	4.5578	18.4357	43.4904
CFSMCPI	2.5669	2.5669	-	4.0162	-	-	1.9693	2.0439	3.1725	191.7007
HFSMCPI	1.8420	1.8420	-	5.7326	-	-	9.3241	1.6005	1.7060	302.4294
PFSMCPI	1.6645	1.6645	-	4.1351	-	1.0856	8.3224	1.5024	1.7162	310.6977

Bu elde edilen parametrelerle kontrol yöntemleri çalıştırıldıktan sonra Şekil 6.4'deki gibi bir sonuç elde edilmiştir.



Şekil 6.4 Doğrusal sistemin kontrol sonuçları (PI türü)

Sonuçlardan görüldüğü üzere FuzzyPI ile en kötü performans elde edilmektedirken, PFSMCPI ile HFSMCPI kontrol sonuçları birbirinin neredeyse aynısı çıkmaktadır. Ve böylelikle daha az kural tabanı ile yine aynı sonucu elde ettiğimiz açıkça görülmektedir. Bu sonuçları Şekil 6.5'te daha yakından incelersek önerdiğimiz yöntem aynı bir önceki örnekte olduğu gibi kısa sürede referans noktasına ulaşmaya çalıştığı için salınım yapmaktadır ancak kısa bir süre sonra kararlı duruma gelmekte ve hiyerarşik yöntem ile neredeyse aynı sonucu vermektedir.



Şekil 6.5 Doğrusal sistemin kontrol sonuçlarının yakından görünümü (PI türü)

Şimdi de üçüncü dereceden doğrusal olmayan bir sistemi ele alalım. Sistemin denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = x_3 \tag{5.7}$$

$$\dot{x}_3 = -x_1^3 - x_2 + u$$

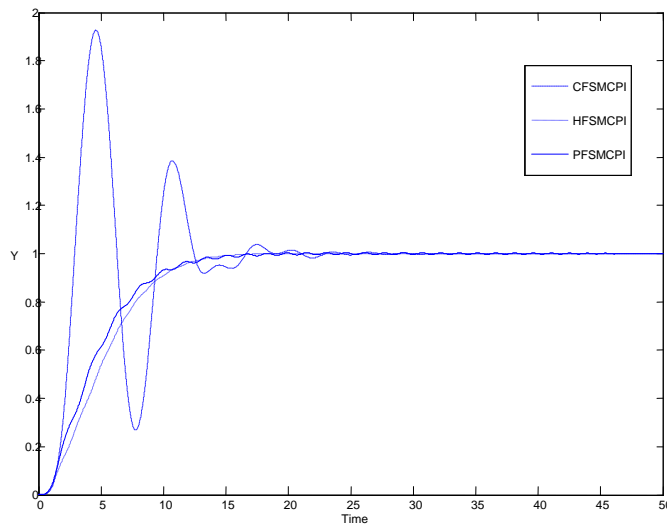
Dördüncü bölümde anlatılan ve PI türü kullanan kontrol yöntemleri ile TS (Örnekleme zamanı) = 0.01sn, t_{final} (simülasyon süresi) = 50sn koşulları altında sistemi kontrol edelim. Kayma yüzeyi değişkeni ve ölçekleme faktörlerini Genetik Algoritma ile aynı sınır aralıklarını kullanarak dört kontrol yöntemi için hesaplayalım. Bu işlem sonucunda elde ettiğimiz değerler Tablo 6.3’de gösterilmiştir.

Tablo 6.3 Doğrusal olmayan sistem için hesaplanan performans ölçütü ve tasarım parametreleri (PI türü)

	c_1	c_2	K_d	K_p	K_u	B.Ölçütü
CFSMCPI	0.6233	0.6233	6.321	-	0.8338	23.1810
HFSMCPI	0.3295	0.3295	3.1573	-	4.4617	40.8119
PFSMCPI	0.4311	0.4311	13.9289	0.9350	1.2315	42.9825

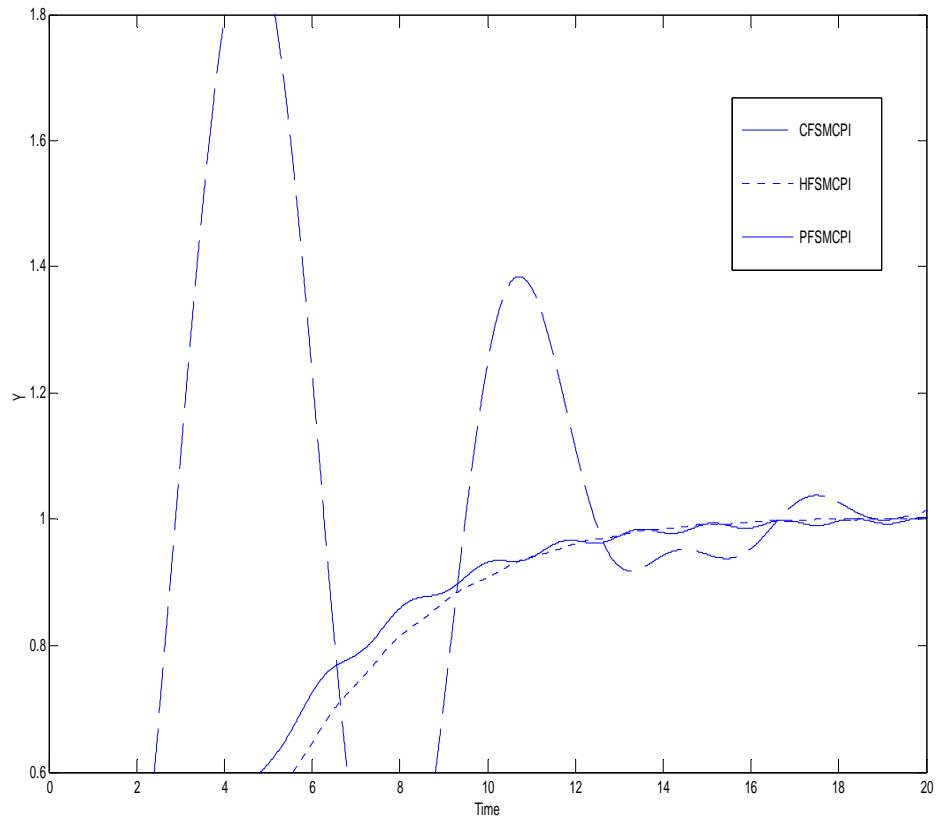
Not: FuzzyPI ile ilgili parametreler Genetik Algoritma ile sistemi yeterince kontrol edecek kadar uygun olarak bulunamadığından FuzzPI yöntemi kontrol aşamasından çıkarılmıştır.

Bu elde edilen parametrelerle kontrol yöntemleri çalıştırıldıktan sonra Şekil 6.6’daki gibi bir sonuç elde edilmiştir.



Şekil 6.6 Doğrusal olmayan sistemin kontrol sonuçları (PI türü)

Sonuçlardan görüldüğü üzere CFSMCPI ile en kötü performans elde edilmekteyken, PFSMCPI ile HFSMCPI kontrol sonuçları birbirinin neredeyse aynısı çıkmaktadır. Ve böylelikle daha az kural tabanı ile biraz daha iyi olan sonucu elde ettiğimiz görülmektedir. Bu sonuçları Şekil 6.7’de daha yakından incelersek önerdiğimiz yöntem biraz salınım yapsa da hiyerarşik yonteme göre biraz daha önce referans noktasına erişmiştir ve bir süre sonra oldukça kararlık bir şekilde kontrolünü sürdürmektedir.



Şekil 6.7 Doğrusal olmayan sistemin kontrol sonuçlarının yakından görünümü (PI türü)

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında bulanık mantık kontrolör ve kayma kipli kontrolör yapılarından bahsedildikten sonra bu iki kontrol yönteminin beraber kullanılmasıyla oluşan bulanık kayma kipli kontrol yöntemi ele alınmış ve bu alanda yapılmış literatür çalışmaları anlatılmıştır. Daha sonra bulanık kayma kipli kontrol yöntemi ile tasarlanmış yapıları iyileştirmek için hiyerarşik bulanık kayma kipli kontrol yöntemi ile literatürde elde edilen kontrol yapısı ele alınmıştır. İki girişli bir bulanık kural tablosu kullanan literatürdeki bu yapının tek girişli bir bulanık kural tablosu kullanılarak da gerçekleştirilebileceği benzetimler yolu ile bu çalışmada gösterilmiştir. Daha sonra doğrusal ve doğrusal olmayan sistemleri kontrol etmek üzere farklı yapılar kullanılarak benzetimler yapılmıştır. Bu çalışmada gerçekleştirilen tek girişli hiyerarşik bulanık kayma kipli kontrol yapısı ile literatürde tasarlanmış olan yöntemlerin performansları bir genetik algoritma optimizasyon yöntemi ile elde edilen tasarım parametreleri aracılığı ile en dürüst şekilde karşılaştırılmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasında tek boyutlu kural tabanına sahip hiyerarşik bulanık kayma kipli kontrolörün hem doğrusal hem doğrusal olmayan sistemlerin kontrolünde iyi sonuçlar verdiği benzetim çalışmaları ile gösterilmiştir. Buna ek olarak ileride tek boyutlu kural tabanına sahip hiyerarşik bulanık kayma kipli kontrol için teorik çıkarımlar elde edilebilir. Farklı kontrolör yapılarının dürüst bir şekilde karşılaştırılabilmesi için tüm kontrolörlere ait tasarım parametreleri bir genetik algoritma optimizasyon yöntemi kullanılarak ayarlanmıştır. Elde edilen geçici zaman yanıtları ve performans seçilen genetik algoritma performans ölçütüne dayanmaktadır. Önem verilen sistem kriterlerine göre farklı performans ölçütleri tasarlanarak değişik sistem yanıtları elde edilebilir.

Bulanık kayma kipli kontrol yapısında en önemli konu kuralların sistemden bağımsız olarak önceden belirlenmiş olmasıdır. Fakat üyelik fonksiyonları performansı olumlu etkileyecek şekilde ayarlanabilir. Bu çalışmada simetrik, düzgün dağılmış, üçgen üyelik fonksiyonları seçilmiştir. Kullanılan genetik algoritma ile optimizasyon tekniğinin üyelik fonksiyonu tasarım parametrelerinin ayarlanması için de kullanılması sağlanarak çok daha iyi performanslar elde edilebilir

Ayrıca, üzerinde durulan yöntemlerde kullanılan kayma yüzeyi parametresi öteleme, döndürme gibi düzenlemeler kullanılarak daha da iyileştirilebilir.

Çalışmalar SIMULINK ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden çalışma süresi oldukça uzun olmuştur. Daha iyi bir bilgisayar ve C++ ve Matlab m-code gibi daha hızlı bir platformda daha çabuk sonuç alınabilir.

KAYNAKLAR

- Abdelhameed, M.M., (2005). “ Enhancement of sliding mode controller by fuzzy logic with application to robotic manipulators”, *Mechatronics*, 15, pp. 439-458.
- Akat S. ve Efe M., (2007). “Bir Manyetik Askı Sisteminin Kontrolünde Dört Yöntemin Karşılaştırılması”, *TOK'07 Bildiriler Kitabı* İstanbul.
- Baba, A., (1995). İTÜ Triga Mark-II Reaktörünün Bulanık Kontrolü, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, s.29-35.
- Bartoszewicz, A. (1995). A Comment on a Time Varying Sliding Surface for Fast and Robust Tracking Control of Second-Order Uncertain Systems, *Automatica*, 31: (12) 1893-1895.
- Bartoszewicz, A. (1997). “A new reaching law for discrete-time variable structure systems”, *Proceedings of the 36th IEEE Conference on Decision and Control*, San Diego, California, USA, s. 4044-4045.
- Beasley, D., Bull, D.R., and Martin, R.R., (1993). An Overview of Genetic Algorithms: Part 2, Research Topics, *University Computing*, Volume 15, Issue 4, s. 170.
- Chang, T.H., and Hürmüzlü, Y. (1993). Sliding Control Without Reaching Phase and Its Application to Bipedal Locomotion, *Journal of Dynamics, Systems, Measurement and Control*, 115: 447-455.
- Chen G., Pham T.T., (2000). “ Introduction To Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems”, *CRC Press*, Florida.
- Chen, L.C., Chang, M.H., (1998). “ Optimal design of fuzzy sliding-mode control : A comparative study”, *Fuzzy Sets and Systems*, 93(1), pp. 37-48.
- Chen. T.C., and Hsu J.U. (1994). A fuzzy sliding mode controller for induction motor position control. *Proceedings of the IEEE Int. Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation*, vol. 1, pp.44-49, Bologna, Italy.
- Choi. B.J., S.W. Kwak, and B.K. Kim (1999). Design of a single-input fuzzy logic controller and its properties. *Fuzzy Sets and Systems*. Vol. 106. Pp.299-308.
- Choi, S. B., Cheong, C. C., Park, D. W., (1993). “Moving switching surfaces for robust control of second order variable structure systems”, *International Journal of Control*, 58(1), pp. 229-245.
- Choi, S.B., Park, D.W., and Jayasuriya, S. (1994). A Time-Varying Sliding Surface for Fast and Robust Tracking Control of Second Order Uncertain Systems, *Automatica*, 30: (5) 899-904.

- Choi, S.B., Kim, J., (1997). A fuzzy-sliding mode controller for robust tracking of robotic manipulators, *Mechatronics*, 7(2), pp. 199-216.
- Chu, V.K., and Tomizuka, M. (1996). "Sliding mode control with nonlinear sliding surfaces", *Proceedings of the 13rd IFAC Triennial World Congress*, San Francisco, USA, s. 481-486.
- Drake, Adrian E., Marks, Robert E., (2000). Genetic algorithms in economics and finance: Forecasting stock market prices and foreign Exchange - *A review, In Shu-Heng Chen (Ed.) Genetic Algorithms and Genetic Programming in Computational Finance*, s. 29-54.
- Edwards, C., Spurgeon, S.K., (1998). Sliding Mode Control : Theory and Applications, *Taylor & Francis Ltd.*, United Kingdom UK, 237 s.
- Efe M.Ö., Kaynak O., and Wilamowski B.M. (2000). Establishment of a sliding mode in a nonlinear system by tuning the parameters of a fuzzy controller. *Proceedings of the IEEE Int. Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 3 746-3761, Nashville, Tennessee, USA.
- Efe M.Ö., Kaynak O., Yu X. and Wilamowski B. M., (2001). "Sliding Mode Control of Nonlinear Systems Using Gaussian Radial Basis Function Neural Networks," *INNS-IEEE Int. Joint Conf. on Neural Networks(IJCNN 2001)*, Washington, DC, U.S.A. July 14 – 19, pp. 474-479.
- Eksin, İ., Güzelkaya M., and Gürleyen F. (2002). A new methodology for deriving the rule base of a fuzzy logic controller with a new internal structure. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 14, i.5, pp.617-682.
- Eksin, İ., Güzelkaya, M., and Tokat S. (2002). Bulanık Kayma Kipli Kontrolörlerde Kayma Yüzeyi Eğiminin Bir Katsayı İle Ayarlanması, *TOK' 2002 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı* 9-11 Eylül.
- Elkan, C. (1993). The Paradoxical Success of Fuzzy Logic. *Department of Computer Science and Engineering*. La Jolla, California 92093-0114.
- Esental H. (2007). "Eğirdir Gölü Su Seviyesi Mevsimsel Değişiminin Bulanık Mantık Metoduyla Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *SDU Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Feldman, Konrad and Treleaven, Philip, (1994). *Intelligent systems in finance, Applied Mathematical Finance*, Vol 1, No. 2, s. 195-207.
- Fırlalı A. ve Engin O. (2002). "Genetik Algoritmalarla Akış Tipi Çizelgelemede Üreme Yöntemi Optimizasyonu", *İTÜ Dergisi*, s. 1-6.
- Fossen, T.I., and Foss, B.A. (1991). "Sliding control of MIMO nonlinear systems", *Proceedings of the European Control Conference*, Grenoble, France, s. 1855-1860.

- Goldberg, D. E., (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, *Addison-Wesley, USA*, s.7.
- Günel, Ü.,(1997). Bulanık Mantık, *Otomasyon dergisi*, No.55,56,s.50-55.
- Güzelkaya, M., Eksin İ., and Tokat S., (2002). Fuzzy self-tuning mechanism for the sliding surface slope in fuzzy sliding mode controllers. *The 8th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment*, 16-18 May, Brasov, Romania.
- Ha, Q.P., Rye, D.C., and Durrant-Whyte, H.F. (1999). Fuzzy Moving Sliding Mode Control with Application to Robotic Manipulators, *Automatica*, 35: 607-616.
- Hacıoğlu, Y., (2005).Bulanık Mantıklı Kayan Kipli Kontrol Tasarımı ve Robot Yörünge Takibinde Uygulanması, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK 2005* İstanbul 17–19 Kasım.
- Hung, J.Y., Gao, W., and Hung, J.C. (1993). Variable Structure Control: a Survey, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 40: (1) 2-22.
- Hwang C.L., F.Y. Sung, and M.H. Wei (1997). Improved fuzzy sliding mode controller for a linear servo motor system. *Control Engineering Practice*, vol.5, no.2, pp.219-227,1997.
- Jabbari, A., Tomizuka, M., and Sakaguchi, T. (1990). “Robust non linear control of positioning systems with stiction”, *Proceedings of the 9th American Control Conference*, San Diego, California, USA, s. 1097-1102.
- Jang J. S. R. (1997). Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach To Learning and Machine Intelligence, Chapter 7: Derivative - Free Optimization, *Prentice-Hall, USA*, s. 173-196.
- Jeong, S., Ham K. Im. W., and Yoo B. (1996). Adaptive sliding mode control based on fuzzy logic systems. *Proceedings of the 5th IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems*, pp.601-607. Vol.1. September 8-11, New Orleans, USA.
- Kahvecioğlu A. ve Kıyak M., (2003). “Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması” *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi* Temmuz 2003 Cilt 1 Sayı 2 (63-72).
- Kaynak, O., ve Armağan G. (1992). Süreç Denetiminde Yeni Bir Yaklaşım Bulanık Mantık. *Otomasyon*, Temmuz-Ağustos s.74-82.
- Kaynak. O., Erbatur K. and Ertuğrul M.(2001).The fusion of computationally intelligent methodologies and sliding mode control - a survey. *IEEE Tran. on Industrial Electronics*, IE-48, pp.4-17.
- Kömür M. ve Altan M., (2005). “Deprem hasarı gören binaların hasar tespitinde bulanık mantık yaklaşımı”, *itüdergisi/D mühendislik* Cilt:4, Sayı:2, 43-52 Nisan.

- Lankhorst, Marc M., (1968). “Genetic algorithms in data analysis”. *Thesis Rijksuniversiteit Groningen. – With index, ref. With summary in Dutch.* ISBN 90-367-0559-2.
- Lee, C., (1990). Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller, part I-II, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol.20, s.404-435.
- Li, H.X., Gatland H.B., and Green A.W. (1997). Fuzzy variable structure control. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, 27(2), pp. 306-312.
- Li, T.H.S., Shieh, M.Y., (2000). “Switching-type fuzzy sliding mode control of a cart-pole system”, *Mechatronics*, 10, pp. 91-109.
- Lin C.H., and Mon Y.J. (2005). Decoupling Control by Hierarchical Fuzzy Sliding - Mode Controller, . *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 13, No. 4, July.
- Lin C.M., and Chin W.L. (2006). Adaptive Hierarchical Fuzzy Sliding-Mode Control for a Class of Coupling Nonlinear Systems, *Int. J. Contemp. Math. Sci.*, Vol. 1,2006 no. 4, 177 – 204.
- Lo, J.C., and, Kuo, Y.H. (1998). Decoupled Fuzzy Sliding Mode Control, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol 6, no. 3, August.
- Mamdani, E.H., (1974). Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant, *IEEE Proceedings*, 121(12), pp. 1585-1588.
- Mamdani E.H., and Assilian S., (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *International Journal of Machine Studies*, 7, 1-13.
- Massad, E., Ortega N.R.S., de Barros L.C., and Struchiner C.J. (2008). Fuzzy Logic in Action: Applications in Epidemiology and Beyond., *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, pp. 59–78.
- Mitchell, M., (1996). An Introduction to Genetic Algorithms, *MIT Pres.* ISBN-10: 0-262-63185-7 ISBN-13: 978-0-262-63185-3.
- Murat Ş., (2006). “Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi”, *İMO Teknik Dergi*, 2006 3903-3916, Yazı 258.
- Palm,R.(1992).“Sliding mode fuzzy control”,in *Proceedings of the IEEE International International Conference on Fuzzy Systems*, San Diego, pp. 519-526.
- Palm. R, Driankov D.,and Hellendoorn H.(1996).Model-Based Fuzzy Control. *Springer* Berlin.

- Qian D., Yi J., Zhao D., and, Hao Y. (2006). Hierarchical Sliding Mode Control for Series Double Inverted Pendulums System, *Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* October 9 - 15, 2006, Beijing, China.
- Pereira Robert , (2000). Genetic Algorithm Optimisation for Finance and Investement, *Latrobe University School of Business Discussion Papers*, s.7.
- Roy, R.G., Olgac, N., (1997). Robust nonlinear control via moving sliding surfaces-n-th order case, *36th Conference on Decision and Control*, December 1997 San Diego, California, USA, pp. 943-948.
- Sarptürk, S.M., Istefanopulos, Y., and Kaynak, O. (1987). On the Stability of Discrete-Time Sliding Mode Control Sytems, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 32: 930-932.
- Shih. M.C., and Lu C.S. (1993). Pneumatic servomotor drive a ball-screw with fuzzy-sliding mode position control. *Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, vol.3, pp.50-54, Touquet, France.
- Shtessel, Y.B. (1995). Nonlinear Output Tracking via Dynamic Sliding Manifolds, *Journal of the Franklin Institute*, 332: (6) 735-746.
- Slotine, J.J.E, and Sastry, S.S. (1983). Tracking Control of Nonlinear Systems Using Sliding Surfaces with Application to Robot Manipulators, *International Journal of Control*, 38: (2) 465-492.
- Slotine, J.J.E. and Li,W.(1991).Applied Nonlinear Control, *Prentice-Hall International Englewood Cliffs*, New Jersey, USA, 461s.
- Song, F., and Smith S.M. (2000). A comparison of sliding mode fuzzy controller and fuzzy sliding mode controller. *Proceedings of the 19th International Conference of the North American Fuzzy Informatiun Processing Society*, pp. 480-484, July 13-15, Atlanta, Georgia, USA.
- Su, C.Y., and Stepanenko, Y. (1994). Adaptive Sliding Mode Control of Robot Manipulators: General Sliding Manifold Case, *Automatica*, 30: (9) 1497-1500.
- Takahashi, R.H.C., Peres, P.L.D., and Barbosa, L.L.S. (1999). A Sliding Mode Controlled Sinusoidal Voltage Source with Ellipsoidal Switching Surface, *IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications*, 46: (6) 714-721.
- Tokat S., Eksin İ., Güzelkaya M., (2003). Fuzzy Sliding Mode Controllers and Sliding Mode Fuzzy Controllers: A Survey, *Proceedings of the Third Triennial ETAI International Conference on Applied Automatic Systems (AAS 2003)*, Ohrid, Macedonia.
- Utkin, V.I., (1977).“Variable structure systems with sliding modes”,*IEEE Transactions on Automatic Control*, 22, pp. 212-222.

- Utkin, V.I. (1978). Sliding Modes and Their Application in Variable Structure Systems, **MIR Publishers**, Moskow, 257 s.
- Utkin, V.I. (1983). Variable Structure Systems, **Automatica**, 9: 5-25.
- Utkin, V.I. (1992). Sliding Modes in Control Optimization. **Springer**, Berlin.
- WEB_1: <http://www2.aku.edu.tr/~icaga/dersler/sisan/bulanikmantik.pdf>
- WEB_2: <http://www.cobanoglu.fws1.com/bulanik.htm>
- Yagiz, N., (2000). “Alternative approaches in sliding mode control theory”, in **Proceedings of the 2nd International Symposium on Mechanical Vibrations**, Islamabad, Pakistan, 25-28 September, pp. 94-103.
- Yannier S. ve Sabanovic A., (2007). “Piezoelektrik Aktüatörler için Analog Kayan Kipli Denetleyici”, **TOK'07 Bildiriler Kitabı**, İstanbul, 5-7 Eylül.
- Yen J., Langari R., Zadeh L., (1995). “Industrial Applications Of Fuzzy Logic And Intelligent Systems”, **IEEE Press**, New York.
- Yeniay Ö. (2001). “An Overview of Genetic Algorithms”, **Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, Cilt: 2, Sayı: 1, s. 37-49.
- Young, D.K., Utkin, V.I., and Özgüner, Ü. (1999). A Control Engineer’s Guide to Sliding Mode Control, **IEEE Transactions on Control System Technology**, 7: (3) 328-342.
- Yu, X., Man Z., and Wu B. (1998). Design of fuzzy sliding mode control systems. **Fuzzy Sets and Systems**, vol.95, pp.295-306.
- Zadeh, L.A., (1965). “Fuzzy sets”, **Information and Control**, 8, pp. 338-353.
- Zadeh, L.A., (1973). “Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes”, **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, Vol. SMC-3, No. 1, pp. 28-44.
- Zadeh, L.A., (1977). Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility. **Fuzzy Sets and Systems 100 Supplement** (1999) 9-34 North Holland.
- Zhang, X., and Man Z. (2000). A new fuzzy sliding mode control scheme. **Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation**, pp.1692-1696, June 28-July 2, Hefei, China.
- Zinober, A.S.I., (1994). Variable Structure and Lyapunov Control, **Springer-Verlag**, London, 401s.

ÖZGEÇMİŞ

Özcan DÜLGER, 1985 yılında Ankara'da doğdu. İlkokulu Antalya Güvenlik İlköğretim okulunda bitirdi. 2003 yılında Antalya Hacı Malike Mehmet Bileydi Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl girdiği Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında bölüm ikincisi olarak mezun oldu. Eylül 2007'de Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği A.B.D.'de tezli yüksek lisans eğitimine başladı. Ekim 2007 tarihinden bu yana TÜBİTAK BİDEB 2228 Yurt İçi Lisansüstü Bursiyeri olarak eğitimine devam etmektedir.