

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

**İNSAN HAREKETLERİNİN TİP-2 BULANIK MANTIK TABANLI
ANALİZ VE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bil. Müh. Semiha MAKİNİST
(101129104)**

Anabilim Dalı: Bilgisayar Mühendisliği

Programı: Yazılım

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 15 Ağustos 2013

EYLÜL-2013

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

**İNSAN HAREKETLERİNİN TİP-2 BULANIK MANTIK TABANLI
ANALİZ VE SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bil. Müh. Semiha MAKİNİST

(101129104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 05.Eylül.2013

Tezin Savunulduğu Tarih: 26.Eylül.2013

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Yakup DEMİR

Prof. Dr. Erhan AKIN

EYLÜL-2013

ÖNSÖZ

Bu tezde tip-2 bulanık sistemlerin, tip-1 bulanık sistemlere göre insan hareket kontrolünde daha iyi sonuçlar verebildiği gösterilmek istenmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde savunulan görüşün doğru olduğu anlaşılmıştır. İnsan hareketleri ile ilgili birçok çalışmalar ve yeni yöntem öneriler yapıldı ve yapılacaktır. Bu tez ile de bu alanda yapılan çalışmalara yeni bir bakış açısı verildi.

Bu tez çalışmamda değerli vaktini bana harcayarak ve gerekli ortamı sağlayarak çalışmamın bitirilmesinde her türlü desteği veren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE' ye çok teşekkür ederim. Ayrıca, tez çalışmam boyunca bana destek olan, maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen aileme de çok teşekkür ederim.

Semiha MAKİNİST
ELAZIĞ - 2013

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	XI
SEMBOLLER LİSTESİ	XII
KISALTMALAR LİSTESİ	XIV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kinematik ve Kinetik Analiz	7
1.2. Biyomekanik Analiz.....	9
1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	12
1.4. Tezin Yapısı.....	14
2. TİP-2 BULANIK MANTIK SİSTEMLER VE ANALİZİ.....	15
2.1. Tip-2 Bulanık Sistemler için Matematiksel İfadeler	21
2.2. Aralıklı Tip-2 Bulanık Sistemler.....	27
2.3. Genel Tip-2 Bulanık Sistemler	33
2.4. Tip-2 Bulanık Sistemlerin Simülasyon ve Analizi.....	39
2.5. Bölüm Değerlendirmesi.....	40
3. TİP-2 BULANIK SİSTEMLER İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI YENİ BİR DURULANDIRMA YÖNTEMİ.....	42
3.1. Giriş	42
3.2. Önerilen Yöntem.....	42
3.2.1. Aralıklı Tip-2 Bulanık Sistemler için Önerilen Yöntem	44
3.2.2. Genel Tip-2 Bulanık Sistemler için Önerilen Yöntem.....	48
3.3. Simülasyon Sonuçları.....	52
3.3.1. Aralıklı Tip-2 Bulanık Sistemler İçin Simülasyon Sonuçları.....	55
3.3.2. Genel Tip-2 Bulanık Sistemler İçin Simülasyon Sonuçları.....	60
3.4. Bölüm Değerlendirmesi.....	63

4. İNSAN HAREKETLERİNİN MODELLENMESİ.....	64
4.1. Giriş	64
4.2. İnsan Hareketlerinde Kullanılan Temel Matematiksel İfadeler	67
4.3. İnsan Modeli ve Analizi	69
4.4. Kaldırma Hareketinin Analizi.....	78
4.5. Halter Hareketinin Analizi.....	81
4.6. Yürüme Hareketinin Analizi.....	86
4.7. Bölüm Değerlendirmesi.....	89
5. TİP-2 BULANIK MANTIK TABANLI İNSAN HAREKET ANALİZİ.....	91
5.1. Giriş	91
5.2. Deneysel Verilerin Elde Edilmesi	91
5.3. İnsan Modeli için Analiz Yaklaşımı.....	93
5.4. Önerilen Yaklaşım.....	95
5.5. Simülasyon Sonuçları.....	100
5.6. Bölüm Değerlendirmesi.....	109
6. SONUÇLAR.....	111
KAYNAKLAR.....	113
ÖZGEÇMİŞ	121

ÖZET

İnsan hareketlerinin yapısal, fiziksel ve matematiksel olarak modelleme çalışmaları özellikle günümüzde geniş çalışma alanı bulmaktadır. Robotik, bilgisayar görmesi ve biyomekanik analiz gibi birçok alanda kullanılabilen bu modellerin oluşturulması, yüksek serbestlik derecesi, büyük veri kümeleri ve karmaşık optimizasyon ve kontrol tekniklerinin gereksinimi nedeniyle zor bir problemidir. İnsan hareketlerinin modellenmesi için literatürde görüntü işleme, yapay zekâ ve akıllı tekniklerin kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır.

Bu tez çalışması, tip-2 bulanık sistemler için görüntü işleme tabanlı bir durulama yönteminin geliştirilmesi ile insan hareketlerinin bulanık mantık tabanlı modellenmesi ve kontrolü olmak üzere iki önemli katkı sunacaktır. Ayrıca, ilgili konularda ayrıntılı bir analiz verilecektir. Tez kapsamında ilk olarak tip-2 bulanık sistemlerin karmaşıklık analizi yapılarak, bu karmaşıklığın azaltılması için yeni bir durulaştırma yöntemi önerilmektedir. Simülasyon çalışmalarıyla doğrulanan yöntem var olan tekniklere göre etkili sonuçlar sunmaktadır. İkinci olarak insan hareketlerinin analizini yapmak üzere kullanılacak iki boyutlu beş segmentli insan modeli verilerek, bu model üzerinden hareketlerin kontrol ve analiz çalışmaları deneysel sonuçlarla doğrulanmaktadır. Temelde bulanık sistemleri kullanan kontrol yaklaşımında, tip-2 bulanık sistemin kullanılması ile elde edilen avantajlar net olarak ortaya konulmaktadır. Yürüme, kaldırma ve halter hareketlerinin modellenmesi, kontrolü ve analizi yapılarak aynı zamanda bu hareketlerin vücut bileşenlerinin kütlesi de dikkate alınarak kuvvet ve moment değişimleri de incelenmiştir. Deneysel verilerin kullanıldığı sonuçlardan da görülebileceği üzere önerilen kontrol bileşeni ve model çatısı basit, sağlam, etkili ve hızlı bir yaklaşım sunmaktadır.

Sonuç olarak tez kapsamında tip-2 bulanık sistemleri için doğruluğu yüksek bir durulaştırma yöntemi ve bulanık sistemleri kullanan insan hareketlerinin modellenmesi ve analizi için bir yaklaşım önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar çeşitli bilimsel yayınlarla pekiştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tip-2 Bulanık Sistemler, KM Algoritması, İnsan Hareketlerinin Modellenmesi, Görüntü İşleme, İnsan Modeli

SUMMARY

Type-2 Fuzzy Logic Based Analysis and Simulation of Human Motions

Especially nowadays, there is a large work area for structural, physical and mathematical modelling studies of human movement. The formation of these models, which can be used in many areas such as robotic, computer vision and biomechanical analysis, is a difficult problem due to a high degree of freedom, large data sets and the requirement of complex optimization and control techniques. Although there are several studies using image processing, artificial intelligence and smart techniques for modelling of human movement in the literature.

This thesis represents two significant contributions such as the development of image processing based defuzzication methods for type-2 fuzzy systems and fuzzy logic-based modelling and control of human movement, and gives a detailed analysis on related issues. In the context of this thesis, first of all, a new defuzzication method is suggested to reduce the complexity by analyzing complexity of type-2 fuzzy systems. The method which is verified by simulation studies produces effective results more than current techniques. Secondly, control and analysis studies through this model are confirmed by experimental results by giving a two-dimensional and five-segment human model to analyze human movement. The advantages obtained by using type-2 fuzzy systems are clearly provided in control approach basically using fuzzy systems. Modelling, control and analysis of walking, lifting and weightlifting movements are done and strength and at the same time, torque modulation are observed by considering the mass of body components. As it can be seen in the results using experimental data; proposed control component and model framework represent simple, solid, effective and quick approach.

As a conclusion, high accuracy defuzzication method for type-2 fuzzy systems and an approach for modelling and analysis of human movement using fuzzy systems are suggested in the context of this thesis, and the results obtained are supported by several scientific publications.

Key Words:Type-2 Fuzzy Systems, KM Algorithm, Modelling of Human Motions, Image Processing, Human Model.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Eadweard Muybridge'nin çektiği periyodik resim.	1
Şekil 1.2. Basit iki bacaklı yürüme ve koşu modelleri (a) Alexander'ın (1976) yürüme modeli, (b,c,d) McGeer'in (1990) yürüme modeli (e) Blickhan (1989) ve McMahon& Cheng (1990) tarafından analiz edilen koşu modeli (f) McGeer'in (1990) koşu modeli	2
Şekil 1.3. Çok parçalı ve 5 parçalı insan modeli	3
Şekil 1.4. Bulanık mantık tabanlı 5 parçalı insan modeli blok diyagramı	4
Şekil 1.5. 3 segmentli sagittal sistemli bulanık mantık tabanlı kontrol sistemi blok diyagramı.....	5
Şekil 1.6. Robot manipülatörler için kayan bulanık model kontrolü	5
Şekil 1.7. Mekanğin ilgi alanları	7
Şekil 1.8. Kapı açma modeli.....	8
Şekil 1.9. Kinetik ve kinematik analiz	9
Şekil 1.10. İnsan bacak modeli (a) Birleşik bacak modeli (b) Ayrıştırılmış bacak modeli .	11
Şekil 1.11. Biyomekanik analiz	12
Şekil 2.1. Bulanık üyelik fonksiyonu (a) Tip-1 bulanık üyelik fonksiyonu (b) Tip-2 bulanık üyelik fonksiyonu.....	15
Şekil 2.2. Bulanık sistem yapısı (a) Tip-1 bulanık sistem yapısı (b) Tip-2 bulanık sistem yapısı	16
Şekil 2.3. Genel tip-2 üyelik fonksiyonu	17
Şekil 2.4. Aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonu.....	17
Şekil 2.5. Geometrik aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonu	18
Şekil 2.6. Geometrik genel tip-2 ikincil üyelik fonksiyonu	19
Şekil 2.7. Geometrik genel tip-2 üyelik fonksiyonu (a) Geometrik genel tip-2 birincil üyelik fonksiyonu (b) Geometrik genel tip-2 ikincil üyelik fonksiyonu.....	19
Şekil 2.8. Örneklendirilmiş tip-2 üyelik fonksiyonu	20
Şekil 2.9. Bulanık ikincil üyelik fonksiyonu (a) Tip-1 bulanık ikincil üyelik fonksiyonu (b) Ayrık tip-2 bulanık ikincil üyelik fonksiyonu (c) Genel tip-2 bulanık ikincil üyelik fonksiyonu.....	23

Şekil 2.10. $x = x' = 3$ giriş değeri için ikincil üyelik fonksiyonu	24
Şekil 2.11. Durulandırma işleminin çalışma yapısı	27
Şekil 2.12. İki boyutlu Aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonu (FOU)	27
Şekil 2.13. Aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonu (a) Aralıklı tip-2 birincil üyelik fonksiyonu (b) Aralıklı tip-2 ikincil üyelik fonksiyonu.....	28
Şekil 2.14. y^l ve y^r R ve L anahtar noktalarının gösterilmesi.....	31
Şekil 2.15. 3D' lu α -düzlem yapısı.....	34
Şekil 2.16. Genel tip-2 üyelik fonksiyonu (a) İki boyutlu genel tip-2 birincil(FOU) üyelik fonksiyonu (b) x_1 giriş değerinin gauss ikincil üyelik fonksiyonu	35
Şekil 2.17. Örnek genel tip-2 üyelik fonksiyonu	36
Şekil 2.18. Örnek tip-2 üyelik fonksiyonu	39
Şekil 3.1. Önerilen algoritmanın blok diyagramı	43
Şekil 3.2. 3D' lu görüntü tabanlı aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonu.....	44
Şekil 3.3. Aralıklı tip-2 bulanık sistem için örnek üyelik fonksiyonu	45
Şekil 3.4. Ateşleme kuralları sonucunda oluşan çıkış üyelik fonksiyonu	45
Şekil 3.5. Çıkış üyelik fonksiyonun siyah/beyaz resim formatına dönüşümü	45
Şekil 3.6. Çıkış üyelik fonksiyonunun görüntü pikseli.....	46
Şekil 3.7. Görüntü pikseli üzerinde ağırlık merkezi hesabı	46
Şekil 3.8. (a) Tip-2 çıkış üyelik fonksiyonu (b) Görüntü matrisi	47
Şekil 3.9. 3D' lu Görüntü tabanlı tip-2 üyelik fonksiyonu	48
Şekil 3.10. (3,5) görüntü pikselinin ikincil üyelik derecesi 0.2 için üyelik fonksiyonu (a) Birincil üyelik fonksiyonu (b) İkincil üyelik fonksiyonu.....	49
Şekil 3.11. (4,5) görüntü pikselinin ikincil üyelik derecesi 0.2 için üyelik fonksiyonu (a) Birincil üyelik fonksiyonu (b) İkincil üyelik fonksiyonu.....	50
Şekil 3.12. Görüntü pikselinin rastgele ikincil üyelik derecesi için üyelik fonksiyonu (a) Birincil üyelik fonksiyonu (b) İkincil üyelik fonksiyonu.....	50
Şekil 3.13. Tip-2 bulanık sistem.....	52
Şekil 3.14. X_1 ve X_2 giriş ve Y çıkış üyelik fonksiyonları.....	52
Şekil 3.15. Ateşleme kurallarla çıkış üyelik fonksiyonu.....	54
Şekil 3.16. Çıkış üyelik fonksiyonun siyah/beyaz resim formatı ve görüntü matrisi	55
Şekil 3.17. KM ve Önerilen yöntemin zamana göre sistem çıkışları	58
Şekil 3.18. KM ve Önerilen yöntemin durulandırma çıkışları (a) $X_1=-0.8$ ve $X_2=0.6$ (b) $X_1=0.95$ ve $X_2=-0.65$ (c) $X_1=0.2$ ve $X_2=0.85$	59

Şekil 3.19. KM ve önerilen yöntemin sistem çıkışları ve işlem maliyetleri a. Çıkış değerleri b. İşlem maliyetleri.....	60
Şekil 4.1. Görüntü sisteminin çalışma prensibi	64
Şekil 4.2. Marker Eşleştirilmesi	65
Şekil 4.3. Basit insan modeli (a) Kas modeli (b) Denetim modeli (c) Mekanik model.....	67
Şekil 4.4. İnsan hareketleri ve şekilleri	70
Şekil 4.5. 17 parçalı insan modeli.....	71
Şekil 4.6. İnsan hareketi analizinde kullanılan modelleme	71
Şekil 4.7. Örnek hareket.....	72
Şekil 4.8. Drillis ve Contini' in vücut segment uzunluk değerleri	75
Şekil 4.9. Örnek hareketin ağırlık merkezinin hesaplanması	77
Şekil 4.10. Kaldırma hareketi evreleri	78
Şekil 4.11. Ağırlıklı insan modeli.....	79
Şekil 4.12. Koparma evreleri.....	83
Şekil 4.13. Silme evreleri	84
Şekil 4.14. Ağırlıklı halter modeli	84
Şekil 4.15. Kuvvet platformu	88
Şekil 4.16. Yürüme evreleri	89
Şekil 5.1. Tasarlanan gerçek çubuk adam modeli	91
Şekil 5.2. İnsan vücudundaki segmentlerin açısal değişimleri.....	93
Şekil 5.3. Omuz açısı kontrol sistemi	94
Şekil 5.4. Segmentli insan modeli	96
Şekil 5.5. Ters dinamik yaklaşımı	96
Şekil 5.6. Önerilen yöntemin çalışma prensibi.....	97
Şekil 5.7. Önerilen yöntemin blok diyagramı	98
Şekil 5.8. Üyelik fonksiyonları.....	99
Şekil 5.9. Kaldırma hareketinin simülasyon sonuçları	101
Şekil 5.10. Kaldırma hareketinin dirsek açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı	101
Şekil 5.11. Halter hareketinin dirsek açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı	103
Şekil 5.12. Halter hareketinin simülasyon sonuçları	103
Şekil 5.13. Yürüme hareketinin simülasyon sonuçları	104
Şekil 5.14. Yürüme hareketinin diz açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı.....	105

Şekil 5.15. Kaldırma hareketi için tip-1, KM ve Önerilen yaklaşımının simülasyonu çıkışı	106
Şekil 5.16.Kaldırma hareketinin dirsek eklem açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı	106
Şekil 5.17.Halter hareketi için tip-1, KM ve Önerilen yaklaşım bulanık kontrolörün sistem çıkışı	107
Şekil 5.18. Halter hareketinin dirsek eklem açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı	108
Şekil 5.19. Yürüme hareketi için tip-1, KM ve Önerilen yaklaşım bulanık kontrolörün sistem çıkışı	108
Şekil 5.20.Yürüme hareketinin diz açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı.....	109

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. KM Algoritması	32
Tablo 2.2. EKM Algoritması.....	32
Tablo 2.3. Tip-2 Bulanık kural tablosu	40
Tablo 3.1. Tip-2 bulanık sistem için kural tablosu	53
Tablo 3.2. Aralıklı tip-2 bulanık sistemin için KM, EKM ve Önerilen yöntem için farklı giriş değerleri için sistem çıkışları	56
Tablo 3.3. Önerilen yöntemin farklı piksel değerleri için sistem çıkış değerleri ve işlem maliyetleri.....	56
Tablo 3.4. KM, EKM ve Önerilen yöntemin farklı nokta değerleri için sistemin işlem maliyeti.....	57
Tablo 3.5. Farklı sistem giriş değerleri için sistem çıkışları ve hesaplama maliyetleri	57
Tablo 3.6. Genel tip-2 bulanık sistemin için KM, EKM ve Önerilen yöntem için farklı giriş değerlerine karşılık çıkış değerleri.....	61
Tablo 3.7. EKM -0.2 ve 0.3 giriş değerleri için sistem cevabı ve işlem maliyeti	61
Tablo 3.8. Önerilen yöntemin farklı piksel değerleri için sistem çıkış değerleri ve işlem maliyetleri.....	62
Tablo 3.9. KM, EKM ve Önerilen yöntemin farklı nokta değerleri için sistemin işlem maliyeti.....	62
Tablo 4.1. İnsan biyomekaniğinde kullanılan temel matematiksel ifadeler.....	67
Tablo 4.2. Antropometrik ölçümler için önemli kadavra çalışmaları.....	74
Tablo 4.3. Clauser'nın belirlediği antropometrik oranlar (Erkekler için)	74
Tablo 4.4. Drillis ve Contini (1966) H uzunluğundaki bir kişinin Segment Uzunluğu/ Vücut Yüksekliği	74
Tablo 5.1. Kaldırma hareketinin açı ölçümü	92
Tablo 5.2. Halter hareketinin açı ölçümü	92
Tablo 5.3. Yürüme hareketinin açı ölçümü	93
Tablo 5.4. Omuz açısı değişim adımları	94
Tablo 5.5. Kural Tablosu.....	99
Tablo 5.6. Tip-1 ve tip-2 bulanık sistemlerin işlem karmaşıklığı	102
Tablo 5.7. Toplam sistem maliyeti	102

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Tip-1 bulanık küme
$\tilde{A}$	: Tip-2 bulanık küme
$\tilde{A}_e^j$	: Gömülü tip-2 bulanık küme
$A_e(\alpha)$	: $\tilde{A}_\alpha$ 'da bulunan gömülü bir tip-1 bulanık küme
O_y	: $\tilde{A}$ için ağırlık merkezi tip indirme kümesi
$u \in J_x$	: $\tilde{A}$ bulanık kümesi için x değerinin birincil üyelik fonksiyonunu
y	: Tip-2 bulanık sistem çıkışı
$\overline{y^n}$	: Üst üyelik fonksiyonu
$\underline{y^n}$	: Alt üyelik fonksiyonu
y^r	: Sağ çıkış
y^l	: Sol çıkış
$\underline{y_i}$	: α_i katmanının alt üyelik fonksiyonu
$\overline{y_i}$	: α_i katmanının üst üyelik fonksiyonu
$y_{\tilde{A}}(x')$	: α katmanlarının çıkışı
$y_r(\tilde{A}_\alpha)$	: α katmanlarının sağ çıkışı
$y_l(\tilde{A}_\alpha)$	: α katmanlarının sol çıkışı
u	: Bulanık birincil üyelik fonksiyonu
$u_{\tilde{A}}(x, u)$	: Tip-2 bulanık üyelik fonksiyonu
$u_A(x)$	: Tip-1 bulanık üyelik fonksiyonu
$x \in X$	: Sistem giriş değerleri
$\mathcal{Jf}$	: Aralıklı tip-1 bulanık sistem gösterimi
$\Sigma\Sigma$	: Genel tip-1 bulanık sistem gösterimi
α	: Açısal ivme ve genel tip-2 bulanık mantık sistemin her bir katmanı (α düzlemleri).
ω	: Açısal hız
$\Delta\theta$	: Açısal yer değiştirme
θ	: Açı
I	: Eylemsizlik momenti
I_T	: Toplam eylemsizlik momenti
L	: Bir çubuğun uzunluğu ve açısal moment

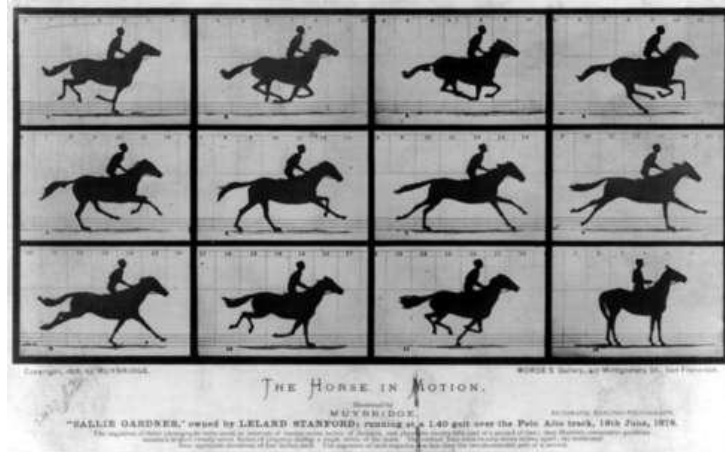
d	: Bir cismin dönme merkezine olan uzaklığı
M	: Moment
F	: Kuvvet
F_E	: Etki kuvvet
F_T	: Tepki kuvvet
W	: İş
P	: Güç
E	: Enerji
E_P	: Potansiyel enerji
E_K	: Kinetik enerji

KISALTMALAR LİSTESİ

AM	: Ağırlık Merkezi
AY	: Ayağa Kalkış Evresi
BAG	: Bar Altına Giriş Evresi
BY	: Barın Yakalanması
EMG	: Eloktrromiyografi
EKM	:Enhanced Karnik Mendel
EKMANI	:Yeni Başlattım ile Enhanced Karnik-Mendel Algoritması
FOU	: Belirsiz Ayak İzi
L	: Sol
KM	: Karnik Mendel
R	: Sağ
rad	: Radyan
s	: Saat
2B	: İki boyutlu
3B	: Üç boyutlu

1. GİRİŞ

Canlı hareketleri ilk kez 19. yüzyılın sonlarında bilimsel olarak incelenmiştir. Bu konuda yapılan en önemli çalışma, Eadweard Muybridge'nin 1877 yılında yaptığı atların yürüme karakteristiklerinin incelenmesidir [1]. Muybridge, çalışmasında, 0.5 saniyelik periyotlarla 12 adet koşan at resmi çekerek atların dörtmala koşarken ayaklarının yerden kesildiğini ispatlamıştır. Hareketli cisimlerin resmini çekmek içinde "phenakistoscope" geliştirerek "zoopraxiscope" aletini yapmıştır. Zoopraxiscope, dönen bir cam diskin üzerindeki resimlerin aydınlatılması prensibiyle çalışan, projeksiyon makinesinin öncüsüdür. Muybridge'nin çektiği resim Şekil 1.1'de verilmiştir.

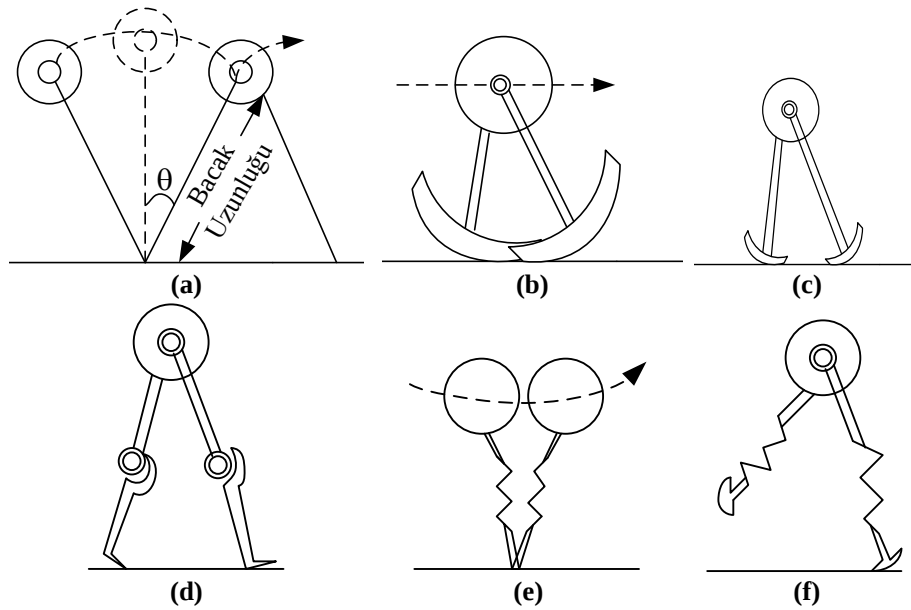


Şekil 1.1. Eadweard Muybridge'nin çektiği periyodik resim [1].

Canlı hareketleri alanında tarih boyunca birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda insan hareketleri; yapısal, fiziksel ve matematiksel modeller kullanılarak açıklanmaya çalışılmıştır. Fakat, vücut parçalarının yüksek serbestlik derecesine sahip olması, olasılık dağılımının karmaşıklığı ve büyük boyutlardaki veri kümeleri, insan hareketlerinin tanımlanmasını zorlaştırmaktadır. Bu zorlukların giderilmesi için insan gibi karmaşık sistemlerin temel yapısına açıklık getirebilen yeni yaklaşımlar önerilmiştir. İlk insan hareketi Margaria [2] tarafından 1976'da modellenmiştir. Bu çalışmada Margaria, insan yürüyüşü için yapısal model kullanmış ve yürüyüşü, yüzey üzerinde hareket eden yumurta hareketi ile temsil etmiştir. İnsan hareketleri modellenirken yapısal modeller dışında fiziksel ve matematiksel modellerde kullanılmıştır [3]. Fiziksel modellemeyi ilk kez Gray [4], kara memelilerinin dengesi, balıkların yüzmesi ve yılanların sürme

hareketinin basit temel prensiplerini açıklamak için kullanmıştır. Fiziksel model, canlılar üzerinde yapılan zor gözlemler için kullanılmaktadır. Bunun yanında fiziksel model kullanılarak yapılan mekanizmanın gerçekten çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için matematiksel model sonuçları da kontrol edilmektedir.

Günümüzde ise insan hareketlerinin açıklanmasında, genellikle matematiksel modeller kullanılmaktadır. Matematiksel modelleme, gerçek hayat problemlerinin matematiksel terimlerle çözümünü bulmayı temsil eden bir yöntemdir. Matematiksel modelleme ile gerçek sistemin davranışı incelenebilmekte ya da sistemden istenen sonuçların alınabilmesi için gereken koşullar belirlenebilmektedir. Matematiksel modeller, yürüme ve koşuya ilişkin çok basit modellerin yanı sıra birçok vücut parçasını içeren daha karmaşık modelleri de içermektedir [2-12]. Literatürde insan yürüyüş modelleri ile ilgili bazı çalışmalar Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Bu modelleme işlemleri özellikle robotların hareketi için kullanılmaktadır.



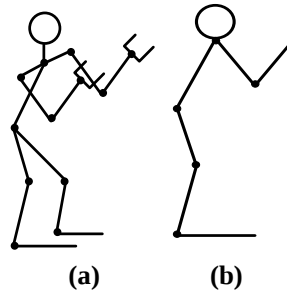
Şekil 1.2. Basit iki bacaklı yürüme ve koşu modelleri (a) Alexander'ın (1976) yürüme modeli, (b,c,d) McGeer'in (1990) yürüme modeli, (e) Blickhan (1989) ve McMahon & Cheng (1990) tarafından analiz edilen koşu modeli (f) McGeer's (1990) koşu modeli [3].

Canlıların fiziksel hareketlerinin modellenmesi birçok bilim adamı için araştırma konusu olmuş ve bu alanda farklı çalışmalar yapılmıştır. En fazla araştırma insan hareketlerinin modellenmesi üzerine yapılmıştır. Özellikle insan hareketlerinin analizi ve modellenmesi konusu; insan hareketinin tanımlanması, biyomekaniksel analiz, performans

analizi, kişi tanımlama, hareket bozuklukların belirlenmesi, bilgisayar grafiklerinde sanal insan canlandırmaları gibi birçok uygulama alanında kullanılmıştır [2-30].

İnsan hareketinin modellenmesi için yapılan çalışmaların birçoğu günlük hayatta ya da farklı spor dallarında en sık kullanılan yürüme, koşma ve kaldırma hareketleri üzerine yapılmıştır. Geliştirilen modeller yardımıyla, görüntülerde yürüyen ya da koşan birini belirleme ve izleme, cinsiyet ayırt etme, heyecan ya da kaygı gibi ruhsal durumları fark edebilme, yorgunluk ya da sakatlıkların neden olduğu değişimleri belirleyebilme ve motor becerilerini etkileyen bazı hastalıkların belirlenmesi gibi birçok alanda yararlı olacak çalışmalar yapılmıştır. Örneğin bir insanın görüntü işleme teknikleri kullanılarak duruş bozukluğunun tespit edilmesi, bir robot koluna yazı yazma, nesneyi kavrama gibi hareketler kazandırarak protez kolların yapılması gibi çok önemli konular üzerine çalışmalar yapılmıştır.

İlk başlarda insan hareketlerinin modellenmesi için basit yöntemler kullanılarak temel mekanik özellikleri açıklanabilirken bu yöntemler, karmaşık hareketlerin tanımlanmasında yetersiz kalmıştır. Karmaşık hareketlerin basit bir şekilde tanımlanması için insan vücudu parçalara bölünmüş ve bu parçalar iki veya üç boyutlu olarak tanımlanmıştır. En sık olarak iki boyutlu 5 parçalı çubuk şekil kullanılarak insan hareketlerinin basit olarak kinetik ve kinematik analizlerin yapılmasına olanak sağlanmıştır [3-9]. şekil 1.3'de çok parçalı ve 5 parçalı insan modelinin gösterimi verilmiştir.

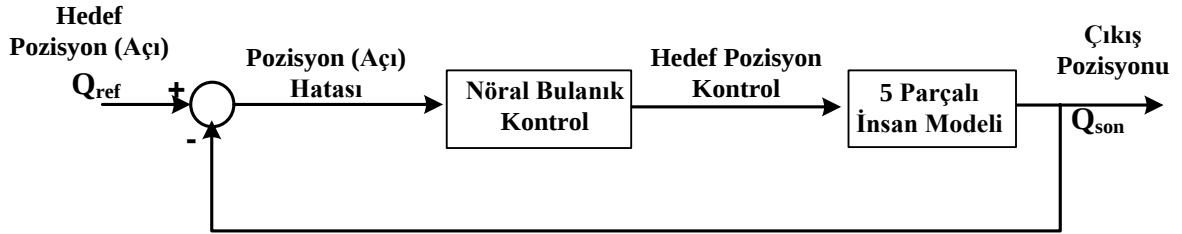


şekil 1.3. Çok parçalı ve 5 parçalı insan modeli [25].

Hubbard ve Trinkle 1985'te yüksek atlamayı modellerken insanı tek bir çubuk ile gösterdi [4]. Yeadon, bu çalışmadan esinlenerek insan vücudunu modellerken daha fazla sayıda çubuk parçalar kullanmıştır [5]. Yeadon modelinde insan hareketini modellemek için, birbirlerine eklemler aracılığı ile bağlanmış on bir parça kullanılmıştır. Hatze'nin batarya kullanarak modellediği insan vücudundan 242 antropometrik ölçüm değerini

kapsayan 17 parça kullanılmıştır [10]. Önerilen yöntemler insan modelini basitleştirmek istese de eklenen her bir parça sisteme yeni bir denklem dizisi eklemek demektir. Buda işlemleri basitleştirmek yerine çözülmesi karmaşık bir denklem sistemini ortaya çıkarmaktadır. Her bir parçanın üç boyutlu ortamda açıklanabilmesi için 6 hareket denklemi (serbestlik derecesi) tanımlanmalıdır. Bu durum ise parça sayısı arttıkça işlem karmaşıklığının artması anlamına gelmektedir. Tanımlanan tüm parçaların denklemlerinin eş zamanlı çözümünün gerekmesi işlem maliyetini ve karmaşıklığını arttırmaktadır. Eklemlerin hareketleri kullanılarak tüm vücudun hareketleri modellenmiştir [11-28]. Johansson [11] 1970’lerde yaptığı bir çalışmada, vücut parçaları üzerine ışıklar yerleştirmiş ve bu noktaları kullanarak insan hareketlerinin gözlenebileceğini ispatlamıştır.

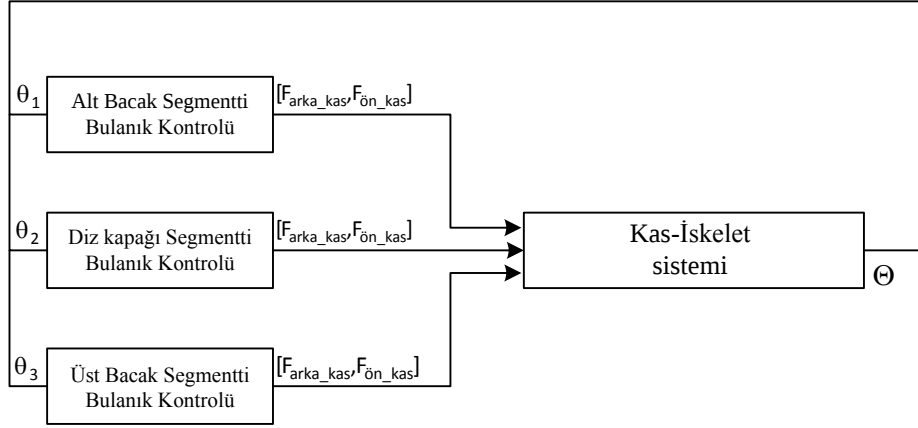
Ayrıca insan hareketleri, bulanık sistem kullanılarak da modellenmiştir. Bu çalışmalardan [29]’de iki boyutlu 5 parçalı insan modeli ile kaldırma hareketi analiz edilmiş olup, bu modelin kontrolü için sinirsel bulanık mantık denetleyici kullanılmıştır. Qu ve Nussabamun’un tasarladığı bulanık mantık tabanlı 5 parçalı insan modelinin blok diyagramı Şekil 1.4’ de verilmiştir.



Şekil 1.4. Bulanık mantık tabanlı 5 parçalı insan modeli blok diyagramı [29].

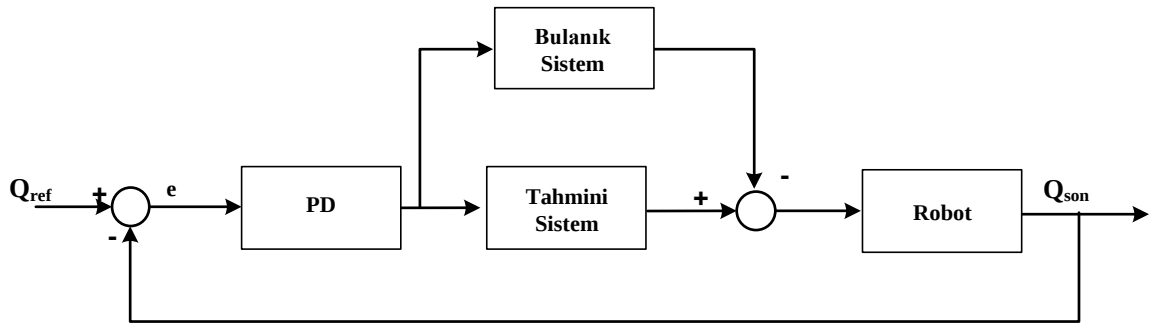
Lin ve arkadaşları, 2 boyutlu 5 parçalı insan modeli için kaldırma hareketini modellemiş ve kişilerin kaldırdığı ağırlığın vücudun eklem ve kaslar üzerindeki etkilerini tahmin etmiştir [30]. Chan görmeye dayalı insan hareketinin tanımlanmasında bulanık mantık yaklaşımı önerilmiştir [31]. [32]’de beş parçalı insan modelinde eklem açılarının kontrolü için bulanık denetleyici kullanılmıştır. Dariush ve Fujimura 2000 yılında bulanık kontrolör kullanarak insanın dengede durma işleminde kasların oluşturduğu moment değerlerini incelemek için bir model oluşturmuştur [36]. Bu çalışmada tasarlanan tip-1 bulanık kontrolör ters sarkaç modeli kullanılarak tasarlanmıştır. Bu yöntem ile her bir segmentin ters sarkaç olduğu varsayılmış ve buna göre tüm segmentlerin (alt bacak, diz ve üst bacak)

modeli oluşturulmuştur. Şekil 1.5'te [36]'da tasarlanan bulanık insan modelinin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 1.5. 3 segmentli sagittal sistemli bulanık mantık tabanlı kontrol sistemi blok diyagramı [36].

Gau ve Woo 2003 yılında robot manipülatörlerinin kontrolü için bulanık tabanlı kayan kontrol modeli tasarlamıştır [37]. Bu modelde bir kayan model kontrolündeki her bir elementin kazanç vektörü için bir girişli ve bir çıkışlı bulanık kontrol kullanılmıştır. Şekil 1.6'da bu sistemin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 1.6. Robot manipülatörler için kayan bulanık model kontrolü [37].

Bu tez çalışması kapsamında da, Şekil 1.4'de verilen blok diyagram gibi insan hareketlerinin sayısal analizi için basit bir tip-2 bulanık kontrolör tanımlanmıştır [33-35]. Fakat bu sistemden farklı olarak bulanık kontrol kısmında tip-2 kullanılmıştır. Ayrıca bu sistemden farklı olarak görüntü tabanlı yeni bir durulandırma yöntemi denenmiştir. Tip-2 bulanık kontrol genel matematiksel kontrolörden çok daha kolay modellenilebildiği için

tercih edilmiştir. Bunun dışında tip-2 bulanık kontrolörler ile insan kontrol sisteminde doğal seçimler yapılabilir. Çünkü bulanık kontrolörler insan aklına ve becerisine paralel olarak kesin olmayan, eksiklikleri ve güvensizlikleri kontrol etmek için iyi bir yöntem olarak gösterilebilir. Önerilen yöntem ve çalışmalar sonucunda tip-2 bulanık sistem kullanan insan hareket modelinin çıkışlarının hem daha yumuşak hem de daha hızlı olduğu gözlenmiştir.

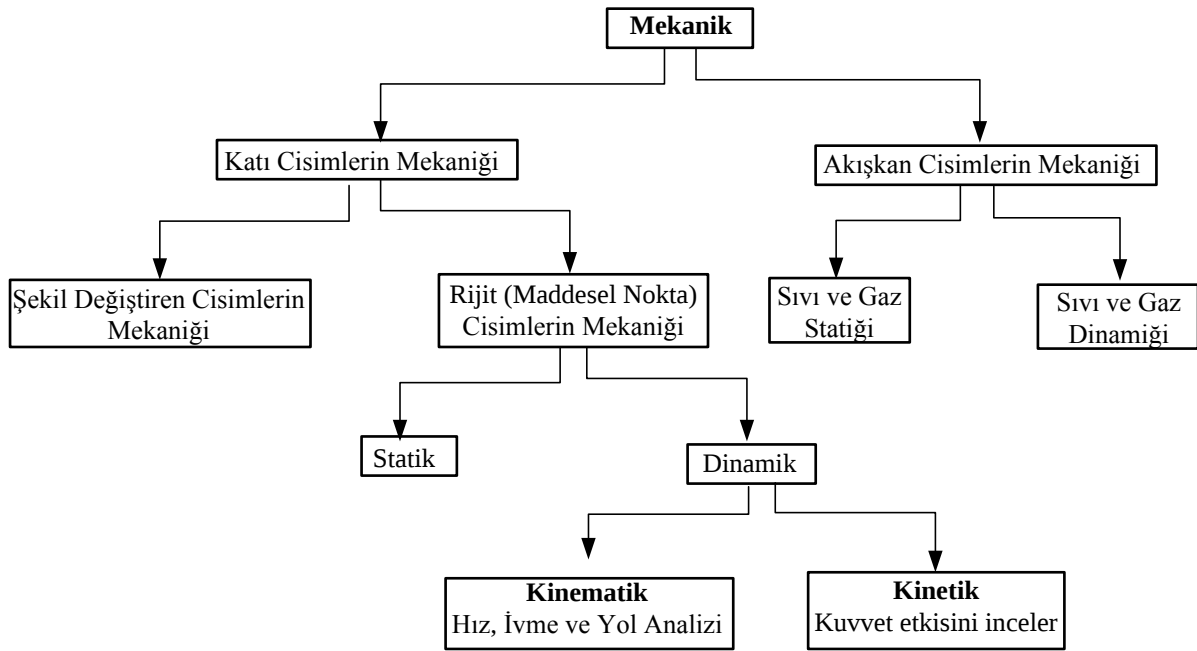
Günümüzde de, insan hareketlerinin modellenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmaların artmasının temel nedeni gerçek dünyada yapılan işlemlerde insan hareketlerinin modellenmesine ihtiyaç duyulmasıdır. Örneğin otomotiv fabrikasında montajlama işlemleri ve kaldırma gibi hareketlerin robot kollarına yaptırılması, güvenlik şirketlerinde güvenlik sistemleri için insan hareketlerinin sınıflandırılarak kişi analizinin yapılması, sağlık firmalarında hastanın duruş analizi yapılarak hastanın duruş bozukluğunun tespit edilmesi gibi birçok alanda insan hareket modelleri kullanılmaktadır. Her bir alanda kullanılan sistem için farklı insan hareketleri analiz edilmekte ve bu analiz sonucunda farklı modelleme teknikleri geliştirilmektedir. Yapılan analizler genellikle insanların günlük hayatta sıklıkla kullandıkları yürüme, koşma, kaldırma, ayakta durma gibi temel hareketleri kapsamaktadır. Tüm bu hareketlerin yapılabilmesi için birçok açısal değişimler meydana gelmektedir. Bu hareketlerin analizinde biyomekanik ve kinematik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Yapılan hareketler sırasında vücuttaki her bir eklemden açısal değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimleri incelemek için biyomekanik bir alt dalı olan açısal kinematik analiz yöntemi kullanılmaktadır. Bu analiz yöntemi farklı alanlarda kullanılarak yeni hareket tekniklerinin gelişmesine veya insan hareketlerinin daha iyi bir şekilde modellenmesine yardımcı olmaktadır. Örneğin sporda bu analiz yöntemi kullanılarak, sporcuların kendilerini geliştirmeleri ve yeni teknikler oluşturulması sağlanmaktadır.

Kişinin geniş alanda hareketini inceleyen bilim dalına *Kinezyoloji* denir [20]. Bu alanda, hareketlerin niteliksel ve niceliksel olarak ölçümleri yapılır ve bu değerler doğrultusunda hareket analiz edilerek farklı laboratuvarlar da geliştirilir. Örneğin spor alanında yapılan hareketler üst ekstremitate hareketlerdir ve bu hareketlerin incelendiği özel laboratuvarlar bulunmaktadır. Bu laboratuvarlarda özel ölçümler yapılmaktadır. Örneğin bir sporcunun topa vurma anının incelenmesi veya bir yerden atlaması gibi özel incelemeler yapılır. Yürüme analizi için *yürüyüş/gait laboratuvarları* bulunmaktadır [20]. Bir yürüyüş laboratuvarında kuvvet platformu, kamera ve EMG olmak zorundadır. Ülkemizde bu alanda

yeni yeni laboratuvarlar kurulmaktadır. Bu laboratuvarlarda elde edilen bilgiler biyomekanik ve kinematik olarak ayrıntılı olarak incelenmektedir.

1.1. Kinetik ve Kinematik Analiz

Kinematik, mekaniğin bir alt dalı olarak, hareketin zamansal-uzaysal özellikleri ile uğraşmaktadır. Mekanik, cisimlerin kuvvetlere nasıl tepki gösterdiği ile ilgilenirken kinematik, uzaklık, hız ve ivmelemeyi lineer (düzgün, doğrusal) ve açısal olarak incelemektedir. Kinematik analiz, hareketin nasıl yapıldığı ile ilgilenmez, sadece hareketlerin çevresel ve zamansal parametreleri ile ilgilenir. Yani kinematik analiz, hareketi oluşturan kuvvetleri dikkate almadan sadece hareketin incelenmesidir. Hareket akışının mekânsal ve zamansal ölçümlerle elde edilen özellikleridir. Şekil 1.7’de mekaniğin alt başlıkları verilmiştir.

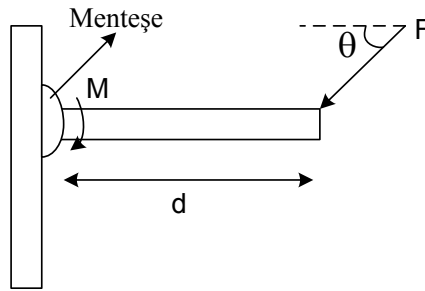


Şekil 1.7. Mekanik'in ilgi alanları

Kinetik analizde ise hareketi meydana getiren kuvvet incelenir. Yapılan harekete iç ve dış kuvvetler etki etmektedir. Dış kuvvetler, yer çekim etkisiyle oluşan kuvvetken iç kuvvetler, kas kontraksiyonları sonucunda oluşan kuvvetlerdir. Kinetik analiz yardımıyla çeşitli hareketlerin fazlarından ortaya çıkan ve vücut üzerine etki eden dış kuvvetlerin

şiddetleri ve yönü ölçülürken, kinematik analiz yardımıyla da eklemlerin konumu ve duruşları belirlenmektedir. Bu iki analiz yöntemi kullanılarak dış kuvvetin farklı eklemler üzerindeki etkileri incelenmektedir. İç kuvvetlerde ise kantitatif (nicel) olarak ölçülecek uygun bir metot bugüne kadar geliştirilememiştir.

Kinetik ve kinematik analizler il bir cisme etki eden kuvvet ve moment çiftinin dinamik olarak incelenmesini olanak vermektedir. Örneğin Şekil 1.8’de verilen bir kapı açma modeli için gerekli kinetik ve kinematik analizler aşağıda anlatıldığı gibidir.



Şekil 1.8. Kapı açma modeli

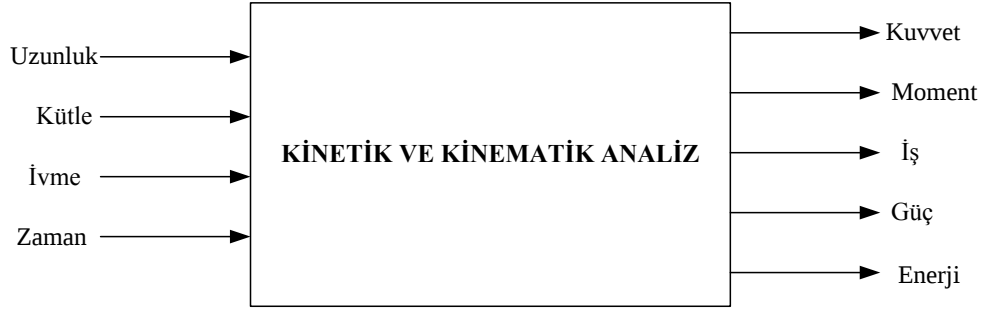
Şekil 1.8’de verilen kapı açma örneğinde ilk olarak açmak için uygulanan kuvvetin büyüklüğü hesaplanır. Daha sonra d uzaklıktaki kuvvetin menteşeye dik olan kuvveti ile menteşe etrafındaki moment hesaplanır. Anlatılan tüm bu olayların denklemsel karşılığı denklem 1.1, 1.2 ve 1.3’de verilmiştir.

$$F = mg \quad (1.1)$$

$$F = m\alpha \quad (1.2)$$

$$M = F * \sin\theta * d \quad (1.3)$$

Şekil 1.9’da kinetik ve kinematik analizin sistem yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Kinetik ve kinematik analiz

1.2. Biyomekanik Analiz

Biyomekanik, mühendislik ile biyoloji, tıp ve fizyoloji bilimlerini bir araya getiren bir bilim dalıdır. Biyomekanik ile klasik mekanik ile biyolojik ve fizyolojik sistemler bir başlık altında toplanılmıştır. Yani mekanik sistemler için kullanılan formül ve teknikler canlıları oluşturan sistemler üzerinde uygulanmasına ve incelenmesine olanak sağlamıştır. Bu alanda yapılan çalışmalarda, mühendislik bilminde kullanılan mekanik yöntemlerle canlıların nasıl hareket ettikleri, hareketlerinin nasıl kontrol edildiği ve hareket sırasında değişik bölümlerde oluşan kuvvet sisteminin etkisi ve bu etkinin canlı ve cansız dokular üzerindeki zorlanma durumları incelenmektedir. Yapılan çalışmalar ve incelemeler sonucunda canlı üzerinde uygulanacak tedavi yöntemleri test edilmekte ve geliştirilmektedir.

Biyomekanik alanında, özellikle son 20 yıl içerisinde, hem akademik hem de endüstriyel alanda büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Akademik olarak mühendislik alanında, nanoteknoloji, bilgisayar, robotik ve ileri malzemeler konularındaki hızlı gelişmeler kaydedilirken, tıp alanında enstrümantasyon ve operasyon yöntemleri bakımından farklı çalışmalar yapılmıştır.

Son zamanlarda biyomekanik alanında yapılan çalışmalar ülkemizde de giderek artmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmaların artması, endüstri alanında tasarlanan ve imal edilen tıbbi cihaz, implant, protez ve benzeri sistemlerin sayının artmasına neden olmuştur.

Biyomekanik'in kısa bir tarihçesi aşağıda verilmiştir [18-20].

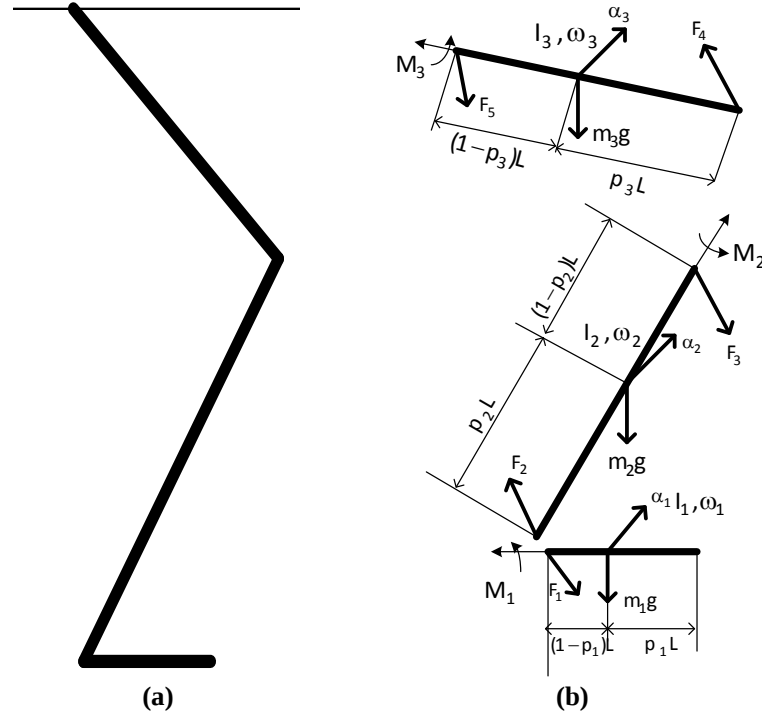
- Aristo (MÖ 384-322) hayvan lokomasyonu
- Leonardo Da Vinci (1452-1519) yürüme, zıplama, ayakta durma, oturma vb. aktivitelerin biyomekanik'i.

- Galileo (1564-1643) fizyolojik işlevlerin matematiksel analizi.
- William Harvey (1578-1657) biyolojik akışkanların (sıvıların) mekaniği.
- Alfonso Borelli (1608-1679) biyolojik katı cisimlerin mekaniği, kas gerilmesi.
- Weber & Weber (1830) kadavralarda insan yürüyüşünün zamanlaması.
- Marey (1873) in-vivo (canlının yaşam ortamında yapılan deneyler yani doğal ortamında) yürüyüş analizi

Günümüzde biyomekaniğin kullanıldığı alanlar aşağıda verilmiştir [18-20].

- Lokomasyon(hareket yeteneği; yürüme, koşma, ...)
- Organlarda kuvvet-hareket ilişkisi
- Yük kaldırma, tırmanma, fırlatma gibi aktivitelerin modellenmesi ve simülasyonu
- İnsan eklemlerinin modellenmesi
- Spor biyomekaniği ve fiziksel performansı
- Kas mekaniği
- Protez, ortez ve implantlar
- Neuro-muscular kontrol
- Tanı ve tedavi için yöntem ve cihazlar
- Kırık (kemik), ruptür (tendon, bağ)
- Hücre çoğalması
- Doku mühendisliği
- Dolaşım sistemi kan akışı
- Akciğerde hava akışı
- Animasyon film ve oyunların yapılması

Örneğin bir bacağın biyomekanik analizi yapılırken eklemlerin 2B veya 3B uzay sistemindeki koordinat değerlerin belirlenmesi, eklemler arasındaki açısal değişimler, eklemleri bir birine bağlayan kaslara uygulanan kuvvetler, eklemlerin dönmesini sağlayan moment değerlerinin hesaplanması gibi birçok kinetik ve kinematik yapıların incelenmesi kapsamaktadır. Şekil 1.10'da bir bacağın biyomekanik yapısı verilmiştir.



Şekil 1.10. İnsan bacak modeli (a) Birleşik bacak modeli (b) Ayrıştırılmış bacak modeli

Şekil 1.10’da verilen örnek insan bacak modelinin biyomekanik analizinin yapılırken aşağıda verilen denklem sistemleri kullanılmaktadır [21, 22]. Aşağıda verilen denklemler belirtilen kaynaklardan alınmıştır.

Ayağın yere tepki kuvveti;

$$F_{0_x} = 0 \quad (1.4)$$

$$F_{0_y} = m_1 g \quad (1.5)$$

Ayak bileğine uygulanan tepki kuvveti;

$$F_{1_x} = F_{2_x} - m_2 \alpha_{2_x} \quad (1.6)$$

$$F_{1_y} = F_{2_y} + m_2 \alpha_{2_y} + m_2 g \quad (1.7)$$

Dize uygulanan tepki kuvveti;

$$F_{2_x} = F_{3_x} - m_3 \alpha_{3_x} \quad (1.8)$$

$$F_{2_y} = F_{3_y} + m_3 \alpha_{3_y} + m_3 g \quad (1.9)$$

Kalçaya uygulanan tepki kuvveti;

$$F_{3_x} = F_{4_x} - m_4 a_{4_x} \quad (1.10)$$

$$F_{3_y} = F_{4_y} + m_4 a_{2_y} + m_4 g \quad (1.11)$$

Ayağın uyguladığı moment;

$$M_{1_y} = F_{1_y} d_1 \quad (1.12)$$

Dize uygulanan moment;

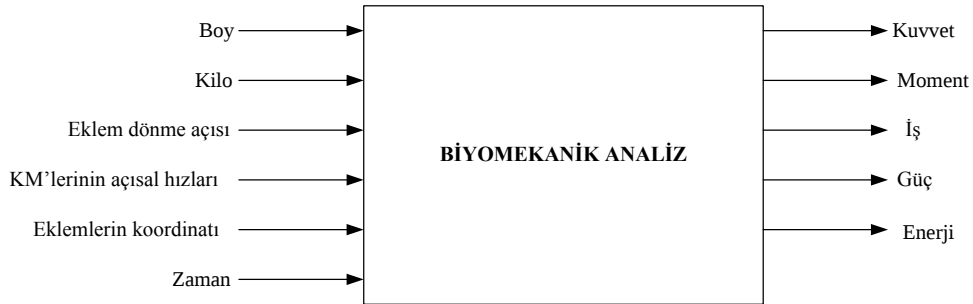
$$M_{2_y} = F_{2_y} d_2 \quad (1.13)$$

Kalçaya uygulanan moment;

$$M_{3_y} = F_{3_y} d_3 \quad (1.14)$$

Yukarda verilen örnek incelendiğinde biyomekanik analiz hem kinetik hem de kinematik analizleri kapsadı görülmektedir.

Biyomekanik analizin sistem yapısı şekil 1.11’de verdiği gibidir.



Şekil 1.11. Biyomekanik analiz

1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu yüksek lisans tezinin amacı, tip-2 bulanık sistemler kullanılarak basit insan hareket modellerinin analiz edilmesi ve simülasyonunun gerçekleştirilmesidir. İnsan hareketi modellenirken bulanık sistemin kullanma nedeni ise insanın çok karmaşık ve belirsiz bir model olması ve belirsizliklerin en iyi bulanık sistemler ile modellenenebilmesi olarak gösterilebilir. Bulanık mantık sistemleri içerisinde tip-2 bulanık sistem kullanılmıştır. Çünkü tip-2 bulanık sistem tip-1 bulanık mantık sisteme göre belirsizlikleri daha iyi

modellemekte ve tip-3, tip-4, ..., tip- ∞ gibi diğer bulanık mantık sistemlere göre daha basit bir yapıya sahiptir. Bu amaç doğrultusunda hedeflenen katkılar aşağıda verilmiştir.

- *İnsan hareketlerinin analizi*; beş segmentli (parçalı) insan modeli için basit olarak eklem açıları kullanılarak farklı insan hareketleri yapılmıştır.
- *İnsan hareketindeki kararsızlıklar ve belirsizliklerin tam olarak modellenmesi*; insan hareketlerinde oluşan kararsızlıklar ve belirsizlikleri ortadan kaldırmak için tip-2 bulanık mantık sistemi kullanılmıştır.
- *İnsan hareketleri modellenirken yer çekim kuvveti, uygulama kuvveti gibi etkilerde göz önüne alınarak incelemelerin yapılması*; insan hareket ederken her bir eklem üzerinde sürtünme ve etki-tepki kuvvetleri oluşmaktadır. Bu kuvvetler doğrultusunda yapılan hareketlerin hızında farklılıklar gözlenebilmektedir. Bu etkilerin daha iyi analiz edilebilmesi için biyomekanik ve kinematik analizlerin kullanıldığı inceleme çalışmaları yapılmıştır.
- *Tip-2 bulanık sistemin geliştirilmesi ve uygulanması*; farklı tip indirgeme ve durulandırma yöntemleri kullanılarak farklı insan modellerinin analiz edilmesini sağlamak için bulanık kontrolörün tasarlanmasıdır.

Bu tezde yapılan çalışmalar bazı konferans ve dergilerde yayınlanmıştır. Bu çalışmalar aşağıda verilmiştir.

1. Karaköse, M. ve Makinist, S., Tip-2 Bulanık Sistemlerde Tip İndirgeme Yaklaşımı, Türkiye Otomatik Kontrol TOK 2011, İzmir, 2011.
2. Karaköse, M. ve Makinist, S., İnsan Kaldırma Hareketinin Analizi İçin Tip-2 Bulanık Sistem Yaklaşımı, Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilişim Ve Mühendisliği Dergisi, sayı no. 7, s. 11-22, 2013.
3. Karaköse, M. ve Makinist, S., Image Processing Based Defuzzification Method For Type-2 Fuzzy Systems, 9th IEEE Asia Control Conferance ASCC 2013 Turkey/ Istanbul, 2013.

Yapılan çalışmalar ile insan hareket modeli için yeni yöntemler önerilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda asıl amaç farklı insan modellerinin basit bir şekilde oluşturulabilmesidir. Bu çalışmalar doğrultusunda bu tezde tip-2 bulanık mantık sistemler kullanılarak farklı insan

modelleri oluşturulmuş ve bu modellerin işlem performansları kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında önerilen yöntemlerin gerçek sistemler üzerinde başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalarla tip-2 bulanık mantık sistemler için daha basit bir tip indirgeme ve durulandırma yöntemi önerilmiş ve yöntemin doğruluğunu ispatlamak için gerekli simülasyonlar yapılmıştır.

1.4. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması 6 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm olan giriş bölümünde insan hareketleri ve tarihsel gelişimleri hakkında genel bilgiler, tezin amacı, kapsamı, sunduğu katkılar ve yapılan konferans ve dergi çalışmaları yer almaktadır.

Bölüm 2’ de tip-2 bulanık mantık sistemler ile ilgili genel bilgiler, aralıklı ve genel tip-2 bulanık sistemlerin için kullanılan farklı tip indirgeme ve durulandırma algoritmaları ile ilgili analizler ve bu algoritmalar ile ilgili örnek uygulamalar yer almaktadır.

Bölüm 3’de ise bu tez çalışması kapsamında tip-2 bulanık sistemlerin durulandırma aşaması için önerilen yeni yaklaşım anlatılmıştır. Bu yöntemin adı, “Görüntü işleme tabanlı durulandırma yöntemi” dir. Bu yöntemin avantaj ve dezavantajları, aralıklı ve genel tip-2 bulanık sistemde uygulama aşamaları ve örnek uygulamaları bu bölümde detaylıca yer almaktadır.

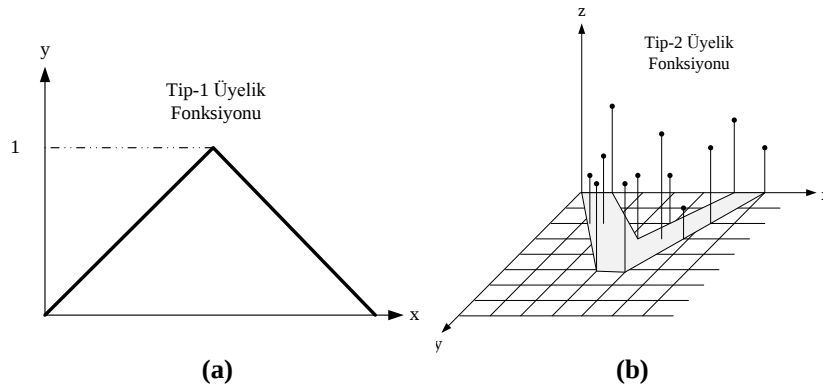
Bölüm 4’ de insan hareketlerinin bilgisayar ortamında nasıl modellendiği ve modelleme türleri hakkında ayrıntılı bilgiler yer almaktadır. Örneğin 2B ve 3B’lu insan hareket modelleri arasındaki farklar, avantaj ve dezavantajları verilmiştir. Yürüme, halter ve kaldırma hareketi analizlerinin yapılabilmesi için gerekli matematiksel ifadeler ve denklemler ayrıntılı bir şekilde bu bölümde yer almaktadır.

Bölüm 5’ te ise tip-2 bulanık kontrolör kullanılarak oluşturulan insan hareket modeli ile ilgili analiz ve simülasyon sonuçları bu bölümde yer almaktadır. Yapılan çalışmalar farklı kontrolörler kullanılarak karşılaştırmalı sonuçları da bu bölümde yer almıştır.

Son bölümde ise bu tezde yapılan tüm çalışmaların değerlendirmesi ve diğer çalışmalar ile ilgili genel değerlendirmeler yer almaktadır.

2. TİP-2 BULANIK MANTIK SİSTEMLER VE ANALİZİ

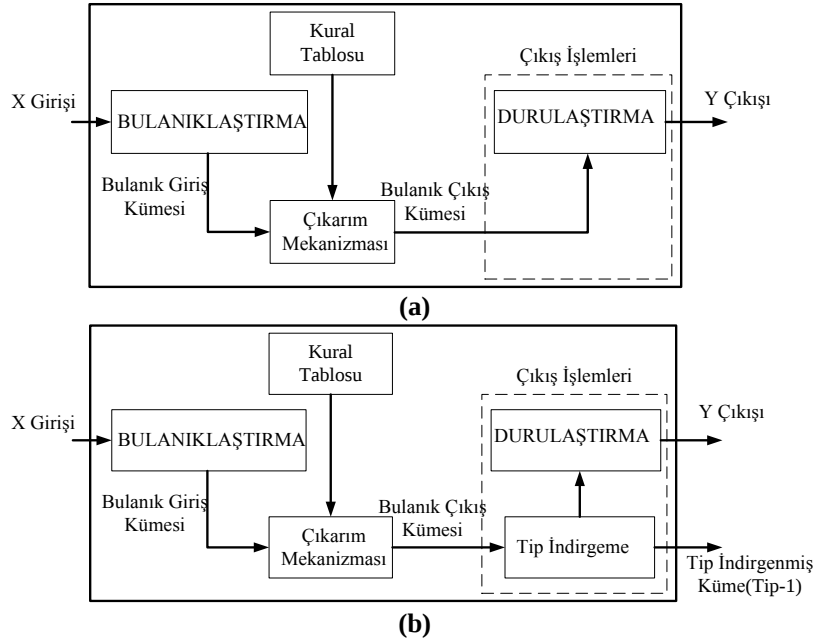
Tip-2 bulanık sistemler, günümüze kadar birçok alanda araştırma konusu olmuştur [38-41]. Bu çalışmalar en fazla mühendislik problemleri alanında yapılmıştır. Nedeni ise bu problemlerin dinamik belirsizliklere sahip olması ve bu belirsizliklerin ortadan kaldırılması için daha iyi sonuçlar vermesidir. Bu konu ile ilgili ilk araştırma Zadeh tarafından 1975 yılında yapılmış [42] ve daha sonra diğer bilim adamları, bu kavramı kullanarak farklı sistem tasarımları yapmışlardır. Zadeh, bulanık kavramlarla ilgili ilk çalışmasını tip-1 bulanık mantık üzerine gerçekleştirmiştir [43, 44]. Fakat tip-1 bulanık sistem modelinin kullanıldığı sistemlerde üyelik fonksiyonlarındaki belirsizliklerin tam olarak modellenememesinden dolayı belirsizlikleri kaldırmak için farklı araştırmalar yapılmıştır. Bu duruma bağlı olarak Zadeh ikinci büyük çalışması ile tip-2 bulanık sistem modelini geliştirmiştir. Bu yeni kavramın gelişmesi ile belirsizlikler daha iyi modellenmiş fakat bu kez de işlem karmaşası sorunu oluşmuştur. İşlem karmaşası yaşanmasının nedeni tip-1 bulanık mantıkta üyelik fonksiyonları iki boyutlu iken tip-2 bulanık mantıkta üyelik fonksiyonlarının üç boyutlu olmasıdır. Şekil 2.1.(a)-(b)'de tip-1 ve tip-2 üyelik fonksiyonları gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Bulanık üyelik fonksiyonu (a)Tip-1 bulanık üyelik fonksiyonu (b) Tip-2 bulanık üyelik fonksiyonu

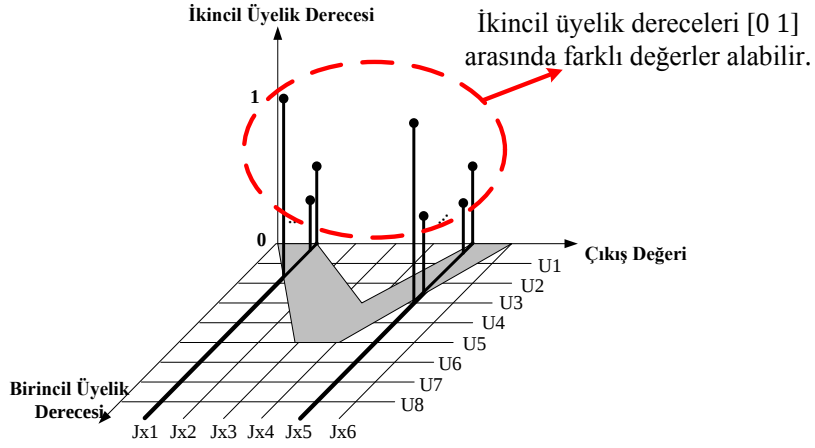
Tip-2 üyelik fonksiyonunun üçüncü boyuttan dolayı oluşan işlem karmaşasını basitleştirebilmek için literatürde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan bir kısmı üyelik fonksiyonlarının tanımlaması ile ilgili iken [47-52] bir kısmı da tip indirgeme işlemleri ile ilgili çalışmalardır. Tip-2 bulanık sistemlerde uygulanan tip indirgeme işlemi,

çıkışta elde edilen üç boyutlu üyelik fonksiyonlarının, iki boyutlu tip-1 üyelik fonksiyonuna indirgenmesi ve durulandırma işlemlerinin tip-1 üyelik fonksiyonları üzerinden basit olarak yapılmasını sağlamaktır. Tip indirgeme işlemi tip-1 bulanık sistemler de bulunmamaktadır. Tip-1 ve tip-2 bulanık sistem yapısı Şekil 2.2.(a)-(b)'de verildiği gibidir.



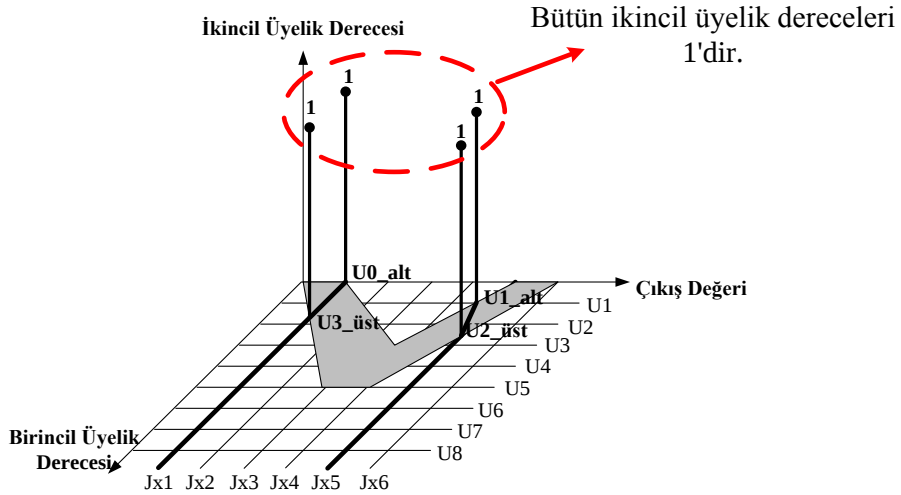
Şekil 2.2. Bulanık sistem yapısı (a) Tip-1 bulanık sistem yapısı (b) Tip-2 bulanık sistem yapısı

Tip-2 bulanık sistem modellemesi için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler genel ve aralıklı tip-2 bulanık sistemlerdir. Genel tip-2 bulanık sistemlerde bir x giriş değerinin birincil üyelik derecesine karşılık gelen ikincil üyelik derecesi $[0, 1]$ aralığındadır. Bu yöntemde sistem modellenirken üçüncü boyutunda etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle bu yöntem kullanılarak yapılan sistem modellerinde işlem karmaşası daha fazladır. Şekil 2.3'te genel tip-2 üyelik fonksiyonun üç boyutlu gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.3. Genel tip-2 üyelik fonksiyonu

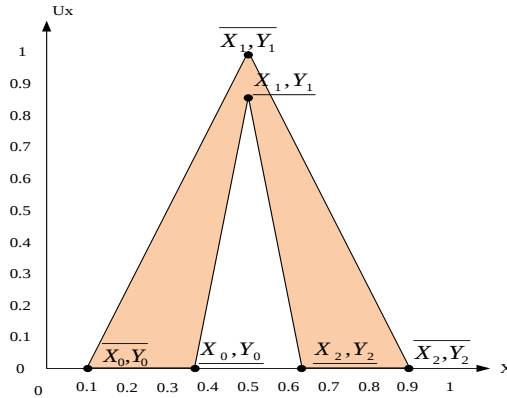
Şekil 2.3'te görüldüğü gibi genel tip-2 üyelik fonksiyonların ikincil üyelik derecesi $[0, 1]$ aralığında değişmektedir. Şekil 2.3'te gösterilen örnek üyelik fonksiyonunda x_1 çıkış değerinin U_0 ve U_2 aralığındaki J_{x1} birincil üyelik dereceleri ile $[0, 1]$ aralığında ikincil üyelik dereceleri bulunmaktadır. Aralıklı tip-2 bulanık sistemlerde üçüncü boyutun etkisini yok etmek ve işlemleri daha da basitleştirmek için ikincil üyelik derecelerinin hepsi 1 olarak kabul edilir ve işlemler çıkış değerinin kestiği alt ve üst üyelik değerleri üzerinden yapılır [41]. Bu nedenle aralıklı olarak isimlendirilmiştir. Şekil 2.4'de aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonun yapısı verilmiştir.



Şekil 2.4. Aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonu

Şekil 2.4’de gösterilen x_1 giriş değeri yani J_{x1} , birincil üyelik derecelerini $U_{3_üst}$ ve U_{0_alt} keser iken x_5 giriş değeri (J_{x5}), birincil üyelik derecelerini $U_{2_üst}$ ve U_{1_alt} kesmiştir. Bu iki giriş değerinin ikincil üyelik derecesi ise 1’dir. Yapılan bu iyileştirme ile de işlem karmaşasına tam olarak çözüm bulunamamıştır.

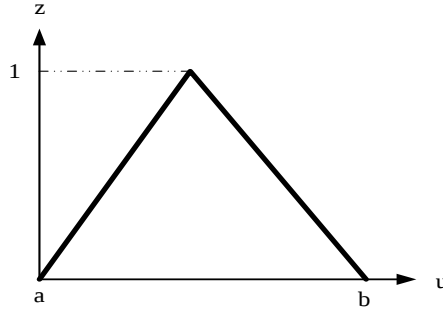
Geliştirilen tip-2 bulanık sistem modelleri ile işlem karmaşası giderilemeyince sistem modelleri üzerinde farklı yöntemler geliştirilmiştir. Önerilen yöntemler genellikle tip indirgeme aşamasının basitleştirilmesi ile ilgilidir. Çünkü işlem karmaşıklığı tip indirgeme aşamasında oluşmaktadır. Tip indirgeme aşamasının basitleştirilmesi için literatürde birçok algoritma geliştirilmiş ve önerilmiştir. En önemli çalışma Karnik ve Mendel tarafından aralıklı ve genel tip-2 bulanık sistemler için geliştirilen KM algoritmasıdır [49]. Bu algoritma yinelemeli bir yapıya sahiptir ve bu yineleme bazı sistemlerin zaman maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Bu maliyeti azaltmak için Mendel ve Wu tarafından EKM algoritmasını geliştirilmiştir [47-48]. Bu algoritma ile KM algoritmasında oluşan gereksiz yinelemeler ortadan kaldırılmıştır ve formüller yeniden düzenlenmiştir. Coupland ve John [52], aralıklı tip-2 bulanık kümeler için geometrik tabanlı durulandırma yöntemini önermiştir. Geometrik tip indirgeme yönteminde alan hesabı kullanılmaktadır. Geometrik aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonu Şekil 2.5’te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Geometrik aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonu [52].

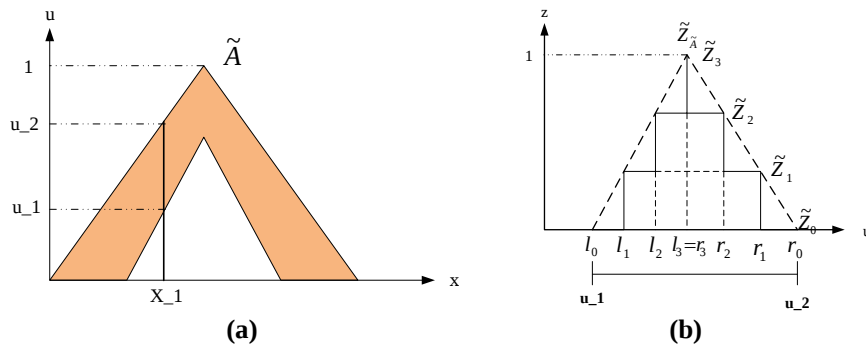
Şekil 2.5’de $(\bar{x}_0, \bar{y}_0)$, (x_0, y_0) , $(\bar{x}_1, \bar{y}_1)$, (x_1, y_1) , $(\bar{x}_2, \bar{y}_2)$ ve (x_2, y_2) noktaları kullanılarak alan hesabı yapılmaktadır ve hesaplanan alanın ağırlık merkezi sistem çıkışı olarak verilmektedir. Wagner [53], genel tip-2 bulanık sistemler için geometrik tabanlı tip indirgeme yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntem Coupland’ın yaptığı çalışmayı genel tip-2 bulanık sistemlerde kullanmıştır. Wangar’ın yaptığı çalışmada ikincil üyelik fonksiyonu,

$[0, 1]$ arasında değişen ikizkenar üçgendir. Geometrik genel tip-2 ikincil üyelik fonksiyonu Şekil 2.6'da [53] verilmiştir.



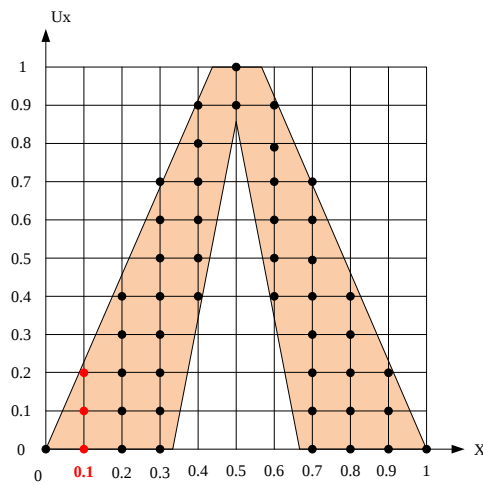
Şekil 2.6. Geometrik genel tip-2 ikincil-üyelik fonksiyonu [53].

Geleneksel genel tip-2 bulanık kümede üçüncü boyuttan dolayı karmaşıklık artmaktadır bu yöntem ile karmaşıklığı gidermek için geleneksel matematiksel gösterim (ikizkenar üçgenin özellikleri) kullanılmıştır. Böylece ikincil üyelik fonksiyonu $[0, 1]$ arasında rastgele olarak belirlenmemektedir ve ikizkenar üçgen kurallarına göre ikincil üyelik derecesi $[0, 1]$ arasında değişmektedir. İkincil üyelik fonksiyonunun örnek gösterimi Şekil 2.7'de [53] verilmiştir. Şekil 2.7.a'da genel tip-2 bulanık kümesi olan $\tilde{A}$ 'nın iki boyutlu gösterimi verilmişken Şekil 2.7.b'de ise z-dilim tabanlı tip-2 bulanık kümesi (ikincil üyelik fonksiyonu) gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Geometrik genel tip-2 üyelik fonksiyonu (a) Geometrik genel tip-2 birincil üyelik fonksiyonu (b) Geometrik genel tip-2 ikincil üyelik fonksiyonu [53]

Lucas ve arkadaşları [54], FOU'ya alternatif bir yöntemi genel tip-2 bulanık sistemler için geliştirmişlerdir. Önerdikleri yöntemle iki boyutlu çıkış üyelik fonksiyonunu ölçeklendirme yöntemi ile görsel veriye dönüştürmüş ve bu veri üzerinde geometrik durulandırma işleminin uygulanması sağlamışlardır. Ulu [55], tip-1 bulanık mantık denetleyicilerinin durulandırma işlemlerinde sistem belirsizliğini tam olarak kaldırmadığı için, aralıklı tip-2 bulanık mantık denetleyiciler kullanarak çıkıştaki hata ve hata denetleyicilerin belirsizliği azaltmak amacıyla, sağ ve sol uç noktaların doğrusal kombinasyonları için tip indirgeme işlemi kullanarak yeni bir durulandırma yöntemi önermiştir. Wu ve Mendel [56] tarafından yapılan araştırma ise Karnik ve Mendelin ağırlık merkezi için geliştirilen yöntemde oluşan önem düzeyinin belirlenmesi, belirsizlik, fark ve çarpıklıkların giderilmesi için önerilmiş bir yöntemdir. Greenfield ve arkadaşları [57], genel tip-2 bulanık kümeler için gerçek zamanla uyumlu olan daha hızlı bir durulandırma işleminin yapılabilmesi amacıyla gömülü sistemler örneklendirilmiş ve rastgele örnekler seçilerek işlemlerin bu görüntüler üzerinden yapılması sağlanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar deneyseldir. Linda [58], yaptığı çalışmada Greenfield ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya benzer şekilde genel tip-2 bulanık sistemlerde olasılıksal dağılım fonksiyonunu kullanarak, rastgele örnekleme yapmış ve daha hızlı bir durulandırma yöntemi önermiştir. Örneklendirme işlemi kullanılarak sistemin çıkış üyelik fonksiyonundaki veriler ayrıklaştırılmış ve sonlu sayıda bir veri kümesi elde edilmiştir. Durulandırma aşamasında elde edilen bu veri kümesindeki noktasal değerler üzerinde işlemler yapılmaktadır. Şekil 2.8'de bir örnekleme verilmiştir.



Şekil 2.8. Örneklendirilmiş tip-2 üyelik fonksiyonu [58].

Şekil 2.8’de gösterilen örneklendirilmiş tip-2 üyelik fonksiyonuna göre 0.1 çıkış değerinin üyelik fonksiyonunu kestiği birincil ve ikincil (aralıklı tip-2 bulanık sistem için 1 kabul edilir) üyelik dereceleri kullanılarak durulandırma işlemi yapılmaktadır.

Yapılacak bu çalışmada örneklendirme üyelik fonksiyonu referans alınarak çıkış üyelik fonksiyonu resim formatına dönüştürülmüş ve pikseller üzerinden durulandırma işlemi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Önerilen bu yöntem, hem genel hem de aralıklı tip-2 bulanık sistemlerin tip indirgeme aşamasında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu sayede tip indirgeme aşamasındaki işlem karmaşıklığının minimum ya da tamamen ortadan kaldırılarak gerçek zamanlı sistemlerde de uygulanabilir hale gelmesi amaçlanmaktadır. Önerilen yöntemin diğer yöntemlere göre avantajları ve dezavantajları şunlardır:

Avantajları;

- Tip indirgeme aşamasındaki ağır matematiksel işlemlerin basitleştirilmesi,
- Gerçek zamanlı sistemler için uygulanabilir olması,

Dezavantajı;

- Bazı durumlarda çıkış üyelik fonksiyonu resim formatına dönüştürülürken çıkış üzerinde etkisi olmayan üyelik fonksiyon grafik çizgilerinin işlemler üzerindeki olumsuz etkisi.

Bu tez çalışmasındaki diğer alt başlıklar özetlenirse; ikinci bölümde tip-2 bulanık sistemler hakkında genel bir bakış anlatılacak, üçüncü bölümde önerilen yöntem hakkında bilgiler yer bulunmakta, dördüncü bölümde önerilen yöntem ve diğer yöntemler ile hız maliyeti üzerinde karşılaştırmalar yer alacak ve en son bölümde de sonuç kısmı yer almaktadır.

2.1. Tip-2 Bulanık Sistemler için Matematiksel İfadeler

Tip-2 bulanık sistem, gerçekte tip-1 bulanık sistemin bir uzantısı yani devamıdır. Zadeh’in [42-44] tanımlamasına göre $x \in X$ ve $u \in [0,1]$ değerleri için tip-1 bulanık küme A ve üyelik fonksiyonu $u_A(x)$ olarak gösterilirken $x \in X$ ve $u \in J_x \subseteq [0,1]$ değerlerine göre tip-2 bulanık kümeler $\tilde{A}$ ve üyelik fonksiyonu $u_{\tilde{A}}(x, u)$ olarak gösterilmiştir. Denklem 2.1’de tip-2 bulanık kümenin matematiksel gösterimi verilmiştir [46-51]. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaklardan alınmıştır.

$$\tilde{A} = \{((x, u), u_{\tilde{A}}(x, u)) | \forall x \in X, u \in J_x \subseteq [0,1]\} \quad 0 \leq u_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1 \quad (2.1)$$

$\tilde{A}$ tip-2 bulanık kümenin matematiksel olarak diğer bir ifade şekli Denklem 2.2’de verildiği gibidir [46-51]. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaklardan alınmıştır.

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \frac{u_{\tilde{A}}(x, u)}{(x, u)} J_x \subseteq [0,1] \quad (2.2)$$

Denklemlerde gösterilen $\int$, aralıklı tip-1 bulanık sistemlerde kullanılırken, $\sum$ genel tip-1 bulanık sistemler için kullanılmaktadır. Denklemde gösterilen J_x , $\tilde{A}$ bulanık kümesi için x değerinin birincil üyelik fonksiyonunu göstermektedir. İkincil üyelik fonksiyonu $\tilde{A}$ ’nın dikey kesitine eşittir ve ikincil üyelik fonksiyonu matematiksel olarak $x \in X$ ve $\forall u \in J_x \subseteq [0,1]$ değeri için $u_{\tilde{A}}(x = x', u)$ şeklinde ifade edilmektedir. İkincil üyelik fonksiyonunun açık matematiksel gösterimi denklem 2.3’de verilmiştir [46-51]. Aşağıda verilen denklemler belirtilen kaynaklardan alınmıştır.

$$u_{\tilde{A}}(x', u) \equiv u_{\tilde{A}}(x') = \int_{u \in J_{x'}} \frac{f_{x'}(u)}{u} J_{x'} \subseteq [0,1] \quad 0 \leq f_{x'}(u) \leq 1 \quad (2.3)$$

$x \in X$ için $u_{\tilde{A}}(x')$ tip-1 bulanık küme olarak düşürülürse ikincil üyelik fonksiyonlarının tamamı tip-1 bulanık kümeyle gösterilecektir [46-51]. $x \in X$ için ikincil üyelik fonksiyonu $f_{x'}(u) = 1$ iken tanımlanan sistem aralıklı tip-2 bulanık kümedir ve her bir giriş için ikincil üyelik fonksiyonları da aralıklı tip-2 kümedir [46-51]. Aşağıda verilen denklemler belirtilen kaynaklardan alınmıştır. Bu ifadeler daha genel olarak denklem 2.4 ve 2.5’te verilmiştir.

$$\tilde{A} = (x, u_{\tilde{A}}(x, u)) | \forall x \in X \quad (2.4)$$

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \frac{u_{\tilde{A}}(x)}{x} = \int_{x \in X} \frac{\int_{u \in J_x} \frac{f_x(u)}{u}}{x} \quad (2.5)$$

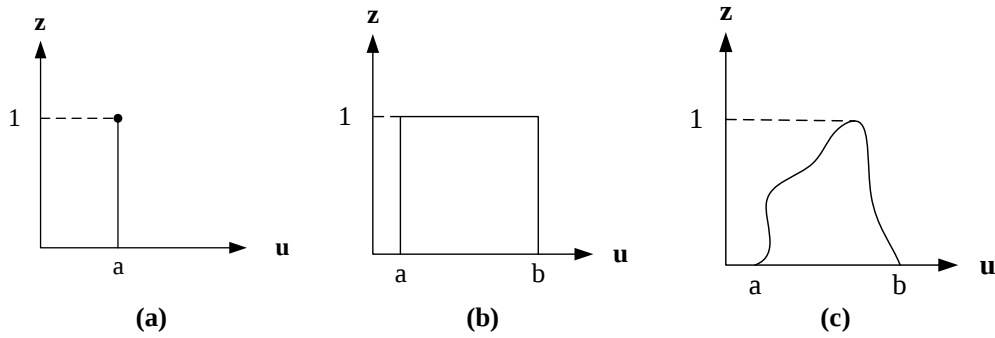
Bu ifadeler genel tip-2 bulanık kümeler içinde geçerlidir, fakat farklı olarak genel tip-2 bulanık kümeler ayrık uzayda yer aldığı için dikey dilim yerine dalgalı dilimler kullanılmaktadır. Genel tip-2 bulanık kümelerin matematiksel gösterimi Mendel ve John tarafından tanımlanmış olup, bu gösterim denklem 2.6’da verilmiştir [59]. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$\tilde{A} = \sum_{j=1}^n \tilde{A}_e^j \quad (2.6)$$

Denklem 2.6’da verilen $\tilde{A}_e^j$, gömülü tip-2 bulanık küme için kullanılmaktadır ve $\tilde{A}_e^j$ ’nin matematiksel gösterimi denklem 2.7’de verilmiştir [59].Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

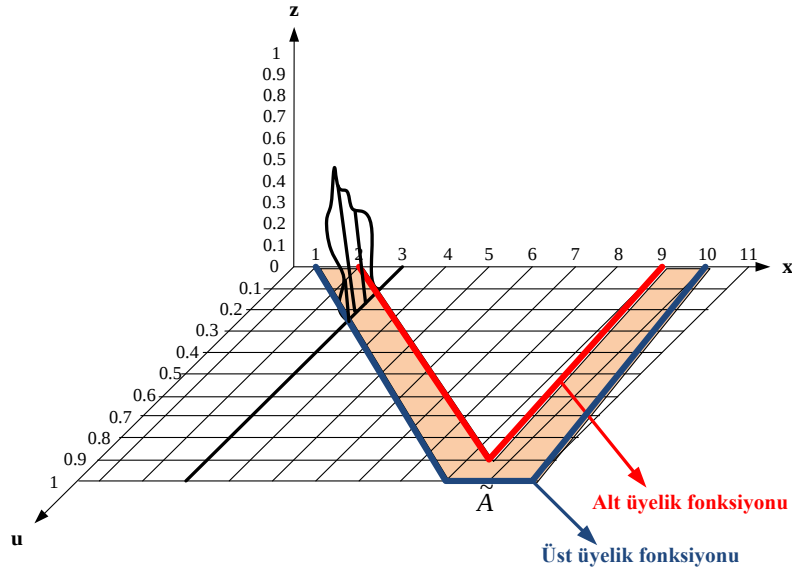
$$\tilde{A}_e^j = \sum_{d=1}^N \frac{f_{x_d}(u_d^j)}{x_d} u_d^j \in J_{x_d} \subseteq [0,1] \quad (2.7)$$

Şekil 2.9(a)’da tip-1 ikincil üyelik fonksiyonu, Şekil 2.9 (b)’de aralıklı ve Şekil 2.9 (c)’de genel tip-2 ikincil üyelik fonksiyonlarının gösterimi verilmiştir [65, 66].Aşağıda verilen şekil belirtilen kaynaklardan alınmıştır.



Şekil 2.9. Bulanık ikincil üyelik fonksiyonu (a) Tip-1 bulanık ikincil üyelik fonksiyonu (b) Ayırık tip-2 bulanık ikincil üyelik fonksiyonu (c) Genel tip-2 bulanık ikincil üyelik fonksiyonu [65, 66].

$x = x' = 3$ giriş değeri için genel tip-2 bulanık kümenin üç boyutlu gösterimi Şekil 2.10’da verilmiştir.



Şekil 2.10. $x = x' = 3$ giriş değeri için ikincil üyelik fonksiyonu

Tip-2 bulanık kümelerde durulandırma işlemi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada öncelikle tip-2 bulanık küme üzerinde tip indirgeme işlemi yapılarak tip-1 bulanık küme işlemi uygulanmaktadır. Daha sonra ikinci aşamada ise tip indirgeme aşamasında elde edilen tip-1 bulanık küme üzerinden durulandırma işlemi yapılmaktadır.

Tip-2 bulanık kümelerin durulandırma işleminde ilk aşama olarak nitelendirilen tip indirgeme işlemi için bilinen 5 önemli yöntem bulunmaktadır. Bunlar;

1. Kütle Merkezi Tip İndirgeme (Centroid Type-Reduction)

Bu indirgeme yöntemi ile çıkışta elde edilen tip-1 bulanık kümelere birleşim işlemi uygulanarak kümeler birleştirilmektedir. Uygulanan bu birleşim işleminin matematiksel gösterimi denklem 2.8’de verilmiştir [70]. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$B = U_{l=1}^M B^l \quad (2.8)$$

Kütle merkezi tip indirgeme işleminin matematiksel gösterimi ise denklem 2.9’da verildiği gibidir [70]. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$y_c(x) = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \mu_B(y_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_B(y_i)} \quad (2.9)$$

2. Toplamların Merkezi Tip İndirgeme (Center-of-Sums Type Reduction)

Bu indirgeme işleminin çıkışında elde edilen tip-1 bulanık kümeler, bir birine eklenerek birleştirilir ve bu birleşimden elde edilen kümenin kütle merkezi bulunur. Denklem 2.10'da $\mu_B(y)$ 'nin matematiksel gösterimi verilmiştir [70]. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$\mu_B(y) = \sum_{l=1}^M \mu_{B^l}(y) \forall y \in Y \quad (2.10)$$

Toplamların merkezi olan tip indirgeme işleminin matematiksel gösterimi denklem 2.11'de verilmiştir [70]. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$y_a(x) = \frac{\sum_{l=1}^M c_{B^l} a_{B^l}}{\sum_{l=1}^M a_{B^l}} \quad (2.11)$$

Denklem 2.11'de gösterilen c_{B^l} , l . çıkış kümesinin kütle merkezini, a_{B^l} ise kümeye ait alını göstermektedir. $y_a(x)$ 'de kullanılan a harfi toplamsal birleşimi temsil etmektedir.

3. Yükseklik Tip İndirgeme (Height Type Reduction)

Denklem 2.12'de yükseklik tip indirgeme işleminin matematiksel gösterimi verilmiştir [70]. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$y_h(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l \mu_{B^l}(\bar{y}^l)}{\sum_{l=1}^M \mu_{B^l}(\bar{y}^l)} \quad (2.12)$$

Bu denklemde y^l , l . çıkış kümesinin maksimum üyeliğe sahip olduğu noktayı göstermektedir. Eğer birden fazla bu şekilde nokta var ise bunların ortalaması y^l olarak alınabilmektedir. Denklemde gösterilen bir diğer ifade olan $\mu_{B^l}(\bar{y}^l)$ ise l . çıkış kümesindeki üyelik derecesini göstermektedir.

4. Uygunlaştırılmış Yükseklik Tip İndirgeme (Modified Height Type Reduction)

Bu tip indirgeme işlemi, yükseklik tip indirgeme işlemine benzemektedir. Bu yöntemin tek farkı, tip indirgeme işleminde her bir $\mu_{B^l}(\bar{y}^l)$ dağılımının tersi veya bu dağılımın bazı ölçümler ile ölçeklendirilmesidir. Bu tip indirgeme işleminin

matematiksel gösterimi denklem 2.13’de verilmiştir [70]. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$y_h(x) = \frac{\frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l \mu_{B^l}(\bar{y}^l)}{\delta^{l^2}}}{\frac{\sum_{l=1}^M \mu_{B^l}(\bar{y}^l)}{\delta^{l^2}}} \quad (2.13)$$

Denklemde gösterilen δ^l , çıkış kümesin dağılımının bazı ölçümlerini göstermektedir.

5. Kümelerin Merkezinde Tip İndirgeme (Center-of-Sets (cos) Type Reduction)

Denklem 2.14’de kümelerin merkezi tip indirgeme işleminin çıkış denklemi verilmiştir [70].Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

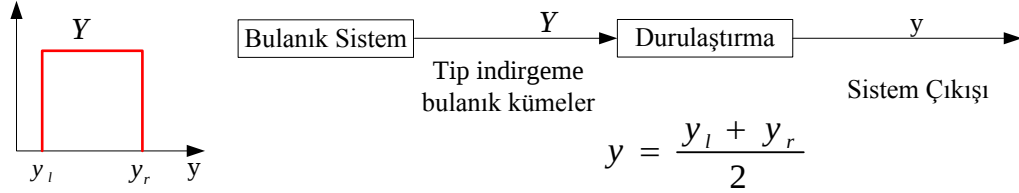
$$y_{cos}(x') = \bigcup_{\substack{f^n \in F^n(x') \\ y^n \in Y^n}} \frac{\sum_{n=1}^N f^n y^n}{f^n} \quad (2.14)$$

Denklemde gösterilen f ateşleme aralığını, y ise çıkış üyelik fonksiyonundan alınan çıkış değerlerini göstermektedir.

Yukarda açıklanan tip indirgeme yöntemleri içinde en fazla kullanılan “Kümelerde Merkezi Tip İndirgeme” dir. Çoğu farklı çalışmada bu yöntem için algoritmalar geliştirilmiştir. Bu yöntem üzerinde en fazla çalışma Mendel’e aittir. Mendel’in bu yöntem için geliştirdiği algoritmaların temelinde aşağıda belirtilen işlem sırası göz önüne alınmıştır [54, 61].

1. Olası tüm tip-2 gömülü kümeler numaralandırılır.
2. Her gömülü küme için minimum ikincil üyelik derecesi bulunur.
3. Her bir gömülü küme için tip-2 gömülü kümenin tip-1 ağırlık merkezi hesaplanır.
4. Her gömülü küme için ikinci sınıf, (x, z) sıralı çiftinin bir dizisini oluşturmak için tanım kümesi değerleri ile eşleştirilir (Bu dizideki bir x değerinin birden fazla z değerine karşılık gelebilmektedir.).
5. Her tanım kümesindeki maksimum ikinci sınıf seçilir. Burada küçük bir $(x, z_{\max})$ sıralı çifti oluşturulur ve x ve $z_{\max}$ arasında birebir eşleşme oluşur.

İkinci aşama olan durulandırma işleminde de indirgeme, kümenin tip-1 ağırlık merkezinin bulunması işlemine dayanmaktadır. Durulandırma işleminin çalışma mantığı Şekil 2.11’de gösterilmiştir.

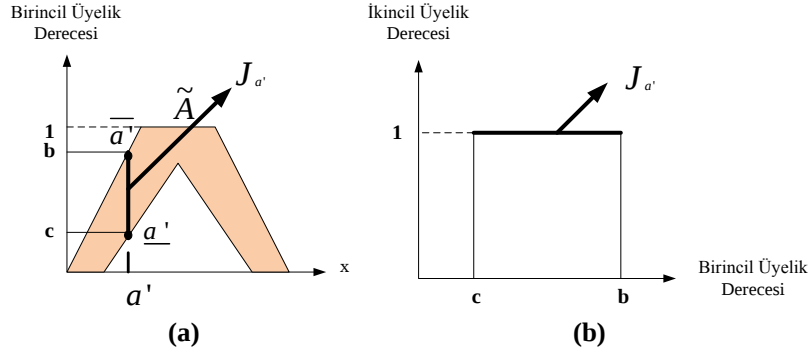


Şekil 2.11.Durulandırma işleminin çalışma yapısı [70].

Tip-2 bulanık kümeler için uygulamalar geliştirilirken ayırıklaştırma yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, standart ayırıklaştırma metoduyla, diğeri standart olmayan ayırıklaştırma modelidir. Standart ayırıklaştırma modelinde x ekseninde n aralılarla bölünmektedir. Örneğin n=10 için x ekseninde 10 değer alınır ve her x değerinin FOU’da alt ve üst üyelik fonksiyonlarındaki kesim noktaları hesaplanmaktadır. FOU’da geçen her bir doğru parçacıkları n eşit aralığa bölünmektedir. İkinci metot olan standart olmayan ayırıklaştırma yönteminde ise ayırıklaştırma işlemi yapılırken bulanık kümenin üyelik fonksiyonları tamamen bağımsızdır.

2.2. Aralıklı Tip-2 Bulanık Sistemler

Aralıklı tip-2 bulanık sistemlerde ikincil üyelik fonksiyon değeri 1 olarak alınmaktadır ve işlemlerde boyut karmaşıklığını azaltmaktadır. Şekil 2.12’de iki boyutlu olarak ayırık tip-2 üyelik fonksiyonu gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.13. Aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonu (a) Aralıklı tip-2 birincil üyelik fonksiyonu (b) Aralıklı tip-2 ikincil üyelik fonksiyonu

Şekil 2.13 (a)'da, a' giriş değeri birincil üyelik fonksiyonunu, c ve b birincil üyelik derecelerinde kestiğini gösterirken, şekil 2.13 (b), birincil üyelik fonksiyonlarının ikincil üyelik fonksiyonundaki karşılığını göstermektedir. $J_{a'}$ ise a' giriş değerinin birincil üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Aralıklı tip-2 bulanık kümelerde tüm ikincil üyelik fonksiyonun derecesi 1'dir. Böylece tip-2 bulanık sistemlerdeki işlem karmaşıklığı azaltılmak istenmektedir.

Aralıklı tip-2 bulanık sistem tanımlanırken bazı kurallar kullanılır ve bu kurallar doğrultusunda sistem giriş değerlerine cevap verir. Tip-2 bulanık kümeler için tanımlanan örnek bir kural cümlecisi denklem 2.16'da verilmiştir [70, 71, 72]. Aşağıda verilen kural satırı belirtilen kaynaklardan alınmıştır.

$$R^n: \text{Eğer } x_1 \text{ ise } \tilde{X}_1^n \text{ ve } x_2 \text{ ise } \tilde{X}_2^n \text{ ve } \dots \text{ ve } x_p \text{ ise } \tilde{X}_p^n \text{ o zaman } y \text{ ise } \tilde{Y}^n \quad n=1, \dots, N \quad (2.16)$$

Denklemden $\tilde{X}_p^n$ ($p=1,2,\dots,M$) giriş değerlerinin birincil üyelik fonksiyon aralığıyken $\tilde{Y}^n = [\underline{y}^n, \bar{y}^n]$, tip-2 bulanık sistemin ağırlık merkezinin çıkış aralığıdır [42]. Birçok uygulamada ve bu çalışmada $\underline{y}^n = \bar{y}^n$ değerleri tek değer olarak kullanılmıştır. Buna göre $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_i)$ giriş vektör değerleri için aralıklı tip-2 bulanık sisteminin hesaplama adımları aşağıda verildiği gibidir [47, 71, 72]; Aşağıda verilen algoritma adımları belirtilen kaynaklardan alınmıştır.

1. x'_i giriş değeri için $X_i^n = [\mu_{\underline{X}_i^n}(x'_i), \mu_{\bar{X}_i^n}(x'_i)]$ üyelik derecesi hesaplanır ($n=1, \dots, N$ ve $i=1,2,\dots,M$).
2. n adet kural için ateşleme aralığı hesaplanır (n . kural için $F^n(x')$ ateşleme aralığı)

$$F^n(x') = [\underline{f}^n, \overline{f}^n] = [\mu_{\underline{x}_1^n}(x'_1) \times \dots \times \mu_{\underline{x}_l^n}(x'_l), \mu_{\overline{x}_1^n}(x'_1) \times \dots \times \mu_{\overline{x}_l^n}(x'_l)]$$

Gösterilen ateşleme aralığı çarpım t-norm kuralına göre yapılmıştır. İstenirse min t-normda kullanılır.

3. $F^n(x')$ ve kural sonuçları birleştirilerek tip indirgeme aşamasına geçilir. Birçok tip indirgeme yöntemi bulunmaktadır fakat bunlar içerisinde en çok kullanılan yöntem kümelerin merkezidir. Denklem 2.17'de bu yöntemin matematiksel gösterimi verilmiştir [42, 46, 71, 72]. Aşağıda verilen denklemler belirtilen kaynaklardan alınmıştır.

$$y_{cos}(x') = \bigcup_{\substack{f^n \in F^n(x') \\ y^n \in Y^n}} \frac{\sum_{n=1}^N f^n y^n}{f^n} = [y^l, y^r] \quad (2.17)$$

$$y^l = \min_{k \in [1, N-1]} \frac{\sum_{n=1}^k \overline{f}^n y^n + \sum_{n=k+1}^N \underline{f}^n y^n}{\sum_{n=1}^k \overline{f}^n + \sum_{n=k+1}^N \underline{f}^n} \quad (2.18)$$

$$\equiv \frac{\sum_{n=1}^L \overline{f}^n y^n + \sum_{n=L+1}^N \underline{f}^n y^n}{\sum_{n=1}^L \overline{f}^n + \sum_{n=L+1}^N \underline{f}^n}$$

$$y^r = \max_{k \in [1, N-1]} \frac{\sum_{n=1}^k \underline{f}^n y^n + \sum_{n=k+1}^N \overline{f}^n y^n}{\sum_{n=1}^k \underline{f}^n + \sum_{n=k+1}^N \overline{f}^n} \quad (2.19)$$

$$\equiv \frac{\sum_{n=1}^R \underline{f}^n y^n + \sum_{n=R+1}^N \overline{f}^n y^n}{\sum_{n=1}^R \underline{f}^n + \sum_{n=R+1}^N \overline{f}^n}$$

Denklem 2.18 ve 2.19'daki k (L veya R) değeri anahtar noktayı göstermektedir. k anahtar noktası [1, N-1] arasındaki bir değerdir. Gerçek anahtar noktası bulununcaya kadar bu değer aralığında değerler alınır. Buna göre sol ($y^L \leq y^l \leq y^{L+1}$) ve sağ ($y^R \leq y^r \leq y^{R+1}$) çıkış değerleri hesaplanır. Bu çıkış değerlerinin hesaplanması için bilinen en yaygın yöntem olan KM veya EKM algoritmaları kullanılmaktadır.

4. Son aşama olarak da durulandırma işlemi yapılarak sistem çıkışı hesaplanır. Bu işlemin matematiksel gösterimi denklem 2.20'de verilmiştir [42, 46, 71, 72]. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaklardan alınmıştır.

$$y = \frac{y^l + y^r}{2} \quad (2.20)$$

KM algoritması uygun y^l ve y^r değerlerini hesaplamak için kullanılmaktadır [46, 71, 72]. Aşağıda verilen denklemler belirtilen kaynaklardan alınmıştır. Denklem 2.18 ve 2.19'un bu algoritmaya göre yeniden düzenlenmiş hali denklem 2.21 ve 2.22'de verilmiştir.

$$f^l(k) = \frac{\sum_{n=1}^k \bar{f}^n \underline{y}^n + \sum_{n=k+1}^N \underline{f}^n \underline{y}^n}{\sum_{n=1}^k \bar{f}^n + \sum_{n=k+1}^N \underline{f}^n} \quad (2.21)$$

$$f^r(k) = \frac{\sum_{n=1}^k \underline{f}^n \bar{y}^n + \sum_{n=k+1}^N \underline{f}^n \bar{f}^n \bar{y}^n}{\sum_{n=1}^k \underline{f}^n + \sum_{n=k+1}^N \bar{f}^n} \quad (2.22)$$

Denklemlerdeki k anahtar noktası $[1, N-1]$ arasındaki bir tamsayı değeridir. Algoritmanın çalışması için $\underline{y}^n$ ve $\bar{y}^n$ çıkış değerleri küçükten büyüğe doğru sıralı olmak zorundadır. Bu durum anahtar noktanın bulunması için çok önemlidir. Denklem 2.21 ve 2.22 tekrar düzenlenirse denklem 2.23 ve 2.24 elde edilir [46, 71, 72]. Aşağıda verilen denklemler belirtilen kaynaklardan alınmıştır.

$$y^l = \min_{k \in [1, N-1]} f^l(k) \equiv f^l(L) = \frac{\sum_{n=1}^L \bar{f}^n \underline{y}^n + \sum_{n=L+1}^N \underline{f}^n \underline{y}^n}{\sum_{n=1}^L \bar{f}^n + \sum_{n=L+1}^N \underline{f}^n} \quad (2.23)$$

$$y^r = \max_{k \in [1, N-1]} f^r(k) \equiv f^r(R) = \frac{\sum_{n=1}^R \underline{f}^n \bar{y}^n + \sum_{n=R+1}^N \bar{f}^n \bar{y}^n}{\sum_{n=1}^R \underline{f}^n + \sum_{n=R+1}^N \bar{f}^n} \quad (2.24)$$

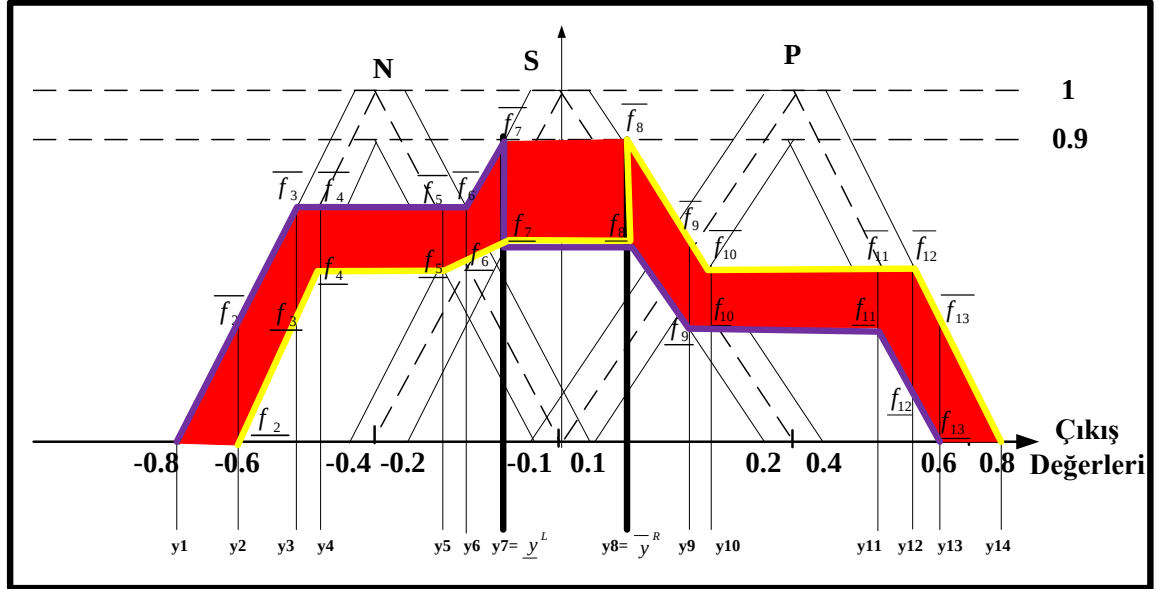
$$y^L \leq y^l \leq y^{L+1} \forall L \in [1, N-1] \quad (2.25)$$

$$y^R \leq y^r \leq y^{R+1} \forall R \in [1, N-1] \quad (2.26)$$

KM algoritması kullanılarak uygun L ve R anahtar değerleri bulunarak çıkış değerleri hesaplanır (y^l ve y^r değerleri bu algorithmada eş zamanlı olarak hesaplanmaz).

KM algoritmasının işlem adımları tablo 2.1'de verilmiştir. Örnek olarak KM algoritması ile y_{cos} minimum değer olan y^l değeri hesaplanırken önce KM algoritması ile L anahtar noktası hesaplanır ve bu değere göre $n \leq L$ için üst üyelikli ateşleme aralığı

kullanılırken $n > L$ için alt üyelikli ateşleme aralığı kullanılarak y^l değeri hesaplanır. L ve R anahtar noktalarının KM algoritmasında nasıl kullanıldığı Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. y^l ve y^r R ve L anahtar noktalarının gösterilmesi [71, 72]

y^l vey y^r değerleri hesaplanırken çıkış nokta sayısı artırılabilir. Nokta sayısı artırıldığında çıkış değeri gerçek değere yaklaşmaktadır fakat bu durum sistem cevabı için geçecek sürenin artmasına sebep olmaktadır.

Tablo 2.1. KM Algoritması[48].

Algoritma Adım	y^l	y^r
1. Adım	Çıkış dizimiz küçükten büyüğe doğru sıralı olmalı, $\underline{y}^1 \leq \underline{y}^2 \leq \dots \leq \underline{y}^n, n = (1, 2, \dots, N)$	
2. Adım	Başlangıç olarak f^n ve y değerleri hesaplanır; $f^n = \frac{f^n + \overline{f}^n}{2}$ $y = \frac{\sum_{n=1}^N \underline{y}^n * f^n}{\sum_{n=1}^N f^n}$	
3. Adım	k ($1 \leq k \leq (N - 1)$) anahtar noktası bulunur; $\underline{y}^k \leq y \leq \underline{y}^{k+1}$	
4. Adım	f^n vey y değerleri yeniden hesaplanır; $f^n = \begin{cases} \overline{f}^n, & n \leq k \\ f^n, & n > k \end{cases}$ $y' = \frac{\sum_{n=1}^N \underline{y}^n * f^n}{\sum_{n=1}^N f^n}$	
5. Adım	$y' = y$ ise $y_l = y$ ve $L = k$ işlemi bitir.	$y' = y$ ise $y_r = y$ ve $R = k$ işlemi bitir.
6. Adım	Çıkış değeri hesaplanıyor.	

	Değilsey $y' = y'$ ve 3. Adıma geri dön
--	---

EKM algoritması KM algoritmasının geliştirilmiş şeklidir. Bu algoritma ile KM algoritmasında eksik görülen bazı noktalar yeniden düzenlenmiştir. KM algoritması üzerindeki üç nokta üzerinde düzenlenme yapılmış olup bunlar aşağıda verildiği gibidir [42];

1. k anahtar noktası başlangıçta rastgele bir değerden başlatılmaktadır. Böylece daha kısa sürede sistem cevabı verilebilmektedir.
2. İterasyonun sonlandırma koşulundaki gereksiz yineleme koşulu kaldırılmıştır.
3. Son düzenleme hesaplama maliyeti üzerine yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar buna göre yeniden düzenlenmiştir.

Tablo 2.2’de EKM algoritması verilmiştir.

Tablo 2.2. EKM Algoritması [48]

Algoritma Adım	y^l	y^r
1. Adım	Çıkış dizimiz küçükten büyüğe doğru sıralı olmalı, $\underline{y}^1 \leq \underline{y}^2 \leq \dots \leq \underline{y}^N = (1, 2, \dots, N)$	
2. Adım	Başlangıç anahtar noktasına göre a,b ve y değerleri hesaplanır. $k = \lfloor N/2.4 \rfloor$ (en yakın sayıya yuvarlanır) $a = \sum_{n=1}^k \underline{y}^n * \underline{f}^n + \sum_{n=k+1}^N \underline{y}^n * \underline{f}^n$ $b = \sum_{n=1}^k \underline{f}^n + \sum_{n=k+1}^N \underline{f}^n$ $y = a/b$	
3. Adım	yenik' ($1 \leq k' \leq (N - 1)$) anahtar noktası bulunur; $\underline{y}^{k'} \leq y \leq \underline{y}^{k'+1}$	
4. Adım	$k = k'$ ise $y_l = yveL =$ kişlemi bitir.	
5. Adım	Değilse s,a',b' vey' değerleri hesaplanır; $s = \text{sign}(k' - k)$ $a' = a + s * \sum_{n=\min(k,k')+1}^{\max(k,k')} \underline{y}^n * (\underline{f}^n + \underline{f}^n)$ $b' = b + s * \sum_{n=\min(k,k')+1}^{\max(k,k')} (\underline{f}^n + \underline{f}^n)$ $y' = a'/b'$	
6. Adım	Çıkış değeri hesaplanıyor. $y = y', a = a', b = b'$ ve $k = k'$; 3. Adıma geri dön.	

2.3. Genel Tip-2 Bulanık Sistemler

Genel tip-2 bulanık sistemlerde aralıklı tip-2 bulanık sistemden farklı olarak α -düzlemleri bulunmaktadır. α -düzlemlerinde ayırıklaştırma teorisi ilk kez Lui [63] tarafından ifade edilmiş ve bu durumu teorisinde ispatlamıştır. Daha sonra Wagner ve Hagnras [53]'da bir birinden bağımsız olarak aynı teoriyi ifade etmişlerdir. Bir tip-2 bulanık sistemin α -düzleminde alınan α -kesiti, tip-1 bulanık sisteme benzemektedir. Bir $\tilde{A}$ genel tip-2 bulanık sistemde α -düzlemi ($\tilde{A}_\alpha$ ile gösterilir), $\tilde{A}$ kümesinin ikincil üyelik fonksiyonlarının tümünün birincil üyelik fonksiyonlarının birleşimidir. α , $[0, 1]$ aralığında değişmektedir. Denklem 2.27 ve 2.28'de α -düzleminin matematiksel gösterimi verilmiştir [63].Aşağıda verilen denklemler belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$A\alpha = x', u, uAx', u \geq \alpha \forall x' \in X, \forall u \in Jx' \subseteq 0, 1 \quad (2.27)$$

$$A\alpha = \{x' \in X \mid \forall u \in Jx' x', u, f x' u \geq \alpha\} \quad (2.28)$$

İkincil üyelik fonksiyonu $f_{x'}(u)$ 'da α -kesiti $S_{\tilde{A}}(x|\alpha)$ ile gösterilir. α -kesitinin matematiksel gösterimi denklem 2.29'da verilmiştir [63].Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$S_{\tilde{A}}(x|\alpha) = [S_L(x|\alpha), S_R(x|\alpha)] \quad (2.29)$$

$I_{\tilde{A}_\alpha}(x', u|\alpha)$, $\tilde{A}_\alpha$ -düzlemi için 3B fonksiyon gösterimidir. Denklem 2.30'da $I_{\tilde{A}_\alpha}(x', u|\alpha)$ 'nın matematiksel ifadesi verilmiştir [63].Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$I_{\tilde{A}_\alpha}(x', u|\alpha) = \begin{cases} 1, & \forall x' \in X, \forall u \in [S_L(x|\alpha), S_R(x|\alpha)] \\ 1, & \forall x' \notin X, \forall u \notin [S_L(x|\alpha), S_R(x|\alpha)] \end{cases} \quad (2.30)$$

Genel tip-2 üyelik fonksiyonunda $\text{FOU}(\tilde{A}_\alpha)$ 'nın matematiksel gösterimi denklem 2.31'de verilmiştir [63, 66]. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaklardan alınmıştır.

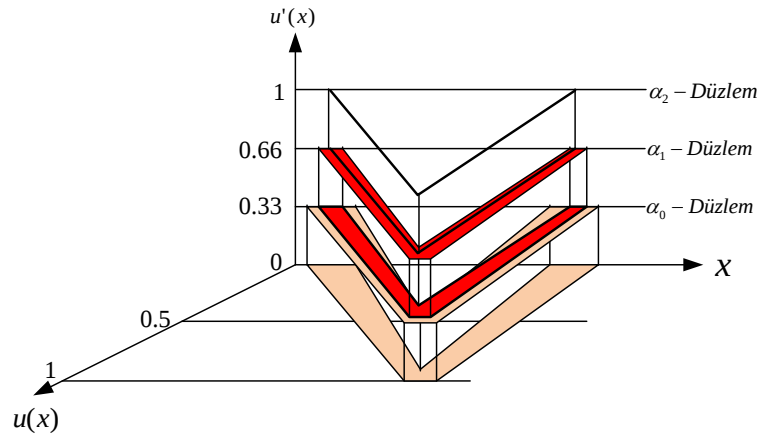
$$\text{FOU}(\tilde{A}_\alpha) = \alpha I_{\tilde{A}_\alpha}(x', u|\alpha) \quad (2.31)$$

Denklem 2.30'da gösterilen $\forall x' \in X$ için $S_L(x|\alpha)$ ve $S_R(x|\alpha)$, $\text{FOU}(\tilde{A}_\alpha)$ 'nın alt ve üst üyelik derecelerini göstermektedir.

Lui [63], α -düzleminin ayrıştırılmasını denklem 2.32’de verildiği gibi tanımlamıştır. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

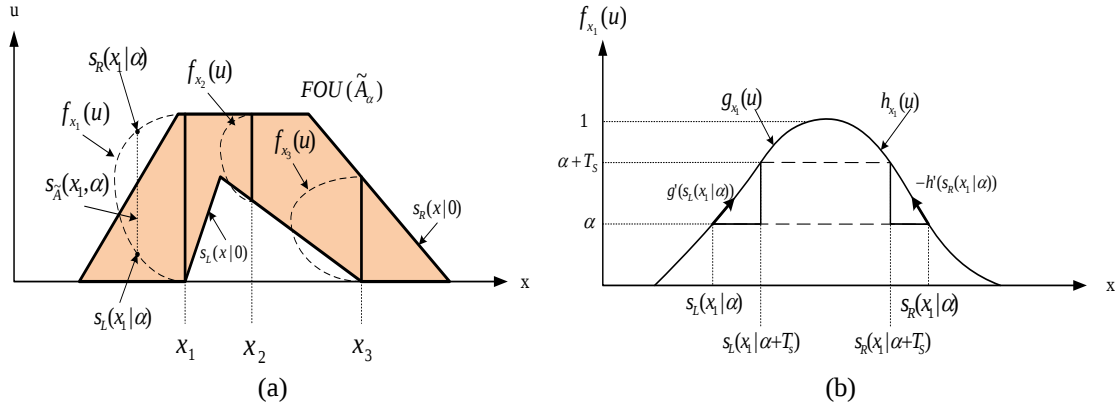
$$\tilde{A} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \frac{\alpha}{\text{FOU}(\tilde{A}_\alpha)} \quad (2.32)$$

α -düzlemlerinin ayrıştırma ifadesi olarak en doğru gösterim Lui’ye aittir. Çünkü bu gösterime göre her $\text{FOU}(\tilde{A}_\alpha)$ ’daki α -düzeyi, tip-2 bulanık sistem olarak görülmektedir. α -düzlem yapısı şekil 2.15’de verilmiştir [53].



Şekil 2.15. 3B’lu α -düzlem yapısı [53]

Bu ayrıklaştırma modeli için Lui yaptığı çalışma sonucunda, genel tip-2 bulanık sistem yaklaşımı olarak yeni bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritmanın mantığında her α -düzleminin çözümü için KM veya EKM algoritmaları kullanılmış ve denklem 2.32 kullanılarak her katman (düzlem) için ayrı ayrı elde edilen sonuçlar birleştirilmiş olup sistemin çıkışı elde edilmiştir [66].



Şekil 2.16. Genel tip-2 üyelik fonksiyonu (a) İki boyutlu genel tip-2 birincil(FOU) üyelik fonksiyonu (b) x_1 giriş değerinin gauss ikincil üyelik fonksiyonu [66].

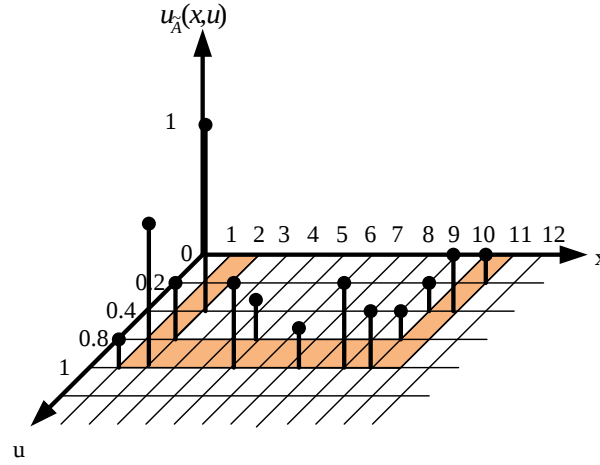
Yukarıda verilen denklemlerin şekil üzerinde gösterimi Şekil 2.16’da [66] verilmiştir.

Genel tip-2 bulanık sistemlerin kümelerin merkezi tip indirgeme işleminin matematiksel ifadesi denklem 2.33’de verilmiştir [63].Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$y_{\tilde{A}_e} = \bigcup_{\forall A_e(\alpha)} \frac{\sum_{i=1}^n x_i u_i(A_e(\alpha))}{u_i(A_e(\alpha))} = [y_l(\tilde{A}_\alpha), y_r(\tilde{A}_\alpha)] \quad (2.33)$$

Denklemden $A_e(\alpha)$, $\tilde{A}_\alpha$ ’da bulunan gömülü tip-1 bulanık kümedir. Denklemden verilen $y_l(\tilde{A}_\alpha)$ ve $y_r(\tilde{A}_\alpha)$ değerleri KM, EKM gibi algoritmalar ile hesaplanmaktadır.

Yukarıdaki denklemler göz önüne alındığında genel tip-2 bulanık sistemlerin aralıklı tip-2 bulanık sistemlerden farkı ikincil üyelik fonksiyonunun tüm değerler için 1 alınmamasıdır. Bunun dışında aralıklı tip-2 bulanık sistemler için söylenen tüm bilgiler genel tip-2 bulanık sistemler içinde geçerlidir. Bu sistemlerde ikincil üyelik fonksiyonu $[0, 1]$ arasında değişmektedir. Bu nedenle de genel tip-2 bulanık sistemlerde işlem karmaşıklığı daha fazladır. Matematiksel ifadeler aralıklı tip-2 bulanık sistemler ile aynı olup gösterim şekli farklıdır. Genel tip-2 bulanık sistemlerde matematiksel ifadelerde $\sum \sum$ işareti kullanılır. Şekil 2.10’da genel tip-2 üyelik fonksiyonun üç boyutlu gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.17. Örnek genel tip-2 üyelik fonksiyonu

Şekil 2.17’de verilen örnek genel tip-2 üyelik fonksiyonu $x = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}$, $u = \{0, 0.2, 0.4, 0.8, 1\}$ ve her giriş değerlerinin birincil üyelik fonksiyonu $J_1 = \{0.2, 0.8, 1\}$, $J_2 = \{0.4, 0.8, 1\}$, $J_3 = 0$, $J_4 = \{0.4\}$, $J_5 = \{0.4, 0.8\}$, $J_6 = 0$, $J_7 = \{0.8\}$, $J_9 = \{0.8\}$, $J_{10} = \{0.4, 0.8, 1\}$, $J_{11} = \{0.2, 0.4\}$ ve $J_{12} = 0$ ’dır. Her girişin birincil üyelik değerlerinin ikincil üyelik değeri 0’den farklıdır. Her dikme ikincil üyelik derecesine karşılık gelmektedir ve $u_A(x, u)$ ile gösterilmektedir. $u_A(x, u)$, 0 ile 1 arasında değişen değerlere sahiptir. Bu değerlere göre denklem 2.3 kullanılarak $x=1$ için ayırık uzay üyelik derecesi hesaplanırsa;

$$u_A(1, u) = 0/0 + 0.35/0.2 + 0/0.4 + 0.4/0.8 + 0.15/1.$$

Genel tip-2 bulanık kümesinin çıkış değeri olan $y_A(x')$ ’nün hesaplama adımları aşağıda verilmiştir [48, 63, 65, 66, 69]. Aşağıda verilen algoritma adımları belirtilen kaynaklardan alınmıştır.

1. İlk aşamada kaç tane α -düzleminin kullanılacağına karar verilir ($\alpha \in [0, 1]$). Düzlem sayısının k olduğu varsayılır (k değeri sistem tasarımcısının inisiyatifine göre belirlenmektedir). k değeri minimum 2 değerini alır çünkü $\alpha = 0$ ve $\alpha = 1$ değerleri her zaman kullanılmaktadır. Bunun dışında k istenildiği kadar artırılabilir. $0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \dots \leq \alpha_{k-1} \leq \alpha_k \leq 1$, $0 \leq j \leq n$ ve $0 \leq i \leq k$ için $\underline{f}_{j,i}(x_j|\alpha_i)$ ve $\bar{f}_{j,i}(x_j|\alpha_i)$ ateşleme aralıkları hesaplanır.
2. α_i için $\tilde{A}_{\alpha_i}$ değeri hesaplanır. $\tilde{A}_{\alpha_i}$, KM, EKM gibi algoritmalar kullanılarak $y_i(x') = [\underline{y}_i, \bar{y}_i]$ hesaplanır (kümelerin merkezi tip indirgeme yöntemi için). Bu sonucun hassasiyeti birincil değerlerin ayrıştırılmasına yani α -düzleminin (k değeri) sayısına bağlıdır. Tip indirgeme aşamasında α_k düzlem için $[\underline{y}_k, \bar{y}_k]$

ağırlık merkezi arlığı, $\underline{L}_k$ ve $\overline{R}_k$ noktaları elde edilmektedir ($\underline{L}_k$, sol anahtar noktası ve $\overline{R}_k$, sağ anahtar noktası gösterimi).

$$\underline{y}_i = \frac{\sum_{n=1}^{\underline{L}_k} \underline{f}^n \underline{y}^n + \sum_{n=\underline{L}_k+1}^N \underline{f}^n \underline{y}^n}{\sum_{n=1}^{\underline{L}_k} \underline{f}^n + \sum_{n=\underline{L}_k+1}^N \underline{f}^n} \quad (2.34)$$

$$\overline{y}_i = \frac{\sum_{n=1}^{\overline{R}_k} \underline{f}^n \overline{y}^n + \sum_{n=\overline{R}_k+1}^N \overline{f}^n \overline{y}^n}{\sum_{n=1}^{\overline{R}_k} \underline{f}^n + \sum_{n=\overline{R}_k+1}^N \overline{f}^n} \quad (2.35)$$

3. Her α düzlemi için k defa 3. adım tekrarlanır.
4. Tüm $ky_{\tilde{A}}(x')$ değerleri denklem 2.36 kullanılarak birleştirilir ve $y_{\tilde{A}}(x')$ değeri hesaplanır [63].

$$y_{\tilde{A}}(x') = \frac{\sum_{i=1}^{k+1} \alpha_i \left[\frac{(\underline{y}_i + \overline{y}_i)}{2} \right]}{\sum_{i=1}^{k+1} \alpha_i} \quad (2.36)$$

Genel tip-2 bulanık sistem çözümleri içinde farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler genelde tip indirgeme aşamasındaki karmaşıklığı gidermek içindir. Bu alanda yapılan çalışmalardan biri Karnik ve Mendelin geliştirdiği KM ve EKM algoritmasının genel tip-2 bulanık sistemde kullanılmasıdır.

Genel KM algoritmasının matematiksel gösterimi ve algoritmik yapısı aralıklı KM algoritması ile aynıdır, fakat tek fark yapılan işlemlerin her bir α -düzlemleri için ayrı ayrı yapılması ve bu düzlemler üzerinde elde edilen değerlerin durulandırma işleminde kullanılmasıdır.

Genel EKM algoritmasının matematiksel gösterimi, algoritmik aralıklı EKM algoritması ile aynıdır ve çalışma yapısı genel KM algoritmasına benzer.

Genel tip-2 bulanık mantık sistemlerde bu iki algoritma dışında da farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Bu çalışmalardan biri Yeh ve arkadaşlarının geliştirdiği EKMANI ve bir diğeri ise Lui'nin geliştirdiği algoritmalarıdır.

Yeni başlatım ile Enhanced Karnik-Mendel Algoritması (EKM-In), Yeh ve arkadaşları [62], genel tip-2 bulanık sistemler için önerilmiştir. EKM-In algoritmasında kütle merkezi tip indirgeme için önerilmiştir. y^l ve y^r değerlerinin hesaplanması EKM algoritması ile aynıdır. Fakat 2. adımda hesaplanan L ve R anahtar noktalarının hesaplamasında farklılık

yapılmıştır. Buna göre önceden hesaplanmış bir değer varsa o zaman L ve R değerleri bu değere göre ayarlanır yoksa $L=[N/2.4]$ ve $R=[N/1.7]$ olarak seçilir.

Lui [63], ikincil üyelik fonksiyonun bir dışbükey tip-1 bulanık küme olduğu durum için genel tip-2 bulanık kümelerde tip indirgeme işlemi amacıyla önerilmiş bir algoritmadır. Lui'e göre, eğer tip-1 bulanık küme dışbükey ise α -kesiminin ($\alpha > 0$ ise) tümü sürekli bir aralığa sahiptir. Örneğin çıkış üyelik fonksiyonun $\tilde{A}$ tip-2 bulanık kümesi ve $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ($x_1 < x_2 < \dots < x_n$ olmalı) çıkış üyelik fonksiyonun x eksenindeki çıkış aralık değer kümesinin elde edildiğini varsayalım. Buna göre gerçek k değeri için $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ve $\alpha_i \in [0,1]$ ve $1 \leq i \leq k$ olacaktır. Tüm α_i düzlemlerinin $x_1, x_2, \dots, x_n$ değerleri için ikincil üyelik fonksiyonunda $\tilde{A}$ ikincil bulanık kümesinin α_i -kesimi ve aralıklar $[\underline{f}(x_1|\alpha_i), \bar{f}(x_1|\alpha_i)], [\underline{f}(x_2|\alpha_i), \bar{f}(x_2|\alpha_i)], \dots, [\underline{f}(x_n|\alpha_i), \bar{f}(x_n|\alpha_i)]$ olarak alınacaktır. $\tilde{A}$ için X bir aralıklı tip-2 bulanık kümedir ve bu bulanık küme n aralıklarla α -düzleminde $\alpha_i\tilde{A}$ grubu oluşturulmaktadır. Her düzlemdeki $\alpha_i\tilde{A}$ bulanık küme üzerinde KM algoritması uygulanarak ağırlık merkezi tip indirme aralığı $[\underline{y}_i, \bar{y}_i]$ 'nin elde edildiği varsayalım. Buna göre $\tilde{A}$ için ağırlık merkezi tip indirme kümesi yani O_y (tip-1 bulanık küme için ilk ayrıştırma teorisi [69] kullanılmıştır.) elde edilir. O_y 'nin matematiksel gösterimi denklem 2.37'de verilmiştir. Aşağıda verilen denklem belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$O_y \approx \bigcup_{i=1}^k \frac{\alpha_i}{[\underline{y}_i, \bar{y}_i]} \quad (2.37)$$

KM algoritması (EKM algoritması içinde kullanılabilir) için geliştirilen Lui algoritmasının sözde kodu aşağıda verilmiştir [63]. Aşağıda verilen algoritma belirtilen kaynaktan alınmıştır.

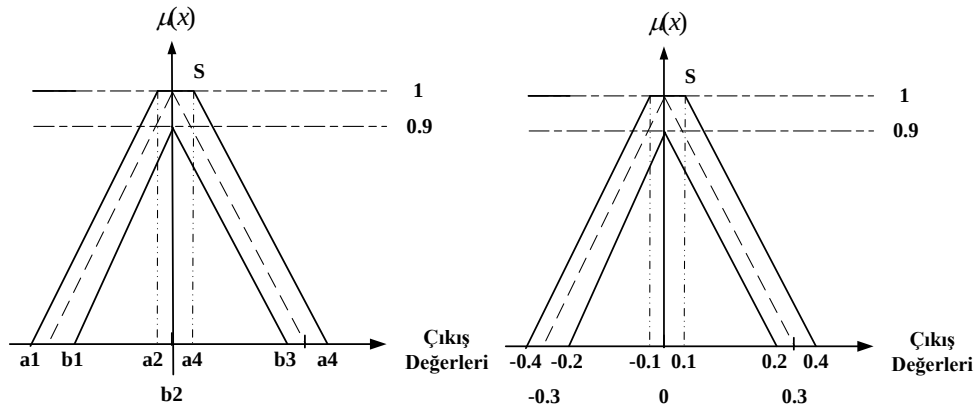
```

procedure Liu( $\tilde{A}, X, \alpha$ )
  for i = 1 to k
     $\tilde{A}$  içerisindeki X için  $\alpha_i\tilde{A}$ -düzlemi alınır;
    call  $\alpha_i\tilde{A}$  için ağırlık merkezi tip indirgeme aralığı  $[\underline{u}_i, \bar{u}_i]$  elde edilir ve
    Karnik_Mendel( $\alpha_i\tilde{A}, X$ )
  endfor;
   $\tilde{A}$  için tip indirgeme kümesi olan  $O_y$  elde edilir.
endprocedure

```

2.4. Tip-2 Bulanık Sistemlerin Simülasyon ve Analizi

Matlab ortamında tip-2 bulanık sistem için matrisler kullanılarak hem üyelik fonksiyonu hem de kural tablosu tanımlandı. Üyelik fonksiyonun tanımlaması için şekil 2.18’de verilen örnek üyelik fonksiyonunda kullanılan matris tanımı gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Örnek tip-2 üyelik fonksiyonu

Alt üyelik fonksiyon değerleri
 $S \rightarrow \{a1, a2, a3, a4, b1, b2, b3\}$
Üst üyelik fonksiyon değerleri

Alt üyelik fonksiyon değerleri
 $S \rightarrow \{-0.4, -0.1, 0.1, 0.4, -0.2, 0, 0.2\}$
Üst üyelik fonksiyon değerleri

Yukarda gösterilen kodlama tekniği kullanılarak hem giriş hem de çıkış üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Aşağıda 5-5-7’lik tip-2 bulanık sistemin hem giriş hem de çıkış üyelik fonksiyonun matris tanımı verilmiştir.

→Giriş Üyelik Fonksiyon Tanımı;

Alt üyelik fonksiyon değerleri
 $X_{1 \text{ ve } 2} = [-1.6 \ -1.1 \ -0.9 \ -0.4 \ -1.4 \ -1.0 \ -0.6; \%NB$
 $-1.1 \ -0.6 \ -0.4 \ 0.1 \ -0.9 \ -0.5 \ -0.1; \%NK$
 $-0.6 \ -0.1 \ 0.1 \ 0.6 \ -0.4 \ 0 \ 0.4; \%S$
 $-0.1 \ 0.4 \ 0.6 \ 1.1 \ 0.1 \ 0.5 \ 0.9; \%PK$
 $0.4 \ 0.9 \ 1.1 \ 1.6 \ 0.6 \ 0.1 \ 1.4]; \%PB$
Üst üyelik fonksiyon değerleri

→Çıkış Üyelik Fonksiyon Tanımı;

Alt üyelik fonksiyon değerleri

Y=[-1.5	-1.1	-0.9	-0.5	-1.5	-1.3	-1	-0.7;%NB
-1.1	-0.7	-0.5	-0.2	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4;%NO
-0.7	-0.4	-0.2	0.1	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1;%NK
-0.4	-0.1	0.1	0.4	-0.4	-0.2	0	0.2;%S
-0.1	0.2	0.4	0.7	-0.1	0.1	0.3	0.5;%PK
0.2	0.5	0.7	1.1	0.2	0.4	0.6	0.9;%PO
0.5	0.9	1.1	1.5	0.5	0.7	1	1.3;%PB

Üst üyelik fonksiyon değerleri

Tablo 2.3. Tip-2 Bulanık kural tablosu

$X_2 \backslash X_1$	NB	NK	S	PK	PB
NB	NB	NB	NO	NK	S
NK	NB	NO	NK	S	PK
S	NO	NK	S	PK	PO
PK	NK	S	PK	PO	PB
PB	S	PK	PO	PB	PB

Matlab’da tablo 2.3’de verilen kural tablosu matris formatında tanımlanırken, her bir üyelik fonksiyonuna değerler verilmiştir. Bu matris aşağıda verildiği gibidir.

```
kural_Tablosu=[1 1 2 3 4; % 1=NB 2=NO
1 2 3 4 5; % 3=NK 4=S
2 3 4 5 6; % 5=PK 6=PB
3 4 5 6 7; % 7=PK
4 5 6 7 7];
```

2.5. Bölüm Değerlendirmesi

Bulanık sistemler günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlarda ilk önce tip-1 bulanık mantık tabanlı sistemler kullanılmıştır. Fakat günümüzde tip-1 bulanık mantık yerine tip-2 bulanık mantık sistemler geliştirilmekte ve var olan sistemler tip-2 bulanık mantık sistemlere dönüştürülmektedir. Fakat tip-2 bulanık sistemler tip-1 bulanık sistemlere göre matematiksel olarak daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu karmaşıklığı minimuma indirmek için ilk önce tip-2 bulanık sistemler aralıklı ve genel tip-2 bulanık sistemler olarak ayrılmıştır. Fakat bu yaklaşım hala karmaşıklığı azaltamadığından dolayı

aralıklı tip-2 bulanık sistemlerde tip indirgeme aşamasında oluşan işlem karmaşıklığını minimuma indirmek için önce KM ve daha sonrada EKM Algoritması geliştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar genel tip-2 bulanık sistemler içinde geliştirilmiştir. Genel tip-2 bulanık sistemler için EKMAIN ve Lui'nin algoritması geliştirilmiştir. Fakat hala tip-2 bulanık sistemlerin tip indirgeme aşamasında işlem karmaşıklığı tam olarak giderilememiştir.

Bu bölümde farklı alanlarda kullanılan tip-2 bulanık sistemler ve bu sistemler arasındaki farklar ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda sistem belirsizliğinin daha iyi modellenenebilmesi için genel tip-2 bulanık sistemler, işlem performansı açısından ise aralıklı tip-2 bulanık sistemler tercih edilmektedir. Fakat iki sistem arasındaki sistem çıkışları çok yakın olduğu ve gerçek dünyada işlem performansı çok daha önemli olduğundan aralıklı tip-2 bulanık sistemlerin kullanımı daha yaygındır.

Yapılan incelemeler sonucunda tip-2 bulanık sistemlerde oluşan işlem karmaşıklığının tam olarak giderilemediği saptanmıştır. Bu sorunun giderilebilmesi için bölüm 3'de yeni bir yaklaşım önerilmiş ve gerekli analizler bu bölümde yapılmıştır.

3. TİP-2 BULANIK SİSTEMLER İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI YENİ BİR DURULANDIRMA YÖNTEMİ

3.1. Giriş

Bu bölüm farklı tip indirgeme yöntemleri ile ilgili analizler yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı karmaşık olan tip-2 bulanık sistemlerin gerçek sistemlerde basit bir şekilde uygulanabilmesini sağlayabilmektir. Bunun için gerekli çalışmalar ve analiz işlemleri ayrıntılı olarak bu bölümde yer almıştır.

Tip-2 bulanık sistemler için yapılan çalışmada yeni bir tip indirgeme ve durulandırma yöntemi önerilmiştir ve bunun için gerekli analizler ve çalışmalar yapılmıştır. Önerilen örnek çalışma için görüntü işleme yöntemleri kullanılmış ve bu yöntemin karşılaştırmalı sonuçlarının grafiksel ve sayısal olarak verilmiştir. Yöntemin doğruluğunu ve işlevselliğini gösterebilmek için KM ve EKM tip indirgeme algoritmaları kullanılmıştır. Önerilen örnek yöntem ile tip-2 bulanık sistemlerde tip indirgeme ve durulandırma aşamasında oluşan işlem karmaşıklığı minimuma indirerek daha basit bir şekilde tip-2 bulanık sistemlerin uygulanabilmesi sağlanmıştır.

3.2. Önerilen Yöntem

Bu tez çalışmasında tip-2 bulanık sistemlerin tip indirgeme ve durulandırma aşamalarındaki işlem karmaşıklığını gidermek için yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen bu yöntem ile görüntü işleme tabanlı tip indirgeme ile hızlı bir şekilde tip-1 bulanık kümeler elde edilmekte ve bu bulanık kümeler kullanılarak durulandırma aşamasında sistem için kesin değerlerin üretilmesi sağlanmıştır.

Bu yöntemde yapılan işlemlerin sırası şu şekildedir;

1. Çıkış üyelik fonksiyonu siyah beyaz resim formatına dönüştürülür,
2. Resim formatına dönüştürülen veri değerleri matris formatına dönüştürülür,
3. Aralıklı tip-2 bulanık sistemde ikincil üyelik derecesi 1 kabul edilir ve matristeki her sütun üzerindeki siyah pikseller sayılır ve sütun değeri ile siyah piksel sayısı çarpılır. Bu aşamada genel tip-2 bulanık sistemde ikincil üyelik derecesi rastgele olarak belirlenir ve matristeki her bir siyah pikselin ikincil üyelik dereceleri toplanır

ve sütun sayısı ile çarpılır, bu işlem tüm sütun değerleri için yapılır ve elde edilen sonuçlar toplanır,

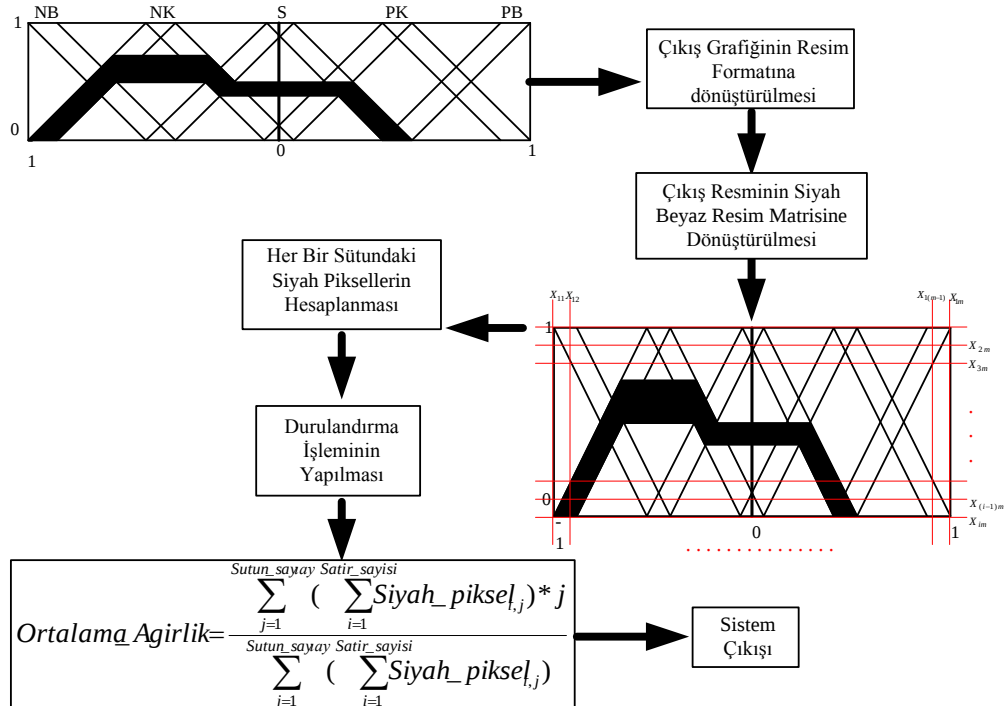
4. Üçüncü aşamada elde edilen toplam değerler; aralıklı tip-2 bulanık sistemde siyah piksel sayısına bölünürken, genel tip-2 bulanık sistemde ise her bir siyah piksel ikincil üyelik derecelerinin toplamına bölünerek sistem çıkışı elde edilir.

Yukarıdaki sistem aşamaları kontrol edildiğinde basit matematiksel işlemler kullanılarak hızlı sistem cevabı verebilen tip-2 bulanık sistemlerin tasarlanması sağlanmış olmaktadır. Denklem 3.1’de önerilen yöntemin matematiksel gösterimi verilmiştir.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x'_i * u_{\bar{A}}(x'_i)}{\sum_{i=1}^n u_{\bar{A}}(x'_i)} \quad (3.1)$$

Denklemden x'_i , sütun sayısı ve $u_{\bar{A}}(x'_i)$, siyah piksellerin ikincil üyelik derecesi değerlerini göstermektedir.

Önerilen yöntemi kısaca özetlemek için Şekil 3.1’de bir blok diyagram verilmiştir.



Şekil 3.1. Önerilen algoritmanın blok diyagramı

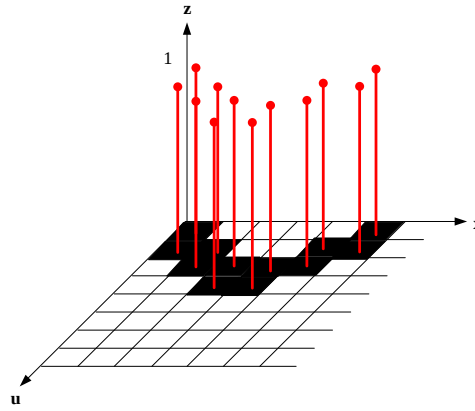
Önerilen yöntem hem aralıklı hem de genel tip-2 bulanık sistemler için geliştirilmiştir.

3.2.1. Aralıklı Tip-2 Bulanık Sistemler için Önerilen Yöntem

Önerilen yöntem aralıklı tip-2 bulanık sistemlerde uygulandığında her pikselin ikincil üyelik derecesi ($u_{\tilde{A}}(x'_i)=1$) “1” alınmaktadır ve ikincil üyelik dereceleri “1” olduğu için her sütundaki siyah piksellerin sayısının toplamı alınmaktadır. Örneğin 1 sütunda 3 siyah piksel bulunduğu varsayılırsa, her pikselin ikincil üyelik derecesi 1 olduğu için ikincil üyeliklerin toplamı 3 olacaktır. Denklem 3.2’de bu durumun matematiksel bir gösterimi verilmiştir.

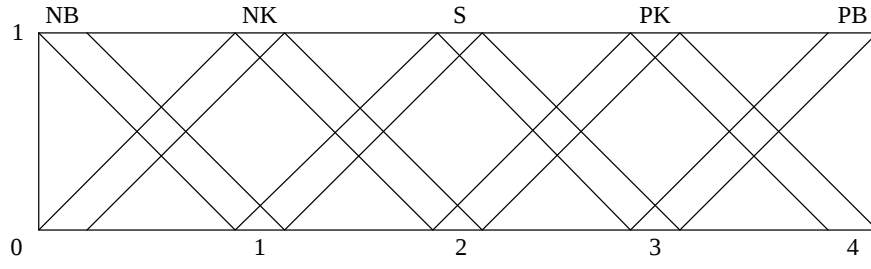
$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x'_i * (p_i)}{\sum_{i=1}^n u_{\tilde{A}}(x'_i)} \quad (3.2)$$

Denklemden p_i siyah piksellerin sayısını göstermektedir. Şekil 3.2’de görüntü tabanlı aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonunun üç boyutlu gösterimi verilmiştir.



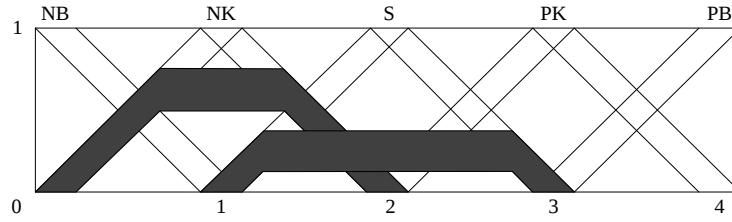
Şekil 3.2. 3D’ lu görüntü tabanlı aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonu

Şekil 3.2’de de görüldüğü gibi her bir siyah pikselin ikincil üyelik derecesi 1’dir. Şekil 3.3’de verilen çıkış üyelik fonksiyonunun görüntü tabanlı aralıklı bir tip-2 bulanık sisteme ait olduğunu varsayalım (bu çıkış üyelik fonksiyonu kullanılarak önerilen yöntemin adımları açıklanacaktır).



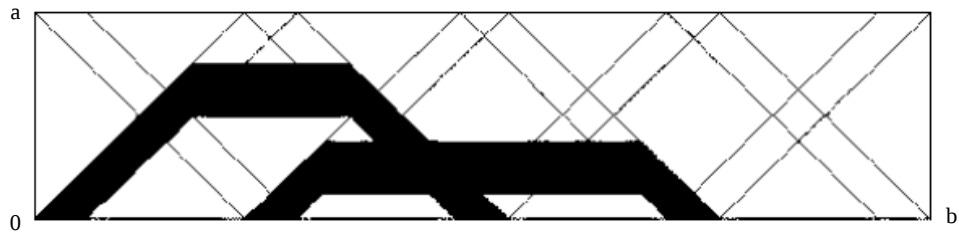
Şekil 3.3. Aralıklı tip-2 bulanık sistem için örnek üyelik fonksiyonu

Şekil 3.3’de verilen örnek çıkış üyelik fonksiyonu ile ateşleme kuralları sonucunda şekil 3.3’de verilen görüntünün elde edildiğini varsayalım.



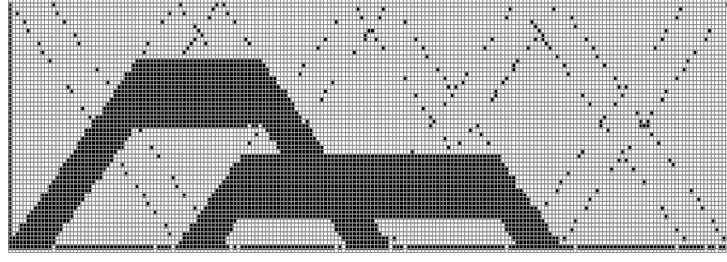
Şekil 3.4. Ateşleme kuralları sonucunda oluşan çıkış üyelik fonksiyonu

Şekil 3.4’de elde edilen çıkış üyelik fonksiyonu önce siyah/beyaz olarak resim formatına dönüştürülmektedir. Siyah/beyaz resim formatına dönüştürülen görüntü Şekil 3.5’te verildiği gibidir.



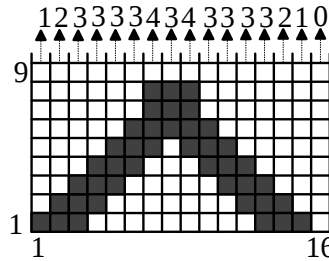
Şekil 3.5. Çıkış üyelik fonksiyonun siyah/beyaz resim formatına dönüşümü

Şekil 3.5’te elde edilen resim formatı matris formatına dönüştürülerek her piksel üzerinde işlem yapabilir hale getirilmektedir. Yani görüntü ayrıklaştırılarak sayısallaştırılmaktadır. Şekil 3.6’da şekil 3.5’te elde edilen resim görüntüsünün piksel olarak gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.6. Çıkış üyelik fonksiyonunun görüntü pikseli

Elde edilen piksel verileri matris formatına dönüştürüldükten sonra adım adım her sütundaki siyah piksel sayıları sayılıp sütun sayısı ile çarpılmaktadır. Bu işlem tüm sütunlar için yapılmakta ve sonuçları toplanmaktadır. Elde edilen toplam değer, toplam siyah piksel sayısına bölünmektedir. Yapılan bu işlem ile basit bir matematik işlem kullanılarak çıkış üyelik fonksiyonunun toplam alanı hesaplanmakta ve hesaplanan alanın ağırlık merkezi bulunmaktadır. Elde edilen bu değer sistemin çıkışıdır. Önerilen bu çalışma ile de görüntü pikselleri kullanılarak durulandırma aşamasında sistem çıkışının ağırlık merkezi hesaplanarak çıkış değerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Yukarıda verilen örneğin daha basit bir şekilde sayısallaştırılmış hali şekil 3.7’de verildiği gibidir.



Şekil 3.7. Görüntü pikseli üzerinde ağırlık merkezi hesabı

Şekil 3.7’deki 9x16’lık bir görüntü matrisine bakıldığında ilk sütunda 1, ikinci sütunda 2, üçüncü sütunda 3 vb. şeklinde diğer sütunlarında siyah piksel sayısı şekil üzerinde verilmiştir. Bu değerler kullanılarak sistemin ağırlık merkezi hesabı denklem 3.2 kullanılarak hesaplandığında;

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x'_i * (p_i)}{\sum_{i=1}^n u_{\tilde{A}}(x'_i)} = \frac{1 \times 1 + 2 \times 2 + 3 \times 3 + \dots + 13 \times 3 + 14 \times 2 + 15 \times 1 + 16 \times 0}{1 + 2 + 3 + \dots + 3 + 2 + 1 + 0}$$

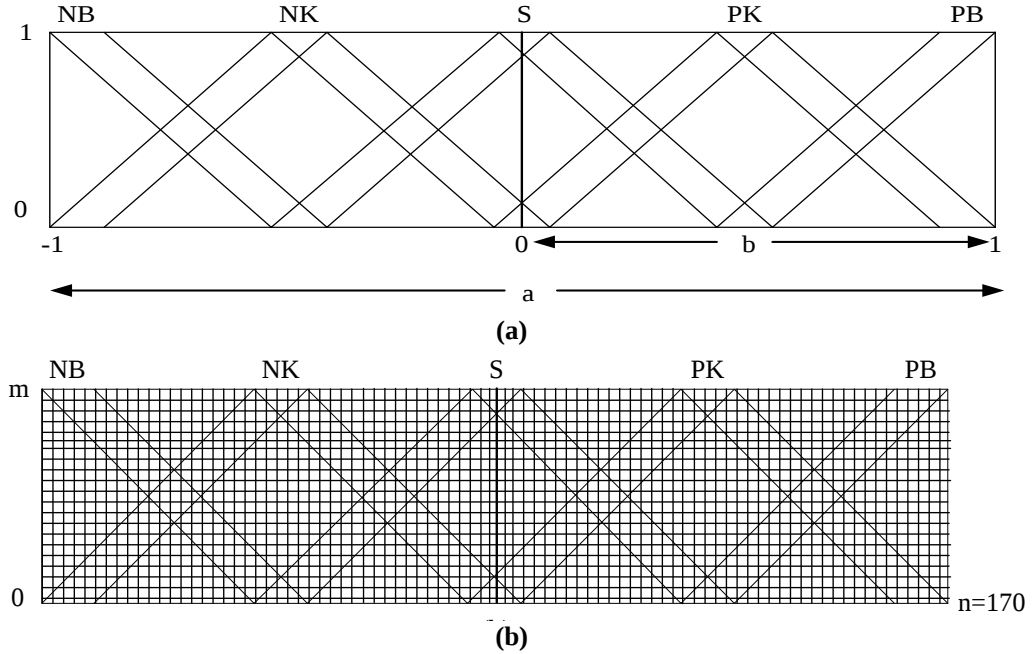
$$= \frac{328}{41} = 8$$

olacaktır.

Sistem çıkışı olarak 8 değeri gözlenmektedir. Bu değer gerçek sistem çıkış değeri değildir. Gerçek değere dönüştürülebilmesi için denklem 3.3'de verilen matematiksel ifade kullanılmaktadır.

$$y = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x'_i * (p_i)}{\sum_{i=1}^n u_{\tilde{A}}(x'_i)} * \frac{a}{n} \right) - b \quad \left(b = \frac{a}{2} \right) \quad (3.3)$$

Denklemden verilen a parametresi çıkış üyelik fonksiyonunun maksimum ve minimum değerleri arasındaki mutlak fark anlamına gelmektedir. n parametresi görüntü matrisinin sütun sayısı ve b parametresi ise ötelenen değerdir. Bu değer a parametresinin yarısına eşit olup bu ifadeler şekil 3.8'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.8. (a) Tip-2 çıkış üyelik fonksiyonu (b) Görüntü matrisi

Bu dönüşüm işlemine göre şekil 3.5'te verilen görüntü pikselinin gerçek çıkış değeri;

$$y = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x'_i * (p_i)}{\sum_{i=1}^n u_{\tilde{A}}(x'_i)} * \frac{a}{n} \right) - b = \left(\frac{240320}{3072} * \frac{2}{201} \right) - 1 = -0.2216$$

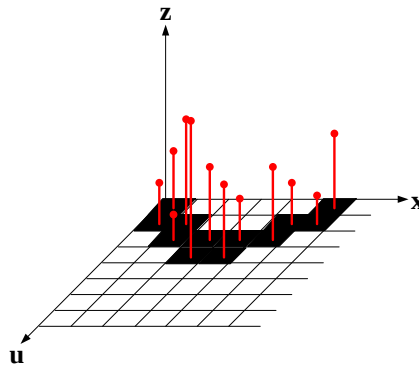
olacaktır.

Buna göre görüntü tabanlı aralıklı tip-2 bulanık sistemin her giriş değerine karşılık gelen aktif kuralların çıkarım mekanizması sonucunda elde edilen çıkış üyelik fonksiyonun çıkış değerinin elde edilmesini gösteren kod parçasığı aşağıda verildiği gibidir.

```
for j=1:sutun to
  for i=1:satir to
    if b[i,j]==0//siyah pikseller
      sayac=sayac+1;
      sayac_toplam= sayac_toplam+1;
    end
  end
  toplam=toplam + sayac *j;
  sayac=0;
end
ortalama_gecici= toplam/ sayac_toplam;
ortalama= (ortalama_gecici*a/ sutun)-b;
```

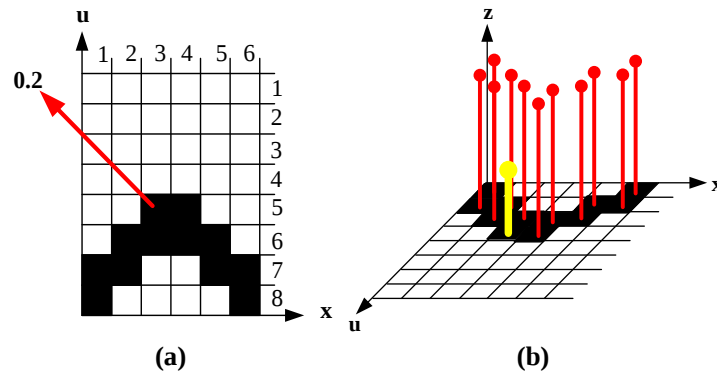
3.2.2. Genel Tip-2 Bulanık Sistemler için Önerilen Yöntem

Görüntü tabanlı tip-2 bulanık sistem, genel tip-2 bulanık sistem içinde geliştirilerek yeni bir yöntem önerilmiştir. Burada görüntü tabanlı aralıklı tip-2 bulanık sistemden farklı olarak ikincil üyelik derecesi 1 yerine [0, 1] arasında değişen rastgele değerler alınmaktadır. Yani görüntü üzerinde yer alan ateşleme kuralları sonucu elde edilen çıkış üyelik fonksiyonundaki siyah piksellerin ikincil üyelik derecesi 1 değil [0, 1] arasında değişen rastgele sayılardır. Şekil 3.9'da görüntü tabanlı genel tip-2 üyelik fonksiyonunun üç boyutlu gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.9. 3D' lu Görüntü tabanlı tip-2 üyelik fonksiyonu

Şekil 3.9'da da görüleceği üzere her bir siyah pikselin ikincil üyelik derecesi (denklem 3.2'deki p_i) $[0, 1]$ arasında rastgele değerlerdir. Bu çalışmanın adımları verilirken sistemin çıkış üyelik fonksiyonu olarak şekil 3.4'de verilen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır (bu çıkış üyelik fonksiyonu üzerinden önerilen yöntem adımları anlatılacaktır). Görüntü tabanlı genel tip-2 bulanık sistem modeli adımları, görüntü tabanlı aralıklı tip-2 bulanık sistem adımları ile aynıdır. Tek fark ikincil üyelik derecesinin belirlendiği aşamada yaşanmaktadır. Bu bilgi doğrultusunda görüntü tabanlı aralıklı tip-2 bulanık sistem için anlatılan adımlar burada da geçerlidir. Farklı olan noktada siyah piksellerin ikincil üyelik derecesi 1 olmadığı için sütun sayısı sütundaki siyah piksel sayısı ile değil de her siyah pikselin ikincil üyelik derecelerinin toplamı ile çarpılmakta ve bu işlem tüm sütunlar için yapılmaktadır. Elde edilen toplam değer tüm piksellerin ikincil üyelik derecelerinin toplamına bölünerek gerçek çıkış değeri elde edilmektedir. Yapılan bu işlemi gösteren denemeler aşağıda verildiği gibidir.

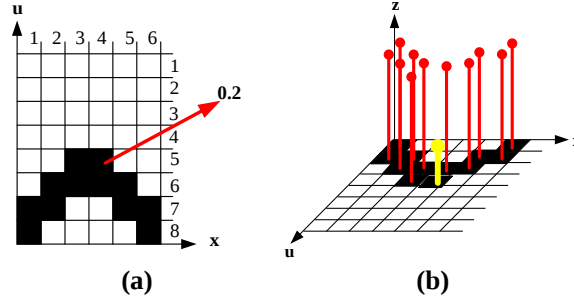


Şekil 3.10. (3,5) görüntü pikselinin ikincil üyelik derecesi 0.2 için üyelik fonksiyonu (a) Birincil üyelik fonksiyonu (b) İkincil üyelik fonksiyonu

Şekil 3.10'da verilen örnek çıkış üyelik fonksiyonunda sadece (3,5) görüntü pikselinin ikincil üyelik derecesi 0.2, diğer tüm siyah piksellerin ikincil üyelik derecesi 1 olarak alınıp denklem 3.1'e göre çıkış değerlerinin hesaplanması aşağıda verilmiştir.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x'_i * u_{\tilde{A}}(x'_i)}{\sum_{i=1}^n u_{\tilde{A}}(x'_i)} = \frac{1 * 2 + 2 * 2 + 3 * (1 + 0.2) + 4 * 2 + 5 * 2 + 6 * 2}{2 + 2 + 1.2 + 2 + 2 + 2} = \frac{39.6}{11.2} = 3.54$$

Eğer ateşlenen kurallar sonucu elde edilen çıkış üyelik fonksiyonunun tüm siyah piksellerinin ikincil üyelik derecesi 1 olarak alınırsa çıkış değeri 3.5 olurken, sadece soldaki (3,5) pikselin ikincil üyelik değerini 0.2 alındığında çıkış değeri (ağırlık merkezinin) sağa kaymakta ve 3.54 olarak hesaplanmaktadır. Bunun nedeni ise sağ taraftaki pikseller için işlem ağırlığının daha fazla olmasıdır.

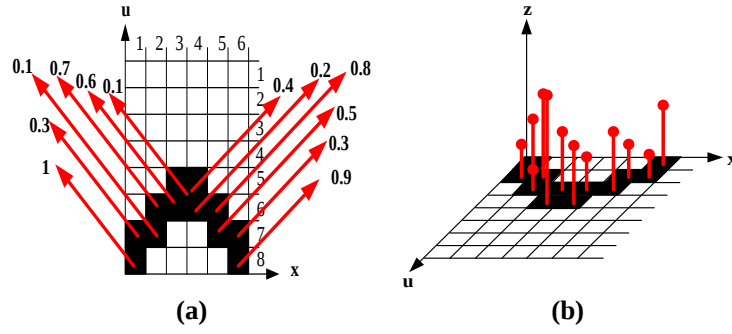


Şekil 3.11. (4,5) görüntü pikselinin ikincil üyelik derecesi 0.2 için üyelik fonksiyonu (a) Birincil üyelik fonksiyonu (b) İkincil üyelik fonksiyonu

Şekil 3.11’de verilen örnek çıkış üyelik fonksiyonunda sadece (4,5) görüntü pikselinin ikincil üyeli derecesi 0.2, diğer tüm siyah piksellerin ikincil üyelik derecesi 1 olarak alınıp denklem 3.1’e göre çıkış değerinin hesaplanması aşağıda verildiği gibidir.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x'_i * u_{\tilde{A}}(x'_i)}{\sum_{i=1}^n u_{\tilde{A}}(x'_i)} = \frac{1 * 2 + 2 * 2 + 3 * 2 + 4 * (1 + 0.2) + 5 * 2 + 6 * 2}{2 + 2 + 2 + 1.2 + 2 + 2} = \frac{38.8}{11.2} = 3.46$$

Ateşlenen kurallar sonucu elde edilen çıkış üyelik fonksiyonunun sadece sağdaki (4,5) pikselinin ikincil üyelik değeri 0.2 alındığında çıkış değeri (ağırlık merkezinin) sola kaymakta ve 3.46 olarak hesaplanmaktadır. Bunun nedeni ise sol taraftaki pikseller için işlem ağırlığının daha fazla olmasıdır.



Şekil 3.12. Görüntü pikselinin rastgele ikincil üyelik derecesi için üyelik fonksiyonu (a) Birincil üyelik fonksiyonu (b) İkincil üyelik fonksiyonu

Şekil 3.12’de verilen örnek çıkış üyelik fonksiyonunda siyah pikselin ikincil üyelik derecesi $[0, 1]$ arasında rastgele olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda denklem 3.1’e göre çıkış değerinin hesaplanması aşağıda verildiği gibidir.

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{\sum_{i=1}^n x'_i * u_{\bar{A}}(x'_i)}{\sum_{i=1}^n u_{\bar{A}}(x'_i)} \\
 &= \frac{1 * (1 + 0.3) + 2 * (0.1 + 0.7) + 3 * (0.6 + 0.1) + 4 * (0.2 + 0.4) + 5 * (0.8 + 0.5) + 6 * (0.3 + 0.9)}{(1 + 0.3) + (0.1 + 0.7) + (0.6 + 0.1) + (0.2 + 0.4) + (0.8 + 0.5) + (0.3 + 0.9)} \\
 &= \frac{21.1}{5.9} = 3.57
 \end{aligned}$$

Elde edilen bu değer aralıklı tip-2 bulanık sistemle yakın değerler ürettiği gözlemlenmiştir. Genel tip-2 bulanık sistemlerde ikincil üyelik fonksiyonunun derecesinin rastgele seçilmesi, belirsizliğin rastgele olarak modellenmesinden kaynaklanmaktadır. Burada da elde edilen çıkış değeri gerçek değer değildir. Gerçek sistem çıkışının elde edilebilmesi için denklem 3.2 kullanılarak görüntü piksel ağırlık merkezi gerçek değerine dönüştürülmektedir. Buna göre Şekil 3.3’de verilen görüntü pikselinin gerçek çıkış değeri önerilen yöntem kullanılarak hesaplanırsa;

$$y = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x'_i * (p_i)}{\sum_{i=1}^n u_{\bar{A}}(x'_i)} * \frac{a}{n} \right) - b = \left(\frac{196880}{2491.1} * \frac{2}{201} \right) - 1 = -0.2198$$

olacaktır.

Şekil 3.11’de gösterilen blok diyagram, genel tip-2 bulanık sistemler içinde geçerlidir fakat yapılan işlem her katman için ayrı ayrı gerçekleştirilmektedir. Görüntü tabanlı genel tip-2 bulanık sistem yaklaşımı kullanılarak sistem çıkışının hesaplandığı kod parçacığı aşağıda verilmiştir.

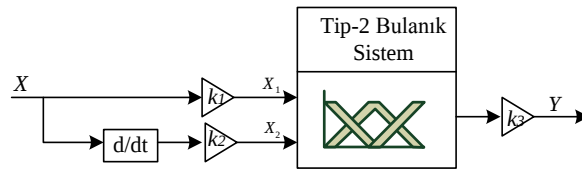
```

for j=1:sutun to
  for i=1:satir to
    if b[i,j]==0//siyah pikseller
      sayac=sayac+random(0,1);
    end
  end
  toplam=toplam + sayac *j;
  sayac_toplam= sayac_toplam+ sayac;
  sayac=0;
end
ortalama_gecici= toplam/ sayac_toplam;
ortalama= (ortalama_gecici*a/ sutun)-b;

```

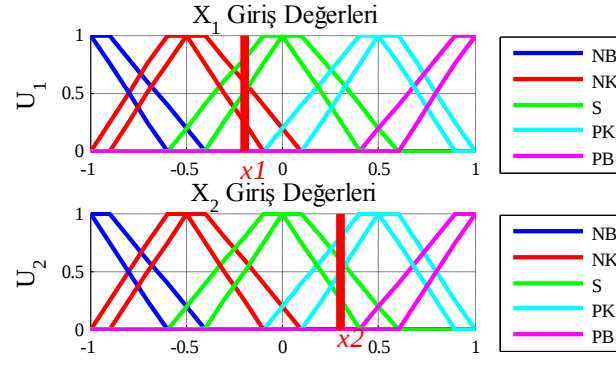
3.3. Simülasyon Sonuçları

Aralıklı ve genel tip-2 bulanık sistem için önerilen yöntemlerin doğruluğunu test etmek amacıyla Matlab programlama dili kullanılarak simülasyonlar yapılmış ve bu simülasyonlar sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Şekil 3.13’de verilen iki girişli (X_1 , X_2) ve bir çıkışlı (Y) tip-2 bulanık sistem kullanılarak tip indirgeme ve durulandırma işlemleri yapılmıştır.



Şekil 3.13. Tip-2 bulanık sistem

Örnek sistemde giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarının taban aralıkları $[-1 \ 1]$ arasında değişmektedir. Şekil 3.13’deki örnek sistem için tasarlanan üyelik fonksiyonları Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14. X_1 ve X_2 giriş ve Y çıkış üyelik fonksiyonları

Şekil 3.14’de verilen X_1 ve X_2 giriş değerleri için 5 ve Y çıkış değeri için 7 tane yamuk üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Örnek tip-2 bulanık sistem için tasarlanan kural tablosu tablo 3.1’de verildiği gibidir.

Tablo 3.1. Tip-2 bulanık sistem için kural tablosu

	NB	NK	S	PK	PB
NB	NB	NB	NO	NK	S
NK	NB	NO	NK	S	PK
S	NO	NK	S	PK	PO
PK	NK	S	PK	PO	PB
PB	S	PK	PO	PB	PB

Not: NB→Negatif Büyük, NO→Negatif Orta,
 NK→Negatif Küçük, S→Sıfır,
 PK→Pozitif Küçük, PO→Pozitif Orta,
 PB→Pozitif Büyük

Şekil 3.13’de verilen örnek tip-2 bulanık sistem için, şekil 3.14’deki üyelik fonksiyonları ve tablo 3.1’deki kural tabloları kullanılarak $X_1=0.2$ ve $X_2=-0.3$ giriş değerleri için tip-2 bulanık sistemin hesaplama adımları verilmiştir.

1 Adım. Giriş değerlerinin kestiği üyelik fonksiyonları belirlenir.

$X_1=0.2$ giriş değeri için S ve PK üyelik fonksiyonlarında keser

$X_2=-0.3$ giriş değerleri için NK ve S üyelik fonksiyonlarında keser

Bu değerlerin kesim noktaları Şekil 3.14’ de gösterilmiştir.

2 Adım. Giriş değerlerinin kestiği üyelik fonksiyonlarında ateşleme aralıkları hesaplanır.

$X_1=0.2$ giriş değerinin S parametresindeki üyelik derecesinin hesaplanması,

$$\frac{\overline{\mu_{X_1}^S}}{1} = \frac{x_a - X_1}{x_a - x_b} = \frac{0.6 - 0.2}{0.6 - 0.1} = \frac{0.4}{0.5} = 0.8$$

$$\frac{\mu_{X_1}^S}{0.9} = \frac{x_a - X_1}{x_a - x_b} = 0.9 \times \frac{0.4 - 0.2}{0.4 - 0} = 0.9 \times \frac{0.2}{0.4} = 0.45$$

$X_1=0.2$ giriş değerinin PK parametresindeki üyelik derecesinin hesaplanması,

$$\frac{\overline{\mu_{X_1}^{PK}}}{1} = 1 \times \frac{X_1 - x_a}{x_b - x_a} = \frac{0.2 + 0.1}{0.4 + 0.1} = \frac{0.3}{0.5} = 0.6$$

$$\frac{\mu_{X_1}^{PK}}{0.9} = \frac{X_1 - x_a}{x_b - x_a} = 0.9 \times \frac{0.2 - 0.1}{0.5 - 0.1} = 0.9 \times \frac{0.1}{0.4} = 0.225$$

$X_2=-0.3$ giriş değerinin S parametresindeki üyelik derecesinin hesaplanması,

$$\frac{\overline{\mu_{X_2}^S}}{1} = \frac{X_2 - x_a}{x_b - x_a} = \frac{-0.3 - (-0.6)}{-0.1 - (-0.6)} = \frac{0.3}{0.5} = 0.6$$

$$\frac{\mu_{X_2}^S}{0.9} = \frac{X_2 - x_a}{x_b - x_a} = 0.9 \times \frac{-0.3 - (-0.4)}{0 - (-0.4)} = 0.9 \times \frac{0.1}{0.4} = 0.225$$

$X_2=-0.3$ giriş değerinin NK parametresindeki üyelik derecesinin hesaplanması,

$$\frac{\overline{\mu_{X_2}^{NK}}}{1} = \frac{x_a - X_2}{x_a - x_b} = \frac{0.1 - (-0.3)}{0.1 - (-0.4)} = \frac{0.4}{0.5} = 0.8$$

$$\frac{\mu_{X_2}^{NK}}{0.9} = \frac{x_a - X_2}{x_a - x_b} = 0.9 \times \frac{-0.1 - (-0.3)}{-0.1 - (-0.5)} = 0.9 \times \frac{0.2}{0.4} = 0.45$$

3 Adım. Ateşleme aralıkları değerleri çıkarım mekanizmasında kullanılır.

K1:Eğer X_1 S([0.45,0.8]) ve X_2 S([0.225,0.6]) $\rightarrow Y$ S ([0.225,0.6])

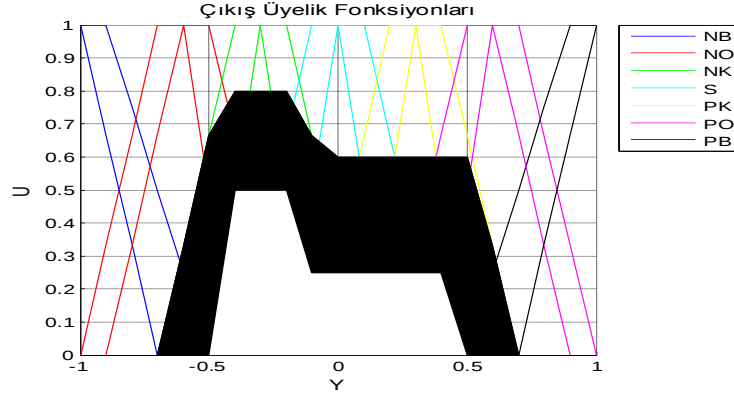
K2:Eğer X_1 S([0.45,0.8]) ve X_2 NK([0.45,0.8]) $\rightarrow Y$ NK([0.45, 0.8])

K3:Eğer X_1 PK([0.225,0.6]) ve X_2 S([0.225,0.6]) $\rightarrow Y$ PK ([0.225,0.6])

K4:Eğer X_1 PK([0.225,0.6]) ve X_2 NK([0.45,0.8]) $\rightarrow Y$ S([0.225,0.6])

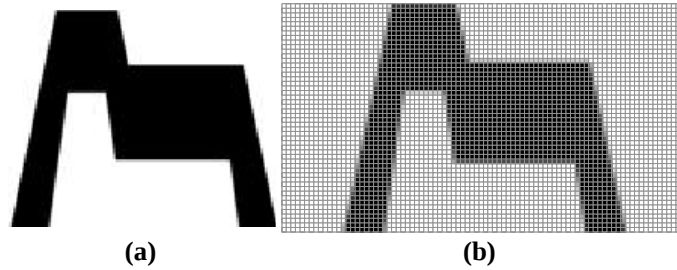
Not: Kurallarda minimum t-norm kuralı uygulanmıştır.

4 Adım. Çıkarım mekanizması sonucu çıkış üyelik fonksiyonu elde edilir. Çıkarım mekanizması sonucu elde edilen çıkış üyelik fonksiyonu şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Ateşleme kurallarıyla çıkış üyelik fonksiyonu

5 Adım. Görüntü tabanlı aralıklı tip-2 bulanık sistemlerde şekil 3.15'teki çıkış grafiği elde edildikten sonra grafik siyah/beyaz resim formatına dönüştürülmektedir. Şekil 3.16 (a)'da siyah/beyaz resim formatına dönüştürülmüş görüntü ve şekil 3.16 (b)'de görüntü matrisine dönüştürülmüş görüntü verilmiştir.



Şekil 3.16. Çıkış üyelik fonksiyonunun siyah/beyaz resim formatı ve görüntü matrisi

Bu aşamaya kadar yapılan tüm işlemler hem aralıklı hem de genel tip-2 bulanık sistemler için geçerlidir.

Testlerin yapıldığı bilgisayar, Intel(R) Core(TM) 2 Duo CPU T9300 işlemci, 2.50 GHz işlemci hızı, 3.00 GB RAM, 320.00 GB HDD ve 32 bit işletim sistemine sahiptir. İşletim

sistemi olarak Windows 7 kullanılmış olup, programlar Matlab 7.9.0 (R2009b) sürümünde geliştirilmiştir.

3.3.1. Aralıklı Tip-2 Bulanık Sistemler için Simülasyon Sonuçları

Şekil 3.16 (b)'deki her siyah pikselin ikincil üyelik derecesi 1'dir ve işlemler denklem 3.1 kullanılarak yapılmaktadır. Buna göre görüntü tabanlı aralıklı tip-2 bulanık sistemin $X_1=0.2$ ve $X_2=-0.3$ giriş değerleri için sistem çıkış değeri 0.0404'dür. Aynı işlemler farklı giriş değerleri içinde uygulanmış olup, bu değerlerin KM, EKM ve önerilen yöntemden elde edilen sistem çıkışları ile işlem maliyetleri karşılaştırılmıştır. Tablo 3.2'de sistem çıkışları ve tablo 3.3'de işlem maliyetleri verilmiştir (tablo 3.2'de verilen örnek sistem için çıkış değerleri hesaplandığında KM ve EKM için 201 nokta kullanılırken önerilen yöntem için $1490 \times 845 = 1255090$ nokta kullanıldı.).

Tablo 3.2. Aralıklı tip-2 bulanık sistemin için KM, EKM ve Önerilen yöntem için farklı giriş değerleri için sistem çıkışları

X_1 X_2	Çıkış Üyelik Fonksiyonu	KM(EKM)	Önerilen
0.2 -0.3		-0.0457	-0.0109
-0.3 -0.3		-0.3616	-0.2604
-0.4 -0.2		-0.3765	-0.3317
-0.9 -0.1		-0.5874	-0.5239
0.3 0.7		0.5395	0.4861
0.8 0.9		0.7879	0.6900

Sistemin -0.2 ve 0.3 giriş değerleri ve 2001 nokta için EKM algoritması kullanılarak elde edilen cevabı 0.0404 ve işlem maliyeti 0.000657 saniyedir. -0.2 ve 0.3 değerleri için önerilen yöntem kullanılarak elde sistem çıkışı ve işlem maliyetleri tablo 3.3’de verildiği gibidir.

Tablo 3.3. Önerilen yöntemin farklı piksel değerleri için sistem çıkış değerleri ve işlem maliyetleri

Piksel (mxn)	Önerilen Yöntem	
	Sistem Çıkışı	İşlem Maliyeti (sn)
18x10	0.0780	0.000069
35x20	0.0467	0.000072
53x30	0.0241	0.000209
71x40	0.0177	0.000257
88x50	0.0131	0.000310
106x60	0.0113	0.000381
123x70	0.0081	0.000461
141x80	0.0078	0.000545
159x90	0.0076	0.000651
176x100	0.0059	0.000739
1490x845	0.0015	0.007271

Tablo 3.3 incelendiğinde önerilen yöntem kullanılarak yapılan hesaplamada aralıklı EKM algoritmasının işlem maliyetini 159x90(14310) piksel değerinde yakaladığı görülecektir. Tablo 3.4’de nokta ve piksel sayısına göre işlem maliyetleri verilmiştir.

Tablo 3.4. KM, EKM ve Önerilen yöntemin farklı nokta değerleri için sistemin işlem maliyeti

X_1 X_2	KM		EKM		Önerilen	
	Nokta	Zaman(sn)	Nokta	Zaman(sn)	Nokta	Zaman(sn)
0.2 -0.3	21	0.000208	21	0.000152	35x20	0.000131
0.2 -0.3	201	0.000279	201	0.000211	53x30	0.000115
0.2 -0.3	2001	0.000620	2001	0.003778	71x40	0.000265

Tablo 3.3 ve 3.4 incelendiğinde önerilen yöntemin KM ve EKM algoritmalarından daha hızlı çalıştığı görülecektir.

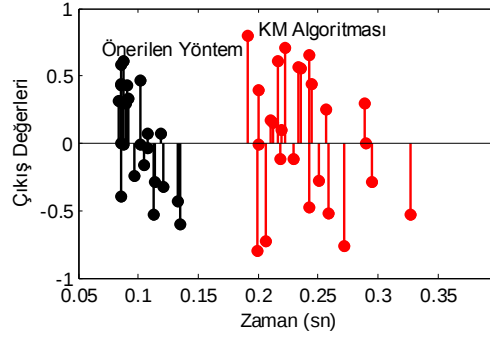
KM algoritması 2001 nokta ile, önerilen yöntem 1304976 (1488x877 piksel) nokta ile çalışmaktadır. Bu nedenle önerilen yöntem ile yapılan hesaplamalar daha hassastır.

Önerilen yöntemde daha fazla nokta kullanılmasına rağmen KM algoritmasından daha hızlı çalışmaktadır. İki sistemin hem sistem çıkışları hem de işlem maliyetleri tablo 3.5’te verilmiştir.

Tablo 3.5. Farklı sistem giriş değerleri için sistem çıkışları ve hesaplama maliyetleri

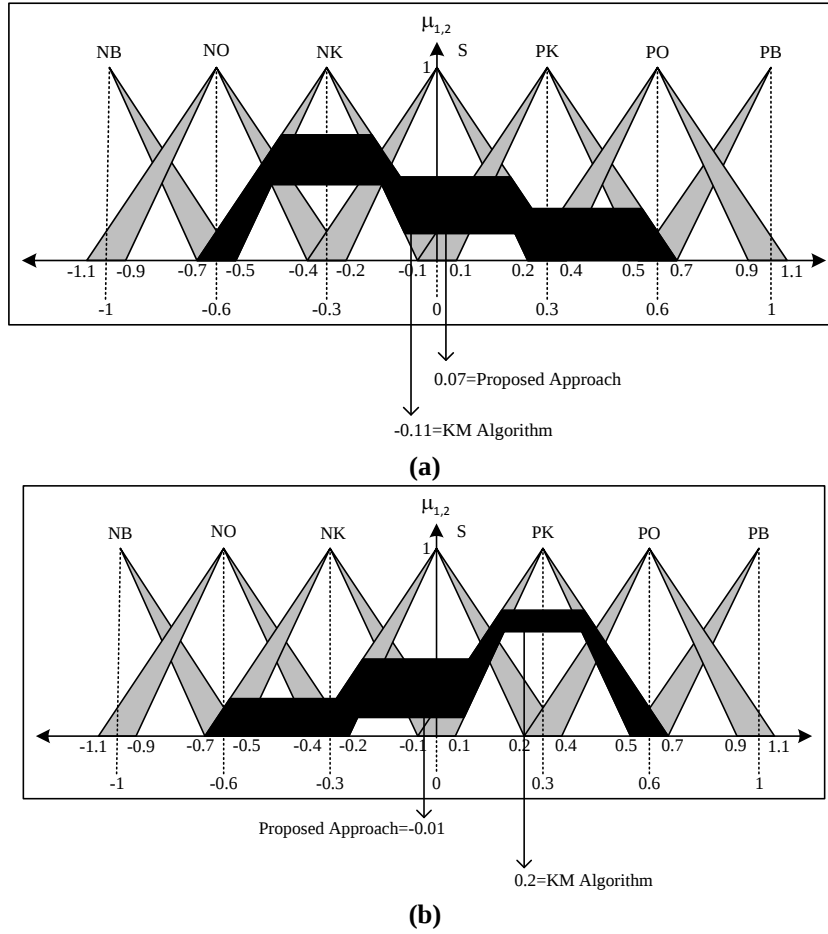
Giriş		KM Algoritması		Önerilen Yöntem	
X_1	X_2	Çıkış Değeri	İşlem Zamanı (sn)	Çıkış Değeri	İşlem Zamanı (sn)
-0,9	-0,95	-0,8	0,2	-0,6	0,14
-0,95	-0,4	-0,73	0,21	-0,43	0,13
-0,85	0,1	-0,48	0,24	-0,29	0,11
-0,8	0,6	-0,11	0,22	0,07	0,12
-0,75	0,95	0,1	0,22	-0,04	0,11
-0,55	-0,9	-0,77	0,27	-0,53	0,11
-0,45	-0,45	-0,53	0,33	-0,32	0,12
-0,4	0,2	-0,11	0,23	0,07	0,11
-0,35	0,7	0,25	0,27	0,3	0,09
-0,3	0,9	0,39	0,2	0,3	0,09
-0,05	-0,85	-0,52	0,26	-0,4	0,9
0,05	-0,55	-0,28	0,3	-0,16	0,1
0,1	0,15	0,17	0,21	0,34	0,1
0,15	0,65	0,44	0,24	0,47	0,1
0,2	0,85	0,57	0,23	0,43	0,1
0,45	-0,92	-0,28	0,25	-0,24	0,1
0,55	-0,55	0,00013	0,29	0,0021	0,09
0,52	0,05	0,3	0,3	0,3	0,09
0,6	0,55	0,61	0,22	0,31	0,08
0,65	0,8	0,71	0,22	0,58	0,09
0,9	-0,93	-0,005	0,2	-0,007	0,1
0,95	-0,65	0,2	0,21	-0,01	0,09
0,92	0,9	0,8	0,2	0,61	0,09
0,85	0,15	0,6	0,24	0,44	0,09
0,8	0,45	0,65	0,24	0,43	0,09

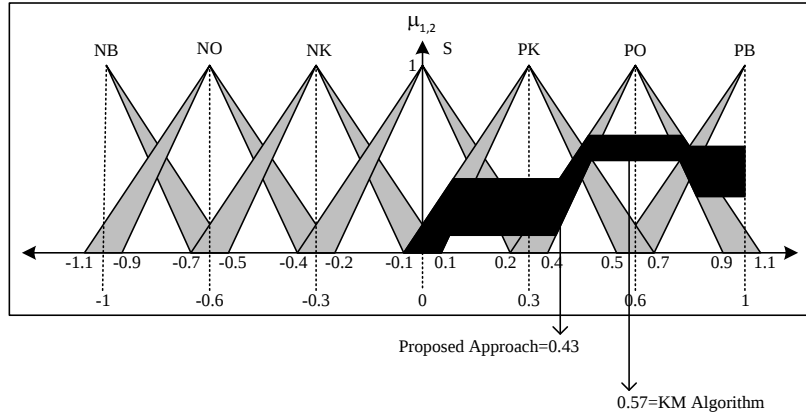
Tablo 3.5’te her bir giriş değeri için KM ve önerilen yaklaşım kullanılarak sistem çıkışları ve işlem maliyetleri gösterilmiştir. Tabloda kullanılan giriş değerleri özel olarak belirlenmiştir. Bu değerlerle önerilen yaklaşımın sistemin tüm değerleri için doğru çalıştığı gösterilmek istenmiştir. KM ve önerilen yaklaşımın işlem maliyetlerine göre elde edilen sistem çıkışları şekil 3.17’de gösterilmiştir. Bu değerler kontrol edildiğinde önerilen yaklaşımın, KM algoritmasından daha iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.17. KM ve Önerilen yöntemin zamana göre sistem çıkışları

Önerilen yöntemin doğruluğunu göstermek için şekil 3.18’de verilen sistem çıkışları kullanılmıştır. Sistem çıkışlarının doğruluğunun anlaşılması için çıkış üyelik fonksiyonları şekil 3.18’de gösterilmiştir. Şekil 3.18’de verilen durulandırma çıkışları incelendiğinde önerilen yaklaşımla çıkış üyelik fonksiyonunun ağırlık merkezine daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenecektir.

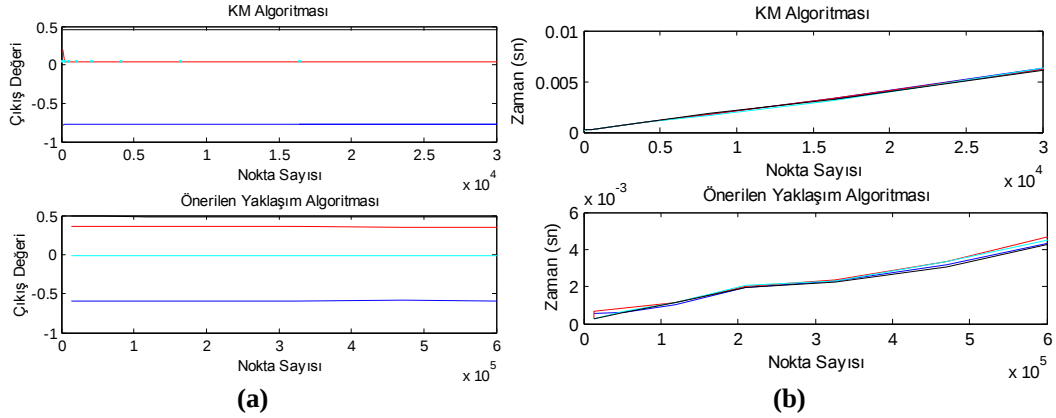




(c)

Şekil 3.18. KM ve Önerilen yöntemin durulandırma çıkışları (a) $X_1=-0.8$ ve $X_2=0.6$ (b) $X_1=0.95$ ve $X_2=-0.65$ (c) $X_1=0.2$ ve $X_2=0.85$

Önerilen yaklaşımın her bölgede ((+ +), (- +), (+ -) ve (- -)) doğru bir şekilde çalıştığını göstermek için her bölgeden giriş değerleri alınarak farklı bir çalışma daha yapılmıştır. Bu nedenle tip-2 bulanık sistemlerin giriş değerleri (-0.9 -0.8), (-0.4 0.7), (0.3 -0.2) ve (0.7 0.1) olarak seçilmiştir. Bu uygulamanın hem çıkış hem de işlem maliyetleri şekil 3.19'da gösterilmiştir. Her bir giriş değerinin çalıştığı örnek sayısı aynıdır.



Şekil 3.19. KM ve önerilen yöntemin sistem çıkışları ve işlem maliyetleri (a) Çıkış değerleri (b) İşlem maliyetleri

Şekil 3.19 a ve b'de verilen grafikler göz önüne alındığında önerilen yaklaşım, küçük pikselli görüntüler için bir dezavantajken, piksel sayısı artmasıyla bu durum avantaja dönüşmektedir. Bu durum önerilen yöntemin olumsuz yönü olarak gösterilebilir. Aynı durum KM algoritması içinde geçerlidir. KM algoritmasında bu durum tam tersi olarak görülmektedir. Yani aralık sayısı azaldıkça işlem maliyeti azalmakta, aralık sayısı arttıkça işlem maliyeti artmaktadır. Bu durum ise KM algoritmasının olumsuz bir yönüdür. Buda

önerilen yaklaşımın fazla iterasyonlu bir sistem için kullanımının uygun olduğunu göstermektedir.

Önerilen bu yöntem ile aralıklı tip-2 bulanık sistemlerin tip indirgeme ve durulandırma aşamalarındaki işlem karmaşıklığı azaltılarak gerçek zamanlı sistemlerde de uygulanabilirliği sağlanmıştır.

3.3.2. Genel Tip-2 Bulanık Sistemler için Simülasyon Sonuçları

Şekil 3.16 (b)'deki her siyah pikselin ikincil üyelik derecesi $[0, 1]$ aralığında rastgele değerlerdir ve işlemler denklem 3.3 kullanılarak yapılmaktadır. Denklem 3.1'de p_i değeri, görüntü tabanlı aralıklı tip-2 bulanık sistem için her pikselin ikincil üyelik derecesi 1 iken, görüntü tabanlı genel tip-2 bulanık sistemlerde $[0, 1]$ aralığında rastgele değişmektedir. Buna göre görüntü tabanlı aralıklı tip-2 bulanık sistemin $X_1=0.2$ ve $X_2=-0.3$ giriş değerleri için sistem çıkış değeri -0.0181'dir. Aynı işlemler farklı giriş değerleri için KM, EKM ve önerilen yöntemle kullanılarak sistem çıkış değerleri hesaplanmıştır. Sistem çıkışları ve işlem maliyetlerinin karşılaştırılması tablo 3.6 ve 3.7'de verilmiştir (tablo 3.6'da verilen örnek sistemin çıkış değerleri hesaplandığında KM ve EKM için 201 nokta kullanılır iken önerilen yöntem için $1490 \times 845 = 1255090$ nokta kullanıldığı görülecektir).

Tablo 3.6. Genel tip-2 bulanık sistemin için KM, EKM ve Önerilen yöntem için farklı giriş değerlerine karşılık çıkış değerleri

X_1 X_2	Çıkış Üyelik Fonksiyonu	KM(EKM)	Önerilen
0.2 -0.3		-0.0375	-0.0069
-0.3 -0.3		-0.3581	-0.3257
-0.4 -0.2		-0.3690	-0.3320
-0.9 -0.1		-0.5841	-0.5240

0.3 0.7		0.5263	0.4863
0.8 0.9		0.7686	0.7902

Genel tip-2 bulanık sistemler için alfa düzlemleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. 0 ve 1 alfa düzlemi dâhil toplam 6 düzlemle çalışılmıştır ($k=4$ alınmıştır) ve katmanda 2001 veri üzerinde çalışılmıştır. Buna göre 0.2 ve -0.3 giriş değerleri için genel EKM algoritması kullanılarak sistem cevabı ve her bir düzlem için geçen işlem süresi tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7. EKM -0.2 ve 0.3 giriş değerleri için sistem cevabı ve işlem maliyeti

Sistem Çıkışı	Düzlemlerin İşlem Maliyeti (sn)
0.0385	0.000862
0.0385	0.000857
0.0385	0.000539
0.0385	0.000404
0.0385	0.000424
	Toplam Maliyet (sn)
	0.003086

Önerilen yöntem kullanılarak farklı piksel değerleri için 0.2 ve -0.3 giriş değerlerinin sistem çıkış değeri ve işlem maliyetleri tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8. Önerilen yöntemin farklı piksel değerleri için sistem çıkış değerleri ve işlem maliyetleri

Piksel (mxn)	Önerilen Yöntem	
	Sistem Çıkışı	İşlem Maliyeti (sn)
18x10	0.0894	0.000200
35x20	0.0281	0.000414
53x30	0.0342	0.000446
70x40	0.0266	0.000585
88x50	0.0172	0.000623
106x60	0.0116	0.000442
123x70	0.0080	0.001220
141x80	0.0054	0.001165
159x90	-0.0038	0.001213
176x100	-0.0053	0.001413
1490x846	-0.0069	0.058103

Tablo 3.6 incelendiğinde önerilen yöntem kullanılarak yapılan hesaplamanın işlem maliyetinin, genel EKM algoritması kullanılarak yapılan işlem maliyetini 1490x846(1260540) piksel değerinde yakaladığı görülmektedir. Tablo 3.9’da kullanılan nokta ve piksel sayısına göre işlem maliyetleri verilmiştir (KM ve EKM algoritmaları için düzlem sayısı 4 alınmıştır ($k=4$)).

Tablo 3.9. KM, EKM ve Önerilen yöntemin farklı nokta değerleri için sistemin işlem maliyeti

X_1 X_2	KM		EKM		Önerilen	
	Nokta	Zaman (sn)	Nokta	Zaman (sn)	Nokta	Zaman (sn)
0.2 -0.3	21	0.003316	21	0.002526	35x20	0.000414
0.2 -0.3	201	0.003242	201	0.002307	53x30	0.000446
0.2 -0.3	2001	0.003390	2001	0.002152	71x40	0.000585

Tablo 3.8 ve 3.9 incelendiğinde önerilen yöntemin genel tip-2 bulanık sistemde de genel KM ve EKM algoritmalarından daha hızlı çalıştığı görülmektedir.

Önerilen bu yöntem ile genel tip-2 bulanık sistemlerin tip indirgeme ve durulandırma aşamalarındaki işlem karmaşıklığı azaltılarak gerçek zamanlı sistemlerde de uygulanabilirliği sağlanmıştır.

3.4. Bölüm Değerlendirmesi

Tip-2 bulanık sistemler günümüzde birçok alanda kullanılmakta ve bu kavramı gerçek zamanlı sistemlerde uygulayabilmek için hesaplama maliyetini düşürecek birçok yöntem geliştirilmektedir. Yapılan bu çalışmada tip-2 bulanık sistemlerin gerçek zamanlı sistemlerde uygulanabilmesi için görüntü işleme tabanlı yeni bir yöntem önerilmiştir ve önerilen yöntemi doğrulamak için Matlab ortamında denemeler yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Önerilen yöntemde ateşleme kuralları sonucunda çıkarım mekanizmasından elde edilen kurallar doğrultusunda oluşturulan çıkış üyelik fonksiyonu önce siyah/beyaz görüntüye, sonra elde edilen siyah/beyaz görüntü, görüntü matrisine dönüştürülmektedir ve son olarak görüntü matrisi üzerinde yer alan siyah piksellerin ağırlık merkezi hesaplanmaktadır. Yapılan bu hesaplama ile basit şekilde tip indirgeme ve durulandırma işlemi

gerçekleştirilmektedir. Tip indirgeme ve durulandırma aşamasında yapılan bu basit işlemin gerçek zamanda uygulanabilirliği test sonuçları ile gösterilmektedir.

Önerilen yöntemin sunduğu katkılar:

- İşlem maliyetini düşürmek,
- İşlemlerin karmaşık yapısını basitleştirmek,
- Sistem performansını veya verimini arttırmak,
- Gerçek zamanlı sistemlerde kullanışa elverişli olması olarak gösterilebilmektedir.

Sunulan bu katkılar ile tip-2 bulanık sistemlerin daha basit bir şekilde tüm sistemler için uygulanabilmesi amaçlanmaktadır.

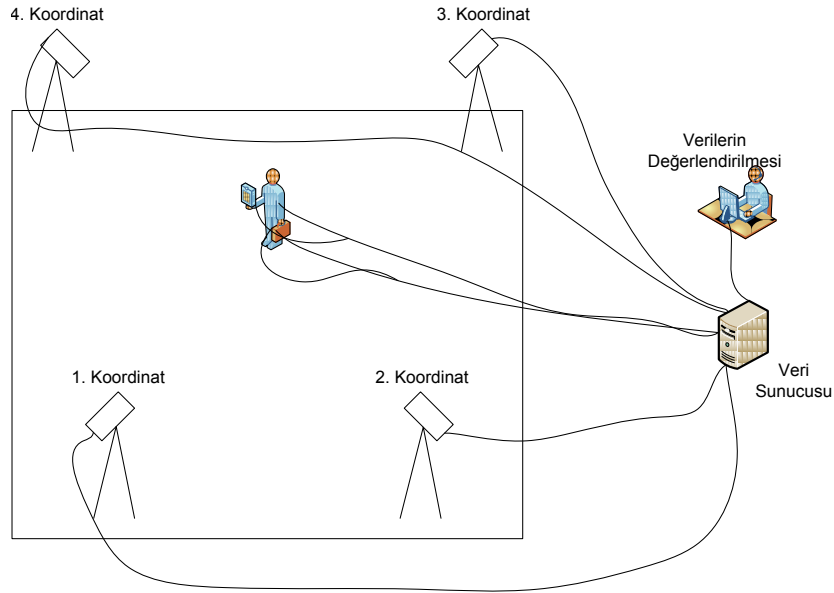
4. İNSAN HAREKETLERİNİN MODELLENMESİ

4.1. Giriş

Canlıların nasıl hareket ettiği, birçok akademisyen tarafında önemli bir araştırma konusu olmuştur. Yapılan çalışmalarda, canlıların hareketlerinin tanımlanabilmesi için biyomekanik analizler yapılmaktadır. Bu alanda, insan hareketleri için birçok bilim adamı farklı modeller önermiştir. İnsan hareket modelinin çıkarılması için kullanılan en temel 4 yöntem, aşağıda verildiği gibidir.

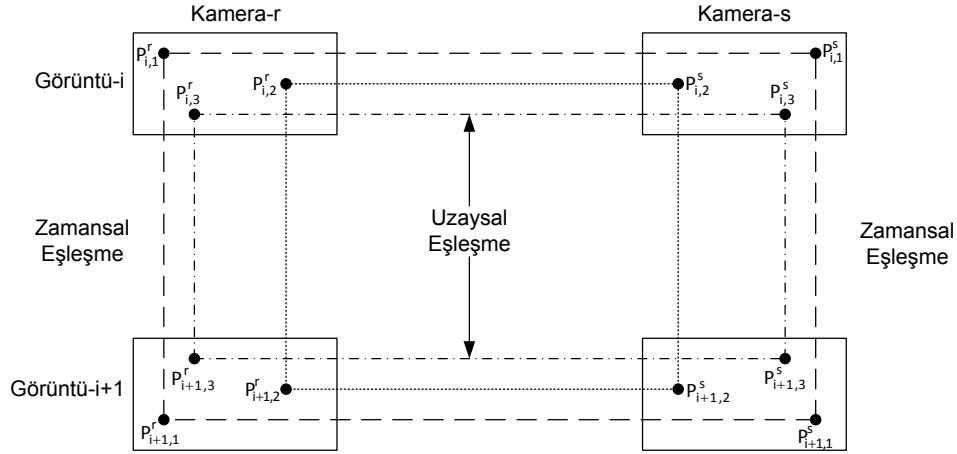
- Elektronik gönye
- İvmeölçer ve Jiroskop
- Elektro manyetik sistemler
- Görüntülü sistemler

Bu yöntemler içerisinde en sık, görüntülü sistemler kullanılmaktadır. Görüntülü sistemlerle hareket ölçümü yapılabilmesi için işaret noktaları ve kameralar kullanılmaktadır. Görüntülü sistemlerin çalışma yapısı şekil 4.1’de verilmiştir [18-20].



Şekil 4.1. Görüntü sisteminin çalışma prensibi [20].

Şekil 4.1’de gösterilen sistem kullanılarak hem insan hareket verileri hem de kişinin bulunduğu pozisyon bilgileri alınmaktadır. Kişinin pozisyon bilgisi marka eşleştirme kullanılarak hesaplanmaktadır. Marker eşleştirme yöntemi şekil 4.2’de gösterilmiştir [18-20].



Şekil 4.2. Marker Eşleştirilmesi [18].

Bu bilgiler işlenerek insan hareket ölçümlerinin yapılması sağlanmaktadır. Görüntü sistemi kullanılarak insan hareketi üç aşamada analiz edilmektedir. Birincisi hareketin belirlenmesi, ikincisi hareketin izlenmesi ve son aşamada vücut üyelerinin hareketlerinin analizi olarak belirlenmiştir [18]. İnsan hareketinin belirlenmesi, görüntü içerisindeki insanın tanınmasıdır. Bu alanda yapılan çalışmalar genellikle güvenlik amacıyla video takip sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu alanda iki farklı yöntem kullanılarak insan hareketleri belirlenmektedir; birincisi durum uzay yöntemi olup, ikincisi ise doku eşleştirme yöntemidir. Durum uzay yöntemi, anlık duruş evrelerinde elde edilen hareket yapıları ile elde edilen yeni görüntünün karşılaştırılmasıdır. Doku eşleştirme yöntemi ise yakalan görüntünün önceden var olan hareket yapısıyla karşılaştırılmasıdır [18].

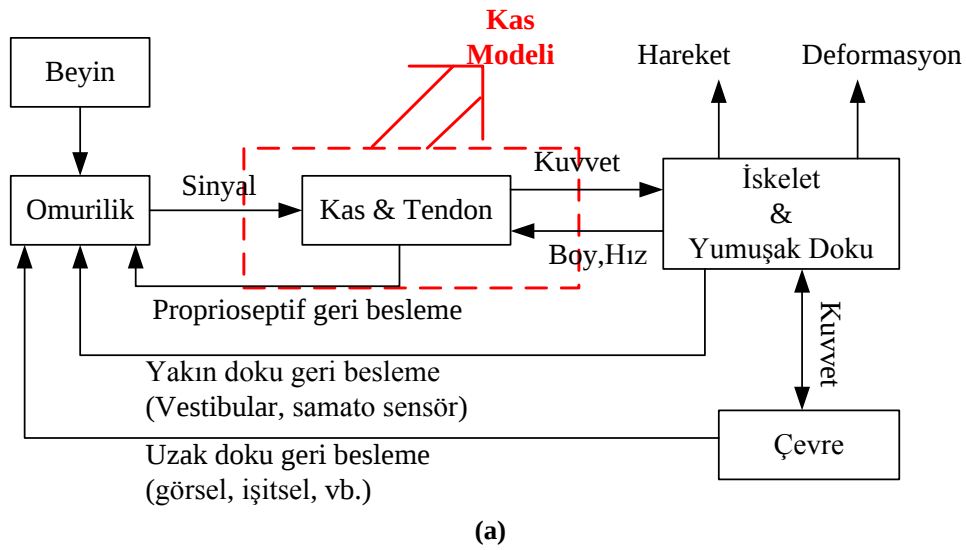
İnsan hareketinin izlenmesi, görüntü içerisinde hareket eden kişinin takibi demektir. Yapılan çalışmalar, görüntü içerisindeki kişinin algılanması veya yüz tanıma sistemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. İzleme işlemi, ardışık video görüntüleri arasındaki uzaklık, renk, şekil, doku gibi bilgileri kullanarak görüntüler arasındaki benzerlikler, zıtlıklar, ani değişim gibi bilgilerin ifade edilmesi anlamına gelmektedir. Yapılan çalışmalar iki

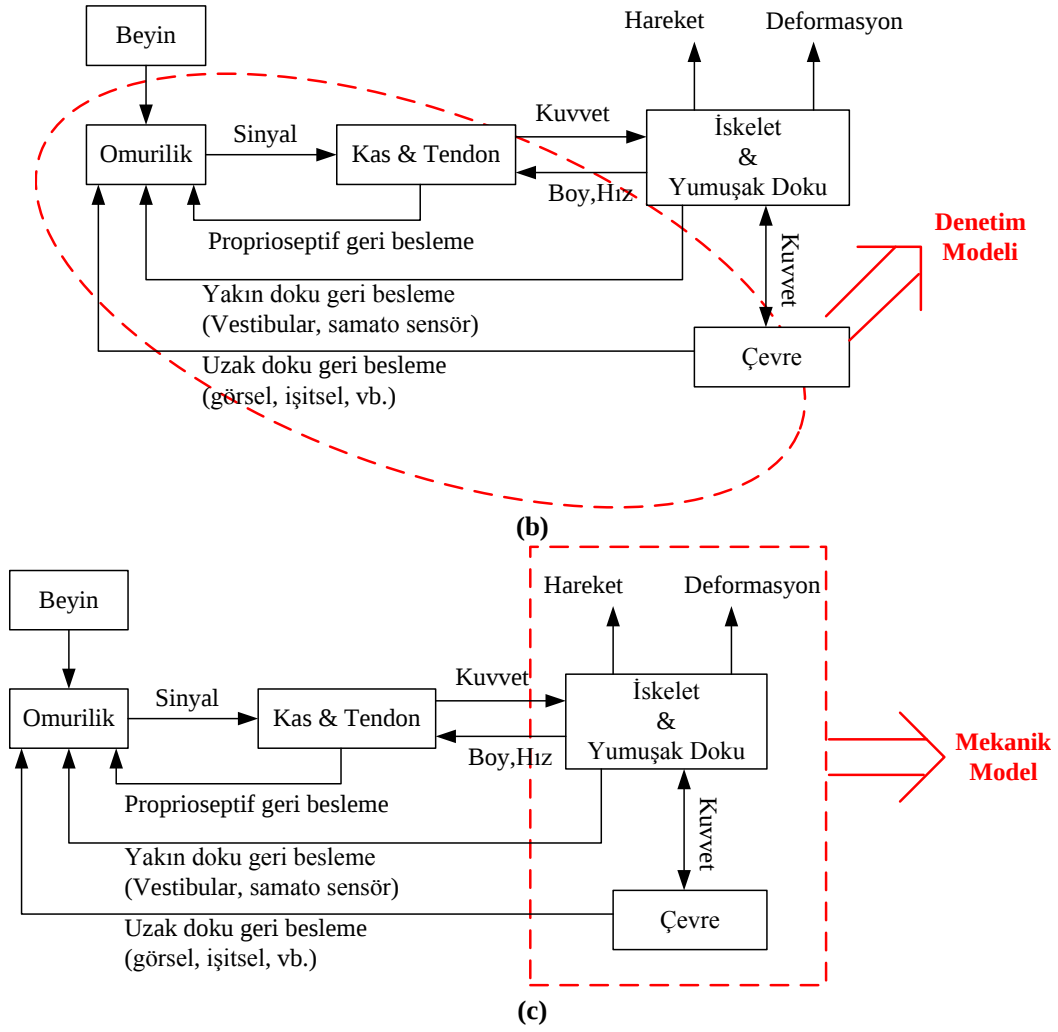
veya üç boyutlu olarak gerçekleştirilmektedir. İşlem karmaşıklığına göre ya çubuk şekiller ya da hacimsel modelleme yöntemleri kullanılmaktadır [18].

Vücut üyelerinin hareket analizi, vücut elemanlarının incelenmesi anlamına gelmektedir. Bu alanda yapılan en popüler çalışmalar tıp, motor kontrolü ve spor uygulamalarıdır [18].

Hareket ölçüm yöntemlerinden biri kullanılarak insan hareketi 3 farklı şekilde analiz edilmektedir. İlk olarak insanın kas modeli, ikincisi denetim modeli ve son olarak mekanik modeli çıkarılarak insan hareketleri incelenebilmektedir. Şekil 4.3’de bir insanın basit modeli gösterilmiştir [18].

İnsan kas modeli ile hareketin başlamasına ve devam etmesine neden olan kimyasal yapı incelenirken, insan denetim modelinde, hareketlerin sinirsel mekanizması olan sinirsel algılama ve motivasyon incelenmektedir. Son olarak insan mekanik modeli ile hareketler biyomekanik (zaman, uzaklık, kuvvet, moment, enerji, güç, vb.) açıdan incelenmektedir [18]. Şekil 4.3’de verilen şekil [18] numaralı kaynaktan alınmıştır.





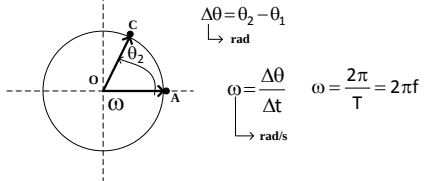
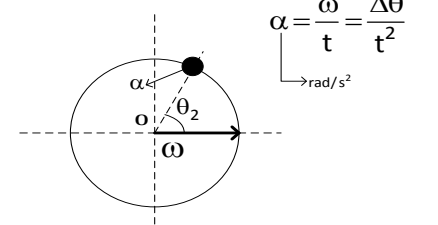
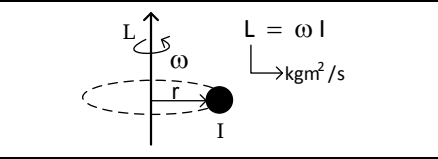
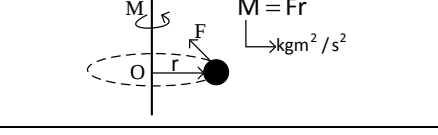
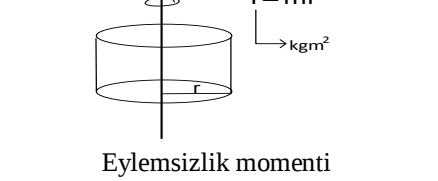
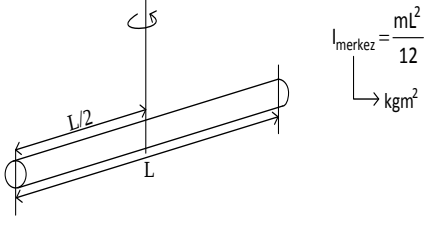
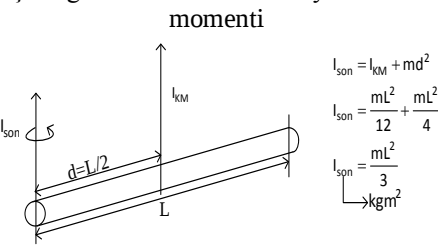
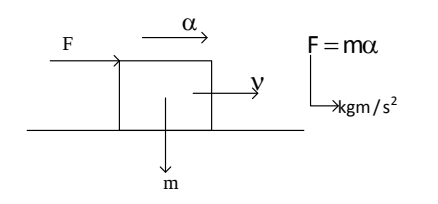
Şekil 4.3. Basit insan modeli (a) Kas modeli (b) Denetim modeli (c) Mekanik model[18].

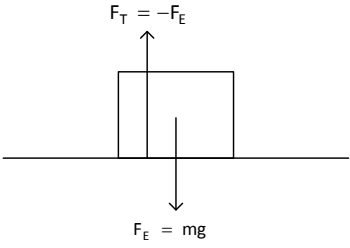
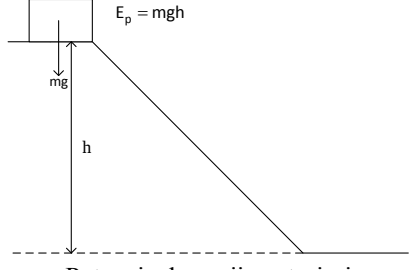
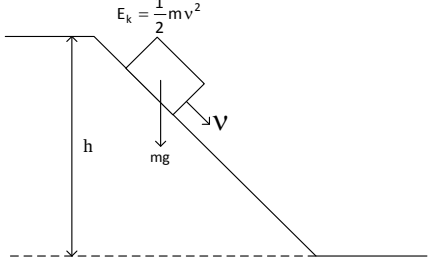
4.2. İnsan Hareketlerinde Kullanılan Temel Matematiksel İfadeler

İnsan hareketlerinin mekanik modelinde kullanılan bazı matematiksel terimler tablo 4.1’deverildiği gibidir.

Tablo 4.1. İnsan biyomekaniğinde kullanılan temel matematiksel ifadeler [73].

Matematiksel Terim	Tanım	Şekil ve Formül
Açısal Yer Değişim	Bir cismin dairesel bir yörüngede değiştirdiği açı farkıdır. $\Delta\theta$ ile gösterilir ve birimi radyan’dır. Yandaki şekilde açısal yer değişimi gösterilmiştir.	$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ $\curvearrowright \text{ rad}$

Açısal Hız	Bir cismin dairesel bir yörüngede birim zamanda taradığı açıya denilmektedir. ω ile gösterilir ve birimi radyan'dır. Yandaki şekilde açısal hızın şekil üzerindeki gösterimi verilmiştir.	
Açısal İvme	Açısal hızın birim zamandaki yer değişimine denilmektedir. α ile gösterilir ve birimi rad/s^2 'dir. Yandaki şekilde açısal ivmenin şekil üzerinde gösterimi verilmiştir.	
Açısal Moment	Bir cismin çizgisel momentum vektörünün herhangi bir noktaya göre dönmesine denilmektedir. L ile gösterilir ve birimi kgm^2/s 'dir.	
Moment	Kuvvetin döndürme etkisi anlamına gelmektedir. M ile gösterilir ve birimi kgm^2/s^2 'dir.	
Eylemsizlik Momenti	Dönme hareketi yapan bir cismin dönme eylemsizliğidir. I ile gösterilir ve birimi kgm^2'dir. Örneğin m kütleli bir cisim r uzunluğundaki noktasal bir cisim etrafında dönerse bu cismin eylemsizlik momentini. Eğer cisim çok parçalı ise sistemin eylemsizlik momentini hesaplanırken tüm parçaların eylemsizlik momentini ayrı ayrı hesaplanmaktadır ve sonra bu değerler toplanmaktadır. Yani $I_T = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$ olmaktadır. L uzunluklu m kütleli bir çubuğun eylemsizlik momentini şekil 4.8.a'da gösterilmiştir. Kütle merkezinden geçen eksene göre eylemsizlik momentini bilinen bir cismin bu eksenden d uzaklıktaki eksene göre eylemsizlik momentini hesaplanırken paralel eksen teoremi kullanılmaktadır.	 Eylemsizlik momentini  Çubuğun kütle merkezinin eylemsizlik momentini  Çubuğun d uzunluklu eksene göre eylemsizlik momentini
Kuvvet	Kütleli bir cisme hareket kazandıran etkiye denilmektedir. F ile gösterilir ve birimi kgm/s^2 (N)'dur. Ağırlıklı bir cismin yere uyguladığı kuvvete karşılık yerinde tepki kuvveti oluşmaktadır. Yere uygulanan etki kuvveti ile tepki kuvveti büyüklük olarak eşit fakat zıt kuvvetlerdir.	

		 Etki-Tepki kuvvetleri
İş	Bir cisme yol aldirmek için uygulanan kuvvete denir. W ile gösterilir. $W = Fx$ ile ifade edilir ve birimi $Nm(J)$ 'dir.	
Güç	Belli bir işi yapma hızına denir. Yani birim zamanda yapılan iştir. P ile gösterilir. $P = \frac{W}{t} = FV$ ile ifade edilir ve birimi $Nm/s(J/s)$ 'dir.	
Enerji	Bir cismin iş yapabilme yeteneğine denilmektedir. E ile gösterilir ve birimi J'dir. Kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Duran bir cismin depoladığı enerjiye potansiyel enerji denir. E_p ile gösterilir. Bir cismin hareketinden dolayı oluşan enerjiye kinetik enerji denir. E_k ile gösterilir.	 Potansiyel enerji gösterimi  Kinetik enerji gösterimi

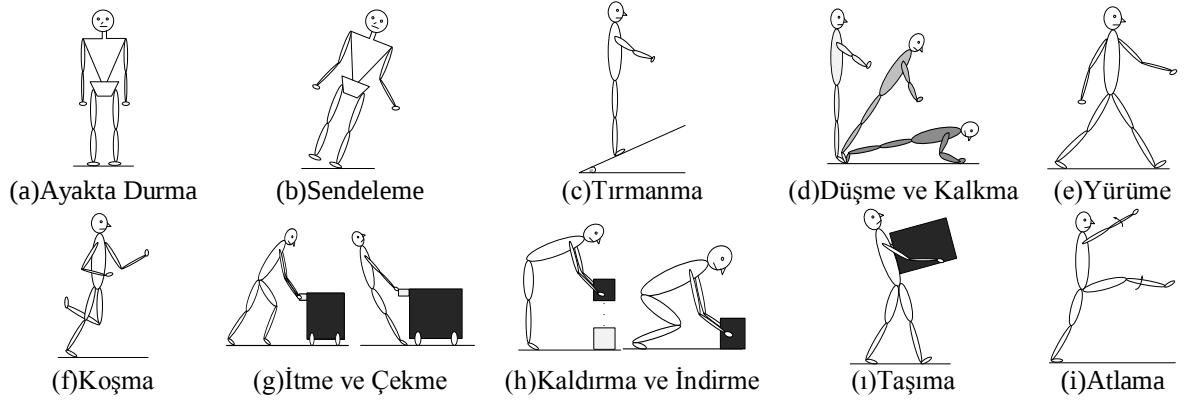
4.3. İnsan Modeli ve Analizi

İnsan hareketi; vücudun veya vücut parçalarının, değişik miktarlarda uygulanan kuvvete bağlı olarak; evrende zaman içerisinde durumlarında meydana gelen değişimdir.

Literatürde insan hareketleri ile ilgili üzerinde çalışılan hareketler ise şu şekildedir [17];

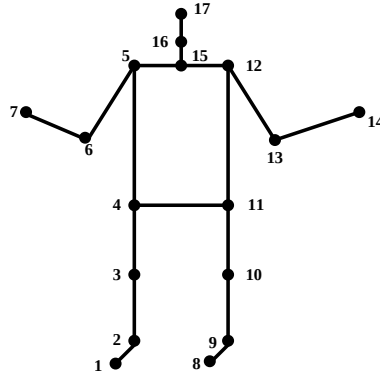
- Ayakta durma, dengede durma, kayma, düşme ve kalkma, yürüme, koşma, atlama, tutma, çekme ve itme, kaldırma ve indirme, taşıma, fırlatma, vurma, yakalama, tırmanma ve yüzme hareketleridir.

Bu hareketlerden bazıları [17], şekil 4.4'de gösterildiği gibidir. Bu şekiller [17] numaralı kaynaktan alınmıştır.



Şekil 4.4. İnsan hareketleri ve şekilleri [17].

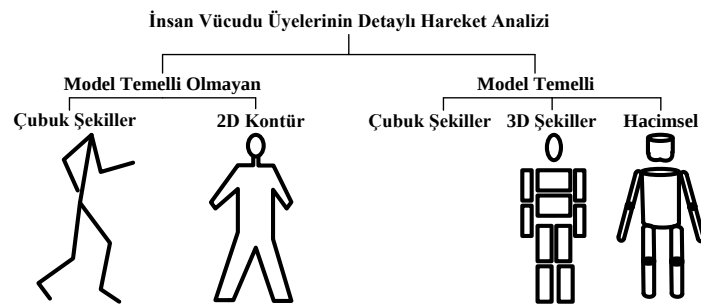
Durma, oturma, kalkma, zıplama, yürüme, koşma, tutma, itme, çekme, taşıma, yakalama, tırmanma ve kaldırma gibi insanın günlük yaşamında sürekli yaptığı temel hareketlerin modellenmesi önemli bir çalışma alanı olmakla birlikte belirli zorluklara sahiptir. Bu zorlukların yaşanmasında insan vücudunda yer alan üyelerin oluşturduğu serbestlik derecelerinin yüksek olması önemli bir etkiye sahiptir [3]. Serbestlik derecesi ne kadar yüksek ise veri kümesinin boyutu da o kadar büyük olmakta ve dolayısıyla işlem karmaşıklığı da buna paralel olarak artmaktadır. Yapılan ilk çalışmalarda insan hareketleri modellenirken basit yapısal modelleme teknikleri kullanılmıştır. Yapısal modelleme tekniğinin yanında fiziksel ve matematiksel modelleme teknikleri de kullanılmıştır [3]. Fakat günümüzde matematiksel modelleme teknikleri daha fazla kullanılmakta ve bu alanla ilgili iyileştirme yöntemleri geliştirilmektedir. Bunun nedeni matematiksel modelleme ile vücudun birçok karmaşık üyesinin modellenebilmesidir. Matematiksel model kullanılarak, insan vücudunun biyomekanik yapısının da yer aldığı iskelet ve kas sistemleri ağırlıksız ve parçalı olarak modellenmiştir [3]. Bu alanda ilk çalışma 1980’de Hatze tarafından yapılmış ve insan vücudunu 17 parçaya ayırarak modellemiştir. Şekil 4.5’te Hatze’nin modellediği insan figürü gösterilmektedir [10]. Bu şekil [10] numaralı kaynaktan alınmıştır.



Şekil 4.5. 17 parçalı insan modeli [3, 28].

Şekil 4.5'te verilen insan modelinin parça sayısı arttırılabilmektedir. Parça sayısı arttıkça modellenen hareket gerçeğe daha da yaklaşacaktır. Fakat matematiksel denklem sayısı arttığı için hesaplama karmaşıklığı da bu duruma bağlı olarak artacaktır. Örneğin üç boyutlu bir ortamda bir çubuğun modellenmesi için 6 hareket denklemi kullanılmaktadır [3]. Bu nedenle insan modelinde parça sayısı arttıkça denklem sayısı ve buna bağlı olarak işlem maliyeti artmaktadır.

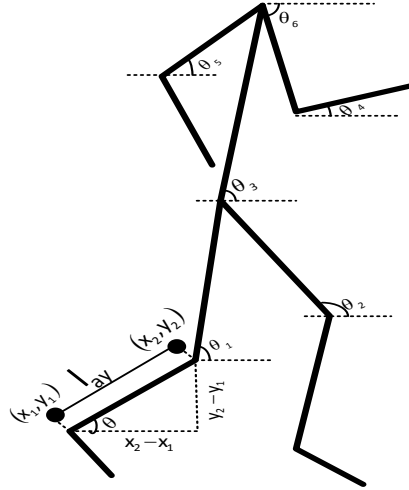
Hareket evreleri arasında stiller olarak bilinen sistematik değişimler bulunmaktadır. Stillerle hareketin yapısı ve bireyin özellikleri modellenmektedir. Buda hareketin durum uzayındaki sürekliliğini ve hareket evreleri arasındaki geçişlerin düzgün olması anlamına gelmektedir. Bu bilgilerden yola çıkılarak insan hareketinin modellenebilmesi için kullanılan sınıflama, düzenleme, sentezleme ve tanımlama sistemlerinin çoğunda davranışın sürekliliği ve düzgün veri alımı beklenmektedir. Davranışın modellenebilmesi için de araştırmacılar tarafından birçok yöntem kullanılmaktadır. Davranışların modellenebilmesi için kullanılan yöntemler şekil 4.6'da gösterilmektedir [3]. Bu şekil [3] numaralı kaynaktan alınmıştır.



Şekil 4.6. İnsan hareketi analizinde kullanılan modelleme [3].

İnsan vücudu şekil 4.6’da gösterilen yöntemler arasından en sık olarak çubuk şekiller, iki boyutlu kontör ve hacimsel hareket analizleri kullanılarak modellenmektedir [3]. Çubuk şekillerle modellenen insan vücudunda, birbirlerine eklemler ile bağlı çizgilerle vücut parçaları temsil edilmektedir [3]. Çalışmaların çoğunda Johansson’un kullandığı yöntem geliştirilerek yeni yöntemler önerilmiştir [3]. Literatürde insan hareketlerinin modellenmesi için farklı çalışmalar yapılmıştır.

İnsan hareketinin modellenmesi için kullanılabilecek basit ve etkili modellerden birisi iki boyutlu insan modelidir. Şekil 4.7’de verilen bu model kullanılarak her bir eklem açısının değerine karşılık hareket analizi yapılabilmektedir. Bu model ile her parçanın yeni konumudenklem 4.1 ve 4.3 ile hesaplanabilmektedir.



Şekil 4.7. Örnek hareket

Yeni x koordinat hesabı,

$$\cos \theta = \frac{x_2 - x_1}{l_{ay}} \quad (4.1)$$

olur ve denklem 4.1 yeniden düzenlendiğinde,

$$x_2 = x_1 + \cos \theta * l_{ay} \quad (4.2)$$

elde edilir. Yeni y koordinat hesabı için

$$\sin \theta = \frac{y_2 - y_1}{l_{ay}} \quad (4.3)$$

olur ve denklem 4.3 yeniden düzenlendiğinde,

$$y_2 = y_1 + \sin \theta * l_{ay} \quad (4.4)$$

elde edilir.

Yeni koordinatlar hesaplanırken eklem açısı(θ) ve parça uzunluğu(l_{ay}) kullanılmaktadır. Şekil 4.19’da verilen sistemde eklem ağırlıkları ihmal edilmiştir. Fakat gerçek bir hareket modeli için her bir parçanın ağırlığı da göz önüne alınmalıdır.

İnsan hareketlerinin daha basit bir şekilde incelenmesi için bilim adamları insan vücudunu segmentlere ayırmıştır. Bu yöntemle her hareketin eklemler üzerindeki etkilerinin daha rahat görülmesi sağlanmıştır. Örneğin bu yöntem kullanılarak insan vücudunun ağırlık merkezi hesaplanırken, vücut segmentlere ayrılmakta ve her segmentin ağırlığı hesaplanmaktadır. Elde edilen segmentlerin ağırlık merkezi antropometrik oranlar kullanılarak belirlenmekte ve elde edilen ağırlık merkezlerinin koordinatları hesaplanmaktadır. Bu bilgiler elde edildikten sonra sistemin ağırlık merkezi x ve y eksenlerinde moment hesabı yapılarak vücudun ağırlık merkezi hesaplanmaktadır.

Antropometrik, insan vücudunu oluşturan uzuvların; boyları, kütleleri, ağırlık merkezlerinin yerleri, atalet momentleri, çevre uzunlukları, yoğunlukları, jirasyon yarıçapı, kas boyları, kas kesit alanları ve tendon çekme açıları gibi verilerin ölçüm ve hesaplanmasıyla elde edilen veriler üzerine çalışan bir bilim dalıdır. Bu alanda yapılan çalışmalarda kişiler ve cinsiyetler arasında farklılıklar bulunduğundan dolayı çalışılması zor bir alan olmuştur. Bu zorluğu ortadan kaldırmak amacıyla kadavralar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda kişilerin toplam ağırlık ve boylarının üzerinde belirlenen yüzdelere sonucunda uzuvların kütle ve boylarının hesaplanması mümkün olmuştur. Bu modelleme yöntemi ile uzuvların kütleleri ve ağırlık merkezlerinin yerleri, boyları, jirasyon yarıçapları ve atalet momentleri belirlenebilmektedir. Antropometrik oranlar, kadavralar, matematiksel modeller, tarama, görüntü işleme yöntemleri ve kinematik ölçümler sonrasında yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Kadavralar üzerinde yapılan önemli çalışmalar; Dempster [73], Chandler [24] ve Clauser [25] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar Tablo 4.2’de verilmiştir [23-27, 73]. Bu tabloda belirtilen verilen [23-27,73] numaralı kaynaklardan alınmıştır.

Tablo 4.2.Antropometrik ölçümler için önemli kadavra çalışmaları [23-27, 73].

Çalışmacı	Kadavra Sayısı	Yaş (yıl)	Boy (m)	Vücut Ağırlığı (kg)
Dempster (1955)	8 Erkek	52-83	1.59-1.86	49-72
Clauser (1969)	13 Erkek	28-74	1.62-1.85	54-88
Chandler ve ark. (1975)	6 Erkek	45-65	1.64-1.81	51-89

Tablo 4.3'te antropometrik oranlar verilmiştir. Tabloda verilen değerler 1969 yılında Clauser ve arkadaşları tarafından önerilen antropometrik oranlardır [25]. Tablo 4.4'deDrillis ve Contini'nin 1966'da yapmış oldukları segment uzunluk antropometrik oranları verilmiştir. Clauser dışında Chandler, Barter ve Dempster tarafından da farklı insan modelleri ve antropometrik oranlar önerilmiştir. Bu tablolardaki bilgiler [25] ve [27] numaralı kaynaktan alınmıştır.

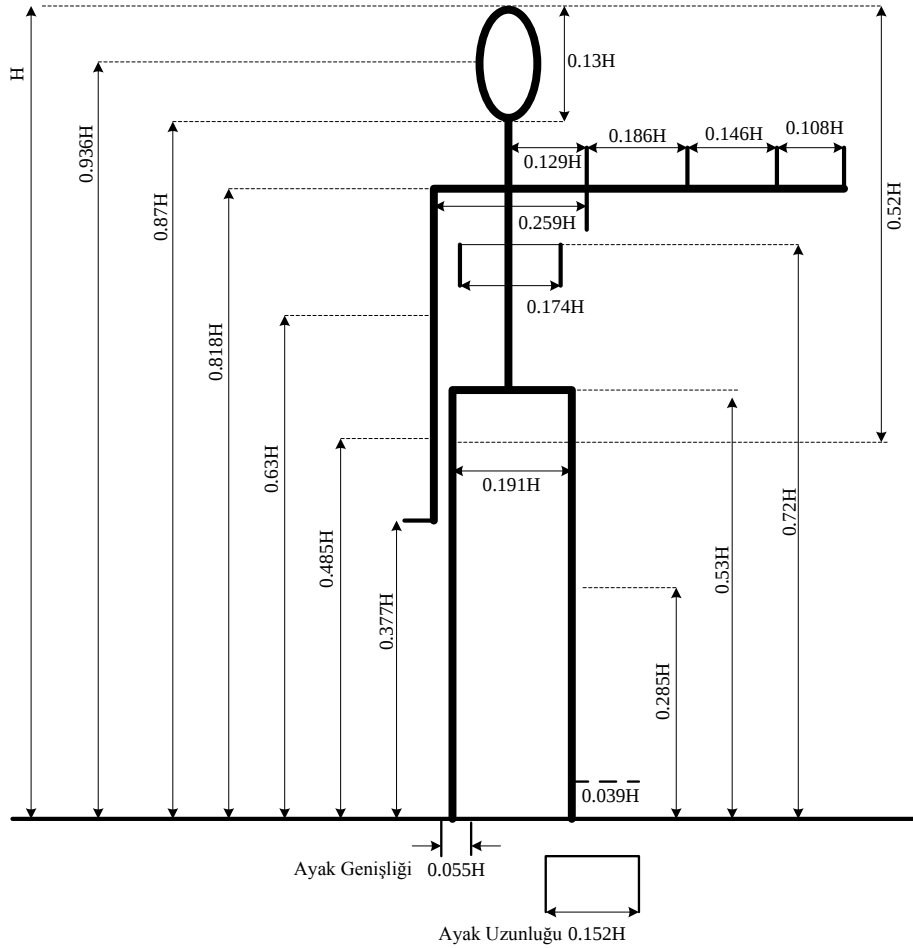
Tablo 4.3.Clauser'nın belirlediği antropometrik oranlar (Erkekler için) [25].

Vücut Üyesi	Relatif Ağırlık	Segment Ağırlık %		Dönme Yarı Çapı %	
		R _{Proximal}	R _{Distal}	K _{AM}	K _{Proximal}
Baş	0.0728	46.42	53.58	63.30	78.50
Gövde	0.5070	38.03	61.97	42.97	57.38
Üst Kol	0.0263	48.70	51.30	30.12	59.49
Ön Kol	0.0161	38.96	61.04	31.82	50.30
El	0.0065	18.02	81.98	60.19	62.83
Üst Bacak	0.1027	37.19	62.81	34.75	50.90
Alt Bacak	0.0435	37.05	62.95	35.67	51.43
Ayak	0.0147	44.85	55.15	42.65	61.89

Tablo 4.4.Drillis ve Contini (1966)H uzunluğundaki bir kişininSegment Uzunluğu/ Vücut Yüksekliği [27].

Vücut Üyesi	Segment Uzunluğu/ Vücut Yüksekliği
Baş	0.13
Gövde	0.288
Üst Kol	0.186
Ön Kol	0.146
El	0.108
Üst Bacak	0.245
Alt Bacak	0.285
Ayak	0.152

Tablo 4.3'te bahsedilen relatif ağırlık, üye kütesinin tüm vücut kütesine oranıdır. Bu değerler kullanılarak her bir vücut üyesinin ağırlıkları hesaplanmaktadır. Şekil 4.8'de Drillis ve Contini tarafından oluşturulmuş vücut segment uzunluk oranları verilmiştir [27]. Bu şekil [27] numaralı kaynaktan alınmıştır.



Şekil 4.8. Drillis ve Contini' in vücut segment uzunluk değerleri [27].

Örneğin 80 kg kütleli bir kişinin vücut üyelerinin hesaplanması aşağıda verildiği gibidir.

$$\text{Baş} \rightarrow 80 \times 0.073 = 5.84 \text{ kg}$$

$$\text{Gövde} \rightarrow 80 \times 0.507 = 40.56 \text{ kg}$$

$$\text{Üst Kol} \rightarrow 80 \times 0.026 = 2.08 \text{ kg}$$

$$\text{Ön Kol} \rightarrow 80 \times 0.016 = 1.28 \text{ kg}$$

$$\text{El} \rightarrow 80 \times 0.007 = 0.56 \text{ kg}$$

$$\text{Üst Bacak} \rightarrow 80 \times 0.103 = 8.24 \text{ kg}$$

$$\text{Alt Bacak} \rightarrow 80 \times 0.043 = 3.44 \text{ kg}$$

$$\text{Ayak} \rightarrow 80 \times 0.015 = 1.2 \text{ kg}$$

Üye ağırlık merkezi lokasyonu kullanılarak da her bir üyenin kütle merkezinin koordinatları hesaplanmaktadır. Örneğin, ön kol uzunluğu 20 cm olan bir kişinin ön kol ağırlık merkezi dirsek ekseninden 7.792 cm ($0.3896 \times 20 = 7.792$) ve el bileği ekseninden 12.208 cm ($0.6104 \times 20 = 12.208$) uzaklıkta yer almaktadır. Örnekte verilen kişinin dirsek ve el bileği eksenleri biliniyorsa bu kişinin ön kolunun ağırlık merkezinin koordinatları hesaplanabilmektedir. Örneğin dirsek ekseninin (11,8) ve el bileği ekseninin (15,12) olduğu varsayılırsa, ağırlık merkezinin koordinatları hesaplamak için denklem 4.5 kullanılacaktır [76]. Aşağıda verilen denklemler belirtilen kaynaktan alınmıştır.

$$X_M = x_1 + (x_2 - x_1) * p_1 \text{ ve } Y_M = y_1 + (y_2 - y_1) * p_1 \quad (4.5)$$

Bu denklem kullanılarak hesaplama yapıldığında;

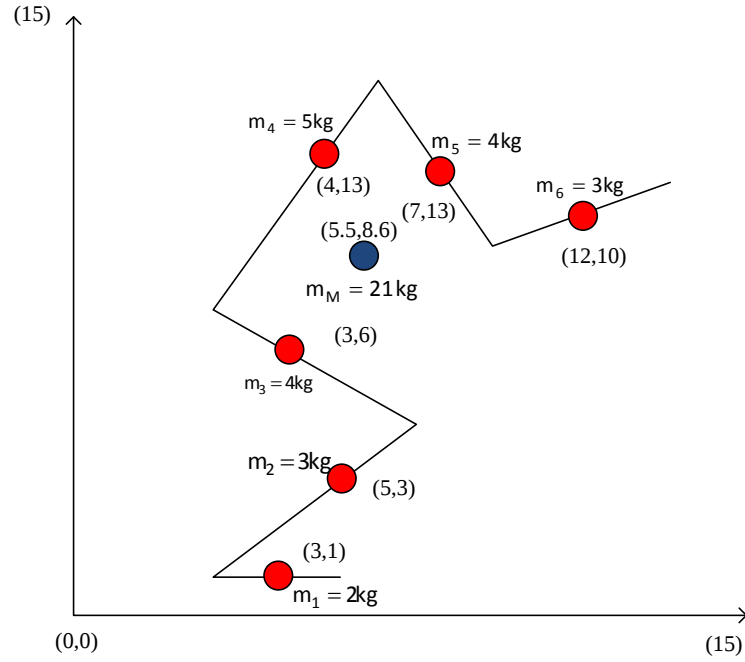
$$X_M = 11 + (15 - 11) * 0.6104 = 13.4416$$

$$Y_M = 8 + (12 - 8) * 0.6104 = 10.4416$$

olarak belirlenir.

Bu bilgilerin daha da iyi anlaşılması için şekil 4.9'da sayısal bir segmentli insan modeli verilerek insan vücudunun ağırlık merkezinin hesaplaması yapılmıştır. Segmentli bir insan modelinde sistemin ağırlık merkezi hesaplanırken segmentasyon yöntemi kullanılır. Bu yöntemden denklem 4.6 gösterildiği gibidir [76]. Aşağıda verilen denklem [76] numaralı kaynaktan alınmıştır.

$$y_o = \sum_{i=1}^n \frac{m_i y_i}{m_i} \text{ ve } x_o = \sum_{i=1}^n \frac{m_i x_i}{m_i} \quad (4.6)$$



Şekil 4.9. Örnek hareketin ağırlık merkezinin hesaplanması [76].

$$y_0 = \frac{2 * 1 + 3 * 3 + 4 * 6 + 5 * 13 + 4 * 13 + 3 * 10}{2 + 3 + 4 + 5 + 4 + 3} = \frac{182}{21} \cong 8.6$$

$$x_0 = \frac{2 * 3 + 3 * 5 + 4 * 3 + 5 * 4 + 4 * 7 + 3 * 12}{2 + 3 + 4 + 5 + 4 + 3} = \frac{117}{21} \cong 5.5$$

Eylemsizlik momenti hesaplanırken de her bir segment için dönme yarıçapı antropometrik oranlar kullanılarak belirlenmektedir ve bu değer kullanılarak her bir segmentin eylemsizlik momenti hesaplanmaktadır. $I_i = m_i r_i^2$ şeklinde yazılarak eylemsizlik momenti hesaplanmaktadır. Antropometrik oran kullanılarak eylemsizlik momenti $I_i = m_i (p_i l_i)^2$ şeklinde ifade edilmektedir. p_i , tablo 4.2’de verilen dönme yarıçap yüzdesi iken l_i , vücut uzununun boyunu göstermektedir. Şekil 4.21’de verilen örnek ile bir hareketin her bir segmentin ağırlık merkezinin eylemsizlik moment hesabı gösterilmiştir ($l_1=0.2m$, $l_2=0.4m$, $l_3=0.4m$, $l_4=0.5m$, $l_5=0.3m$ ve $l_6=0.3m$ olduğu varsayılın) [77].

Segment Eylemsizlik Momentleri

Toplam Eylemsizlik Momenti

$$\left. \begin{aligned}
I_1 &= m_1(p_1 l_1)^2 = 2 \times (0.43 \times 0.2)^2 = 0.015 \text{ } kgm^2 \\
I_2 &= m_2(p_2 l_2)^2 = 3 \times (0.36 \times 0.4)^2 = 0.061 \text{ } kgm^2 \\
I_3 &= m_3(p_3 l_3)^2 = 4 \times (0.35 \times 0.4)^2 = 0.077 \text{ } kgm^2 \\
I_4 &= m_4(p_4 l_4)^2 = 5 \times (0.43 \times 0.5)^2 = 0.231 \text{ } kgm^2 \\
I_5 &= m_5(p_5 l_5)^2 = 4 \times (0.3 \times 0.3)^2 = 0.032 \text{ } kgm^2 \\
I_6 &= m_6(p_6 l_6)^2 = 3 \times (0.32 \times 0.3)^2 = 0.028 \text{ } kgm^2
\end{aligned} \right\} \begin{aligned}
I_T &= \sum_{i=1}^n m_i(p_i l_i)^2 \\
I_T &= 0.015 + 0.061 + 0.077 + 0.231 \\
&\quad + 0.032 + 0.028 \\
I_T &= 0.444 \text{ } kgm^2
\end{aligned}$$

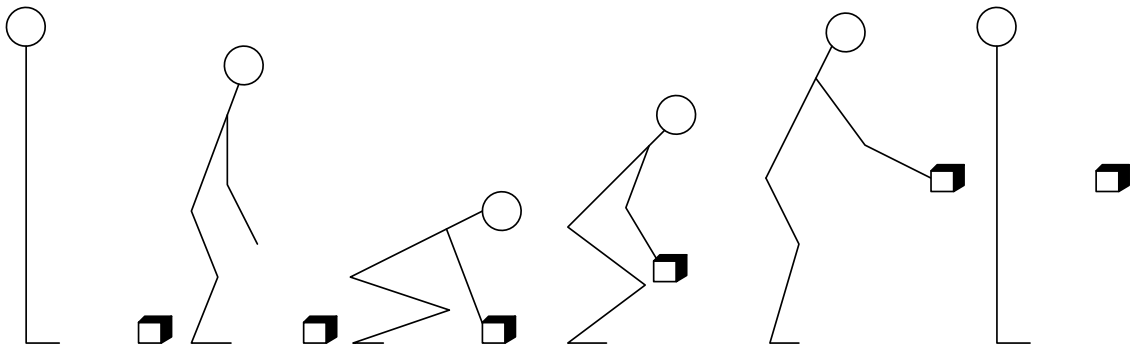
İnsan hareket modelinde kuvvet ve moment hesaplamaları için Newton-Euler denklemleri kullanılmıştır. Denklem 4.7 ve 4.8’de sırasıyla kuvvet ve moment denklemleri verilmiştir [3]. Aşağıda verilen denklemler [3] numaralı kaynaktan alınmıştır.

$$F_i - F_{i+1} + m_i g = m_i a_{ci} \quad (4.7)$$

$$\tau_i - \tau_{i+1} + F_{i-1} r_{i-1,ci} - F_{i+1} r_{i,ci} = I_i \dot{w}_i + w_i (I_i w_i) \quad (4.8)$$

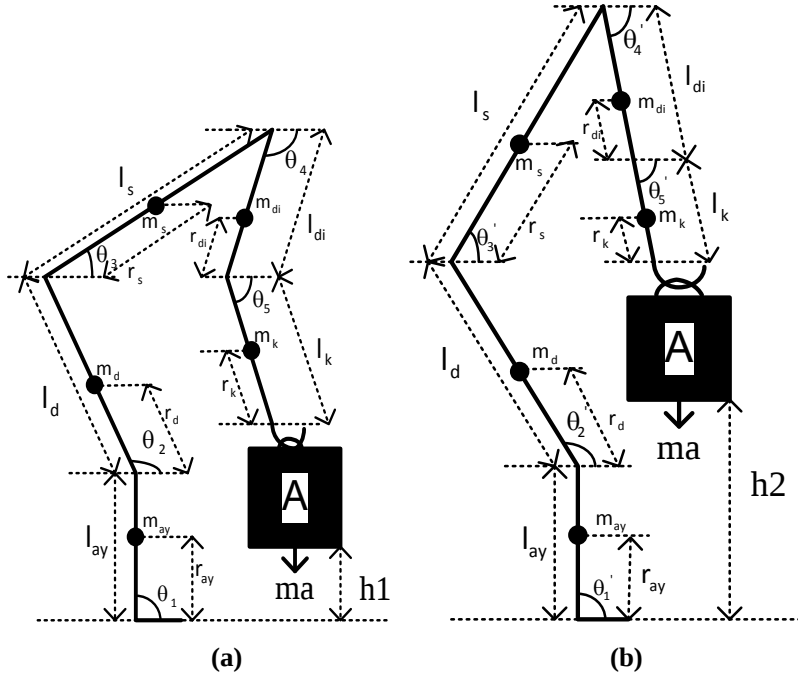
4.4. Kaldırma Hareketinin Analizi

Kaldırma hareketi basit olarak bir nesnenin bir yükseklikten başka bir yüksekliğe çıkarılması olarak ifade edilmektedir [17]. Şekil 4.10’da ağırlıklı kaldırma hareketine örnek verilmiştir. Bu çalışmada insan hareketi analizi için, temel hareketler (yürüme, uzanma, atlama, itme gibi) içerisinde en karmaşık hareket olan kaldırma hareketi seçilmiştir. Bu matematiksel olarak modelleme işlemini zorlaştırmaktadır. Buna bağlı olarak sistem, belirsizliklerden fazlasıyla etkilenmektedir. Hem matematiksel modellemeyi kolaylaştıran işlem karmaşıklığını azaltmak hem de sistem belirsizliklerini gidermek için sistem kontrolünde bulanık mantık kullanılmıştır. Kaldırma hareketinin evreleri şekil 4.10’da verildiği gibidir.



Şekil 4.10. Kaldırma hareketi evreleri

Şekil 4.11’de kaldırma hareketi modellenirken kullanılan eklem açıları ve segment uzunluklarının isimlendirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Ağırlıklı insan modeli [17].

Şekil 4.11.a ve 4.11.b’de yapılan işlemler aynı ortamda olduğu için “g” yerçekimi ivmesi ihmal edilmiştir. Şekilde gösterilen h_1 ve h_2 değerleri yüksekliği göstermektedir. Şekil 4.11.a’dan şekil 4.11.b pozisyonuna gelinebilmesi için yeni pozisyon denklemleri aşağıda verilmiştir. Bu denklemler [17] numaralı kaynaktan alınarak elde edilmiştir.

$$x_1' = x_1 + m_{ay}r_{ay} \cos \theta_1 \quad (4.10)$$

$$y_1' = y_1 + m_{ay}r_{ay} \sin \theta_1 \quad (4.11)$$

$$x_2' = x_2 + m_d(l_{ay} \cos \theta_1 + r_d \cos \theta_2) \quad (4.12)$$

$$y_2' = y_2 + m_d(l_{ay} \sin \theta_1 + r_d \sin \theta_2) \quad (4.13)$$

$$x_3' = x_3 + m_s(l_{ay} \cos \theta_1 + l_d \cos \theta_2 + r_s \cos \theta_3) \quad (4.14)$$

$$y_3' = y_3 + m_s(l_{ay} \sin \theta_1 + l_d \sin \theta_2 + r_s \sin \theta_3) \quad (4.15)$$

$$x_4' = x_4 + (m_{di} + m_a)(l_{ay} \cos \theta_1 + l_d \cos \theta_2 + l_s \cos \theta_3 + (l_{di} - r_{di}) \cos \theta_4) \quad (4.16)$$

$$y_4' = y_4 + (m_{di} + m_a)(l_{ay} \sin \theta_1 + l_d \sin \theta_2 + l_s \sin \theta_3 + (l_{di} - r_{di}) \sin \theta_4) \quad (4.17)$$

$$x_5' = x_5 + (m_k + m_a)(l_{ay} \cos \theta_1 + l_d \cos \theta_2 + l_s \cos \theta_3 + l_{di} \cos \theta_4 + (l_k - r_k) \cos \theta_5) \quad (4.18)$$

$$y_5' = y_5 + (m_k + m_a)(l_{ay} \sin \theta_1 + l_d \sin \theta_2 + l_s \sin \theta_3 + l_{di} \sin \theta_4 + (l_k - r_k) \sin \theta_5) \quad (4.19)$$

Denklemlerde kullanılan m değişkenleri eklem ağırlıklarını ve yük ağırlığını, r değişkeni eklem ağırlık merkezinin alt eklem olan uzaklığını göstermektedir. l değişkeni eklem uzunluğunu ve θ değeri eklem açılarını göstermektedir.

Şekil 4.11’de gösterilen ağırlıklı kaldırma modelinde kullanılan parametre ve görevleri aşağıda verildiği gibidir.

Parametre Açıklaması

M_i	→ Eklemlerin Momenti
F_i	→ Eklemlerin Kuvveti
α_i	→ Her bir vücut üyesinin ivmesi
I_i	→ Her bir vücut üyesinin eylemsizlik momenti
ω_i	→ Her bir vücut üyesinin açısal hızı
m_i	→ Her bir vücut üyesinin kütlesi
r_i	→ Eklemin kütle merkezi ile alt eklem arasındaki mesafe
l_i	→ Vücut üyelerinin uzunluklarını
θ_i	→ Eklem açılarını
d_i	→ Her bir eklem ayağına olan uzaklığı

Şekil 4.23’de verilen ağırlıklı kaldırma hareketinde her bir eklem etki eden kuvvetler Newton-Euler denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu denklemler [3] numaralı kaynaktan alınarak elde edilmiştir. Ayağa, ayak bileğine, dize ve kalçaya uygulanan tepki kuvvetlerinin denklemleri tezin birinci bölümünde verilmiştir. Bu denklemler 1.4-1.11’de verilmiştir. Diğer eklemlere uygulanan tepki kuvvetleri denklem 4.20-4.23’de verilmiştir.

Omuza uygulanan tepki kuvveti;

$$F_{o_x} = F_{dr_x} - m_{dr} \alpha_{dr_x} \quad (4.20)$$

$$F_{o_y} = F_{dr_y} + m_{dr} \alpha_{dr_y} + m_{dr} g \quad (4.21)$$

Dirseğe uygulanan tepki kuvveti;

$$F_{dr_x} = F_{yük_x} - m_k \alpha_{k_x} \quad (4.22)$$

$$F_{dr_y} = F_{yük_y} + m_k \alpha_{k_y} + m_k g \quad (4.23)$$

Şekil 4.11’de verilen ağırlıklı kaldırma hareketinin moment hesabı ayakucuna olan uzaklığa göre hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar aşağıda verildiği gibidir. Bu denklemler [3] numaralı kaynaktan alınarak elde edilmiştir. Ayağa, ayak bileğine, dize ve kalçaya uygulanan tepki kuvvetlerinin oluşturduğu moment denklemleri tezin birinci bölümünde verilmiştir. Bu denklemler 1.12-1.14’de verilmiştir. Diğer eklemlerin moment denklemleri denklem 4.24-4.25’de verilmiştir.

Omuza uygulanan moment;

$$M_{o_y} = F_{dr_y} d_4 \quad (4.24)$$

Dirseğe uygulanan moment;

$$M_{dr_y} = F_{yük_y} d_5 \quad (4.25)$$

4.5. Halter Hareketinin Analizi

Halter hareketi, dinamiği oldukça karmaşık olan bir spor dalıdır. Böylesine karmaşık hareketlerin yapıldığı spor dallarında uygulanan kuvvet ve kuvvetin etkilerinin incelenmesi için biyomekanik analizler ve modellemeler yapılmalıdır. Bu alanda yapılan çalışmalarda biyomekanik analizler için ters dinamik ve bilgisayar modellemesi kullanılmaktadır. Sistemin basit bir şekilde modellenebilmesi için, sistemi oluşturan üyeler birbirine basit kinematik hareketlerle bağlanan basit geometrik şekiller kullanılmaktadır. Üç boyutlu modeller için katı cisimler kullanılırken iki boyutlu modellerde çubuk şekiller kullanılmaktadır. Bu alanda yapılan bir çalışma ise 2006 yılında Pain ve Challis tarafından yapılmıştır. Bu şekilde birbirine bağlanan eklemlerin başa yakın ve uzak noktalarında oluşan kuvvet ve momentler dinamik olarak incelenebilmektedir. Burada başın sıfır noktası olarak alınma nedeni ise yükün baş üzerine alınması olarak gösterilebilir. Bu alanda 2005 yılında Winter bir çalışma yapmıştır. Doğru bir biyomekanik analiz yapılabilmesi için

sistemde kullanılacak kinematik parametreler belirlenmelidir. Bu parametreler belirlendikten sonra biyomekanik model oluşturulur ve eklemlere uygulanan kuvvet ve moment ters dinamik yöntemi kullanılarak hesaplanır. Bu alanda Gruber, Ruder, Denoth ve Schneider 1998’de bir çalışma yapmıştır. Ayrıca hareket analizlerinde kuvvet platformları kullanılarak yer tepki kuvveti ölçülmektedir. Kuvvet platformları kullanılarak yapılan ilk çalışma Enoka tarafından 1979’da yapılmıştır.

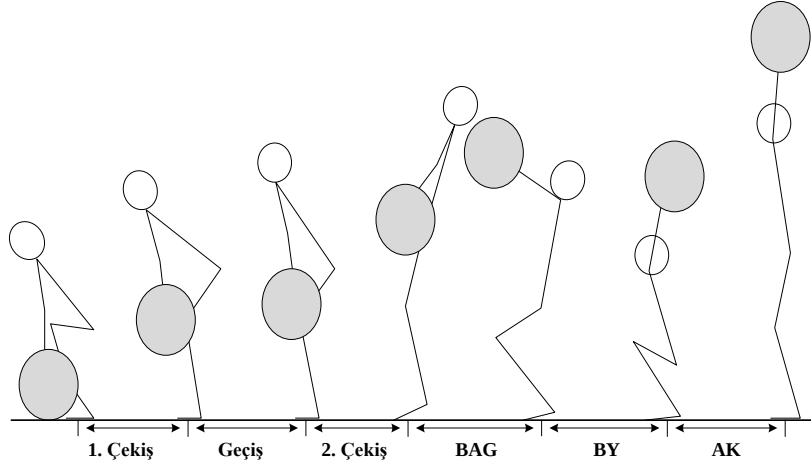
Halter sporu kendi içerisinde iki farklı kategoriye ayrılmaktadır ve her bir dal kendi içerisinde biyomekaniksel olarak incelenmektedir. Bu kategoriler; koparma ve silkmedir. Halter hareketlerinde belirlenen genel kurallar aşağıda verildiği gibidir.

- Barı kavarken başparmağın avuç içine alınarak tutuşuna izin verilir (Kilitlitutuş).
- Bütün kaldırışlarda bar, diz üstü seviyeye çekildiği halde, harekete devam edilmezse hareket geçersiz olur. Hakemin yere işaretini alan sporcunun, barı öne ve bel seviyesine kadar takip ederek yere indirmesi gerekir.
- Bir sporcunun, kolları anatomik olarak tam gerilmiyorsa bu durum üç hakeme ve jüriye gösterilmelidir.
- Uyluklar üzerine barı kaydıran herhangi bir şey sürülemez.
- Ellerin kaymaması için magnezyum, ayakların kaymaması için ayakkabı altına reçine sürülebilir.

→**Koparma Tekniği:** Barın yerden alınıp başın üzerine kaldırılınca kadar yapılan sürekli tek bir harekettir. Koparma tekniği 6 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar aşağıda verilmiştir [21-22].

1. Çekiş Evresi
2. Geçiş Evresi
3. 2. Çekiş Evresi
4. Bar Altına Giriş Evresi (BAG)
5. Barın Yakalanması (BY)
6. Ayağa Kalkış Evresi (AK)

Şekil 4.12’de bu evreler detaylı bir gösterimi verilmiştir [21-22]. Aşağıda verilen şekil belirtilen kaynaklardan alınmıştır.

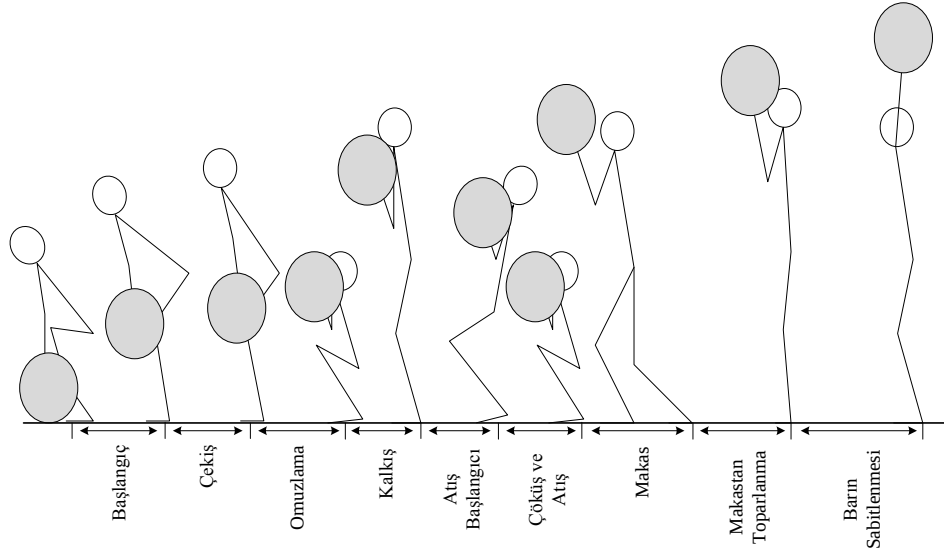


Şekil 4.12. Koparma evreleri [21-22].

→**Silkme Tekniği:** Barın önce omuzlara daha sonra başın üzerine kaldırılması ile gerçekleştirilen klasik halter hareketidir. Bu nedenle bu teknik iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde bar omuz üzerine çıkarılan omuzlama bölümü iken ikinci bölümde bar omuzlardan alınarak baş üzerine çıkarılan atış bölümüdür. Silkme tekniği 9 aşamadan oluşmaktadır ve bu aşamalar aşağıda verilmiştir.

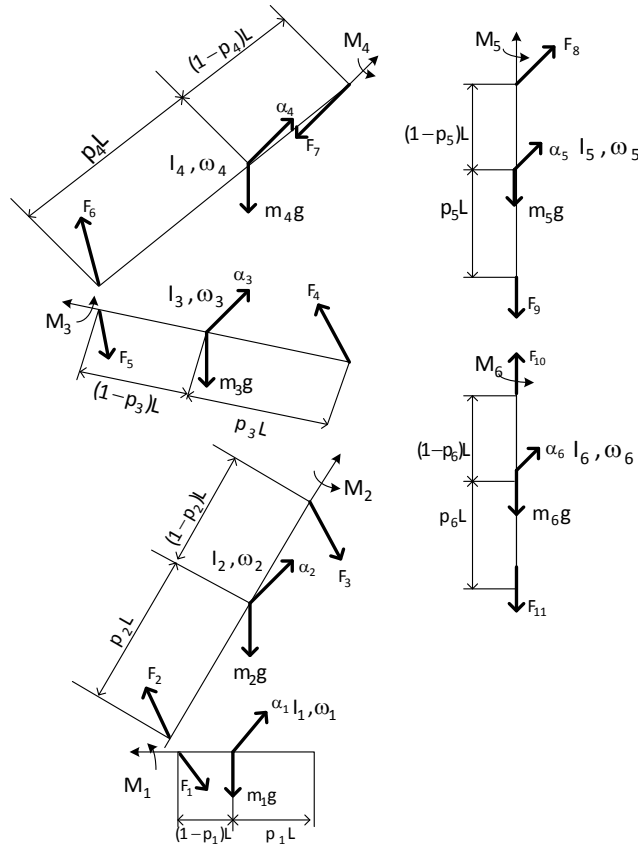
- | | | |
|----------------------------------|---|---------------------------|
| 1. Başlangıç | } | 1. Bölüm(Omuzlama) |
| 2. Çekiş | | |
| 3. Omuzlama (Barın altına girme) | | |
| 4. Kalkış | | |
| 5. Atış için başlangıç | | |
| 6. Çöküş ve atış | } | 2. Bölüm (Atış) |
| 7. Makas (Barın altına giriş) | | |
| 8. Makastan toparlanma | | |
| 9. Başın üzerinde Barı sabitleme | | |

Silkme tekniğinin evreleri şekil 4.13'te gösterildiği gibidir [21-22]. Aşağıda verilen şekil belirtilen kaynaklardan alınmıştır.



Şekil 4.13. Silkmeye evreleri [21-22]

Halter hareketinde bar kaldırılırken vücutta oluşan kuvvet ve momentlerin gösterimi şekil 4.14’de verilmiştir [21-22]. Aşağıda verilen şekil belirtilen kaynaklardan alınmıştır.



Şekil 4.14. Ağırlıklı halter modeli [22].

Şekil 4.14’de gösterilen ağırlıklı halter modelinde kullanılan parametre ve görevleri aşağıda verildiği gibidir.

Parametre Açıklaması

M_i	→	Eklemlerin Momenti
F_i	→	Eklemlerin Kuvveti
α_i	→	Her bir vücut üyesinin ivmesi
I_i	→	Her bir vücut üyesinin eylemsizlik momenti
ω_i	→	Her bir vücut üyesinin açısal hızı
m_i	→	Her bir vücut üyesinin kütlesi
p_i	→	Üye kütle merkezinin üye uzunluğuna oranı
L	→	Üye uzunlukları

Şekil 4.14’de verilen bilgiler kullanılarak halter hareketinin kinematik analizi için kuvvet ve moment hesaplamaları Newton-Euler denklem sistemi kullanılarak hesaplanmıştır. Örnek olarak yapılan hesaplamalar doğrusal hareket sistemi için geçerlidir. Aşağıda kuvvet hesaplaması verilmiştir. Bu denklemler [3] numaralı kaynaktan alınarak elde edilmiştir. Halter hareketi yapılırken eklemlerde oluşan kuvvetleri hesaplamak için kullanılan denklemler kaldırma hareketi ile aynıdır. Sadece dirseğe uygulanan kuvvet farklıdır. Bu denklem 4.26-29’de verilmiştir. (Denklem 1.4-11 ve 4.20-23 bkn.)

Dirseğe uygulanan tepki kuvveti;

$$F_{5_x} = F_{6_x} - m_6 \alpha_{6_x} \quad (4.26)$$

$$F_{5_y} = F_{6_y} + m_6 \alpha_{6_y} + m_6 g \quad (4.27)$$

Barın uygulanan tepki kuvveti;

$$F_{6_x} = -m_b \alpha_{b_x} \quad (4.28)$$

$$F_{6_y} = m_b \alpha_{b_y} + m_b g \quad (4.29)$$

Şekil 4.12’de verilen bilgiler kullanılarak yapılan moment hesaplaması aşağıda verildiği gibidir. Yapılan moment hesaplanmasında başlangıç noktası olarak ayakucu seçilmiştir. Bu denklemler [3] numaralı kaynaktan alınarak elde edilmiştir. Halter hareketi yapılırken eklemlerde oluşan kuvvetleri hesaplamak için kullanılan denklemler kaldırma hareketi ile aynıdır. (Denklem 1.12-14 ve 4.24-25 bkn.)

4.6. Yürüme Hareketinin Analizi

Yürüme, bacaklı canlıların temel ilerleme hareketidir. Yürüme analizi ise uzayda yer değiştirmek amacıyla ortaya çıkan hareketlerin mekanik yöntemlerle sayısal olarak ifade edilmesidir. Yürüme hareketi yapılırken kullanılan bazı terimler bulunmaktadır. Bunlardan biri yürüme çevrimidir. Yürüme çevrimi, yürüme sırasında topuğun yere değdikten sonra tekrar aynı ayağın topuğunun yere değdiği ana kadar geçen olaylar bütününe denilmektedir. Çevrim, salınım ve basma fazı olarak ikiye ayrılmaktadır. Basma fazı; topuğun yerle buluşup yükü karşılamaya başladığı andan parmakların yerle temasının kesilmesine kadar geçen evredir. Salınım fazı ise ayağın yerle temasının kesilip topuğun yere değinceye kadar geçtiği evreye denilmektedir. Kadans, birim zamandaki adım sayısı veya aynı ayağın birim zamanda yere değme sayısıdır. Adım uzunluğu, bir topuğun yere değme noktası ile diğer topuğun yere değdiği nokta arasındaki uzaklıktır.

Çıplak gözle bir kişinin yürüyüşü tam olarak incelenemediği için bilim adamları bu alanda ayrıntılı ve güvenilir yöntemler geliştirmek için çalışmalar yapmışlardır. Yürüme analizinden kasıt yürümenin sayısal olarak değerlendirilmesi, tanınması ve yorumlanması demektir. Tıp alanında yürüme analizi protetist ve ortetistin alanında görev yapan doktorlar gözlemsel yapılan muayenelerle sorunu anlamalarına rağmen sorunun sayısal olarak değerlendirememektedirler. Buda verilerin bilgisayar ortamına tam değerleri ile kaydedilmemesi nedeni ile bazı sorunlara neden olmaktadır. Oluşan bu sorunların ortadan kaldırmak için yürüme analiz sonuçlarının nesnel bir şekilde yani sayısal veriler ile birlikte bilgisayar ortamında kaydedilmesi gerekmektedir. Böylece doktor istediği anda analiz sonuçlarını inceleyip yapılan tedavi ve ortez protezlemenin etkinliğini nesnel biçimde gözlemleyebilir. Bu yöntem kullanılarak bir patolojik olayı tanımlayabilmek amacıyla yürüme biçimini analiz etmek, protez ve ortez gibi hastalıkların tedavisi için normal yürümenin fizyolojisi ve biyomekaniği incelenebilirliği sağlanabilir. Yürüyüş analizinin kullanıldığı alanlar aşağıda verildiği gibidir [20].

- Klinik araştırmalarda,
 - Çeşitli hastalıkların (çocuk felci, romatizma, omurilik hastalıkları, beyin zedelenmeleri, kemik kırıkları, bağ kopmaları, vb.) nedenleri ve etkilerinin araştırılması,

- Çeşitli tedavi yöntemlerinin sonuçlarının incelenmesi ve yöntemlerin karşılaştırılması,
- Yeni tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi,
- Yeni protez ve ortez (vücudumuzda bulunan herhangi bir extremitede gerçekleşen bir fonksiyon kaybının aktif hale gelebilmesi için yapılan cihaz) cihazlarının geliştirilmesi,
- Klinik uygulamalarda,
 - Tanı koyma,
 - Tedavi yöntemi ile ilgili karar alma,
 - Tedavi sonuçlarını izleme ve değerlendirme,
 - Fonksiyonel adaptasyonu primer patolojiden ayırt etme,
 - Uygun ortodik cihaz seçimi,
 - Protez ayarı,
- Robotik uygulamalarda,
 - Yürüme,
 - Dengede kalma,
 - Tırmanma,
 - Merdiven çıkma,
 - Kaldırma gibi hareketlerin yapılması için uygulamalar yapılmaktadır.

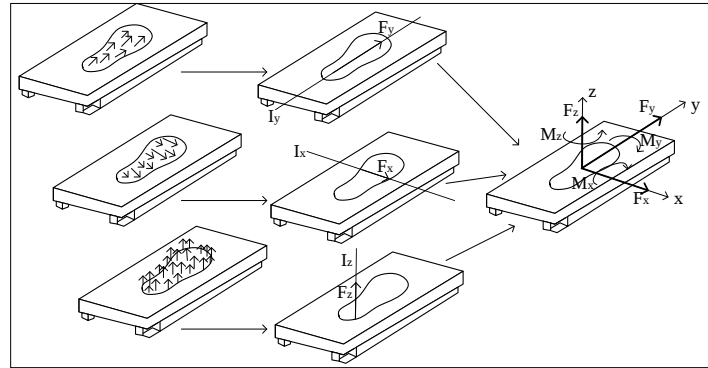
Yürüme analizi özetle,

- Bacak ve ayakların yapısal bozukluklarının teşhisinde,
- Doktorların operasyon öncesi karar vermesinde,
- Operasyon öncesi ve sonrasındaki durum değerlendirilmesinde,
- Protez yerleştirme operasyonlarında ve protezin performans değerlendirilmesinde,
- Spor biyomekaniğinde önemli bir konudur.

Yürüme analizi yapılırken aşağıda verilen parametreler biyomekanik yöntemler kullanılarak incelenir [20];

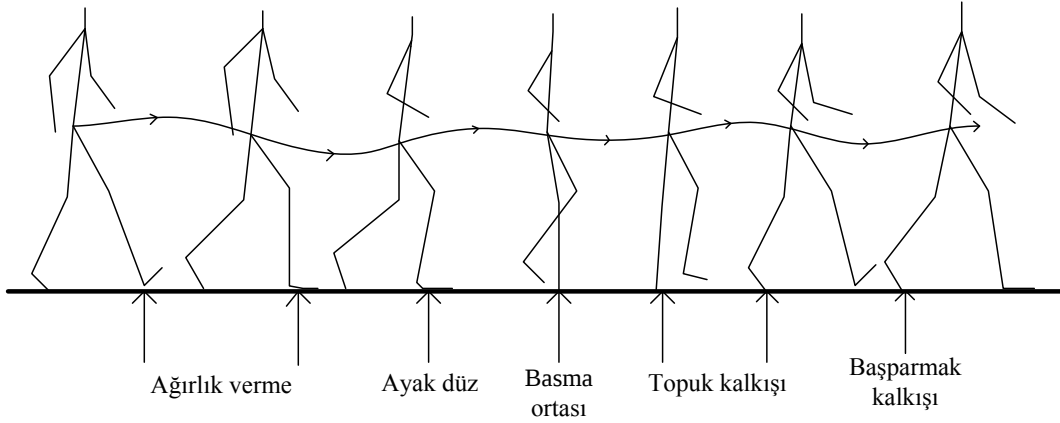
- Zaman uzaklık parametreleri olan kadans, hız, adım uzunluğu, iki adım arasındaki mesafe, yürüyüş çevriminin zamanlaması, vb. parametreler.
- Yer tepki kuvveti ve momenti,
- Eklem açıları,
- Eklem momenti,
- Eklem gücü,
- Pelvis hareketi,
- Enerji harcanması (Mekanik veya metabolik),
- EMG kayıtları.

Yer tepki kuvveti ve momentinin tespit edilmesi için kuvvet platformları kullanılmaktadır. Kuvvet platformlarının örnek gösterimi şekil 4.15'te verilmiştir. Bu şekil [20] numaralı kaynaktan alınmıştır.



Şekil 4.15. Kuvvet platformu [20].

İnsan yürürken ağırlık merkezinin değişmesini etkileyen faktörler; yer çekimi, kas kontraksiyonu, eylemsizlik (atalet) momenti ve yürüme siklusünün çeşitli fazlar sırasında bacağın kasımlarının açısal oranıdır. Şekil 4.16'da yürüme hareketinin evreleri gösterilmiştir. Bu hareketin biyomekanik analizleri için birinci bölümde verilen 1.4-14'deki denklemler kullanılmıştır. Bu şekil [20] numaralı kaynaktan alınmıştır.



Şekil 4.16. Yürüme evreleri [20].

Normal bir yürüyüşün %60'lık bölümü ayakta durma ve %40'lık bölümü salınımdır. Yürüyüş hızlandıkça duruş bölümü azalırken salınım kısmı artmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda eğer bir kişi koşuyorsa o zaman verilerde duruş kısmı neredeyse yokken salınım kısmı büyük bir bölümü veya tamamını almaktadır.

Yürüyüş analizinde kullanılan temel kavramlar aşağıda verilmiştir.

- *İki adım uzunluğu*; bir kişinin iki ayağı da yerde iken bir ayağının ucundan diğer ayağının ucuna olan uzaklığa denir.
- *Adım uzunluğu*; bir kişinin aynı ayağının topuğunun yere değdiği nokta ile ikinci kez aynı ayağının topuğunun yere değdiği nokta arasındaki mesafedir.
- *Adım sayısı*; dakikadaki adım sayısıdır.
- *Yürüme hızı*; yürünen mesafenin alındığı süredir (m/s).

4.7. Bölüm Değerlendirmesi

Gerçekleştirilen bu bölümde insan hareketleri modellenirken kullanılan yöntemler ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Yöntemlerin anlaşılabilmesi için küçük örnekler verilmiş olup, bu modellerin nerelerde kullanıldığı konularına değinilmiştir. İnsan hareket modellerinin sıklıkla kullanıldığı alanlar olarak akademik, sağlık, endüstri ve spor gösterilebilmektedir.

Yapılan bu çalışmalarla insanların günlük hayatındaki bazı işlerin daha kolay ve kısa sürede minimum hata ile yapılması amaçlanmakta ve bunun için günümüzde hala çalışmalar devam etmektedir.

Bu tezde de insan hareket modeline yönelik örnek bir çalışma yapılmıştır. Yapılan örnek çalışmadaki amaç diğer çalışmalarda eksik veya yetersiz alanların iyileştirilebilmesidir. Öncelikle bu alanda tip-2 bulanık kontrollü sistem modeli kullanılarak daha kararlı bir sistem tasarımı yapılmıştır ve daha sonra tip-2 bulanık sistemin durulandırma ve tip indirgeme aşamasındaki işlem karmaşıklığını minimuma indirilerek daha basit ve işlem performansı daha yüksek bir tip-2 bulanık sistem tasarlanmıştır. En son olarak da tasarlanan tip-2 bulanık sistem ile bulanık kontrol sistemi geliştirilmiş ve başarılı bir sistem modeli oluşturulmuştur.

5. TİP-2 BULANIK MANTIK TABANLI İNSAN HAREKET ANALİZİ

5.1. Giriş

Bu bölümde insan modelinin farklı kontrolörler kullanılarak modelin sistem çıkışları incelenmiştir. Analiz için kaldırma, halter ve yürüme hareketi seçilmiştir. Analiz için bu hareketler bilerek seçilmiştir. Çünkü bu hareketler insanların günlük yaptığı tüm hareketleri kapsar ve yapılan analizler sonucunda 3 farklı hareket kullanılarak tüm hareketlerin incelenmesi amaçlanmaktadır. Yapılan incelemeler için yapılan simülasyonların detaylı sonuçları grafiksel olarak verilmiştir.

Yapılan analizler ile insan hareketlerin basit bir şekilde modellenmesi amaçlanmış ve bunu ile ilgili gerekli çalışmalar bölüm ikide anlatılmıştır. Bölüm ikide tip-2 bulanık kontrolör için yeni bir yöntem önerilmiş ve bunu ile ilgili gerek analizler detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu bölümde ise insan modelinde açı kontrol için tip-1 bulanık kontrol, KM algoritması tabanlı tip-2 bulanık kontrolör ve görüntü işlem tabanlı tip-2 bulanık kontrolör kullanılmış ve her bir kontrolörün sistem çıkış grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Yapılan analiz çalışmaları için kullanılan deneysel verilerin nasıl elde edildiği bir sonraki bölümde açıklanmaktadır.

5.2. Deneysel Verilerin Elde Edilmesi

Yapılan tez çalışmasında açı değerlerinin elde edilmesi için gerçek çubuk adam modeli yapıldı. Şekil 5.1’de tasarlanan insan modelinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.1. Tasarlanan gerçek çubuk adam modeli

Tasarlanmış çubuk adam modeli kullanılarak tüm hareketlerin adım adım açı değeri açıölçer ve pergel kullanılarak elde edilmiştir. Kaldırma, halter ve yürüme hareketlerinin adım adım eklem açı değerleri Tablo 5.1, 5.2 ve 5.3 ' de verilmiştir.

Tablo 5.1. Kaldırma hareketinin açı ölçümü

				
$\theta_1=-90$ $\theta_2=-90$ $\theta_3=90$ $\theta_4=90$ $\theta_5=90$	$\theta_1=-80$ $\theta_2=-75$ $\theta_3=0$ $\theta_4=150$ $\theta_5=45$	$\theta_1=-45$ $\theta_2=-45$ $\theta_3=5$ $\theta_4=120$ $\theta_5=75$	$\theta_1=10$ $\theta_2=-75$ $\theta_3=60$ $\theta_4=100$ $\theta_5=85$	$\theta_1=-30$ $\theta_2=-30$ $\theta_3=45$ $\theta_4=95$ $\theta_5=85$

Tablo 5.2. Halter hareketinin açı ölçümü

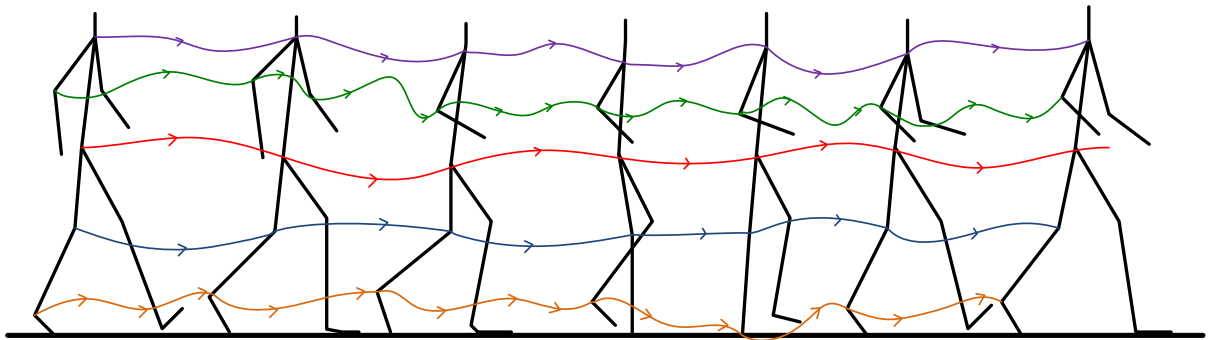
							
$\theta_1=-90$ $\theta_2=-90$ $\theta_3=90$ $\theta_4=90$ $\theta_5=90$	$\theta_1=-80$ $\theta_2=-74$ $\theta_3=55$ $\theta_4=108$ $\theta_5=50$	$\theta_1=-143$ $\theta_2=-143$ $\theta_3=48$ $\theta_4=185$ $\theta_5=50$	$\theta_1=-120$ $\theta_2=-112$ $\theta_3=38$ $\theta_4=130$ $\theta_5=86$	$\theta_1=-108$ $\theta_2=-93$ $\theta_3=46$ $\theta_4=134$ $\theta_5=83$	$\theta_1=-60$ $\theta_2=-50$ $\theta_3=110$ $\theta_4=105$ $\theta_5=87$	$\theta_1=42$ $\theta_2=42$ $\theta_3=105$ $\theta_4=151$ $\theta_5=47$	$\theta_1=110$ $\theta_2=-110$ $\theta_3=80$ $\theta_4=108$ $\theta_5=75$

Tablo 5.3. Yürüme hareketinin açı ölçümü

						
$\theta_1=-90$ $\theta_2=-90$ $\theta_3=90$ $\theta_4=90$ $\theta_5=90$	$\theta_1=-90$ $\theta_2=-90$ $\theta_3=90$ $\theta_4=120$ $\theta_5=90$	$\theta_1=-90$ $\theta_2=-90$ $\theta_3=90$ $\theta_4=115$ $\theta_5=95$	$\theta_1=-90$ $\theta_2=-90$ $\theta_3=90$ $\theta_4=90$ $\theta_5=90$	$\theta_1=-90$ $\theta_2=-90$ $\theta_3=90$ $\theta_4=72$ $\theta_5=70$	$\theta_1=-90$ $\theta_2=-90$ $\theta_3=90$ $\theta_4=75$ $\theta_5=90$	$\theta_1=-90$ $\theta_2=-90$ $\theta_3=90$ $\theta_4=120$ $\theta_5=90$

5.3. Önerilen Yaklaşım için Tasarlanan İnsan Modeli

Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında 2B'lu 5 parçalı bir insan modeli kullanılmıştır. Tasarlanan insan modelinin her bir eklem açısının değişimi tip-2 bulanık kontrol ile denetlenmektedir. Bu sistem ile bir hareketin belli adım açıları biliniyorsa istenilen hareketin simülasyonu yapılabilir. Yani tasarlanan bu sistem ile hareket sınırlaması yoktur, tüm hareketler için bu sistem kullanılmaktadır. Şekil 5.2'de yürüme hareketi için tahmini bir 2B'li insan modelinin omuz, dirsek, kalça, diz ve ayak bileğinin açısal değişimleri gösterilmiştir.



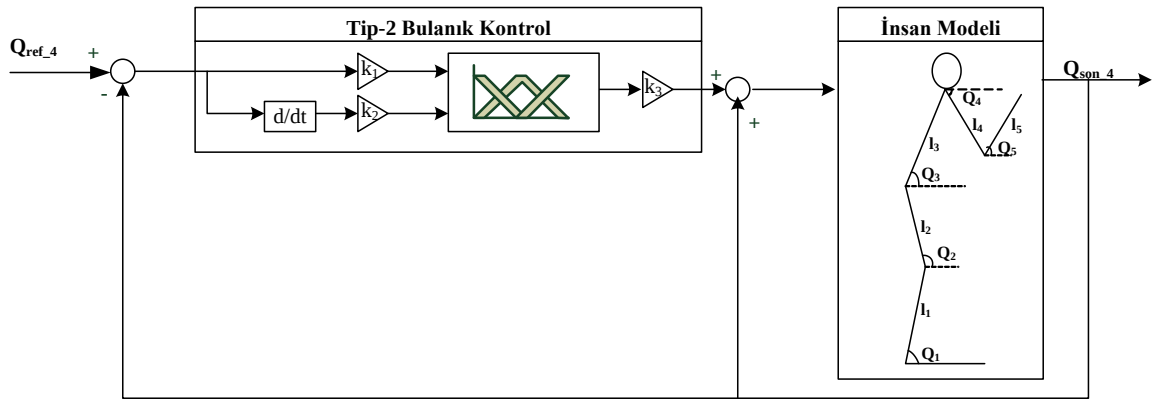
Şekil 5.2. İnsan vücudundaki segmentlerin açısal değişimleri

Bu şekilde gösterilen segment/eklem açılarının değişimlerinin daha iyi anlaşılması için Tablo 5.4’de omuz açısının tip-2 bulanık kontrolü ile hedef açı değerinin nasıl elde edildiği gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Omuz açısı değişim adımları

Hedef Açı	Başlangıç Açı	Hata	Tip-2 Bulanık Kontrol Sistem			Yeni Açı	İnsan Modeli
			X_1	X_2	Y		Sistem Çıkış Açı
-75	-90	15	15.0000	0	1.1976	-88.8024	-88.8024
-75	-88.8024	13.8024	13.8024	-0.1198	0.6634	-88.1390	-88.1390
-75	-88.1390	13.1390	13.1390	-0.0663	0.8125	-87.3265	-87.3265
-75	-87.3265	12.3265	12.3265	-0.0812	0.6947	-86.6318	-86.6318
-75	-86.6318	11.6318	11.6318	-0.0695	0.6746	-85.9572	-85.9572
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
-75	-75						

Tablo 5.4’de yapılan işlemler hedef açı değeri yakalanıncaya kadar devam etmektedir. Şekil 5.3’te tablo 5.4’de verilen işlemlerin grafiksel gösterimi verilmiştir.



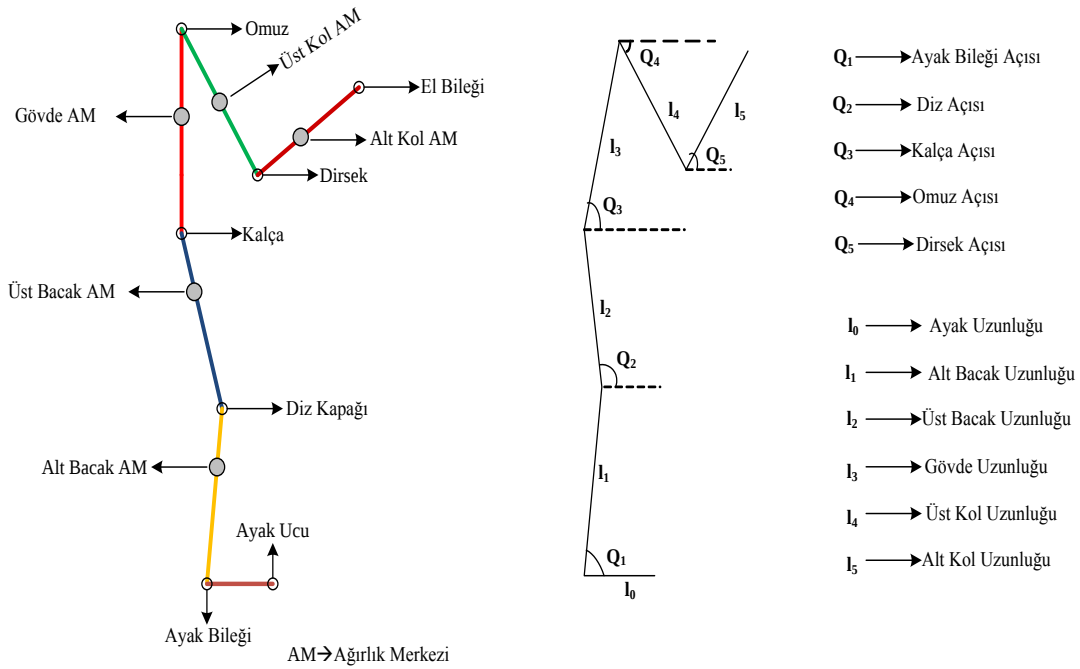
Şekil 5.3. Omuz açısı kontrol sistemi

Şekil 5.3’te verilen örnek sistemde tip-2 bulanık kontrol çıkışından elde edilen değer doğrudan kullanılmaktadır çünkü buradan elde edilen değerler çok küçüktür. Eğer tip-2 bulanık kontrolün çıkışı insan modeline direk verilseydi, istenilen hareketin yapılabilmesi için daha çok işlem ve daha uzun simülasyon işlemi gerekecekti. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için tasarlanan sistemde tip-2 bulanık kontrolün çıkışı sabit yükseltici katsayısı ile çarpılmakta ve bulanık kontrol çıkışına verilmektedir. Daha sonra elde edilen bu yeni

ıkış değeri bir önceki sistem çıkışı ile toplanarak insan modelinin sistemine girecek olan eklem açısı elde edilmiş olunur. Yapılan bu işlem sistem performansını arttırmak için kullanılmıştır. Sabit yükseltici katsayıları simülasyon işlemini kısaltmak için kullanılmıştır. Omuz eklemi için yapılan bu işlem tüm eklem açıları için ayrı ayrı yapılmaktadır.

5.4. Önerilen Yaklaşım

İnsan vücudunun biyomekanik incelenmesinde genelde segmentli insan modeli kullanılmaktadır. Bu modelin kullanılma nedeni ise hareketin yapılmasını sağlayan kas, eklem, kemik, kıkırdak ve sinir dokularından oluşan sistem karmaşıklığının ortadan kaldırılmasıdır. Bu şekilde mekanik analizlerin yapılması daha da kolay olmaktadır. Bu çalışmada ayak, diz, kalça, omuz, kol ve ön kol olmak üzere 6 katı vücut üyesinden oluşan ve açık zincir mekanik yapısına sahip bir segmentli insan modeli kullanılmıştır. Kaldırma, halter ve yürüme hareketleri için kullanılan insan modelindeki tüm vücut üyelerinin simetrik olarak hareket ettiği varsayılmaktadır. Bu nedenle sagittal düzleme göre yarısı modellenmiştir. Yani aynı vücut üyelerinden ikişer adet bulunan (kol ve bacak vb.) vücut üyelerinden sadece biri modellenmiştir. İki boyutlu insan modeli MATLAB (7.9.0)/Simulink ortamında oluşturulmuştur. Yapılan kaldırma ve halter hareketlerinde el üzerinde meydana gelen değişimler önemsiz olduğundan bu vücut yesi üzerindeki değişimler ihmal edilmiştir fakat elin ağırlığı kaldırılan yükün ağırlığına eklenmiştir. Yürüme hareketinde omuz, n ve alt kollarda oluşan değişimler önemsiz olduğu için sadece kalça, alt ile st bacak ve ayak hareketleri incelenmiştir. şekil 5.4'de segmentli insan modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Segmentli insan modeli

Hareket sırasında oluşan yer tepki kuvvetinin ve ayak ağırlığının yer çekim kuvveti etkisi ile oluşan kuvvetin ayakucunda meydana geldiği varsayılmaktadır. Eklemlerin bağlantı noktalarının her biri z eksenini etrafında dairesel hareket yapacak tek serbestlik derecesine göre modellenmiştir.

İnsan hareket modellerindeki biyomekanik analizlerde ileri ve ters dinamik yaklaşımları kullanılmaktadır. İleri ve ters dinamik yaklaşımı, hareket halindeki cisimlerin kinematik ve atalet özelliklerinden yararlanarak bir eklemün kuvvet ve momentini, her bir kasın kuvvetini ve eklem tepki kuvvetlerinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu alandaki çalışmalar 1970'lerden sonra artmaya başlamıştır. Bunun nedeni ise ticari kuvvet platformları ile bilgisayarlı sistemlerin yaygınlaşmasıdır. İleri ve ters dinamik yapılar basit olarak şekil 5.5'te gösterilmiştir.

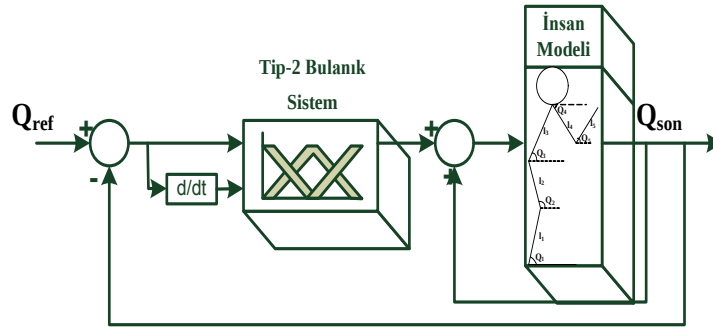


Şekil 5.5. Ters dinamik yaklaşımı

Biyomekanik yapılar insan modeli ile insan vücudu eklemleri arasında birer arayüz mantığı ile çalışmakta ve insan modelinde bilinmeyen verilerin hesaplanmasına yardımcı olmaktadır.

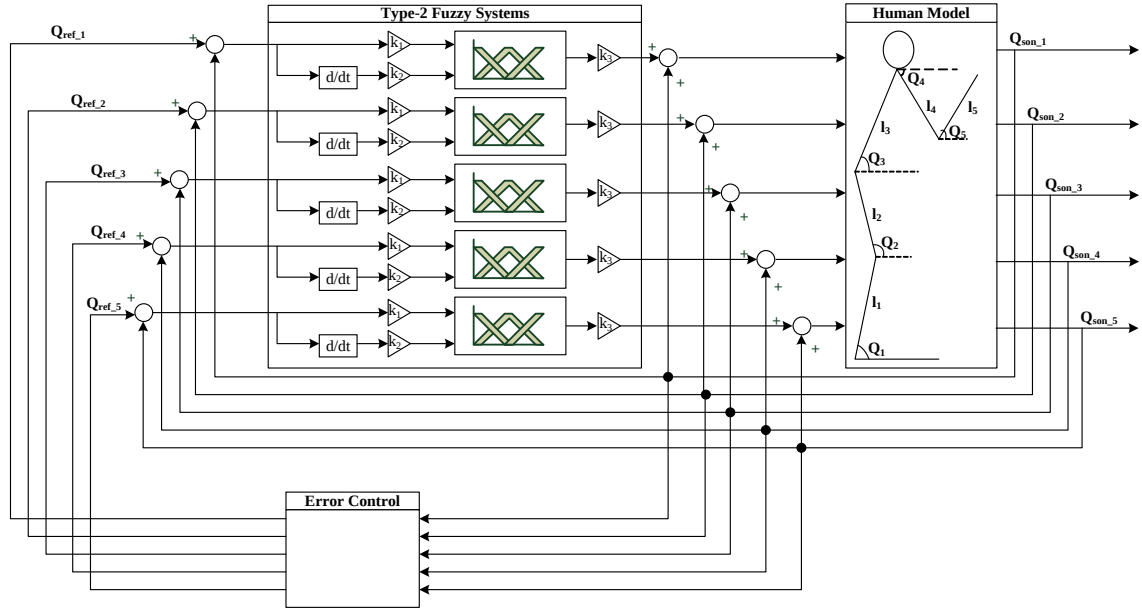
Bu alanda üç farklı insan modeli çalışması yapılmıştır. Birinci modelde eklem-uzuv modeli kullanılarak tip-1 ve tip-2 bulanık sistem arasındaki farklar incelenmiştir. İkinci çalışmada ise farklı tip-2 bulanık sistem yöntemleri ile insan hareketleri incelenmiştir. Son çalışmada ise insan hareketlerinde eklemlerde oluşan kuvvet ve momentler incelenmiştir.

Önerilen yöntem iki boyutlu beş parçalı olarak tasarlanan insan modelindeki eklem açılarının referans değerlerine göre bulanık olarak kontrol edilerek hareketin gerçekleştirilmesine dayanmaktadır.



Şekil 5.6. Önerilen yöntemin çalışma prensibi

Şekil 5.6’da görüldüğü gibi gerçek değerler referans olarak sisteme verilmiş, insan modelindeki hesaplanan açı değerleriyle karşılaştırılarak hata elde edilmiştir. Hata ve hatanın türevi giriş olarak bulanık denetleyiciye verilerek, eklem açılarının gerçek değerlere ulaştırılmasına çalışılmaktadır. Önerilen algoritma kullanılarak sistemde istenilen tüm hareketler (itme, çekme, kaldırma, indirme, yürüme, koşma vb.) incelenebilmektedir. Başlangıç pozisyonu ayakta durma pozisyonu olup, bu pozisyonun eklem açı değerleri sırasıyla; [90 90 90 -90 -90] olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.7. Önerilen yöntemin blok diyagramı

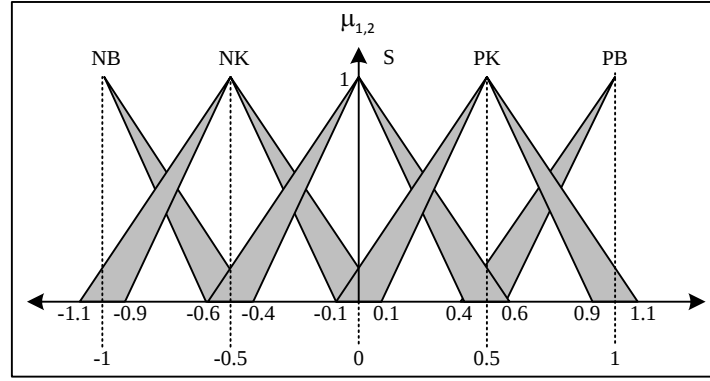
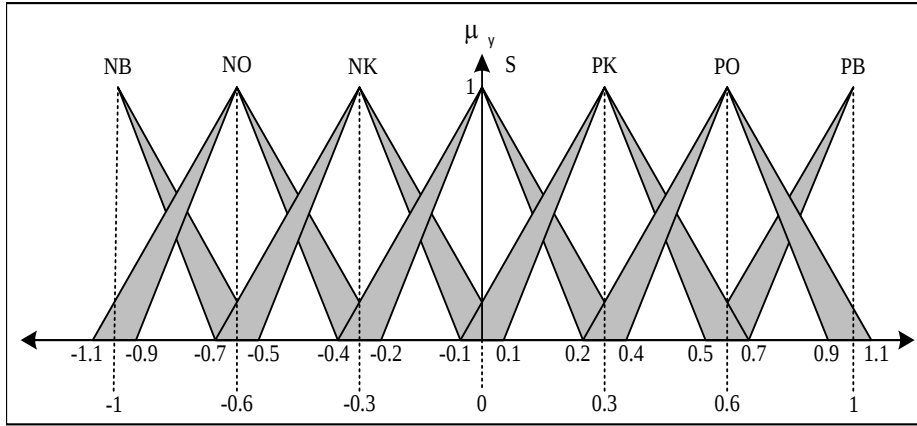
Önerilen yaklaşım için tasarlanan aralıklı tip-2 bulanık sistem şekil 5.7’de görüldüğü gibi 2 girişli, 1 çıkışlı bir sistemdir. Girişler için üyelik fonksiyon sayısı 5 (NB→ Negatif Büyük, NK→ Negatif Küçük, S→ Sıfır, PK→ Pozitif Küçük, PB→ Pozitif Büyük) iken çıkış için üyelik fonksiyon sayısı 7 (NB→ Negatif Büyük, NO → Negatif Orta, NK→ Negatif Küçük, S→ Sıfır, PK→ Pozitif Küçük, PO→ Pozitif Orta, PB→ Pozitif Büyük) olarak seçilmiştir. Giriş ve çıkış için kullanılan üyelik fonksiyonları şekil 5.9’da gösterilmektedir. Üyelik fonksiyonlarının taban değerleri $[-1 \ 1]$ arasında seçilerek ölçeklendirme faktörleri ile gerekli hata değerleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.8’de verilen giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları tüm eklem açıları için ortaktır fakat üyelik fonksiyonlarının değer aralıkları her bir eklem açısının değişim aralığına göre ölçeklendirilmiştir. Eklem açılarının çalışma aralığı ise şu şekildedir; Dirsek $[40 \ 180]$, Omuz $[-60 \ 180]$, Kalça $[60 \ 180]$, Diz $[60 \ 180]$ ve Ayak Bileği $[60 \ 90]$ arasında değişmektedir.

Önerilen yöntem için tasarlanan aralıklı tip-2 bulanık sistemin kural tablosu tablo 5.5’teverildiği gibidir.

Tablo5.5. Kural Tablosu

$X_1 \backslash X_2$	NB	NK	S	PK	PB
NB	NB	NB	NO	NK	S
NK	NB	NO	NK	S	PK
S	NO	NK	S	PK	PO
PK	NK	S	PK	PO	PB
PB	S	PK	PO	PB	PB

**(a)****(b)****Şekil 5.8.** Üyelik fonksiyonları

Sistemin test edilmesi için farklı insan hareketleri kullanılmıştır. Kaldırma ve halter hareketleri karmaşık bir yapıya sahip olduğundan sistem testleri için bu hareketler seçilmiştir.

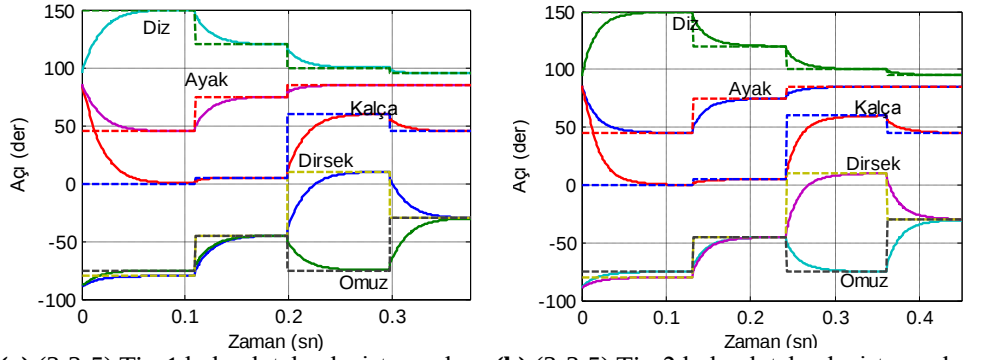
5.5. Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada önerilen yaklaşımın simülasyonu için Matlab/Simulink kullanılmıştır. Bütün çalışmalar aynı çalışma koşullarında ve aynı bilgisayar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışma bilgisayar Intel (R) Core (TM) 2 Duo CPU, 2.5 GHz ve 3 GB RAM özelliklerine sahiptir. Önerilen yaklaşımın etkinliği tip-1 ve tip-2 bulanık denetleyicilerin sonuçlarının karşılaştırılması ile verilmiştir.

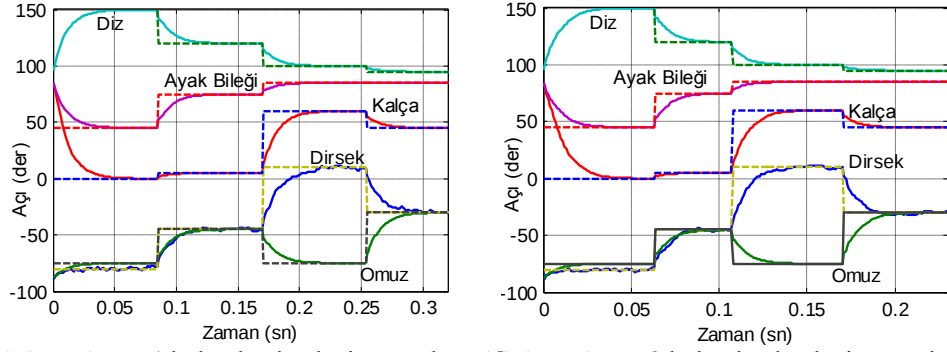
Şekil 5.9'dakaldırma hareketi için farklı bulanık kontrolörler kullanılarak dirsek, omuz, kalça, diz ve ayak bileğinin eklem açısı değişimi gösterilmiştir.

Önerilen yaklaşımın farklı tip-1 ve tip-2 denetleyiciler ile performansının incelenmesi için iki girişli bir çıkışlı ve üyelik fonksiyonları sayısı (3-3-5, 5-5-7 ve 7-7-9) olan üç tip denetleyici kullanılmıştır. Şekil 5.9'da verilen farklı simülasyon sonuçları ayrı ayrı incelendiğinde sistem cevabının en hızlı olanının, şekil 5.9.f'de kullanılan 7 giriş, 9 çıkış üyelik fonksiyonlu tip-2 bulanık kontrollü insan modeli simülasyonu olduğu görülecektir. En yavaş cevapsa 3 giriş ve 5 çıkış üyelik fonksiyonunu kullanan tip-2 bulanık kontrollü insan modeli simülasyonudur. Bunun nedeni ise tip-2 bulanık sistemde optimum üyelik fonksiyonu kullanılmadığında sistemin tam olarak modellenememesidir. Bu durum ise sistemin performansını yavaşlatmaktadır.

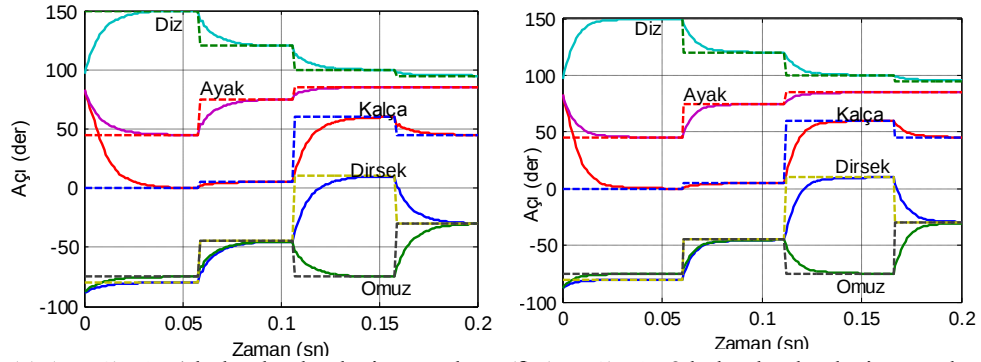
Şekil 5.9'da kullanılan bulanık sistemin üyelik fonksiyonu 7-7-9'dur ve bu grafik incelendiğinde tip-2 bulanık sistemin titreşimleri daha iyi yok ettiği tespit edilmiştir. Bu grafik değerlerine göre tip-1 bulanık denetleyicinin kullanıldığı modelde sistem gürültü salınımının, tip-2 bulanık denetleyicinin kullanıldığı sistemden daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni tip-2 bulanık sistemde belirsizliklerin, tip-1 bulanık sistemden daha iyi modellenmesidir.



(a) (3-3-5) Tip-1 bulanık tabanlı sistem çıkışı (b) (3-3-5) Tip-2 bulanık tabanlı sistem çıkışı

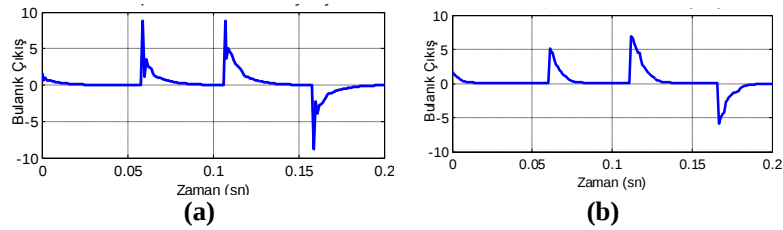


(c) (5-5-7) Tip-1 bulanık tabanlı sistem çıkışı (d) (5-5-7) Tip-2 bulanık tabanlı sistem çıkışı



(e) (7-7-9) Tip-1 bulanık tabanlı sistem çıkışı (f) (7-7-9) Tip-2 bulanık tabanlı sistem çıkışı

Şekil 5.9.Kaldırma hareketinin simülasyon sonuçları



Şekil 5.10.Kaldırma hareketinin dirsek açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı

Şekil 5.10 yapılan analiz çalışması doğrultusunda tip-2 ve tip-1 bulanık kontrolörleri için kullanılabilecek optimum üyelik fonksiyonunu belirlenmiştir. Elde edilen

simülasyon sonuçlarından yola çıkılarak tip-1 ve tip-2 bulanık kontrolörün optimum üyelik sayısının 7 giriş, 9 çıkış üyelik fonksiyonlu sistem olduğu belirlenmiştir. Tip-1 ve tip-2 bulanık sistemlerde üyelik fonksiyonlarının artması, iş yükünü yani işlem karmaşıklığını arttırmasına rağmen sistemi daha iyi modellediği için işlem performansını maksimum seviyeye çıkarmasını sağlamaktadır. Buda üyelik fonksiyonların getirdiği iş yükünün görmezden gelinmesini sağlamaktadır. Bu durumun daha iyi anlaşılması için tablo 5.6 ve 5.7 verilmiştir.

Tablo 5.6.Tip-1 ve tip-2 bulanık sistemlerin işlem karmaşıklığı

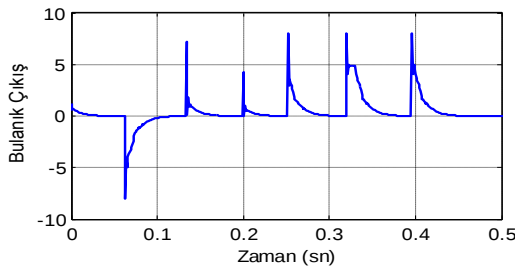
Sistem	Hesaplama Maliyeti (sn)
Tip-1 Sistem(3-5)	0.000358
Tip-1 Sistem(5-7)	0.000421
Tip-1 Sistem(7-9)	0.000512
Tip-2 Sistem(3-5)	0.001165
Tip-2 Sistem(5-7)	0.001253
Tip-2 Sistem(7-9)	0.001306

Tablo 5.7. Toplam sistem maliyeti

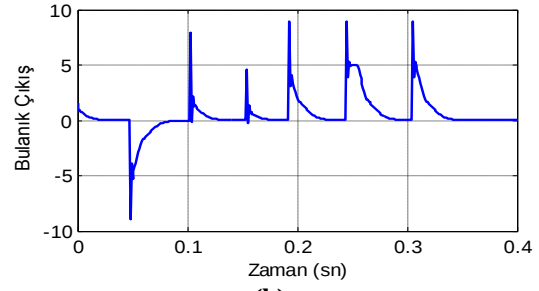
Sistem	Toplam Hesaplama Maliyeti (sn)
Tip-1 Sistem(3-5)	0.40
Tip-1 Sistem(5-7)	0.25
Tip-1 Sistem(7-9)	0.20
Tip-2 Sistem(3-5)	0.45
Tip-2 Sistem(5-7)	0.20
Tip-2 Sistem(7-9)	0.20

Tablo 5.6 ve 5.7’de sistemlerin kullandığı üyelik fonksiyonları yazılmıştır. Buna göre işlem karmaşıklığı en yüksek olan tip-2 sistem(7-9) olmasına rağmen işlem performansı da yine en iyi olan tip-2 sistem(7-9)’dur. Bu sistemler içerisinde tip-1 sistem(7-9), hem işlem karmaşıklığı tip-2 sistem(7-9)’dan iyi hem de sistem cevabı tip-2 sistem(7-9) ile aynı olmasına rağmen belirsizliklerin minimum olması için tip-2 sistem(7-9) kullanılmasının daha doğru olduğu görülmektedir.

Şekil 5.11’de halter hareketi yapılırken değişen dirsek eklem açısının zamana göre bulanık kontrolör çıkışı verilmiştir. Bu şekil yakından incelendiğinde tip-1 bulanık kontrolörde oluşan titreşimlerin tip-2 bulanık kontrolöründe daha az olduğu görülmektedir. Buda sistemlerde oluşan belirsizliklerin tip-2 bulanık sistemler ile daha iyi modellendiğini ispatlamaktadır.

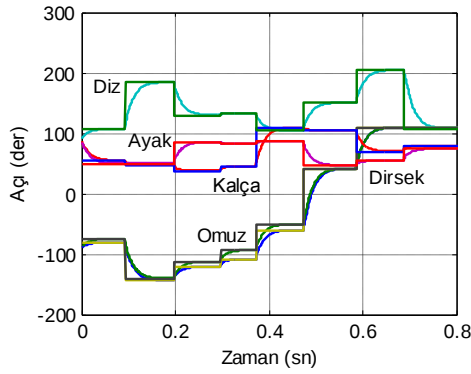


(a)

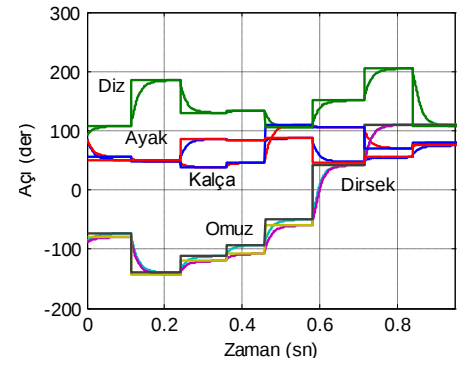


(b)

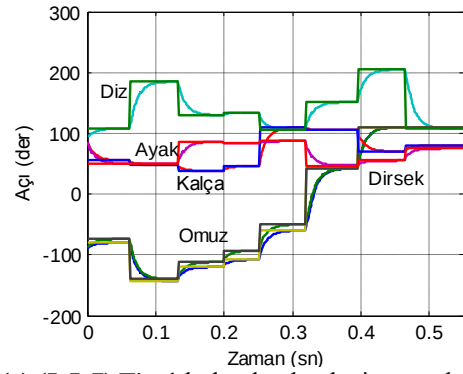
Şekil 5.11.Halter hareketinin dirsek açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı



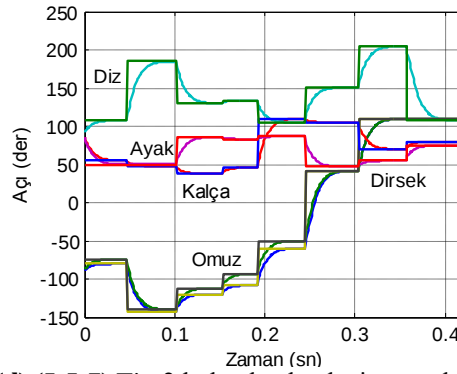
(a) (3-3-5) Tip-1 bulanık tabanlı sistem çıkışı



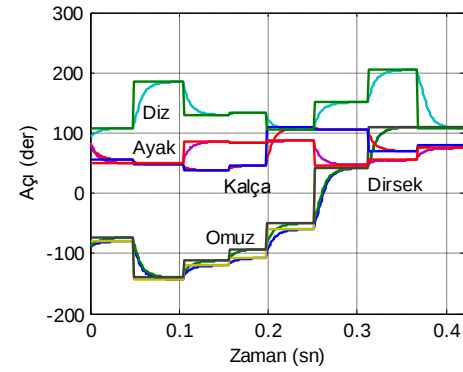
(b) (3-3-5) Tip-2 bulanık tabanlı sistem çıkışı



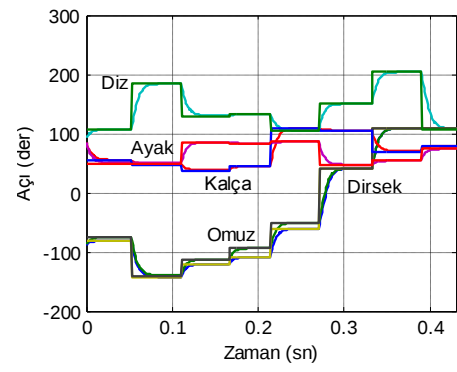
(c) (5-5-7) Tip-1 bulanık tabanlı sistem çıkışı



(d) (5-5-7) Tip-2 bulanık tabanlı sistem çıkışı



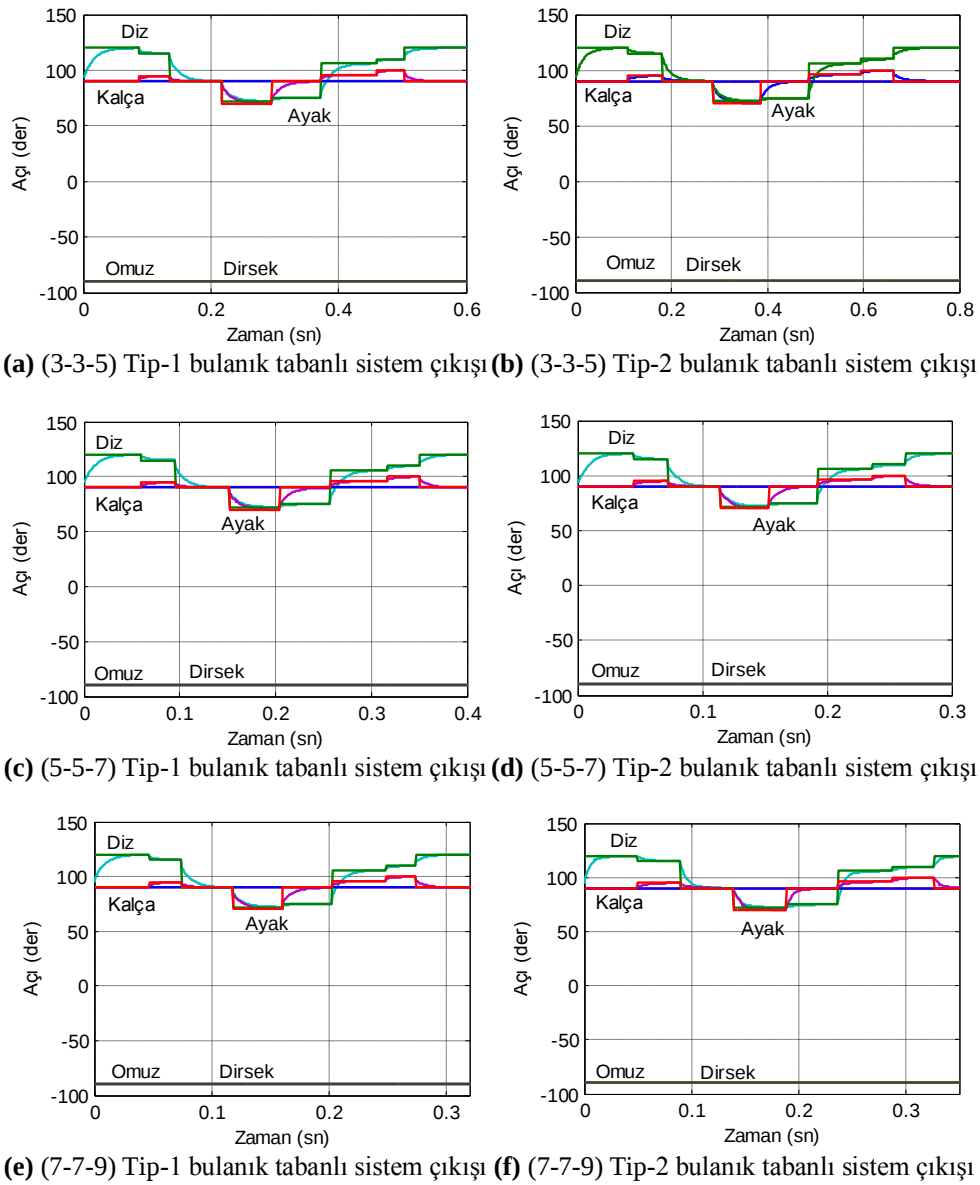
(e) (7-7-9) Tip-1 bulanık tabanlı sistem çıkışı



(f) (7-7-9) Tip-2 bulanık tabanlı sistem çıkışı

Şekil 5.12.Halter hareketinin simülasyon sonuçları

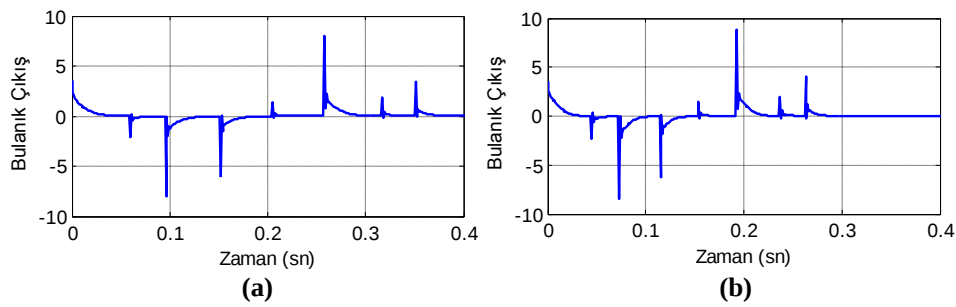
Şekil 5.12’de halter (koparma tekniği) hareketinin tip-1 ve tip-2 bulanık kontrolörler kullanılarak oluşturulan insan modelinin dirsek, omuz, kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin açı kontrollerinin zamana göre değişimleri verilmiştir. Şekil 5.12’de verilen halter hareketleri incelendiğinde tip-2 bulanık kontrolörün kullanıldığı sistem modellerinde geçişlerin daha yumuşak olduğu ve en iyi çalıştığı üyelik fonksiyon değerinin 5-5-7 olduğu gözlemlenmiştir. En kötü sistem çıkışı da 3-3-5 üyelik fonksiyonunda gözlemlenmiştir. Buda tip-2 bulanık sistemlerin minimum üyelik fonksiyonları için bir dezavantaj olduğunu ispatlamaktadır.



Şekil 5.13. Yürüme hareketinin simülasyon sonuçları

Şekil 5.13'te yürüme hareketi sistem modelinin simülasyon çıktıları verilmiştir. Yapılan simülasyonda sadece yürümeyi etkileyen kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin değişimleri dikkate alınmıştır. Bunun nedeni ise yürüme hareketi analizinin daha basit bir şekilde yapılmasıdır. Bunun için omuz ve dirsek eklemler açısı değerleri -90 olarak alınmıştır.

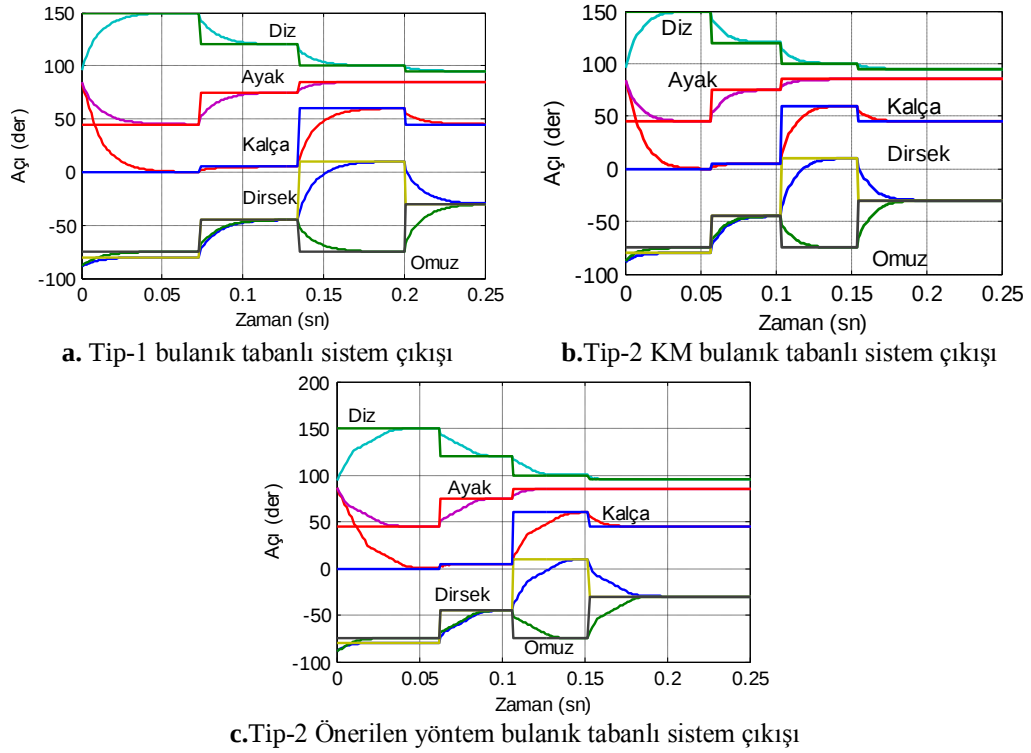
Şekil 5.14'de diz ekleminin bulanık sistem çıkış değeri verilmiştir. Her iki bulanık sistem çıkış değerleri incelendiğinde hem işlem performansı hem de belirsizliklerin iyileştirilmesi açısından tip-2 bulanık kontrolörün tip-1 bulanık kontrolör'e göre daha iyi bir sonuç verdiği gözlenecektir.



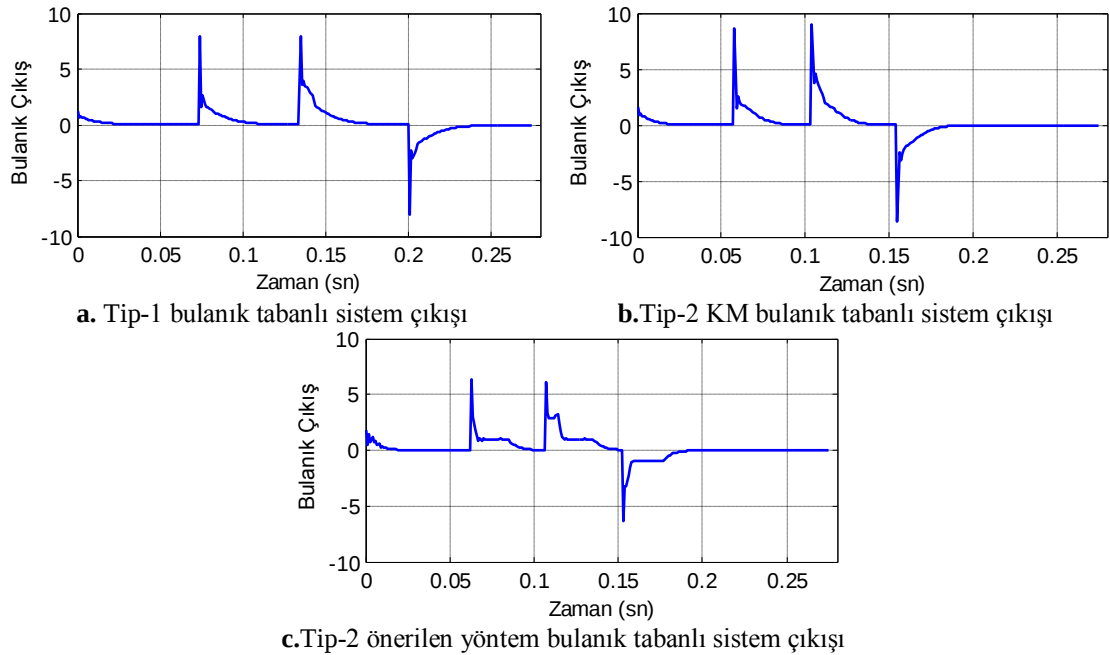
Şekil 5.14. Yürüme hareketinin diz açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı

Bu bölümde insan hareket modeli kullanılarak önerilen yöntemin hem doğruluğu hem de işlem performansı gösterilmiştir. Bunun için önerilen yöntem, KM algoritması ve tip-1 bulanık kontrolörünün sistem çıktıları deneysel olarak elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan tüm bulanık kontrolörler için 5-5-7 üyelik fonksiyonu seçilmiştir ve işlemler buna göre yapılmıştır.

Kaldırma hareketinin sistem çıkışı şekil 5.15'te gösterilmiştir. Verilen bu iki grafik incelendiğinde önerilen algoritmanın hem tip-1 bulanık kontrolörden hem de tip-2 bulanık kontrolörden daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir. Fakat sistem çıkışı olarak tip-1 ve tip-2 bulanık kontrolöre göre daha keskin veriler üretmektedir. Bunun daha iyi anlaşılması için üç farklı sistemden elde edilen dirsek eklemlerinin bulanık sistem çıkışı şekil 5.16'da verilmiştir. Bu grafikler yakından incelendiğinde çıkış faz salınımlarının daha fazla olduğu görülecektir.



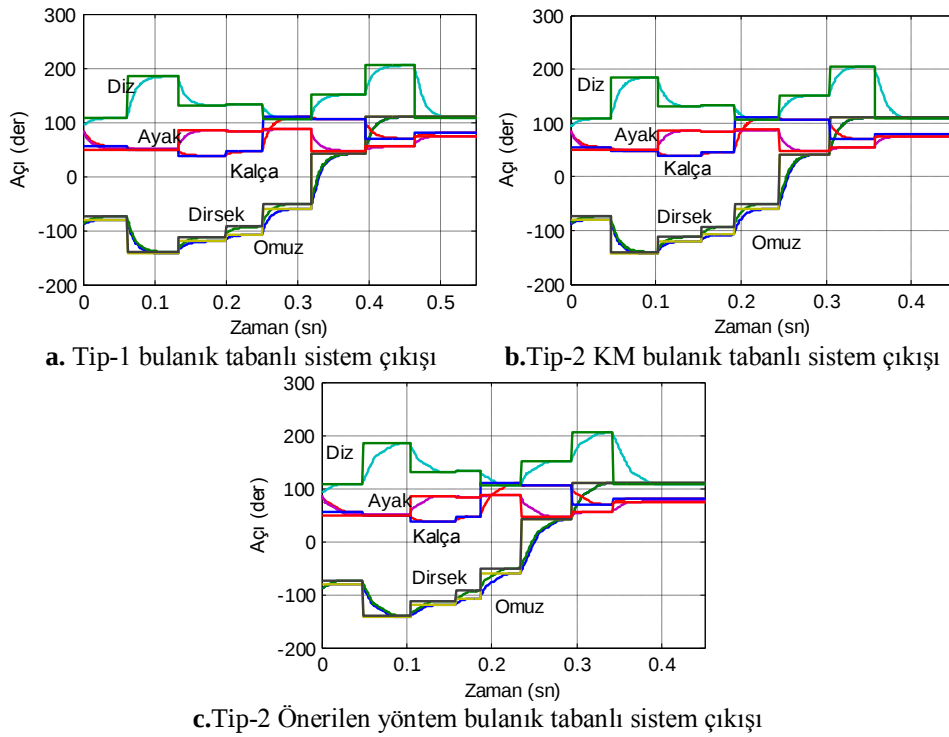
Şekil 5.15. Kaldırma hareketi için tip-1, KM ve Önerilen yaklaşımının simülasyonu çıkışı



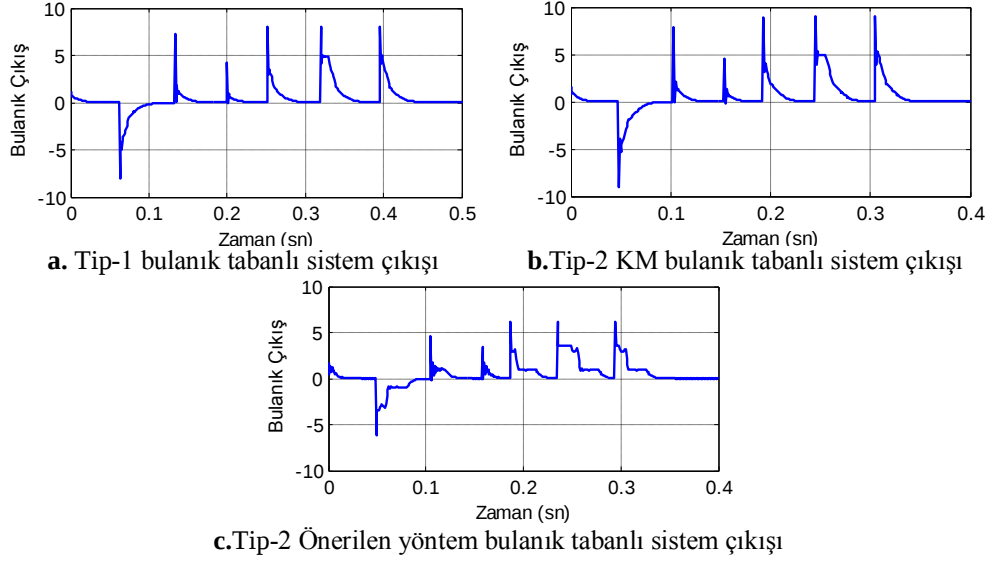
Şekil 5.16. Kaldırma hareketinin dirsek ekleme açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı

Halter hareketinin simülasyon sonucu şekil 5.17’de gösterilmiştir. Üç sistem yakından incelendiğinde önerilen yaklaşımın KM algoritması ve tip-1 bulanık kontrolöre göre daha hızlı çalıştığı gözlemlenmiştir. Ama grafikler daha yakından incelendiğinde önerilen

bulanık kontrolörün diğer iki kontrolöre göre daha kesin sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Buda sistem çıkışındaki faz salınımlarının artmasına neden olmaktadır. Bu konunun daha iyi anlaşılması için şekil 5.18 incelenebilir. Önerilen yöntemin diğer iki yönteme göre verilere tepki verme süresi kısa olmasına rağmen sistem gürültüsü yani faz salınım oranında diğer iki kontrolörden daha fazladır. Bu salınımların olmasına neden olarakta önerilen yöntemde kullanılan resmin boyutu yani piksel sayısı verilebilir. Çünkü bu yöntemde kullanılan resim boyutu çok önemlidir. Yapılan tüm simülasyon çalışmalarında kontrolörün verimli çalışacağı minimum resim boyutu seçilmiştir ve bu oran yapılan denemeler sonucunda 900x1200 olarak belirlenmiştir. Sistem çıkışında oluşan faz salınımlarını azaltmak için bu boyut arttırılabilmektedir fakat bu durum sistem performansının düşmesine neden olmaktadır. Gerçek dünyada genellikle yapılan işlemlerin performansı daha önemli olduğu için bu sorun göz ardı edilebilir.

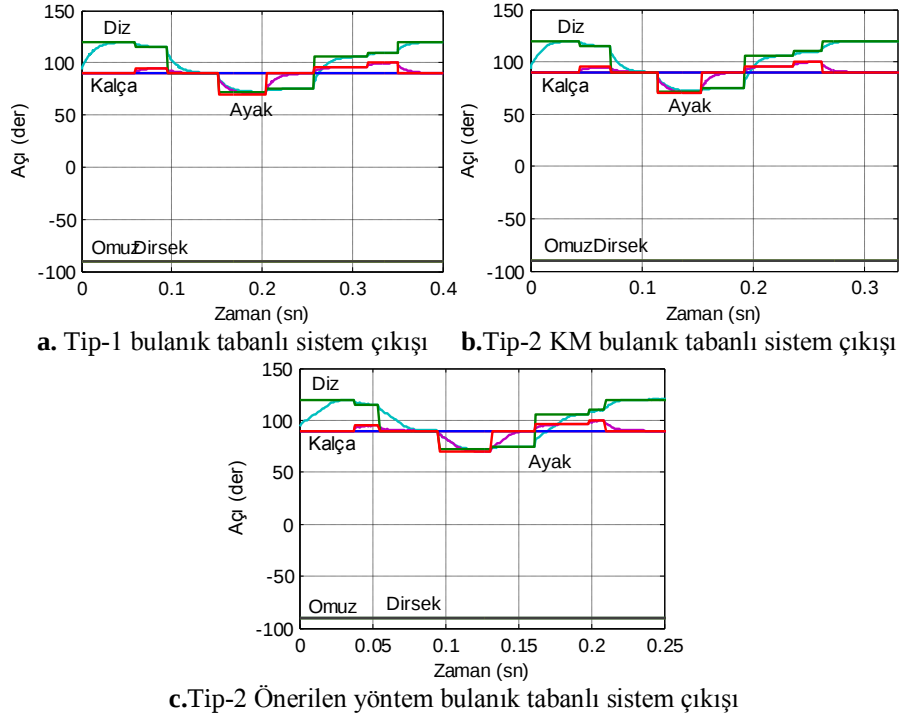


Şekil 5.17. Halter hareketi için tip-1, KM ve Önerilen yaklaşım bulanık kontrolörün sistem çıkışı



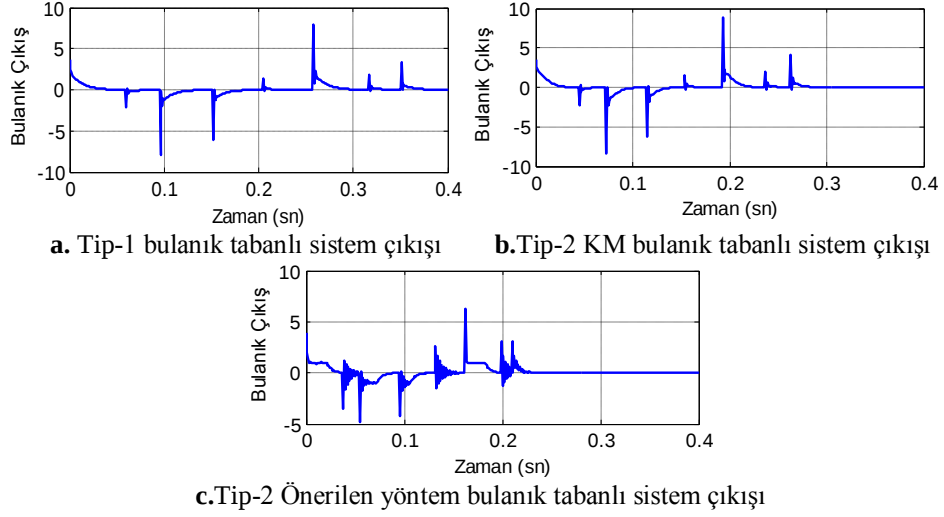
Şekil 5.18. Halter hareketinin dirsek eklem açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı

Şekil 5.19’da yürüme hareketinin eklem açılarının değişim analizleri verilmiştir. Yapılan bu analizde sadece kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin değişimleri dikkate alınmıştır. Böylece daha basit bir modelleme amaçlanmıştır.



Şekil 5.19. Yürüme hareketi için tip-1, KM ve Önerilen yaklaşım bulanık kontrolörün sistem çıkışı

Şekil 5.20’de sistemlerdeki diz eklem açısının bulanık sistem çıkışının faz salınımları verilmiştir.



Şekil 5.20. Yürüme hareketinin diz açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı

Yapılan simülasyon ve deney sonuçları göz önüne alındığında önerilen yaklaşımın hem performans hem de işlem maliyeti açısından hem KM algoritmasının kullanıldığı bulanık kontrolörden hem de tip-1 bulanık kontrolörden daha iyi olduğu doğrulanmıştır.

5.6. Bölüm Değerlendirmesi

Yapılan çalışma ile mühendislik ve bilgisayar bilimleri alanında sıklıkla kullanılan bulanık kontrol sistemleri için tip-2 bulanık mantık sistem tabanlı bir bulanık kontrol tasarlanmış ve bu kontrol sistemi kullanılarak insan modelinin eklem açılarının kontrol edilmesi sağlanılmıştır.

İnsan hareketlerinin modellenmesi, simülasyonu ve analizi insansı robotların geliştirilmesi, hareket tanıma sistemleri ve biyomekanik çalışmalar için önemlidir. Bu çalışmada karmaşık bir hareket olan kaldırma, halter ve yürüme hareketi için modelleme ve kontrol analizleri yapılmıştır. Tip-1 ve tip-2 bulanık sistemleri kullanan önerilen yaklaşımın performansı karşılaştırmalı olarak gerçek verilerle elde edilmiş ve etkinliği gösterilmiştir. Özellikle tip-2 bulanık sistemin etkinliği doğrulanarak, iki boyutlu beş parçalı modelden elde edilen sonuçlarla, daha fazla parçalı modellerde de etkili sonuçların alınabileceğine dair çıkarım sağlamıştır. Çalışma kapsamında elde edilen yaklaşımın

gerçek bir robotik uygulamasında kolaylıkla uygulanabileceği denemeler sonucunda gösterilmiştir.

Tasarlanan insan modeli sisteminin sunduğu katkılar;

- İnsan modelinin kolay bir şekilde kontrol edilebilmesi,
- Belirsizliklerin daha iyi bir şekilde modellenmesi,
- Sistemlerin işlem performanslarının iyileştirilmesi olarak gösterilebilir.

Yapılan çalışmalar sonucunda daha basit, işlem performansı yüksek bir sistem ve hareket kabiliyeti yüksek bir insan modeli geliştirilmeye çalışılmıştır.

6. SONUÇLAR

Bu tezde, tip-2 bulanık sistem kontrollü için yeni bir tip indirgeme ve durulandırma yöntemi geliştirilmiş ve bu sistem insan hareket modelinde uygulamalı olarak gösterilmiştir. Sistemin doğruluğunu göstermek için tip-1 ve KM algoritma tabanlı tip-2, bulanık sistemlerle denetlenmiştir. Sistem simülasyonları, MATLAB’da Simulink ve m.file ortamında yapılmıştır. Tüm simülasyon çalışmalarında örnek sistem olarak insan modeli kullanılmıştır. Tezde tasarlanan model kullanılarak üç farklı çalışma yapılmıştır. Bunlar;

1. Tip-2 bulanık sistemlerde oluşan işlem karmaşıklığını minimuma indirmesi için yapılan çalışmalar. Bunun için tip-2 bulanık sistemlerin durulandırma aşaması için görüntü işleme tabanlı yeni bir yöntem önerilmiş ve gerekli denemeler ve gözlemler yapılmıştır.
2. Tip-2 bulanık kontrolör kullanılarak, insan modelinin kontrolünün sağlanması için yapılan çalışmalar.
3. Tasarlanan tip-2 bulanık kontrolörün kullanılarak insan hareketi kontrol edilmiştir.

Tasarlanan tip-2 bulanık kontrolör tabanlı insan modeli için ilgili tüm deneme çalışmaları yapılmıştır. Bulanık insan hareket modeli oluşturulurken tip-1 bulanık sistem, KM Algoritmasının kullanıldığı tip-2 bulanık sistem ve görüntü işle tabanlı tip-2 bulanık sistemler kullanılmış ve bu üç sistem arasındaki avantaj ve dezavantajlar incelenmiştir gerekli simülasyon sonuçları ayrıntılı olarak tezde verilmiştir.

Deneylerde incelenmek üzere kaldırma, halter ve yürüme hareketleri seçilmiştir. Bu hareketler, kompleks bir yapıya sahip olduğu için özellikle seçilmiştir. Her harekette eklem açısı kontrolörü kullanılarak her bir segmentte oluşan kuvvet ve momentler incelenmiştir.

Tasarlanan tip-2 bulanık tabanlı insan modelinin sunduğu katkılar aşağıda verilmiştir:

- İnsan modelinin kolay bir şekilde kontrol edilebilmesi,
- Belirsizliklerin daha iyi bir şekilde modellenmesi,
- Sistemlerin işlem performanslarının iyileştirilmesi,

Yapılan çalışmalar sonucunda daha basit, işlem performansı ve hareket kabiliyeti yüksek bir insan modeli oluşturulabildiği gözlemlenmiştir. Tip-2 bulanık sistemler için

önerilen yeni yöntem olan görüntü işleme tabanlı yeni sistemin gerçek sistemlerde de uygulanabileceği görülmüştür.

Tüm çalışmalar incelendiğinde (7-7-9) ve (5-5-7) üyelik fonksiyonuna sahip tip-2 bulanık sistemlerin gerçek zamanlı sistemler için daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Tüm çalışmalarda (3-3-5) üyelik fonksiyonuna sahip tip-1 bulanık kontrolör, tip-2 bulanık kontrolörden daha iyi sonuç vermiştir. Bu durum tip-2 bulanık sistemlerin minimum üyelik fonksiyonlu sistemler için bir dezavantaj olduğunu kanıtlamaktadır.

Yapılan çalışmalarda tip-2 bulanık kontrolör çalışacağı optimum üyelik fonksiyonu belirlenmiş ve geliştirilen yöntemin çalışılabilirliği ve avantajları deneysel sonuçlarla gösterilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda geliştirilen yeni yaklaşımın farklı sistemler içinde kullanılabilirliği ispatlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Muybridge, E.**,1877. The Horse in motion, <http://philosophyofscienceportal.blogspot.com/2010/04/eadweard-muybridges-horse-in-motion.html>.
- [2] **Margaria, R.**, 1976. Biomechanics and energetics of muscular exercise, Clarendon Press (Oxford Eng.).
- [3] **Çilli, M.**, 2007. İnsan Hareketinin Modellenmesi ve Benzeşiminde Temel Bileşenler Analizi Yönteminin Kullanılması, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı Doktora Tezi.
- [4] **Hubbard, M. ve Trinkle, J.C.**, 1985. Clearing maximum height with constrained kinetic energy, Journal of Applied Mechanics, cilt. 52-1, s. 179.
- [5] **Yeadon M. R.**, 1990. The Simulation of Aerial Movement-II and Mathematical Inertia Model of the Human Body. Journal of Biomechanics, cilt. 23, s. 67-74.
- [6] **Gray, S.C.**,1953. How animals move, Kembriç Üniversitesi Press.
- [7] **Marcio, J.S., Neeta, K., Alexander, S.A.**, 2010. The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture: 2. Biomechanical analysis, Elsevier, Cilt. 20, s.398-405.
- [8] **Yujiang, X., Jasbir, S.A., Salam, R., Timothy, M., Rajankumar, B., Karim, A.M.**, 2010. Human lifting simulation using a multi-objective optimization approach, Multibody Syst Dyn, Cilt. 23, s:431-451.
- [9] **Ahmad, R., Yaacob, M.S., Che, O.M.B.**, 2008. Kinematics modeling of human motion using system identification technique, Second Asia International Conference on Modelling& Simulation, s. 338-343.
- [10] **Hatze, H.**, 1980. A mathematical model for the computational determination of parameter values of anthropomorphic segments, Journal of Biomechanics Cilt. 13(10), s. 833-843.
- [11] **Johansson, G.**,1973. Visual perception of biological motion and a model for its analysis, Journal of Perception and Psychophysics, Cilt. 14, s. 201-211.
- [12] **Nobutomo, M.,Yutaka, O. ve Shigeyasu K.**, 2004. Kinematican alysis of human lifting move ment for biped robot control, The 8th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, s.421 - 426 .

- [13] **Alexander R.M.N**, 2003. Modelling approaches in biomechanics, Phil.Trans. R. Soc. Lond., s.1429-1435.
- [14] **Woojin, P., Don, B.C., Bernard, J.M., ve Jonghwa, Y.**, 2008. Memory-based human motion simulation for computer-aided ergonomic design, IEEE Transactions on Systems, man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans, Cilt. 38(3), s. 513-52.
- [15] **Aggarwal, J. ve Cai, Q.**, 1999. Human Motion Analysis: A Review, Computer Vision and Image Understanding, Computer Vision and Image Understanding, Cilt. 73(3), s. 428–440.
- [16] **Fan, J., El-Kwae, E., Hacid, M. ve Liang, F.**, 2002. Novel tracking based moving object extraction algorithm, J. Electronic Imaging, Cilt. 11(3), s. 393-403.
- [17] **Chapman, A.E.** 2008. Biomechanical Analysis of Fundamental Human Movements, Human Kinetics, USA.
- [18] **Tümer, T.**,2005. ODTÜ Makine Mühendisliğinde Biyomekanik Araştırmaları.
- [19] **Tümer, T., Tönük, E.**, 2004. Biyomekanik ve Anatomide Uygulamalar ODTÜ ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü.
- [20] **Kuran, B.**, 2012. İnmede Yürüme ve Denge, Şişli Etfal Eğitim Araştırması Hastanesi, TFTR 2. Kış Okulu Nörolojik Rehabilitasyon.
- [21] **Hadi, G.**, 2008. Halterde Koparma Tekniğinin 3-Boyutlu Kinematik Analizi, Şişli Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Antrenörlük Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- [22] **Harbili, E. ve Arıtan S.**,2006. Koparma Tekniğinin Biyomekaniği, Spor Bilimleri Dergisi Hacettepe J. of Sport Sciences,Cilt. 17(3), s. 124-142.
- [23] **Gordon, D., Robertson, E., Caldwell, G.E., Hamill, J., Kamen, G. ve Whittlesey, S.N.**, 2004. Research methods in biomechanics, Human Kinetics, USA.
- [24] **Chandler, R.F., Clauser, C.E., Mcconville, J.T., Reynolds, H.M. ve Young, J.W.**, 1975. Investigation of inertial properties of the human body, Aerospace Medical Research Laboratory, 1-162, Washington D.C.
- [25] **Challis, J.H.**, 2001. Modeling in Biomechanics, <http://www.personal.psu.edu/users/j/h/jhc10/KINES574>.

- [26] **Clauser, C. E., McConville, J. T., Young, J. W.,** 1969. Weight, Volume and Center of Mass of Segments of the Human Body, Technical Report AMRL-TR-69-70, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- [27] Advanced Biomechanics of Physical Activity (KIN 831) -Anthropometry, <https://www.msu.edu/course/kin/831/classes.htm>
- [28] **Güleç, N., Doğan, E., ve Ünal, M.** 2007. Çok Gövdeli Sistemlerde Hareket Analizi, TOK'07 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Sabancı Üniversitesi, Tuzla, İstanbul, Türkiye.
- [29] **Qu, X., ve Nussbaum, M.A.** 2009. Simulating Human Lifting Motions Using Fuzzy-Logic Control, IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics Part A: Systems and Humans, cilt. 39-1, s. 109-118.
- [30] **Lin, C.J., Ayoub, M.M., ve Bernard, T.M.** 1999. Computer motion simulation for sagittal plane lifting activities, International Journal of Industrial Ergonomics, cilt. 24-2, s. 141-155.
- [31] **Chan, C.S., ve Liu, H.** 2009. Fuzzy Qualitative Human Motion Analysis, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, cilt. 17-4.
- [32] **Karaköse, M.** 2010. İnsan Hareketlerinin Analiz ve Simülasyonu için Bulanık Mantık Yaklaşımı, Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO-2010).
- [33] **Karaköse, M. ve Makinist, S.,** Tip-2 Bulanık Sistemlerde Tip İndirgeme Yaklaşımı, TOK 2011, İzmir, 2011.
- [34] **Karaköse, M. ve Makinist, S.,** İnsan Kaldırma Hareketinin Analizi İçin Tip-2 Bulanık Sistem Yaklaşımı, Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilişim Ve Mühendisliği Dergisi, sayı no. 7, s. 11-22, 2013.
- [35] **Karaköse, M. ve Makinist, S.,** Image Processing Based Defuzzification Method For Type-2 Fuzzy Systems, ASCC 2013 Turkey/ Istanbul, 2013.
- [36] **Dariush, B. ve Fujimura, K.** 2000. Fuzzy Logicated Control Model of Human Postural Dynamics, Honda R&D America Copyrightc 2000 Society of Automotive Engineers, Inc.
- [37] **Guo, Y. ve Woo, P.Y.** 2003. An Adaptive Fuzzy Sliding Mode Controller for Robotic Manipulators, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, cilt 33-2.

- [38] **Mendel, J. M.**, 2007. Advances in type-2 fuzzy sets and systems, Information Sciences, Cilt. 177, s. 84-110.
- [39] **Mendel, J.M. ve Wu, D.**, 2010. Interval Type-2 Fuzzy Set Subsethood Measures as A Decoder for Perceptual Computing, Signal and Image Processing Institute Ming Hsieh Department of Electrical Engineering University of Southern California, Los Angeles.
- [40] **Linda, O. ve Manic, M.**, 2012. Monotone Centroid Flow Algorithm for Type-Reduction of General Type-2 Fuzzy Sets, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt. 99(1).
- [41] **Hosseini, R., Qanadli, S.D., Barman, S., Mazinani, M, Ellis, T. ve Dehmeshki, J.**, 2012. An Automatic Approach for Learning and Tuning Gaussian Interval Type-2 Fuzzy Membership Functions Applied to Lung CAD Classification System, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt. 20(2).
- [42] **Zadeh, L.A.**, 1975. The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning-I,II,III, Information Sciences part 1,2 ve 3, Cilt₁. 8, Cilt₂. 8, Cilt₃. 9, s₁. 199-249, s₂. 301-357, s₃. 43-80.
- [43] **Zadeh, L.A.**, 1965. Fuzzy Sets, Information and Control, Cilt. 8,s. 338-353,.
- [44] **Zadeh, L.A.**, 1973. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process, IEEE Transactions on Systems man and Cybernetics Cilt. SMC-3, s. 28-44.
- [45] **Karaköse, M.**, 2010. Sine-square embedded fuzzy sets, IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC2010), s. 3628-3631.
- [46] **Khanesar, M.A., Kayacan, E., Teshnehlab, M. ve Kaynak, O.** 2011. Analysis of the Noise Reduction Property of Type-2 Fuzzy Logic Systems Using a Novel Type-2 Membership Function, IEEE Transactions on Systems Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics, Cilt. 41, s. 1395 – 1406.
- [47] **Mendel, J.M. ve Liang, O.**, 2000. Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems: Theory and Design, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt. 8(5).
- [48] **Mendel, J.M. ve Wu, D.**, 2009. Enhanced Karnik–Mendel Algorithms, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt. 17(4).
- [49] **Karnik, N.N., Mendel, J.M. ve Liang, O.**, 1999. Type-2 Fuzzy Logic Systems, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt. 7(6), s. 643-658.

- [50] **Mendel, J.M., John, R.I. ve Liu, F.,** 2006. Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt. 14(2).
- [51] **Mendel, J.M., ve Liu, F.,** 2008. Aggregation Using the Fuzzy Weighted Average as Computed by the Karnik–Mendel Algorithms, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt. 16(1).
- [52] **Coupland, S. ve John, R.,** 2007. Geometric Type-1 and Type-2 Fuzzy Logic Systems, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt. 15(1), s. 3-15.
- [53] **Wagner, C., Hagrass, H.,** 2010. Toward General Type-2 Fuzzy Logic Systems Based on zSlices, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt. 18(4).
- [54] **Lucas, L. A., Centeno, T. M. ve Delgado, M. R.,** 2007. General type-2 fuzzy inference systems: Analysis, design and computational aspects, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, s. 1–6.
- [55] **Ulu, C., Güzelkaya, M. ve Eksin, İ.** 2011. A Dynamik Defuzzification Method for Interval Type-2 Fuzzy Logic Controllers, Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics, İstanbul, Türkiye.
- [56] **Wu, D. ve Mendel, J.M.,** 2007. Uncertainty measures for interval type-2 fuzzy sets, Signal and Image Processing Institute, Ming Hsieh Department of Electrical Engineering, University of Southern California, Los Angeles.
- [57] **Greenfield, S., Chiclana, F., John, R., Coupland, S.,** 2012. The sampling method of defuzzification for type-2 fuzzy sets: Experimental evaluation, Information Sciences on Informatics and Computer Science Intelligent Systems Applications, Cilt. 189, s. 77-92.
- [58] **Linda, O. ve Manic, M.,** 2010. Importance Sampling Based Defuzzification for General Type-2 Fuzzy Sets, IEEE World Congress on Computational Intelligence, s. 18-23.
- [59] **Mendel, J.M. ve John, R.,** 2002. Type-2 Fuzzy Sets Made Simple, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, cilt. 10(2).
- [60] **Mendel, J.M.,** 2001. Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions, NJ: Prentice-Hall,.
- [61] **Karnik, N.N. ve Mendel, J.M.,** 2001 Centroid of a type-2 fuzzy set, Information Sciences, Cilt. 132, s. 195–220.
- [62] **Yeh, C.Y., Jeng, W.H. ve Lee, S.J.,** 2011. An enhanced type-reduction algorithm for type-2 fuzzy sets, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt. 19(2), s. 227–240.

- [63] **Liu, F.**, 2008. An efficient centroid type-reduction strategy for general type-2 fuzzy logic system, *Information Sciences, Cilt.* 178(9), s. 2224–2236.
- [64] **Klir, G. J. ve Yuan, B.**, 1995. *Fuzzy Set and Fuzzy Logic*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall PTR.
- [65] **Zhai, D. ve Mendel, J.M.** 2009. Uncertainty Measures for General Type-2 Fuzzy Sets, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, s.281-286.
- [66] **Zhai, D. ve Mendel, J.M.**,2011. Computing the Centroid of a General Type-2 Fuzzy Set Computed by Means of the Centroid-Flow Algorithm, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* , *Cilt.* 19(3), s. 401 - 422.
- [67] **Greenfield, S., John, R. I., ve Coupland, S.**, 2005. A novel sampling method for type-2 defuzzification, presented at the UKCI, London, U.K..
- [68] **Wu, H. ve Mendel, J. M.**, 2002. Uncertainty bounds and their use in the design of interval type-2 fuzzy logic systems, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt.* 10(5), s. 622–639.
- [69] **Mendel, J. M., Liu, F. ve Zhai, D.**, 2009. α -Plane Representation for Type-2 Fuzzy Sets:Theory and Applications, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt.* 17(5).
- [70] **Yıldırım, M. T.**, 2007. 2. Tip Bulanık Sistemler İle Sayısal Görüntülerden Dürtü Gürültüsünün Giderilmesi, *Erciyes Üniversitesi Doktora tezi.*
- [71] **Wu, D. ve Nie, M.**, 2011 .Comparison And Practical Implementation Of Type-Reduction Algorithms For Type-2 Fuzzy Sets And Systems, 2011 IEEE International Conference On Fuzzy Systems, Taipei, Taiwan.
- [72] **Wu, D.**, 2013. Approaches For Reducing The Computational CostOf Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems:Overview And Comparisons, *IEEE Transactions On Fuzzy Systems, Cilt.* 21- 1.
- [73] **Dempster, W. T.**, 1955. *The Anthropometry of Body Action*, Defiartmentof Anatomy, University of Michigan, Ann Arbor, Mich.
- [74] <http://tr.wikipedia.org/wiki>.
- [75] <http://www.belgeler.com/blg/2cu4/insan-elinin-biyomekanigi>
- [76] **Amca, A. M.**, 2010. Vücut Kütle Merkezi Konum Hesabı, SBA 206 Spor Biyomekanigi.http://yunus.hacettepe.edu.tr/~cilli/dersler/sba206/uygulamalar/SBA_206_hafta41.pdf

[77] https://dosya.sakarya.edu.tr/Dokumanlar/2013/MKM526/92652201_3._antropometri.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Semiha MAKİNİST 24.09.1987 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 2006 – 2010 yılları arasında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde yüksek öğrenimini tamamladı. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği ana bilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2010–2013 yılları arasında farklı özel kurumlarda çalıştı.