

İnsan Kaldırma Hareketinin Analizi için Tip-2 Bulanık Sistem Yaklaşımı

An Approach Based on Type-2 Fuzzy Control To Analyze Human's Lifting Movement

Mehmet KARAKÖSE
Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Elazığ
mkarakose@firat.edu.tr

Semiha MAKİNİST
semihamakini@gmail.com

Özetçe

Günümüzde bilgisayar görmesi, robotik, hareket tanıma ve insansı robotların geliştirilmesi gibi mühendislik problemlerinin çözümüne ve insanların günlük yaşamında sıkça yaptığı yürüme, koşma ve kaldırma gibi hareketlerin analizine yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Bunun için insan hareketleri modellenerek simülasyonunun yapılması ve biyomekanik analizlerinin verilmesi bu açıdan önemlidir. Bu çalışmada, modelleme yönünden karmaşık bir hareket olan insanın kaldırma hareketinin analizi için tip-2 bulanık kontrol tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur. Önerilen yaklaşım için iki boyutlu beş parçalı bir insan modeli kullanılarak, her parçaya ait eklem açısı tip-1 ve tip-2 bulanık denetleyiciler ile kontrol edilmiştir. Deneysel olarak elde edilen kaldırma hareketine karşılık gelen veriler kullanılarak, önerilen yaklaşımın Matlab/Simulink simülasyonu karşılaştırılabilir olarak verilmiştir. Simülasyon sonuçları insanın kaldırma hareketinin analizi için kullanılan tip-2 bulanık sistemin, zaman ve performans açısından etkinliğini doğrulamaktadır.

Anahtar Sözcük: İnsan Hareketleri, Kaldırma Hareketi, İnsan Modeli, Tip-2 Bulanık Sistem.

Abstract

Many studies in nowadays have been done for solving engineering problems such as computer vision, robotic, motion recognition, and the development of humanoid robots and analysis of

human movements such as walking, running, and lifting that are often done in daily life. Therefore, simulated human movements by modeling and given its biomechanical analysis are very important. In this study, an approach based on type-2 fuzzy control is proposed to analyze human's lifting movement that is a complex movement in terms of modeling. For the proposed approach, joint angle of each part are controlled with type-1 and type-2 fuzzy controller by using a two-dimension five-part human model. The simulation of this approach in Matlab/Simulink is comparatively given by using the related data that is obtained experimentally. Effectiveness of type-2 fuzzy system is verified with regards to time and performance thanks to the human's lifting movement analyzed with simulation results.

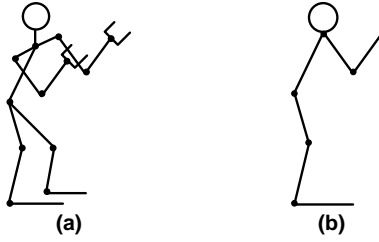
Keywords : Human Motion, Lifting Motion, Human Model, Type-2 Fuzzy System.

1 Giriş

Son zamanlarda insan hareketlerinin modellenmesi ve tanınması ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmaların artmasının temel nedeni, gerçek dünya problemlerinde insan hareket modellerine ihtiyaç duyulmasıdır. Örneğin otomotiv fabrikasında montajlama işlemlerinin ve kaldırma gibi hareketlerin robot kollarına yaptırılması, güvenlik şirketlerinde güvenlik sistemleri için insan hareketleri sınıflandırılarak kişi analizinin yapılması, sağlık firmalarında hastanın duruş analizi yapılarak hastanın duruş bozukluğunun tespit edilmesi gibi

farklı birçok alanda insan hareketlerinin modellenmesi ve analizi kullanılmaktadır [1-3]. Her alanda kullanılan sistem için farklı insan hareketleri analiz edilmekte ve bu analiz sonucunda farklı modelleme teknikleri geliştirilmektedir. Analizler genellikle insanların günlük hayatta sıklıkla kullandıkları yürüme, koşma ve kaldırma gibi temel hareketleri kapsar.

Literatürde ve uygulamada insan hareket modeli için iki veya üç boyutlu insan modeli kullanılmaktadır. Uygulama ve probleme göre bu modeller içerisinde hareket analizi için özellikle iki boyutlu modeller tercih edilir. Şekil 1'de iki boyutlu insan modelleri için çok parçalı ve 5 parçalı yaklaşımların gösterimi verilmiştir. Elbette kullanılan modeller bunlarla sınırlı olmayıp daha fazla parça ile modelleme yapılabilmektedir. Ancak parça sayısı artması modellemenin karmaşıklığını artırmaktadır.



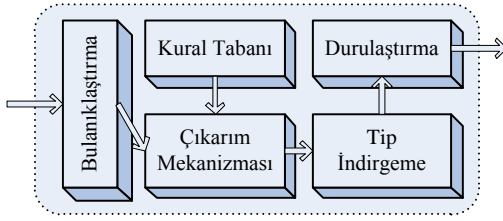
Şekil-1: Çok parçalı ve 5 parçalı insan modeli [18]

İnsan hareketlerinin modellenmesi ve analizi için literatürde birçok yöntem verilmiştir [4-19]. Ji [4] çalışmasında insanın duruş ve hareketlerinin analizi için bir değerlendirme vermiştir. Buna karşın Chen [5] insan hareketlerinin analizi için uyarlamalı bir yöntem ve kestirim metodu verilmiş ve deneysel görüntülerle doğrulanmıştır. İnsan hareketlerinin analizini farklı uygulamalarla veren başka birçok çalışma vardır [6-8]. Özellikle insansı robotların geliştirilmesine yönelik birçok çalışmada insan hareketlerinin modelleme çalışmaları kullanılmış ve çeşitli sonuçlar elde edilmiştir [9-11]. Bu çalışmalarda ağırlıksız ortamda insan hareketlerinin modellenmesi olduğu gibi zıplayan bir robot uygulamasında uygulanması için farklı yöntemler de önerilmektedir. Özellikle insanın günlük yaşamında genelde yaptığı koşma, yürüme, atlama ve kaldırma gibi hareketlerin modellenmesine yönelik literatürde birçok çalışma bulunmaktadır [12-19]. İki boyutlu insan modellerinin kullanılarak yürüme hareketinin modellenmesi için önerilen yöntemler çeşitli simülasyonlarla doğrulanmıştır [12-14]. İnsan

hareketlerinin modellenmesi açısından en karmaşık hareket kaldırma hareketi olarak verilmektedir. Çünkü kaldırma hareketinde insanın eklem noktalarının tamamı hareket eder ve birbirlerine bağımlı olarak kontrol edilmesi gerekir. Çeşitli çalışmalarda kaldırma hareketinin modellenmesi için farklı teknikler kullanılmakla birlikte özellikle iki boyutlu beş parçalı model önemli kolaylıklar sağlamaktadır [15-16, 18-19]. Arisumi [15] insansı robotlar için dinamik kaldırma hareketi için bir analiz vermiş ve bunun için iki boyutlu modelleme kullanmıştır. Başka bir çalışmada iki boyutlu beş parçalı insan modeli kullanılarak insanın kaldırma hareketi analiz edilmiş ve hareket sırasındaki eklem açılarının değişimi verilmiştir [16]. Hareket analizi için kullanılan insan modellerinde temel nokta insanın eklem açılarının kontrol edilmesine dayanmaktadır. Bazı çalışmalarda bu açıların kontrol edilmesi için bulanık mantık kullanılmıştır [17-19]. Qu [18] çalışmasında iki boyutlu beş parçalı insan modelindeki eklem açılarının kontrolü için sinirsel bulanık kontrol tabanlı bir yöntem kullanmış ve önerdiği yöntemi simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır.

Literatürde insan hareketlerinin analizi üzerine yapılan çalışmalarda bulanık sistemlerin kullanılmasının bir nedeni modellemedeki ve verilerdeki belirsizlikler olarak söylenebilir. Bu belirsizlikler modelleme ve analiz için daha doğru sonuçların alınmasına engel olduğu gibi özellikle insansı robotlar için geliştirilen modellerin hassasiyeti için ayrıca önemlidir. Bu nedenle bazı durumlarda tip-1 bulanık sistemlerin dahi bu belirsizlikleri modellemede yetersiz kaldığı görülmektedir. Bunun için hem model hem de veri belirsizliklerini modellemek için kullanılan tip-2 bulanık sistemlerin insan hareketlerinin analizinde kullanılması faydalı olacaktır. Tip-2 bulanık sistemler tip-1 bulanık sistemlerin modelleyemediği belirsizlikleri modellemek için kullanılan etkili bir yöntemdir [20-30]. Özellikle mühendislik problemlerinin çözümünde çok daha tercih edilen tip-2 bulanık sistemler günümüzde birçok uygulamada etkin olarak kullanılmaktadır. Ancak tip-2 bulanık mantık sistemlerin üyelik fonksiyonları üç boyutlu olmalarından dolayı matematiksel karmaşıklığı ve hesaplama maliyeti tip-1 bulanık sisteme göre daha yüksektir [20-22]. Günümüz işlemci hızlarının artmasıyla ve literatürde tip-2 bulanık sistemlerin karmaşıklığının azaltılmasına yönelik birçok çalışmanın geliştirilmesiyle, tip-2

bulanık sistemlerin uygulamalarda tercih edilebilirliği gittikçe artmaktadır [23-30]. Tip-2 bulanık sistemin genel yapısı Şekil 2’de görülebilir. Tip-1 bulanık sisteme göre tek farkı tip indirgeme aşamasıdır. Tip indirgeme işlemi için Karnik-Mendel algoritması gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır [24].



Şekil-2: Tip-2 bulanık sistem yapısı

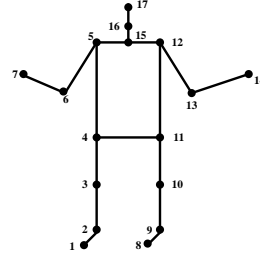
Tip-2 bulanık sistemlerde genelde aralıklı tip-2 bulanık sistem yaklaşımı kullanılmaktadır. Aralıklı tip-2 bulanık sistemlerde üçüncü boyutun etkisini kaldırmak için ikincil üyelik fonksiyonların tamamı “1” kabul edilir. Yani üçüncü boyut etkisi ortadan kaldırılarak sadece iki boyutlu birincil üyelik fonksiyonu olan belirsizlik bölgesi üzerinde işlemler yapılarak sistem cevabı hesaplanır.

Bu çalışmada iki boyutlu beş parçalı bir insan modeli kullanılarak, karmaşık bir hareket olan kaldırma hareketinin analiz edilmesine yönelik tip-2 bulanık kontrollü bir simülasyon yaklaşımı önerilmiştir. Deneysel veriler kullanılarak yapılan simülasyon çalışmalarında tip-1 ve tip-2 bulanık kontrollü yaklaşımlar karşılaştırılarak sistem performansları incelenmiştir. Bunun için ilk olarak ikinci bölümde insan hareketlerinin modellenmesine yönelik denklemler verilmiş, sonra önerilen yöntem yapısı açıklanmış ve son olarak simülasyon sonuçları karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

2 İnsan Hareketlerinin Modellenmesi

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 önemli bir sebebi insan vücudunun bileşenlerinin serbestlik derecelerinin yüksek olmasıdır. Ancak günümüzde matematiksel

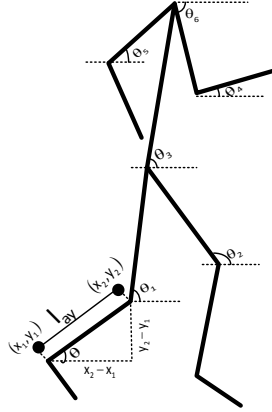
tabanlı modelleme teknikleri ile çoğu zaman ağırlıkların dikkate alınmadan insan vücudunu birçok parça ile modelleyen teknikler çokça kullanılmaktadır. Şekil 3 bu yaklaşımlardan 17 parçalı bir modeli göstermektedir [7].



Şekil-3: 17 parçalı insan modeli

Şekil 3’de verilen insan modelinin parça sayısı artırılabilir ve parça sayısı artıkça modellenen hareket gerçeğe daha da yaklaşır. Fakat matematiksel denklem sayısı arttığı için hesaplama karmaşıklığı da artar. Örneğin üç boyutlu bir ortamda bir çubuğun modellenmesi için 6 denklem kullanılırken 17 parçalı bir insan modeli için 102 denklem kullanılması gerekir [7].

Bu çalışmada insan hareketinin modellenmesi için basit ve etkili modellerden birisi olan iki boyutlu insan modeli seçilmiştir. Şekil 4’de verilen model kullanılarak her bir eklem açısının değerine karşılık hareket analizi yapılmaktadır. Görüldüğü gibi 5 temel bileşene karşılık beş temel eklem açısı vardır. Bu açıların değerine göre vücut şekil almakta, verilecek bir açı dizisine karşılık modelin istenen harekete karşılık pozisyonları oluşturması beklenecektir. Ağırlık faktörünün dikkate alınmadığı bu modelde temel hedef açıların değişimini izlemektir.



Şekil-4: İki boyutlu insan modelinde bileşenler için pozisyon gösterimi

Bu modelde her vücut bileşeninin yeni konumu denklem (1-4) ile hesaplanabilir. Yeni x ve y koordinatlarının hesabı aşağıda verilen denklemler ile yapılabilir.

$$\cos \theta = \frac{x_2 - x_1}{l_{ay}} \quad (1)$$

$$x_2 = x_1 + \cos \theta * l_{ay} \quad (2)$$

$$\sin \theta = \frac{y_2 - y_1}{l_{ay}} \quad (3)$$

$$y_2 = y_1 + \sin \theta * l_{ay} \quad (4)$$

Yeni koordinatlar hesaplanırken dirsek, omuz, kalça, diz ve ayak bileği gibi eklem açıları (θ) ile bunlara karşılık gelen bileşen uzunlukları (l_{ay}) kullanılmaktadır. Şekil 4'de verilen modelde ağırlıklar ihmal edilmiştir. Fakat gerçek bir hareket modeli için her bir parçanın ağırlığı da göz önüne alınmalıdır.

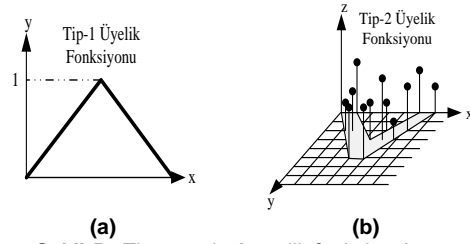
3 Kaldırma Hareketinin Analizi için Önerilen Tip-2 Bulanık Sistem Yaklaşımı

İnsanın kaldırma hareketinin modellenmesi bütün eklem açılarının aktif olarak değişmesi nedeniyle diğer insan hareketlerini kapsayan karmaşık bir harekettir. Bu çalışmada gerçek veriler kullanılarak kaldırma hareketinin simülasyonu için tip-2 bulanık kontrol tabanlı bir yaklaşım önerilmektedir. Bunun için ilk olarak tip-2 bulanık sistem yapısı açıklanarak

sonrasında kaldırma hareketi ve bunun için önerilen yöntem sunulacaktır.

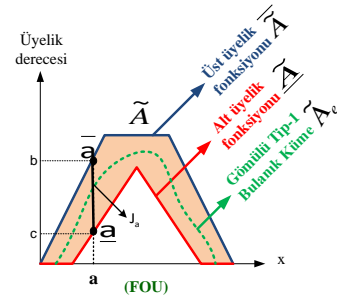
3.1 Tip-2 Bulanık Sistem

Tip-1 bulanık sistemlerle modellenemeyen model, giriş, veri ve kurallardan kaynaklı belirsizliklerin modellenmesi için kullanılan tip-2 bulanık sistemler iki boyutlu yerine üç boyutlu üyelik fonksiyonları kullanılır [20]. Şekil 5'de tip-1 ve tip-2 üyelik fonksiyonları için bir gösterim verilmiştir. Tip-2 bulanık sistemin yapısı ve tip-2 üyelik fonksiyonlarının matematiksel karmaşıklığı dikkate alındığında hesaplama maliyetinin yüksek olacağı açıktır. Ancak hem daha hızlı hesaplama yöntemlerinin geliştirilmesi hem de işlemci hızlarının artması tip-2 bulanık sistemlerin kullanımını kolaylaştırmıştır.

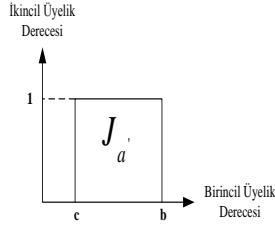


Şekil-5: Tip-1 ve tip-2 üyelik fonksiyonları

Tip-2 üyelik fonksiyonlarda üçüncü boyuttan dolayı oluşan ikincil üyelik fonksiyonlarının etkisini azaltmak için aralıklı tip-2 bulanık sistem yapısı kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda ikincil üyelik fonksiyonunun etkisini ortadan kaldırmak için tüm ikincil üyelik fonksiyonlarının üyelik derecesi "1" olarak kabul edilir. Şekil 6'da aralıklı tip-2 bulanık sistemin kullandığı üyelik fonksiyonlarının gösterimi verilmiştir.



(a) Birincil üyelik fonksiyonu (FOU)



(b) İkincil üyelik fonksiyonu

Şekil-6: Aralıklı tip-2 üyelik fonksiyonları

Alt ve üst üyelik fonksiyonu arasında kalan alan, m adet bulanık girişin n adet bulanık kümesinin birleşiminden oluşmaktadır. Bir tip-2 bulanık küme üzerinde yapılan işlemlerin karmaşıklığını azaltmak için alt ve üst üyelik fonksiyonu kavramları kullanılmaktadır [24]. Bu kavram sayesinde tip-2 bulanık küme kolay bir şekilde ifade edilmiştir.

Alt ve üst üyelik fonksiyonlarının gösterimi Şekil 6(a)'da görülmektedir. Örneğin bir a giriş değeri için bu alan alt (\underline{a}) ve üst (\bar{a}) üyelik fonksiyonları kullanılarak ifade edilebilir. Denklem 5, bu alan için kullanılan matematiksel ifadeyi göstermektedir.

$$FOU(\tilde{A}) = \bigcup_{\forall x \in X} \frac{[u_{\tilde{A}}(x), \bar{u}_{\tilde{A}}(x)]}{x} \quad (5)$$

Şekil 2'de verildiği gibi bir tip-2 bulanık sistemin aşamaları Bulanıklaştırma, Kural Tablosu, Çıkarım Mekanizması, Tip indirgeme ve Durulaştırma'dır. Tip indirgeme dışındaki diğer aşamalar literatürde çok iyi bilinen tip-1 bulanık sistem yapısı ile aynıdır. Bu çalışmada tip indirgeme için kümelerin merkezi yöntemi kullanılmıştır. Kümelerin merkezi metodunun matematiksel gösterimi Denklem 6, 7 ve 8'de görülebilir [24].

$$y_{cos}(x') = \bigcup_{\substack{f^n \in F^n(x) \\ y^n \in Y^n}} \frac{\sum_{n=1}^N f^n y^n}{f^n} = [y^l, y^r] \quad (6)$$

$$y^l = \min_{k \in [1, N-1]} \frac{\sum_{n=1}^k \bar{f}^n y^n + \sum_{n=k+1}^N \underline{f}^n y^n}{\sum_{n=1}^k \bar{f}^n + \sum_{n=k+1}^N \underline{f}^n} \quad (7)$$

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

$$y^r = \max_{k \in [1, N-1]} \frac{\sum_{n=1}^k \underline{f}^n y^n + \sum_{n=k+1}^N \bar{f}^n y^n}{\sum_{n=1}^k \underline{f}^n + \sum_{n=k+1}^N \bar{f}^n} \quad (8)$$

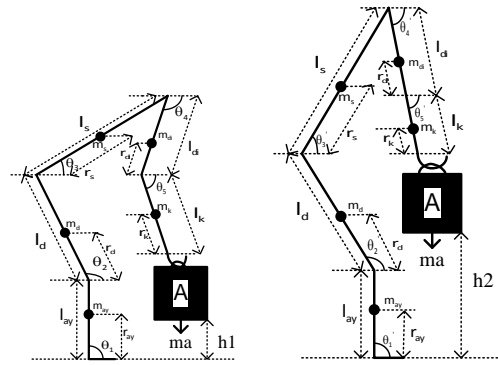
$$\equiv \frac{\sum_{n=1}^R \underline{f}^n y^n + \sum_{n=R+1}^N \bar{f}^n y^n}{\sum_{n=1}^R \underline{f}^n + \sum_{n=R+1}^N \bar{f}^n}$$

Denklem 7 ve 8'de kullanılan k (L veya R) değeri [1, N-1] arasında değişen anahtar noktasını gösterir. Anahtar noktaları kullanılarak sol çıkış değeri ($y^L \leq y^l \leq y^{L+1}$) ve sağ çıkış değeri ($y^R \leq y^r \leq y^{R+1}$) hesaplanır. Bu çıkış değerlerin hesaplanması için genelde KM (Karnik-Mendel) veya EKM algoritmaları kullanılmaktadır. Bu çalışmada KM Algoritması kullanılmış ve çıkış değerinin matematiksel gösterimi Denklem 9'da verilmiştir.

$$y = \frac{y^l + y^r}{2} \quad (9)$$

3.2 Kaldırma Hareketi

Kaldırma hareketi basit olarak bir nesnenin bir yükseklikten başka bir yüksekliğe çıkarılması olarak ifade edilmektedir [1, 18]. Şekil 7'de kaldırma hareketi için bir gösterim verilmiştir. Kaldırma hareketi boyunca insan vücudunun bütün eklem noktaları hareket eder.



(a) (b)

Şekil-7: Kaldırma hareketi [1]

Şekil 7 ile gösterilen hareket adımlarına bakıldığında vücudun her bileşeninin bir ağırlığı vardır. Bu ağırlıklar elbette hareketin yapılmasına birer etkindir. Ancak bu çalışmada hareketin aynı yerde yapılmasından dolayı yerçekimi ivmesi ihmal edilerek ağırlıksız model üzerinde çalışmalar yapılmıştır. İnsan modelinin bir pozisyonundan diğer pozisyona gelebilmesi için gerekli hesaplama denklemleri şu şekilde verilebilir [1].

$$x_1' = x_1 + m_{ay} r_{ay} \cos \theta_1 \quad (10)$$

$$y_1' = y_1 + m_{ay} r_{ay} \sin \theta_1 \quad (11)$$

$$x_2' = x_2 + m_d(l_{ay} \cos \theta_1 + r_d \cos \theta_2) \quad (12)$$

$$y_2' = y_2 + m_d(l_{ay} \sin \theta_1 + r_d \sin \theta_2) \quad (13)$$

$$x_3' = x_3 + m_s(l_{ay} \cos \theta_1 + l_d \cos \theta_2 + r_s \cos \theta_3) \quad (14)$$

$$y_3' = y_3 + m_s(l_{ay} \sin \theta_1 + l_d \sin \theta_2 + r_s \sin \theta_3) \quad (15)$$

$$x_4' = x_4 + (m_{di} + m_a)(l_{ay} \cos \theta_1 + l_d \cos \theta_2 + l_s \cos \theta_3 + (l_{di} - r_{di}) \cos \theta_4) \quad (16)$$

$$y_4' = y_4 + (m_{di} + m_a)(l_{ay} \sin \theta_1 + l_d \sin \theta_2 + l_s \sin \theta_3 + (l_{di} - r_{di}) \sin \theta_4) \quad (17)$$

$$x_5' = x_5 + (m_k + m_a)(l_{ay} \cos \theta_1 + l_d \cos \theta_2 + l_s \cos \theta_3 + l_{di} \cos \theta_4 + (l_k - r_k) \cos \theta_5) \quad (18)$$

$$y_5' = y_5 + (m_k + m_a)(l_{ay} \sin \theta_1 + l_d \sin \theta_2 + l_s \sin \theta_3 + l_{di} \sin \theta_4 + (l_k - r_k) \sin \theta_5) \quad (19)$$

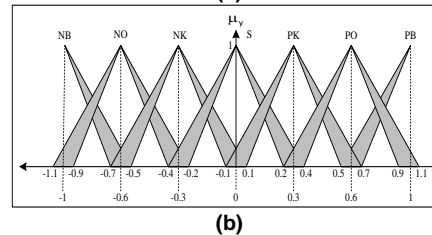
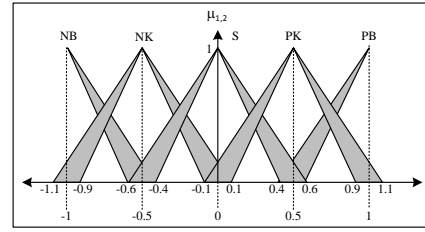
Denklemlerde kullanılan m eklem ağırlıklarını ve yük ağırlığını, r değişkeni yük ile eklem arasındaki mesafeyi, l değişkeni bileşen uzunluğunu ve θ değeri eklem açılarını göstermektedir.

3.3 Önerilen Yöntem

Bu çalışmada önerilen yöntem çerçevesinde öncelikle iki boyutlu beş parçalı bir insan modeli gerçekleştirilmiş, sonrasında bu modelin eklem açılarının kontrol edilmesi için tip-2 bulanık sistem geliştirilerek gerçek kaldırma hareketi verilerine karşılık simülasyon modeli oluşturulmuştur. Şekil 8 önerilen yaklaşımın genel yapısını göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi gerçek açı değerleri referans olarak alınmış, insan modeli ile hesaplanan açı değerleriyle karşılaştırılarak hata elde edilmiş, hata ve hatanın türevi bulanık denetleyiciye giriş olarak verilerek eklem açılarının hareketi tanımlayan gerçek değerlere ulaştırılması sağlanmıştır. Aslında önerilen yaklaşım kullanılarak istenilen tüm insan hareketlerinin (itme, çekme, kaldırma, indirme, yürüme, koşma vb.) analiz edilmesi mümkündür. Ancak bu çalışmada eklem açılarının hareketi açısından diğer hareketleri kapsayan bir hareket olması nedeniyle sadece kaldırma hareketinin analizi verilmiştir.

Önerilen yaklaşım için kullanılan aralıklı tip-2 bulanık sistem Şekil 8'de görüldüğü gibi iki girişli,

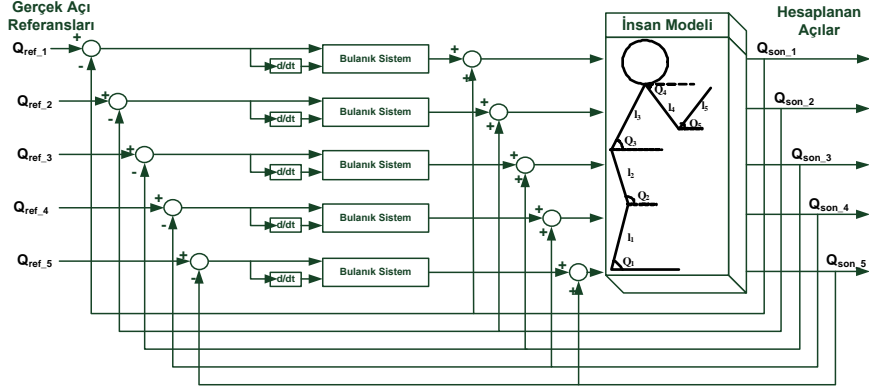
bir çıkışlıdır. Giriş ve çıkış için kullanılan üyelik fonksiyonları Şekil 9'da verilmiştir. Üyelik fonksiyonların taban değerleri [-1 1] arasında seçilmiş, buna karşın bütün denetleyicilerde giriş ve çıkışlar için aynı ölçeklendirme faktörleri kullanılmıştır. Şekil 9'da verilen giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları tüm eklem açıları için ortaktır, fakat üyelik fonksiyonlarının değer aralıkları her bir eklem açısının değişim aralığına göre ölçeklendirilmiştir. Eklem açılarının çalışma aralığı şu şekildedir; Dirsek [40 180], Omuz [-60 180], Kalça [60 180], Diz [60 180] ve Ayak Bileği [60 90] arasında değişmektedir. Kullanılan bulanık sistemler için kural tablosu Tablo 1'de görülebilir.



Şekil-9: Girişler ve çıkış için kullanılan üyelik fonksiyonları

Tablo-1: Kural Tablosu

		Hatanın türevi						
		NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
Hata	NB	NC	NC	NB	NB	NO	NK	S
	NO	NC	NB	NB	NO	NK	S	PK
	NK	NB	NB	NO	NK	S	PK	PO
	S	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
	PK	NO	NK	S	PK	PO	PB	PB
	PO	NK	S	PK	PO	PB	PB	PC
	PB	S	PK	PO	PB	PB	PC	PC

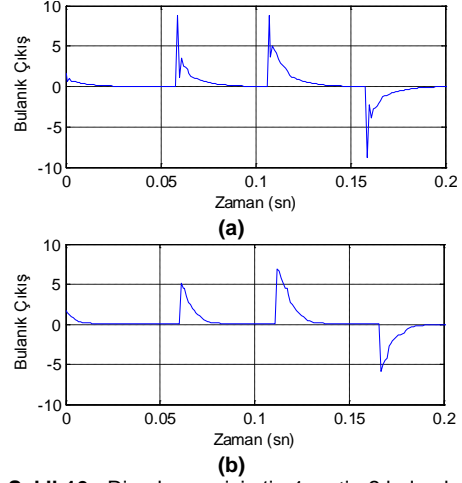


Şekil-8: Önerilen yöntemin blok diyagramı

4 Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada önerilen yaklaşımın simülasyonu için Matlab/Simulink kullanılmıştır. Bütün sonuçlar aynı çalışma koşullarında ve aynı bilgisayar üzerinde gerçekleştirilerek önerilen yaklaşımın etkinliği tip-1 ve tip-2 bulanık denetleyicilerin sonuçlarının karşılaştırılması ile verilmiştir. Yapılan simülasyonlarda modelin başlangıç pozisyonu ayakta durma pozisyonu alınıp, bu pozisyondaki eklem açı değerleri sırasıyla; [90 90 90 -90 -90] (ayak bileği, diz, kalça, omuz, dirsek) olarak belirlenmiştir. Farklı tip-1 ve tip-2 denetleyiciler ile model analizinin yapılması için iki girişli bir çıkışlı üç tip denetleyici kullanılmıştır. Tip-1 ve tip-2 denetleyicilerden sırası ile girişlerinin ve çıkışlarının üyelik fonksiyonu sayısı (3, 3, 5) olanlar (T1_5, T2_5) olarak, (5, 5, 7) olanlar (T1_7, T2_7) olarak ve (7, 7, 9) olanlar (T1_9, T2_9) olarak isimlendirilmiştir.

Öncelikle T1_9 ve T2_9 denetleyiciler kullanılarak elde edilen Şekil 10'da verilen grafikler incelendiğinde dirsek açısı için elde edilen kontrol çıkışları görülebilir. Buna göre tip-1 bulanık denetleyicinin kullanıldığı yaklaşımda sistemin verilerden etkilenme oranının tip-2 bulanık denetleyicinin kullanıldığı yaklaşımdan daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. Belirli bir banda sahip olan üyelik fonksiyonları kullanan tip-2 bulanık sistem için bu beklenen sonuçtur.



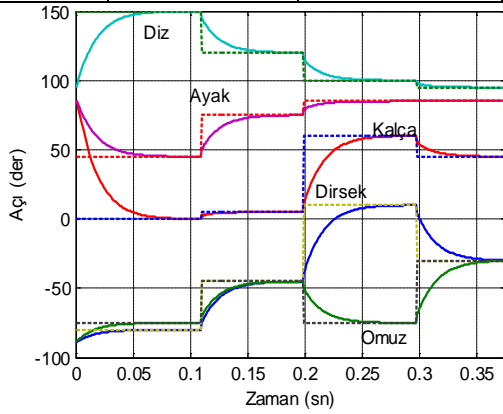
Şekil-10: Dirsek açısı için tip-1 ve tip-2 bulanık kontrol çıkışı

Şekil 11'de farklı bulanık sistemler için dirsek, omuz, kalça, diz ve ayak bileği eklem açıların değişimi verilmiştir. Simülasyon sonuçları ayrı ayrı incelendiğinde sistem cevabı en hızlı olan denetleyicinin Şekil 11(f)'de kullanılan T2_9 olduğu görülmektedir. En yavaş cevap ise T2_5 denetleyicinin kullanıldığı insan modeli simülasyonudur. Bu durumun temel nedeni, tip-2 bulanık sistemlerde uygun sayıda üyelik fonksiyonu kullanılmadığında sistemi tam olarak modelleyemeyeceğidir. Elde edilen simülasyon sonuçlarından yola çıkılarak tip-1 ve tip-2 bulanık denetleyicilerin en uygun üyelik fonksiyonu sayısının girişlerde 7 çıkışta dokuz üyelik fonksiyonu kullanan denetleyiciler olduğu görülebilir. Dikkat edilecek olursa daha yüksek giriş

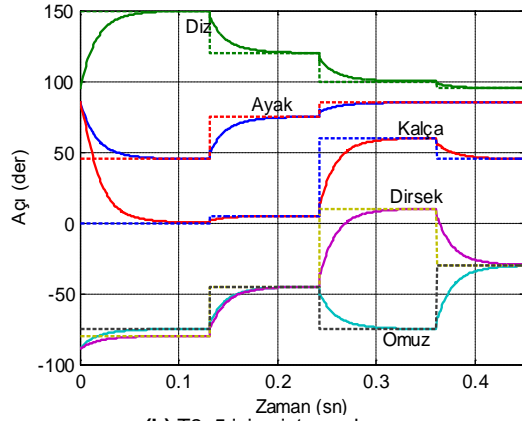
üyelik fonksiyonuna ve kural sayısına sahip olan bulanık denetleyicilerin hesaplama zamanı daha yüksek olmasına rağmen, toplam sistemin çalışmasındaki etkisi çok daha iyi ve hızlı olmaktadır. Bu simülasyon sonuçlarının alınması için kullanılan altı farklı bulanık denetleyicilerin hesaplama zamanı ve bu denetleyiciler kullanıldığında toplam sistemin cevap süreleri karşılaştırılmalı olarak Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo-2: Tip-1 ve tip-2 bulanık sistemlerin hesaplama maliyeti

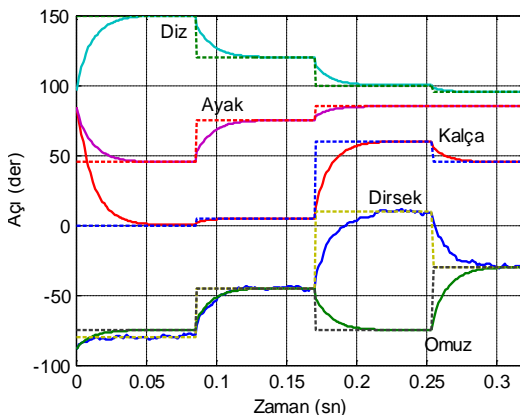
Bulanık Sistem	Denetleyicilerin Hesaplama Maliyeti (sn)	Toplam Sistemin Hesaplama Maliyeti (sn)
T1_5	0.000358	0.40
T1_7	0.000421	0.25
T1_9	0.000512	0.20



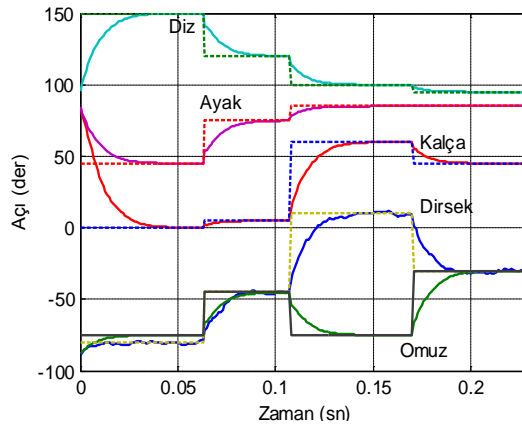
(a) T1_5 için sistem çıkışı



(b) T2_5 için sistem çıkışı



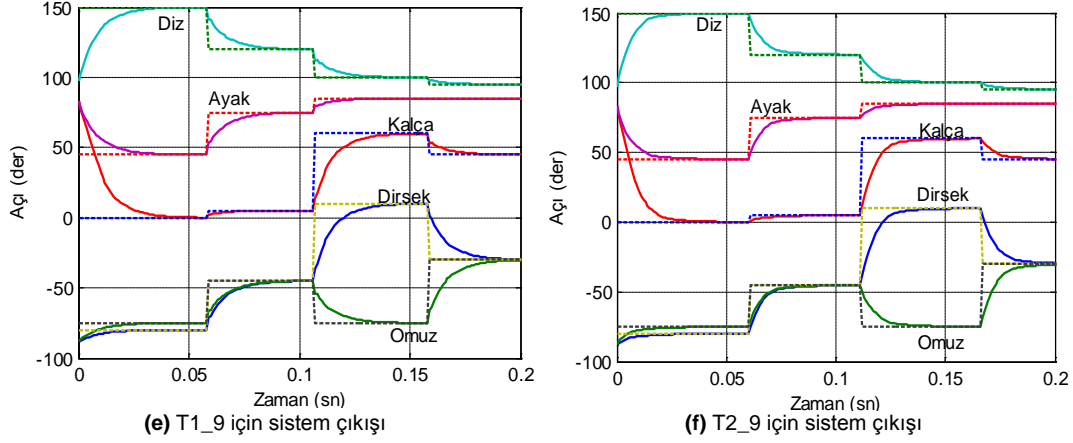
(c) T1_7 için sistem çıkışı



(d) T2_7 için sistem çıkışı

T2_5	0.001165	0.45
T2_7	0.001253	0.20
T2_9	0.001306	0.20

Tablo 2’de görüldüğü gibi işlem karmaşıklığı en yüksek olan bulanık denetleyicinin T2_9 yani 49 kurala sahip tip-2 bulanık denetleyici olmasına rağmen, insan modeli simülasyonu için işlem performansı en iyi olan yine T2_9 olmuştur. Altı farklı denetleyici için elde edilen simülasyon sonuçlarına Şekil 11’den bakılırsa, insan modelindeki beş eklem noktasının açı değişimlerinin tamamının, verilen gerçek verileri izlediği görülebilir. Bu açı değerleri bir kaldırma hareketinin ardışıl açı değerlerini göstermektedir. Aynı model kullanılarak istenilen herhangi bir hareketin analiz edilmesi de mümkündür.



Şekil-11: Simülasyon sonuçları

5 Sonuçlar

İnsan hareketlerinin modellenmesi, simülasyonu ve analizi bilgisayar görmesi, insansı robotların geliştirilmesi, hareket tanıma sistemleri ve biyomekanik çalışmalar için önemlidir. Koşma, yürüme, atlama, kaldırma, çekme ve hatta dans etme gibi insanın günlük yaşamında yapabileceği çeşitli hareketlerin analiz edilmesi hem akıllı sistemlerin geliştirilmesi açısından hem de hareketlerin sağlık açısından incelenmesi açısından bilgi çıkarımını sağlar. Bu çalışmada diğer hareketlere göre karmaşık bir hareket olan insanın kaldırma hareketi için bir modelleme ve analiz çalışması verilmiştir. Tip-1 ve tip-2 bulanık sistemleri kullanan önerilen yaklaşımın performansı altı farklı denetleyici ile karşılaştırılmalı olarak gerçek verilerle doğrulanmıştır. Özellikle çeşitli belirsizliklerin modellenebilmesi, bazı gürültü etkilerinin azaltılması ve kontrol salınımlarının elimine edilmesi için bu çalışmada seçilen tip-2 bulanık denetleyicilerin etkinliği analiz sonuçlarında görülmektedir. Birçok modelleme tekniğinin bulunduğu literatüre göre iki boyutlu beş parçalı bir insan modelinin kullanıldığı bu çalışmada, kaldırma hareketinin analiz edilmesi ve tip-2 bulanık sistemin performansını göstermek için seçilen modelin yeterli olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında sadece insan hareketine ait analizler değil aynı zamanda tip-1 ve tip-2 bulanık sistemlerin performansına ait karşılaştırma sonuçları da verilmiştir. Hesaplama karmaşıklığının yüksek olmasına rağmen tip-2 bulanık sistemlerin önerilen

yaklaşım açısından zaman performansının en iyi olduğu açıkça görülebilir.

Bu çalışmada geliştirilen yaklaşım sadece insanın kaldırma hareketi üzerinden verilmesine karşın, önerilen yaklaşımın iki boyutlu beş parçalı insan modeliyle verilebilecek bütün insan hareketlerinin analiz edilmesi için yeterlidir. Bu durumda ilave tek gereksinim analiz edilecek harekete ait gerçek verilerin sağlanmasıdır. Bu çalışmada insan modelinin her bir açısı için kullanılan bulanık denetleyicilerde, üyelik fonksiyonlarının taban değerleri dışındaki bütün parametreler aynı kullanılmıştır. Ancak her eklem açısının davranışı incelenerek farkı kural sayılarına sahip denetleyicilerin kullanılması ile daha iyi bir performans elde edilebilmesi mümkündür. Bu konudaki çalışmalar, diğer hareketlere ilişkin çalışmalarla birlikte devam etmektedir.

Kaynakça

- [1] Chapman, A.E. 2008. Biomechanical Analysis of Fundamental Human Movements, Human Kinetics, USA.
- [2] Vondrak M., Sigal L., ve Jenkins O.C., 2013, Dynamical Simulation Priors for Human Motion Tracking, IEEE Trans on Pattern Analy. and Mach. Intelligence, cilt 35-1, s. 52-66.
- [3] Wang J., Liu P., She M.F.H., Kouzani A. ve Nahavandi S., 2013, Supervised learning probabilistic Latent Semantic Analysis for

- human motion analysis, *Neurocomputing*, Cilt 100, s. 134–143.
- [4] **Ji X. ve Liu H.**, 2010, Advances in View-Invariant Human Motion Analysis: A Review, *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics—Part C: Applications And Reviews*, Cilt 40-1, s. 13-25.
- [5] **Chen Z., Wang Lu ve Yung N.H.C.**, 2011, Adaptive human motion analysis and prediction, *Pattern Recognition*, Cilt 44, s. 2902–2914.
- [6] **D. Mavrikios, V. Karabatsou, K. Alexopoulos, M. Pappas, P. Gogos, G. Chryssolouris**, 2006, An approach to human motion analysis and modeling, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Cilt 36, s. 979–989.
- [7] **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, Ankara.
- [8] **Güleç, N., Doğan, E., ve Ünal, M.** 2007. Çok Gövdeli Sistemlerde Hareket Analizi, TOK'07 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Sabancı Üniversitesi, Tuzla, İstanbul, Türkiye.
- [9] **Moldenhauer, J., Boesnach, I., Beth, T., Wank, V., ve Bos, K.** 2005. Analysis of Human Motion for Humanoid Robots, *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, s. 311-316.
- [10] **Kailai W., Tagawa Y. ve Shiba N.**, 2009, Simulation of Human Body Motion under the Condition of Weightlessness, *ICROS-SICE International Joint Conference*, s. 3835-3840.
- [11] **Yong C.**, 2010, Motion Mechanism and Simulation of the Human Jumping Robot, *International Conference on Computer Design And Applications (ICCD A 2010)*, s. 361-365.
- [12] **Hwang, S.J., Choi, H.S., ve Kim, Y.H.** 2004. Motion Analysis Based on a Multi-Segment Foot Model in Normal Walking, *Proceedings of 26th Annual International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society*, cilt. 2, pp. 5104-5106.
- [13] **Sreenivasa M., Souères P. ve Laumond J.P.**, 2012, Walking to Grasp: Modeling of Human Movements as Invariants and an Application to Humanoid Robotics, *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics—Part A: Systems And Humans*, Cilt 42-4, s. 880-894.
- [14] **Kaustav Nandy and Rama Chellappa**, 2007, Simulation And Analysis Of Human Walking Motion, *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP 2007*, s. I-797 - I-800.
- [15] **Arisumi H., Chardonnet J.R.**, 2007, Dynamic Lifting Motion of Humanoid Robots, *IEEE International Conference on Robotics and Automation Roma, Italy*, s. 2661-2668.
- [16] **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.
- [17] **Chan, C.S., ve Liu, H.** 2009. Fuzzy Qualitative Human Motion Analysis, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, cilt. 17-4.
- [18] **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.
- [19] **Karaköse, M.** 2010. İnsan Hareketlerinin Analiz ve Simülasyonu için Bulanık Mantık Yaklaşımı, *Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO-2010)*.
- [20] **Mendel, J. M.** 2007. Advances in type-2 fuzzy sets and systems, *Information Sciences*, Cilt. 177, s. 84-110.
- [21] **Karaköse, M.** 2010. Sine-square embedded fuzzy sets, *IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC2010)*, s. 3628-3631.
- [22] **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.
- [23] **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.
- [24] **Mendel, J.M., ve Wu, D.** 2009. Enhanced Karnik–Mendel Algorithms, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Cilt. 17-4.
- [25] **Karaköse, M., ve Akin, E.** 2004. Type-2 Fuzzy Activation Function for Multilayer feedforward Neural Networks, *IEEE Transactions on Systems Man, and Cybernetics*, s. 3762-3767.
- [26] **Ulu, C., Güzelkaya, M., ve Eksin, İ.** 2011. A Dinamik Defuzzification Method for Interval

- Type-2 Fuzzy Logic Controllers, Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics, İstanbul, Türkiye.
- [27] **Kumbasar, T., Eksin, İ., Güzelkaya, M. ve Yesil, E.** 2012. Type-2 fuzzy model based controller design for neutralization processes, ISA Transactions, s. 277-287.
- [28] **Kayacan, E., Cığdem, O. ve Kaynak, O.** 2012. Sliding Mode Control Approach for Online Learning as Applied to Type-2 Fuzzy Neural Networks and Its Experimental Evaluation, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Cilt. 59-9,
- [29] **Efe, M.Ö.** 2009. A Type 2 Neuron Model for Classification and Regression Problems, IEEE EMBS Conference on Neural Engineering.
- [30] **Çelikyılmaz, A., ve Türkşen, I.B.** 2008. Enhanced Fuzzy System Models With Improved Fuzzy Clustering Algorithm, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Cilt 16-3.