

Pınar Kafalı

Yük. Müh, Araştırma Görevlisi
Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara

Ergin Tönük

Y. Doç. Dr.
Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara

Turgut Tümer

Prof. Dr.
Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara

Yürüyüş Analizi Uygulamalarında Değişik Eklem Merkezi Kestirim Yöntemlerinin Hesaplanan Eklem Kinematiğine Etkisi

Yürüyüş analizi uygulamalarında yüzey işaretleyici koordinatları kullanarak kestirilen kalça ve diz eklem merkezi konumlarının hesaplanan eklem kinematiği ve kinetiği sonuçları üzerinde doğrudan etkisi vardır. Bu çalışmada, literatürde genel kabul görmüş, kestirimci veya fonksiyonel, farklı kalça ve diz eklem merkezi belirleme yöntemleri ODTÜ Yürüyüş Analizi Sistemine uygulanarak, yöntemlerin sistemdeki performansları ve hesaplanan eklem kinematiğine etkileri araştırılmıştır. Seçilen yönteme bağlı olarak kestirilen eklem merkezi sonuçları arasında belirgin farklar bulunmuştur. Hesaplanan eklem açılarının da kullanılan eklem merkezi kestirim yöntemine bağlı olarak belirgin biçimde değiştiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yürüyüş Analizi, Kalça Eklem Merkezi, Diz Eklem Merkezi

1. GİRİŞ

Yürüyüş analizi uygulamalarında eklem merkezi koordinatlarının kestirimi önemli bir yer tutmaktadır. Eklem merkezi koordinatları, kinematik ve kinetik hesaplamalarda kullanıldığından, sonuçların güvenilirliği açısından eklem merkezlerinin hassas olarak kestirimi önemlidir [1]. Dolayısıyla bir yürüyüş analizi sistemi tarafından kullanılan eklem merkezi kestirim yöntemlerinin başarısı, sistem performansını da doğrudan etkileyen bir parametredir.

Yürüyüş analizi uygulamalarında kalça eklem merkezinin belirlenmesi için literatürde bulunan çalışmalar iki temel başlık altında incelenebilir. Bunlardan ilki, kestirimci yaklaşım olarak adlandırılır. Bu yaklaşımda, kadavra çalışmalarından [2] veya tıbbi görüntüleme teknikleri aracılığıyla [3-6] elde edilen ölçümler kullanılarak geliştirilen regresyon denklemleri, denek üzerinden alınan antropometrik ölçümler ve işaretleyici konumlarıyla bir arada kullanılarak kalça eklem merkezi hesaplanır. Kestirimci yöntemlerin uygulanması kolay olmakla beraber; hesaplamalarda kullanılan modellerin sınırlı sayıda sağlıklı yetişkinden alınan ölçümler temel alınarak geliştirilmiş olması nedeniyle bu yöntemlerin klinik uygulamadaki geçerliliği sağlıklı bireylerde olduğu gibi, özellikle de patolojik vakalarda tartışmalıdır [1]. Kalça eklemine küresel bir eklem olma özelliğini temel alan fonksiyonel

yaklaşımında ise, pelvis ve femur arasındaki bağlı hareket bilgisi kullanılarak kalça eklem merkezi hesaplanmaktadır. Literatürde mekanik eklemler kullanarak veya yürüyüş analizi deney verilerinden kalça eklem merkezinin kestirilmesi için farklı yöntemler önerilmiştir [7-11]. Fonksiyonel yöntemlerin kişiye özel hareket bilgilerini kullanmaları nedeniyle gerçekçi kalça eklem merkezi kestirimleri yapmaları beklenmekle birlikte; bu kestirimin hassas olabilmesi için deneklerin sajital ve transvers düzlemlerde yeterli bir hareket alanını kapsayan özel bir kalça hareketi serisi gerçekleştirmeleri gereklidir [9,10].

Diz eklem merkezi kestirimi için ise yaygın olarak anatomik nokta kalibrasyonu tekniklerini temel alan yöntemler kullanılmaktadır [7,12]. Bu yöntemle diz eklem merkezi statik deneyde diz üzerine yerleştirilmiş işaretleyicilerin koordinatlarından hesaplanmaktadır. Başka bir yöntem ise, ticari bir hareket analizi sistemi olan Vicon® Sistemi yazılımı (Vicon Clinical Manager – VCM) tarafından da kullanılan, femur üzerine yerleştirilmiş olan işaretleyici koordinatları kullanılarak doğrudan yürüyüş esnasında diz eklem merkezinin hesaplanmasıdır [13]. Vida eksen kavramını diz eklem eksen ve merkezi hesaplamalarına uygulayan yaklaşımlar da literatürde bulunmakla birlikte [14,15] vida eksen yaklaşımının klinik uygulamalarda kullanılması şimdilik mümkün olamamıştır.

Bu çalışmada, literatürdeki çeşitli kalça ve diz eklem merkezi kestirim yöntemleri ODTÜ Yürüyüş Analizi Sistemine uyarlanmış ve yapılan deneylerle yöntemlerin sistemde gösterdiği performans araştırılmıştır. Farklı yöntemlerden elde edilen eklem merkezi koordinatları kullanılarak eklem açıları hesaplanmış ve farklı eklem merkezi kestirim yöntemlerinin eklem kinematığı üzerine etkileri incelenmiştir.

2. YÖNTEM

Kalça ve diz eklem merkezlerinin kestirilmesi için üçer farklı yöntem seçilerek ODTÜ Yürüyüş Analizi Sistemine uyarlanmıştır. ODTÜ Yürüyüş Analizi Sistemi tarafından uzun süredir kullanılmakta olan kalça eklem merkezi kestirim yöntemi; pelvis üzerine yerleştirilen işaretleyici koordinatları, antropometrik ölçümler ve regresyon denklemleri kullanarak kalça eklem merkezini hesaplayan kestirimci bir yöntemdir [6] ve uygulama kolaylığı nedeniyle ticari sistemlerde de tercih edilmektedir. Bu çalışmada kalça eklem merkezi kestirimi için seçilmiş olan diğer iki yöntem ise, pelvis ve femur arasındaki bağıl hareket bilgisinden kalça merkezini farklı algoritmalarla hesaplayan fonksiyonel yöntemlerdir [9,10]. Diz eklem merkezi kestirimi için ise uygulanmış olan ilk yöntem, ODTÜ Yürüyüş Analizi Sisteminde kullanılan diz merkezleme cihazlarından yararlanarak diz eklem merkezinin kestirilmesidir [16]. Bu yöntem, lateral ve medial femoral epikondillerin merkezleme cihazı yardımıyla belirlenerek diz eklem merkezinin bu anatomik noktalara göre hesaplanması esasına dayanmaktadır. Benzer bir teknikle, merkezleme cihazı kullanılmadan işaretleyiciler doğrudan epikondillere tutturularak da diz eklem merkezi kestirilebilir [17]. Bu iki yöntemle eklem merkezinin belirlenmesi için denegin doğal dik durumda durduğu statik deneylerin gerçekleştirilmesi gereklidir. Diz eklem merkezi kestirimi için bu çalışmada uygulanmış olan son yöntem ise, ticari bir yürüyüş analizi sistemi olan VCM tarafından kullanılmakta olan ve diz eklem merkezini doğrudan yürüyüş verilerinden hesaplayan yöntemdir [13].

Seçilen eklem merkezi kestirim yöntemlerinin ODTÜ Yürüyüş Analizi Sistemindeki performanslarının incelenebilmesi amacıyla yürüyüş analizi deneyleri yapılmıştır. Deneyler ODTÜ Yürüyüş Analizi Laboratuvarında, daha önce kas-iskelet hastalığı ve yaralanma geçirmemiş gönüllü üç denekle yapılmıştır. Her denek için dört farklı kısımdan oluşan tek deney seansı gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Helen Hayes (HH) pasif yansıtıcı işaretleyici seti kullanılmıştır. Deneylerin ilk kısmında, diz ve ayak bileği merkezleme cihazları kullanılarak statik görüntü verisi alınmıştır. İkinci kısımda, merkezleme cihazları çıkarılarak lateral ve

medial femoral epikondillere nokta işaretleyiciler tutturulmuş ve yine statik görüntü verisi kaydedilmiştir. Statik kayıtlardan sonra, üçüncü kısımda, denekler fonksiyonel kalça merkezi belirleme yöntemleri için gerekli olan ve kalça fleksiyon/ekstansiyon, abduksiyon/addüksiyon ve sirkumdüksiyonu içeren özel bir kalça hareketi (ÖKH) serisi [9] gerçekleştirmişlerdir. Deneylerin dördüncü ve son kısmında ise deneklerin normal yürüyüşleri her seans için üç tane olmak üzere kaydedilmiştir.

Deneylerden elde edilen işaretleyici koordinat verileri Matlab® ortamında, bu çalışma kapsamında geliştirilmiş bir program ile analiz edilerek uygulanan kalça ve diz merkezi kestirim yöntemlerinin verdiği eklem koordinatları bulunmuştur. Fonksiyonel kalça eklem merkezi belirleme yöntemleri kullanılarak hem yürüyüş hem özel kalça hareketi verilerinden eklem merkez koordinatları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Özel kalça hareketlerinden elde edilen eklem merkezleri daha sonra yürüme deneyi verilerinden oluşturulan pelvis koordinat sisteminde ifade edilmiştir. Kestirimci kalça eklem merkezi belirleme yöntemi için ise sadece yürüyüş verileri kullanılmıştır.

Merkezleme cihazları ile ve doğrudan epikondillere işaretleyici tutturularak yapılan diz eklem merkezi kestirimleri, ilgili statik deney verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. VCM yöntemi ile yapılan hesaplamalarla ise, diz eklem merkezi doğrudan yürüyüş verilerinden elde edilmiştir.

Yapılan deneylerde deneklerin kalça ve diz eklem merkezlerinin gerçek koordinatları bilinmediğinden, uygulanan yeni yöntemlerin verdiği sonuçlar ODTÜ Yürüyüş Analiz Sisteminde şu anda eklem merkezi kestirimi için kullanılan yöntemlerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Kalça eklem merkezleri için, sisteme uyarlanan fonksiyonel yöntemler ve sistemde kullanılan kestirimci yöntemden elde edilen eklem merkezi koordinatları arasındaki uzaklıklar her yürüme deneyi için hesaplanmıştır. Benzer biçimde, diz merkezleme cihazı kullanılarak ve yeni yöntemlerden elde edilen diz eklem merkezleri arasındaki uzaklıklar da hesaplanmıştır.

Sistemde kullanılan farklı kalça ve diz eklem merkezi kestirim yöntemlerinden elde edilen eklem merkezlerinin, hesaplanan eklem kinematığı üzerine etkileri ayrıca incelenmiştir. Kestirimci ve fonksiyonel yöntemler ile hesaplanan kalça eklem merkezi koordinatları eklem açısı hesaplamalarında ayrı ayrı kullanılarak her yürüme deneyi için toplam beş ayrı eklem açısı seti (1. kestirimci yöntem, ODTÜ, 2. yürüyüş1, 3. ÖKH1, 4. yürüyüş2, 5. ÖKH2) elde edilmiştir. Benzer biçimde, hesaplanan diz eklem merkezleri ile de her yürüme deneyi için üç ayrı eklem açısı seti (1. diz merkezleme, ODTÜ, 2. işaretleyici, 3. VCM yöntemi) oluşturulmuştur.

3. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Ekleme Merkezleri

Farklı eklem merkezi kestirim yöntemleri kullanılarak elde edilen kalça ve diz eklem merkezi koordinatları arasında ihmal edilmeyecek kadar büyük farklar olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların incelenmesi amacıyla hesaplanmış olan eklem merkezleri ile ODTÜ Yürüyüş Analizi Sisteminin varsaydığı eklem merkezi arasındaki uzaklıklar Tablo 1 ve 3'te sunulmuştur. Ayrıca, her bir denek ile gerçekleştirilmiş olan deneylerinden elde edilen eklem merkez uzaklıklarının ortalama ve standart sapma değerleri de Tablo 2 ve 4'te verilmiştir.

Her üç denek için de, ikinci fonksiyonel kalça eklem merkezi kestirim yöntemi ile yürüyüş verilerinden hesaplanan kalça eklem merkezlerinin kestirimci yöntemle en yakın sonuçları verdiği görülmüştür (Tablo 1 ve 2). Bunun dışında kalan kalça eklem merkezi kestirim yöntemlerinden elde edilen verilerden ise, bütün deneyleri kapsayan ortak bir eğilim gözlenmediğinden benzer bir çıkarım yapılamamaktadır. Yine Tablo 1'de görüleceği gibi, her yöntem ile elde edilen sonuçlar aynı deney içinde

dahi sağ ve sol taraflar için belirgin farklılıklar göstermektedir.

Bütün deneylerden elde edilen kalça eklem merkezi kestirimleri arasındaki en büyük uzaklık değeri 98,6 mm olarak bulunmuştur. Hesaplanan iki merkez arasında olan bu derecede bir farkın eklem kinematığı üzerinde ciddi etkileri olması beklenmelidir.

Farklı kalça eklem merkezi kestirim yöntemleri kullanılarak elde edilen merkez uzaklıkları arasında farklılıklar olup olmadığını bulmak amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Sağ ve sol taraflar için ayrı ayrı gerçekleştirilen analizler sonucunda, hem sağ hem de sol taraflar için elde edilen kalça eklem merkezi uzaklıkları arasında anlamlı farklılıklar bulunduğu gözlemlenmiştir ($p < 0.05$). Bu farklılıkların hangi gruplardan kaynaklandığını incelemek amacıyla uygulanan Tukey HSD ikili karşılaştırma testi sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 1. Kestirimci yöntem ile diğer yöntemlerin kalça eklem merkezi sonuçları arasındaki uzaklıklar

	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Yürüyüş (mm)	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) (mm)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Yürüyüş (mm)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) (mm)
Denek 1, Deney 1, Sağ	33,07	24,93	11,24	19,33
Denek 1, Deney 1, Sol	11,81	46,75	8,33	23,76
Denek 1, Deney 2, Sağ	49,86	24,93	10,94	19,33
Denek 1, Deney 2, Sol	40,03	46,75	3,55	23,76
Denek 1, Deney 3, Sağ	26,39	24,93	12,05	19,33
Denek 1, Deney 3, Sol	14,00	46,75	6,76	23,76
Denek 2, Deney 1, Sağ	84,09	36,45	7,95	24,19
Denek 2, Deney 1, Sol	56,39	33,29	1,17	26,77
Denek 2, Deney 2, Sağ	81,26	36,45	6,23	24,19
Denek 2, Deney 2, Sol	16,35	33,29	3,12	26,77
Denek 2, Deney 3, Sağ	49,65	36,45	11,07	24,19
Denek 2, Deney 3, Sol	98,60	33,29	4,70	26,77
Denek 3, Deney 1, Sağ	58,92	33,48	1,24	17,45
Denek 3, Deney 1, Sol	35,26	30,53	12,47	23,05
Denek 3, Deney 2, Sağ	92,23	33,48	2,97	17,45
Denek 3, Deney 2, Sol	49,65	30,53	14,21	23,05
Denek 3, Deney 3, Sağ	56,29	33,48	0,53	17,45
Denek 3, Deney 3, Sol	48,63	30,53	15,09	23,05

Diz eklem merkezi kestirim yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ile ODTÜ Yürüyüş Analizi Sisteminin kullandığı eklem merkezi arasındaki uzaklıklar, kestirilen kalça eklem merkezleri arasındaki uzaklıklarıyla karşılaştırıldığında daha küçük ve kabul edilebilir değerlerde bulunmuştur (Tablo 3 ve 4). Yine kalça eklem merkezleri arasındaki uzaklıklara benzer biçimde, aynı deneğin aynı deneyinde sağ ve sol taraflar için kestirilen diz eklem merkezleri arasındaki uzaklık değerleri arasında farklılıklar gözlenmiştir.

Kullanılan diz eklem merkezi kestirim yöntemleri ile elde edilen merkez uzaklıkları arasında anlamlı farklılıklar olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile araştırılmıştır. Yapılan analizlerde, sağ taraf diz eklem merkezi uzaklıkları arasında anlamlı bir farka rastlanmazken, sol taraf için elde edilen uzaklık değerleri arasında farklılıklar gözlenmiştir ($p < 0.05$). Varyans analizi sonrası uygulanan Tukey HSD ikili karşılaştırma testi sonuçları Tablo 6'da verilmiştir

Tablo 2. Kalça eklem merkezi uzaklıklarının ortalama ve standart sapma değerleri

	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Yürüyüş Ort. ± St. Sapma (mm)	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) Ort. ± St. Sapma (mm)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Yürüyüş Ort. ± St. Sapma (mm)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) Ort. ± St. Sapma (mm)
Denek 1, Sağ	36,44 ± 12,09	24,93 ± 0,00	11,41 ± 0,57	19,33 ± 0,00
Denek 1, Sol	21,95 ± 15,69	46,75 ± 0,00	6,21 ± 2,44	23,76 ± 0,00
Denek 2, Sağ	71,67 ± 19,12	36,45 ± 0,00	8,42 ± 2,45	24,19 ± 0,00
Denek 2, Sol	57,11 ± 41,13	33,29 ± 0,00	2,99 ± 1,77	26,77 ± 0,00
Denek 3, Sağ	69,15 ± 20,03	33,48 ± 0,00	1,58 ± 1,25	17,45 ± 0,00
Denek 3, Sol	44,51 ± 8,03	30,53 ± 0,00	13,92 ± 1,33	23,05 ± 0,00

Tablo 3. Diz merkezleme aracı ile diğer yöntemlerin diz eklem merkezi sonuçları arasındaki uzaklıklar

	Epikondillere Doğrudan İşaretleyici Tutturma Yöntemi [17] (mm)	VCM Yöntemi [13] (mm)
Denek 1, Deney 1, Sağ	13,96	15,27
Denek 1, Deney 1, Sol	4,45	10,17
Denek 1, Deney 2, Sağ	13,96	15,24
Denek 1, Deney 2, Sol	4,45	10,09
Denek 1, Deney 3, Sağ	13,96	15,26
Denek 1, Deney 3, Sol	4,45	10,17
Denek 2, Deney 1, Sağ	3,16	9,06
Denek 2, Deney 1, Sol	12,57	14,05
Denek 2, Deney 2, Sağ	3,16	9,05
Denek 2, Deney 2, Sol	12,57	14,05
Denek 2, Deney 3, Sağ	3,16	9,07
Denek 2, Deney 3, Sol	12,57	14,05
Denek 3 Deney 1, Sağ	15,06	13,51
Denek 3 Deney 1, Sol	12,32	16,73
Denek 3 Deney 2, Sağ	15,06	13,48
Denek 3 Deney 2, Sol	12,32	16,72
Denek 3 Deney 3, Sağ	15,06	13,49
Denek 3 Deney 3, Sol	12,32	16,69

Tablo 4. Diz eklem merkezi uzaklıklarının ortalama ve standart sapma değerleri

	Epikondillere Doğrudan İşaretleyici Tutturma Yöntemi [17] Ort. \pm St. Sapma (mm)	VCM Yöntemi [13] Ort. \pm St. Sapma (mm)
Denek 1, Sağ	13,96 \pm 0,00	15,26 \pm 0,01
Denek 1, Sol	4,45 \pm 0,00	10,14 \pm 0,05
Denek 2, Sağ	3,16 \pm 0,00	9,06 \pm 0,01
Denek 2, Sol	12,57 \pm 0,00	14,05 \pm 0,00
Denek 3, Sağ	15,06 \pm 0,00	13,49 \pm 0,02
Denek 3, Sol	12,32 \pm 0,00	16,71 \pm 0,02

Tablo 5. Kalça eklem merkezi uzaklıkları için Tukey HSD İkili Karşılaştırma Testi Sonuçları ($\alpha = 0,05$)

		Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Yürüyüş (1)	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) (2)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Yürüyüş (3)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) (4)
Anlamlı Farklılık	Sağ	(2), (3), (4)	(1), (3)	(1), (2)	(1)
	Sol	(3)	(3)	(1), (2)	-

Tablo 6. Diz eklem merkezi uzaklıkları için Tukey HSD İkili Karşılaştırma Testi Sonuçları ($\alpha = 0,05$)

		Epikondillere Doğrudan İşaretleyici Tutturma Yöntemi [17] (1)	VCM Yöntemi [13] (2)
Anlamlı Farklılık	Sağ	-	-
	Sol	(2)	(1)

Eklem Kinematikiğinin Hesaplanması

Uygulanan yöntemler ile elde edilen değişik kalça ve diz eklem merkezleri kullanılarak kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları bütün deneyler için hesaplanmıştır. Elde edilen açılar bir tam yürüyüş çevirimi için ayrı ayrı grafik üzerinde çizdirilmiştir. Şekil 1-5'te, eklem merkezi kestirimlerinde önemli farklılıklar gösteren örnek bir deneyden (Denek 2, Deney 3) elde edilen eklem açıları sunulmuştur.

Farklı kalça ve diz eklem merkezi kestirim yöntemleri ile hesaplanan eklem açıları arasında anlamlı farklar olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile, sağ ve sol taraf açıları için ayrı ayrı araştırılmıştır. Açılar arasında görülen anlamlı farklılıklar ($p < 0.05$) daha sonra Tukey HSD ikili karşılaştırma testi ile daha detaylı olarak incelenmiştir (Tablo 7 ve 8).

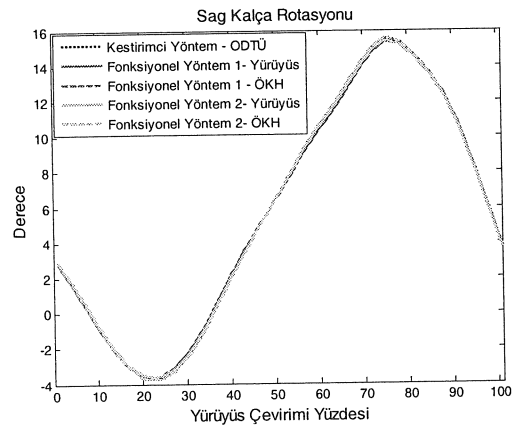
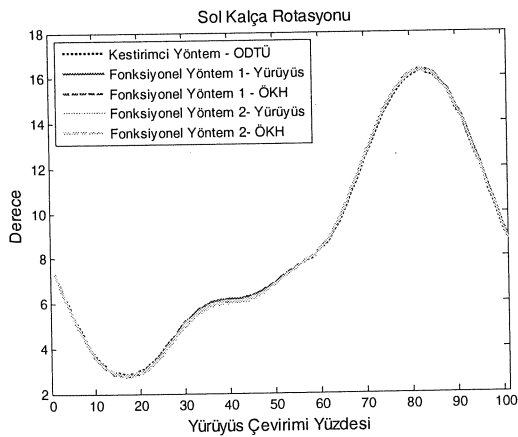
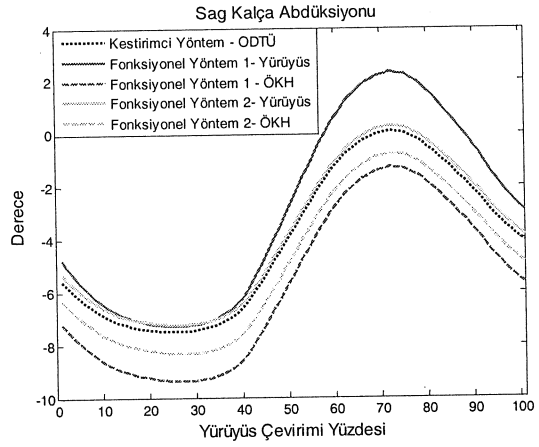
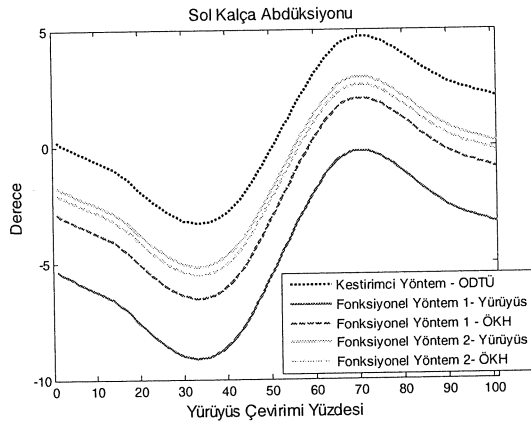
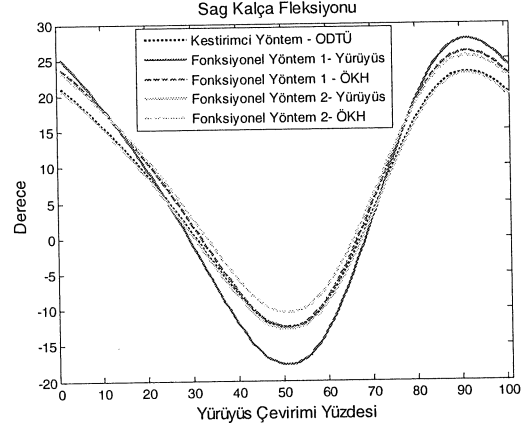
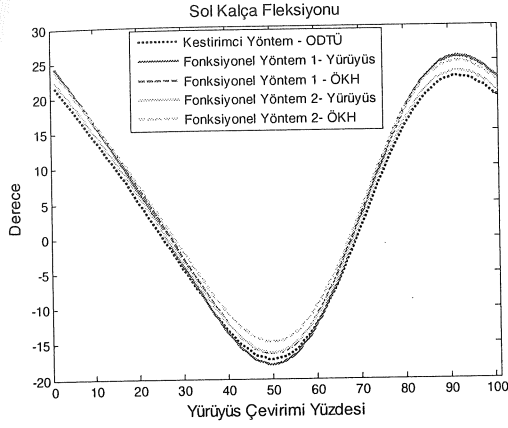
Kalça eklem merkezi kestirimindeki değişikliklerden kalça ve diz eklem açıları doğrudan etkilenmektedir (Şekil 1 ve 2). Açılarının genel karakterinde önemli bir değişiklik olmamakla

beraber, farklı kalça eklem merkezlerinin kullanılması hesaplanan açılarda yukarı ve aşağı ötelenmeler yaratmıştır. Kalça iç/dış rotasyon ve fleksiyon/ekstansiyon açılarında kalça eklem merkezi değişiminden kaynaklanan farklılıklar gözlemlenmezken, kalça abduksiyon/adduksiyon açıları ise kalça eklem merkezi konumundan belirgin biçimde etkilenmiştir (Tablo 7). Diz eklem açıları içinde ise fleksiyon/ekstansiyon açıları kalça eklem merkezi konumundan en az etkilenen açılar olmuştur. Öte yandan, diz iç/dış rotasyon ve sol diz valgusu açılarında kalça eklem merkezi değişikliklerine bağlı olarak önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bu farklılıklar diz valgus/varus açısında sabit yukarı/aşağı ötelenmeler olarak gerçekleşirken; iç/dış rotasyon açılarında ise fleksiyon/ekstansiyon açılarının artış aralığına denk gelen ötelenmeler biçiminde olmuştur (Şekil 2).

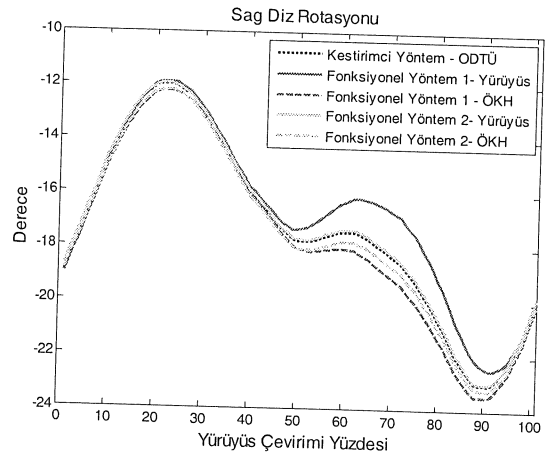
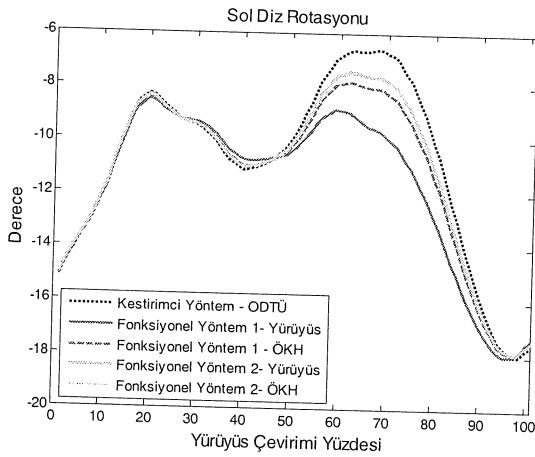
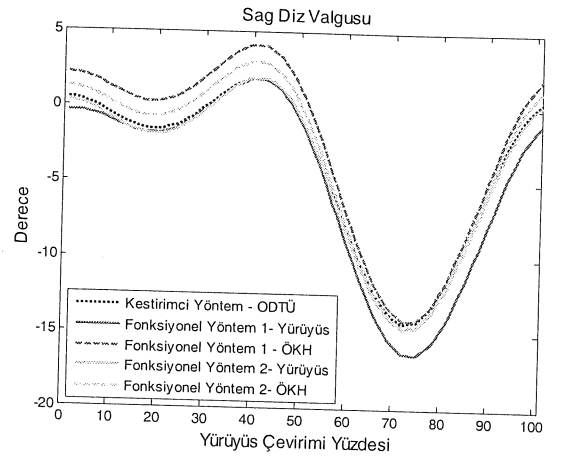
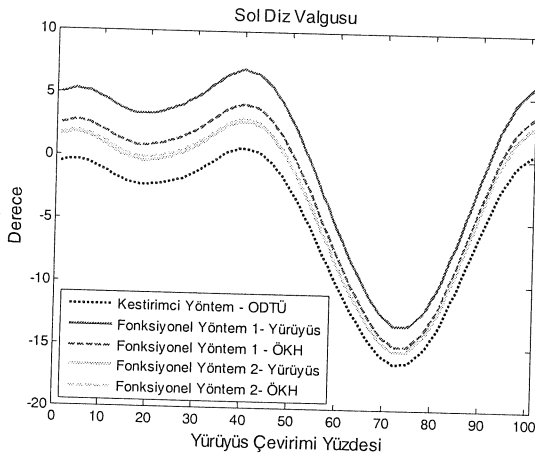
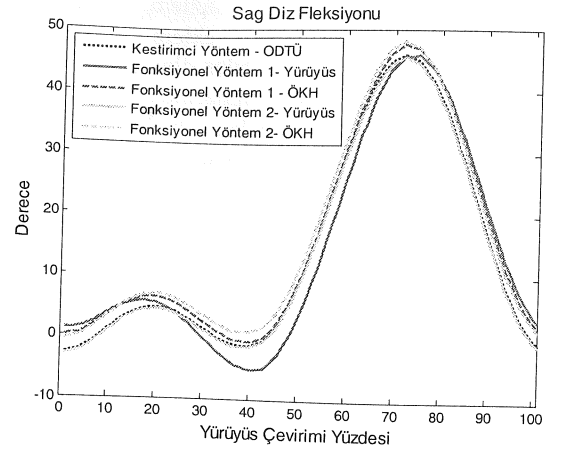
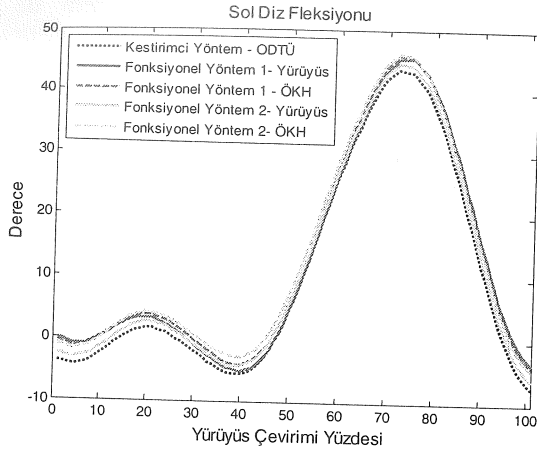
Üç farklı yöntem ile hesaplanmış olan diz eklem merkezlerinden elde edilen kalça, diz ve ayak bileği eklem açılarının da diz eklem merkezindeki değişimlerden doğrudan etkilendiği görülmektedir

(Şekil 3-5). Sajital düzlem açıları (fleksiyon/ekstansiyon), diz eklem merkezi değişiminden en az etkilenen açılar olmuştur (Tablo 8). Kalça ve diz iç/dış rotasyon açıları ise, verilen örnek deney için 15 dereceyi bulan sabit yukarı-aşağı ötelenmeler meydana gelmiştir (Şekil 3). Öte yandan diz valgus/varus açıları, diz eklem merkezindeki

değişikliklere bağlı olarak hem eğilim hem de büyüklük olarak önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 8).. Ayak iç/dış rotasyon açılarının ise diz eklem merkezi değişikliğine hassasiyeti olmadığı görülmüştür.



Şekil 1 Farklı kalça eklem merkezleri ile hesaplanan kalça eklem açıları



Şekil 2. Farklı kalça eklemleri ile hesaplanan diz eklemleri açıları

Tablo 7. Farklı kalça eklem merkezi kestirim yöntemleri ile elde edilen eklem açıları için Tukey HSD İkili Karşılaştırma Testi Sonuçları ($\alpha = 0,05$)

	Kestirimci Yöntem [6] ODTÜ (1)	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Yürüyüş (2)	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) (3)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Yürüyüş (4)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) (5)	
Anlamlı Farklılık	Sağ Kalça Fleksiyonu	-	-	-	-	
	Sol Kalça Fleksiyonu	-	-	-	-	
	Sağ Kalça Abdüksiyonu	(3)	(3)	(1),(2),(4),(5)	(3)	(3)
	Sol Kalça Abdüksiyonu	(2),(3)	(1),(3),(4),(5)	(1),(2),(4),(5)	(2),(3)	(2),(3)
	Sağ Kalça Rotasyonu	-	-	-	-	-
	Sol Kalça Rotasyonu	-	-	-	-	-
	Sağ Diz Fleksiyonu	-	-	-	-	-
	Sol Diz Fleksiyonu	-	-	-	-	-
	Sağ Diz Valgusu	-	-	-	-	-
	Sol Diz Valgusu	(5)	(5)	(5)	(5)	(1),(2),(3),(4)
	Sağ Diz Rotasyonu	(3)	(3)	(1),(2),(4)	(3)	-
	Sol Diz Rotasyonu	(3)	-	(1),(4)	(3)	-

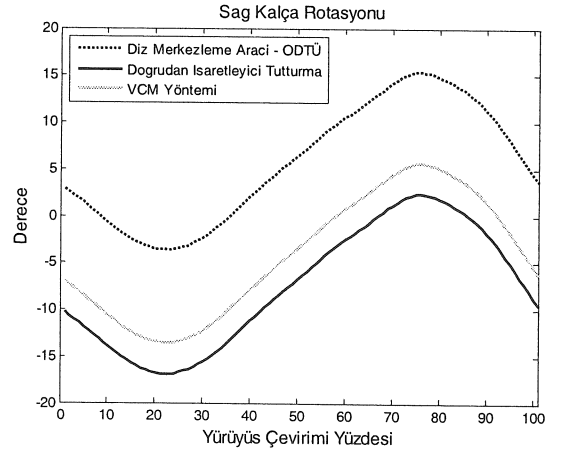
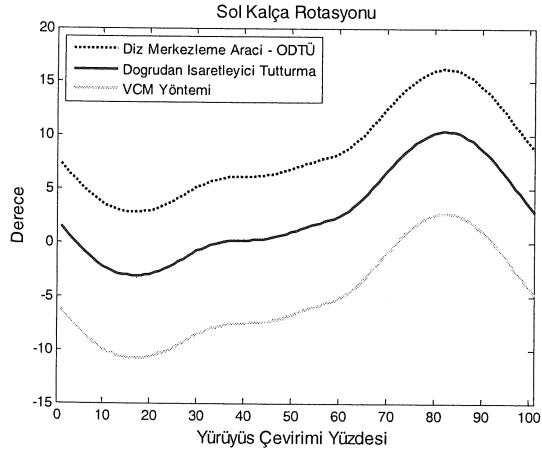
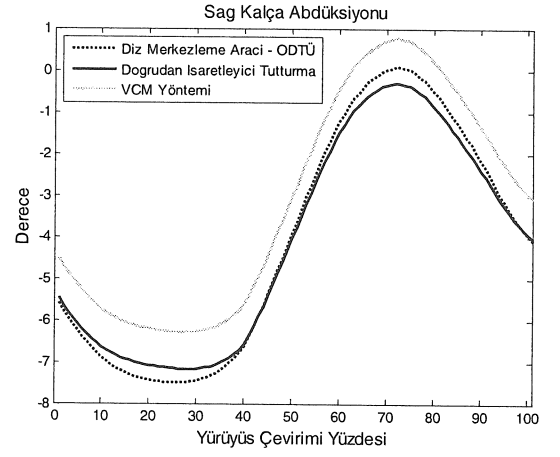
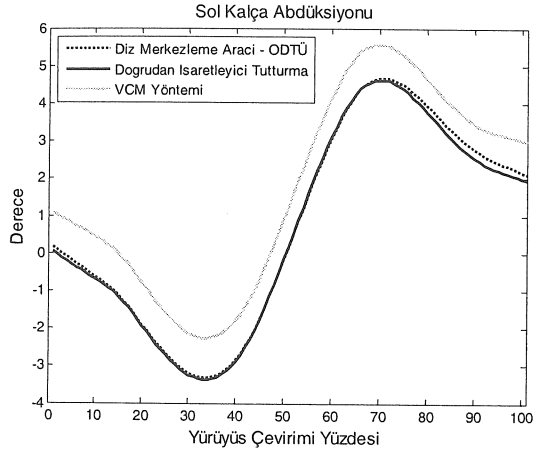
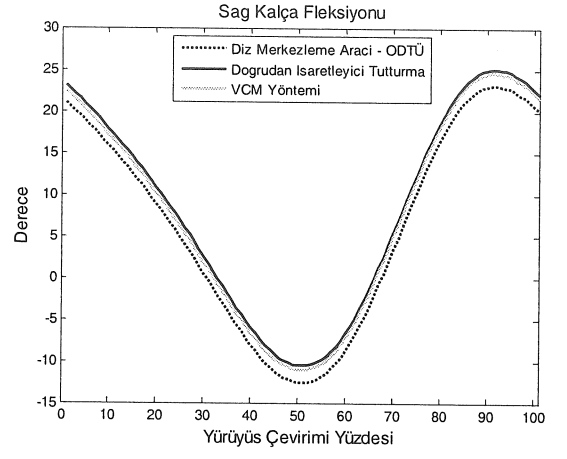
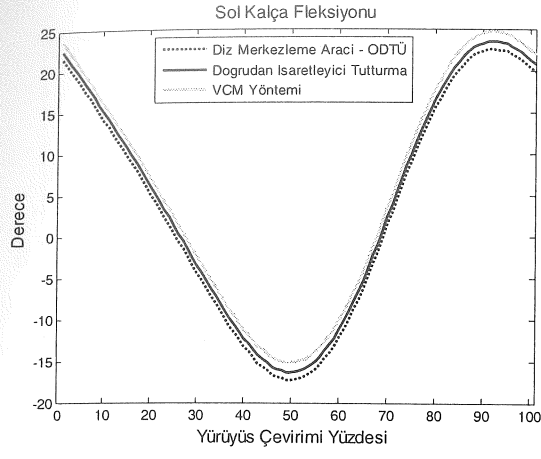
Tablo 8. Farklı diz eklem merkezi kestirim yöntemleri ile elde edilen eklem açıları için Tukey HSD İkili Karşılaştırma Testi Sonuçları ($\alpha = 0,05$)

		Diz Merkezleme Aracı ODTÜ [6]	Epikondillere Doğrudan İşaretleyici Tutturma Yöntemi [17]	VCM Yöntemi [13]
		(1)	(2)	(3)
Anlamlı Farklılık	Sağ Kalça Fleksiyonu	-	-	-
	Sol Kalça Fleksiyonu	-	-	-
	Sağ Kalça Abdükiyonu	-	-	-
	Sol Kalça Abdükiyonu	(3)	(3)	(2),(3)
	Sağ Kalça Rotasyonu	(2),(3)	(1)	(1)
	Sol Kalça Rotasyonu	(2),(3)	(1)	(1)
	Sağ Diz Fleksiyonu	(2)	(1)	-
	Sol Diz Fleksiyonu	-	-	-
	Sağ Diz Valgusu	(2),(3)	(1),(3)	(2),(3)
	Sol Diz Valgusu	(2),(3)	(1),(3)	(2),(3)
	Sağ Diz Rotasyonu	(2),(3)	(1),(3)	(2),(3)
	Sol Diz Rotasyonu	(2),(3)	(1),(3)	(2),(3)
	Sağ Dorsifleksiyon	-	-	-
	Sol Dorsifleksiyon	-	-	-
	Sağ Ayak Rotasyonu	-	-	-
	Sol Ayak Rotasyonu	-	-	-

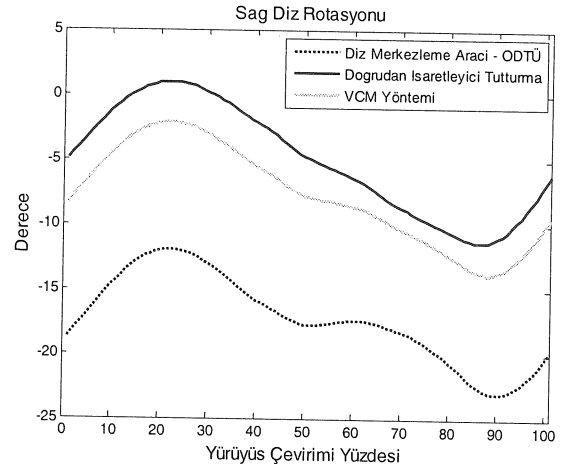
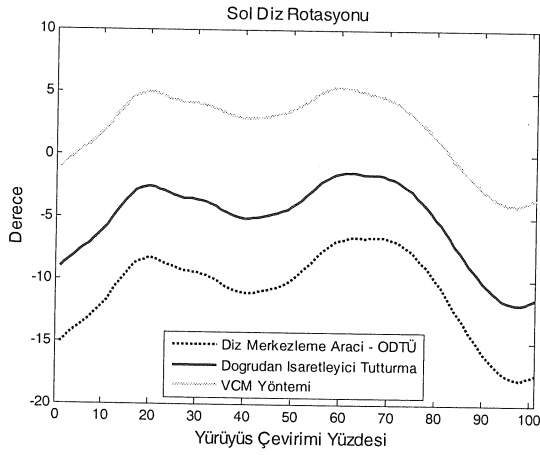
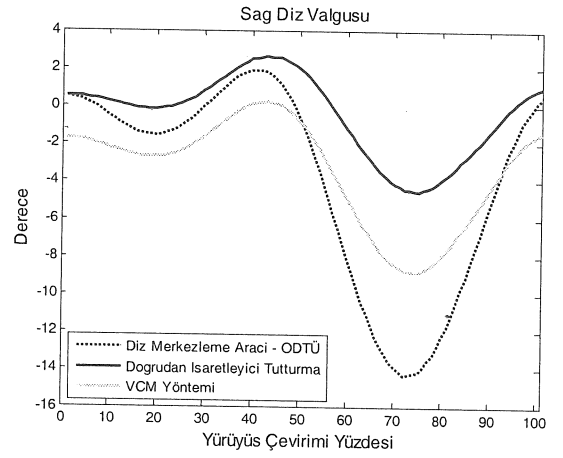
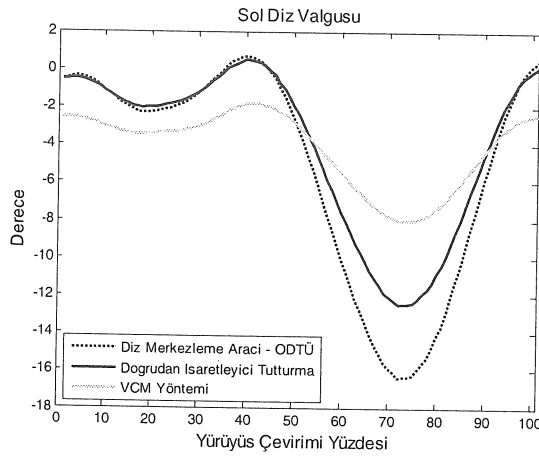
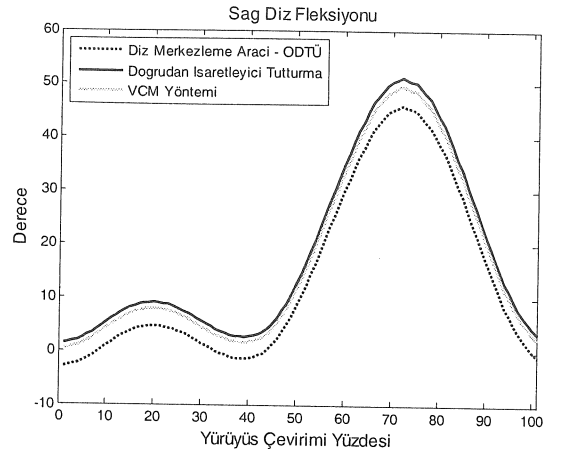
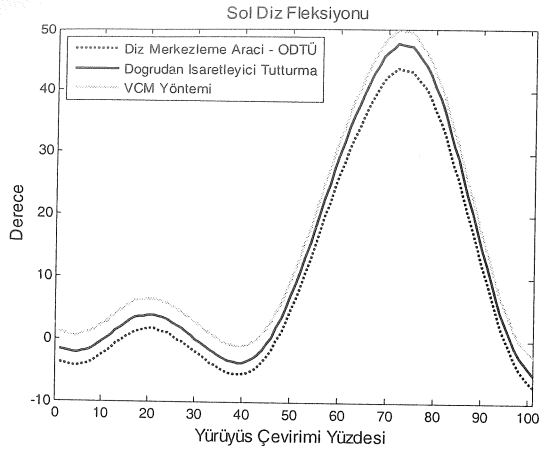
4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çeşitli kalça ve diz eklem merkezi kestirim yöntemleri ODTÜ Yürüyüş Analizi Sistemine uyarlanmış ve gerçekleştirilen deneyler aracılığıyla bu yöntemlerin sistemdeki performansları araştırılmıştır. Elde edilen veriler, uygulanan kalça ve diz eklem merkezi kestirim yöntem sonuçlarının birbirlerinden kayda değer farklılıkta olduğunu ve farklı deneyler için belirli bir eğilim izlediğini göstermiştir. Bu verilerin ışığında, belirtilen yöntemlerin eklem merkezi kestirme performanslarının değerlendirilebilmesi için gerçek eklem merkezi konum bilgilerinin tıbbi görüntüleme

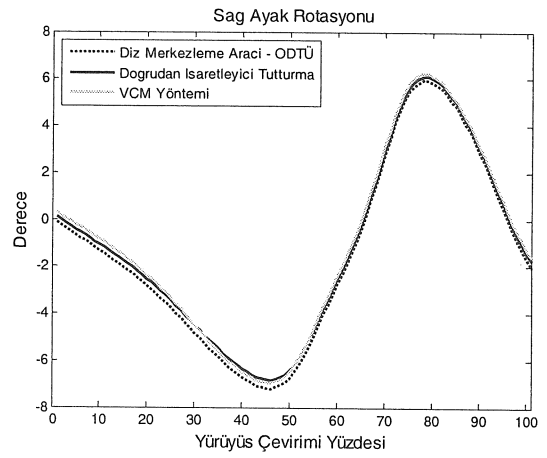
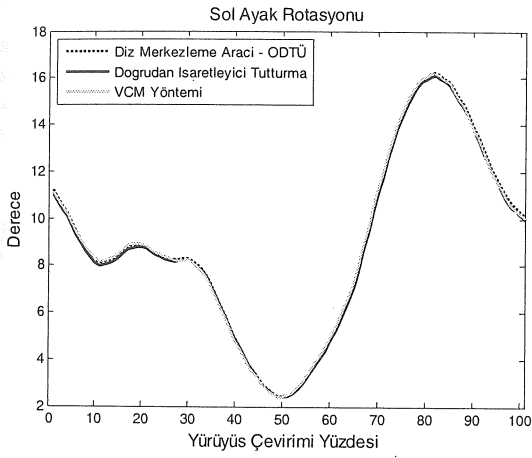
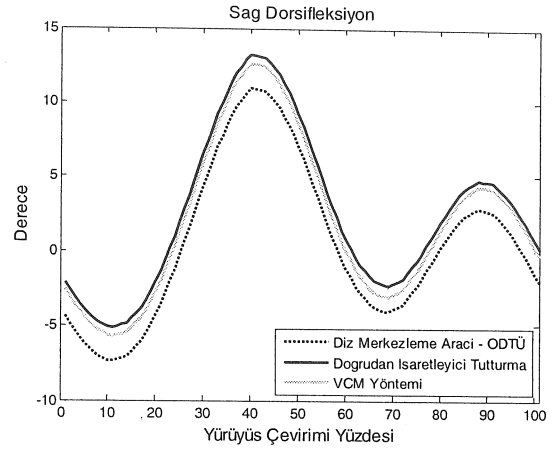
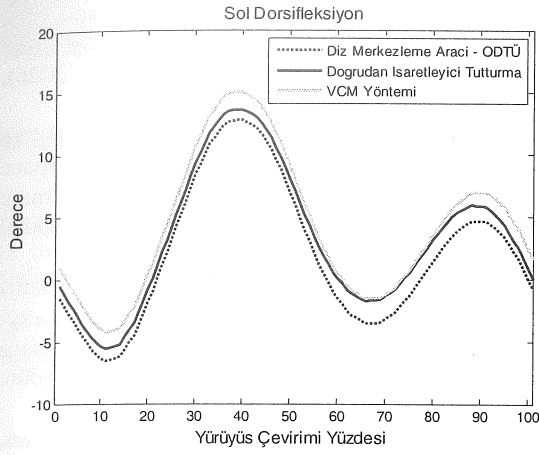
ile ve bir uzman doktor tarafından belirlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Eklem merkezi kestirim yöntemlerinin hesaplanan eklem kinematiği sonuçlarına etkisi ise bu çalışmanın ikinci kısmında incelenmiştir. Farklı yöntemlerden elde edilen kalça ve diz eklem merkez koordinatlarındaki farkların, eklem açılarını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Bu sonuç, yürüyüş analizi sisteminin kinematik sonuçlarının güvenilirliğinin, uygulanan eklem merkez kestirim yöntemi performansına doğrudan bağlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.Farklı diz ekleme merkezleri ile hesaplanan kalça ekleme açıları



Şekil 4. Farklı diz eklem merkezleri ile hesaplanan diz eklem açıları



Şekil 5. Farklı diz eklem merkezleri ile hesaplanan ayak bileği açıları

EFFECTS OF VARIOUS JOINT CENTER ESTIMATION METHODS ON CALCULATED JOINT KINEMATICS IN GAIT ANALYSIS APPLICATIONS

In gait analysis applications, joint center locations that are computed from surface marker coordinates have direct effect on calculated joint kinematics and kinetics. In this study, various hip and knee joint center estimation methods employed in literature, predictive or functional, were implemented in METU Gait Analysis System. Performances of these methods in the system and their effects on calculated joint kinematics were investigated. Significant differences were observed among joint center estimates of the implemented methods. Calculated joint angles were found to be significantly affected from joint centers obtained from the implemented joint center estimation methods.

Keywords: Gait Analysis, Hip Joint Center, Knee Joint Center

KAYNAKÇA

1. Della Croce, U., Leardini, A., Chiari, L. ve Cappozzo, A., Human movement analysis using stereophotogrammetry Part 4: assessment of anatomical landmark misplacement and its effects on joint kinematics. *Gait and Posture* 21 (2005), 226-237.
2. Seidel G.K., Marchinda D.M., Dijkers M., ve Soutas-Little, R.W., Hip joint center location from palpable bony landmarks – a cadaver study. *Journal of Biomechanics* 28 (1995), 995-998.

3. Andriacchi, T. P., Andresson, R.W., Stern D. ve Galante, J.O., A study of lower-limb mechanics during stair climbing. *Journal of Bone Joint Surgery* 62 (1980), 749-757.
4. Bell, A.L., Brand, R.A. ve Pedersen, D.R., Prediction of hip joint centre location from external landmarks. *Human Movement Science* 8 (1989), 3-16.
5. Bell, A. L., Pedersen, D. R. ve Brand, R. A., A comparison of the accuracy of several hip center location prediction methods. *Journal of Biomechanics* 23 (1990), 617-621.
6. Davis III, R.B., Ounpuu, S., Tyburski, D. ve Gage, J.R., A gait analysis data collection and reduction technique. *Human Movement Science* 10 (1991), 575-587.
7. Cappozzo, A., Gait analysis methodology. *Human Movement Science* 3 (1984), 27-50.
8. Piazza, S.J., Okita, N. ve Cavanagh, P.R., Accuracy of the functional method of hip joint center location: effects of limited motion and varied implementation. *Journal of Biomechanics* 34 (2001), 967-973.
9. Piazza, S. J., Erdemir, A., Okita, N. ve Cavanagh, P. R., Assessment of the functional method of hip joint center location subject to reduced range of hip motion. *Journal of Biomechanics* 37 (2004), 349-356.
10. Hicks, J.L. and Richards, J.G., 2005. Clinical applicability of using spherical fitting to find hip joint centers. *Gait and Posture* 22, 138-145.
11. Siston, R.A. ve Delp, S.L., Evaluation of a new algorithm to determine the hip joint center. *Journal of Biomechanics* 39 (2006), 125-130.
12. Cappozzo, A., Catani F., Croce U. D. ve Leardini A., Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination. *Clinical Biomechanics* 10 (1995), 171-178.
13. Civek, E., Comparison of kinematic results between METU-KISS & Ankara University-Vicon gait analysis systems. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2006, Ankara.
14. Shiavi, R., Limbird, T., Frazer, M., Stivers, K., Strauss, A. ve Abramovitz, J., Helical motion analysis of the knee – I. Methodology for studying kinematics during locomotion. *Journal of Biomechanics* 20 (1987), 459-469.
15. Besier, T.F., Sturnieks, D.L., Alderson, J.A. ve Lloyd, D.G., Repeatability of gait data using a functional hip joint centre and a mean helical knee axis. *Journal of Biomechanics* 36 (2003), 1159-1168.
16. Söylemez, B., An investigation on the gait analysis protocol of the "KISS" motion analysis system, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2002, Ankara.
17. Kafalı, P., Evaluation of sensitivity of METU gait analysis system, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2007, Ankara.