

T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BARFİKSTE TERS VE DÜZ DEVİR HAREKETLERİNİN
BİYOMEKANİK ANALİZİ

Nihat Şükrü ÖZGÖREN

Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA

2014

T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BARFİKSTE TERS VE DÜZ DEVİR
HAREKETLERİNİN BİYOMEKANİK ANALİZİ

Nihat Şükrü ÖZGÖREN

Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Serdar ARITAN

ANKARA
2014

Anabilim Dalı :Spor Bilimleri ve Teknolojisi
 Program :Spor Bilimleri ve Teknolojisi
 Tez Başlığı :Barfıkste Ters ve Düz Devir Hareketlerinin
 Biyomekanik Analizi

Öğrenci Adı-Soyadı :Nihat Şükrü ÖZGÖREN
 Savunma Sınavı Tarihi :14.08.2014

Bu çalışma jürimiz tarafından yüksek lisans/doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

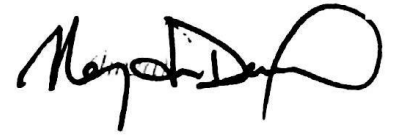
Jüri Başkanı: Prof.Dr. Ali Haydar DEMİREL
 Hacettepe Üniversitesi

Tez danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Serdar ARITAN
 Hacettepe Üniversitesi

Üye: Prof.Dr. Fatih YAŞAR
 Hacettepe Üniversitesi

Üye: Doç.Dr. Erbil HARBİLİ
 Selçuk Üniversitesi

Üye: Yrd.Doç.Dr. Ş. Nazan KOŞAR
 Hacettepe Üniversitesi







ONAY

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri tarafından uygun görülmüş ve Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu kararıyla kabul edilmiştir.


 Prof.Dr. Ersin FADILNOĞLU
 Müdür

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana yol gösteren, sabır ve anlayışla beni yönlendirmeye devam eden değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Serdar ARITAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında her türlü konuda benden yardımını esirgemeyerek çalışmaya önemli katkılarda bulunan Biyomekanik Araştırma Grubu üyesi Arif Mithat AMCA'ya teşekkür ederim.

Uzun zaman önce sporu bırakmış olmalarına rağmen beni kırmayıp çalışmaya denek olarak katılan değerli takım arkadaşlarım, eski milli cimnastikçiler, Ayhan Emre ÖZGÖREN, Oğuzhan YILMAZ, Yahya Kaptan GÜLEZ ve Kerem VENEDİK'e çok teşekkür ederim.

Tez sürecinde hep yanımda olan, hiç tükenmeyen ilgi ve anlayışla bana destek veren sevgili arkadaşlarım Özgen ŞENGELEN, Ozan BOZKURT, Egemen ERCAN, Serdar DOĞANAY ve Sadık ŞATIROĞLU'na teşekkür ederim.

Yaşadığı sıkıntılı günlerde dahi kendinden çok beni önemseyen, hayatımın her anında olduğu gibi tez sürecinde de varlığını yanımda hissettiğim, en kıymetli destekçim, yol göstericim ve dayanağım olan sevgili annem Emine Dilek AKÇAKAYALIOĞLU'na her şey için teşekkür eder, bu çalışmayı, kendisine verilmiş bir armağan olarak kabul etmesini dilerim.

ÖZET

Özgören, N. Ş. Barfikte ters ve düz devir hareketlerinin biyomekanik analizi. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2014. Bu çalışmanın amacı, barfikte düz ve ters devir hareketlerinin kinematik ve kinetik özelliklerini benzeşim modeli oluşturarak incelemektir. Çalışmaya beş erkek eski milli cimnastikçi gönüllü katılarak barfikte düz ve ters devir hareketleri yapılmıştır. Devir hareketleri saniyede 500 kare görüntü kaydedebilen yüksek hızlı kamera ile kaydedilmiştir. Anatomik noktaların görüntü üzerinde belirlenebilmesi için eklemlere yansıtıcı işaretler yerleştirilmiştir. Hareket alanının kalibrasyonu için üzerinde 8 sabit nokta bulunan kalibrasyon düzleminin görüntüsü de her katılımcı için kaydedilmiştir. Kaydedilen görüntülerde yansıtıcı işaretler sayısallaştırılarak noktaların konum verileri elde edilmiştir. Sayısallaştırmadan kaynaklı gürültünün azaltılması için noktaların konum verileri ikinci derece polinomiyel modelin (uygulama genişliği 0.1) ağırlıklı doğrusal en küçük kareler yaklaşımı ile yumuşatılmıştır. Yumuşatılmış konum verileri kullanılarak vücut üyeleri tanımlanmış, üye ve eklemlerin açısal yer değiştirmesi, hızı ve ivmesi hesaplanmıştır. Vücut üyelerinin üç boyutlu geometrisini oluşturmak için katılımcıların üye çevre ve uzunlukları ölçülerek kaydedilmiştir. Çalışmada sporcunun sagittal düzlemde yedi üyeli mekanik modeli tasarlanmıştır. Bu model SIMULINK (sürüm 8.3) programında SimMechanics (sürüm 4.4) kütüphaneleri kullanılarak oluşturulmuştur. Görüntü üzerinden belirlenen üye ve eklem kinematiği modelde girdi olarak yer almıştır. Benzeşim sistemi ters dinamik yöntemle çözülerek eklem momentleri hesaplanmıştır. Ters ve düz devir hareketlerinin kinematik ve kinetik özellikleri karşılaştırılarak incelenmiştir. Ters devir hareketinde vücut kütle merkezinin açısal hızının düz devirdekenden az olduğu, bu nedenle düz devir hareketinin daha hızlı tamamlandığı ortaya çıkmıştır. Devir hareketlerinde en büyük momentin, kalça ve omuz eklemlerindeki açısal harekete bağlı olarak hareketlerin yaklaşma evresinde el bileğine etki ettiği bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Barfiks, Düz devir, Ters devir, Dinamik model, SimMechanics.

ABSTRACT

Özgoren, N. Ş. Biomechanical analysis of forward and backward giant circles on high bar. Hacettepe University Graduate School of Health Sciences, M. Sc. Thesis in Sport Sciences and Technology Program, Ankara, 2014. The aim of this study is to investigate the kinematic and kinetic characteristics of backward and forward giant circle on high bar by developing a simulation model. Five former national gymnasts were voluntarily included in this study as subjects by performing backward and forward giant circles on high bar. The performances were recorded by using a high speed camera, operating at a speed of 500 frames per second. In order to identify body segments on the images, reflective markers were placed on each joint of interest. Prior to subjects performing giant circles, a calibration structure comprising 8 calibration points placed in known locations was video recorded for each subject. Displacement of the points were obtained by digitizing the recorded video images. Digitized data was smoothed by local regression using weighted linear least squares and a 2nd degree polynomial model. The span of the method was set to 0.1. Body segments were defined from smoothed displacement data of the points. Joint and segment angles, angular velocities and angular accelerations were calculated. In order to create body geometry, segment lengths and segment circumferences of the subjects were measured. In the study, a seven segment mechanical model of a gymnast was designed on sagittal plane. This model was built using SimMechanics (version 4.4) libraries in SIMULINK (version 8.3). The model was driven using kinematics of the joints. Joint torques were calculated from the simulation model using the method of inverse dynamics. Kinetic and kinematic characteristics of backward and forward giant circles were interpreted by comparing each other. It is found that, since the angular velocity of the body's center of mass is lower during forward giant circle than it is during backward giant circle, backward giant circle is completed faster. The greatest torques were achieved in wrist joint depending on the angular motion of hip and shoulder joints at the third phase of the movement where the position of the gymnast's center of mass is closest to the bar.

Keywords: High bar, Backward giant circle, Forward giant circle, Dynamic model, SimMechanics.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kapsam.....	1
1.2. Amaç ve Varsayım.....	3
1.3. Araştırmanın Önemi.....	4
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Cimnastik	5
2.2. Artistik Cimnastik	6
2.2.1. Barfiks.....	6
2.2.2. Barfiks aletinde salınım ve rotasyon becerisi	7
2.2.3. Barfikste ters ve düz devir hareketleri	8
Düz devir hareketinde kepçe tekniği ve geleneksel teknik	9
2.2.4. Barfiks aletinde biyomekanik çalışmalar.....	11
Barfikste ters ve düz devir hareketlerinin biyomekanik analizi.....	12
2.3. Dinamik Yöntemler.....	15
2.4. Ters Dinamik Analiz Yöntemi	15
2.5. İnsan Vücudunun Eylemsizlik Özellikleri	16
2.6. Matematiksel Model.....	17
2.7. Dinamik Modelleme.....	18
3. YÖNTEM.....	20
3.1. Katılımcılar	20
3.2. Veri Toplama Araçları	20
3.3. Verilerin Toplanması	24

3.3.1. Antropometrik Ölçümler.....	25
3.3.2. Görüntü Kaydı	27
3.4. Verilerin Analizi.....	32
3.4.1. Sayısallaştırma	32
3.4.2. Noktaların Uzaysal Konumlarının Hesaplanması.....	32
El Bileğinin ve Kafanın Konumunun Elde Edilmesi	33
3.4.3. Yumuşatma	34
3.4.4. Üyelerin Eylemsizlik Momentlerinin Hesaplanması	35
3.4.5. Eklem ve Üye Kinematığının Belirlenmesi	36
3.4.6. Biyomekaniksel Model	39
3.4.7. Model Parametrelerinin Elde Edilmesi	39
Üye Geometrisinin Oluşturulması	40
Kinematik Verinin Hesaplanması	40
3.4.8. Devir Hareketlerinin Dinamik Modeli.....	41
4. BULGULAR	46
5. TARTIŞMA	81
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	90
6.1. Sonuçlar	90
6.2. Öneriler	92
KAYNAKLAR	93
EKLER	
EK-1. Etik Komisyon Kararı	
EK-2. CD	

SİMGELER VE KISALTMALAR

HUBAG	Hacettepe Üniversitesi Biyomekanik Araştırma Grubu
FIG	Fédération Internationale de Gymnastique (Uluslararası Cimnastik Federasyonu)
VKM	Vücut kütle merkezi
VRA	Vücut rotasyon açısı
L	Üye uzunluğu (m)
\mathcal{C}	Üye çevresi (m)
A_m	Ortalama üye kütlesi (kg)
$A_{\mathcal{C}}$	Ortalama üye çevresi (m)
r_s	Silindirin yarıçapı (m)
h_s	Silindirin yüksekliği (m)
l_s	Silindirin uzunluğu (m)
m	Üye kütlesi (kg)
m_k	Kürenin kütlesi (kg)
r_k	Kürenin yarıçapı (m)
ω	Açısal hız (derece/s)
α	Açısal ivme (derece/s ²)
t	Zaman (sn)
β	Üye açısı (derece)
θ	Eklem açısı (derece)
Rot_{α}	Rotasyon açısı (derece)
F_x	Eklemdeki yatay kuvvet bileşeni (N)
F_y	Eklemdeki dikey kuvvet bileşeni (N)
a	Doğrusal ivme (m/s ²)
I	Eylemsizlik momenti (kgm ²)
T	Moment (Nm)

ŞEKİLLER

	Sayfa
1.1: Barfikste (a) düz ve (b) ters devir hareketleri	1
2.1: Barfikste düz ve ters tutuş	8
2.2: Geleneksel düz devir tekniği	10
2.3: Kepçe tekniği ile düz devir	10
2.4: Bauer'in noktasal kütle modeli	12
2.5: İki boyutlu, dört üyeli katı cisim modeli	13
2.6: Üç boyutlu, 15 üyeli bar - insan vücudu modeli	14
2.7: Dinamik problemler	15
2.8: Hanavan'ın geometrik insan vücudu modeli	17
3.1: Araştırmada kullanılan barfiks	21
3.2: Deney düzeneğinde kullanılan yüksek hızlı kamera ve bilgisayar	21
3.3: Kamera yüksekliğini ayarlamak için kullanılan tripod	22
3.4: Hareket düzlemini aydınlatmak için kullanılan ışıklandırma ekipmanı	22
3.5: Çalışmada kullanılan yansıtıcı işaret seti	23
3.6: Kalibrasyon düzlemi ve koordinatları	23
3.7: Deney düzeneğinde kamera ve bilgisayar	24
3.8: Deney düzeneğinde barfiks aleti	25
3.9: Katılımcıların antropometrik ölçümleri	27
3.10: Deney düzeneğinde barfiks ve kameranın yerleşimi	28
3.11: Anatomik noktaların üzerine yerleştirilen yansıtıcı işaretlerin farklı katılımcılar üzerindeki görüntüsü	29
3.12: Deney sırasında barfikste düz ve ters devir hareketleri	30
3.13: Kalibrasyon düzleminin farklı katılımcılar için kaydedilen görüntüleri	31
3.14: El bileği ile dirsek eklemi arasına yerleştirilen yansıtıcı işaret	33
3.15: Kafayı tanımlamak için kullanılan yansıtıcı işaretler ve orta nokta	34
3.16: Açısal sürekliliği sağlamak için kabul edilen başlangıç noktası	37
3.17: Ters ve düz devirde vücut rotasyon açısı	38
3.18: Yedi üyeden oluşan iki boyutlu insan vücudu modeli	39
3.19: Devir hareketlerinin Simulink'te oluşturulan benzeşim modeli	41
3.20: Alt sistemlerin bir araya gelmesiyle oluşan model diyagramı	42
3.21: Bir alt sistemi oluşturan üye, kinematik veri, eklem ve sensör bağlantıları ...	42

3.22: Kinematik Veri alt sistemi	43
3.23: Baş ve boyun açısı	43
3.24: Modelde oluşturulan Kafa-Gövde bağlantısı	44
3.25: Ters dinamik yaklaşımla dinamik model analizinin akış şeması.....	44
3.26: Deney modeli serbest cisim diyagramı	45
4.1: Düz ve ters devirde vücut rotasyon açısı	47
4.2: Devir hareketlerinin benzeşimi. (a) Düz devir, (b) Ters devir.....	48
4.3: Düz ve ters devirde önkol üye açısının değişimi	49
4.4: Düz ve ters devirde üst kol üye açısının değişimi.....	50
4.5: Düz ve ters devirde gövde üye açısının değişimi.....	51
4.6: Düz ve ters devirde üst bacak üye açısının değişimi	52
4.7: Düz ve ters devirde alt bacak üye açısının değişimi	53
4.8: Düz ve ters devirde ayak üye açısının değişimi.....	54
4.9: Vücut üyelerinin düz devir sırasında açısal değişimi.....	56
4.10: Vücut üyelerinin ters devir sırasında açısal değişimi.....	56
4.11: Düz ve ters devirde dirsek eklem açısının değişimi.....	57
4.12: Düz ve ters devirde omuz eklem açısının değişimi.....	58
4.13: Düz ve ters devirde kalça eklem açısının değişimi	59
4.14: Düz ve ters devirde diz eklem açısının değişimi.....	60
4.15: Düz ve ters devirde ayak bileği eklem açısının değişimi.....	61
4.16: Düz ve ters devirde baş ve boyun açısının değişimi	62
4.17: Anatomik noktaların ve VKM'nin devir hareketleri sırasında konumu	64
4.18: Devir hareketleri boyunca dirsek eklem açısının değişimi	65
4.19: Devir hareketleri boyunca omuz eklem açısının değişimi	66
4.20: Devir hareketleri boyunca baş ve boyun açısının değişimi.....	67
4.21: Devir hareketleri boyunca kalça eklem açısının değişimi	68
4.22: Devir hareketleri boyunca diz eklem açısının değişimi	69
4.23: Devir hareketleri boyunca ayak bileği eklem açısının değişimi	70
4.24: Düz devirde bar-VKM arasındaki mesafenin değişimi.....	71
4.25: Ters devirde bar-VKM arasındaki mesafenin değişimi	72
4.26: Düz devir hareketinin evreleri ve eklem hareketleri.....	73
4.27: Ters devir hareketinin evreleri ve eklem hareketleri	75

4.28: Devir hareketlerinde VKM'nin açısal hızı.....	77
4.29: Düz devirde eklemlere etki eden momentler	78
4.30: Ters devirde eklemlere etki eden momentler	79

TABLOLAR

	Sayfa
3.1: Katılımcıların fiziksel özellikleri..	20
3.2: Uzunluk ve çevre ölçümü alınan vücut üyeleri ve anatomik tanımları.....	26
3.3: Vücut üye kütlelerinin toplam vücut kütlelerine ve üye kütle merkezi konumlarının üye uzunluklarına oranı	35
4.1: Üyelerin antropometrik ve eylemsizlik özellikleri.....	46
4.2: Ters ve düz devirde VKM'nin taradığı açı	47
4.3: Düz ve ters devirde VKM'nin ortalama ve maksimum açısal hızı	76
4.4: Devir hareketlerinin evrelerinde eklem momentlerinin maksimum değerleri	80
5.1: Devir hareketlerinde eklem hareketleri ve ekleme etki eden momentin yönü.....	88

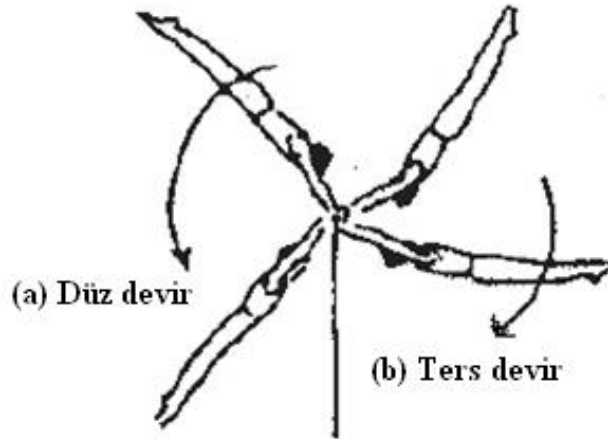
1. GİRİŞ

1.1. Kapsam

Barfiks, erkekler artistik cimnastik yarışmalarında yer alan altı aletten biridir. Antrenörler ve sporcular tarafından en saygın alet olarak kabul edilen barfikte (27) yapılan hareketler beş farklı grup altında toplanır (18):

1. Uzun asılıştta salınım ve dönüşler
2. Uçuşlu hareketler
3. Bara yakın ve bar içi hareketler
4. Kartal tutuşlu ve dorsal asılışlı hareketler
5. Bitiriş hareketleri

Cimnastikçiler bu gruplardan hareketler seçerek bir seri oluştururlar. Devir hareketleri (düz ve ters devir), farklı zorluktaki hareketleri akıcı şekilde bağlamak için kullanılan en temel salınım hareketleridir (Şekil 1.1). Özellikle de barfiks aletinin karakterini oluşturan uçuşlu hareketler ve bitiriş hareketleri için gerekli olan rotasyonu ve açısal hızı sağlamak için sıkça kullanılırlar (42).



Şekil 1.1: Barfikte (a) düz ve (b) ters devir hareketleri (18).

Cimnastikçiler çok küçük yaşlardan itibaren barfiks aletinde salınım hareketlerini öğrenmeye ve geliştirmeye başlarlar (17). Yapılan çalışmalarla düz devir hareketi analiz edilerek başarılı bir devir performansının bileşenleri tanımlanmıştır (4). Devir hareketinin temel amacı amut pozisyonundan harekete başlayıp düz vücut pozisyonunu koruyarak barın etrafında dönmek ve tekrar amut pozisyonuna gelmektir. Devir hareketi yapan bir cimnastikçi, bara tutturulmuş bir katı cisim ya da bir sarkaç olarak düşünülebilir. Cimnastikçi, sürtünmenin ihmal edilmediği bir barın üzerinden bırakılan bir sarkaç olarak düşünüldüğünde, devir hareketinin iniş evresinde kazanılan açısız momentum, çıkış evresinde azalacaktır ve gövde bir tam devri tamamlayamayacaktır. Bu nedenle cimnastikçiler salınım sırasında vücut üye hareketlerinde bazı değişiklikler yaparlar ve iniş evresinde kazanılan açısız momentumu çıkış evresine yansıtarak bir tam devir hareketini tamamlarlar (36).

Araştırmacılar devir hareketini etkileyen üç faktörün olduğunu belirtmektedirler. Bunlar; cimnastikçinin eli ile bar arasındaki sürtünme, havanın direnci ve vücudun eylemsizlik momentidir. Havanın direnci ve sürtünme genellikle salınım hareketini yavaşlatırken alt salınım sırasında ortaya çıkan moment, hareketi hızlandırarak cimnastikçiyi üst salınıma taşır. Barı kavrama biçimine ve dönme yönüne bağlı olarak sürtünme, cimnastikçinin barı kavrayışını sağlamlaştırır. Cimnastikçiler barfiks aletini üç farklı şekilde kavrarlar; bu kavrama biçimleri düz, ters ve kartal tutuş olarak isimlendirilir (35).

Devir hareketlerini inceleyen araştırmacılar salınım hareketlerinin büyük bölümünün omuz ve kalça eklemlerinde gerçekleştirilen fleksiyon ve ekstansiyon hareketleriyle ilgili olduğunu vurgulamaktadırlar (27). Arampatsız ve Brüggemann (4) düz devir hareketinin temel biyomekanik karakterinin kalça ekleminde oldukça hızlı bir hiperekstansiyon-fleksiyon hareketini takiben omuz ekleminde yapılan hiperfleksiyon-ekstansiyon hareketinin oluşturduğunu belirtirken bu hareketlerin, bir tam devir hareketi gerçekleştirebilmek için gereken mekanik enerjiyi sağladığını vurgulamışlardır. Devir hareketi sırasındaki bu eklem hareketleri sonucu oluşan mekanik enerji ve ortaya çıkan açısız momentum, devir hareketinden sonraki karmaşık hareketin gerçekleştirilmesinde kullanılır. Yeadon ve Hiley (42) de düz

devir hareketinin bileşenleri olarak omuz ve kalça eklemindeki fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerinin önemine dikkat çekerek bu eklemlerde gerçekleşen hareketlerin devir performansının temel bileşenleri olduğunu belirtmektedirler. Literatürde cimnastikçilerin düz devir sırasında kalça eklemindeki fleksiyon, omuz eklemindeki ekstansiyon hareketlerini vücut alt salınımdan geçtikten sonra tamamladıkları belirtilmektedir. Bununla birlikte cimnastikçilerin, vücut üst salınıma ulaşmadan hemen önce kalça ekleminde ekstansiyon, omuz ekleminde fleksiyon hareketi gerçekleştirilerek tekrar düz vücut pozisyonuna ulaştıkları vurgulanmaktadır (4, 27, 42).

Ters ve düz devir hareketlerinin özellikle başka karmaşık becerilere hazırlık amacıyla uygulanıyor olması (27) bu hareketlerin uygulanmasında etkili olan biyomekanik parametrelerin önemini ortaya çıkarmaktadır.

1.2. Amaç ve Varsayım

Bu çalışmanın amacı, barfıkste, zorluk derecesi yüksek elemanlara hazırlık amacıyla yapılan ters ve düz devir hareketlerinin kinematik ve kinetik özelliklerini benzeşim modeli oluşturarak incelemektir. Çalışmada vücudun ve barın simetrik olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayımına dayanarak, çalışmanın verileri vücudun yarısından toplandı ve inceleme iki boyutlu analiz olarak gerçekleştirildi.

Bu tür dinamik problemlere yaklaşımda gerçek fiziksel sistemi temsil eden basitleştirilmiş modeller kullanılır. Bir model, eklem kuvvet ve momentleri gibi deneysel olarak ölçülemeyen değerleri niceleyebilmektedir. Değişkenler üzerinde çeşitli değişiklikler yaparak farklı deneyler yapılabilmesi bu modellerin kullanımını avantajlı kılmaktadır. Oluşturulan modeller dinamik problemlerin çözümünde kullanılırken bu modellerde vücut üyelerini temsilen genellikle katı cisimler veya elastik yapılar kullanılmaktadır. Tüm problemlerin çözümünde tek bir model kullanılamayacağı gibi belirli bir amaca göre özel modeller oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada, insan vücudunun, düz ve ters devir hareketi yapan cimnastikçiyi temsil ettiği düşünülen bağlantılı üye mekanik modeli oluşturuldu. Modelde yer alan üyeler sırasıyla ön kol, üst kol, kafa, gövde, alt bacak, üst bacak ve ayaktır. Kafa küre, diğer

vücut üyeleri silindirik ve katı cisim olarak kabul edildi. Eklem kuvvet ve momentleri, ters dinamik analiz ile hesaplandı.

1.3. Araştırmanın Önemi

Artistik cimnastikte kinetik ve kinematik analizlerden elde edilen bilgiler kullanılarak sporcunun performansı ve hareket tekniği ile ilgili değerlendirmeler yapılmaktadır. Özellikle barfiks aleti becerileri üzerine yapılan araştırmalarda bitiriş hareketi, uçuşlu hareketler ve bu hareketleri gerçekleştirmek için sıkça kullanılan düz devir hareketi incelenmiş, bu incelemeler için ayak ve kafa üyeleri ihmal edilerek genellikle dört üyeli (bar-kol-gövde-bacak) insan vücudu modeli kullanılmıştır. Bu araştırmada ise hem ters hem de düz devir hareketinin mekanik özellikleri incelendi ve bunun yanı sıra başarılı devir performansını etkilediği düşünülen önkol, kafa ve ayak üyeleri de inceleme için oluşturulan biyomekaniksel modelde yer aldı. Bu sayede kafa ve ayak üyelerinin devir hareketlerinin dinamiğinde etkili olup olmadığı ortaya çıkarılmıştır.

Literatürde barfiksle ilgili yapılan araştırmalarda genellikle uçuşlu hareketler ve bitiriş hareketi öncesinde yapılan düz devir hareketinin kinetik ve kinematik parametreleri incelenmektedir ancak literatürde, ters devir hareketini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Son olimpiyat oyunlarının barfiks aleti finalinde yarışan sporcuların seri performansları incelendiğinde sekiz sporcudan yalnızca bir tanesinin ters devir hareketini kullanarak yüksek zorluk derecesine sahip uçuşlu bir hareket yaptığı görülmektedir. Bunun yanı sıra sporcuların tamamının bitiriş hareketlerini düz devir kullanarak yaptıkları dikkat çekmektedir. Ayrıca FIG'in kural kitapçığı incelendiğinde ters ve düz devir hareketleri kullanılarak yapılabilen hareket sayılarının ve bu hareketlerin zorluk derecelerinin paralellik gösterdiği açıkça görülmektedir. Tüm bunlar sporcuların niçin düz devir hareketini daha çok tercih ettikleri sorusunu gündeme getirmektedir. Bu nedenle, ters devir hareketinin de incelenmesi bu çalışmanın güçlü yanlarından birisidir. Bu çalışmayla, ters ve düz devir hareketlerinde etkili olan mekanik faktörler ortaya çıkarılmıştır. Hareketler sırasında etkili olan kuvvetlerin ve momentlerin değerleri karşılaştırılarak tercih sebeplerine mekanik bir bakış açısıyla cevap verilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Cimnastik

Cimnastik en eski Olimpik sporlardan biridir. Katılımcıların çeşitli performanslar sergiledikleri antik Olimpiyat Oyunlarında ilk kez “cimnastik” olarak tabir edilebilecek şekilde yer almıştır. Antik kil vazo ve kapların üzerindeki şekillerde görüldüğü kadarıyla bu performansların güreş ve boğaların üzerinden atlama olduğu söylenebilmektedir. “Cimnastik” kelimesi antik Yunan dilinde yer alan, kelime anlamı “çıplak” olan “Gymnos” kelimesinden gelmektedir.

Cimnastik, 19. yüzyılda modern haline kavuşurken iki cimnastik stili birbiri ile yarışmakta ve hatta çatışmaktaydı. Bunlar aletli Alman cimnastiği ile serbest grup egzersizlerinden oluşan İsveç cimnastiğidir. Bu çatışma zamanla bir uyuma dönüşmüş ve yine 19. yüzyılda, Avrupa’da modern açık hava cimnastik sahaları yapılmaya başlanmıştır. Bu alanlarda genellikle erkekler kadınları etkilemek amacıyla çeşitli hareketler yapmışlardır. Sonraları bu alanlarda yapılan çalışmalar gelişmiş ve askeri alanda sıkça kullanılan temel eğitim hareketlerine (düzen içinde yürüme, dönüşler, selamlama vb.) ilham vermiştir.

Cimnastiği uluslararası bir birliğe taşıyan Uluslararası Cimnastik Federasyonu (FIG), 1881 yılında Belçika’nın Liege şehrinde kurulmuştur. FIG’in kurulmasıyla birlikte cimnastiğin tüm branşlarında uluslar arası düzenlemelere gidilmiş ve cimnastik bugünkü modern yapısına kavuşmuştur.

Son düzenlemelere göre FIG’e bağlı 129 federasyon, beş ayrı cimnastik branşı vardır. Bunlar artistik cimnastik (kadın/erkek), aerobik cimnastik (kadın/erkek), trampolin (kadın/erkek), akrobatik cimnastik (kadın/erkek) ve ritmik cimnastiktir (kadın) (39).

2.2. Artistik Cimnastik

Artistik Cimnastik 1896'dan bu yana her dört yılda bir düzenlenen, modern çağın Olimpiyat Oyunlarının tamamında yer almış birkaç spordan biridir. Atina'da düzenlenen ilk Olimpiyatın cimnastik yarışmalarında beş ulustan 18 sporcu yarışmacı olarak yer almıştır. Sporcular altı alette (barfiks, paralel bar, kulplu beygir, halka, atlama beygiri ve halat) serbest seri sunmuşlardır. İlerleyen yıllarda artistik cimnastikte alet sayısı, takım ve sporcu sayısı, yapılan serilerin düzeni ile ilgili birçok düzenleme yapılmış, aletli cimnastik 1952 yılında Helsinki Olimpiyatlarında günümüzdeki formuna kavuşmuştur (39).

Olimpik programdaki en popüler sporlardan biri olan artistik cimnastik aynı zamanda en zor sporlardan biridir. Cimnastik, dünya çapında kabul gören bir spor olup kuvvet, esneklik, dayanıklılık, sanatsal beceri ve cesaretin eşsiz bir birleşimidir (39). Uygulaması heyecan veren, seyretmesi ise hayranlık uyandıran, yaşadığımız modern çağa uygun olan cimnastik, vücudun doğal hareketlerini kullanarak bütün kasların çalışmasını sağlayan bir spordur (5). Cimnastikçiler tarafından yapılan hareketler çoğu zaman insan vücudunun sınırlarına oldukça yakın olarak değerlendirilmektedir (10). Artistik cimnastikte birbirinden farklı birkaç alette performans sergilenir. Erkekler yer, kulplu beygir, halka, atlama masası, paralel bar ve barfiks olmak üzere altı, kadınlar ise yer, denge, atlama masası ve asimetrik paralel (18) olmak üzere dört alette performans sergilerler (35).

2.2.1. Barfiks

Barfiks, artistik cimnastikte (erkek) kullanılan altı aletten biridir. Yarışma düzeninde barfiks yerden yüksekliği 2.80 m, minderden yüksekliği 2.60 m'dir (18).

Bir barfiks serisi çok sayıda devirli ve uçuşlu hareket içerirken bir tane de bitiriş hareketinden oluşur (42). Standart bir barfiks serisi en az 10 hareketten oluşmalıdır (18).

2.2.2. Barfiks aletinde salınım ve rotasyon becerisi

Cimnastikçiler salınım hareketlerini farklı hareketleri yapabilmek için kullanırlar. Salınım, amut pozisyonundan, düz vücut pozisyonu korunarak yapıldığında tüm vücut tek parçadan oluşan bir sarkaç gibi düşünülebilir. Fakat cimnastikçilerin salınım hareketi sırasında daha büyük genliğe ve hıza ulaşmak için yaptıkları çeşitli eklem hareketleri salınım hareketini daha karmaşık bir boyuta taşımaktadır. Bu nedenle vücut tek bir katı cisim gibi değil, birden fazla sayıda cismin (bacak, gövde, kol, bar gibi) bir araya gelmesiyle oluşan, birbiriyle bağlantılı çok üyeli bir sistem olarak düşünülmelidir.

Devir hareketi barın etrafında bir tam tur dönüş olarak düşünüldüğünde vücut kütle merkezinin devir hareketi sırasında barın altında yer aldığı bölüm “alt salınım”, üstünde yer aldığı bölüm ise “üst salınım” olarak adlandırılmaktadır (18). Irwin ve Kerwin'e (27) göre salınım becerisini etkileyen üç faktör vardır: Cimnastikçinin eli ile bar arasındaki sürtünme, hava direnci ve vücudun eylemsizlik momenti. Sürtünme ve hava direnci, devir hızını azaltır. Salınım sırasında kazanılan kinetik enerji, yerçekimi kuvveti ve bardaki sürtünme sebebiyle yetersiz kalarak devir hareketinin tamamlanmasını zorlaştırır (37). Alt salınım sırasında kalça ekleminde yapılan fleksiyon hareketi cimnastikçinin potansiyel ve kinetik enerjisini artırır (42); böylece vücut ağırlığı ile uygulanan moment, cimnastikçinin bir tam devri tamamlaması için gerekli olan hıza ulaşmasını sağlar (35).

Bir katı cisim olarak düşünülen cimnastikçi, amut pozisyonundan kendini yer çekimine bırakarak salınımına başlarsa sürtünme kuvveti ve hava direnci sebebiyle bir tam devir hareketini tamamlayamayacaktır. Fakat belirli bir hıza sahip olarak en üst pozisyonundan geçtiğini düşünürsek harekete devam edecek, başlangıçta sahip olduğuna göre daha az bir açisal momentum ile bir tam devri gerçekleştirebilecektir. Tüm bu olumsuz etkilerin üstesinden gelmek için cimnastikçi, üst salınım evresinde eylemsizlik momentini ve ağırlık merkezi ile dönme merkezi arasındaki mesafeyi azaltmalıdır. Böylece vücut ağırlığı ile oluşan moment sayesinde bir tam devir, daha büyük bir açisal momentum ile tamamlanabilecektir (35).

Açısal hareketi kontrol eden mekanik mekanizmalar salınım hareketini de kontrol etmektedir. Cimnastikçi salınım hareketlerinin alt salınım evresinde bir esneme hareketi yapar. Bu esneme (gerilme) hareketi cimnastikçinin kütle merkezini bardan olabildiğince uzağa taşır. Böylece cimnastikçi alt salınım evresinde yerçekimi kuvvetinin vücudu üzerinde en yüksek momenti uygulamasına izin vermiş olur. Cimnastikçi üst salınım evresinde kalça ve omuz eklemlerinde fleksiyon hareketi yaparak küçülür. Bu hareket sporcunun kütle merkezinin bara yaklaşmasını sağlayarak yerçekimi kuvvetinin yavaşlatıcı etkisini yenmesini sağlar (12).

2.2.3. Barfikste ters ve düz devir hareketleri

Barfikste başarılı bir performans için cimnastikçinin serisinde yeterli sayıda uçuşlu hareket ve değerli bir bitiriş hareketi yer almalıdır. Bu uçuşlu hareketlerin ve bitiriş hareketinin başarıyla gerçekleştirilebilmesi için cimnastikçinin harekete başlangıç enerjisinin oldukça yüksek olması gerekir. Cimnastikçiler, uçuşlu hareketler ve bitiriş hareketi öncesinde bu yüksek enerjiye sahip olabilmek için devir hareketlerinin kullanırlar (3). Böylece barfikste yapılan yarışma serilerinin en temel hareketi devir hareketi olmaktadır. Devir hareketi kısaca, düz vücut yapısını koruyarak barın etrafında tam tur dönmek olarak tanımlanabilir (25). Düz ve ters devir hareketlerinin birbirinden ayıran özellik elin barı kavrama biçimidir. Düz devirde önkol pronasyonda iken ters devirde supinasyondadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Barfikste düz ve ters tutuş biçimleri.

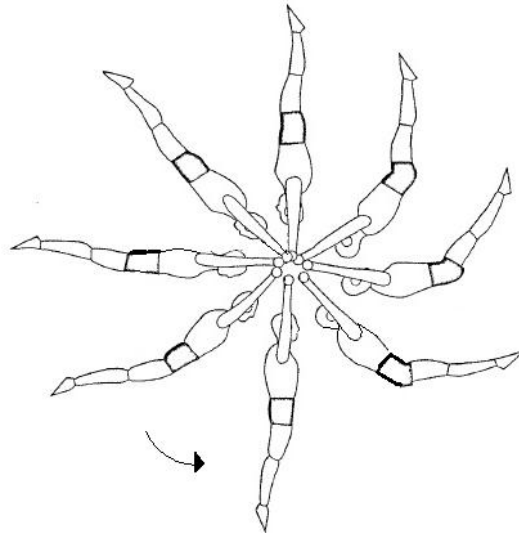
Düz ve ters devir hareketleri, hareketler arasında bağlantı kurmak, bitiriş ve uçuşlu hareketler için gerekli olan dönmeyi sağlamak amacıyla kullanılırlar (42). Devir hareketini tamamlamış olmak, cimnastikçilere puan kazandırmaz. Cimnastikçilerin devir hareketini gerçekleştirmelerindeki amaç, hareket sırasındaki momentumu arttırmaktır. Bunun için kullanılan en iyi teknik "elan"dır. Elan, barın esnekliğinden de faydalanarak kalça ve omuz eklemlerinde yapılan fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri ile gerçekleştirilir. Eklemlerdeki fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri sayesinde alt salınım sırasında açılal momentum artırılır ve vücut üst salınıma taşınır. Üst salınım sırasında ise bu eklem hareketleri, cimnastikçinin dönme merkezine göre eylemsizlik momentinin azalmasında rol oynar (35).

Carr (12) düz devir hareketinin teknik ve mekanik yapısını beş aşamada tarif etmektedir. Bu aşamalar şu şekilde sıralanmaktadır;

1. Hareketin başladığı amut pozisyonu,
2. Alt salınıma yaklaşırken omuz ekleminde fleksiyon, kalça ekleminde ekstansiyon hareketi,
3. Yerçekimi kuvvetiyle beraber aşağıya doğru ivmelenme,
4. Barın altından geçtikten sonra omuz ekleminde ekstansiyon, kalça ekleminde fleksiyon hareketi,
5. Sporcunun hareketi tamamlamak için barı kendine doğru çekmesi ve eklem hareketlerinin, sporcu tekrar amut pozisyonuna gelirken sonlanması.

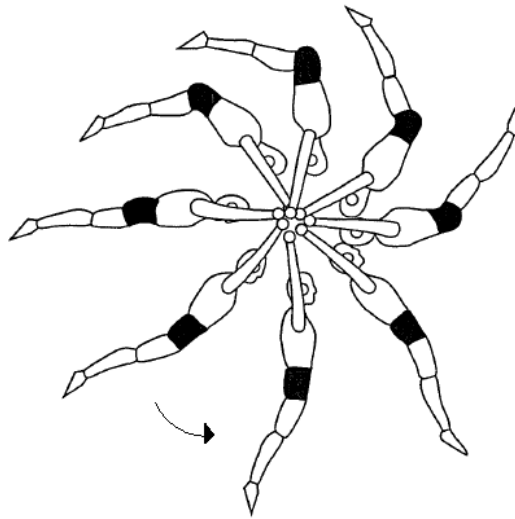
Düz devir hareketinde kepçe tekniği ve geleneksel teknik

Kerwin (35) açılal momentumu arttırmak amacıyla yapılan iki farklı devir tekniği olduğunu belirtmektedir: Kepçe tekniği ve geleneksel teknik. Şekil 2.2'de gösterilen devir tekniği 'Geleneksel Teknik' olarak adlandırılmaktadır. Bu tekniğin özelliği, kalça eklemindeki hiperekstansiyon-fleksiyon hareket kalıbının, vücut alt salınımdan geçerken uygulanmasıdır.



Şekil 2.2: Geleneksel düz devir tekniği (35).

Şekil 2.3'te gösterilen 'Kepçe Tekniği'nde ise, alt salınım sırasında kalça ekleminde yapılan fleksiyonun üst salınıma taşınması söz konusudur.



Şekil 2.3: Kepçe tekniği ile düz devir (35).

Geleneksel teknik ile kepçe tekniğine göre az da olsa daha fazla açılmal momentum sağlanabilmesine rağmen düz devir hareketi kepçe tekniği ile daha az enerji harcayarak yapılabilir. Bu nedenle cimnastikçiler yorgunken, özellikle seri sonundaki bitiriş hareketi öncesinde kepçe tekniğini kullanarak düz devir hareketi yapmayı tercih ederler (35).

2.2.4. Barfiks aletinde biyomekanik çalışmalar

Olimpik cimnastikçiler, geçtiğimiz birkaç on yılda barfiks aletinde yeni teknikler ve hareketler geliştirerek önemli ilerlemeler kaydetmişlerdir (11, 15, 35). Barfiks aletinde yapılan hareketler, çok uzun zamandan beri biyomekanik analizlere konu olmakta, bu alandaki araştırmalar genellikle uçuşlu hareketler, bitiriş hareketleri ve bu hareketlerle ilişkili salınım ve devir hareketlerinin mekaniğine odaklı olmaktadır (9, 21, 35).

Birçok araştırmacı barfiks aletiyle ilgili biyomekanik çalışma yapmıştır. Bu çalışmalarda barfiks aletindeki hareketlerin modellenmesi ve eniyilemesinin (22, 23) yanı sıra farklı hareketler sırasında cimnastikçinin kinetik ve potansiyel enerji değişimleri de (4, 7, 32) incelenmiştir.

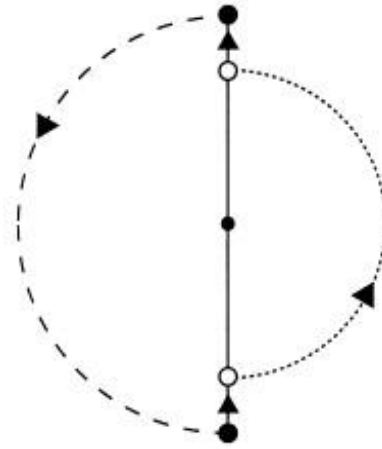
Biyomekanik analizlerde, çalışmanın iki boyutlu mu yoksa üç boyutlu mu olacağına analizi yapılacak olan beceri incelendikten sonra karar verilir. Cimnastikte birçok hareket karmaşık dönüşler içerdiği için bu alandaki analizlerin standardı üç boyutlu olmalıdır. Fakat aletlerin yarışma düzenindeki yerleşimi göz önüne alındığında üç boyutlu analizler için gerekli olan çok sayıda kameranın bu düzen içinde kullanımı oldukça sınırlıdır. Cimnastikte iki boyutlu analizler için tek bir kamerayla görüntü kaydı almak ve kameranın kalibrasyonunu sağlamak daha uygun bir yöntemdir. Bu noktada ise kalibrasyon için kullanılan nesnenin boyutları önemlidir. Kalibrasyon düzleminin ebatları, hareketin yapıldığı alanı kapsayacak kadar büyük olmalıdır.

Literatürdeki araştırmalarda kullanılan görüntü hızı genellikle saniyede 25 veya 30 karedir. Bu araştırmalarda, elde edilen görüntülerin daha sonra ayrıştırılarak saniyede 50-60 kare görüntü elde edildiği görülmektedir. Prassas ve arkadaşları (35) bu veri toplama hızlarının cimnastikte birçok hareket için yeterli olacağını fakat bazı hareketlerin daha yüksek hızları gerektirdiğini belirtmektedirler. Yapılan hareketin kritik evrelerinde hareket hızı yüksekse veya vücut yapısında ani değişimler meydana geliyorsa, bu değişimleri gözlemleyebilmek için birbirini takip eden iki veri arasındaki zaman aralığının yeteri kadar kısa olması gerekmektedir.

Barfiksde ters ve düz devir hareketlerinin biyomekanik analizi

Barfiks aletinde yapılan biyomekanik analizler devir, uçuşlu ve bitiriş hareketlerinde bar ve insan vücudunun matematiksel modellenmesini ve bu modellerin işletilmesi yoluyla hareketin kinetik ve kinematik özelliklerinin incelemelerini içermektedir.

Bauer (7), düz devir hareketi yapan cimnastikçiyi, çeşitli uzunluklara sahip olabilen bir sarkaç olarak tanımlamıştır. Bu tanımda, sarkacın ağırlığı cimnastikçinin vücut ağırlığı, sarkacın uzunluğu ise cimnastikçinin kütle merkezinin dönme merkezi olan bara olan uzaklığıdır (Şekil 2.4). Bauer (7) bu modelle cimnastikçinin en alt noktadayken, yani kütle merkezi tam olarak barın altındayken kalça ekleminde fleksiyon hareketi yaparak aniden kapanması, en üst noktada da ekstansiyon hareketi yaparak aniden açılması gerektiğini, böylece sahip olduğu enerjiyi arttıracığını belirtmektedir.

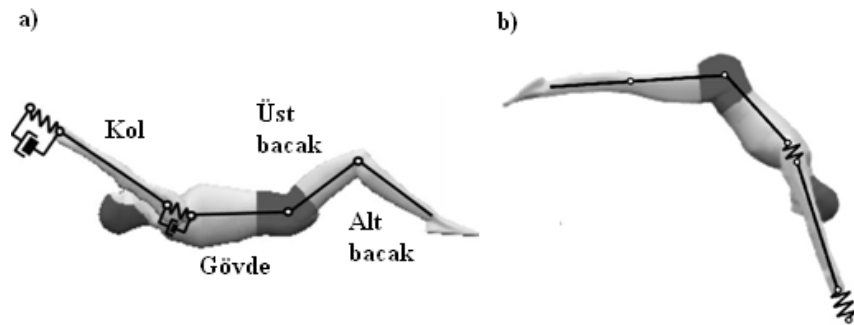


Şekil 2.4: Bauer'in noktasal kütle modeli (7).

Hareketin barın altında geçen bölümünde kalça ve omuz eklemlerinde gerçekleşen fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri, cimnastikçinin potansiyel ve kinetik enerjisini artırır. Hareketin barın üstündeki diğer bölümünde ise aynı eklemlerde gerçekleşen ekstansiyon ve fleksiyon hareketleri cimnastikçinin potansiyel enerjisini arttırırken kinetik enerjisinin azalmasına neden olur.

Cimnastikçinin barın altında kalça ekleminde fleksiyon hareketi yaparak bara yaklaşması için belli bir zamana ihtiyacı olduğu göz önüne alınırsa, bu fleksiyon hareketinin, en alt noktaya erişilmeden önce başlaması ve en alt nokta geçildiğinde sonlanması; aynı şekilde ekstansiyon hareketinin de, fleksiyon hareketine neredeyse simetrik gerçekleşmesi beklenir. Fakat literatürde, kalça eklemindeki fleksiyon hareketinin, barın en alt noktası geçildikten sonra gerçekleştirildiği (9, 14, 19, 31), buna benzer olarak ekstansiyon hareketinin büyük bir bölümünün de çoğu cimnastikçi tarafından en üst noktaya ulaşılmadan tamamlandığı belirtilmektedir (31).

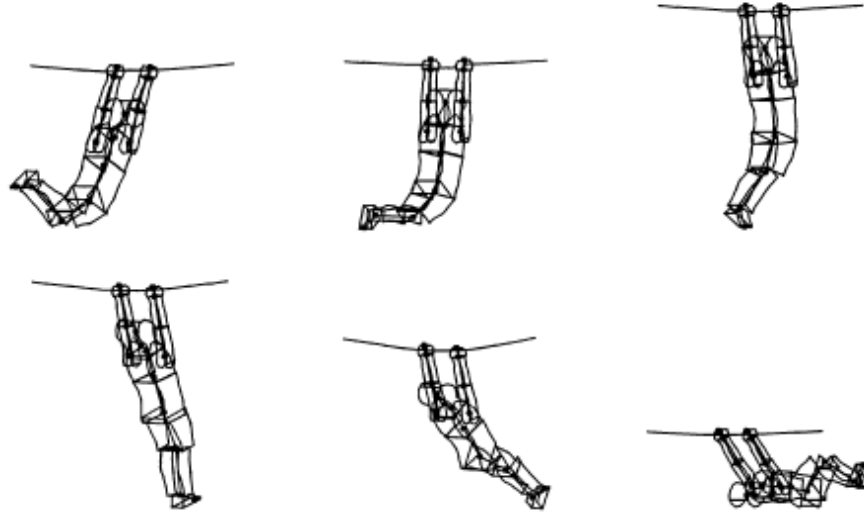
Yeadon ve King'e (41) göre barfıkste ve halkada devir gibi sagittal ekseninde vücudun simetrik olduğu hareketler, az sayıda üyeye sahip iki boyutlu biyomekanik modeller kullanılarak incelenebilmektedir. Literatürde yer alan araştırmalarda düz devir hareketi yapan cimnastikçiyi temsil eden, farklı sayıda üyelerden ve özelliklerden oluşan iki boyutlu biyomekaniksel modeller kullanılmıştır (3, 4, 8, 22, 23, 24, 32, 36, 37, 42). Hiley ve Yeadon (22, 23) tarafından kullanılan model iki boyutlu, 4 üyeli katı cisim modelidir (Şekil 2.5). Bu modellerde bar ve omuz eklemi yay ve damper ile temsil edilmektedir. Araştırmaların birçoğunda barın sert, esnek olmayan bir yapıda olduğu kabul edilmiştir. Fakat pratikte, cimnastikte kullanılan 28 mm çapındaki çelik bar devir esnasında sporcu en alt noktadayken 0.1 m kadar esnemektedir. Cimnastikçinin vücudunun da devir hareketi sırasında 0.15 m kadar esnediği düşünülmektedir (25).



Şekil 2.5: İki boyutlu, dört üyeli katı cisim modeli.

- (a) Yay-damper özelliğinde bar ve omuz eklemi (22), (b) Yay özelliğinde bar ve omuz eklemi (23).

Literatürde yer alan üç boyutlu analizler arasında dikkati çeken bir araştırma Arampatzis ve Brüggemann'ın (3) Kovacs ve Tsukahara hareketlerinden önce yapılan düz devir hareketinin mekanik ve enerjik yapısını inceledikleri araştırmadır. Araştırmada, bu inceleme için oluşturulan insan vücudu modeli 15 üyeden oluşmaktadır (Şekil 2.6). Araştırmacılar her iki hareket öncesinde yapılan düz devir hareketleri sırasında en yüksek momentin omuz ekleminde ortaya çıktığını belirtmektedirler.



Şekil 2.6: Üç boyutlu, 15 üyeli bar - insan vücudu modeli (3).

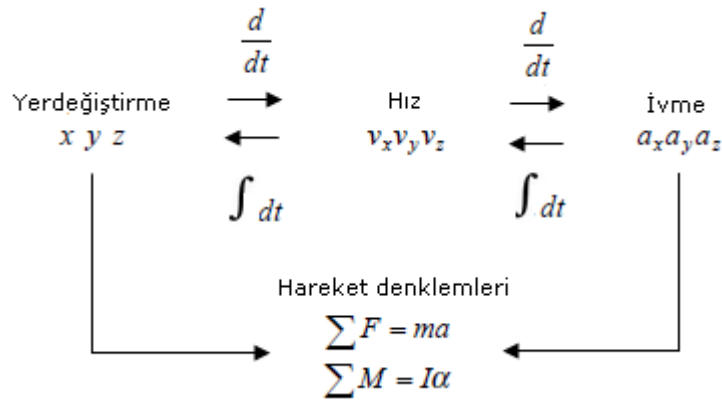
Sevrez ve arkadaşları (36) düz devir hareketindeki eklem kuvvet ve momentlerini incelemek amacıyla kol, gövde ve bacadan oluşan üç üyeli katı cisim modeli ile çalışmışlardır. Farklı üye ağırlıklarının devir performansının kinematik ve kinetik yapısı üzerine etkisinin incelendiği araştırmada üye ağırlıklarındaki artışın bir tam devrin tamamlanma süresini geciktirdiği bulunmuştur. Bununla birlikte vücut ağırlığının artmasıyla beraber kalça ekleminde ekstansiyon hareketinin daha erken, omuz ekleminde ekstansiyon hareketinin ise daha geç gerçekleştiği ortaya konmuştur.

Literatürde ters devir hareketine dair araştırmalar oldukça kısıtlıdır. Bu araştırmalardan birinde Naundorf ve arkadaşları (30) barfikste Adler hareketinden önce gerçekleştirilen iki farklı ters devir tekniğini incelemiş ve bu tekniklerin

arasındaki, omuz-kalça eklem açısının ve kütle merkezinin açısal hızının değişimi gibi bir takım mekanik farklılıkları ortaya koymuşlardır. Bir başka araştırmada ise barfıkste öne bir buçuk saltolu Jager hareketinin mekanik koşulları bir benzeşim modeli kullanılarak incelenmiştir (21).

2.3. Dinamik Yöntemler

Kinematik ve kinetik analizler, hareketi incelemek amacıyla spor biyomekaniğinde sıkça kullanılan yaklaşımlardır. Kinematik analiz hareketi tarif ederken kinetik analiz hareketin nedenlerini inceler (20). Genel hareket denklemleri, ortaya çıkan hareket ve bu harekete neden olan kuvvetler arasındaki ilişkiyi ortaya koydukları için iki yönde kullanılabilirler: kuvvet verisinden hareketin çözümlenmesi (ileri dinamik yöntem) veya hareketten kuvvet verisinin çözümlenmesi (ters dinamik yöntem) (33).



Şekil 2.7: Dinamik problemler Allard ve arkadaşlarından (1) uyarlanmıştır.

2.4. Ters Dinamik Analiz Yöntemi

Mekaniğin bir dalı olan dinamik, kinematik ve kinetik analizler içerir. Ters dinamik hesaplamalar ise, ortaya çıkan bir harekette etkili olan kuvvetlerin belirlenmesidir. Bunun için gerekli olan bilgi, hareketi tanımlayan değişkenlerin belirli bir zaman aralığındaki değişimleridir (41). İncelenen harekette vücut üyelerinin ve eklemlerin kinetik özelliklerinin hesaplanması hareket tekniğinin altında yatan nedenlere bir açıklama getirdiği için spor biyomekaniğinde önemli bir yere sahiptir (6).

Ters dinamik yöntemde kinematik veri ve hareketli üyelerin eylemsizlik özelliği kullanılarak belirli bir hareketi meydana getiren kuvvetler ve momentler hesaplanır. Genellikle mekanik bir sistem birkaç parçaya ayrılarak bu parçalar arasındaki etkileşim incelenir. Örneğin alt ekstremite; üst bacak, alt bacak ve ayak olmak üzere üç parçaya ayrılır. Ardından her bir üyenin ivmesi ve kütlesi kullanılarak, üyeleri birbirine bağlayan eklemler üzerine etki eden kuvvetler, açısız ivme ve eylemsizlik değerleri kullanılarak da momentler belirlenir. Bir ekleme etki eden net kuvvetler ve momentler deneysel olarak ölçülemeyeceğinden, kinematik veriye bağlı olarak üyeler arası kuvvetlerin ve momentlerin belirlenmesi ters dinamik yöntem kullanılarak belirlenir. Ters dinamik yöntemle hesaplanan kuvvetler ve momentler yalnızca matematiksel kavramlar olsa da bu değerler eklem boyunca kuvvet uygulayan tüm yapıların sistemdeki etkisini temsil etmektedir (20).

2.5. İnsan Vücudunun Eylemsizlik Özellikleri

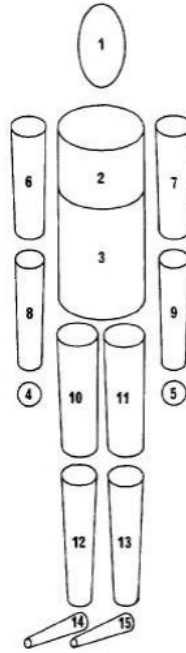
Katı bir cismin, açısız harekete gösterdiği direnç eylemsizlik momenti olarak tanımlanmaktadır. Eylemsizlik momenti cismin kütlesine, şekline ve dönme eksenine bağlı olarak değişmektedir (20).

Biyomekaniksel analizde insan vücudunun eylemsizlik parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Özellikle cimnastik, trampolin, kule atlama ve buz pateni gibi akrobatik hareketler içeren sporlarda vücudun eylemsizlik özelliklerinin önemi büyüktür (20). Bu eylemsizlik özellikleri üyenin kütlesi, eylemsizlik momenti ve kütle merkezinin üye üzerindeki konumudur. Fakat insan vücudunun eylemsizlik özellikleri üyeler ve bireyler arasında değişiklik göstermektedir. Bu nedenle farklı teknikler kullanılarak vücut üyelerinin eylemsizlik momentleri hesaplanmaktadır (13).

2.6. Matematiksel Model

Matematiksel modeller bir sistemin davranışını matematik dili ile açıklayan kuramsal modellerdir. Bu modeller sportif hareketlerin temsil edildiği basit modeller olabileceği gibi karmaşık hareketlerin açıklandığı modeller de olabilir (2). Bu tip modellerin avantajı tek bir değişken üzerinde değişiklik yaparak ideal deneylerin yapılabilmesi, benzeşim modellerinin oluşturulabilmesidir (41).

İnsan hareketlerinin üç boyutlu analizlerine ihtiyaç duyulmaya başlandığında insan vücudunun eylemsizlik momentleri, üye kütleleri ve kütle merkezleri gibi değişkenlerin matematiksel ifadelerine gereksinim duyulmuştur. İnsan vücudunun matematiksel modellemesine Hanavan, 1964 yılında yapmış olduğu çalışmayla öncülük etmiştir (20). Hanavan modelinde kütlelerin üyeler içinde eşit dağıldığını, her bir üyenin geometrik şekillerle ifade edilebilen katı cisimler olduğunu kabul etmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: Hanavan'ın geometrik insan vücudu modeli.

İnsan vücudu 208 kemik ve 640 kastan oluşan oldukça karmaşık bir yapıdadır. Bu sebeple insan vücudunun matematiksel modelleri gerçeğin

basitleştirilmiş halleridir. Bu modellerin yapısı amaca ve incelenen harekete göre değişeceği gibi tek bir model, insan hareketlerinin tamamını temsil etmek için kullanılamaz. Tek üyeli bir model, düz vücut dalış hareketinin havadaki evresini temsil edebilirken bükük salto hareketini temsil etmek için iki veya üç üyeli modellere ihtiyaç vardır. Spor tekniklerinin mekanik yapısını anlamak için benzeşim modellerini kullanmak mümkündür (41).

2.7. Dinamik Modelleme

Hareketlerin bilgisayar benzeşimleri ve modelleme teknikleri aracılığıyla incelenmesi, var olan performansların ve hareket tekniklerinin altında yatan mekanizmaların anlaşılmasında önemlidir (26, 40). Modeller dinamik problemlerin çözümünde kullanılabilirler. İleri dinamik problemde kuvvet verisi girdi, meydana gelen hareket ise modelin çıktısıdır. Ters dinamik problemde ise modelin işletilmesiyle hareketi meydana getiren kuvvetler elde edilir (44). Her iki tip problemin çözümünde çeşitli modelleme yaklaşımları kullanılmaktadır.

Dinamik durumlarda iskelet-kas sistemi birden fazla katı cisim eklemlerle birbirine bağlanarak modellenebilir. Var olan benzeşim modellerinin tamamına yakını birden fazla katı cismin eklemler vasıtasıyla birbirine bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Modellerde yer alan katı cisimler insan vücudunun yapısını ve eylemsizlik özelliğini temsil etmektedir. Genellikle sürtünmesi ihmal edilmiş, fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerini temsil edebilmesi için uygun serbestlik derecesine sahip eklemler bu katı cisimleri birbirine bağlamakta kullanılır.

Dinamik hareketlerin ters dinamik yöntemle analizi için oluşturulan çok üyeli katı cisim modelleri insan vücudunun ve hareketinin bir benzeşimidir (34). Bir benzeşim modeli ile harekete dair birçok tekniğin yapısı değerlendirilebilir. Yeadon, trampolinde çeşitli basış ve burgu tekniklerini incelemek için bir benzeşim modeli kullanmıştır. Bunun yanı sıra benzeşim modelleri Yeadon tarafından trampen atlama, barfıkste devir hareketi ve yüksek atlama gibi çeşitli hareketlerin teknik yapılarını incelemek için de kullanılmıştır (43).

Mekanik sistemlerin dinamik çözümünde Newton'un ikinci yasası kullanılarak her bir üyenin hareket denklemleri elde edilebilir. Karmaşık yapıdaki modellerde hareket denklemlerinin üretilmesi ve çözülmesi uzun zaman alacağı için bu modellerin dinamik çözümünde DADS, ADAMS, AUTOLEV, MATLAB gibi farklı bilgisayar yazılımları kullanılmaktadır (41). Simulink dinamik sistemlerin analizinde, modellenmesinde ve benzeşiminde kullanılan ve MATLAB'ın içinde yer alan bir blok diyagram ortamıdır. İçeriğinde grafik editörü ve ara yüzü, düzenlenebilir blok kütüphanesi ve dinamik sistemlerin modellenmesi ve benzeşim çalışmaları için çözümler barındırır. MATLAB ile uyumlu çalışan Simulink, MATLAB algoritmalarının model içinde yer almasını ve benzeşim sonuçlarının farklı analizler için MATLAB içinde görüntülenebilmesine olanak sağlamaktadır (38).

3. YÖNTEM

3.1. Katılımcılar

Bu çalışmaya, daha önce Milli Takım seviyesinde artistik cimnastik yapmış 5 erkek sporcu denek olarak katıldı. Katılımcılar, çalışmaya katılmadan önce Ek-A.1'de verilen "Gönüllü Katılım Formu"nu okuyup imzaladılar. Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için Hacettepe Üniversitesi Etik Komisyonundan gerekli etik izin alınmıştır (Bkz. Ek-1).

Katılımcılar barfiks aletinde sırasıyla düz ve ters devir hareketi yaptılar. Katılımcıların spor yaşı, yaş, boy uzunluğu ve vücut ağırlığı gibi temel bilgileri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Katılımcıların fiziksel özellikler.

Katılımcı*	Yaş (yıl)	Spor Yaşı (yıl)	Boy Uzunluğu (cm)	Vücut Ağırlığı (kg)
A	22	12	175.0	67.5
N	24	18	175.0	64.8
O	26	15	181.0	74.4
Y	28	14	170.5	60.8
K	30	20	181.0	79.0

*Katılımcılar isimlerinin baş harfleriyle verilmiştir.

3.2. Veri Toplama Araçları

Katılımcılar ters ve düz devir hareketlerini FIG standartlarına uygun bir barfiks aletinde (Spieth, Almanya) (Şekil 3.1) yaptılar. Barfiks aletinin gerdirme ayakları FIG standartlarında belirtilen aralıklarla ve her iki taraftaki ayaklar simetrik olacak şekilde yere sabitlendi. Gerdirmeler, barfiks ayakta duracak şekilde sıkılaştırıldı ve deney sırasında gerginlik miktarları değiştirilmedi.



Şekil 3.1: Araştırmada kullanılan barfiks.

Ters ve düz devir hareketlerinin görüntü kaydı için yüksek hızlı kamera (Photron SA3, Japonya) (Şekil 3.2) kullanıldı. Bu kamera 1024 x 10124 piksel çözünürlükte, saniyede 2000 kare görüntü kaydetme özelliğine sahiptir. Çekilen görüntüler, kameraya GigaLAN bağlantı kablosuyla bağlı bulunan dizüstü bilgisayara (Dell Precision M4300, A.B.D) (Şekil 3.2) yüklü Photron FASTCAM Viewer isimli program kullanılarak bilgisayar ortamında görüntülendi ve kaydedildi.



Şekil 3.2: Deney düzeneğinde kullanılan yüksek hızlı kamera ve bilgisayar.

Kamerayı bar yüksekliğinde ve hizasında konumlandırmak için 2.60 m yüksekliğe ayarlanabilen tripod (Manfrotto, İtalya) kullanılırken görüntünün alındığı düzlemi aydınlatmak için video ışıklandırma ekipmanı (Reflecta 7420/3002, Almanya) kullanıldı (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4).



Şekil 3.3: Kamera yüksekliğini ayarlamak için kullanılan tripod.



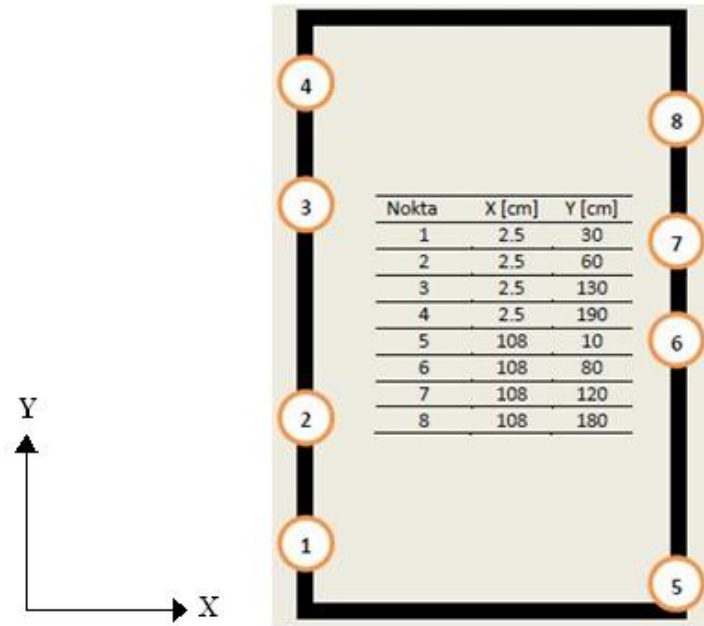
Şekil 3.4: Hareket düzlemini aydınlatmak için kullanılan ışıklandırma ekipmanı.

İlgilenilen anatomik noktaları ve barı belirginleştirmek için yansıtıcı işaretler kullanıldı (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Çalışmada kullanılan yansıtıcı işaret seti.

Hareketin yapıldığı alanın kalibrasyonu için üzerinde 8 sabit nokta bulunan 110 x 200 cm boyutlarında bir kalibrasyon düzlemi kullanıldı (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Kalibrasyon düzlemi ve koordinatları.

3.3. Verilerin Toplanması

Araştırma verilerinin toplanabilmesi için öncelikle Hacettepe Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi Cimnastik Salonuna barfiks aleti kuruldu. Barın yerden yüksekliği, FIG standartlarında belirtildiği gibi 2.60 m olarak ayarlandı ve barfiks aletinin altına ve çevresine minderler yerleştirilerek meydana gelebilecek olumsuzluklara karşı önlem alındı. Görüntü sayısallaştırmada yardımcı olması için hareketin yapıldığı alanın arka planı koyu renkli minderlerle kapatıldı.

Katı cisim ve silindirik olarak kabul edilen vücut üyelerinin (kafa katı cisim ve küre olarak kabul edildi) geometrisini oluşturmak için katılımcıların antropometrik ölçümleri, dinamik hesaplamalarda kullanılmak üzere yapıldı. Daha sonra kinematik verinin elde edilmesi için katılımcıların ters ve düz devir hareketlerinin, saniyede 500 kare hızda görüntü kayıtları yapıldı ve görüntülerin kalibrasyonu için kalibrasyon düzleminin görüntüsü kaydedildi. Deney düzeneğinin görüntüsü Şekil 3.7’de ve Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Deney düzeneğinde kamera ve bilgisayar.



Şekil 3.8: Deney düzeneğinde barfiqs aleti.

3.3.1. Antropometrik Ölçümler

Vücut üyelerinin üç boyutlu geometrisini oluşturabilmek için katılımcıların üye uzunlukları, üye çevreleri, boy uzunlukları ve vücut ağırlıkları ölçülerek kaydedildi. Katılımcıların boy uzunlukları ± 0.1 cm hassasiyetli stadiometre (Holtain, İngiltere) ile ölçüldü. Vücut ağırlığı ölçümünde terazi (Tanita, A.B.D) kullanıldı. Uzunluk ve çevre ölçümleri bir antropometrik set (Holtain, İngiltere) kullanılarak yapıldı. Anatomik noktaları belirginleştirmek için yerleştirilen yansıtıcı işaretler dikkate alınarak vücut üye uzunlukları ve çevre ölçümleri tüm katılımcılar için anatomik pozisyonda ve vücudun sağ tarafından (dominant elin olduğu taraftan) alındı (Şekil 3.9). Uzunluk ve çevre ölçümü yapılan vücut üyeleri ve anatomik tanımları Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Katılımcıların antropometrik özellikleri Ek-A.2’de verilen “Antropometrik Ölçüm Formu”na girilerek kaydedildi. Antropometrik ölçümlerin tümü Dempster’in (1995) belirttiği üye tanımlarına sadık kalınarak gerçekleştirildi.

Tablo 3.2: Uzunluk ve çevre ölçümü alınan vücut üyeleri ve anatomik tanımları.

Üye	Ölçüm	Tanım
Ön kol	Uzunluk	Humerusun epikondili ile radiusun stiloid çıkıntısı arasındaki mesafe
	Çevre	Dirsek ekstansiyonda iken ön kolun ortasından
Üst kol	Uzunluk	Akromion çıkıntı ile humerusun lateral epikondili arasındaki mesafe
	Çevre	Dirsek ekstansiyonda iken üst kolun ortasından
Kafa	Uzunluk	Çene (mandibula) ile kafanın en üst noktası (verteks) arasındaki mesafe
	Çevre	Yanlarda kulakların hemen üzerinden, arkada oksipital çıkıntıdan ve önde kaşların hemen üzerinden
Gövde	Uzunluk	Akromion ile femurun büyük trokanteri arasındaki mesafe
	Çevre	Meme başının tam altından
Üst bacak	Uzunluk	Femurun büyük trokanteriyle lateral femoral epikondil arasındaki mesafe
	Çevre	Üst bacağın ortasından
Alt bacak	Uzunluk	Fibula başı ile lateral malleol arasındaki mesafe
	Çevre	Alt bacağın ortasından
Ayak	Uzunluk	Talus ile metatarsofalangeal eklem arasındaki mesafe
	Çevre	Ayak kemerinden



Şekil 3.9: Katılımcıların antropometrik ölçümleri.

3.3.2. Görüntü Kaydı

Düz ve ters devir hareketlerinin iki boyutlu analizi yapılacağı için kamera hareket düzlemine dik olarak yerleştirildi (Şekil 3.10) ve hareketin yapıldığı alanı tamamen görececek şekilde ayarlandı.

Literatürde yer alan çalışmalarda, barfikste yapılan uçuşlu hareketler, bitiriş ve devir hareketlerinin analizleri için video kamera veri toplama hızlarının saniyede 25 ile 120 kare görüntü arasında değiştiği görülmektedir (4, 21, 24, 27, 28, 32, 36, 37, 42). Fakat literatürde de belirtildiği gibi yüksek hızlı hareketlerde bu veri toplama hızları yetersiz kalmakta; daha yüksek hızlara ihtiyaç duyulmaktadır. Devir hareketlerinin özellikleri dikkate alınarak görüntü kaydı için 500 kare/s hızın yeterli olacağı düşünüldü ve kamera saniyede 500 kare görüntü kaydedecek şekilde ayarlandı. Kameranın yeri ve yüksekliği (hareket alanına uzaklığı 8.5 m ve yerden yüksekliği 2.60 m) kayıt süresince değiştirilmedi. Hareketin yapıldığı alanı aydınlatmak amacıyla iki adet ışıklandırma ekipmanı video kameranın üstüne monte edilirken bir diğeri kameranın ön-alt kısmına yerleştirildi.



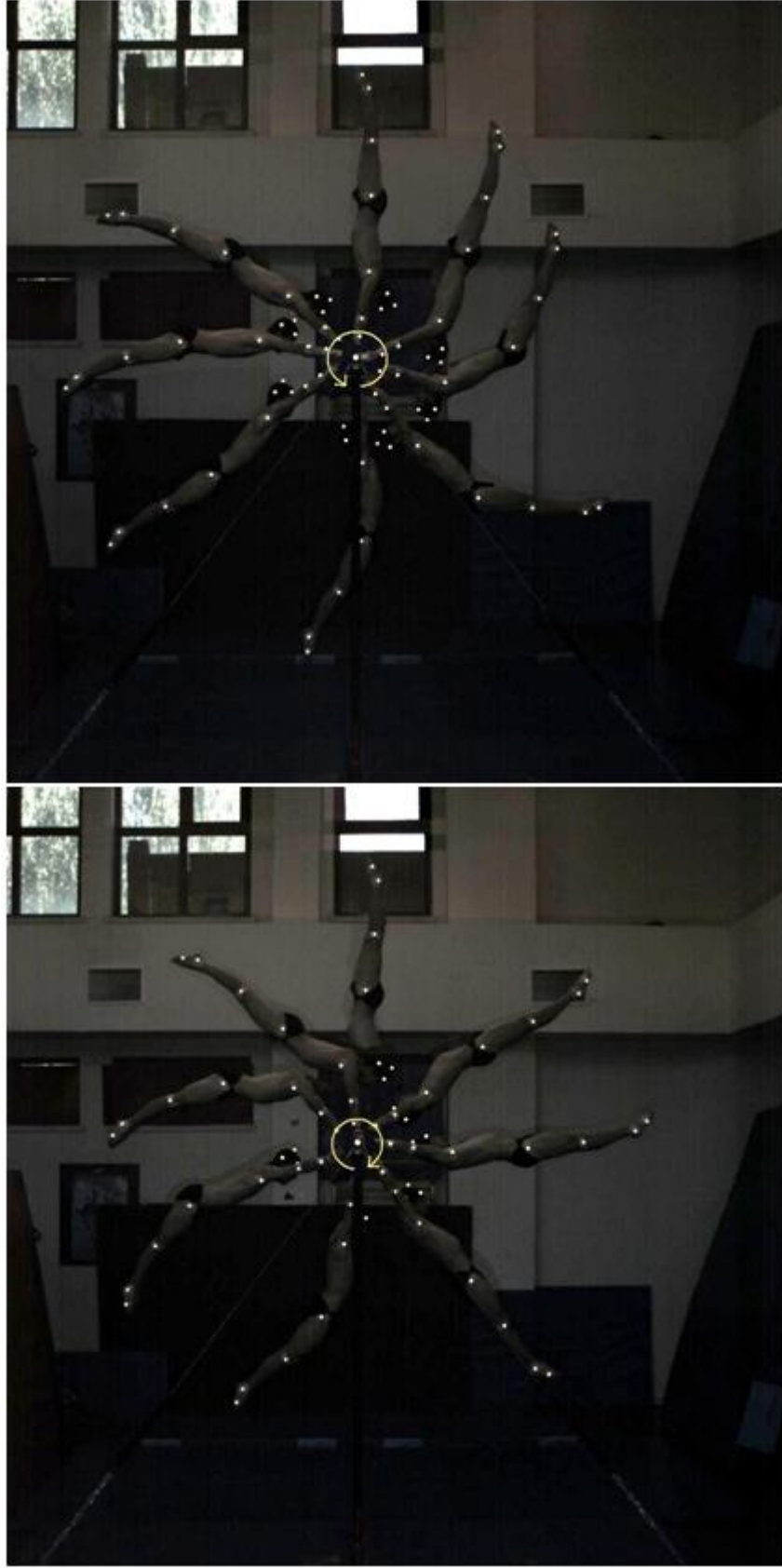
Şekil 3.10: Deney düzeneğinde barfiks ve kameranın yerleşimi.

Görüntü alınmadan önce, ilgilenilen anatomik noktaların ve barın görüntü üzerinden kolaylıkla belirlenebilmesi için sporcuların üzerinde belirlenen noktalara ve bara yansıtıcı işaretler yerleştirildi. Belirlenen bu noktalar sırasıyla bar, dirsek, omuz, kalça, diz, ayak bileği ve ayakucudur. El bileği üzerine yerleştirilen yansıtıcı işaret devir hareketlerinin bazı bölümlerinde bardaki yansıtıcı işaretin üzerine geldiği ve böylece görüntü üzerinde işaretlenemediği anlaşıldı. Bu nedenle el bileğini tanımlayabilmek için dirsek eklemi ve el bileği arasına bir adet ek yansıtıcı işaret yerleştirildi. Ayrıca kafa üzerinde üç ayrı noktada yansıtıcı işaret kullanıldı. Yansıtıcı işaretlerin anatomik noktalar üzerindeki yerleşimleri Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11: Anatomik noktaların üzerine yerleştirilen yansıtıcı işaretlerin farklı katılımcılar üzerindeki görüntüsü.

Katılımcılar normal devir tekniklerini koruyarak kendilerini rahat hissettikleri en yüksek hızda sırasıyla düz ve ters devir hareketi yaptılar (Şekil 3.12). Video kameranın netlik ayarı ve kalibrasyonu çekim öncesinde gerçekleştirildi ve kameranın ışık kesme hızı 1/2000 s olarak ayarlandı. Çekilen görüntüler bilgisayar ortamında anlık olarak görüntülendi ve kaydedildi. Kayıt esnasında görüntü takibi ya da otomatik odaklama yapılmadı. İyi bir devir performansı için her katılımcıya ısınması için süre verildi. Katılımcılar bu sürede kendi yöntemleriyle ısınma hareketleri yaptılar ve kendilerini hazır hissettiklerinde görüntü kaydı için barfiks üzerine çıkarak beklediler. Katılımcılar barın üzerinde peş peşe birkaç devir hareketi yaparken katılımcının yeterince hızlandığı düşünüldüğünde kayıt başlatıldı. Her katılımcının iki düz, iki ters devir performansı kaydedildi.



Şekil 3.12: Deney sırasında barfikste düz ve ters devir hareketleri.

Her bir katılımcının düz ve ters devir hareketlerinin video görüntüleri kaydedildikten sonra kameranın yeri değiştirilmeden kalibrasyon düzleminin görüntüsü kaydedildi (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Kalibrasyon düzleminin farklı katılımcılar için kaydedilen görüntüleri.

3.4. Verilerin Analizi

Kaydedilen görüntülerin biyomekanik analizleri için MATLAB’da yazılan kodlar kullanıldı. Hareketlerin ters dinamik analizi Simulink’te oluşturulan üç boyutlu, çok üyeli dinamik model kullanılarak yapıldı (Bkz. Ek-A.9).

3.4.1. Sayısallaştırma

Analiz için katılımcıların kaydedilen devir performansları incelenerek en hızlı oldukları düz ve ters devir hareketleri seçildi. Sayısallaştırma işlemi için Hacettepe Üniversitesi Biyomekanik Araştırma Grubuna (HUBAG) ait, MATLAB’da yazılmış otomatik sayısallaştırma programı kullanıldı. Bu program kullanılarak her bir kare görüntü üzerinde belirlenen noktaların piksel cinsinden konum verileri elde edildi. Belirlenen noktaların otomatik sayısallaştırma işlemi sırasında birbirine çok yaklaştığı veya barfiks aletinin ayağı sebebiyle görünmediği durumlarda müdahale edildi ve bu noktalar işaretleme aracı kullanılarak sayısallaştırıldı.

3.4.2. Noktaların Uzaysal Konumlarının Hesaplanması

Kalibrasyon düzlemine ait kaydedilen her görüntü, işaretleme aracı kullanılarak sayısallaştırıldıktan sonra HUBAG'a ait MATLAB'da yazılmış kalibrasyon programı kullanılarak kalibrasyon noktalarının konum verileri elde edildi. Bu işlemde İki-Boyutlu Uyum Dönüşümü uygulandı ve konum verilerinin uzaysal konumları elde edildi. Bu dönüşüm üç basamaktan oluşmaktadır; iki koordinat sisteminde denk boyut yaratmak için “Ölçekleme”, iki sistemin referans eksenlerini paralel yapmak için “Dönme” ve iki koordinat sisteminde ortak bir başlangıç noktası yaratmak için “Öteleme”dir.

Koordinatlar (x,y) ölçekleme faktörü (S) ile çarpılarak ölçeklendirilmiş koordinatlar (x',y') elde edildi (Eşitlik 1).

$$\begin{aligned} x' &= Sx \\ y' &= Sy \end{aligned} \quad \text{E.[1]}$$

İki sistemin referans eksenlerini paralel yapmak için ölçeklendirilen sistem döndürüldü (Eşitlik 2).

$$\begin{aligned} X' &= x' \cos(\theta) - y' \sin(\theta) \\ Y' &= x' \sin(\theta) + y' \cos(\theta) \end{aligned} \quad \text{E.[2]}$$

İki koordinat sisteminde ortak bir başlangıç noktası yaratmak için döndürülen sistemin başlangıç noktası ötelendi (Eşitlik 3).

$$\begin{aligned} X &= X' + T_x \\ Y &= Y' + T_y \end{aligned} \quad \text{E.[3]}$$

El Bileğinin ve Kafanın Konumunun Elde Edilmesi

Dirsek eklemi ve el bileği arasına yerleştirilen yansıtıcı işaretin her iki anatomik noktaya olan uzaklığı bilinmektedir. Bu üç noktanın aynı doğru üzerinde yer aldığı kabul edildi. El bileğinin konumu, dirsek eklemi ile el bileği arasında bulunan yansıtıcı işaretin (Şekil 3.14) konumunun bu doğru üzerinde taşınmasıyla elde edildi.



Şekil 3.14: El bileği ile dirsek eklemi arasına yerleştirilen yansıtıcı işaret.

Kafa üzerine yerleştirilen üç yansıtıcı işaretin konumları bulunduktan sonra bu üç noktanın orta noktası bulundu. Bu orta noktanın kafayı tanımladığı kabul edildi.



Şekil 3.15: Kafayı tanımlamak için kullanılan yansıtıcı işaretler ve orta nokta.

3.4.3. Yumuşatma

Literatürde düz devir hareketiyle ilgili yapılan araştırmalarda, sayısallaştırılan tüm noktalar için aynı filtre frekanslarının kullanıldığı görülmektedir. Okamoto ve arkadaşları (32) sayısallaştırılan noktaların konum verilerini yumuşatmak amacıyla tüm noktalara 3.2 Hz, Kerwin ve arkadaşları (28) 4.5 Hz, Low ve Cooke (29) 5 Hz, Sevrez ve arkadaşları (36) ve Arampatsiz ve Brüggemann (4) 6 Hz Butterworth alçak geçiren sayısal filtre uygulamışlardır. Katılımcıların devir performansları 500 kare/s hızda kaydedildiği için noktaların zamana bağlı konum eğrilerinde dikkat çeken bir gürültü gözlenmemiştir. Bu nedenle uygulanacak filtre tipine ve frekansına, konum verileri üzerinden hesaplanan eklem açısız değişimleri kullanılarak karar verildi. Konum verilerine öncelikle farklı frekanslarda Butterworth alçak geçiren filtre uygulandı fakat filtreli konum değerlerinin ham veri ile uyum sağlamadığı gözlemlendi. Buradan hareketle konum verilerinin yumuşatılmasına karar verilerek görsel eniyileme yöntemiyle farklı yumuşatma metotları denendi ve en uygun yumuşatma metodunun hangisi olduğuna karar verildi. Böylece sayısallaştırmadan kaynaklı gürültünün azaltılması için noktaların konum verileri ikinci derece polinomial modelin ağırlıklı doğrusal en küçük kareler yaklaşımı ile yumuşatıldı. Modelin uygulama genişliği 0.1 (toplam veri miktarının %10'u) olarak belirlendi (Bkz. Ek-A.3).

3.4.4. Üyelerin Eylemsizlik Momentlerinin Hesaplanması

Vücut üye kütle ve kütle merkezleri Dempster (16) tarafından belirlenen relatif kütle ve üye uzunluğu oranları kullanılarak hesaplandı (Tablo 3.3).

Tablo 3.3: Vücut üye kütlelerinin toplam vücut kütesine ve üye kütle merkezi konumlarının üye uzunluklarına oranı.

Üye	Relatif kütle	Kütle merkezinin konumu
	m_i/m (%)	L_i/L (%)*
Ön kol	1.6	43
Üst kol	2.8	43.6
Kafa	8.1	100
Gövde	49.7	49.5
Üst bacak	10	43.3
Alt bacak	4.65	43.3
Ayak	1.45	50.0

*Üye kütle merkezi konumu üyenin proksimalindeki eklemden uzunlamasına eksenindeki mesafenin yüzdesi şeklinde verilmiştir.

Üye kütleleri ve kütle merkezleri hesaplandıktan sonra vücut kütle merkezi (VKM) Eşitlik 4 kullanılarak hesaplandı. Eşitlik 4'te m üye kütesini, i üye sayısını ifade etmektedir. VKM_x VKM'nin yatay eksenindeki, VKM_y ise dikey eksenindeki konumunu göstermektedir.

$$VKM_x = \frac{\sum_i^n m_i x_i}{\sum_i^n m_i}$$

E.[4]

$$VKM_y = \frac{\sum_i^n m_i y_i}{\sum_i^n m_i}$$

Silindirik kabul edilen üyelerin asal eksenlerdeki eylemsizlik momentleri silindirin kütle merkezine göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Eşitlik 5'te m_s silindirin kütlesini, r_s silindirin yarıçapını ve l_s silindirin uzunluğunu temsil etmektedir.

$$\begin{bmatrix} 1/12m_s(3r_s^2+l_s^2) & 0 & 0 \\ 0 & 1/2m_s r_s^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/12m_s(3r_s^2+l_s^2) \end{bmatrix} \quad \text{E.[5]}$$

Küre olarak kabul edilen kafa üyesinin eylemsizlik momenti ise kürenin kütle merkezine göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Eşitlik 6'da m_k kürenin kütlesini ve r_k kürenin yarıçapını temsil etmektedir.

$$\begin{bmatrix} 2/5m_k r_k^2 & 0 & 0 \\ 0 & 2/5m_k r_k^2 & 0 \\ 0 & 0 & 2/5m_k r_k^2 \end{bmatrix} \quad \text{E.[6]}$$

Silindirin kütle merkezindeki eylemsizlik momenti dönmenin meydana geldiği üye kütle merkezine, paralel eksen teoremine göre ($I_{km} = I_0 + mh^2$) taşınarak silindirik üyenin eylemsizlik matrisi yeniden hesaplanmıştır (Eşitlik 7). Silindirin eylemsizlik momentinin üyenin kütle merkezine öteleme miktarı h mesafesi kadardır.

$$\begin{bmatrix} 1/12m_s(3r_s^2+l_s^2)+m_s h^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2m_s r_s^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/12m_s(3r_s^2+l_s^2)+m_s h^2 \end{bmatrix} \quad \text{E.[7]}$$

3.4.5. Eklem ve Üye Kinematığının Belirlenmesi

Yedi üyeden oluşan katı cisim modelinde 6 adet eklem bulunmaktadır. Bunlar el bileği, dirsek, omuz, kalça, diz ve ayak bileği eklemleridir. Eklem açılarının hesaplanmasında Eşitlik 8 kullanıldı. Eşitlik 8'de θ eklem açısını \overline{AB} ve \overline{AC} üye vektörlerini temsil etmektedir.

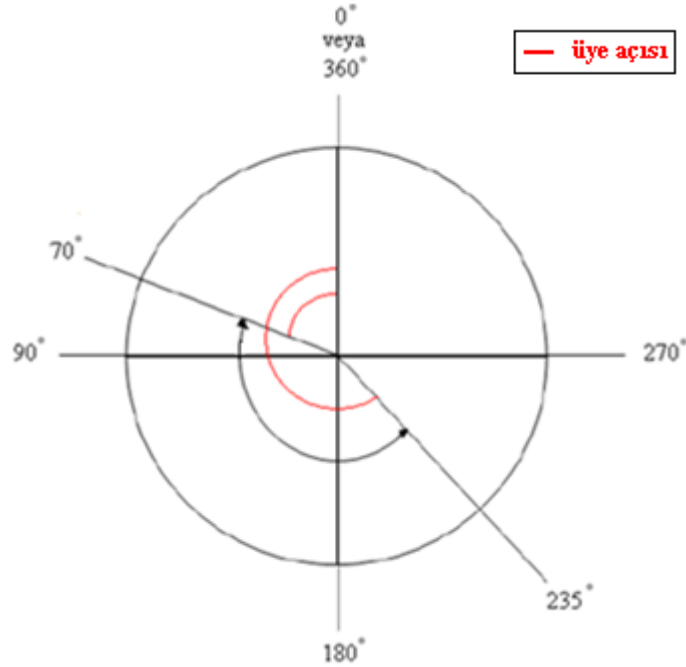
$$\cos(\theta) = \frac{\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC}}{\|AB\| \cdot \|AC\|} \quad \text{E.[8]}$$

Üye açıları Eşitlik 9 ve Eşitlik 10 kullanılarak hesaplandı. Eşitlik 9’da m üyenin eğimini, β üye açısını temsil etmektedir. Hesaplanan üye açıları üyenin dikey eksenle yaptığı açıdır.

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \text{E.[9]}$$

$$\beta = \arctan(m)$$

Üye açılarının hesaplanmasında süreksizlik problemi oluşmasını engellemek için düz ve ters devirde Şekil 3.16’da gösterilen yönde ve tersi yönünde süreklilik sağlandı. Üye ve eklem açılarının hesaplanmasında kullanılan MATLAB kodu Ek-A.4’te, kullanılan MATLAB fonksiyonları ise Ek-A.8’de verilmiştir.



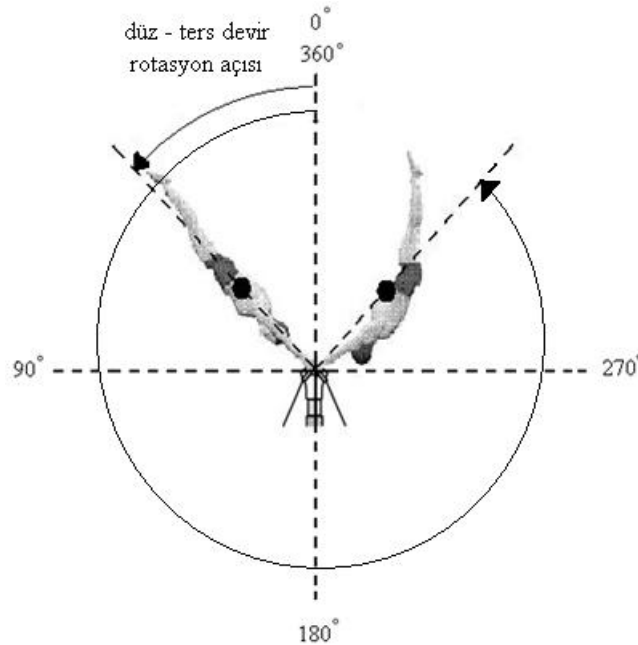
Şekil 3.16: Açısal sürekliliği sağlamak için kabul edilen başlangıç noktası.

Eklem açıları elde edildikten sonra eklemlerin açısal hız (Eşitlik 10) ve açısal ivme (Eşitlik 11) değerleri hesaplandı. Eşitlik 10'da ω açısal hızı, θ açısal pozisyonu temsil ederken Eşitlik 11'de α açısal ivmeyi, Δt iki veri arasındaki zamanı temsil etmektedir.

$$\omega_i = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{2\Delta t} \quad \text{E.[10]}$$

$$\alpha_i = \frac{\omega_{i+1} - \omega_{i-1}}{2\Delta t} \quad \text{E.[11]}$$

Cimnastikçinin bir tam devir hareketini tamamlamış olması için kütle merkezinin barın etrafında 360 derecelik bir açı taramış olması gerekmektedir (18). Literatürde de devir hareketleri sırasında cimnastikçinin pozisyonunu tanımlamak için vücut kütle merkezinin rotasyon açısı kullanılmıştır (22, 23, 24, 42). Bu nedenle vücut rotasyon açısı (VRA) ters ve düz devir hareketlerinde vücut kütle merkezini bar ile birleştiren doğrunun dikey eksenle yaptığı açı olarak tanımlandı (Şekil 3.17).

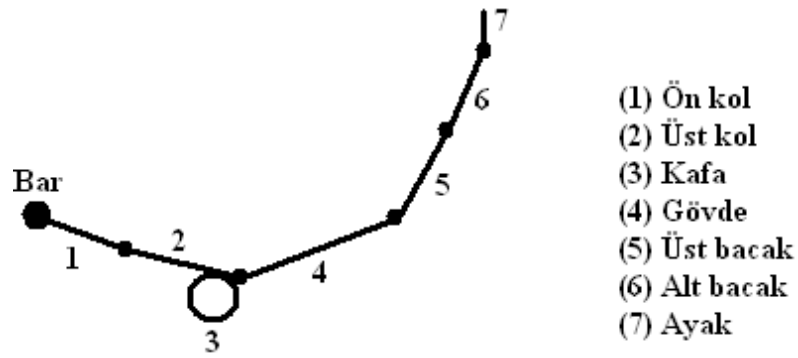


Şekil 3.17: Ters ve düz devirde vücut rotasyon açısı.

Ters devir saat yönünde, düz devir saat yönünün tersine doğru gerçekleşmektedir.

3.4.6. Biyomekaniksel Model

Yeadon ve King (41) barfikste ve halkada devir gibi sagittal ekseninde vücudun simetrik olduğu hareketlerin iki boyutlu modeller kullanılarak incelenebildiğini belirtmektedirler. Bu nedenle model, vücudun devir hareketleri boyunca simetrik olduğu varsayımına dayanmaktadır. Oluşturulan biyomekaniksel model 7 üyeden oluşmaktadır (Şekil 3.18). Bu üyeler ön kol, üst kol, kafa, gövde, üst bacak, alt bacak ve ayaktır.



Şekil 3.18: İnsan vücudunun yedi üyeden oluşan biyomekaniksel modeli.

Kabuller:

- Vücut ve bar iki taraflı ve simetriktir.
- Vücut üyeleri katı cisim ve silindriktir. Yalnızca kafa katı cisim ve küredir.
- Eklemler sürtünmesizdir.

3.4.7. Model Parametrelerinin Elde Edilmesi

Modelin iki adet girdisi vardır. Bunlar;

1. Eklemlerin ve üyelerin kinematik verisi,
2. Üye uzunluğu, kütlesi, kütle merkezi konumu ve eylemsizlik özelliğidir.

Her bir katılımcının kinematik verisi ve antropometrik özelliği kullanılarak tüm katılımcıları temsil eden bir vücut geometrisi ve hareket kinematiği elde edildi.

Üye Geometrisinin Oluşturulması

Katılımcıların vücut ağırlıklarının ortalaması alınarak her bir üyenin ortalama kütlesi ve çevresi aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplandı. Buradan hareketle her bir üyenin eylemsizlik matrisi paralel eksen teoremine göre üye kütle merkezine taşınarak hesaplandı.

$$A_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i \quad \text{E.[12]}$$

$$A_\zeta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \zeta_i \quad \text{E.[13]}$$

Ortalama üye kütlesi ve çevresi, her bir üye için toplam beş katılımcıdan alındı. Buna göre Eşitlik 12 ve 13'te A_m ve A_ζ ortalama üye kütlelerini ve ortalama üye çevresini, i üye sayısını temsil etmektedir.

Kinematik Verinin Hesaplanması

Katılımcılar devir hareketlerini farklı sürelerde tamamlamaktadır. Dolayısıyla her katılımcının üye ve eklem açısız değişimi eğrisel olarak benzer olmasına rağmen aynı miktarda veri içermemektedir. Katılımcıların ortalama üye ve eklem açısız değişimlerinin elde edilmesinde kullanılan MATLAB kodu Ek-A.6 ve Ek-A.7'de verilmiştir.

Rotasyon açı değerlerinin ondalık kısımları atılarak tam sayı olarak ifade edildi (Eşitlik 14). Eşitlik 14'te Rot_α tam sayıya dönüşen rotasyon açı değerini, RA ise ondalıklı rotasyon açı değerini temsil etmektedir.

$$Rot_\alpha = \lfloor RA \rfloor \quad \text{E.[14]}$$

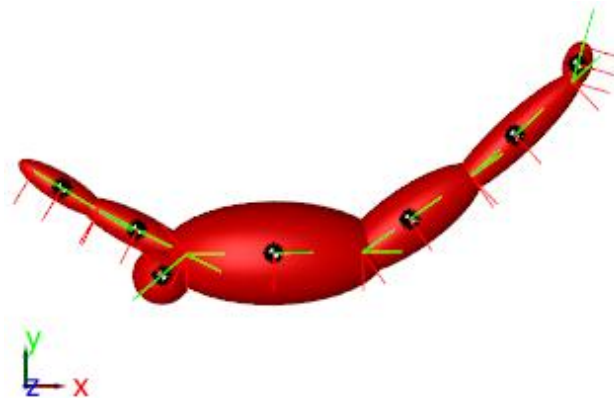
Katılımcıların, tam sayılara dönüştürülen rotasyon açıları bir listede toplanarak her bir açı değerinin liste içinde kaç kere tekrar ettiği belirlendi ve bu

tekrar sayılarının minimum frekansı hesaplandı. Rotasyon açıları, minimum frekans değerlerine indirgenerek katılımcılara ait veri uzunlukları eşitlendi. Eşitlenen rotasyon açı değerlerinin ve bu değerlere karşılık gelen üye ve eklem açısal değişimlerinin ortalaması alınarak katılımcıların tamamını temsil eden ortalama açısal değişimler bulundu. Bu açısal değişimler kullanılarak üye ve eklemlerin açısal hız ve açısal ivmeleri hesaplandı.

3.4.8. Devir Hareketlerinin Dinamik Modeli

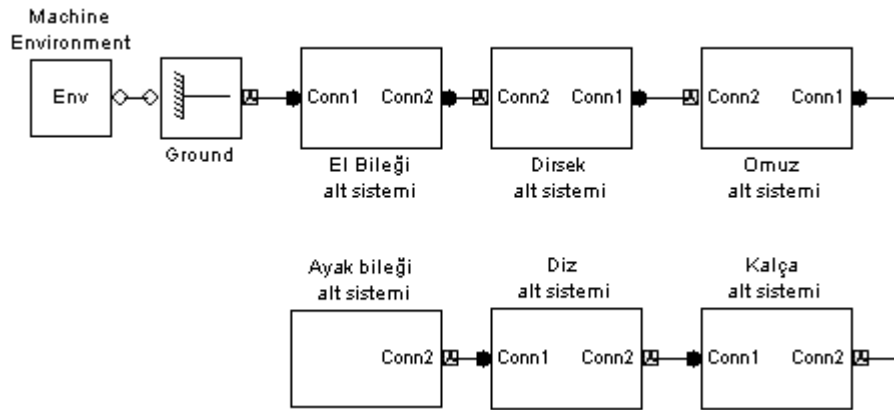
Devir hareketlerinin çok üyeli dinamik modeli MATLAB'ın içinde yer alan SimMechanics kütüphaneleri kullanılarak oluşturuldu. Modelde bar, sabit (hareketsiz) bir nokta olarak yer alırken altı adet silindirik, bir adet küre katı cisim birbirlerine eklemler kullanılarak bağlandı (Şekil 3.19). Sistemin analiz tipi ters dinamiktir ve sistemde yerçekimi ivmesi $-9.81 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 'dir.

Simulink, sürekli-sürekli dinamik sistemlerin çözümünde kullanılan birkaç çözücü tipi içermektedir. Her çözücü tipinin kendine özgü nümerik integral tekniği ve doğruluk derecesi vardır. Benzeşim modeli öncelikle değişken adım aralığında, ODE45 ile çözüldü fakat adım aralığının, toplanan verilerdeki her anı temsil etmesi için sistemin çözücü tipi ODE3 olarak belirlendi ve sistem, veri toplama hızı olan 0.002 sabit adım aralığında çözüldü. Simulink'te oluşturulan modelin blok diyagram tasarımı ve blok parametreleri Ek-A.9'da verilmiştir.



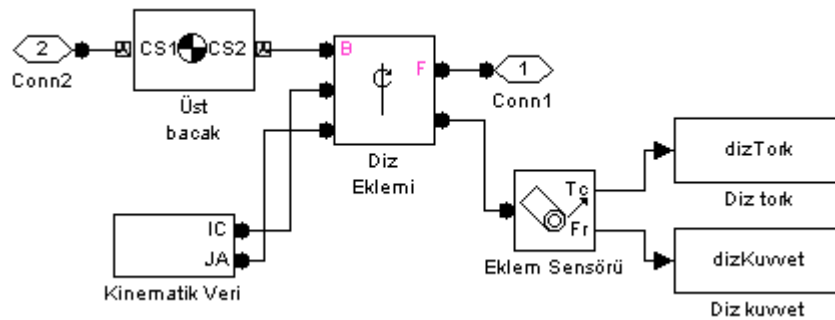
Şekil 3.19: Devir hareketlerinin Simulink'te oluşturulan benzeşim modeli.

Modelde, üyeleri birbirine bağlayan eklemlerin hareket eksenini Z eksenini olarak belirtildi. Bu nedenle vücudun ve dolayısıyla eklemlerin dönme hareketi Z ekseninde gerçekleşmektedir. Devir hareketleri sırasında eklem kuvvet ve momentlerinin çözümünde Newton-Euler denklem sistemleri kullanıldı. Simulink kütüphanesinde yer alan blok diyagramları kullanılarak oluşturulan modelin şematik görüntüsü Şekil 3.20'deki gibidir.



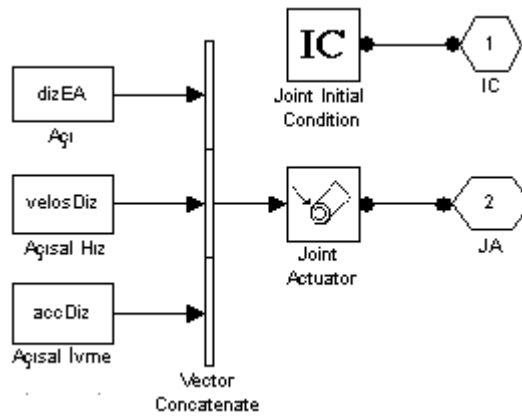
Şekil 3.20: Alt sistemlerin bir araya gelmesiyle oluşan model diyagramı.

Modelde yer alan üyeler, eklemler, eklemleri harekete geçiren bloklar (joint actuator block) ve başlangıç pozisyonu blokları (joint initial condition block) alt sistemler oluşturularak bir arada yer aldı. Bir alt sistemin (diz alt sistemi) düzeni Şekil 3.21'deki gibidir.



Şekil 3.21: Bir alt sistemi oluşturan üye, kinematik veri, eklem ve sensör bağlantıları.

Her bir alt sistemin içerisinde “Kinematik Veri” adlı bir başka alt sistem vardır. Kinematik Veri alt sisteminde eklem açısı, açısal hızı ve ivmesi girdi olarak yer almaktadır. Bununla birlikte eklem ve bağlantılı üyenin başlangıç durumunu belirten blok da bu alt sisteme dahildir. Tüm eklem alt sistemlerinde yer alan Kinematik Veri alt sisteminin (diz eklemi için) blok diyagram görüntüsü Şekil 3.22’de gösterilmektedir.



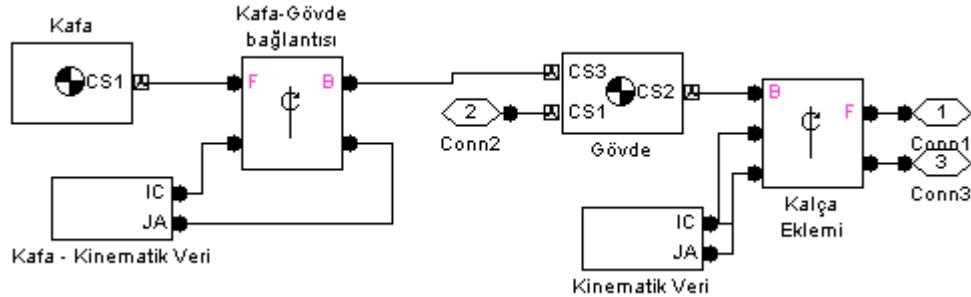
Şekil 3.22: Kinematik Veri alt sistemi.

Katı cisim ve küre kabul edilen kafanın kütlesi tek bir noktada (kütle merkezi) toplanarak gövdenin proksimal ucuna bir eklem ile bağlandı. Kafanın sistemdeki hareketini tanımlamak için kafa ile gövde arasındaki açı hesaplandı (Şekil 3.23). Bu açı yalnızca kafanın değil boynun da hareketiyle beraber değiştiği için “baş ve boyun açısı” olarak adlandırıldı.



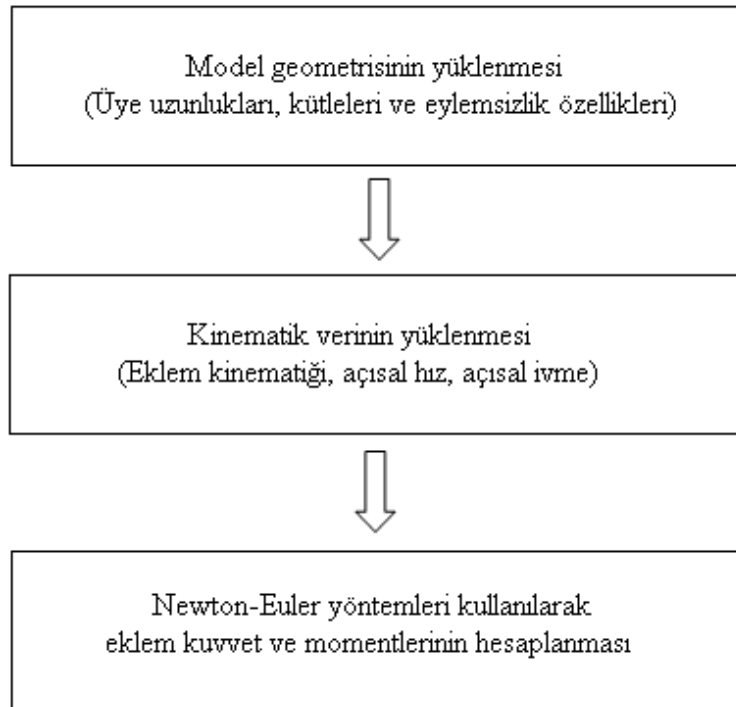
Şekil 3.23: Baş ve boyun açısı.

Gövdenin proksimal ucuna boyun eklemiyle bağlanan kafanın Kalça Alt Sistemindeki blok bağlantıları Şekil 3.24'te gösterilmektedir.



Şekil 3.24: Modelde oluşturulan Kafa-Gövde bağlantısı.

Modelde ters dinamik analiz yöntemi ile üyelerin açısal kinematiği, eylemsizlik özellikleri ve eklem kuvvetleri kullanılarak eklem momentleri hesaplandı (Şekil 3.25). Model parametrelerinin Simulink'e yüklenmesinde kullanılan MATLAB kodu Ek-A.5'te verilmiştir.



Şekil 3.25: Ters dinamik yaklaşımla dinamik model analizinin akış şeması.

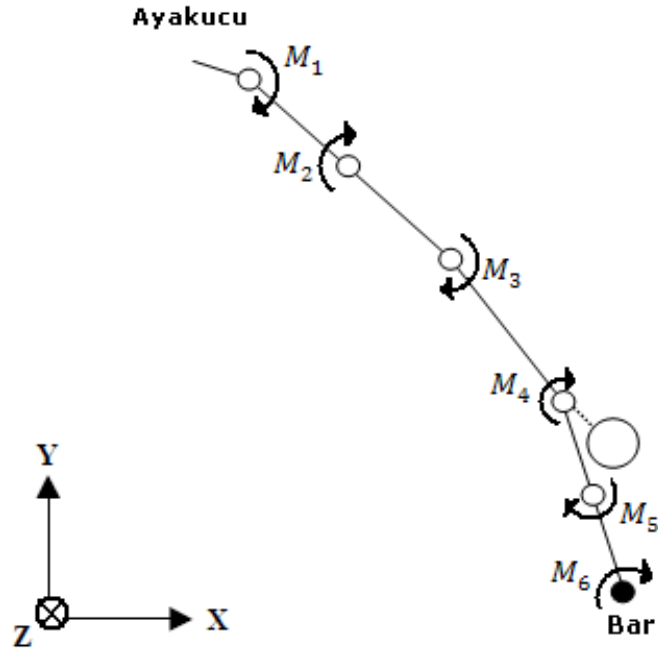
Eklem kuvvet ve momentlerinin hesaplanmasında Eşitlik 15, 16 ve 17 kullanıldı.

$$\sum F_x = ma_x \quad \text{E.[15]}$$

$$\sum F_y = ma_y \quad \text{E.[16]}$$

$$T = I \alpha \quad \text{E.[17]}$$

Eşitlik 15 ve 16'da m üye kütlelerini, a_x ve a_y üye kütle merkezinin yatay ve dikey eksenlerdeki doğrusal ivmesini temsil ederken $\sum F_x$ ve $\sum F_y$ ekleme yatay ve dikey eksenlerde etkiyen kuvvetleri temsil etmektedir. Eşitlik 17'de T eklemdaki toplam momenti, I ve α sırasıyla üyenin eylemsizlik özelliğini ve üyenin açısal ivmesini temsil etmektedir. Hesaplanan eklem momentleri, üyeye açısal hareketi yaptıran kas momentinin büyüklüğünü göstermektedir. Eklemlere yatay ve dikey eksenlerde etki eden kuvvetler, eklemlerde Z ekseninde momente neden olur (Şekil 3.26).



Şekil 3.26: Deney modeli serbest cisim diyagramı.

4. BULGULAR

Farklı vücut özelliklerine sahip beş cimnastikçiden toplanan antropometrik değişkenlerin ortalaması alınarak dinamik modelde kullanılan cimnastikçinin vücut üyelerinin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Ortalama vücut üye parametreleri ve üye kütle merkezine göre hesaplanan eylemsizlik momentleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Üyelerin antropometrik ve eylemsizlik özellikleri.

Üye	L (m) $\times 10^{-2}$	Ç (m) $\times 10^{-2}$	r (m) $\times 10^{-2}$	m (kg) $\times 10^{-2}$	Eylemsizlik momenti					
					I_x		I_y		I_z	
					$(\text{kgm}^2) \times 10^{-3}$		$(\text{kgm}^2) \times 10^{-3}$		$(\text{kgm}^2) \times 10^{-3}$	
					SKM	ÜKM	SKM	ÜKM	SKM	ÜKM
Ön kol	23.6	25.8	4.1	110.8	5.6	5.9	0.9	0.9	5.6	5.9
Üst kol	30.1	31.2	4.9	194.0	15.8	16.6	2.4	2.4	15.8	16.6
Gövde	54.4	90.8	14.4	1722.1	514.6	514.7	179.8	179.8	514.6	514.7
Kafa	-	57.6	9.1	280.6	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4
Üstbacak	40.8	54.4	8.6	693.0	109.1	114.3	26.0	26.0	109.1	114.3
Altbacak	42.6	35.8	5.6	322.2	51.3	54.0	5.2	5.2	51.3	54.0
Ayak	11.4	36.0	4.13	100.0	1.5	1.5	0.8	0.8	1.5	1.5

*Gövde ve kafa kütlelerinin yarısı verilmiştir.

SKM: Silindirin kütle merkezi.

ÜKM: Üyenin kütle merkezi.

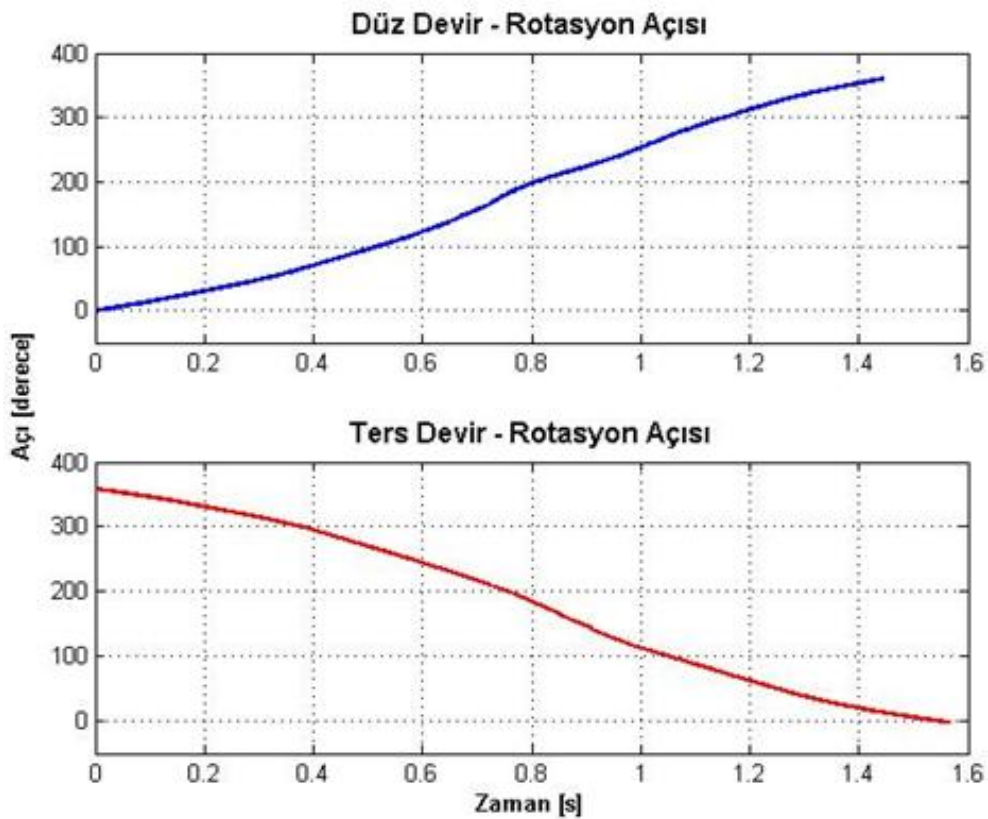
Kafa hariç diğer tüm üyeler r yarıçaplı ve m kütleli silindirler olarak modellendi. Bu nedenle silindirin kütle merkezindeki eylemsizlik momentleri, paralel eksen teoremine göre ötelenerek üye kütle merkezindeki eylemsizlik momentleri hesaplandı. Böylece yatay eylemsizlik momentleri artmıştır.

Bir tam devir hareketinin tamamlanması için barın üzerinde amut pozisyonundan harekete başlayan cimnastikçinin vücut kütle merkezinin, barın etrafında 360° ’lik bir açıyı taraması gerekmektedir. Katılımcıların kütle merkezinin devir hareketlerinde taradığı toplam açı değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Ters ve düz devirde VKM'nin taradığı açı.

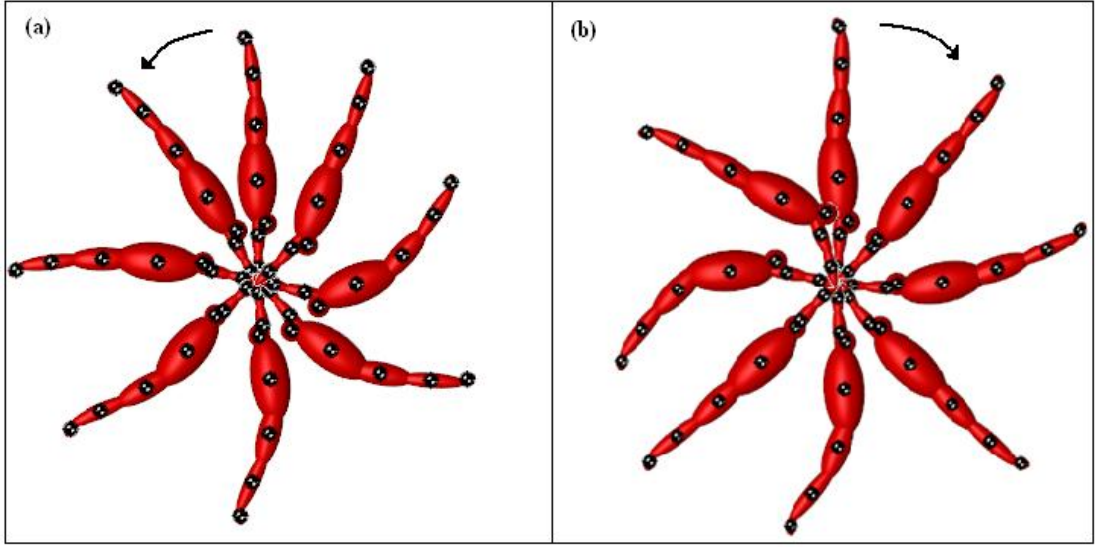
Katılımcı	Düz devir	Ters devir
	Rotasyon Açısı (derece)	
A	372	367
K	365	367
N	373	371
O	368	366
Y	370	369

Tablo 4.2'de katılımcıların tamamının barın etrafında bir tam dönüş hareketi gerçekleştirdiği görülmektedir. Benzeşim modelinin düz ve ters devir sırasında vücut rotasyon açısının değişimi Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Düz devir 1.43 saniyede tamamlanırken ters devir 1.55 saniyede tamamlanmaktadır.



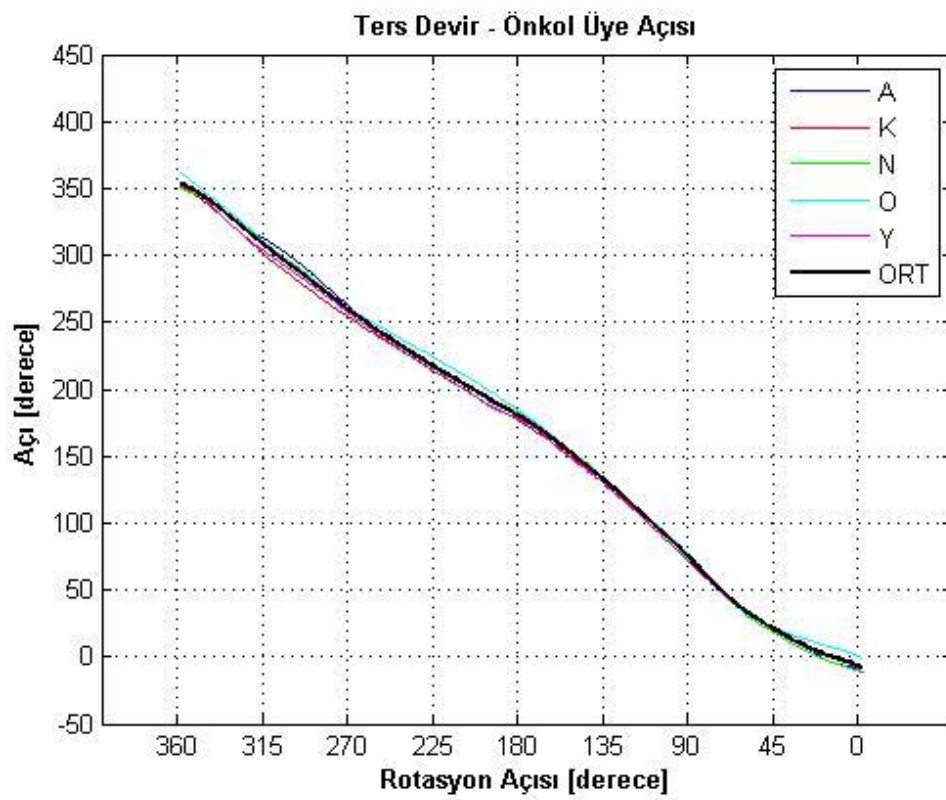
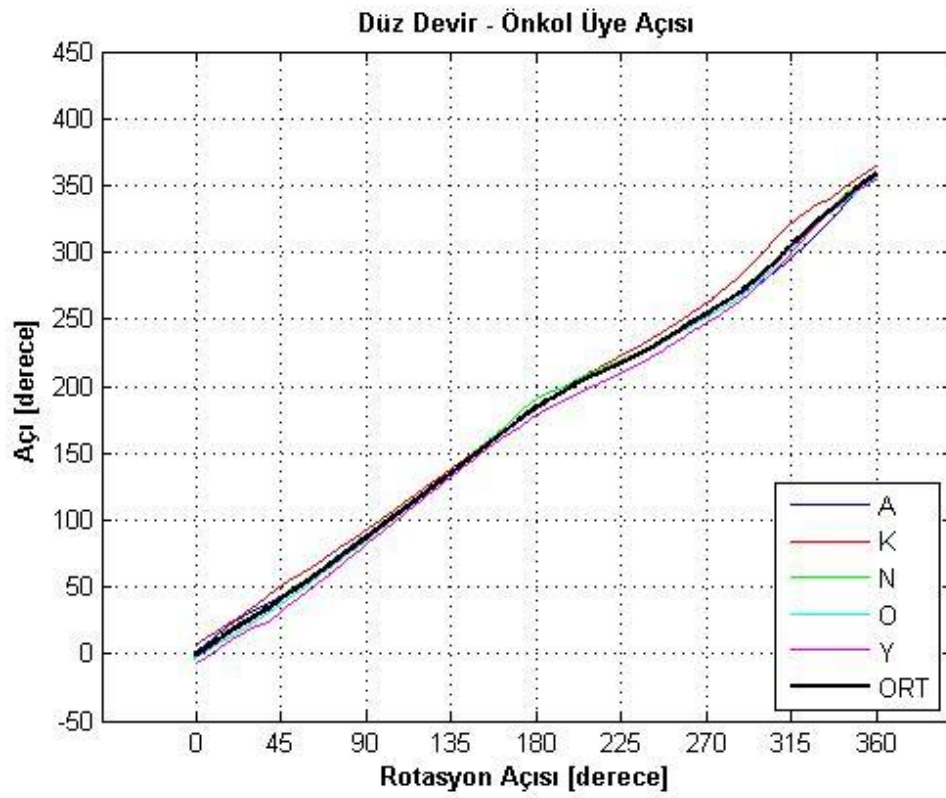
Şekil 4.1: Düz ve ters devirde vücut rotasyon açısı.

Tüm cimnastikçilerin devir hareketleri tek bir model ile temsil edilmektedir. Benzeşim modeli, cimnastikçilerin devir hareketleri sırasındaki üye ve eklem kinematiğinin ortak davranışı elde edilerek işletildi. Düz devir saat yönünün tersine, ters devir ise saat yönüne doğru gerçekleşmektedir. Bu nedenle düz devirde rotasyon açısı $0^\circ - 360^\circ$ arasında değişirken ters devirde $360^\circ - 0^\circ$ arasında değişmektedir. Ters ve düz devir hareketlerinin benzeşim modeli Şekil 4.2’de gösterilmektedir.

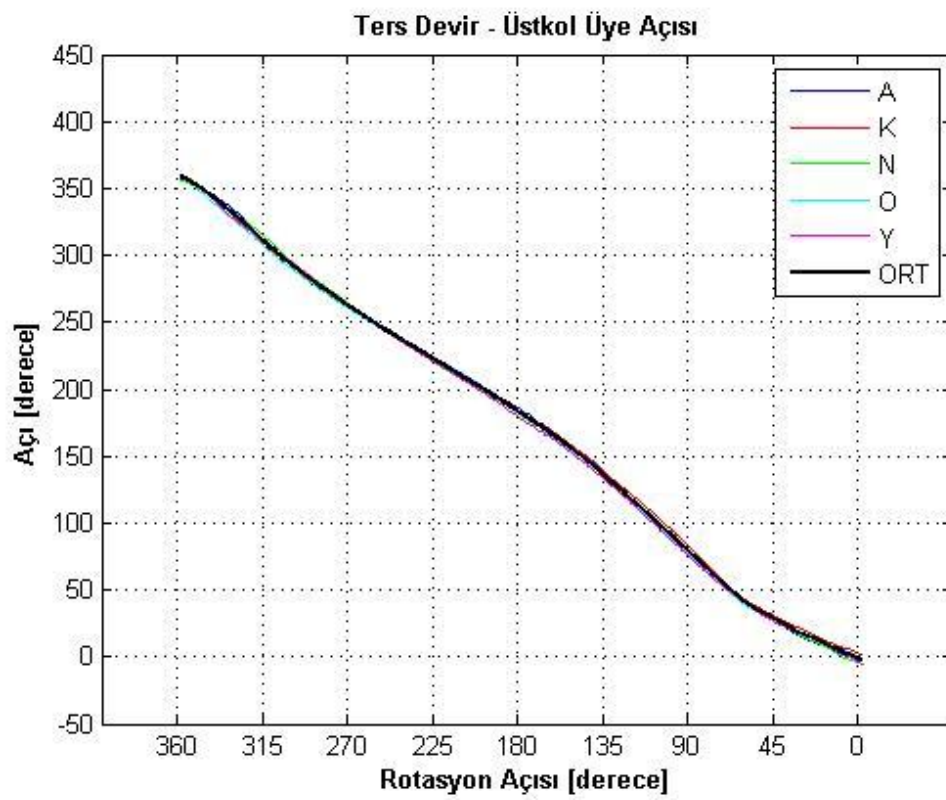
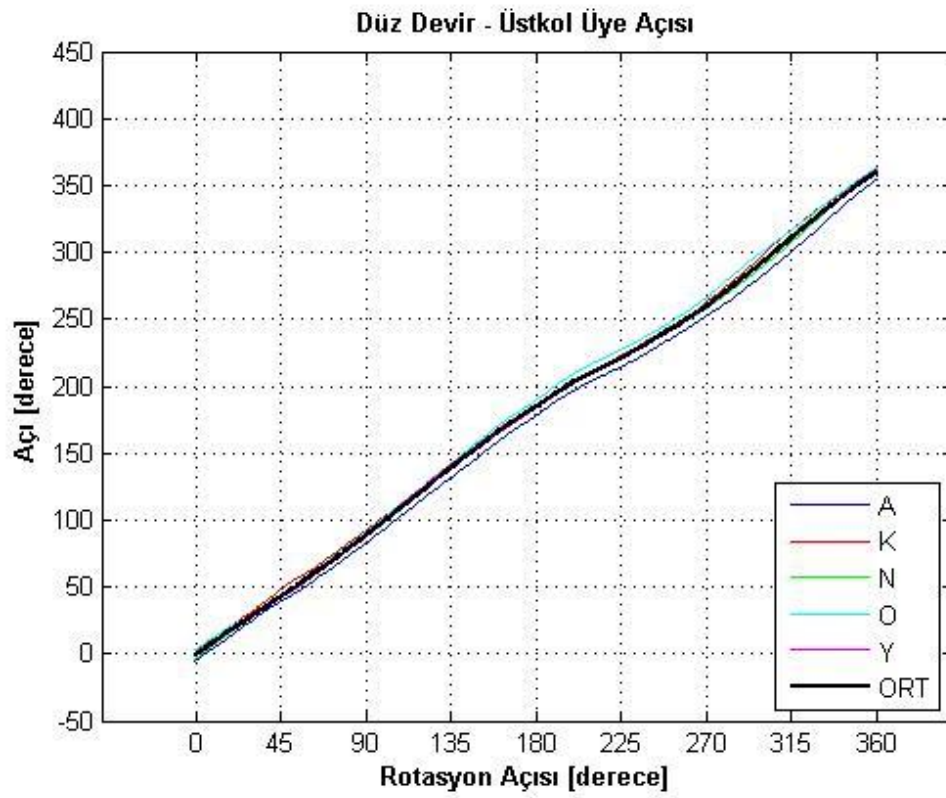


Şekil 4.2: Devir hareketlerinin benzeşimi. (a) Düz devir, (b) Ters devir.

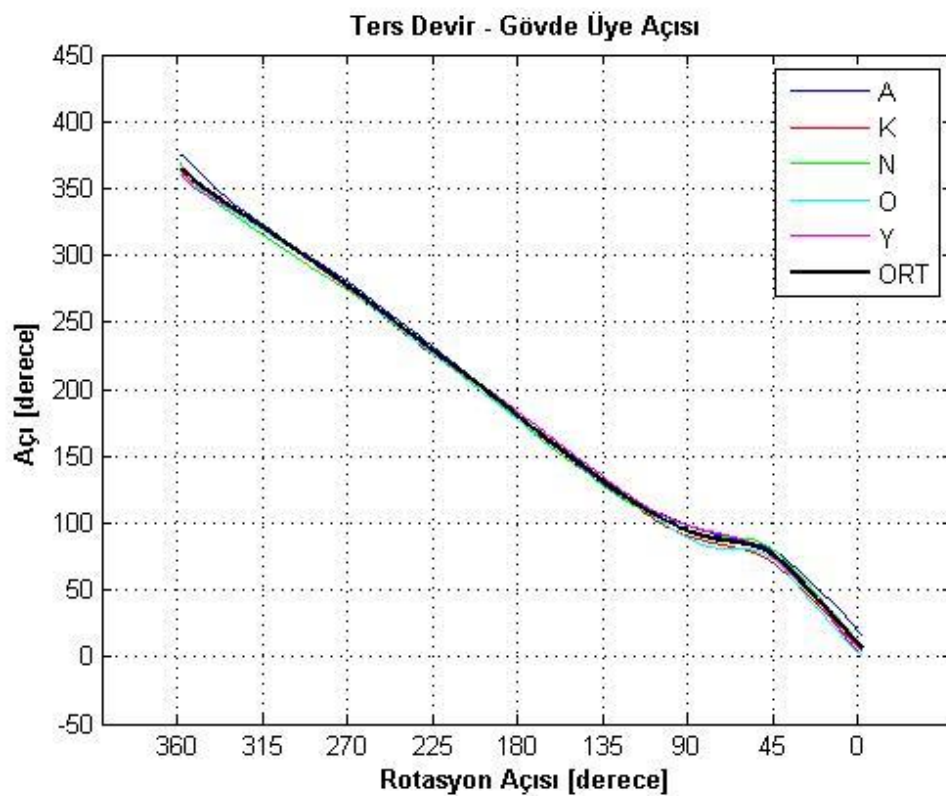
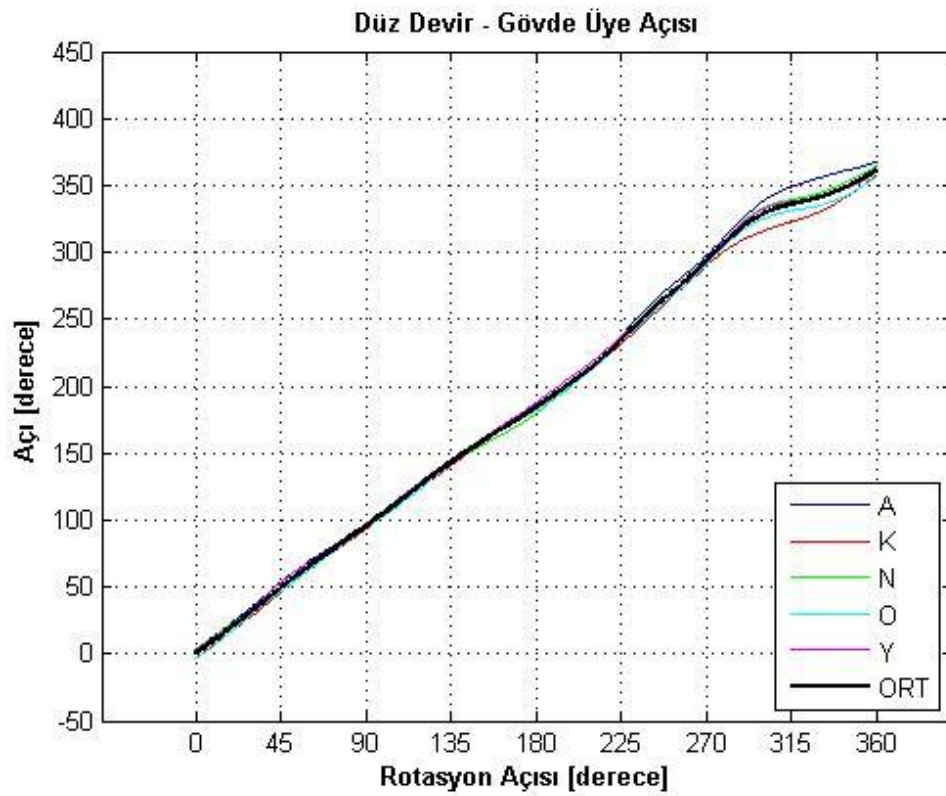
Tüm katılımcıların, devir hareketleri boyunca üyelerdeki açısal değişim ve bu değişimin ortalama ifadesi rotasyon açısına göre verilmiştir (Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8). Gösterimde katılımcı isimlerinin baş harfleri kullanılmıştır.



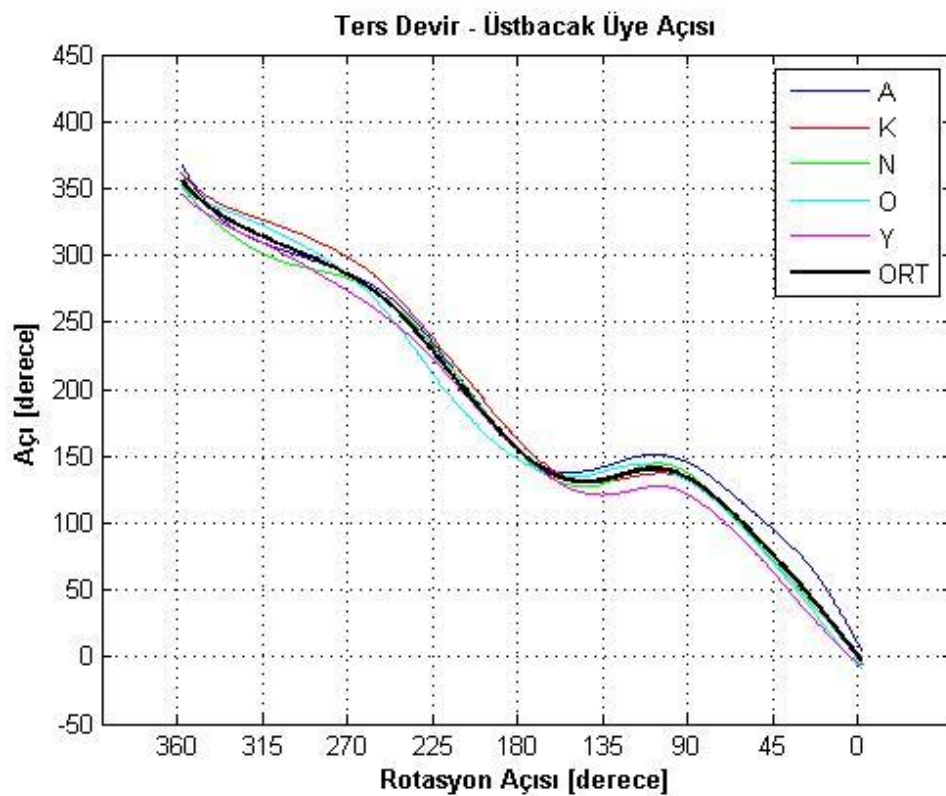
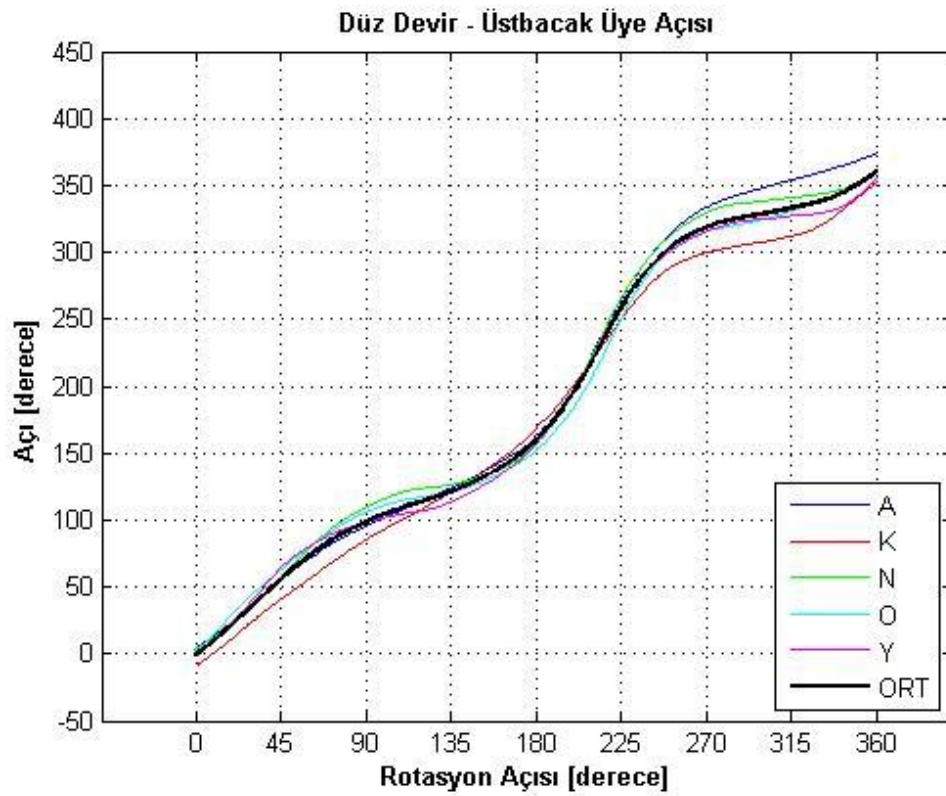
Şekil 4.3: Düz ve ters devirde önkol üye açısının değişimi.



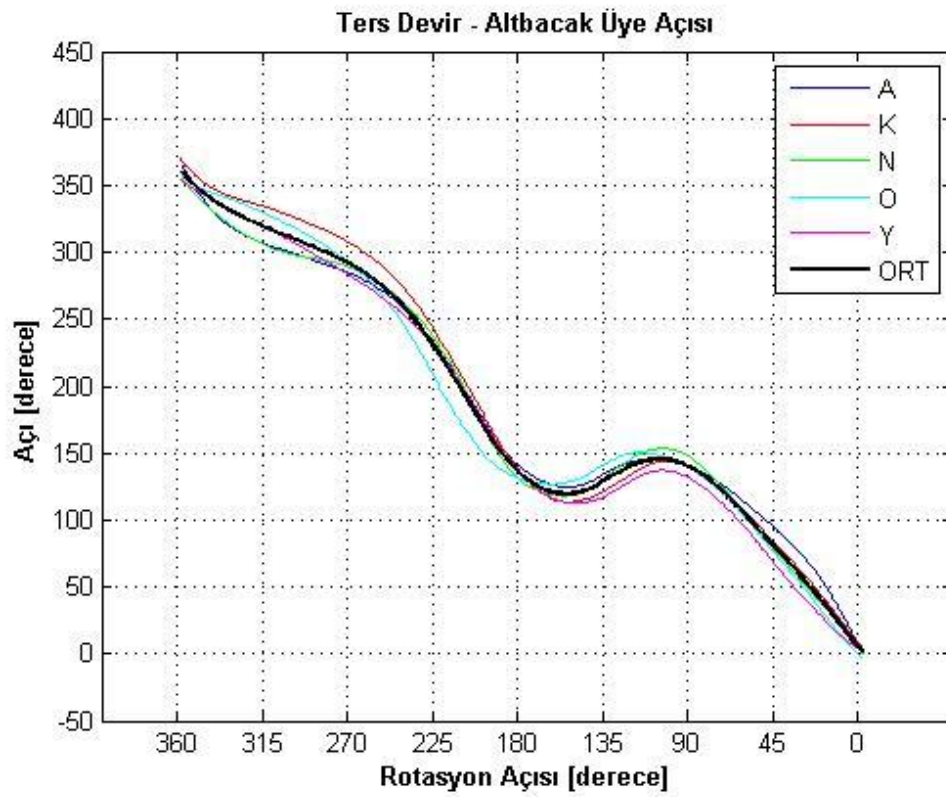
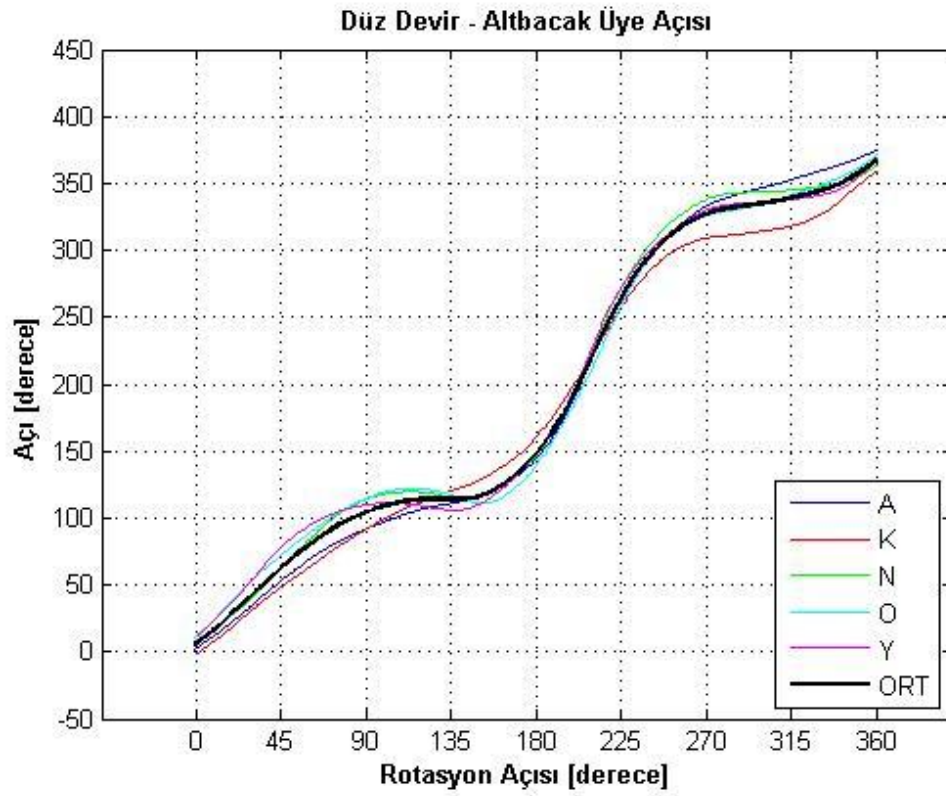
Şekil 4.4: Düz ve ters devirde üst kol üye açısının değişimi.



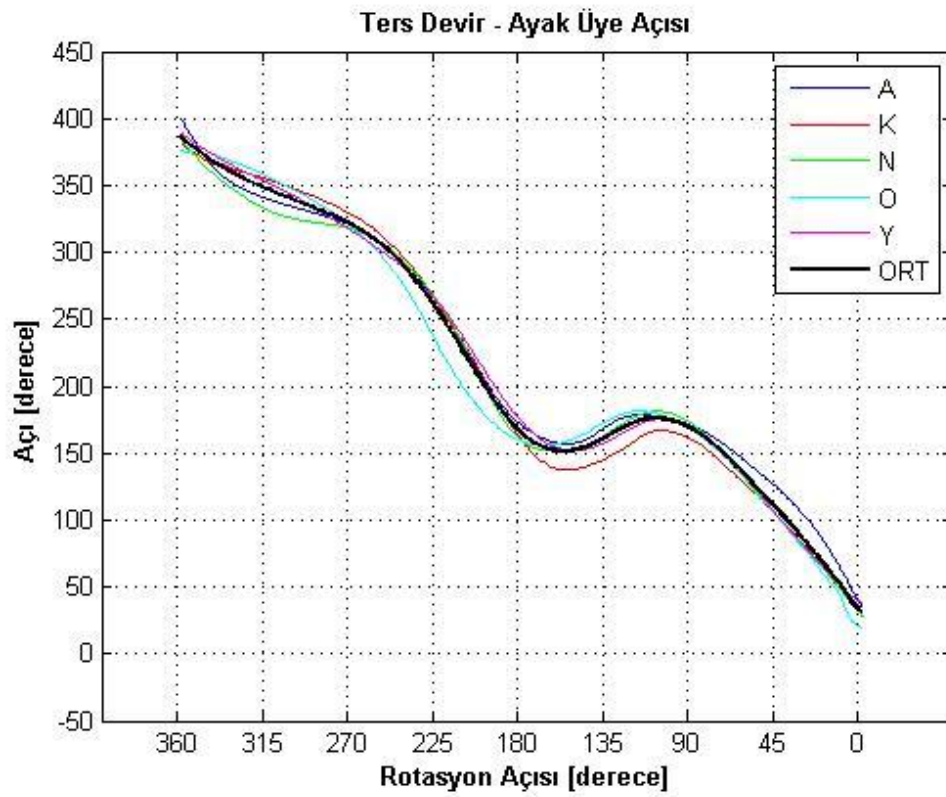
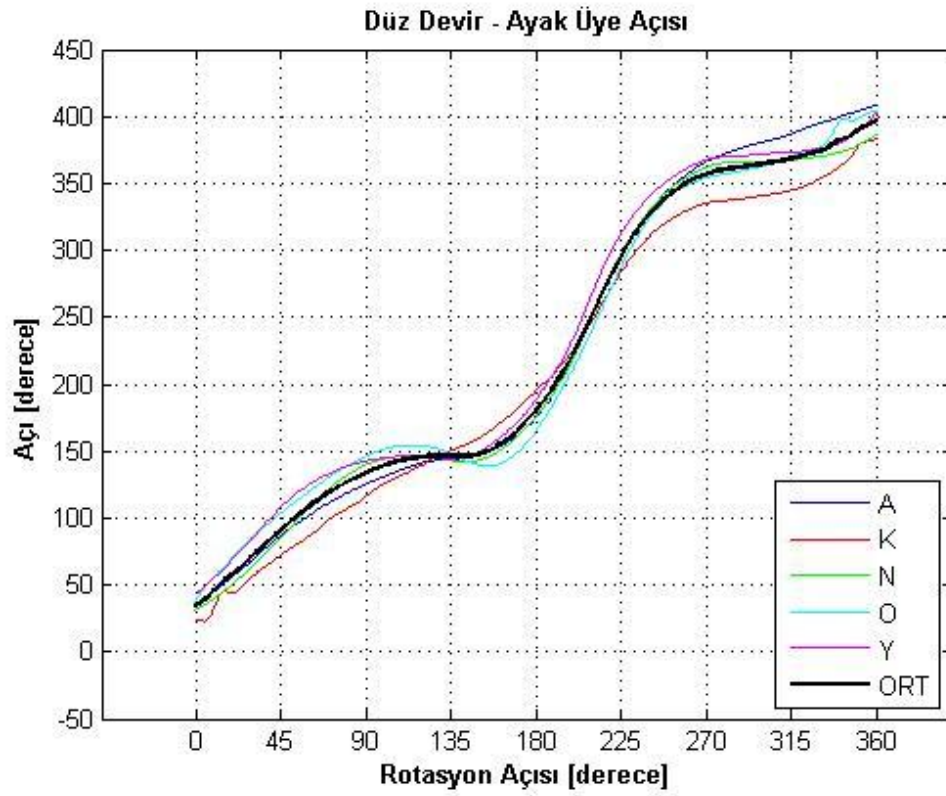
Şekil 4.5: Düz ve ters devirde gövde üye açısının değişimi.



Şekil 4.6: Düz ve ters devirde üst bacak üye açısının değişimi.



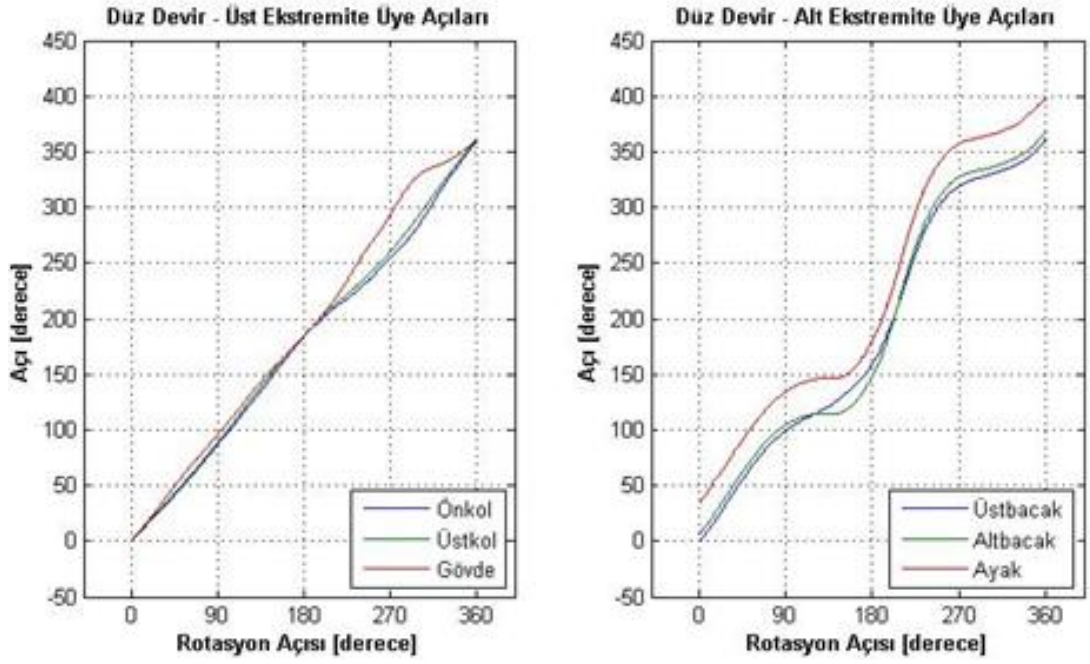
Şekil 4.7: Düz ve ters devirde alt bacak üye açısının değişimi.



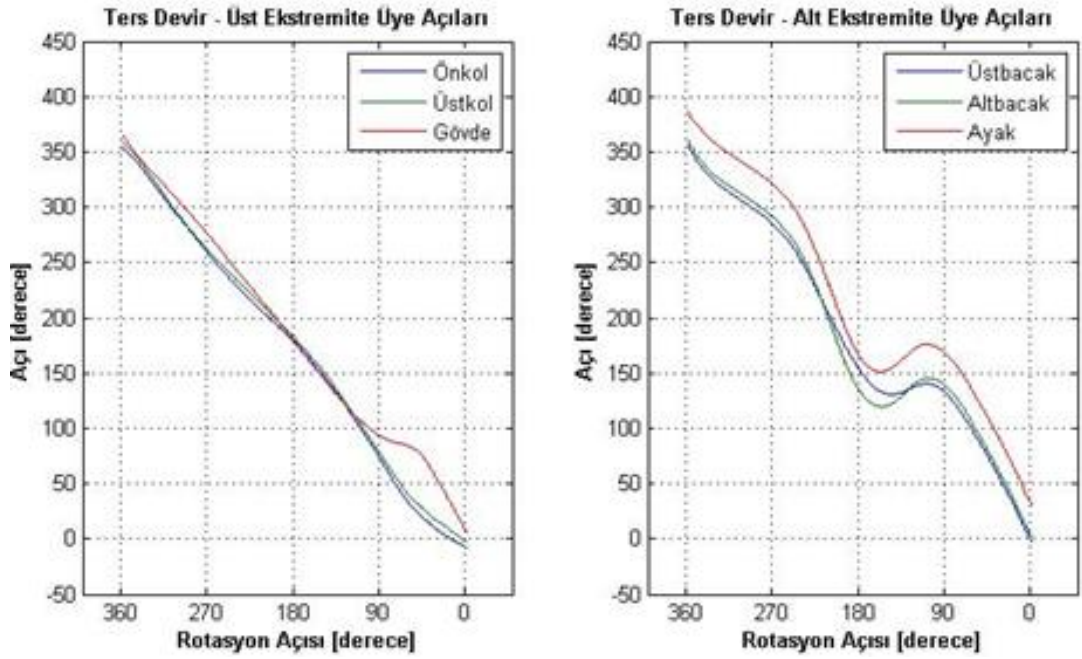
Şekil 4.8: Düz ve ters devirde ayak üye açısının değişimi.

Üst ve alt ekstremitede yer alan üyelerin devir hareketleri sırasındaki açısal değişimleri yukarıdaki şekillerde görülmektedir. Üyelerin tamamı bara dik konumda harekete başlamış ve yine bara dik konumda hareketi bitirmiştir. Üye açıları devir hareketleri boyunca katılımcıların tamamında benzer olarak değişmekle birlikte (Bkz. Ek-B.2) ortalama açısal değişim eğrisi incelendiğinde üyelerin açısal değişim miktarının devir hareketinin bazı bölümlerinde, eklemlerin açısal değişimlerine ve hızlarına bağlı olarak azaldığı veya arttığı görülmektedir. Özellikle üst bacak, alt bacak ve ayak üyelerinde, kalça ve diz eklemlerindeki fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerine bağlı olarak VKM en alt noktaya yaklaşırken ve en alt noktayı geçtikten sonra ani açısal değişimleri gözlenmektedir. Sadece üye açılarına bakarak, VKM barın alt bölümündeyken üst üyelerin açısal değişim miktarlarının azaldığı, alt üyelerin açısal değişim miktarının ise arttığı söylenebilmektedir.

Vücut üyelerinin devir hareketleri sırasındaki açısal değişimleri benzerdir. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da üye açıları rotasyon açısına göre çizilmiştir. Tüm vücut üyeleri bara dik olarak konumlanmış bir şekilde harekete başlarken anatomik yapısı nedeniyle ayak harekete açılı başlamakta ve hareketi yine açılı bitirmektedir. Düz devir hareketinde alt ekstremitte üyelerinin açısal değişim miktarları, VKM en alt noktaya yaklaşırken azalırken ters devirde artmaktadır. Alt ekstremitte üyelerinin açısal değişim miktarlarında meydana gelen bu artma ve azalma, kalça ve diz eklemlerindeki fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bununla birlikte üst üyelerde de omuz eklemindeki açısal hareketler üst ekstremitte üyelerinin açısal değişimini etkilemektedir.

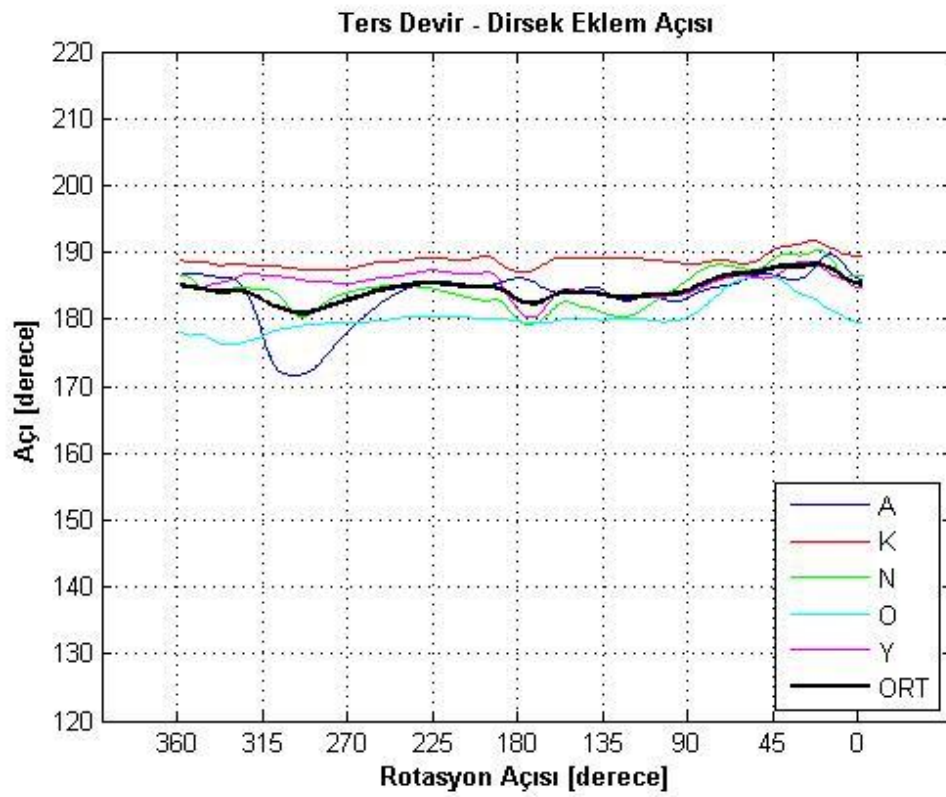
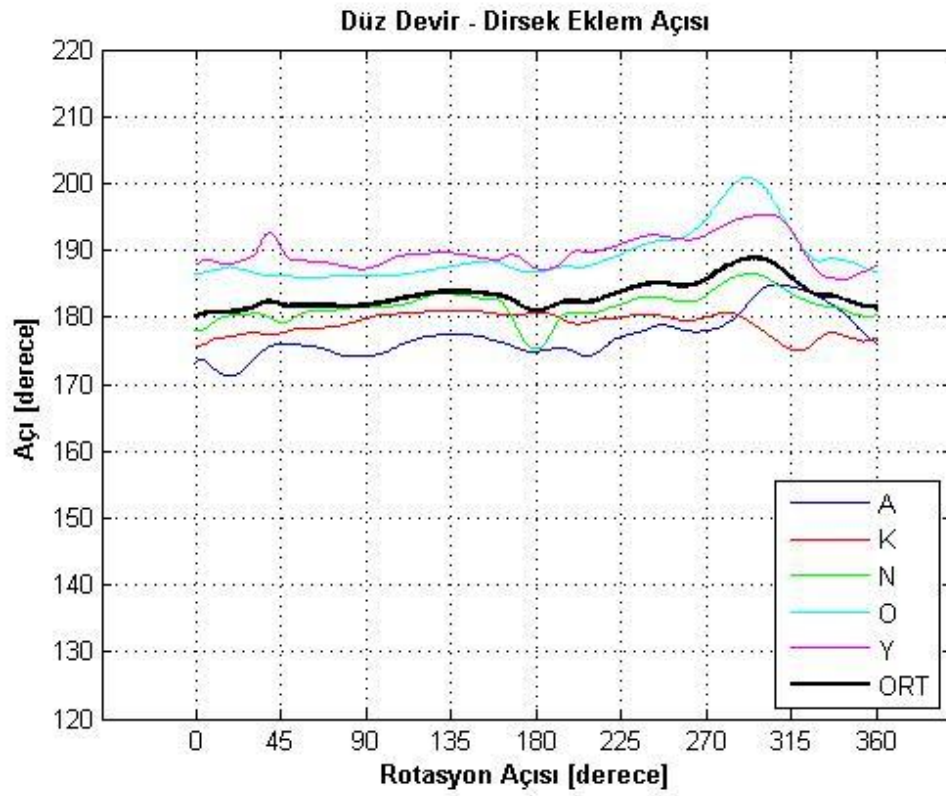


Şekil 4.9: Vücut üyelerinin düz devir sırasında açısız değışimi.

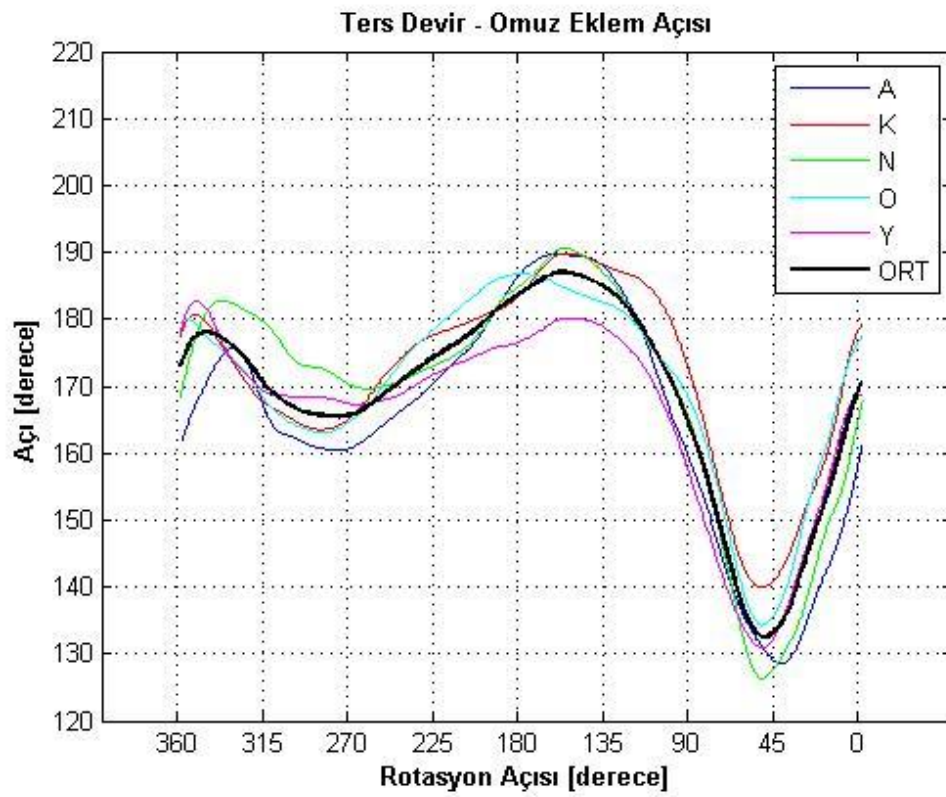
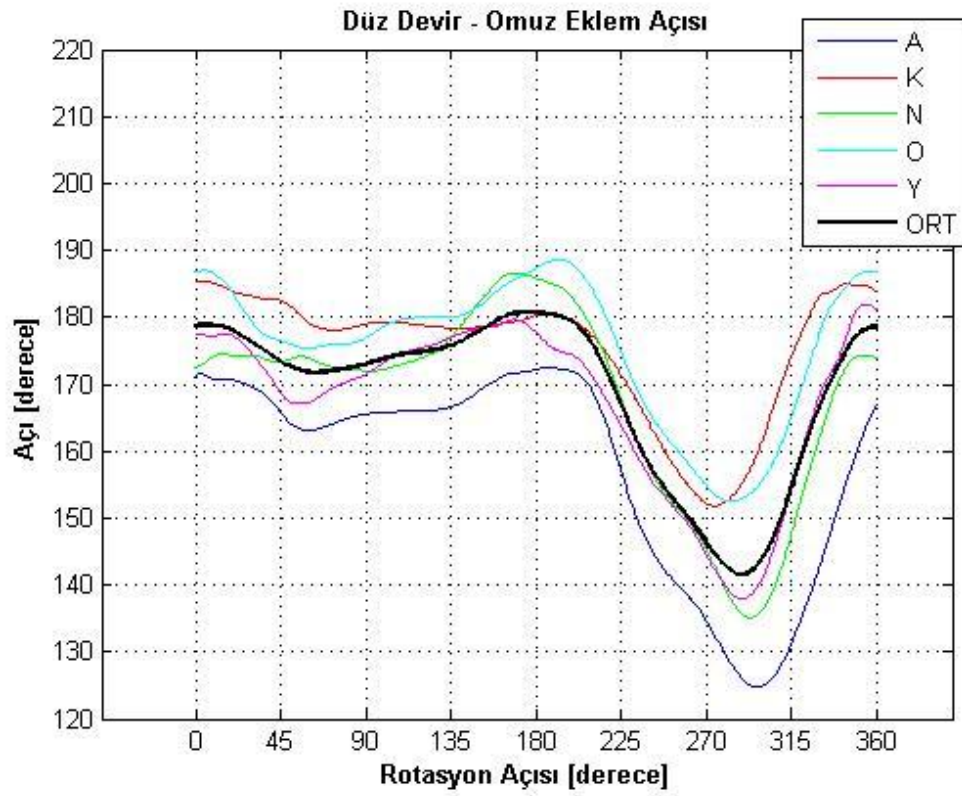


Şekil 4.10: Vücut üyelerinin ters devir sırasında açısız değışimi.

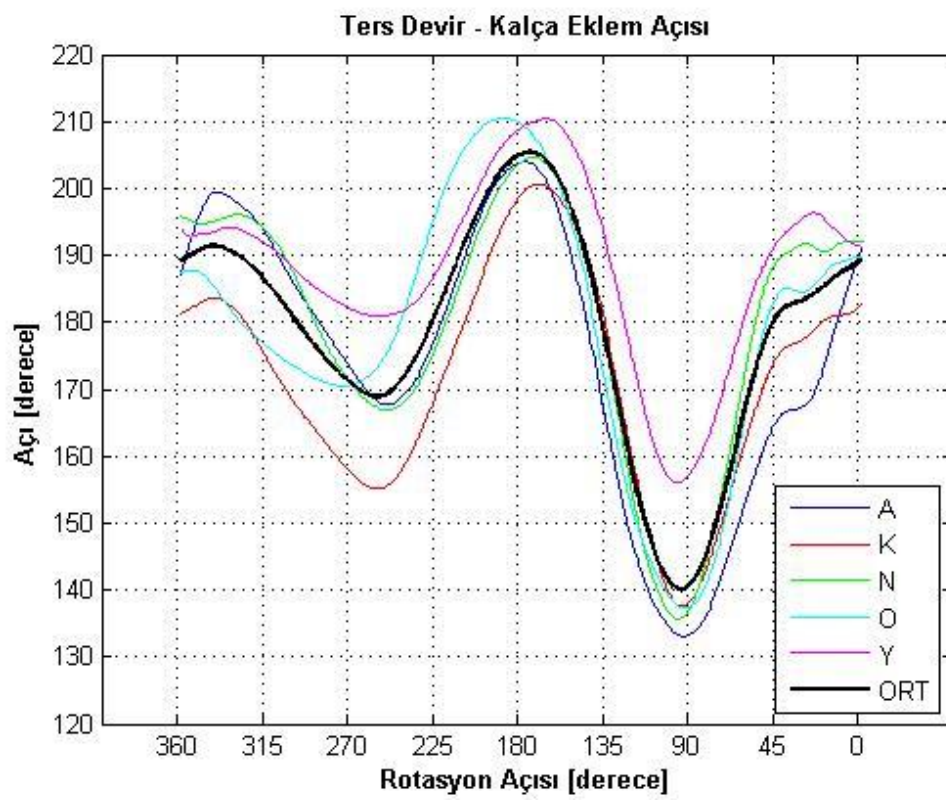
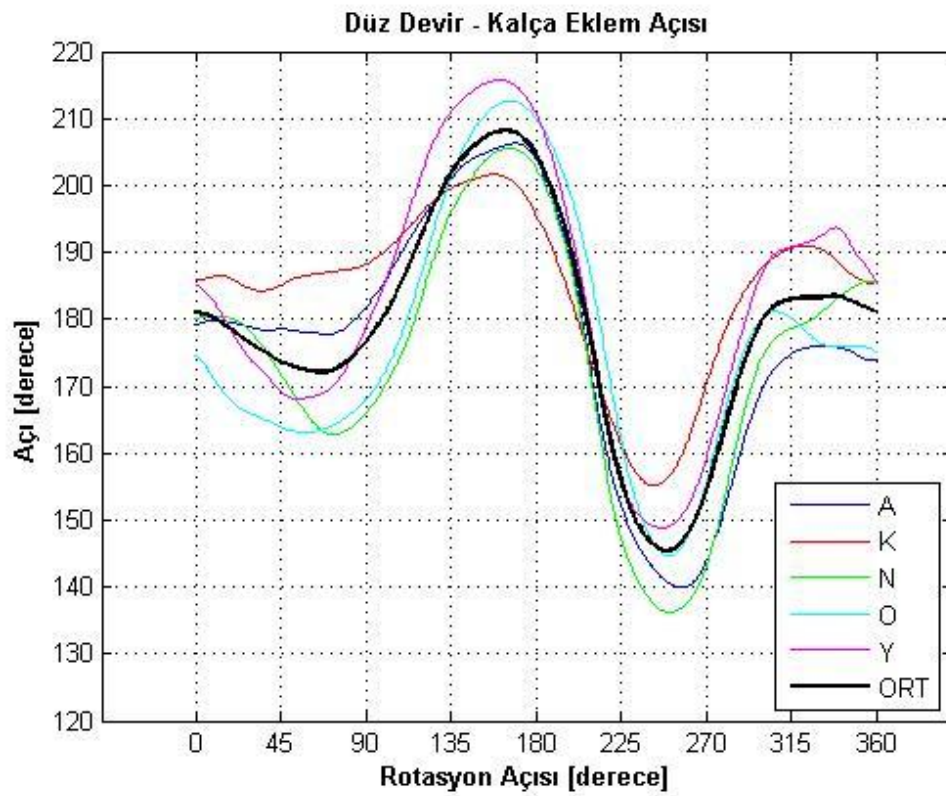
Üyelerin açısız hareketlerindeki değışime neden olan eklemlerin açısız değışimleri rotasyon açısına göre Şekil 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16'da verilmiştir.



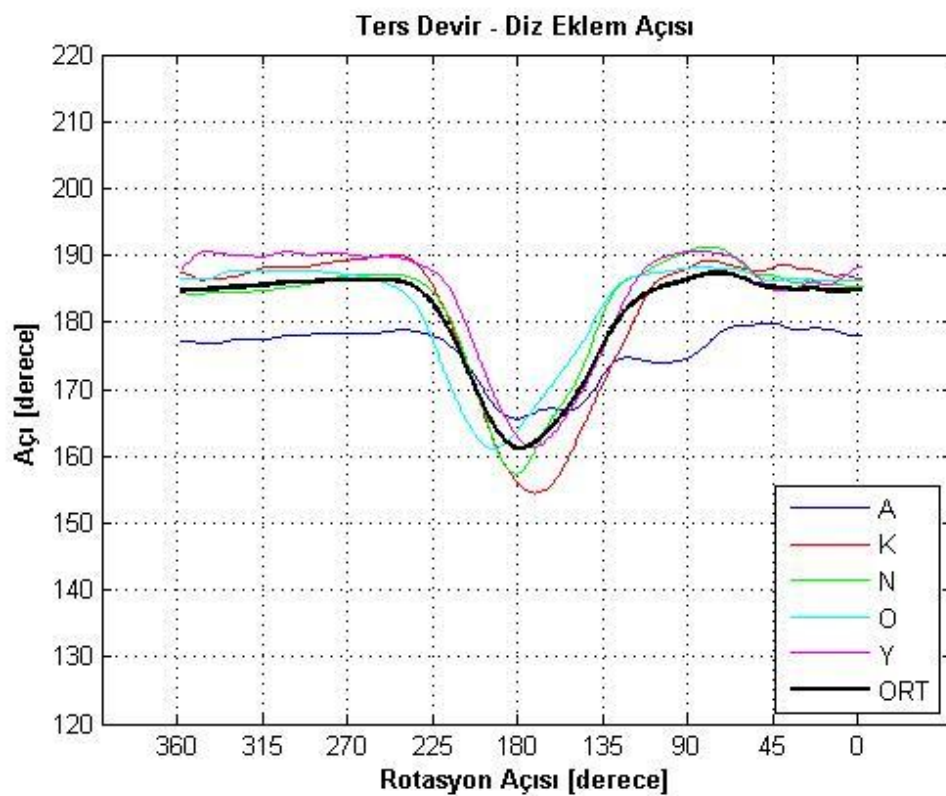
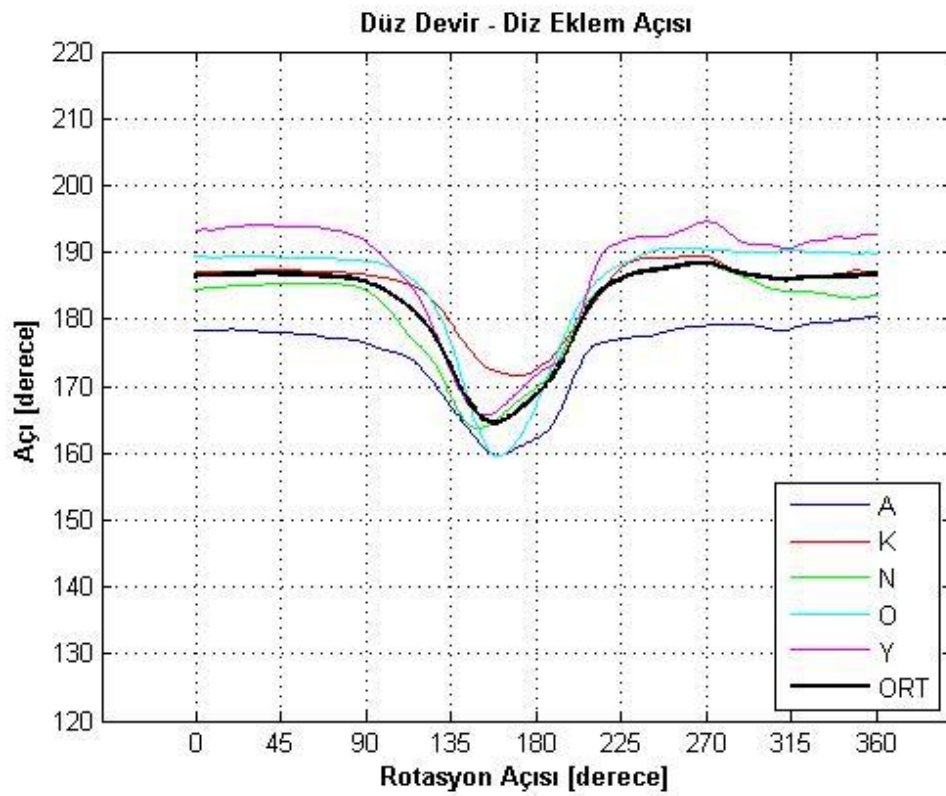
Şekil 4.11: Düz ve ters devirde dirsek eklem açısının değişimi.



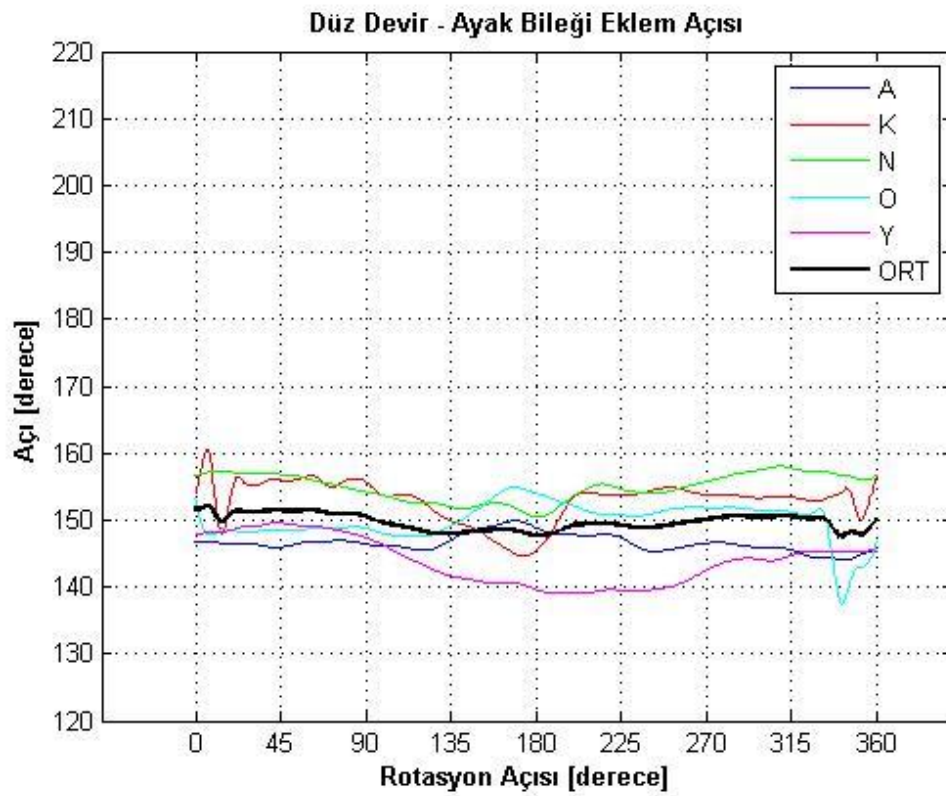
Şekil 4.12: Düz ve ters devirde omuz eklem açısının değişimi.



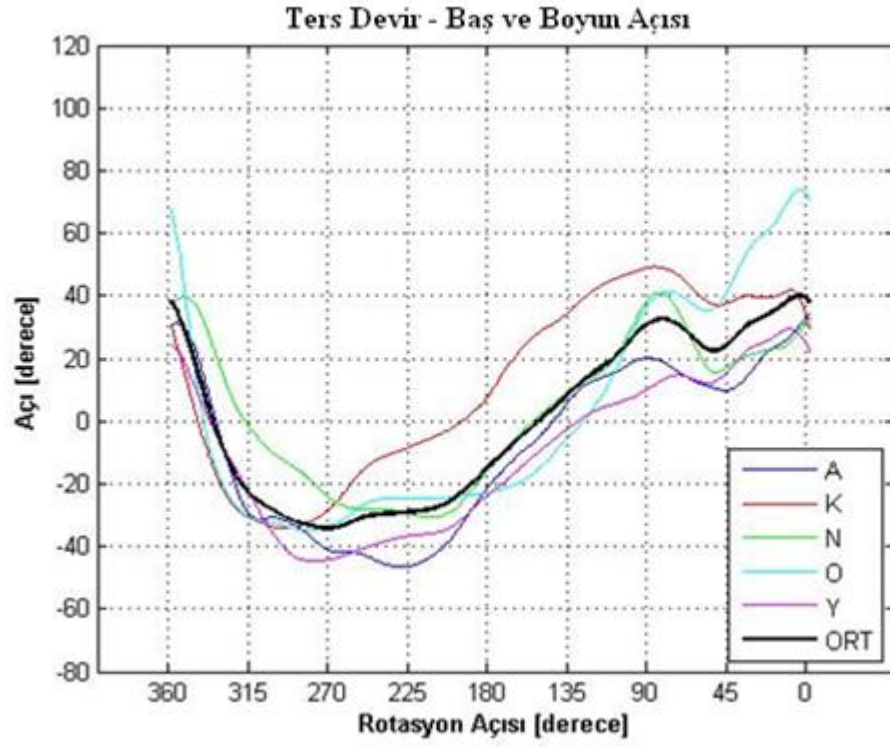
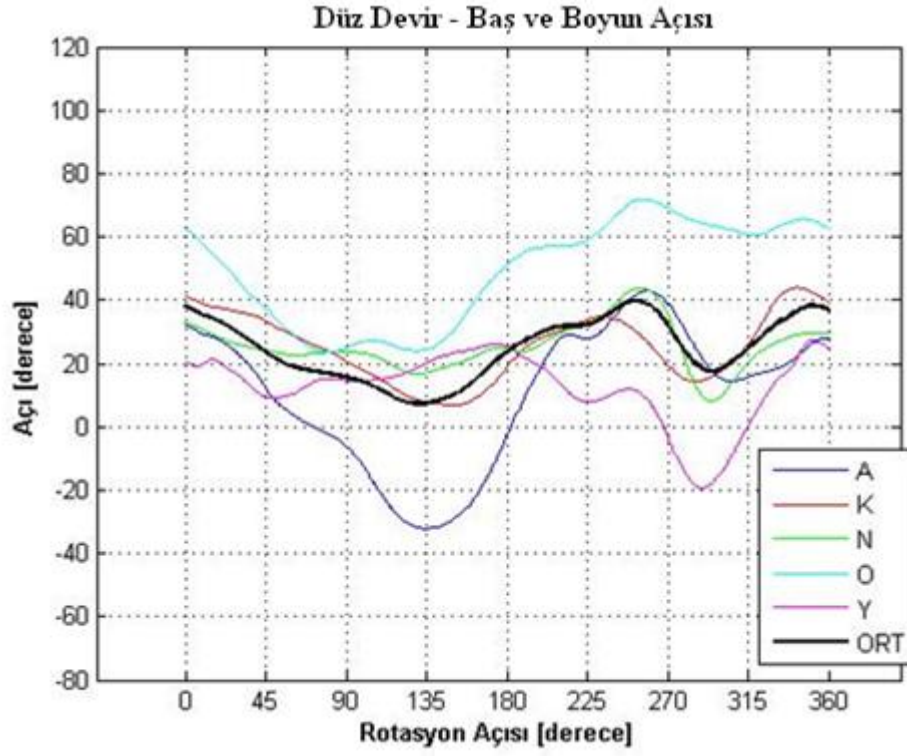
Şekil 4.13: Düz ve ters devirde kalça eklem açısının değişimi.



Şekil 4.14: Düz ve ters devirde diz eklem açısının değişimi.



Şekil 4.15: Düz ve ters devirde ayak bileği eklem açısının değişimi.



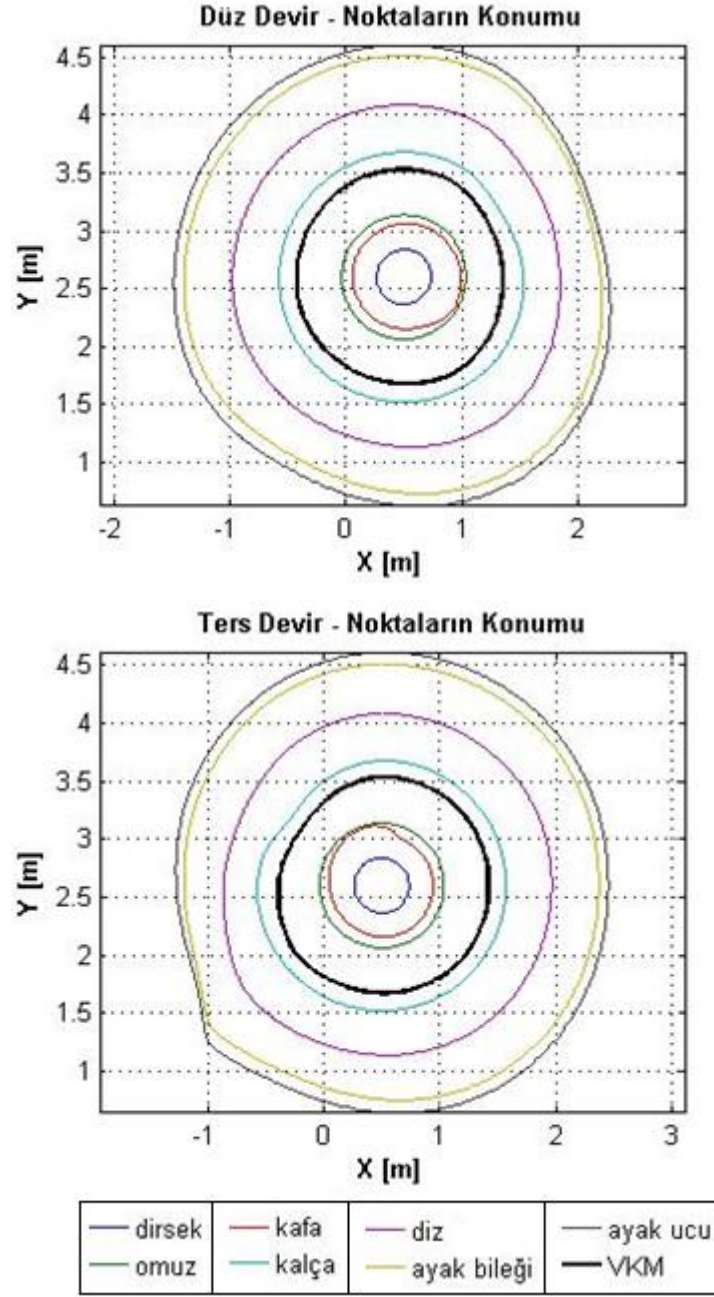
Şekil 4.16: Düz ve ters devirde baş ve boyun açısının değişimi.

Katılımcıların, barın üzerinde amut pozisyonunda başlayarak barın etrafında bir tam tur dönebilmek için dirsek, omuz, boyun, kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinde, hareketlerin farklı bölümlerinde gerçekleştirdikleri eklem hareketlerinin benzer davranışları yukarıdaki şekillerde görülmektedir. Tüm katılımcıların üye ve eklem açısal değişimleri Ek-B.2 ve Ek-B.3'te verilmiştir. Bazı katılımcıların dirsek (Şekil 4.11) ve diz (Şekil 4.14) eklem açılarının devir hareketleri sırasında 180° 'nin üzerine çıktığı veya 180° 'ye hiç ulaşmadığı görülmektedir. Bunun nedeni dirsek eklem açısını tanımlayan el bileği, dirsek ve omuz, diz eklem açısını tanımlayan kalça, diz ve ayak bileği yansıtıcı işaretlerinin bu anatomik noktalar üzerindeki yerleşimleridir.

Şekil 4.16'da ters ve düz devir hareketleri sırasında baş ve boyun açısının değişimi verilmiştir. Katılımcıların tamamında, düz devir hareketinin başlangıcında boyun ekleminde fleksiyon-ekstansiyon hareket grubu iki defa gerçekleşmektedir. A isimli katılımcının düz devir sırasında boyun ekleminde gerçekleştirdiği fleksiyon-hiperekstansiyon hareketi dikkati çekmektedir.

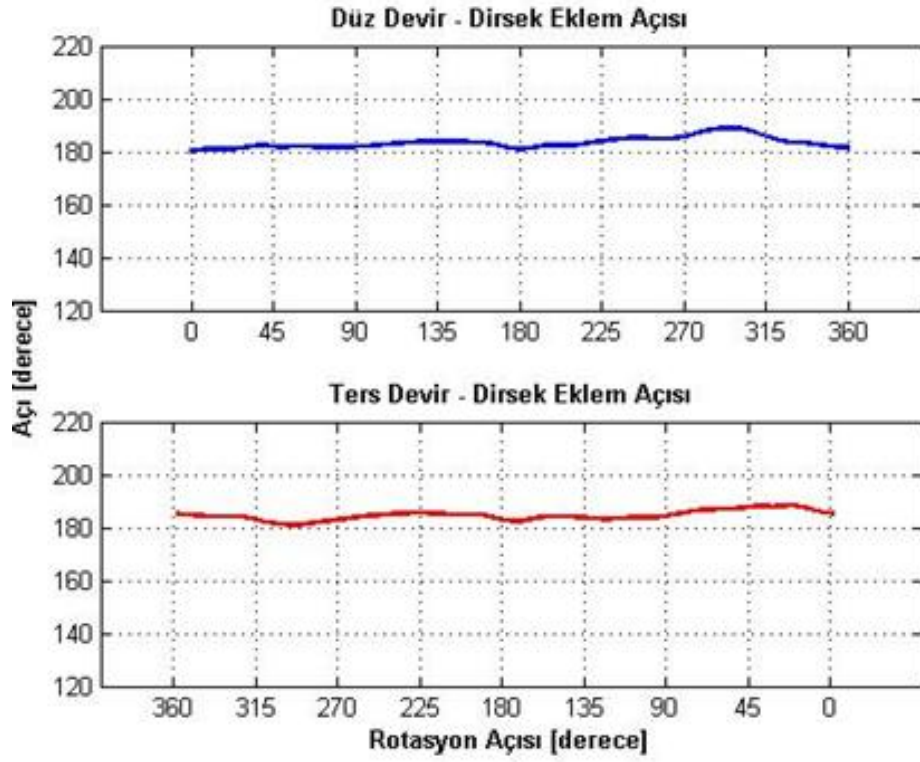
Devir hareketlerinde anatomik noktaların iki boyutlu düzlemdeki yörüngeleri benzerdir. Tüm katılımcıların anatomik noktalarının ham konum verileri Ek-B.1 ve B.7'de verilmiştir.

Hareketlerin akış yönü dolayısıyla ve üye kinematiğine bağlı olarak hareketlerin yatay genliklerinde farklılıklar mevcuttur (Şekil 4.17). Bar yatayda 0.5, dikeyde 2.6 m'de konumlanmaktadır ve devir hareketleri boyunca hareket etmemektedir.



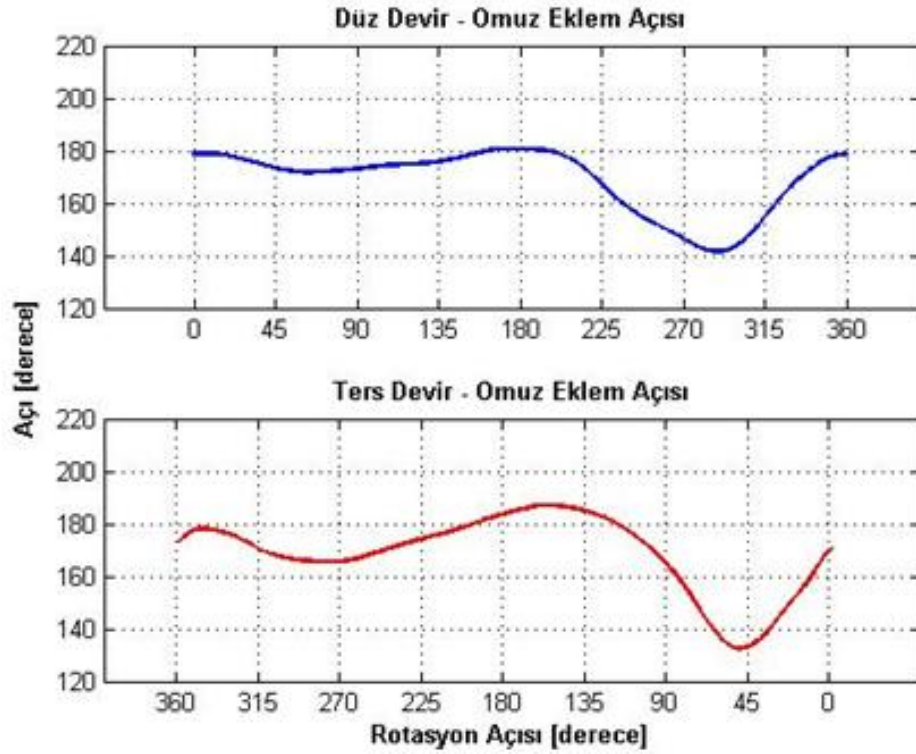
Şekil 4.17: Anatomik noktaların ve VKM'nin devir hareketleri sırasında konumu.

Katılımcıların ters ve düz devir hareketlerinden elde edilen ortalama üye ve eklem açısal değişimleri, rotasyon açısına göre Şekil 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 ve 4.23'te verilmiştir.



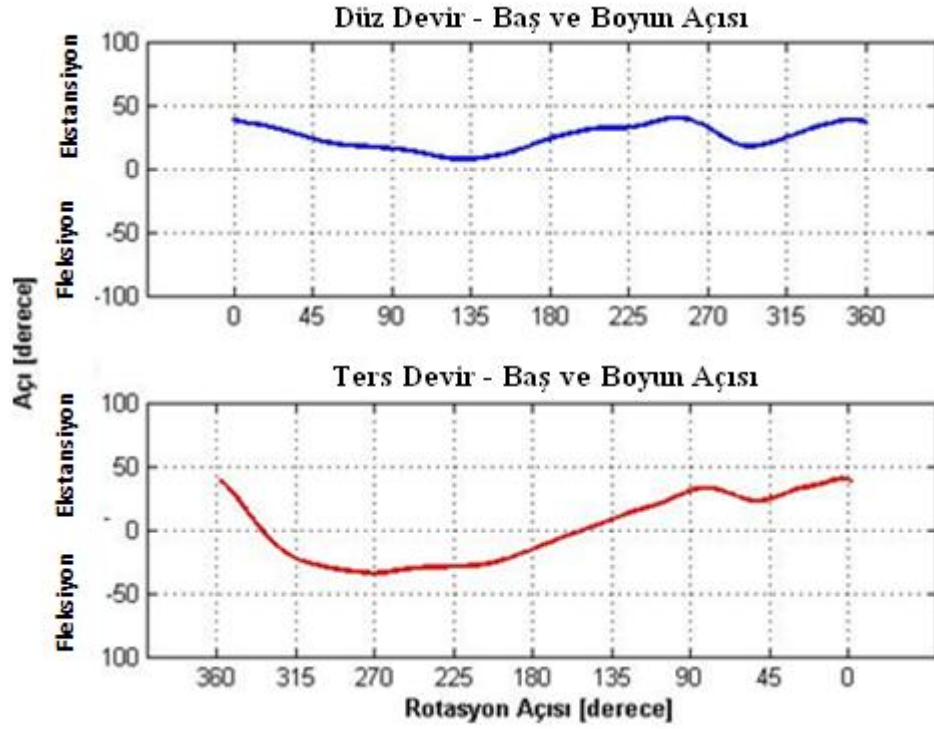
Şekil 4.18: Devir hareketleri boyunca dirsek eklem açısının değişimi.

Ters ve düz devir sırasında dirsek eklem açısında önemli bir değişim meydana gelmemektedir. Dirsek eklem açısı düz devirde ortalama 183° , ters devirde 184° 'dir.



Şekil 4.19: Devir hareketleri boyunca omuz eklem açısının değişimi.

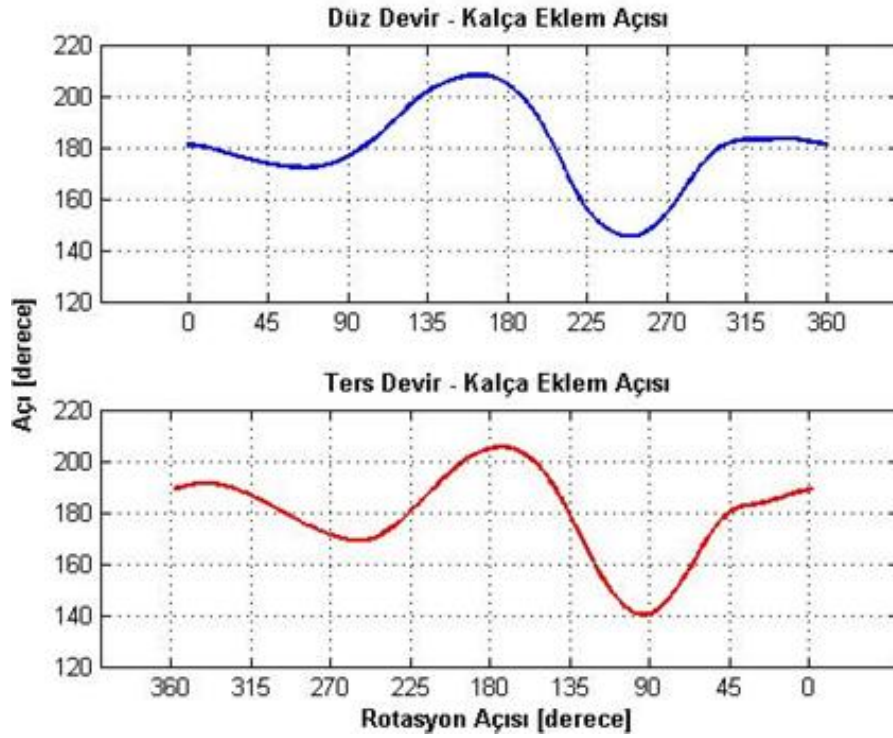
Düz ve ters devirde omuz eklemine davranışı benzerdir. Her iki harekette de omuz eklemine dört hareket gerçekleştiği Şekil 4.19'da görülmektedir. Ters devir hareketinin ilk 20°'lik rotasyonunda omuz eklemine meydana gelen 3°'lik fleksiyon hareketi dikkat çekmektedir. Düz devirde omuz eklem açısı fleksiyon hareketinde 180°'nin üzerine çıkmazken maksimum ekstansiyon açısı 141°'dir. Ters devirde omuz eklemine maksimum fleksiyon açısı 187°, maksimum ekstansiyon açısı 132°'dir.



Şekil 4.20: Devir hareketleri boyunca baş ve boyun açısının değişimi.

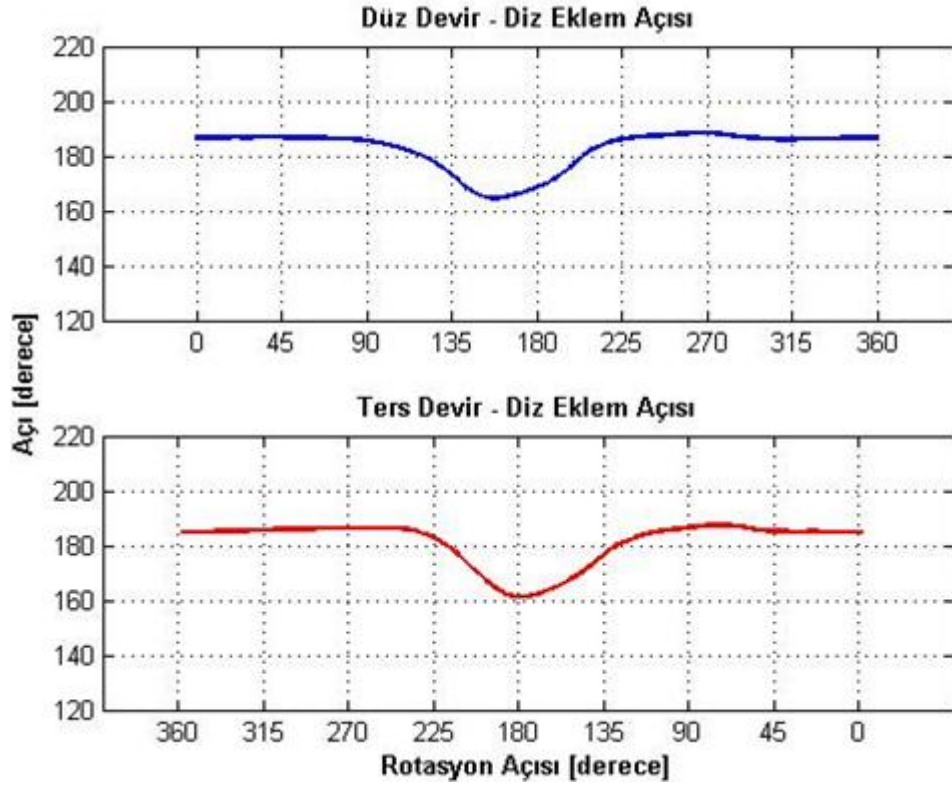
Baş ve boyun devir hareketleri sırasındaki açısal değişimi Şekil 4.20'de verilmiştir. Baş ve boyun açısının anatomik pozisyonda 0° olduğu varsayıldığında baş ve boyun düz devir hareketine 38° , ters devir hareketine 40° hiperekstansiyonda başladığı görülmektedir.

Devir hareketlerinin ilk 130° 'lik rotasyonunda fleksiyon hareketi yapan boyun ekleminin fleksiyon hareket aralığı ters devirde 78° , düz devirde 31° 'dir. Hareketlerin devamında baş ve boyun ekstansiyon hareketi yaparak tekrar ilk pozisyonuna dönmektedir. Hareketlerin son 90° 'lik rotasyonunda ise gövdenin barın üstüne doğru yaptığı hareket neticesinde baş ve boyun düz devirde 22° 'lik, ters devirde 10° 'lik bir fleksiyon hareketi yaptıktan sonra harekete başladığı pozisyona geri dönmektedir.



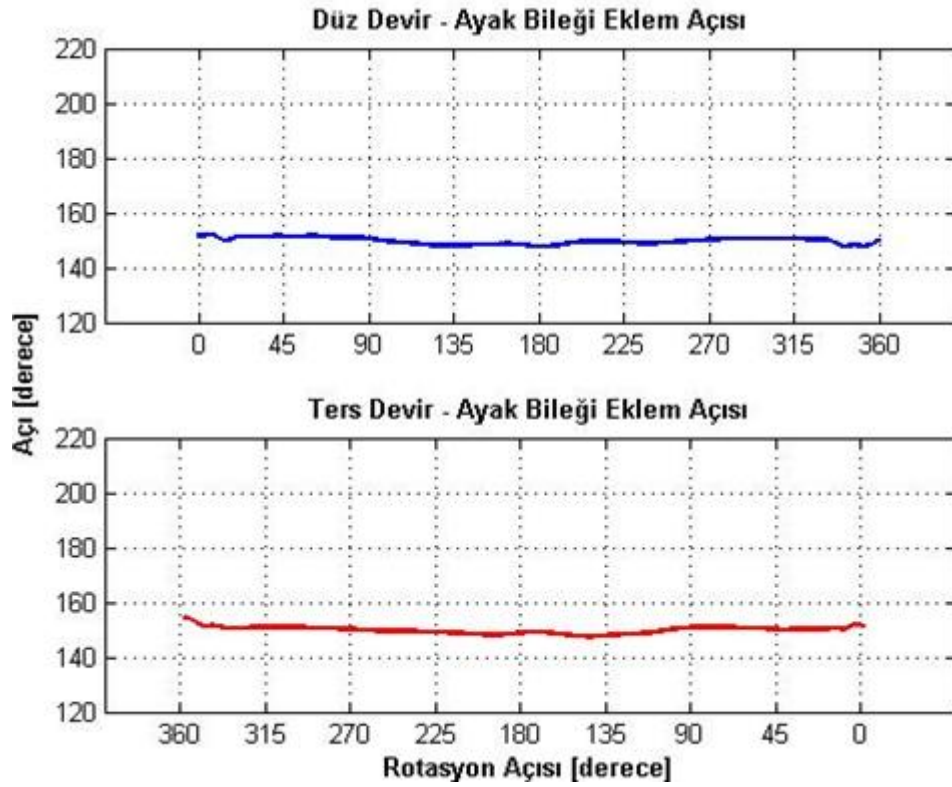
Şekil 4.21: Devir hareketleri boyunca kalça eklem açısının değişimi.

Düz devir hareketinin başlangıcında kalça eklem açısı 181° iken ters devirde bu açı 189° derecedir. Düz devirin ilk 65° 'lik rotasyonunda kalça eklemine 10° 'lik bir fleksiyon hareketi meydana gelirken ters devirde kalça eklemine, hareketin ilk 20° 'lik rotasyonunda 3° 'lik bir bir ekstansiyon hareketinden sonra fleksiyon hareketi meydana gelmektedir. Bu fleksiyon hareketi ters devirde 210° 'lik rotasyon sırasında tamamlanmaktadır. Kalça eklemine maksimum ekstansiyon açısı düz devirde 208° , ters devirde 205° , maksimum fleksiyon açısı düz devirde 145° , ters devirde ise 140° 'dir. Şekil 4.21'de görüldüğü üzere düz ve ters devir hareketleri sırasında kalça eklemineki açısal hareketlerin yapısı benzer, sırası aynı olmasına rağmen meydana gelen fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerinin tamamlanma süreleri değişiklik göstermektedir.



Şekil 4.22: Devir hareketleri boyunca diz eklem açısının değişimi.

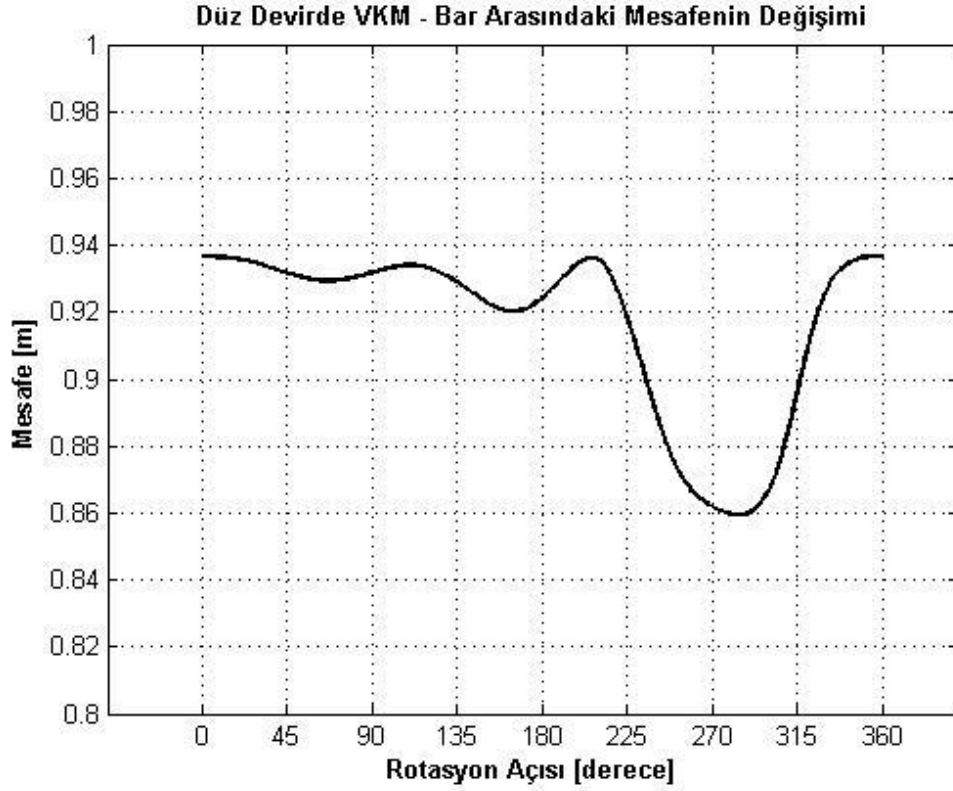
Düz ve ters devir hareketleri sırasında diz eklemının açısıl değişimi benzerdir. Her iki devirde de VKM en alt noktaya yaklaşırken diz eklem açısında bir fleksiyon hareketi, VKM en alt noktayı geçtikten sonra da ekstansiyon hareketi gerçekleştiği Şekil 4.22'de görülmektedir. Düz devir hareketinde bu fleksiyon hareketi vücut 90° rotasyundayken, ters devirde ise 240° rotasyundayken başlamaktadır. Diz eklemi her iki harekette de 22° 'lik bir fleksiyon hareketi yapmaktadır. Bu fleksiyon hareketi düz devirde VKM en alt noktaya gelmeden tamamlanırken ters devirde VKM en alt noktayı geçerken tamamlanmaktadır.



Şekil 4.23: Devir hareketleri boyunca ayak bileği eklem açısının değişimi.

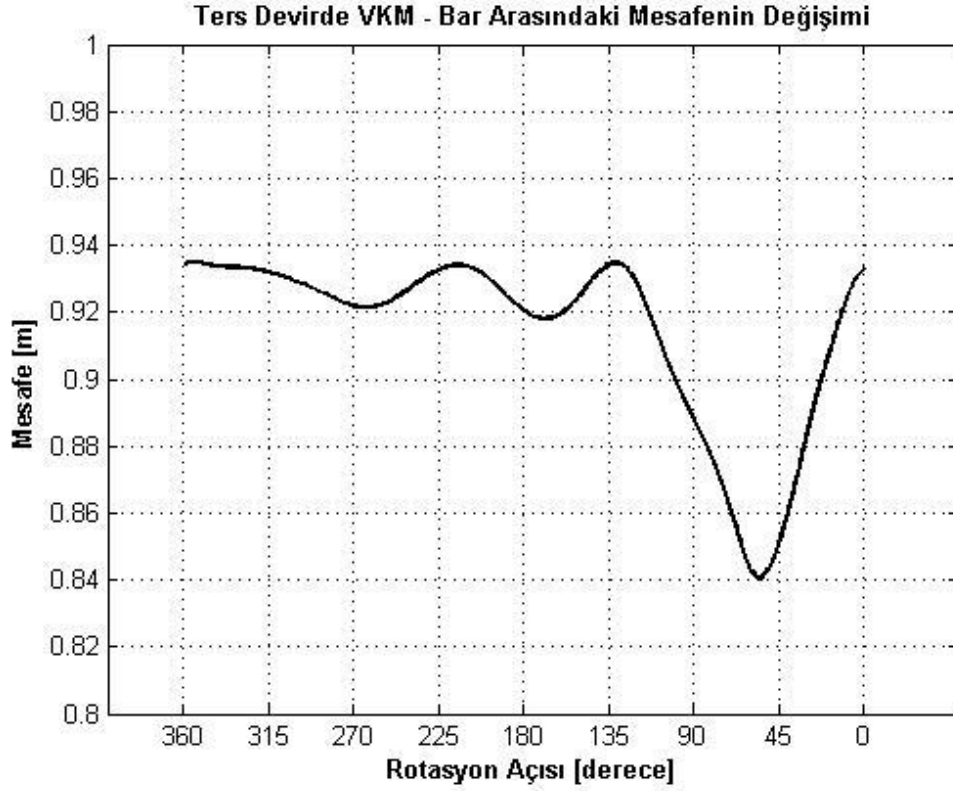
Devir hareketleri sırasında ayak bileği eklemine büyük bir açısal hareket gerçekleşmediği Şekil 4.23’de görülmektedir. Ayak bileği eklemine açısı her iki devirde de ortalama 150° ’dir. Buna göre ayak bileğinin devir hareketleri boyunca plantar fleksiyonda olduğu söylenebilir.

Devir hareketleri boyunca gerçekleşen eklem hareketleri, dönme merkezi (bar) ile VKM arasındaki mesafenin değişmesine neden olmaktadır. Ters ve düz devir hareketlerinde bar ile VKM arasındaki mesafe Şekil 4.24 ve 4.25’de, VKM’nin açısal hızı Tablo 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.24: Düz devirde bar-VKM arasındaki mesafenin değişimi.

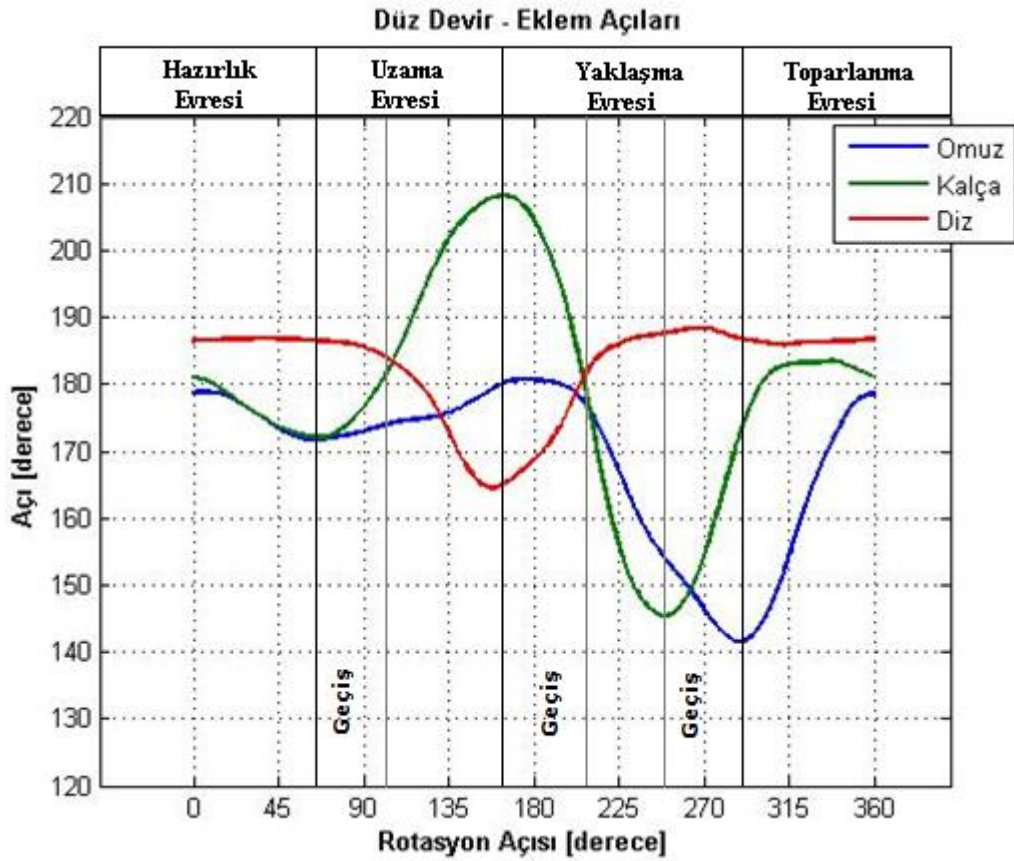
Düz devir hareketinin başlangıcında (amut pozisyonunda) VKM ile bar arasındaki mesafe (VKM ile barı birleştiren doğrunun uzunluğu) 0.938 m'dir ve hareket boyunca bu mesafe 0.938 m'nin üzerine çıkmamaktadır. VKM ile bar arasındaki mesafenin en az olduğu anda rotasyon açısı 275°'dir. Devir hareketi sırasında eklemlerde meydana gelen fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri VKM'nin bara yaklaşıp uzaklaşmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.25: Ters devirde bar-VKM arasındaki mesafenin değişimi.

Ters devir hareketinin başlangıç pozisyonunda VKM bardan 0.937 m uzaklıktadır. Düz devirde olduğu gibi ters devirde de VKM bara üç farklı evrede 3 defa yaklaşmaktadır. VKM, hareketin son evresinde bara 0.097 m yaklaşmaktadır. Bu anda VKM-bar mesafesi 0.84 m, rotasyon açısı 55° 'dir. VKM'nin barla arasındaki mesafenin düz ve ters devirde benzer şekilde değiştiği Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te görülmektedir.

Düz ve ters devir hareketlerinde en büyük açısal değişim omuz, kalça, boyun ve diz eklemlerinde gerçekleşmektedir. Bu eklemlerde gerçekleşen açısal hareketler ve VKM'nin bar ile arasındaki mesafenin değişimi göz önüne alınarak devir hareketleri dört evrede incelenebilmektedir. Bu evreler sırasıyla Hazırlık Evresi, Uzama Evresi, Yaklaşma Evresi ve Toparlanma Evresi olarak adlandırıldı. Şekil 4.26 ve 4.27'de omuz, kalça ve diz eklemlerinin açısal değişimi, devir hareketlerinin evreleri belirtilerek rotasyon açısına göre verilmiştir.



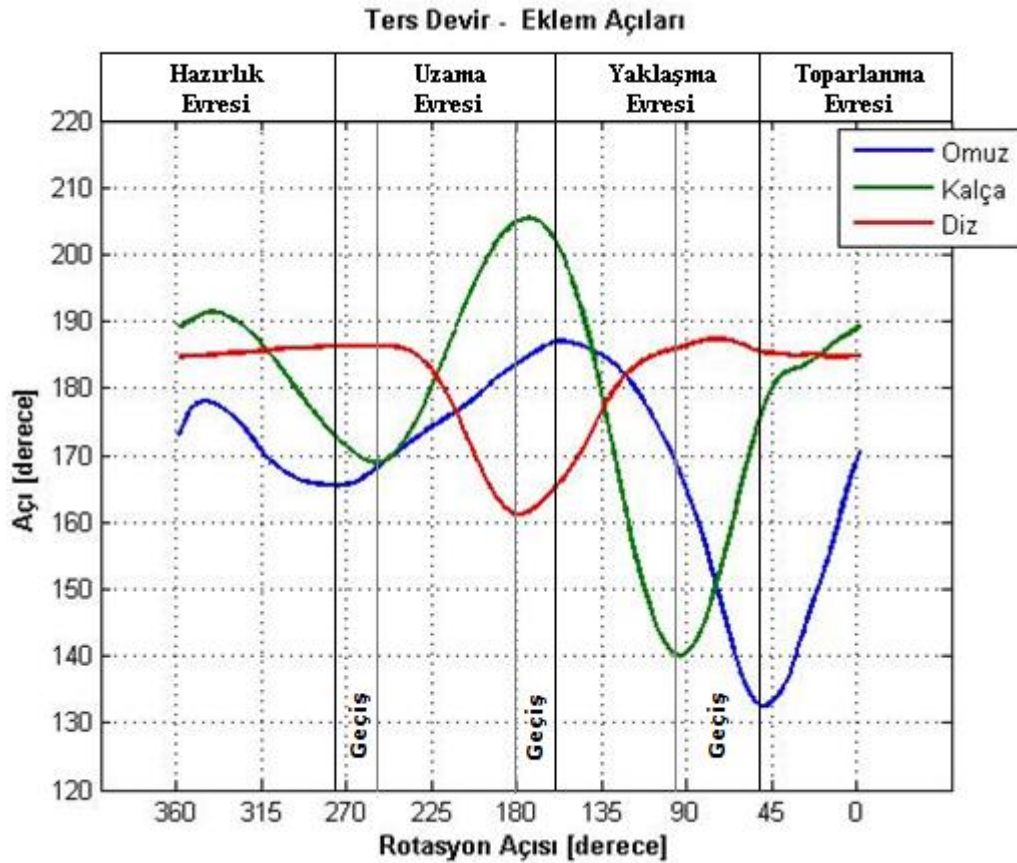
Şekil 4.26: Düz devir hareketinin evreleri ve eklem hareketleri.

Düz devir hareketinin hazırlık evresinde ($Rot_{\alpha} 0^{\circ} - 65^{\circ}$) omuz ve kalça eklemlerinde 10° 'lik bir ekstandiyon ve fleksiyon hareketi meydana gelmekte, bu nedenle VKM bara yaklaşmaktadır. Bu evrede diz eklem açısında herhangi bir değişiklik yoktur. Fleksiyondaki kalça eklemi ekstansiyon hareketi yaparak 180° 'lik bir açıya ulaştığında VKM bardan tekrar uzaklaşmaktadır. Hareketin uzama evresinde ($Rot_{\alpha} 66^{\circ} - 170^{\circ}$) kalça ekleminde 36° 'lik ekstansiyon, omuz ekleminde 10° 'lik bir fleksiyon hareketi meydana gelirken diz ekleminde 20° 'lik bir fleksiyon hareketi meydana gelmektedir. Bu evrede kalça (208°) ve omuz (181°) eklemi hareket boyunca en yüksek ekstansiyon ve fleksiyon açılarına sahipken diz eklemi en yüksek fleksiyon açısına (165°) ulaşmaktadır. İkinci geçiş evresinde, kalça eklemi fleksiyon hareketi yaparak 180° 'lik bir açıya ulaştığında VKM bardan tekrar uzaklaştıktan sonra kalça ekleminde fleksiyon, omuz ekleminde ekstansiyon hareketi meydana gelmektedir.

Yaklaşma evresinde ($Rot_{\alpha} 171^{\circ} - 288^{\circ}$) kalça 35° 'lik bir fleksiyon hareketi yaparak 145° 'lik bir açığa sahip olmaktadır. Omuz eklemi ise 40° 'lik bir ekstansiyon hareketi yaparak 141° 'lik bir açığa ulaşmaktadır. Bu evrede kalça ve omuz eklemleri en yüksek fleksiyon ve ekstansiyon açılarına sahipken diz eklemi ekstansiyon hareketi yaparak 186° 'lik bir açığa çıkmaktadır. Yaklaşma evresinde VKM bara 0.078 m yaklaşmaktadır. Böylece VKM-bara mesafesi 0.86 m'yi bulurken VKM'nin bara en yakın olduğu anda $Rot_{\alpha} 275^{\circ}$ 'dir. Düz devir hareketinin son evresi olan toparlanma evresinde ($Rot_{\alpha} 289^{\circ} - 360^{\circ}$) kalça ve omuz eklemlerinde sırasıyla ekstansiyon ve fleksiyon hareketi meydana gelirken diz eklem açısı değişmemektedir. Toparlanma evresi, omuz ekleminde meydana gelen 40° 'lik ekstansiyon hareketiyle başlamaktadır. Kalça eklemindeki 38° 'lik fleksiyon hareketi de kalça eklemi için 180° 'lik normal açısal pozisyonuna toparlanması anlamına gelmektedir. Bu nedenle üçüncü geçiş evresi, kalça eklemi için 180° 'lik açığa ulaşması ile toparlanma evresinin başlangıcı arasında yer almaktadır. Tüm evrelerin açısal aralıkları incelendiğinde en uzun süren evrenin yaklaşma evresi olduğu ortaya çıkmaktadır.

Düz devirde VKM'nin maksimum açısal hızı 450 derece/s'dir. VKM bu açısal hızla, yaklaşma evresinden toparlanma evresine geçtikten hemen sonra ($Rot_{\alpha} = 172^{\circ}$) ulaşmaktadır.

Şekil 4.27'de ters devir hareketinin evrelerinde kalça, omuz ve diz eklem açılarının değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.27: Ters devir hareketinin evreleri ve eklem hareketleri.

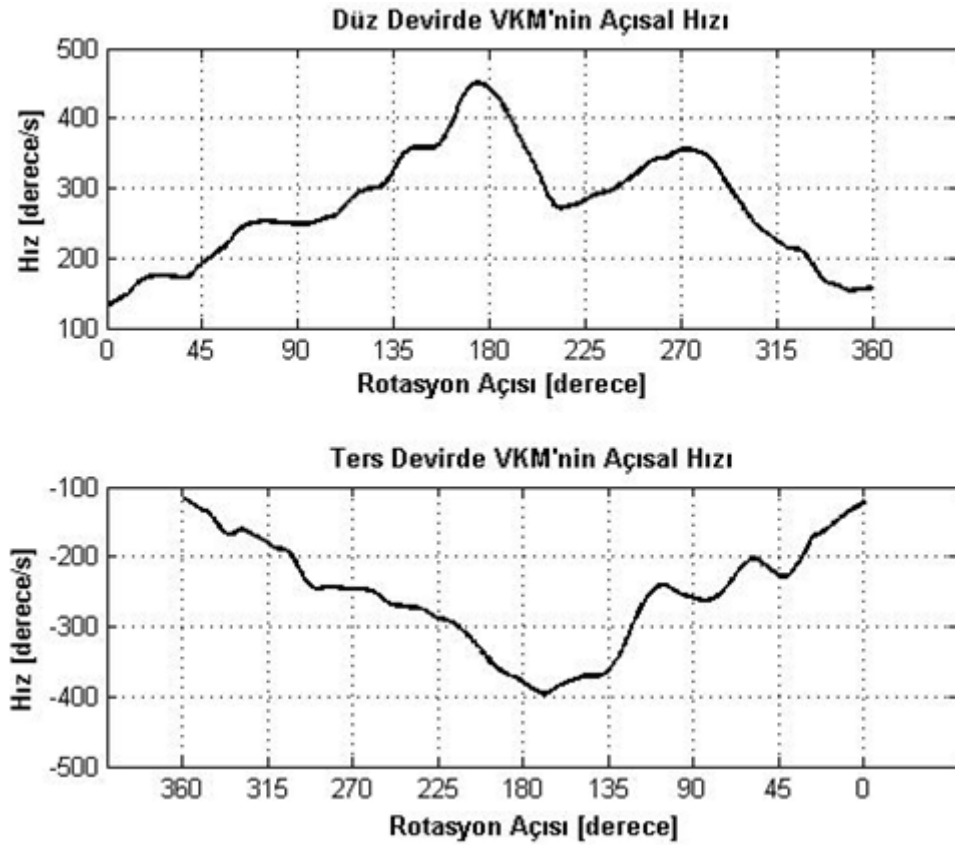
Ters devir hareketinin ilk 20°'lik rotasyonunda kalça eklemine 3°'lik ekstansiyon, omuz eklemine 5°'lik bir fleksiyon hareketi meydana gelirken diz eklemine hareket yoktur. Ters devirde hazırlık evresi ($Rot_{\alpha} 360^{\circ} - 285^{\circ}$) omuz eklemine gerçekleşen 13°'lik ekstansiyon hareketiyle sona ermektedir. Bu evrede 22°'lik fleksiyon hareketi yapan kalça eklemine açısı, birinci geçiş evresiyle beraber 170°'ye ulaşmaktadır. Hazırlık ve birinci geçiş evresinde kalça ve omuz eklemlerindeki fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri nedeniyle VKM bara yaklaşmaktadır. Uzama evresine ($Rot_{\alpha} 284^{\circ} - 155^{\circ}$) geçişle birlikte omuz eklemine 22°'lik fleksiyon hareketi gerçekleşirken kalça eklemi 35°'lik ekstansiyon hareketi yapmaktadır. Böylece kalça (205°) ve omuz (187°) eklemleri, uzama evresinde maksimum ekstansiyon ve fleksiyon açlarına ulaşırken diz eklemine 25°'lik bir fleksiyon hareket gerçekleşmektedir. Diz eklemine bu fleksiyon hareketi kalça eklemineki ekstansiyon hareketine paralel gerçekleşirken omuz eklemineki fleksiyon hareketinden önce tamamlanmaktadır.

Ters devir hareketinin üçüncü evresi olan yaklaşma evresi ($Rot_{\alpha} 154^{\circ} - 50^{\circ}$), omuz eklemının maksimum fleksiyonundan sonra gerçekleşen ekstansiyon hareketiyle başlamaktadır. Yaklaşma evresinde omuz eklemi 55° 'lik ekstansiyon hareketi yaparak maksimum ekstansiyon açısına (132°) ulaşmaktadır. Bu evrede en büyük fleksiyon hareketi kalça ekleminde gerçekleşmektedir. Kalça eklemi 65° 'lik fleksiyon hareketi yaparak 140° 'lik bir açıya ulaşmaktadır. Kalça eklemindeki fleksiyon hareketi, omuz eklemindeki ekstansiyon hareketinden daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu evrede VKM, kalça ve omuz eklemlerindeki fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri nedeniyle bara hızla yaklaşmaktadır. $Rot_{\alpha} 55^{\circ}$ iken VKM-bar arasındaki mesafe minimumdur (0.84 m). Fleksiyondaki diz eklemi, yaklaşma evresinde 25° 'lik ekstansiyon hareketi yaparak eski pozisyonunu almaktadır. Ters devir hareketinin toparlanma evresinde, ($Rot_{\alpha} 49^{\circ} - 0^{\circ}$) omuz ekleminde 38° 'lik bir fleksiyon hareketi gerçekleşirken kalça eklemi üçüncü geçiş evresinde başladığı ekstansiyon hareketini tamamlayarak 190° 'lik açıya ulaşmaktadır. Bu evrede diz ekleminde açısal hareket gerçekleşmemektedir. Ters devir hareketinin en uzun süren evresi uzama evresidir.

Ters devir hareketinde VKM, maksimum açısal hızına uzama evresinden yaklaşma evresine geçerken ($Rot_{\alpha} = 169^{\circ}$) ulaşmaktadır. VKM'nin ters devirdeki maksimum açısal hızı -395 derece/s'dir. Açısal hız değerinin önündeki eksi (-) işareti yön belirtmektedir. Devir hareketleri boyunca VKM'nin açısal hızında meydana gelen değişim Şekil 4.28'de gösterilmektedir. Ayrıca VKM'nin devir hareketleri sırasındaki maksimum ve ortalama açısal hızları Tablo 4.3'te, katılımcıların vücut kütle merkezlerinin açısal hız ve ivmeleri ise Ek-B.6'da verilmiştir.

Tablo 4.3: Düz ve ters devirde VKM'nin ortalama ve maksimum açısal hızı.

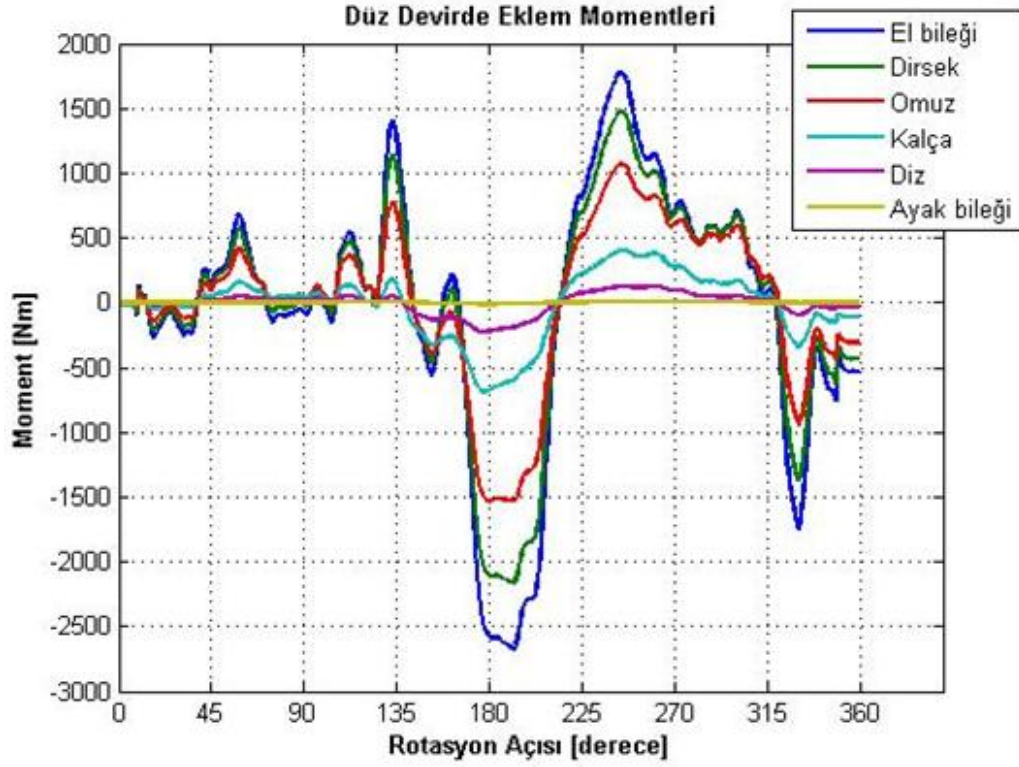
	Ortalama Açısal hız (derece/s)	Maksimum Açısal hız
Düz devir	250	450
Ters devir	231	395



Şekil 4.28: Devir hareketlerinde VKM'nin açısal hızı.

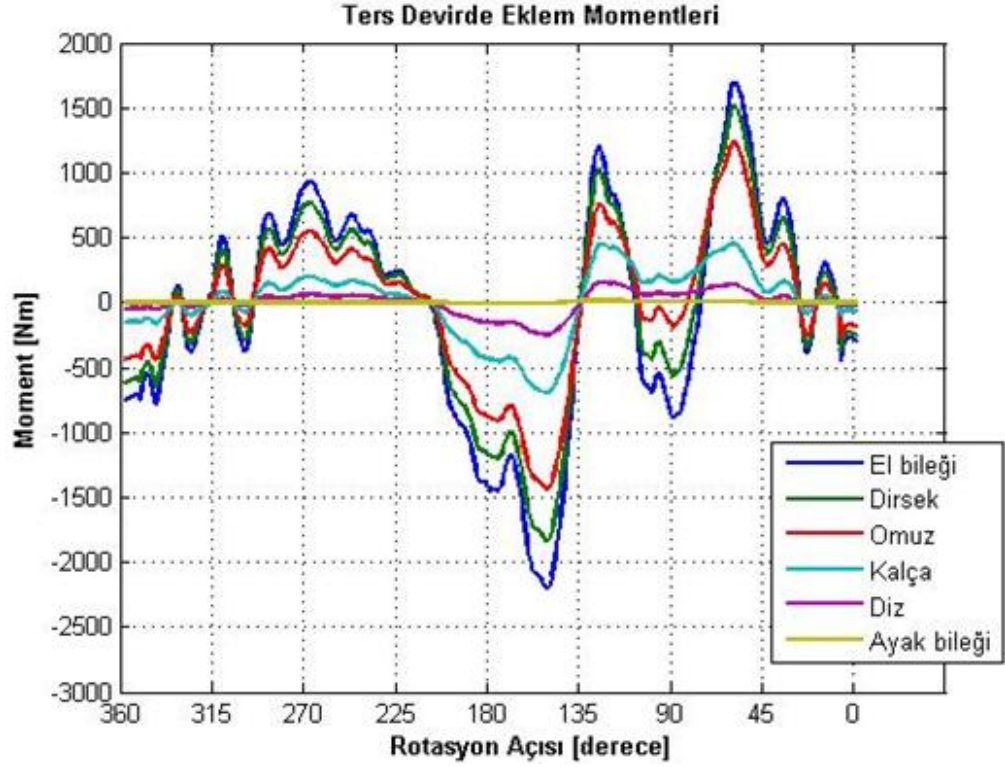
VKM'nin düz devir hareketi sırasındaki ortalama açısal hızı ters devirdekenden 19 derece/s fazladır. Düz devir hareketi VKM'nin 130 derece/s'lik açısal hızıyla başlarken ters devir başladığında VKM'nin açısal hızı 117 derece/s'dir. Düz devirde VKM'nin açısal hızı, vücut en alt noktayı geçmeden hemen önce maksimum değerine ulaşırken ters devirde en alt noktayı geçtikten hemen sonra maksimum değerine ulaşmaktadır. VKM maksimum açısal hızına ulaştıktan sonra düz devirde 168 derece/s, ters devirde 154 derece/s azalmaktadır.

Devir hareketlerinde eklem kuvvetlerinin Y ve X bileşenleri eklemlerin Z eksenini etrafında dönmesine neden olmaktadır. Şekil 4.29'da düz devir hareketi boyunca, Şekil 4.30'da ters devir hareketi boyunca eklem momentlerinin büyüklükleri ve değişimleri gösterilmektedir. Katılımcıların düz ve ters devirde eklem kuvvet ve momentleri sırasıyla Ek-B.5 ve Ek-B.4'te verilmiştir.



Şekil 4.29: Düz devirde eklemlere etki eden momentler.

Düz devir hareketinin hazırlık evresinde, omuz ve kalça eklemlerinde meydana gelen ekstansiyon ve fleksiyon hareketi gövde ve üst bacak üyelerinin ivmelenmesine neden olmaktadır. Böylece eklem momentlerinde bir artış görülmektedir. Hareketin uzama evresinde, kalça eklemindeki ekstansiyon ve omuz ve diz eklemlerindeki fleksiyon hareketleriyle birlikte eklem momentleri negatif yönde en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Yaklaşma evresinde omuz ve kalça eklemlerinde ekstansiyon ve fleksiyon hareketlerinin başlamasıyla birlikte eklem momentleri pozitif yönde artarak bu yönde en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Hareketin toparlanma evresinde ağırlık pozisyonunu sağlamak için omuz ekleminde fleksiyon, kalça eklemine ekstansiyon hareketi gerçekleşmekte, bu da eklem momentlerinin negatif yönde artmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.30: Ters devirde eklemlere etki eden momentler.

Ters devir hareketinin hazırlık ve ikinci geçiş evrelerinde kalça ve omuz eklemlerinde meydana gelen fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri eklem momentlerinin artmasına neden olmaktadır. Ters devirde en büyük eklem momenti uzama evresinde el bileğinde ortaya çıkmaktadır. Yaklaşma evresinde kalça eklemi fleksiyon hareketine başlayıp üst bacakta ivmeli bir harekete neden olarak eklem momentlerini pozitif yönde arttırmaktadır. Yine kalça ekleminde meydana gelen ekstansiyon hareketiyle birlikte alt ekstremite üyeleri ivmelenirken omuz eklemindeki fleksiyon hareketi toparlanma evresinde eklem momentlerini arttırmaktadır. Yaklaşma ve toparlanma evresinde kalça ve omuz eklemlerindeki fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri arasında geçiş evreleri yer almaktadır. Bu nedenle bu evrelerde kalça eklemi fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerini omuz eklemindeki ekstansiyon ve fleksiyon hareketlerinden önce tamamlamaktadır. Böylece geçiş evrelerinde eklemler üzerinde moment, hareketin uzama ve yaklaşma evrelerindeki göre daha az etkili olmaktadır.

Tablo 4.4: Devir hareketlerinin evrelerinde eklem momentlerinin maksimum değerleri.

Evre	Moment (Nm)							
	Hazırlık		Uzama		Yaklaşma		Toparlanma	
Devir	Düz	Ters	Düz	Ters	Düz	Ters	Düz	Ters
El bileği	683	931	1400	-1446	-2675	-2205	-1736	1350
Dirsek	568	767	1140	-1197	-2164	-1840	-1377	1195
Omuz	417	552	774	-910	-1532	-1436	-932	950
Kalça	161	202	-330	-452	-686	-695	-337	327
Diz	52	63	-132	-160	-225	-248	-97	96
Ayak bileği	3	4	8	-8	-11	18	5	5

Negatif moment saat yönünde, pozitif moment saat yönünün tersinedir.

Tablo 4.4 incelendiğinde devir hareketlerinde en büyük momentin el bileğinde ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Düz ve ters devirde el bileğinde en büyük moment yaklaşma evresinde ortaya çıkmaktadır. Ters devir hareketinin hazırlık ve uzama evrelerinde eklem momentleri düz devirdekenden yüksek olmakla birlikte düz devir hareketinin yaklaşma ve toparlanma evresindeki eklem momentleri ters devirdekenden yüksektir.

5. TARTIŞMA

Barfikste devir hareketlerinin temel amacı düz vücut pozisyonunu koruyarak barın etrafında tam tur dönüş gerçekleştirmektir. Devir hareketleri barfikste yapılan en temel salınım hareketleri olmakla birlikte el bırakışlı hareketlere ve bitiriş hareketlerine hazırlık amacıyla kullanılmaktadırlar. Barfikste yapılan diğer tüm hareketlerin bağlantısı da devir hareketleriyle gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle devir hareketlerinin dinamiği, kendinden sonra gerçekleştirilecek hareketin performansını doğrudan etkilemektedir. Barfikste el bırakışlı hareketlerin ve bitiriş hareketlerinin dinamiğini inceleyen çalışmaların birçoğunda düz devir hareketinin mekaniği açıklanmıştır. Bu çalışmalarda genellikle vücudun üç boyutlu, 4 üyeli (kol, gövde, üst bacak, alt bacak) mekanik modelleri oluşturularak düz devir hareketi sırasında eklem kinematiklerinin değerlendirildiği ve benzeşim çalışmalarının gerçekleştirildiği görülmektedir (22, 23, 24, 36, 42). Bazı araştırmalarda, düz devir hareketinin mekaniğini incelemek için oluşturulan benzeşim modellerinde barın davranışının da modellendiği görülmektedir (3, 22, 23, 24, 42). Yalnızca bir çalışmada ters devir hareketi kullanılarak gerçekleştirilebilen Jager hareketi sırasında eklemlerin açısal kinematiği incelenmiştir (21). Buradan hareketle de insan vücudunun üç boyutlu, 16 üyeli benzeşim modeli oluşturularak çift saltolu Jager hareketinin performans parametreleri ileri dinamik analiz yöntemiyle kestirilmiştir. Bir başka üç boyutlu çalışmada da vücudun 15 üyeli bağlantılı üye modeli oluşturulmuş ve Tkatchev hareketinden önce yapılan düz devir hareketi sırasında eklemlere etki eden momentler incelenmiştir (3). Bu çalışmada ise düz ve ters devir hareketleri, insan vücudunun sagittal düzlemde üç boyutlu bağlantılı üye (ön kol, üst kol, kafa, gövde, üst bacak, alt bacak, ayak) mekanik modeli oluşturularak incelenmiştir. Oluşturulan biyomekaniksel modelde, devir hareketlerinin dinamiğini etkilediği düşünülen kafa ve ayak üyeleri de yer almıştır. Kafa ve ayak üyeleri toplam vücut ağırlığının % 9.5'ini oluşturmaktadır (Bkz. Tablo 4.1). Literatürde düz ve ters devir hareketlerinin kinematik ve kinetik yapısını benzeşim modeli yardımıyla karşılaştırarak inceleyen bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu tür bir incelemenin, cimnastikçilerin, barfikste yaptıkları serilerde neden düz devir hareketini daha fazla kullandıklarını anlamada önemli olduğu düşünülmüştür. Literatürde yer alan düz devir hareketlerinin iki boyutlu incelemelerinde kafa ve ayak

üyelerinin oluşturulan mekanik modellerde yer almadığı görülmektedir. Yalnızca bir çalışmada düz devir hareketi sırasında vücudun mekanik enerjisinin değişimi kafa ve ayak üyeleri de hesaba katılarak incelenmiştir (32).

Benzeşim modelinde girdi olarak yer alan üye eylemsizlik özellikleri ile üye ve eklem açısız kinematikleri beş cimnastikçinin düz ve ters devir performanslarından elde edilen verilerin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Düz ve ters devir hareketleri sırasında eklemlerin açısız hareketleri tüm katılımcılarda benzerdir (Bkz. Şekil 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 ve 4.23). Her iki devirde de dirsek ve ayak bileği eklemlerinde ciddi bir açısız değişim meydana gelmediği görülmüştür. FIG kuralları gereği devir hareketleri sırasında dirseğin ekstansiyonda, ayakucunun ise devamlı maksimum plantar fleksiyon halinde olması gerekliliği (18) göz önüne alındığında devir hareketleri sırasında dirsek ve ayak bileği eklemlerindeki açısız değişimin sınırlı olması normaldir. Diz eklemindeki fleksiyon hareketi, dirsek ve ayak bileği eklemlerinde olduğu gibi FIG kuralları gereği total performans puanı üzerinden 0.1 veya 0.3 kesinti ile cezalandırılmaktadır (18). Bu nedenle devir hareketleri boyunca diz eklemine de herhangi bir fleksiyon hareketi olmaması beklenmekteydi. Ancak hareketlerin uzama evresinde, diz eklemine ortalama 22°'lik fleksiyon hareketi gerçekleştiği ortaya çıkmıştır (Bkz. Şekil 4.22). Diz eklemine bu açısız hareketin oldukça hızlı gerçekleşmesi nedeniyle düşük hızlı kameralarla yapılan çalışmalarda görülemediği düşünülmektedir. Düz ve ters devir hareketlerinin farklı evrelerinde kalça, omuz ve boyun eklemlerinde dört farklı hareket meydana gelmektedir. Bu dört farklı hareket fleksiyon, hiperfleksiyon, ekstansiyon ve hiperekstansiyon hareketlerinin kombinasyonları şeklindedir (Bkz. Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21).

Ters devir hareketinin ilk 20°'lik rotasyonunda omuz ve kalça eklemlerinde sırasıyla meydana gelen 3°'lik fleksiyon ve ekstansiyon hareketi dikkat çekmektedir. Hareketin henüz başında omuz ve kalça eklemlerinde meydana gelen bu fleksiyon ve ekstansiyon hareketinin, bir önceki ters devir hareketinin geç tamamlanıyor olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Devir hareketlerinin hazırlık evresinde omuz eklemi ekstansiyon, kalça eklemi fleksiyon hareketi yapmaktadır. Omuz ve

kalçadaki bu ekstansiyon ve fleksiyon hareketleri neticesinde sporcunun VKM'si bara yaklaşırken vücudun eylemsizlik momenti bu evrede azalmaktadır. Böylece sporcu alt salınma daha büyük bir hızla yaklaşmayı hedeflemektedir. Uzama evresinde kalça ve omuz eklemlerinde sırasıyla ekstansiyon ve fleksiyon hareketinin gerçekleşmesiyle birlikte vücudun eylemsizlik momenti yeniden artmakta ve eklemlere etki eden momentler bu noktadan sonra en yüksek değerlerine ulaşmaktadır (Bkz. Şekil 4.29 ve 4.30).

VKM, devir hareketleri sırasında gerçekleşen eklem hareketleri nedeniyle bara yaklaşmakta veya uzaklaşmaktadır. Devir hareketlerinin yaklaşma evresinde kalça ve omuz eklemlerinde art arda meydana gelen hiperfleksiyon ve ekstansiyon hareketiyle birlikte VKM bara en yakın konumuna ulaşmaktadır. Bu bölümde omuz eklemindeki ekstansiyon, kalça eklemindeki fleksiyon hareketi VKM en alt noktayı geçtikten sonra gerçekleşmektedir. Kalça eklemindeki ekstansiyon hareketi her iki devirde de omuz eklemindeki fleksiyondan önce ve VKM henüz en alt noktaya gelmeden tamamlanmaktadır. Literatürde de cimnastikçilerin en alt noktaya yaklaşırken omuz ekleminde fleksiyon, kalça ekleminde ekstansiyon hareketi yaptıkları ve omuz eklemindeki ekstansiyon hareketinin kalça eklemindeki fleksiyonu takiben gerçekleştiği belirtilmektedir (4, 27, 35). Düz ve ters devirdeki eklem hareketleri ve bu hareketlerin zaman aralıkları literatürü destekler niteliktedir (27, 3, 36). Omuz ekleminde fleksiyon, kalça ekleminde hiperekstansiyon hareketinden sonra kalça ekleminde gerçekleşen fleksiyon hareketiyle birlikte her iki devirde eklem momentleri en yüksek değerlerine ulaşmaktadır (Bkz. Tablo 4.4). Bu bulgu da literatürü destekler niteliktedir. Hareketlerin bu evresinde en büyük moment el bileği ekleminde (düz devirde -2675 Nm, ters devirde -2205 Nm). Ters devir hareketinin yaklaşma evresinde kalça fleksiyon ve omuz ekstansiyon açıları düz devirdekinden daha büyük olduğu için ters devir hareketinin yaklaşma evresinde VKM bara daha yakın geçmektedir (Bkz. Şekil 4.24 ve 4.25). Kalça ekleminde fleksiyon, omuz eklemindeki ekstansiyon hareketleriyle beraber VKM'nin bara yaklaşması vücudun dönme merkezi olan bara göre eylemsizlik momentinin azalmasına neden olmaktadır. Böylece sporcu vücudunu üst salınım evresine taşımayı başarmaktadır.

VKM'nin düz devirdeki ortalama açısal hızı ters devirdekinden 19 derece/s fazladır. Kalça ve omuz eklemlerinin açısal hızları VKM'nin açısal hızını etkilemektedir. Düz devirin yaklaşma evresinde omuz ve kalçada gerçekleşen ekstansiyon ve fleksiyon hareketleri cimnastikçinin dönüş yönünde olduğu için VKM'nin açısal hızı dönüş yönünde artmaktadır. Fakat ters devirin yaklaşma evresinde cimnastikçi kalça ve omuz eklemlerinde dönüş yönünün tersine doğru fleksiyon ve ekstansiyon hareketi yapmaktadır ve bu da cimnastikçinin dönüş hızını azaltmaktadır. Bunun yanı sıra ters devirde omuz ve kalça eklemlerinin fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri düz devirdekine göre daha geç tamamlanmaktadır. Eklem hareketlerindeki bu gecikme nedeniyle VKM düz devirde en alt noktaya varmadan maksimum hıza ulaşırken ters devirde en alt noktayı geçtikten sonra ulaşmaktadır (Bkz. Şekil 4.28). Bu nedenlerden dolayı düz devir hareketi ters devir hareketinden daha hızlı tamamlanmaktadır. Cimnastikçiler seri sonuna yaklaştıkça yorulurlar, bu nedenle de bitiriş hareketlerine hazırlık amacıyla yapılan devir hareketinde gerekli hıza ulaşmakta zorluk çekerler. Düz devir hareketinde daha yüksek bir hıza ulaşıyor olması cimnastikçiye bir avantaj sağlamaktadır (35). Dolayısıyla bu bulgu, cimnastikçilerin özellikle de bitiriş hareketlerinden önce niçin düz devir hareketini tercih ettiklerini ortaya koymaktadır.

Cimnastikçiler devir hareketlerinin hızını temel olarak kalça ve omuz eklemlerindeki hareketler ile kontrol etmektedirler fakat modelde yer alan boyun ekleminin açısal değişimi, özellikle ters devirde oldukça fazladır (Bkz. Şekil 4.20). Düz devir tekniği sporculara öğretilirken sporcuların hareket boyunca gözleriyle barı takip etmeleri gerektiği söylenmektedir. Bunun amacı kafanın mümkün olduğunca kolların arasında yer almasını, böylece VKM'nin devir hareketi boyunca bara daha yakın olmasını sağlamaktır. Benzeşim modelinde kafanın ağırlığı tek bir noktada toplanarak gövdenin proksimal ucuna bir eklemlerle (boyun) bağlanmıştır. Bu nokta, kafa üzerine yerleştirilen üç yansıtıcı işaretin orta noktasıdır ve kafayı temsil etmektedir. Bu noktanın devir hareketleri sırasındaki konumu incelendiğinde baş ve boyunun amuttaki normal pozisyonda 38° - 40° derece ekstansiyonda olduğu görülmektedir. Düz devir hareketinin ilk 65° 'lik rotasyonunda boyun eklemindeki fleksiyon hareketi kalça ekleminde meydana gelen fleksiyon hareketleriyle

paraleldir. Bu evrede bara yaklaşmak isteyen sporcu kafasını da vücuduna yaklaştırmaktadır fakat baş ve boyun açısı hiçbir zaman 0° 'lik bir açıya inmemektedir (Bkz. Şekil 4.20). Uzama evresinin ilk 70° 'lik bölümünde baş ve boyun bir miktar daha fleksiyon hareketi yaptıktan sonra kalça eklemindeki ekstansiyonla birlikte eski pozisyonuna geri dönme eğilimindedir. Bu noktada alt ekstremitte üyelerinin saat yönünün tersindeki ivmeli hareketleri (omuzda ekstansiyon ve kalçada fleksiyon) nedeniyle boyun ekleminde bir ekstansiyon hareketi görülmektedir. Böylece eski pozisyonuna dönen baş ve boyun, toparlanma evresinde kalçadaki ekstansiyon hareketine paralel olarak 22° 'lik bir fleksiyon hareketi daha yapmaktadır. Aslında bu hareket kafayı vücuda yaklaştırarak vücudun eylemsizliğini küçültme amaçlıdır. Cimnastikçi yaklaşma evresinde bara mümkün olduğunca yakın olmaya çalışmaktadır. Baş ve boynun ters devir hareketindeki açısal davranışı düz devirdekine benzer olmasına rağmen ters devirdeki açısal değişimi daha fazladır. Hareketin hazırlık evresinde boyun eklemindeki fleksiyon hareketi, kalça ekleminin normal açısal pozisyonu olan 180° 'ye gelmesiyle sona ermektedir. Bu noktadan sonra baş ve boynun hareketi düz devirdekine benzerdir. Her iki devir hareketinde de boyun ekleminin açısal hareketinin, kalça eklemindeki açısal harekete paralel olarak değiştiği söylenebilir. Tüm bunlar göz önüne alındığında, baş ve boynun açısal hareketinin devir hareketlerinin kontrol mekanizmalarından biri olduğu ortaya çıkmaktadır (Bkz. Şekil 4.20). Vücut ağırlığının % 8.1'ini oluşturan kafa üyesinin, literatürde yer alan düz devir hareketinin iki boyutlu incelemelerinde ihmal edilerek oluşturulan mekanik modellerde yer almadığı görülmektedir (22, 23, 24, 37, 42) fakat bu çalışmanın bulguları doğrultusunda devir hareketlerinin bundan sonraki biyomekanik analizleri için oluşturulacak insan vücudu modellerinde kafa üyesinin de yer alacağı düşünülmektedir.

Cimnastikçiler ters devirden önce düz devir hareketini öğrenmektedirler (17). Bunun nedeni, Küçükler kategorisindeki mecburi serilerde yer alan kipe ve geriye salto hareketlerinin düz salınım hareketi kullanılarak yapılıyor olmasıdır. Dolayısıyla cimnastikçiler barfıkste “elan” diye tabir edilen hareket kalıbını önce düz salınımda kullanmaktadırlar. Düz salınımda elin barı kavrama biçimi ters devirdekine göre daha doğaldır. Bu sayede düz devirde, kalça ve omuz eklemlerinde kolaylıkla açısal

değişiklikler yapılabilmektedir. Bu avantaj nedeniyle cimnastikçiler düz devir hareketini seri içerisinde daha fazla kullanmaktadırlar. Düz ve ters devirde, boyun eklemi hariç tüm eklemler benzer açısal aralıklarda hareket etmektedir (Bkz. Şekil 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 ve 4.23). Fakat düz devirde, kalça eklemindeki fleksiyon ve omuz eklemindeki ekstansiyon hareketleri dönüş yönünde yapılırken ters devirde bunun tam tersi bir durum söz konusudur. Yani cimnastikçi düz ve ters devirde alt salınım sırasında bardan uzaklaşmak için omuz ekleminde fleksiyon ve kalça ekleminde ekstansiyon hareketini, VKM en alt noktayı geçtikten sonra ise bara yaklaşmak için aynı eklemlerde sırasıyla ekstansiyon ve fleksiyon hareketlerini uygulamaktadır fakat hareketlerin dönüş yönleri birbirine zıttır. Düz devir hareketi göz önüne alınarak düşünüldüğünde ters devir hareketinin yaklaşma evresinde, kalça ekleminde hiperekstansiyon hareketinin gerçekleşmesi beklenir. Fakat bunun yerine ters devir hareketinin yaklaşma evresinde sporcu kalça ve omuz eklemlerinde sırasıyla fleksiyon ve ekstansiyon hareketi yaparak VKM'sini bara daha alt bir noktada yaklaştırmaktadır. Bunun nedeni kalça ekleminde fleksiyon, omuz ekleminde ekstansiyon hareketlerinin daha geniş bir açısal aralıkta uygulanabiliyor olmasıdır. Bu nedendir ki en hızlı düz ve ters devir hareketini uygulamaları istenen cimnastikçiler düz devir hareketini daha hızlı tamamlamışlardır (Bkz. Şekil 4.1). Üye açısal ivmeleri düz devir hareketinde daha yüksek olduğu için eklemlerdeki moment değerleri düz devirde daha yüksektir.

Sporcu, düz vücut (amut) pozisyonunu korumak ve vücut üyelerini hareketlendirmek için kaslarını kullanarak eklemlere kuvvet uygulamaktadır. Bu kuvvetler eklemlerde momente neden olur. Düz devir hareketinin uzama evresinde kalça ekleminde ekstansiyon, omuz ekleminde fleksiyon ve diz eklemindeki ekstansiyon hareketi vücudun toplam momentini arttırmaktadır. İkinci geçiş evresinde omuz eklemindeki fleksiyon hareketinin tamamlanmasıyla birlikte tüm eklemlerdeki momentler negatif yönde en yüksek değerlerine ulaşmaktadır (Bkz. Tablo 4.4). Ayak bileği ve diz eklemlerindeki açısal hareket, omuz ve kalça eklemlerine oranla küçüktür. Bu nedenle hareket boyunca ayak bileğindeki momentler neredeyse 0 (sıfır) Nm'dir. Uzama evresinde diz eklemindeki fleksiyon, yaklaşma evresindeki ekstansiyon hareketleri diz eklemindeki momentin artmasına

neden olmaktadır. Yaklaşma evresinde omuz ekleminde ekstansiyon hareketinin başlamasıyla birlikte eklemlere etki eden momentler yön değiştirerek ikinci büyük değerlerine ulaşmaktadır. Bu momentler toparlanma evresinde kalça eklemindeki ekstansiyon hareketi tamamlanmaya kadar eklemler üzerinde etkilidir. Bu sayede sporcu, vücut pozisyonunu koruyarak yerçekimi ivmesine zıt yönde bir hareketi tamamlayabilmektedir. Ters devirin uzama evresinde kalça eklem açısının 180° 'yi geçerek ekstansiyona başlamasıyla birlikte eklem momentleri negatif yönde artmaktadır. İkinci geçiş evresinde omuzdaki fleksiyon tamamlanmaktadır. Yaklaşma evresinde kalça ve omuz eklemlerinde sırasıyla ekstansiyon ve fleksiyon hareketinin başlaması ile beraber eklemlere etki eden momentler en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Bu evredeki eklem moment büyüklüklerinin düz devirdekilerle karşılaştırıldığında daha az olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle sporcunun ters devirde VKM en alt noktayı geçtikten sonra omuz eklemindeki ekstansiyon açısını arttırarak vücudunu üst salınımına taşımak için bara daha çok yaklaştığı düşünülmektedir. Yaklaşma evresinin bir bölümünde omuz, diz, el bileği ve dirsek eklemlerindeki momentlerin bu eklemlere negatif yönde etki ederken kalça eklemindeki momentin pozitif olması dikkat çekmektedir. Bunun nedeni bu bölümde kalça eklemine ekstansiyona başlarken omuz ekleminde de ekstansiyon hareketinin başlıyor olmasıdır. Hareketin toparlanma evresinde gerçekleşen eklem hareketleri (kalçada ekstansiyon, omuzda fleksiyon) sporcunun harekete başladığı amut pozisyonunu geri kazanmasını sağlamaktadır.

Eklemlere etki eden momentler devir hareketlerinin evrelerine göre incelendiğinde hazırlık ve uzama evrelerindeki eklem momentlerinin ters devirde daha yüksek olduğu görülmektedir (Bkz. Tablo 4.4). Fakat yaklaşma ve toparlanma evrelerinde eklem momentleri düz devirde daha yüksektir. Buradan hareketle cimnastikçinin ters devirde, alt salınımına mümkün olan en yüksek hıza sahip olarak ulaşmak için düz devirdekine göre daha büyük çaba sarf ettiği söylenebilir. Düz devirde ise yaklaşma ve toparlanma evrelerindeki eklem momentleri ters devirdekinden yüksek bulunmuştur. Bu evrelerde yapılan eklem hareketleri vücudun dönüş yönünde gerçekleştiği için daha hızlı yapılabilmektedirler. İnsan vücudunun koronal düzlemde kalça fleksiyon ve omuz ekstansiyon hareketlerinde bu

hareketlerin tersine göre anatomik olarak avantajlı olduğu düşünüldüğünde eklem momentlerinin düz devirin yaklaşma ve toparlanma evrelerinde ters devirdekine göre daha yüksek olması beklenen bir sonuçtur.

Çalışmada düz ve ters devir performansının büyük bölümünün kalça ve omuz eklemlerindeki fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerine bağlı olarak değiştiği bulunmuştur. Bu bulgu literatürdeki araştırmaların sonuçlarıyla paralellik göstermektedir (4, 27, 31, 42). Devir hareketleri sırasında en büyük moment el bileği ekleminde, sırasıyla hareketin uzama-yaklaşma (kalça ekleminde ekstansiyon hareketinin bitişi) ve yaklaşma-toparlanma (kalça ekleminde fleksiyon hareketinin başlangıcı) evrelerinde bulunmuştur. Eklem hareketlerinin zamanlaması ve en büyük momentlerin gözlemlendiği evreler literatürdeki bulguları desteklemektedir. Omuz ve kalça eklemlerindeki momentler hareketlerin uzama evresinde eklem açılarının küçülmesini, yaklaşma evresinde ise bu açıların büyümesini önlemektedir (42). Böylece cimnastikçi bir tam devir hareketini tamamlayabilmektedir.

Literatürde en büyük momentin, düz devir hareketinin uzama evresinde omuz ve kalça eklemlerinde sırayla gerçekleşen fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri sırasında omuz ekleminde ortaya çıktığı belirtilmektedir (3, 36, 42). Devir hareketleri sırasında eklemlerde meydana gelen fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri ve bu hareketlere neden olan eklem momentlerinin yönü Tablo 5.1’de gösterilmektedir.

Tablo 5.1. Devir hareketlerinde eklem hareketleri ve ekleme etki eden momentin yönü.

	Düz Devir		Ters Devir	
	Eklem Hareketi			
	Fleksiyon	Ekstansiyon	Fleksiyon	Ekstansiyon
El bileği	-	+	+	-
Dirsek	+	-	+	-
Omuz	-	+	-	+
Kalça	+	-	+	-
Diz	-	+	-	+
Ayak bileği	+	-	+	-

Bu çalışmada oluşturulan mekanik modelde bar-el bağlantısı el bileği eklemi olarak kabul edilerek sporcunun önkolu bara bir eklem ile bağlanmıştır. Ters dinamik analiz yöntemiyle el bileği eklemi, önkol üyesinin açısai kinematiği ile beslenmiştir. Bu nedenle devir hareketleri sırasındaki en büyük momentler el bileği ekleminde ortaya çıkmaktadır. Fakat literatürde yer alan çalışmalarda el bileği eklemi genellikle yay ve damper özelliğinde bir kuvvet elemanı olarak modellenmiştir (22, 23, 24, 25, 26, 41, 42). Bu nedenle bu çalışmada devir hareketleri sırasında en büyük eklem momentinin el bileği ekleminde görülmesi doğaldır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Barfikste düz ve ters devir hareketlerinin biyomekanik analizi ve modellenmesi amacıyla yapılan bu çalışmanın bulguları doğrultusunda ulaşılan sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Baş ve boynun özellikle de ters devir hareketindeki açısal değişimi göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür. Kafa üyesinin devir hareketleri sırasında vücut kontrolünde önemli bir rol oynadığı ortaya çıkmıştır.
2. Özellikle kalça ve omuz eklemlerinin, uzama ve yaklaşma evrelerindeki kinetiği ve kinematiği, başarılı devir performansını doğrudan etkilemektedir. Ters devirde dönüş yönünün tersi yönünde gerçekleşen kalça ve omuz eklem hareketlerinin vücut kütle merkezinin açısal hızını düşürdüğü, bu nedenle de cimnastikçinin bara daha çok yaklaşıp vücudunun eylemsizlik özelliğini azaltarak kendini barın üstüne doğru taşımaya çalıştığı görülmüştür.
3. Cimnastikçilerin düz devir hareketini, ters devir hareketine göre daha hızlı tamamladıkları ortaya çıkmıştır. Cimnastikçilerin uçuşlu ve bitiriş hareketleri için yüksek açısal hızlara sahip olmaları gerekliliği göz önüne alındığında bu durum, düz devir hareketinin barfikste neden ters devir hareketine göre daha sık kullanıldığını açıklamaktadır.
4. Cimnastikçinin, yerçekimi kuvvetini yenerek düz vücut pozisyonunu korumak için hareketin her anında kaslarıyla kuvvet uygulayarak bu momenti dengelediği görülmüştür. Ortaya çıkan eklem momentlerinin başarılı bir devir performansını tanımlayıcı nitelikte olduğu söylenebilir.
5. Ayak bileği ve dirsek eklemlerinin devir hareketleri boyunca oldukça kısıtlı bir açısal harekete sahip olup devir hareketinin dinamiği üzerinde sınırlı bir etkiye sahip oldukları ortaya çıkmıştır.

6. Cimnastikçilerin devir hareketleri sırasında üyelerinin ve eklemlerinin genel davranışının benzer olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle cimnastikçilerin ortalama üye ve eklem kinematiği benzeşim modelinde girdi olarak yer alarak tüm katılımcıların düz ve ters devir hareketlerini başarılı bir şekilde temsil etmiştir.
7. Düz devirde eklem kuvvet ve momentleri literatürde belirtilen değerlerden yüksek bulunmuştur. Cimnastikçilerin ters devirde alt salınma gelirken daha çok kuvvet harcadıkları, üst salınımda ise düz devirdekine göre daha az bir kuvvet uygulayarak amut pozisyonuna ulaştıkları görülmüştür.
8. Cimnastikçilerin temel olarak uzama ve yaklaşma evrelerinde kalça, omuz ve boyun eklemlerinde gerçekleştirdikleri hareketler ile alt salınımdan üst salınıma geçerek hareketleri tamamladıkları görülmüştür.
9. Barı kavrama biçiminin devir hareketinin dinamiğini etkilediği ortaya çıkmıştır. Bu etki, eklemlerin kinematiğinde, dolayısıyla da devir hızlarında görülmüştür.
10. Diz eklemi, devir hareketlerinin uzama evresinde fleksiyon, yaklaşma evresinde de ekstansiyon hareketi yaparak alt bacak ve ayak üyelerinin kinematiğini etkilemektedir.

Sonuç olarak düz ve ters devir hareketlerinin yedi üyeden oluşan katı cisim dinamik modeli tasarlanmış ve hareketlerin benzeşimi ters dinamik yöntemle bu model kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu model geliştirilerek benzeşim çalışmalarında kullanılabilir.

6.2. Öneriler

Bu çalışmada, barfikste düz ve ters devir hareketlerinin kinetik ve kinematik yapısı insan vücudunun üç boyutlu bağlantılı üye mekanik modeli oluşturularak incelenmiştir. Bu model SimMechanics kütüphaneleri kullanılarak oluşturulmuş ve ters dinamik analiz yöntemiyle devir hareketlerinin benzeşimi gerçekleştirilmiştir. Görüntü analiziyle eklem ve üyelerin açısal kinematiği, beş katılımcının devir performansı üzerinden belirlenmiştir. Bu aşamada, devir hareketleri sırasında barın yatay ve dikey eksenlerdeki hareketi (esnemesi) dikkat çekmiştir. Eklemlerdeki kuvvet ve moment dağılımının daha net ortaya konması için barın da modellenmesi uygun olacaktır. Bar davranışının da sisteme dâhil edilmesiyle daha doğru bir analiz gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir. Katılımcıların devir performanslarının video kayıtları incelendiğinde dikkat çeken bir diğer nokta da gövde üyesinin hareketidir. Gövde, kalça ve omuz eklemleri arasında yer alan tek parçalı bir üyedir fakat özellikle omuz ve kalça eklemlerindeki açısal değişimle birlikte gövde yay şeklini almaktadır. Bu nedenle gövdenin, bağlantılı iki katı cisim olarak modellenmesi önerilmektedir. Ayak bileğindeki açısal değişimin oldukça sınırlı olması nedeniyle devir hareketinin mekaniğini incelemek için oluşturulacak modellerde ayak üyesi ihmal edilebilir. Dirsek ekleminde de herhangi bir açısal değişim söz konusu değildir. Bu nedenle önkol ve üst kol tek başına kol üyesi olarak düşünülebilir. Katılımcıların birden fazla devir performansı incelenebilir; bu sayede dönüş hızını arttırmak için vücut üye ve eklemlerinde ne gibi açısal değişiklikler yapıldığı görülebilir. Oluşturulan bu benzeşim modeli, ters dinamik yöntemle hesaplanan eklem kuvvet ve momentleri ile beslenerek benzeşim çalışmalarında kullanılabilir. Ayrıca devir hareketlerinin üç boyutlu analizi gerçekleştirilebilir. Bu sayede hareket simetrisindeki herhangi bir bozukluğun ortaya çıkacağı ve bunun devir hareketi çalışan sporcular için yönlendirici olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Allard, P. A., Stokes, I. A. ve Blachi, J. P. (1995). Three-Dimensional Analysis of Human Movement, s: 201, *Human Kinetics*, USA.
2. Amca, A. M. (2007). Statik Durumlarda Kaya Tırmanışına Sonlu Elemanlar Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
3. Arampatsiz, A. ve Brüggemann G. P. (1998). A mathematical high bar – human body model for analysing and interpreting mechanical – energetic processes on the high bar. *Journal of Biomechanics*. 31, 1083-1092.
4. Arampatsiz, A. ve Brüggemann, G. P. (2001). Mechanical energetic processes during the giant swing before the Tkatchev exercise, *Journal of Biomechanics* 34: 505 – 512.
5. Aykroyd, P. (1984). *Cimnastik*. (çeviri: S. Mengütay), 1. Baskı, Adam Yayıncılık, sf: 80, İstanbul.
6. Bartlett, R. (2007). Analysing Human Movement Patterns. *Introduction to Sports Biomechanics*. ISBN 0-203-46202-5, p: 119-120.
7. Bauer, W. L. (1983). Swinging as a way of increasing the mechanical energy in gymnastic maneuvers. In H. Matsui, K. Kobayashi, Biomechanics VIII-B pp. 801-806, Champaign, IL: *Human Kinetics*.
8. Begon, M., Wieber, P. B. ve Yeadon, M. R. (2008). Kinematics estimation of straddled movements on high bar from a limited number of skin markers using a chain model. *Journal of Biomechanics* 41; 581-586.
9. Brüggemann, G. P., Cheetham, P. J., Alp, Y., ve Arampatzis, A. (1994). Approach to a biomechanical profile of dismounts and release-regrasp skills of the high bar. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 291-312.
10. Brüggemann, G. P. (2005). Biomechanical and Biological Limits in Artistic Gymnastics. ISBS/ Beijing, China. p: 15- 24.
11. Brüggemann, G. P. (1994). Biomechanics of gymnastic techniques. *Sport Science Review*, 3(2), 79-120.
12. Carr, G. (1997). Mechanics of Sport. *Human Kinetics*, ISBN: 0-87322-974-6.
13. Challis, J. H. (2007). Data Processing and Error Estimation. *Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise*. ISBN 0-203-93575-6 (9) Chapter 7:129-152.

14. Cheetham, P. J. (1984). Horizontal bar giant swing centre of gravity motion comparisons. Proceedings of the International Symposium of Biomechanics in Sports. pp. 99-108. Colorado Springs, CO: ISBS.
15. Čuk, I., Atiković, A., ve Tabaković, M. (2009). Tkachev salto on high bar. *Science of Gymnastics Journal*, 1(1), 5-13.
16. Dempster, W. T. (1955). Space requirements of the seated operator, USAF, WADC, Tech. Rep. 55-159, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
17. Faciabén, A. B. (2009). Changes in swing high bar performance and coordination: Skill acquisition and fine tuning skill. (Doctoral Thesis, Universitat de Barcelona).
18. FIG, [Fédération Internationale de Gymnastique] (2013). Code of Points – Men's Artistic Gymnastics.
19. Gervais, P. ve Tally, F. (1993). The beat swing and mechanical descriptors of three horizontal bar release regrasp skills. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 66-83.
20. Gordon D, Robertson, E. ve Caldwell, G. E. (2004). *Research Methods in Biomechanics, Human Kinetics*, ISBN: 0-7360-3966-X p:9-34
21. Heinen, T., Jeraj, D., Vinken, P. M., Knieps, K., Velentzas., K. ve Richter, H. (2011). What it takes to do the double Jaeger on the high bar. *Science of Gymnastics Journal*, 3(3): 7 – 18.
22. Hiley, M. J. ve Yeadon, M.R. (2005). Maximal dismounts from high bar. *Journal of Biomechanics*, 38 (11), 2221–2227.
23. Hiley, M. J. ve Yeadon, M. R. (2008). Optimisation of high bar circling technique for consistent performance of a triple piked somersault dismount. *Journal of Biomechanics*, 41 (8), 1730–1735.
24. Hiley, M. J. ve Yeadon, M. R. (2012). Achieving consistent performance in a complex whole body movement: The Tkatchev on high bar. *Human Movement Science*, 31: 834-843.
25. Hiley, M. J. ve Yeadon, M. R. (2001). Swinging around the high bar. *Physics Education: Physics in Sport*: 14-17.
26. Hiley, M. J., Yeadon, M. R. ve Buxton, E. (2007). Consistency of performances in the Tkatchev release and re-grasp on high bar. *Sports Biomechanics*, 6(2). 121-130.

27. Irwin, G. ve Kerwin, D. G. (2005). Biomechanical Similarities of Progressions for the Long swing on High Bar, 'Gymnastics', *Sports Biomechanics*, 4(2): 163 – 178.
28. Kerwin, D., Irwin, G., ve Exell, T. (2007). Straddle Tkatchev on high bar and uneven paralel bars. XXV ISBS Symposium, OuroPreto – Brazil. p:422 – 425.
29. Low, C. ve Cooke, C. (2008). Biomechanical similarities of longswings at varying speeds and the Kovacs action. ISBS Conference, July 14-18, Seoul, Korea.
30. Naundorf, F., Lehmann, T. ve Witte, K. (2010). Techniques to Start The Stoop Circle (Adler) on High Bar, International Symposium on Biomechanics in Sports.
31. Okamoto, A., Sakurai, S., Ikegami, Y., ve Yabe, K. (1987). Mechanical work in the giant swing on the horizontal bar. *Biomechanics XI-B*, pp. 758-762. Amsterdam: Free University Press.
32. Okamoto, A., Sakurai, S., Ikegami, Y. ve Yabe, K. (1989). The changes in mechanical energy during the giant swing backward on the horizontal bar. *Biomechanics in Sports*. V. Hellenic Sports Research Institute, Athens, pp. 338–345.
33. Otten, E. (2003). Inverse and Forward Dynamics: Models of Multi Body Systems, *Phil. Trans. Royal Society London*, 358, 1493-1500.
34. Payton, C. J. (2007). Motion Analysis Using Video. *Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise*. ISBN 0-203-93575-6 (9) Chapter 2:8-32.
35. Prassas, S, Kwon, Y.H. ve Sands, W. A. (2006). Biomechanical research in artistic gymnastics: a review, *Sports Biomechanics*, 5: 2, 261 — 291.
36. Sevrez, V., Berton, E., Rao, G. ve Bootsma, R. J. (2009). Regulation of pendulum length as a control mechanism in performing the backward giant circle in gymnastics, *Human Movement Science*, 28:250-262.
37. Sevrez, V., Berton, E., Rao, G. ve Bootsma, R. J. (2012). On the Organizing Role of Nonmuscular Forces During Performance of a Giant Circle in Gymnastics, *Journal of Applied Biomechanics* 28:57-62.
38. The MathWorks Inc. (2013). MATLAB & SIMULINK Getting started guide R2013b.

39. Welker, G.G. (1985). Introduction and history of gymnastics. *Clinics in Sports Medicine*, 4(1):3-5.
40. Yeadon, M. R. (1997). Twisting double somersault high bar dismounts. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 76- 87.
41. Yeadon, M. R. ve King M. A. (2007). Computer simulation modelling in sport. *Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise*. ISBN 0-203-93575-6 (9) Chapter9:176-205.
42. Yeadon, M. R. ve Hiley, M.J. (2000). The mechanics of the backward giant circle on the high bar, *Human Movement Science*, 19: 153-173.
43. Yeadon, M. R. (1990). The simulation of aerial movement. II. A mathematical model of human body. *Journal of Biomechanics*. 23, 67-40.
44. Zatsiorsky, V. M. (2002). *Kinetics of Human Motion*, Human Kinetics, USA.



T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
Genel Sekreterlik

Yazı İşleri Müdürlüğü

Sayı : 88600825

/ 432 - 3065

Konu :


03 EYL 2013

SPOR BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİSİ YÜKSEKOKULU MÜDÜRLÜĞÜNE

İlgi: 16.07.2013 tarih ve 690 sayılı yazınız.

Yüksekokulunuz Öğretim Üyelerinden **Yrd.Doç.Dr. Serdar ARITAN**'ın, sorumlu araştırmacı olduğu "**Barfikte Ters ve Düz Devir Hareketlerinin Biyomekanik Analizi**" konulu tez çalışması, Üniversitemiz Senatosu Etik Komisyonunun 27 Ağustos 2013 tarihinde yapmış olduğu toplantıda incelenmiş olup, etik açıdan uygun bulunmuştur.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.


Prof. Dr. Ömer UĞUR
Rektör a.
Rektör Yardımcısı

Ek: Tutanak

