

# Koparma Kaldırışının Biyomekanik Analizi için Mekanik Model Geliştirilmesi

## Development of Mechanical Model of Olympic Snatch for Biomechanical Analysis

Araştırma Makalesi

<sup>1</sup>Arif Mithat AMCA, <sup>2</sup>Erbil HARBİLİ, <sup>1</sup>Serdar ARITAN

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu, Biyomekanik Araştırma Grubu

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu

### ÖZ

**B**u çalışmanın amacı; Olimpik halterde koparma tekniğinin çekiş evresinin mekanik olarak modellenmesi, ters dinamik çözümleme ile eklemlere etkiyen kuvvetlerin ve hareketi sağlayan eklem torklarının hesaplanması ve çekiş evresinin incelenmesidir. Halterciyi temsil eden modelin oluşturulabilmesi için elit bir sporcunun koparma kaldırışı 4 adet yüksek hızlı kamera ile kaydedilmiş ve bu görüntüler sayısallaştırılarak sporcunun çekiş evresindeki eklem kinematikleri elde edilmiştir. SIMULINK (Mathworks MA, USA) sürüm 7.1 üzerinde SimMechanics (ver. 2.7.1) kütüphaneleri kullanılarak sporcunun sagittal düzlemde iki boyutlu mekanik modeli oluşturulmuştur. Model ters dinamik çözümlenmiş ve bu çözümleme sonrasında eklemler üzerinde etki eden kuvvetler ve torklar elde edilmiştir. Eklemlerde oluşan kuvvetlerin ve torkların bilinmesi, başarısız koparma kaldırışlarındaki mekanik problemlerin anlaşılmasında önemli bir yere sahiptir. Ayrıca bu veriler sporculara yaşanan sakatlıkların anlaşılması ve önlenmesi için yapılacak incelemelerde kullanıma da uygundur. Bu çalışmada oluşturulan model ve fonksiyonları SIMULINK ve MATLAB programları ile tanımlandıkları için kolaylıkla değiştirilebilir ve geliştirilebilirler.

### Anahtar Kelimeler

*Ters dinamik modelleme, Koparma, Biyomekanik, Simulink, SimMechanic*

### ABSTRACT

The purposes of this study were to model the pull phase in snatch and analyze the joint torques. A successful snatch by an elite weightlifter was captured with four high speed cameras. Pre-determined points on the weightlifter and barbell were digitized to calculate the angular kinematics of the joints. Two-dimensional multi-body model was created on the sagittal plane of the weightlifters by using the anthropometric values of the subject on the SimMechanics (ver. 2.7.1) libraries of SIMULINK (Mathworks MA, USA) ver. 7.1. This model was solved by inverse dynamic relations. Then joint forces and torques were calculated during the pull phase. These data are important to understand the mechanical problems in the unsuccessful snatch. Moreover, they are used to examine the reasons of the injuries seen in the weightlifters. Inverse dynamic model and its functions are written on the MATLAB and SIMULINK platform, so they are easily changed and improved.

### Key Words

*Inverse dynamic modelling, Snatch, Biomechanics, Simulink, SimMechanic*

Halter tüm dünyada yoğun ilgi gören Olimpik bir spordur. Her yıl farklı ülkelerden yüzlerce elit halterci uluslararası yarışmalarda ve şampiyonalarda yarışmaktadır. Sporcular, koparma kaldırışı sırasında vücut sınırlarını zorlamakta ve her yarışmada performanslarını daha ileriye taşımak için çabalamaktadır. Bu da performansı geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmasını gerektirmektedir. Haltercilerin kassal kuvvetlerini artırarak performans artışı sağlamaya yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Ama koparma sadece kuvvetin etkili olduğu bir spor dalı değildir. Aynı zamanda, teknik ve vücudun doğru hareketi de başarılı bir kaldırış için çok önemlidir (Gourgoulis ve diğ., 2000). Son yıllarda koparma kaldırışının teknik analizini yapmak, sakatlıkların nedenlerini araştırmak ve performansı geliştirmek için yapılan biyomekanik çalışmalarının sayısı giderek artmaktadır. Yapılan çalışmalarda genellikle bar ve vücut üyelerinin kinematikleri incelenmiş, farklı haltercilerin kinematik verileri karşılaştırılmıştır (Baumann ve diğ., 1988; Benito-Peinado ve diğ., 2007; Gourgoulis ve diğ., 2000; Isaka ve diğ., 1996). Bazı çalışmalarda, haltercinin güç çıktıkları, enerji değişimleri, yapılan iş ve bara uygulanan kuvvet değerleri yaş, cinsiyet, bar ağırlığı gibi değişkenlere bağlı olarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır (Burdett, 1982; Garhammer, 1980; Garhammer, 1982; Garhammer, 1991; Gourgoulis ve diğ., 2004; Harbili ve Arıtan, 2005; Harbili ve Arıtan, 2007). Ayrıca haltercinin kaldırış sırasında eklemlerine etkiyen kuvvetleri ve torkları hesaplamaya ve analiz etmeye yönelik ters dinamik modelleme çalışmaları da yapılmıştır (HARBİLİ ve ARİTAN, 2006; Shirzad ve diğ., 2005). Son yıllarda ise, kaldırışın eniyilemesinin yapılması üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Chen ve Cheng, 2007; Nejadian ve Rostami, 2007; Nejadian ve diğ., 2008; Salaami ve diğ., 2008).

Koparma tekniği barın platformdan sürekli bir hareket ile kaldırılmasını ve kolların baş üzerinde tam düz olduğu pozisyonda hakemler işaret verene kadar tutulmasını gerektirmektedir. Bununla beraber kaldırışın toparlanma aşamasında sporcunun kollarında bükülme olmaması, kaldırışın son aşamada omuzdan itiş ile tamamlanmaması ve son pozisyonda kolların tam açık olması zo-

runludur. Anatomik olarak kolları tam açılmayan sporcuların bu durumları belirlenmekte ve yarışma öncesinde hakemlere iletilmektedir (Garhammer, 1989; Yazıcı, 1997).

Koparma kaldırışı 1. çekiş, geçiş ve hazırlık, 2. çekiş, bar altına giriş, barı yakalama ve ayağa kalkış olarak altı aşamada incelenebilir (Baumann ve diğ., 1988; Gourgoulis ve diğ., 2000; Häkkinen ve diğ., 1984). Bu aşamalar barın dikey konumundaki değişikliklere ve diz eklemindeki açısal değişimlere bakılarak belirlenmektedir (Enoka, 1979). 1. çekiş evresi sporcunun barı yerden kaldırmasıyla başlar ve alt bacak kemiğinin yer ile yaklaşık 90 derecelik açıya ulaştığı noktada son bulur. Bu aşamada kollar gergindir ve aktif olarak kaldırışa katılmazlar. Kalkış bacaklar ile yapılır ve bar sporcunun diz seviyesinin biraz üzerine kadar çıkar. Geçiş ve hazırlık evresi barın biraz daha yukarı doğru çekildiği ve 2. çekiş için uygun vücut pozisyonunun alındığı evredir. Diz, barın altına doğru itilir ve barın yukarı hareketi devam ederken diz eklem açısında bir miktar azalma olur. Vücut ile kalkışa devam edilir ve bar femur kemiğinin uç noktasına kadar yükseltilir. Bu noktadan sonra 2. çekiş evresi başlar. Bacaklarından ve vücuttan kalkışa devam eden sporcu tam olarak doğrulur ve ağırlık merkezini ayak uçlarına doğru aktarmaya başlar. Sonrasında omuzların yukarı doğru hareketi gerçekleşir ve bara istenen hızı ve hareketi verecek kuvvet uygulanır. İkinci çekiş dizin ikinci maksimal ekstansiyonuna kadar sürer. Bu evrede bar yaklaşık olarak göğsün orta hizasına kadar çekilir. Sonraki aşamalarda bar serbest olarak hareketine devam ederken sporcuda barın altına girmeye ve barı yakalamaya çalışır (Yazıcı, 1997).

Koparma kaldırışında başarıyı belirleyen en önemli bölüm çekiş evresidir. Yapılan çalışmalarda başarılı bir koparma kaldırışı, ikinci çekişten sonra maksimum çekiş yüksekliği ve barın altına girme sırasında barda minimum yükseklik kaybı olarak tanımlanmıştır (Isaka ve diğ., 1996; Safrushahar ve diğ., 2002). Barın çekiş evresi sonrasındaki hareketi tamamıyla bu evrede bara uygulanan kuvvete bağlıdır. Sporcunun çekiş evresinde barı yeterli yüksekliğe çıkarması ve kendisine bar altına girecek süreyi sağlayacak kuvveti bara doğru yönde uygulaması gerekmektedir. Uygulanan kuvvetin gerekenden az olması durumunda; ba-

rın 2. çekiş sonrası havadaki hareket süresi daha kısa olacak ve sporcu uygun pozisyonda bar altına giriş için yeterli süreyi bulamayacaktır. Bu kuvvetin gerekenden fazla olması durumunda ise; ya yakalama pozisyonunda bar çok geride kalacak ya da bar daha yüksekte sporcu üzerine hareketlenerek yakalama pozisyonunda sporcuya daha fazla kuvvet uygulayacaktır. Bu değişiklikler, yakalama anında sporcuda omuz ve dirsek yaralanmalarına veya kaldırışta başarısızlıklara sebep olacaktır.

Bu çalışmada koparma kaldırışı için kolaylıkla parametreleri değiştirilebilecek bir halterci modeli oluşturulması ve bu modelin ters dinamik çözümlemesi yapılarak çekiş evresindeki hareketlerin ve bu hareketi sağlayan eklem torkları ve kuvvetlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## YÖNTEM

**Denek:** Çalışmaya, halter erkek milli takımında 69 kg kategorisinde yarışan, elit bir halterci koparma kaldırışı yapması için denek olarak alınmıştır.

**Veri toplama araçları:** Antropometrik ölçümlerde 1mm hassasiyetli stadiometre, tanita marka terazi (Tanita Corporation, Japonya) ve Holtain marka antropometrik set (Holtain LTD, Birleşik Krallıklar) kullanılmıştır. Koparma kaldırışı sırasındaki vücut üye hareketlerinin belirlenebilmesi için 4 adet Basler marka yüksek hızlı kamera (602f-HDR), iki adet görüntü yakalama kartı, senkronizasyon kutusu, bilgisayar, yansıtıcı işaretleyiciler, ışık sistemleri ve kalibrasyon kafesi kullanılmıştır. Sporcunun kaldırış sırasında yere uyguladığı kuvvetinin ölçümü için Hacettepe Üniversitesi Biyomekanik Araştırma Grubunda tasarlanarak Tümer Elektronik tarafından üretilen yer tepki kuvveti ölçme sistemi kullanılmıştır (Tümer, 2005).

**Verilerin toplanması:** Ters dinamik modelleme ve çözümlemelerde kullanılmak üzere sporcunun antropometrik ölçümleri yapılmıştır. Koparma kaldırışı sırasında, vücut üyeleri ve barın 3 boyutlu konum verilerinin elde edilebilmesi için, sporcunun 70 kg koparma kaldırışı 200Hz görüntü yakalayabilen 4 adet kamera ile kaydedilmiştir. Sporcu bu kaldırış kuvvet platformu üzerinde yapmış ve görüntü ile eş zamanlı olarak sporcunun yere

uyguladığı üç boyutlu kuvvet verisi de alınmıştır. Vücut üyelerinin ve üye eklemlerinin görüntüden kolaylıkla belirlenebilmesi için sporcunun üzerine yansıtıcı işaretleyiciler yerleştirilmiş ve kameralar ile aynı açılarda spot ışıklar tutularak bu yansıtıcıların parlaması sağlanmıştır.

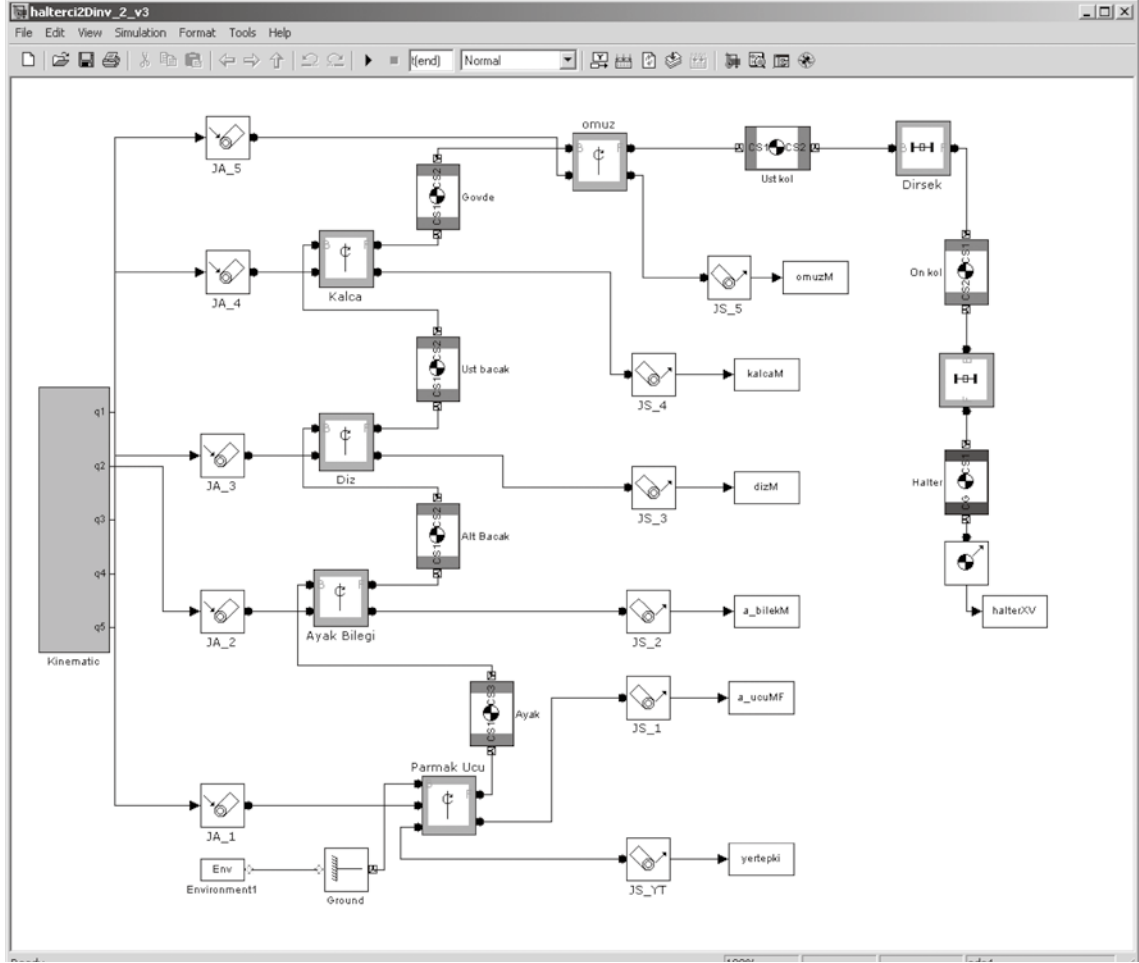
## Verilerin Analizi

**Kinematik Analiz:** Kaydedilen 4 farklı kamera görüntüsündeki yansıtıcı işaretleyiciler HUBAG Hareket Analizi Yazılımı (Arıtan ve diğ., 2008) kullanılarak sayısallaştırılmış ve bu noktaların konum verileri elde edilmiştir. Sayısallaştırmadan kaynaklı görüntünün elde edilen konum verilerinden uzaklaştırılması için tüm konum verilerine 2. dereceden 8 Hz sıfır faz alçak geçirgen Butterworth sayısal filtre uygulanmıştır (Winter, 1990). Filtrelenmiş konum verileri kullanılarak vücut üyeleri tanımlanmış, üye ve eklemlerin açılma değişimleri, açılma hızları ve ivmeleri hesaplanmıştır.

**Yer Tepki Kuvveti:** Kaldırış sırasında sporcunun yere uyguladığı ve kuvvet platformu ile ölçülen üç boyutlu yer tepki kuvvetleri 2. dereceden 10 Hz alçak geçirgen sıfır faz Butterworth sayısal filtre ile filtrelenmiştir (Winter, 1990). Elde edilen yer tepki kuvveti değerleri görüntü analizi ile eşleştirilmiştir.

**Koparma Modeli:** Koparma kaldırışı sırasında sporcunun, ön-arka düzlemde bakıldığında, sağ ve sol üyelerinin mümkün olduğunca simetrik hareket etmesi istenmektedir. Koparma kaldırışının bu özelliğinden yola çıkılarak çalışmada sporcunun sagittal düzlemde 2 boyutlu bağlantılı üye mekanik modeli tasarlanmıştır. Bu model SIMULINK sürüm 7.1 (Mathworks Inc. Natick, MA, ABD) programında SimMechanics (sürüm 2.7.1) kütüphaneleri kullanılarak oluşturulmuştur. Mekanik modelin blokları ve yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir

Modelde vücut üyeleri (ayak, alt bacak, üst bacak, gövde ve kollar) silindirik katı cisimler olarak kabul edilmiştir. Antropometrik ölçümlerden elde edilen veriler ve Clauser ve diğ. (1969) tarafından belirlenen oranlar kullanılarak üyelerin kütle merkezleri ve kütleleri hesaplanmıştır. Üyelerin eylemsizlik parametreleri silindirik eylemsizlik momen-



Şekil 1. SimMechanics kütüphaneleri kullanılarak oluşturulan ters dinamik model

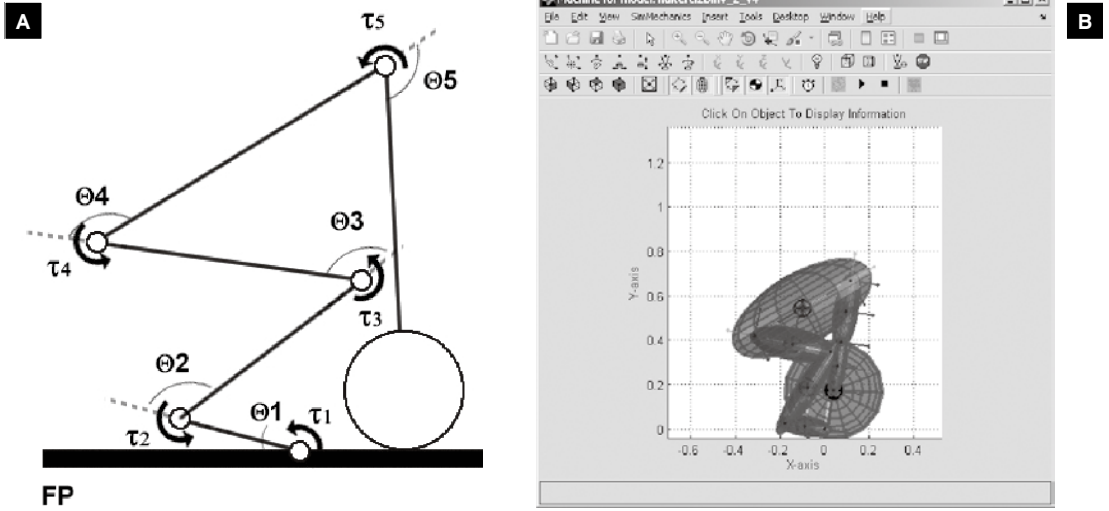
ti denklemleri yardımıyla hesaplanmıştır. Üyeler arasındaki eklemlerden ayak bileği, diz, kalça ve omuz döner eklemler olarak tanımlanmış ve sürtünmesiz eklemler olarak kabul edilmiştir (Chen ve Cheng, 2007). Kaldırış sırasında dirsek ekleminde sagittal düzlemde bir hareket olmadığı düşünülerek dirsek eklemi kaynaklı eklem olarak alınmıştır. Kaldırılan bar ağırlığı bilek noktasına kaynaklı eklem ile bağlanmış ve plaka cisim olarak modellenmiştir. Oluşturulan model 6 vücut üyesi, 5 döner eklem ve 2 kaynaklı eklemden oluşmaktadır (Şekil 2a). Oluşturulan modelin SIMULINK programındaki eliptik canlandırması ve üye lokal koordinat eksenleri Şekil 2b'de gösterilmiştir.

**Ters Dinamik Analiz:** Çalışmada oluşturulan katı cisim modeli, kinematik analizden elde edilen eklem açısız kinematikleri kullanılarak ters dinamik çözümlenmiştir. Ters dinamik çözümlemenin şematik

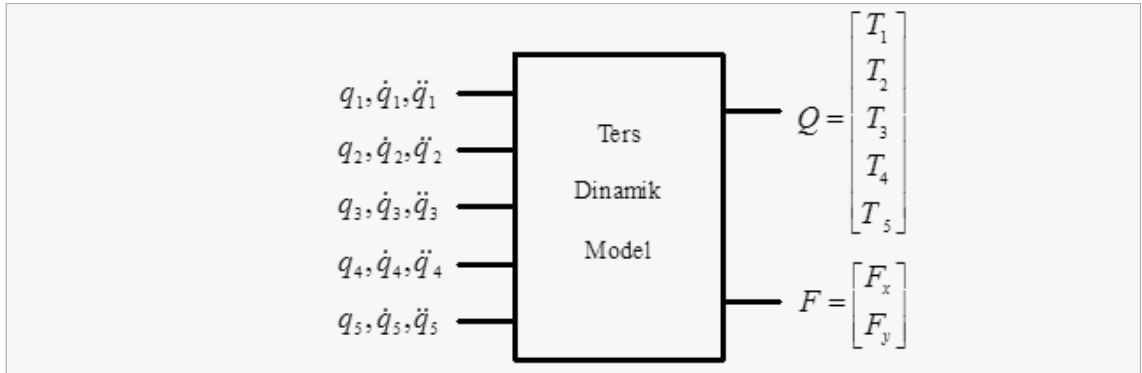
gösterimi Şekil 3'de gösterilmiştir. Bu çözümlemede  $q_n$  eklem açısız değişimlerini ( $n = 1..5$ , eklem sayısı),  $\dot{q}$  eklem açısız hız değişimlerini ve  $\ddot{q}$  eklem açısız ivme değişimlerini ifade etmektedir. Çözümleme sonucunda bu hareketin oluşmasını sağlayan eklem torkları ( $T_n$ ) ve bu sırada eklemlere etkileyen yatay ve dikey kuvvetler hesaplanmıştır.

## BULGULAR

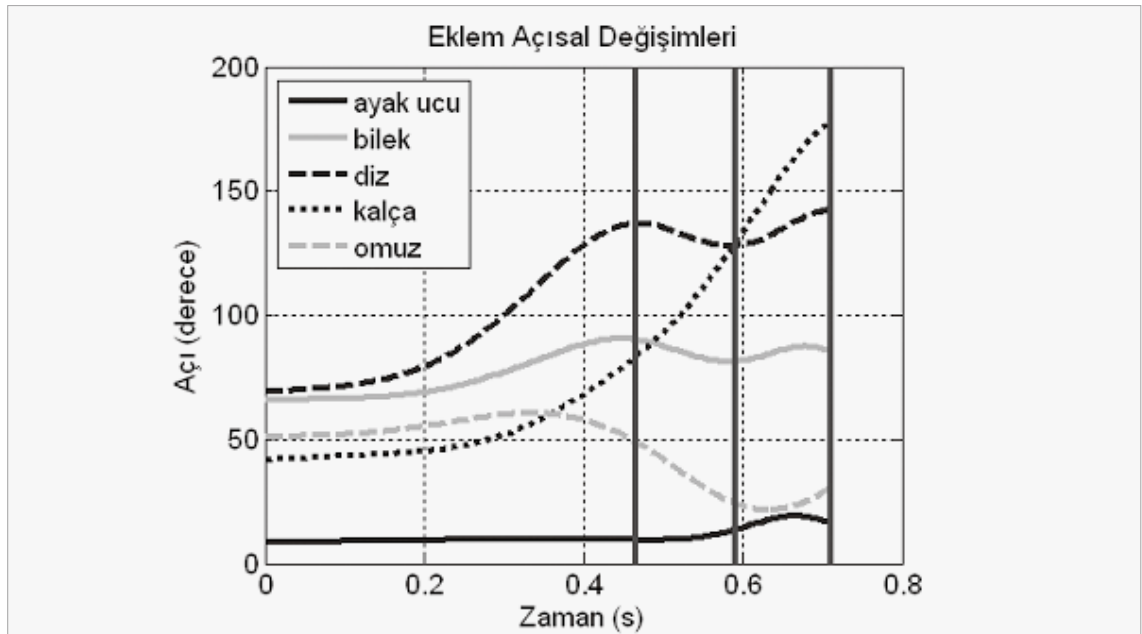
Kinematik analiz sonucu elde edilen eklem açısız değişimleri Şekil 4'te verilmiştir. Koparma tekniğindeki evrelerin belirlenmesi için diz eklemindeki açısız değişimlere ve bar yüksekliğine bakılmıştır (Enoka, 1979). Diz ekleminin açısız değişimindeki ilk tepe noktasına kadar olan bölüm 1. çekiş, sonraki düşüşten sonra artışın başladığı yere kadar olan bölüm geçiş, daha sonra görülen ikinci tepe değerine kadar olan bölüm



Şekil 2. a) Halterci modeli. b) Modelin SIMULINK canlandırması



Şekil 3. Ters dinamik çözümleme



Şekil 4. Koparma kaldırışı çekiş evresindeki eklemlerin açısal değişimleri

ise 2. çekiş olarak belirlenmiştir.

1. çekişteki en büyük açısal değişimin diz ekleminde olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu evrede sporcunun barı bacakları ile kaldırması istenmektedir. Bu da diz eklemindeki açısal değişimin fazla olmasını açıklamaktadır. Geçiş ve ikinci çekişte ise kalça ekleminde büyük açısal değişimler görülmüştür. Geçiş ve 2. çekiş evrelerinde bacaklardan kalkışa devam edilmesi ile beraber kalça ve omuzlarda kullanılmaya başlanmaktadır. Bu evrede bar daha çok üst vücudun hareketi ile kaldırılmaktadır. Bu nedenle de kalça ekleminde yüksek açısal değişim görülmektedir.

Eklem kinematikleri kullanılarak model ters dinamik çözümlenmiş ve eklemlere etkileyen yatay ve dikey kuvvetler hesaplanmıştır. Ayak bileği, diz, kalça ve omuz eklemlerine etkileyen yatay kuvvetler Şekil 5'te verilmiştir. Bu grafikte pozitif değerler sporcunun eklemlerinde öne doğru etkileyen kuvvetleri, negatif değerler ise sporcunun arkasına doğru etkileyen kuvvetleri ifade etmektedir.

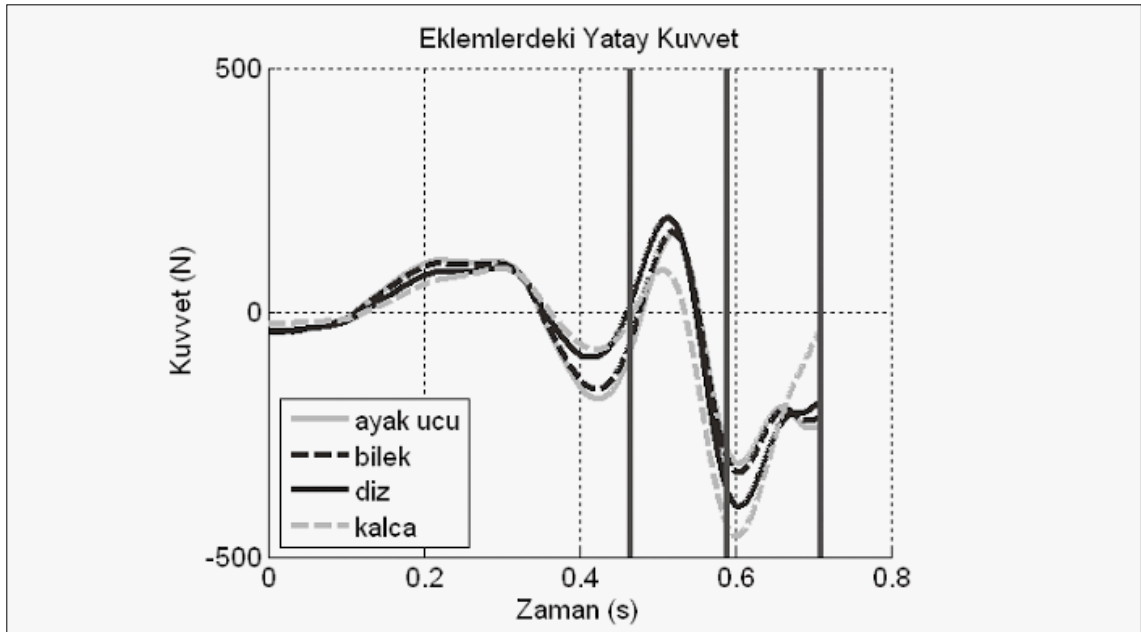
Eklemlerdeki yatay kuvvetlere bakıldığında, tüm üyelerin geçiş evresinde ve ikinci çekişte olmak üzere iki tepe değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5). Pozitif yöndeki tepe değeri geçiş evresinin ilk yarısında görülmüş ve kalçada

yaklaşık 194 N'a kadar çıkmıştır. Omuz, diz ve ayak bileğinde bu kuvvetler sırasıyla 87 N, 164 N ve 161 N değerlerine ulaşmıştır. Bu eklemlerde negatif yöndeki tepe noktaları ise 2. çekişin başlarında görülmüştür. Tüm çekiş evresi süresince eklemlerde görülen en yüksek kuvvet omuz ekleminde ve yaklaşık 457 N'dur. Kalça, diz ve ayak bileğinde ise sırasıyla 397 N, 328 N ve 308 N değerleri hesaplanmıştır (Tablo 1). Eklemlere etkileyen maksimum yatay kuvvetler ayak bileğinden omuza çıkıldıkça artmaktadır. Benzer bir sonuç 2006 yılında Harbili ve Arıtan tarafından yapılan çalışmada da görülmüştür. Harbili ve Arıtan bu artış; bara yakın üyelerin bar hareketinden daha fazla etkilenmesi ve üst üyelerde görülen yatay ivmelenmelerin alt üyelerde göre daha fazla olması ile açıklamışlardır.

**Tablo 1.** Eklemlere etkileyen en yüksek mutlak yatay kuvvet değerleri

Ayak Bileği Yatay Kuvvet (N)	Diz Yatay Kuvvet (N)	Kalça Yatay Kuvvet (N)	Omuz Yatay Kuvvet (N)
308.57	327.57	397.13	457.38

Ayak bileği, diz, kalça ve omuz eklemlerine et-



**Şekil 5.** Koprma kaldırışı çekiş evresinde eklemlerde oluşan yatay kuvvetler

kiyen dikey kuvvetler Şekil 6'da verilmiştir. Bu grafikte negatif değerler sporcunun eklemlerinde aşağı doğru etkiyen kuvvetleri ifade etmektedir. Hareket süresince tüm eklemlere aşağı doğru bir kuvvet etki etmiştir.

Eklemlere etkiyen dikey kuvvetler incelendiğinde bu kuvvetlerin tamamının negatif yönde yani yerçekimi kuvveti ile aynı doğrultuda olduğu görülmektedir (Şekil 6). Diz ve ayak bileği eklemlerine etkiyen en yüksek dikey kuvvet 1. çekişin ortalarında görülmektedir. Bu kuvvetlerin sırasıyla 878 N ve 910 N civarlarında olduğu hesaplanmıştır (Tablo 2). Omuz ve kalça eklemlerinde ise en yüksek kuvvet 1. çekişin sonlarında görülmektedir. Yatay kuvvetlerden farklı olarak, eklemlere etkiyen maksimum dikey kuvvetler ayak bileğinden omuza çıkıldıkça azalmaktadır. Harbili ve Arıtan (2006)'da çalışmalarında bu azalmayı gözlemlemiştir. Shirzad ve diğ. (2005) çalışmalarında eklemlerdeki dikey kuvvetlerin yer çekimi yönünde olduğunu vurgulamış ve kuvvetlerin en çok 300-700 N arasında değiştiğini belirtmiştir. Çalışmamızda bu değerler biraz daha yüksek bulunmuştur ve yaklaşık olarak 657-910 N değerleri arasında değişmektedir. Sistem ağırlığı ve modelleme farklılıkları kuvvet değerlerinin farklı çıkmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda, kaldırış sırasında spor-

cuların eklem kinematiklerinde ki farklılıklar da bu kuvvet değerlerini etkilemektedir.

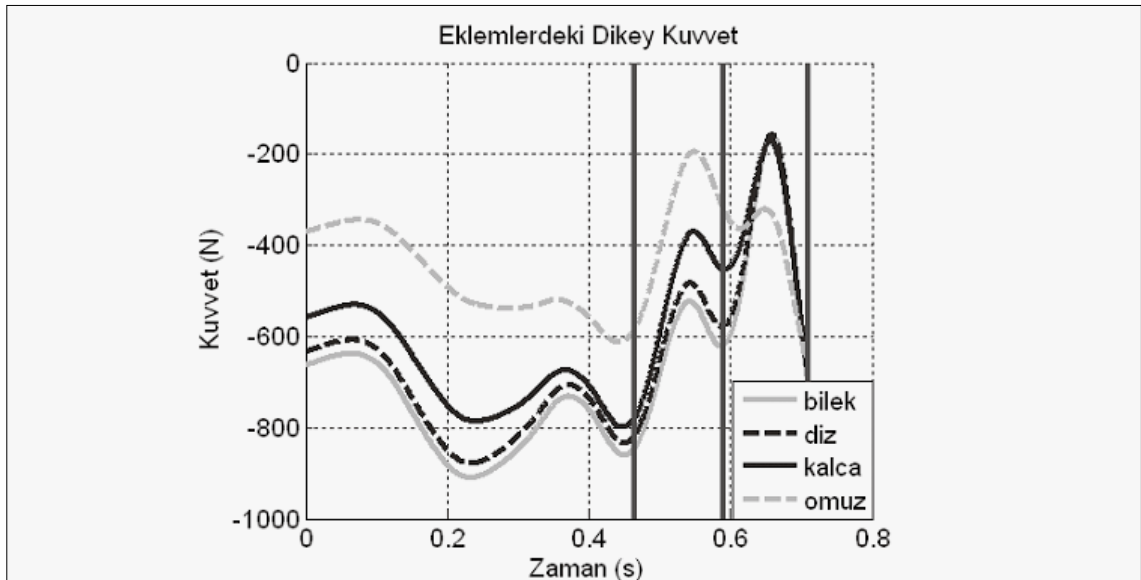
**Tablo 2.** Eklemlere etkiyen en yüksek mutlak dikey kuvvet değerleri

Ayak Bileği Dikey Kuvvet (N)	Diz Dikey Kuvvet (N)	Kalça Dikey Kuvvet (N)	Omuz Dikey Kuvvet (N)
909.56	878.12	798.44	656.98

Modellenen koparma kaldırışının gerçekleşmesi için gerekli olan ve kaslar tarafından meydana getirilmesi gereken eklem torkları Şekil 7'de verilmiştir. Şekilde görülen pozitif değerler saat yönünün tersine etkiyen torkları, negatif değerler ise saat yönündeki torkları göstermektedir.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada koparma kaldırışının kinetik analizinin yapılabilmesi için 2 boyutlu bir katı cisim modeli oluşturulmuştur. Modelleme SIMULINK (Mathworks MA, USA) sürüm 7.1 üzerinde SimMechanics (ver. 2.7.1) kütüphanesi kullanılarak yapılmıştır. Bu model deneysel çalışmadan elde edilen eklem kinematikleri ve SimMecha-



**Şekil 6.** Koparma kaldırış çekiş evresinde eklemlerde oluşan dikey kuvvetler

nics araç kutusu fonksiyonları kullanılarak ters dinamik çözümlenmiş; hareket sırasında ayak bileği, diz, kalça ve omuz eklemlerine etkiyen kuvvetler ve hareketi meydana getiren eklem torkları hesaplanmıştır.

İnsan hareketi sırasında vücut eklemlerine etkiyen kuvvetler ve torklar dışarıdan bir araç ile direk olarak ölçülememektedir. Bu nedenle kuvvet ve torkların dinamik formüller ve yaklaşımlar ile hesaplanması gerekmektedir. Bu da biyomekanik alanında yapılan modelleme çalışmalarını önemli kılmaktadır. Literatürde halter kaldırışını inceleyen modelleme çalışmaları bulunmaktadır (HARBİLİ ve ARITAN, 2006; SHIRZAD ve diğ., 2005). HARBİLİ ve ARITAN (2006), yedi üyeden oluşan bir bağlantılı katı cisim modeli kullanmıştır. Bu modelde üyeleri silindirik katı cisimler olarak tanımlamış ve ters dinamik çözümlenme yapmışlardır. Bu çalışmada çekiş evresinde üyelere etkiyen en yüksek kuvvet değerlerinin negatif yönde ve 2. çekiş evresinde olduğu görülmektedir. Bizim çalışmamızda da en yüksek kuvvetlerin 2. çekiş evresinde ve negatif yönde olduğu görülmüştür. Shirzad ve diğ. 2005 yılındaki çalışmalarında, koparma tekniğinin çekiş evresi için bir matematiksel model geliştirmiş ve Newton-Euler denklemleri ile ters dinamik çözümlenme yapmıştır. Çalışmada altı üyeden oluşan 2B bağlantılı üye modeli kullanılmıştır. Sporcunun kaldırdığı 70 kg'lık ağırlık el bileğinden yerçekimi yönünde etkiyen bir kuvvet olarak modellenmiştir. Ağırlığın, eylemsizliği ve geometrisi nedeniyle, vücut üyeleri üzerinde yarattığı etkiler göz ardı edilmiştir. Bizim çalışmamızda, dirsek eklemi, çekiş evresinde sagittal düzlemde hareket etmeyeceği düşünülerek, kaynaklı eklem olarak alınmıştır. Sporcunun kaldırdığı ağırlık bilek noktasına kaynaklı eklem ile bağlanmış plaka cisim olarak modele katılmıştır. Böylelikle kaldırılan ağırlığın eylemsizliğinin, eklem kuvvetleri ve torkları üzerindeki etkileri de modelde yer almıştır.

Koparma kaldırışı sırasında eklemlerde oluşan

kuvvetlerin ve torkların bilinmesi başarısız koparma kaldırışlarındaki mekanik problemlerin anlaşılmasında ve sporcunun yaptığı başarılı ile başarısız kaldırışlar arasındaki farklılıkların ortaya çıkarılmasında önemli bir yere sahiptir. Ayrıca bu veriler sporcularda yaşanabilecek sakatlıkların önceden kestirilmesi, önlenmesi ve yaşanan sakatlıkların nedenlerinin araştırılması için yapılacak çalışmalarda kullanılabilir. Ters dinamik analiz, biyomekanik alanında çok sık kullanılan bir yöntemdir. Bu analizlerden edilen sonuçların kalitesi, oluşturulan biyomekanik model ve girdi olarak alınan kinematik verilerin hassasiyetine bağlıdır. Yapılacak yeni çalışmalar ile bu modellerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada oluşturulan halterci modeli ile ters dinamik çözümlenme ve kinematik analizde kullanılan fonksiyonların tamamı SIMULINK ve MATLAB programları ile tanımlanmıştır. SIMULINK programının sağladığı modelleme kolaylıkları ve MATLAB programının esnekliği ile; model parametreleri, model yapısı ve fonksiyonlar kolaylıkla değiştirilebilir ve farklı çalışmalar için geliştirilebilir niteliktedir.

### Yazarın Notu

Çalışmamız sırasında halter ve koparma tekniği konusundaki bilgileri bize destek olan Halter Milli Takımı antrenörlerimizden Çınar Yazıcı'ya ve çalışmamızda denek olmayı kabul ederek koparma kaldırışı yapan Milli Takım sporcularımızdan Sedat Aruç'a teşekkür ederiz.

### Yazışma Adresi (Corresponding Address):

Arif Mithat Amca

Hacettepe Üniversitesi, Biyomekanik Araştırma Grubu

Spor Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu

06800 Beytepe / ANKARA

E-posta: amithat@hacettepe.edu.tr



## KAYNAKLAR

1. **Amca AM, Arıtan S.** (2008). *IV. Ulusal Biyomekanik Kongresi: Olimpik koparma kaldırışının çekiş evresinin dinamik modellemesi ve biyomekanik analizi.* Erzurum: Atatürk Üniversitesi.
2. **Arıtan S, Çilli M, Amca AM, Acar YE.** (2008). *IV. Ulusal Biyomekanik Kongresi: HUBAG: üç boyutlu hareket analizi yazılımı.* Erzurum, Atatürk Üniversitesi.
3. **Baumann W, Gross V, Quade K, Galbierz P, Schwirtz A.** (1988). The snatch technique of world class weightlifters at the 1985 world championships. *International Journal of Sport Biomechanics*, 4, 69-89.
4. **Burdett RG.** (1982). Biomechanics of the snatch technique of highly skilled and skilled weightlifters. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53(3), 193-197.
5. **Benito-Peinado PJ, García-Zapico A, Calderón-Montero FJ, Jiménez-Gutiérrez A, Naclerio-Ayllón F.** (2007). Kinematic variables of the pull lift exercise in top class Spanish weightlifters: a longitudinal study. *Selección*, 16 (2), 78-83.
6. **Chen HC, Cheng KB.** (2007). *XXI ISB Congress: Development of a simulation model for the snatch weight-lift.* Taipei, Taiwan.
7. **Clauser CE, McConville JT, Young JW.** (1969). Weight, volume, and center of mass of segments of the human body. Technical Report AMRL-TR-69-70, Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, Dayton, Ohio.
8. **Enoka RM.** (1979). The pull in olympic weightlifting. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 11, 131-137.
9. **Garhammer J.** (1980). Power production by Olympic weightlifters. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 12(1), 54-60.
10. **Garhammer J.** (1982). Energy flow during weightlifting. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 14(5), 353-360.
11. **Garhammer J.** (1989). *Weight lifting and training in Biomechanics of Sport* (edited by C.L. Vaughan). Boca Raton, FL: CRC Pres.
12. **Garhammer J.** (1991). A comparison of maximal power outputs between elite male and female weightlifters in competition. *International Journal of Sport Biomechanics*, 7, 3-11.
13. **Gourgoulis V, Aggelousis N, Mavromatis G.** (2000). Three-dimensional kinematic analysis of the snatch of elite Greek weightlifters. *Journal of Sport Sciences*, 18, 643-652.
14. **Gourgoulis V, Aggelousis N, Antoniou P, Chritoforidis C, Mavromatis G, Garas A.** (2002). Comparative 3-Dimensional kinematic analysis of the snatch technique in elite male and female Greek weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(3), 359-366.
15. **Häkkinen K, Kauhanen H, Komi VP.** (1984). Biomechanical changes in the Olympic weightlifting technique of the snatch and clean jerk from submaximal to maximal loads. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 6, 57-66.
16. **Harbili E, Arıtan S.** (2005). Koparma Elit haltercilerde koparma tekniğinin karşılaştırmalı biyomekanik analizi. *Spor Bilimleri Dergisi*, 16(3), 124-134.
17. **Harbili E, Arıtan S.** (2006). Koparma tekniğinin biyomekanik analizi ve modellenmesi. *Spor Bilimleri Dergisi*, 17(3), 124-142.
18. **Harbili E, Arıtan S.** (2007). Halterde artan bar ağırlığının bar kinematiği ve güç çıktısı üzerine etkileri. *Spor Bilimleri Dergisi*, 18(3), 126-136.
19. **Isaka T, Okada J, Funato K.** (1996). Kinematic analysis of the barbell during the snatch movement of elite Asian weight lifters. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 508-516.
20. **Nejadian SL, Rostami M.** (2007). *XXV ISBS Symposium: Mathematical modeling and optimization of snatch lift technique.* Ouro Preto, Brazil.
21. **Nejadian SL, Rostami M, Towhidkhal F.** (2008). Optimization of barbell trajectory during the snatch lift technique by using optimal control theory. *American Journal of Applied Sciences*. 5 (5), 524-531.
22. **Safrushahar Y, Norhaslinda H, Wilson B.** (2002). Biomechanical analysis of the snatch during weightlifting competition. *20. International Symposium on Biomechanics in Sports.* Caceres, Extermadura, İspanya.
23. **Salaami F, Jamshidi N, Rostami M, Najarian S.** (2008). Power enhancement of weightlifters during snatch through reducing torque on joints by particle swarm optimization. *American Journal of Applied Sciences*. 5 (12), 1670-1675.
24. **Shirzad E, Arshi AR, Aqah MR.** (2005). Mathematical modeling and computer simulation of weightlifting sport phase 1: pull phases in snatch technique. *First UAE International Conference on Biological and Medical Physics.* Al-Ain, United Arab Emirates, 10.
25. **Tümer Aİ.** (2005). Dikey sıçramanın üç boyutlu biyomekanik analizinde enstrumantasyon. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
26. **Yazıcı Ç.** (1997). *Halter temel ağırlık çalışmaları ve güç geliştirme, 2. Basım.* Ankara: Ertem Basım Yayın Dağıtım.
27. **Winter DA.** (1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement, 2. Basım.* John Wiley & Sons, New York.