

OTURUP KALKMA HAREKETİNİN SIMMECHANICS ORTAMINDA DİNAMİK MODELLENMESİ VE BENZETİMİ

Kasım Serbest*, Murat Çilli**, Osman Eldoğan***

(*) Sakarya Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü, 54187, Sakarya
(**) Sakarya Üniversitesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, 54187, Sakarya
(***) Sakarya Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 54187, Sakarya

ÖZET

Bu çalışmada, gündelik hareketlerin başında gelen oturup kalkma hareketinin incelenmesine yönelik geliştirilen ters dinamik modelin benzetimi gerçekleştirilmiştir. İnsan vücudunun ayak, bacak, uyluk, gövde, kol ve ön koldan oluşan toplam 6 katı uzuvlu açık zincir mekanik modeli SimMechanics (2.7.1) yazılımında oluşturulmuştur. Modeldeki eklemlerin tahriki için antropometrik özellikleri SimMechanics yazılımında oluşturulan modele aktarılan gönüllü deneğin hareketleri video kamera ile izlenmiştir. Üzerine yansıtma özelliği olan işaretleyiciler yerleştirilmiş gönüllü denek hareketleri (20 cm, 40 cm ve 50 cm yükseklikten kalkış) gerçekleştirirken oluşan yer tepki kuvvetleri, kuvvet platformu aracılığıyla ölçülmüştür. İzlenen iki boyutlu hareketlerin sayısallaştırılması işlemi için MATLAB (7.6.0) ortamında oluşturulan kodlardan yararlanılmıştır. SimMechanics yazılımında oluşturulan ters dinamik modelin benzetimi sonucunda hesaplanan dikey yöndeki yer tepki kuvvetleri, gönüllü denek hareketleri gerçekleştirirken meydana gelen ve kuvvet platformuyla ölçülen dikey yer tepki kuvvetleri ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile SimMechanics yazılımının insan hareketlerini analiz etmede başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Oluşturulan modelin esnek yapısı sayesinde farklı analizler gerçekleştirmek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Ters dinamik yöntem, Hareket analizi, SimMechanics

DYNAMIC MODELLING AND SIMULATION OF SIT TO STAND ON SIMMECHANICS

ABSTRACT

In this study, simulation of developed an inverse dynamics model to analysis of sit to stand which is the one of the essential tasks of daily function was carried out. The human body has been composed as a total of 6 rigid-open loop-body model consisted of a foot, a leg, a thigh, a trunk, an arm and a forearm using SimMechanics (2.7.1). Motion of the subject whose anthropometric properties transferred to the SimMechanics model has been viewed with a video camera to drive the joints. The reaction forces when the subject placed on reflective markers performs movements (standing from 20 cm, 40 cm and 50 cm height) have been measured by the force plate. It has been benefited by codes created with MATLAB (7.6.0) to digitize monitored the two-dimensional movements. The calculated vertical ground reaction forces, as a result of the simulation of the inverse dynamics model on SimMechanics, have been compared with the measured vertical ground reaction forces and it has been observed the results are close to each other when the subject performs the movements. This study has been shown that SimMechanics was successful to analyse human movements. It is possible to perform different analysis thanks to its flexible structure of the model.

Keywords: Inverse dynamics method, Motion analysis, SimMechanics

1. GİRİŞ

Oturulan bir yerden ayağa kalkma süreci olarak tanımlanan [1] oturup kalkma hareketi, gündelik işler esnasında sıklıkla tekrarlanan bir harekettir. Alt ekstremite ve gövde kaslarının uyumlu bir şekilde çalıştığı bu hareket, 1980'lerden itibaren çok sayıda araştırmaya konu olmuştur [1-6]. Araştırmalarda, değişik yaş grupları ve farklı sağlık durumlarındaki bireylere ait hareketlerin davranışları incelenerek, meydana gelen değişimler çeşitli yaklaşımlarla tespit edilmiştir. Bu yaklaşımlardan biri, ters dinamik yöntemdir. Ters dinamik yöntem, mekaniğin kinematik ve kinetik disiplinleri arasında bağlantı kuran bir alt dalıdır. Bu yöntem kuvvet ve momentleri, hareket halindeki cisimlerin kinematik ve atalet özelliklerinden yararlanarak dolaylı olarak belirleyen bir süreci ifade etmektedir. 1970'lere kadar sınırlı sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, ticari kuvvet platformlarının yaygınlaşması ve bilgisayar sistemlerinin ucuzlaması ile bu yöntemle yapılan çalışmalar artmıştır [7]. Günümüzde insan hareketlerinin dinamik ve statik analizlerini gerçekleştirmek için geliştirilmiş birçok ticari ve akademik yazılım mevcuttur [8]. Son yıllarda, karmaşık olmayan insan hareketlerinin dinamik olarak analiz edilmesinde kullanılan bir diğer uygulama SimMechanics yazılımıdır [6, 9-11]. SimMechanics, Simulink ve MATLAB (The MathWorks) araçlarından da faydalanarak fiziksel sistemlerin blok diyagramları şeklinde modellendiği, katı cisimlerin ve bu cisimlere ait hareketlerin Newton dinamiği yasalarına göre çözümlendiği bir yazılımdır. Bu yazılımla, uygun araçlar seçilerek mekanik sistemlerin fiziksel ve kütle özellikleri belirlenebilir, bu özelliklere uygun hareketler tanımlanabilir ve cisimlerin hareketi dinamik olarak incelenebilir.

Bu çalışmada insan vücudu, SimMechanics (2.7.1) yazılımında 6 parçalı açık zincir bir eklem-uzuv modeli ile temsil edilmiştir. SimMechanics ortamında oluşturulan modeldeki eklemlerin tahriki, hareket analizi verilerinden yararlanılarak sağlanmış ve ters dinamik yöntem kullanılarak çözüme ulaşılmıştır. Benzetim işlemi sonucunda, oturup kalkma hareketi esnasında meydana gelen yer tepki kuvvetleri ve eklem momentleri tespit edilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Antropometrik Özelliklerin Belirlenmesi

SimMechanics yazılımında oluşturulacak modele ait antropometrik parametrelerin belirlenmesi için hareketleri gerçekleştirecek olan deneğin (26 yaşında, harekete mani olacak herhangi bir sağlık sorunu olmayan, kültesi 70.2 kg ve boyu 174 cm olan erkek birey) uzuv kütlesi, uzuv boyu, uzuv kütle merkezi ve uzuv atalet momenti özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Deneğin antropometrik özelliklerinin belirlenmesinde Dempster [7] ve Chandler ve diğ. [12] tarafından kadavra çalışmalarına dayalı olarak geliştirilen antropometrik modellerden ve CAD (Computer Aided Design - Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımlarından faydalanılmıştır. Tablo 1, deneğin antropometrik özelliklerini göstermektedir.

2.2. Eklem-Uzuv Modelinin Oluşturulması

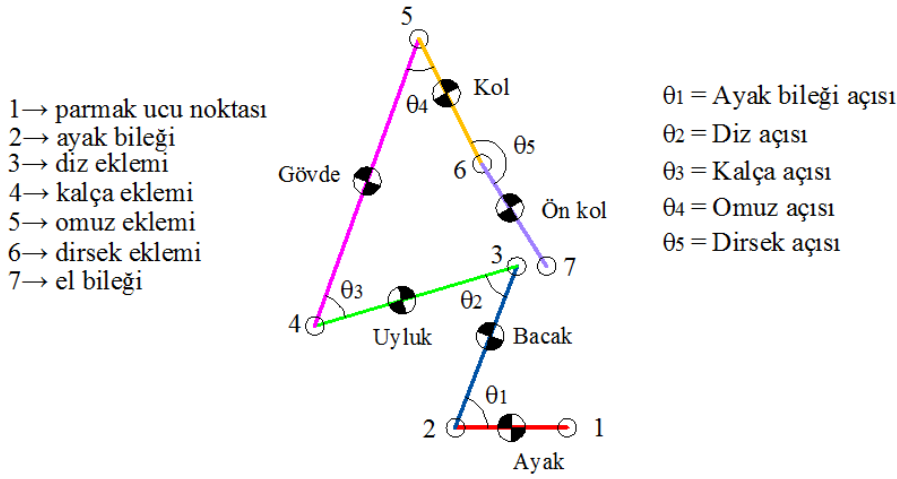
İnsan vücudunun biyomekanik olarak incelenmesinde eklem-uzuv modelleri sıklıkla kullanılmaktadır [13-15]. İnsan vücudunun mekanik yapısına açıklık getiren bu modellerin kullanılmasıyla kas sistemi, eklemler, kemikler, kıkırdak doku ve sinir dokusu gibi oluşumların karmaşıklığı ortadan kalkmaktadır. Bu çalışmada, insan vücudu ayak, bacak, uyluk, gövde, kol ve ön kol olmak üzere toplam 6 katı uzuvdan oluşan ve açık zincir mekanik yapıya sahip bir eklem-uzuv modeli ile temsil edilmiştir. Oturup kalkma hareketi esnasında vücut uzuvları simetrik olarak hareket etmektedir. Bundan dolayı insan vücudunun, sagittal düzleme göre yarısı referans alınmış ve ikiye bölünmüş bulunan uzuvların sadece birer adedi modelde yer almıştır. SimMechanics yazılımı kullanılarak yapılan incelemelerde insan vücudu mümkün olduğunca sadeleştirilmiş şekilde modellenmektedir [6, 11, 16]. Uzuv sayısının artması, serbestlik derecesini artırarak modeli karmaşık hale getirmekte ve sonucun hassasiyetini etkilemektedir. Bu çalışmada, oturup kalkma hareketi sırasında baş, boyun ve el uzuvlarına ait eklemlerde kayda değer bir açısal yer değiştirme gerçekleşmediğinden bu uzuvlar fiziksel olarak modele dahil edilmemiştir. Ancak boyun ve başın ağırlığı gövde uzvuna ilave edilmiştir. Ellerin ağırlığı göz ardı edilmiştir. Bunun sonucunda, oluşturulan modelin kütle özelliği bakımından tüm vücudu temsil etme oranı yaklaşık % 99 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 1'de eklem-uzuv modeline yer verilmiştir.

Oturup kalkma hareketinin dinamik analizini gerçekleştirmek amacıyla oluşturulan eklem-uzuv modeli SimMechanics yazılımı ile MATLAB (7.6.0) ortamına aktarılmıştır. Sagittal düzlemde (SimMechanics referans eksen takımına göre XY düzlemi) 2 boyutlu olarak oluşturulan modelde uzuvlar katı cisim olarak kabul edilmiştir. Oturup

kalkma hareketi sırasında meydana gelen yer tepki kuvvetinin ayakcu noktasında olduğu varsayılmıştır. Modelin, yer çekimi etkisini oluşturan zemin ile bağlantısı da ayakcu noktasından sağlanmıştır. Uzunlukları birbirine bağlayan eklemlerin her biri z eksenine (SimMechanics referans eksen takımına göre) etrafında dairesel hareket yapacak şekilde tek serbestlik derecesine sahip olarak modellenmiştir. Eklem-uzuv modelinin SimMechanics yapısı Şekil 2’de sunulmuştur.

Tablo 1. Deneğe ait uzuvların antropometrik özellikleri

Uzuv	Uzuv boyu (cm)	Kütle (kg)	Atalet momenti (g·cm ²)			Proksimal uçtan itibaren kütle merkezi yeri (cm)
			I _{xx}	I _{yy}	I _{zz}	
Ayak	24.33	0.993	7·10 ³	30·10 ³	33·10 ³	12.16
Bacak	37.53	3.185	329·10 ³	29·10 ³	391·10 ³	16.25
Uyluk	45.82	6.850	1157·10 ³	224·10 ³	1137·10 ³	19.84
Gövde	66.44	23.53	19744·10 ³	9325·10 ³	12736·10 ³	32.88
Kol	30.52	1.965	132·10 ³	22·10 ³	133·10 ³	13.3
Ön kol	26.3	1.123	64.5·10 ³	8.8·10 ³	66.9·10 ³	11.31

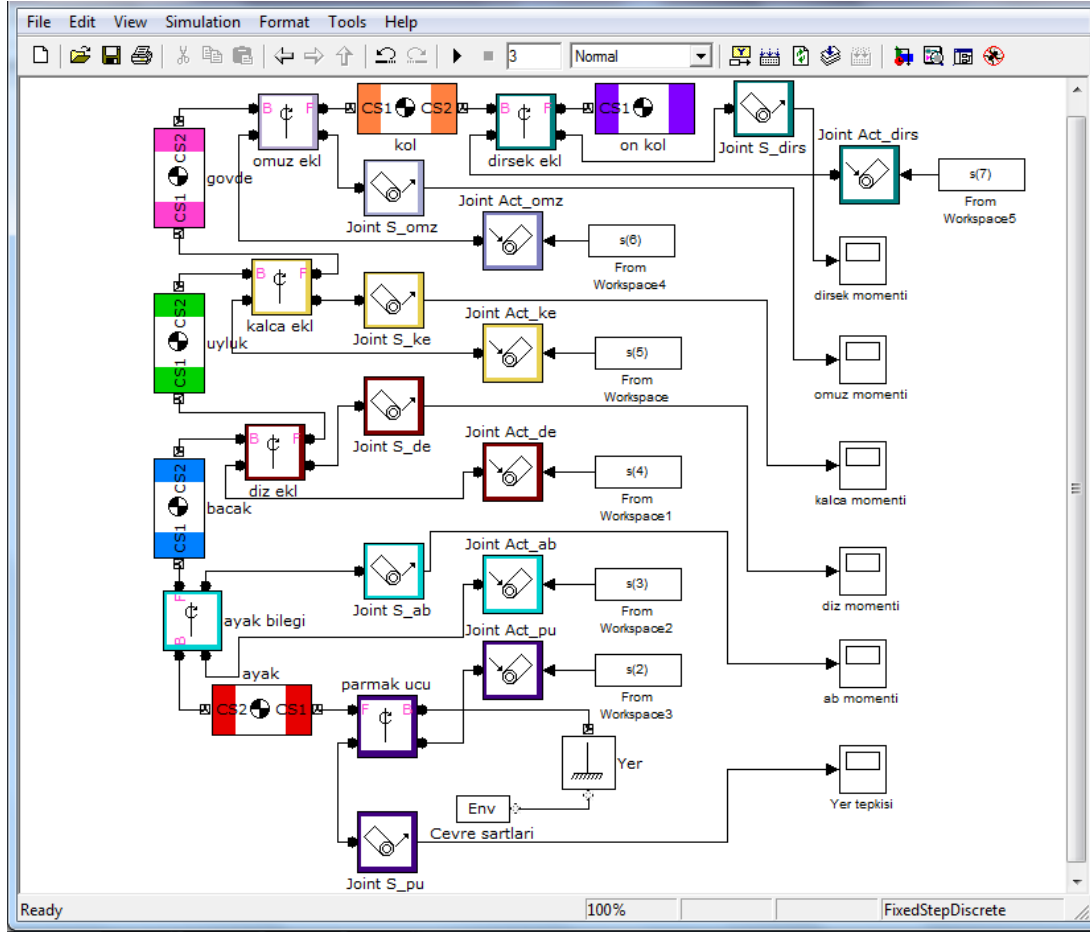


Şekil 1. Sagittal düzlemdeki eklem-uzuv modeli ve eklem açıları

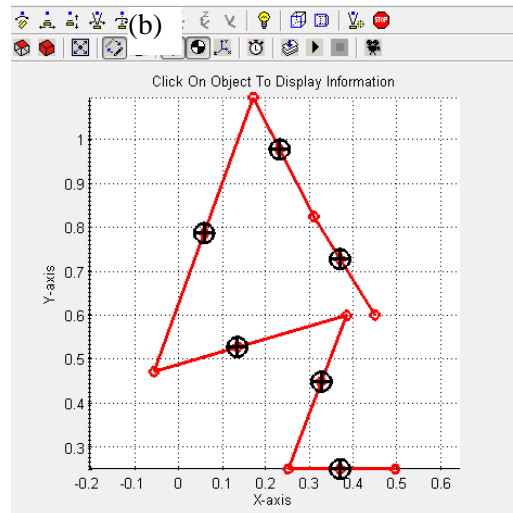
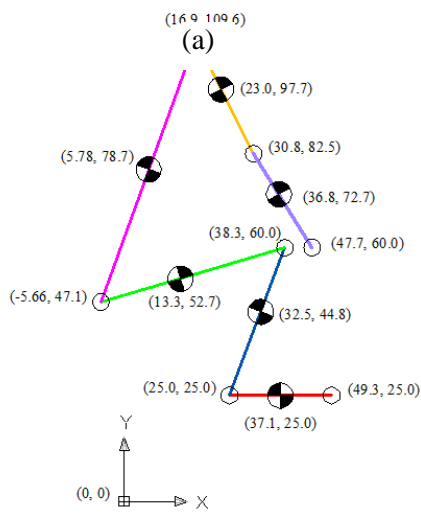
Eklem-uzuv modeli, SimMechanics yazılımında oluşturulurken 20 cm oturma yüksekliğindeki başlangıç duruşu referans alınmıştır. Uzunlukların koordinat değerleri bu duruşa göre hesaplanmıştır. Farklı oturma yüksekliklerine göre analiz gerçekleştirilirken, ilgili harekete ait eklem açıları modele yüklenmekte ve model kendini güncelleyerek farklı hareketlerin benzetimini yapmaktadır. Böylelikle, tek bir referans model kullanılarak farklı hareketleri analiz etmek mümkündür. Şekil 3, 20 cm oturma yüksekliğindeki duruşun koordinatlarını ve bu duruş referans alınarak SimMechanics yazılımında oluşturulan modele ait simülasyon ekranının başlangıç durumunu göstermektedir.

2.3. Hareket Analizi

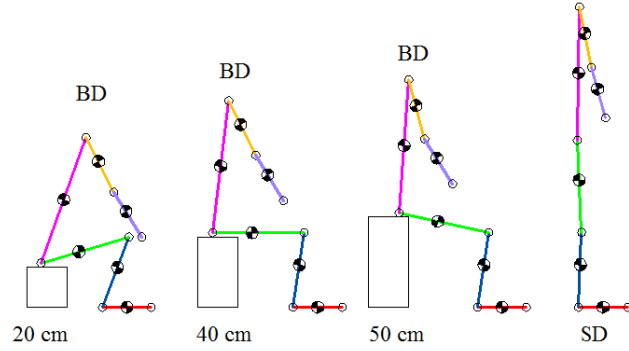
SimMechanics yazılımında oluşturulan modelin çözümü, ters dinamik yöntem kullanılarak gerçekleştirileceğinden uzunlukları birbirine bağlayan eklemlere ait hareketlerin tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Eklemleri harekete geçirmek için gerekli olan açısal yer değiştirme, açısal hız ve açısal ivme değerlerinin tespit edilebilmesi için antropometrik özellikleri SimMechanics modeline de aktarılan deneğin, farklı oturma yüksekliklerinden (20 cm, 40 cm ve 50 cm) gerçekleştirdiği hareketler (Şekil 4) analiz edilmiştir.



Şekil 2. Eklem-uzuv modelinin SimMechanics yapısı

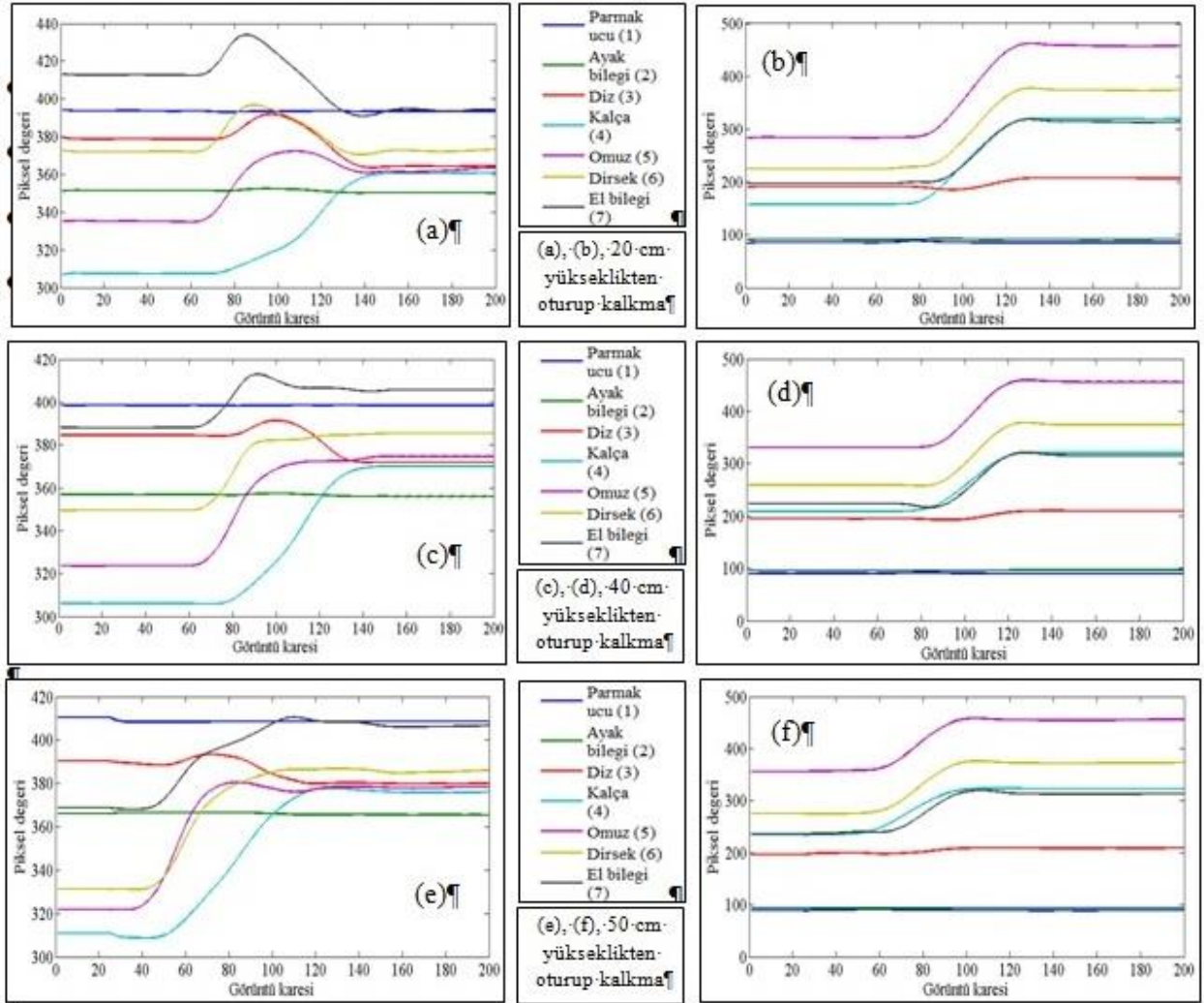


Şekil 3. (a); 20 cm yükseklikteki oturma duruşunun koordinatları (eksen birimleri; cm), (b); SimMechanics simülasyon ekranındaki başlangıç duruşu (eksen birimleri; m)



Şekil 4. İncelenen hareketlerin eklem-uzuv modeli ile temsili, BD; başlangıç duruşu, SD; son duruş

SimMechanics modelindeki eklemleri harekete geçirmek için gerekli açısal yer değiştirme, açısal hız ve açısal ivme değerleri, işaretleyicilerin koordinat değerlerinden faydalanılarak MATLAB ortamında hesaplanmıştır.

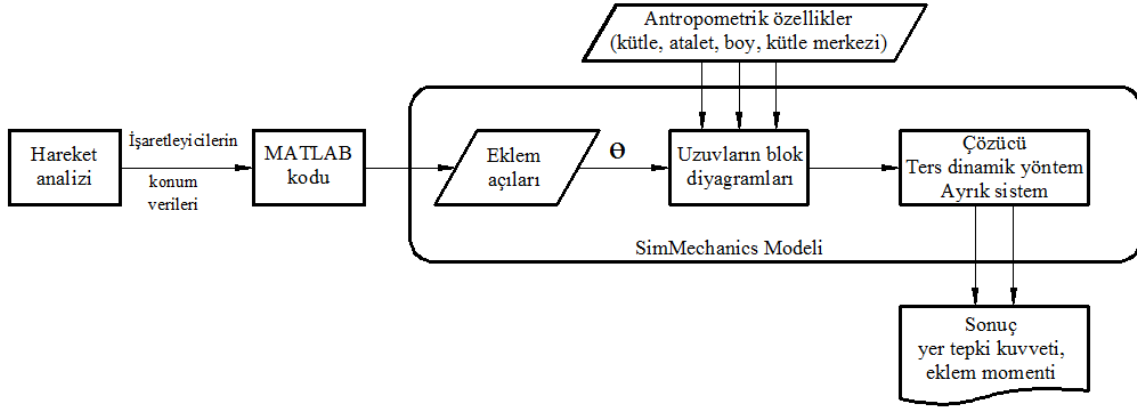


Şekil 5. Denek üzerindeki işaretleyicilerin değişimleri, (a), (c), (e); anterior-posterior yöndeki değişim, (b), (d), (f); superior-inferior yöndeki değişim

2.4. Benzetim İşlemi

SimMechanics yazılımında oluşturulan model ile oturup kalkma hareketlerinin benzetimi, yazılımın sunduğu simülasyon özelliği sayesinde gerçekleştirilmiştir. SimMechanics, ters dinamik yöntemle yapılacak benzetimler için “inverse dynamics” ve “kinematics” seçeneklerini sunmaktadır. Açık zincir yapıların çözümünde “inverse dynamics” yöntemi kullanılmaktadır [18]. Çözücü tipi olarak “ayrık sistem” seçeneği tercih edilmiş ve zamanın sabit aralıklarına göre çözüm yapılmıştır [19].

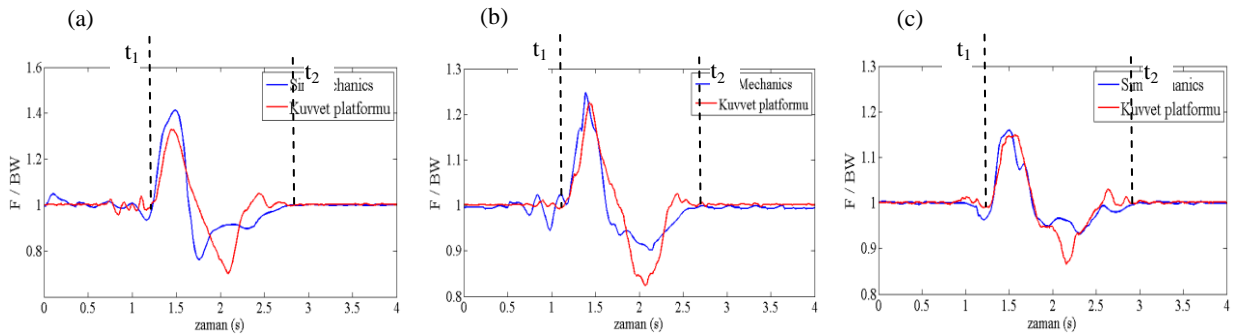
Çözme işlemi başladığında, “MATLAB çalışma alanından” okunan eklem açıları ile model, oturup kalkma hareketini gerçekleştirir. Çözüm işlemi sonucunda hesaplanan yer tepki kuvvetleri ve eklem momentleri “çalışma alanına” kaydedilmektedir. Böylelikle deneğin gerçekleştirdiği oturup kalkma hareketinin benzetimi, SimMechanics ortamında uygulanmıştır. Şekil 6’da, benzetim işleminin akışına yer verilmiştir.



Şekil 6. MATLAB, SimMechanics ve Simulink araçları kullanılarak gerçekleştirilen işlemlerin yapısı

3. BULGULAR

20, 40 ve 50 cm yüksekliklerden gerçekleştirilen oturup kalkma hareketleri sırasında meydana gelen dikey yöndeki yer tepki kuvvetinin, SimMechanics yazılımı kullanılarak yapılan benzetimden ve hareket analizi sırasında kuvvet platformuna ait ölçümden elde edilen verilerinin karşılaştırması Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7. Oturup kalkma hareketleri sırasında oluşan dikey yer tepki kuvvetlerinin karşılaştırması, (a); 20 cm, (b); 40 cm, (c); 50 cm, t₁; kalçanın oturma yüzeyinden ayrıldığı an, t₂; vücudun tam doğrulduğu an, F; kuvvet, BW; toplam vücut ağırlığı

Sonuçlar incelendiğinde en büyük dikey yer tepki kuvvetinin, 20 cm oturma yüksekliğinden kalkarken olduğu görülmektedir. 20 cm yükseklikten kalkış esnasında maksimum kuvvet, vücut ağırlığının yaklaşık 1.4 katı iken, 40 cm yükseklikten kalkışta yaklaşık 1.25 kat, 50 cm yükseklikten kalkışta yaklaşık 1.15 kat seviyesine inmektedir.

Oturup kalkma esnasındaki hareket kontrolü, alt ekstremite tarafından sağlandığı için kayda değer moment değişimleri; ayak bileği, diz ve kalça eklemlerinde meydana gelmektedir [4]. Tablo 2 incelenen hareketlere ait, SimMechanics yazılımında gerçekleştirilen benzetim sonucunda hesaplanan en büyük eklem momentlerini göstermektedir.

Tablo 2. Eklemlerde meydana gelen en büyük momentler

Oturma yüksekliği	Eklem momenti (N·m)		
	Ayak bileği	Diz	Kalça
20 cm	108.7	121.2	-58.3
40 cm	143.6	157.1	-44.2
50 cm	153.0	144.4	-57.2

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma ile oturup kalkma hareketinin benzetimi SimMechanics ortamında ters dinamik yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hareket esnasında oluşan yer tepki kuvvetleri karşılaştırılmış ve doğrudan ölçülemeyen ancak bir takım yaklaşımlarla hesaplanabilen eklem momentleri tespit edilmiştir. Kuvvet platformuyla ölçülen verilerin, SimMechanics ile hesaplanan değerlere yakınlığı ve kuvvetin değişim davranışının benzerliği, oluşturulan modelin oturup kalkma hareketini analiz etmede başarılı olduğunu göstermektedir. Oluşturulan modelden elde edilen kuvvet verileri ile kuvvet platformu vasıtasıyla ölçülen değerler arasında meydana gelen farklılıkların başlıca sebepleri aşağıda sıralanmıştır:

- Yer tepki kuvvetinin sürekli olarak ayakucu noktasında oluştuğunun kabul edilmesi.
- Uzuvarın katı cisimler olarak kabul edilmesiyle yumuşak doku hareketlerinin göz ardı edilmesi.
- Çok serbestlik dereceli ve polisentrik yapıda olan eklemlerin, tek bir dönme merkezi etrafında tek serbestlik dereceli olarak modellenmesi.

Oturma yüksekliği arttıkça yer tepki kuvvetinin azaldığı görülmektedir. Bu durum, dik duruma gelmek için gerekli yer değiştirmenin azalmasından ve yer çekimine karşı daha az iş yapılmasından kaynaklanmaktadır. Oturma yüksekliği arttıkça vücudun kütle merkezi, diz ve ayak bileği eklemlerinden uzaklaşmaktadır. Dolayısıyla 20 cm oturma yüksekliğine kıyasla 40 ve 50 cm yüksekliklerde, bu eklemlere binen anlık yük ve momentte artış yaşanmaktadır.

Literatürdeki diğer çalışmalara bakıldığında, 40 cm yükseklikten oturup kalkma hareketinin benzetimi sonucunda hesaplanan maksimum yer tepki kuvveti, Hang ve Zhaoli tarafından gerçekleştirilen oturup kalkma hareketinin incelenmesine yönelik çalışmanın sonuçları ile benzerlikler sergilemektedir. Hang ve Zhaoli, insan vücudunu toplam 4 uzuvdan oluşan bir yapıda SimMechanics yazılımı ile modellemişler ve en büyük yer tepki kuvvetini vücut ağırlığının yaklaşık 1.25 katı olarak hesaplamışlardır [6]. Margaret ve diğ. tarafından sağlıklı bireyler ile Parkinson hastalığı olan bireylerin oturup kalkma davranışlarının incelendiği çalışmada en büyük eklem momentinin diz ekleminde olduğu tespit edilmiştir [4]. Bu çalışmadaki en büyük eklem momentinin de diz ekleminde olduğu hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 2). Bu özelliği ile diz ekleminin, ekstansiyon ve fleksiyon hareketleri sırasında oluşan momentleri taşıyabilme kabiliyetinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışma, SimMechanics yazılımının insan hareketlerini karmaşık denklem yapılarına ihtiyaç duymadan başarılı bir şekilde analiz edebildiğini göstermektedir. Yazılımın esnek yapısı sayesinde daha kapsamlı analizler yapmak mümkündür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2012-50-01-006).

KAYNAKLAR

- [1] JANSSEN, W., G., M., BUSSMANN, H., B., J., “Determinants of the Sit-to-Stand Movement: A Review”, *Physical Therapy*, 82, 9, 866-879, 2002.
- [2] NUZIK, S., LAMB, R., VANSANT, A., HIRT, S., “Sit-to-Stand Movement Pattern: A Kinematic Study”, *Physical Therapy*, 66, 11, 1708-1713, 1986.
- [3] SCHLICHT, J., CAMAIONE, D., N., OWEN, S., V., “Effect of Intense Strength Training on Standing Balance, Walking Speed, and Sit-to-Stand Performance in Older Adults”, *Journal of Gerontology: MEDICAL SCIENCES*, 56, 5, M281-M286, 2001.
- [4] MARGARET, K., Y., M., ORON, L., JOSEPH, M., CHRISTINA, W., Y., H., “Joint torques during sit-to-stand in healthy subjects and people with Parkinson’s disease”, *Clinical Biomechanics*, 18, 197-206, 2003.
- [5] LORD, S., R., MURRAY, S., M., CHAPMAN, K., MUNRO, B., TIEDEMANN, A., “Sit-to-Stand Performance Depends on Sensation, Speed, and Psychological Status in Addition to Strength in Older People”, *Journal of Gerontology: MEDICAL SCIENCES*, 57, 8, M539-M543, 2002.
- [6] HANG, S., ZHAOLI, M., “Kinematics simulation of sit to stand based on SimMechanics”, *International Conference on Future Computer Science and Education, China*, 59-61, 2011.
- [7] GORDON, D., ROBERTSON, E., CALDWELL, G., E., HAMILL, J., KAMEN, G., WHITTLESEY, S., N., “Research methods in biomechanics”, *Human Kinetics, USA*, 2004.
- [8] LEE, K., “CAD systems for human –centered design”, *Computer-Aided Design & Applications*, 3, 5, 615-628, 2006.
- [9] DAUMAS, B., XU, W., L., BRONLUND, J., “Jaw mechanism modeling and simulation”, *Mechanism and Machine Theory*, 40, 821-833, 2005.
- [10] HAJNY, O., FARKASOVA, B., “A study of gait and posture with the use of cyclograms”, *Acta Polytechnica*, 50, 4, 48-51, 2010.
- [11] AMCA, A., M., HARBİLİ, E., ARITAN, S., “Koparma kaldırışının biyomekanik analizi için mekanik model geliştirilmesi”, *Hacettepe Spor Bilimleri Dergisi*, 21, 1, 21-29, 2010.
- [12] CHANDLER, R., F., CLAUSER, C., E., MCCONVILLE, J., T., REYNOLDS, H., M., YOUNG, J., W., “Investigation of inertial properties of the human body”, *Aerospace Medical Research Laboratory, DOT-HS-017-2-315-1A*, 1-162, Washington D.C., 1975.
- [13] WINTER, D., A., “Biomechanics and motor control of human movement”, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Canada, 1990.
- [14] ÇİLLİ, M., “İnsan hareketinin modellenmesi ve benzeşiminde temel bileşenler analizi yönteminin kullanılması”, *Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, 2007.
- [15] KAPTI, A., O., “İnsan alt ekstremitelerinin incelenmesi ve aktif diz üstü protezi tasarımı”, *Doktora tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2001.
- [16] JAMSHIDI, N., ROSTAMI, M., NAJARIAN, S., SAADATNIA, M., FIROOZ S., “Modelling of human walking to optimise the function of ankle-foot orthosis in Guillan-Barre patients with drop foot”, *Singapore Med J*, 50, 4, 412-417, 2009.
- [17] GOURGOULIS, V., AGGELOUSSIS, N., KALIVAS, V., ANTONIOU, P., MAVROMATIS, G., “Snatch lift kinematics and bar energetics in male adolescent and adult weightlifters”, *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 44, 126-131, 2004.
- [18] “SimMechanics User’s Guide”, *MathWorks Inc.*, 1-846, 2008.
- [19] “Simulink for System and Algorithm”, *Training Book, MathWorks Inc.*, 2010.