



**Ahmet Alptekin<sup>1</sup>, Serdar Arıtan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Pamukkale Üniversitesi, Spor Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu, Denizli, Türkiye

<sup>2</sup> Hacettepe Üniversitesi, Spor Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu, Ankara, Türkiye

[aalptekin@pau.edu.tr](mailto:aalptekin@pau.edu.tr)

ORIGINAL ARTICLE

## KINEMATIC OF THE TAKEOFF PHASE OF THE LONG JUMP: A COMPARISON OF TWO DIMENSIONAL AND THREE DIMENSIONAL ANALYSES

### *Abstract*

The purpose of the study is to determine the analyse protocols by analysing the segment lengths using kinematics parameters that result of the 2 and 3 dimensional analysis of takeoff phase in the long jump. An elite long jumper participated in this study (Height = 1.75 m, Weight = 75 kg). Four high-speed cameras operating at 100 frames per second were used to record the long jumper's attempts (Basler A 602f high speed camera). Captured 2 and 3 dimensional views digitized in SIMI Motion 7.3 (SIMI Reality Motion Systems GmbH-Germany) by tracking 8 anthropometrical markers. Segments lengths were calculated in 2 and 3 dimensional respectively. As a result; the amount of error between the real segment length and computed segment length using kinematics parameters of 2 and 3 dimensional analyses, 3 dimensional analyse results showed least error than 2 dimensional analyse. As 2 dimensional analyse results compared to each other; the camera was placed in perpendicular the motion plane showed least error than the camera placed with an angle to the motion of plane.

**Key Words:** Long jump, takeoff, kinematic, motion analyses, error ratio

## UZUN ATLAMADA ÇIKIŞ EVRESİNİN KİNEMATİĞİ: 2 ve 3 BOYUTLU ANALİZİN KARŞILAŞTIRILMASI\*

### *Özet*

Bu çalışmanın amacı; uzun atlamada çıkış evresinin 2 ve 3 boyutlu analizi sonucu elde edilen kinematik veriler yardımıyla üye uzunluklarındaki değişimi incelenerek analiz protokollerinin belirlenmesidir. Çalışmaya bir erkek uzun atlayıcı denek olarak katılmıştır (Boy = 1.75 m, VA = 75 kg). Deneğin uzun atlama görüntüsü saniyede 100 kare kayıt yapabilen yüksek hızlı 4 adet kamerayla kaydedildi (Basler A 602f high speed camera). Kaydedilen 2 ve 3 boyutlu görüntüler SIMI Motion 7.3 (SIMI Reality Motion Systems GmbH-Germany) hareket analizi yazılımı kullanılarak deneğin üzerine yerleştirilen 8 antropometrik nokta işaretlenerek sayısallaştırılmıştır. Üyelerin uzunlukları 2 ve 3 boyutlu olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sonuç olarak; gerçek üye uzunlukları ile 2 ve 3 boyutlu analiz sonucu elde edilen kinematik veriler yardımıyla hesaplanan üye uzunlukları arasındaki hata yüzdelere göre, 3 boyutlu analiz sonuçları 2 boyutlu analiz sonuçlarına oranla daha az hata göstermiştir. İki boyutlu analiz sonuçları birbirleriyle karşılaştırıldığında; hareket düzlemine dik olarak yerleştirilen kameranın görüntüsünün 2 boyutlu analiz sonuçları, hareket düzlemine belirli açıyla yerleştirilen kameranın görüntüsünün 2 boyutlu analiz sonuçlarına oranla, hata yüzdeleri açısından daha az hata yüzde değeri vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Uzun atlama, çıkış, kinematik, hareket analizi, hata oranı

\* Bu çalışma 9. Uluslararası Spor bilimleri Kongresi'nde (03-05 Kasım 2006) sözel bildiri olarak sunulmuştur.

## GİRİŞ

Uzun atlama dönüşümsüz birleşik becerili bir harekettir. Yani dönüşümlü bir hareketten sonra dönüşümsüz bir hareketin yapılmasının sonucunda ortaya çıkar (Bompa, 2003). Uzun atlamada amaç, atlama sonucunda mümkün olan en uzak noktaya ulaşmaktır. Atlama mesafesini etkileyen en önemli parametreler yerden çıkış hızı, yerden çıkış açısı ve yerde kalış süresidir. Atlayış sırasında yerden çıkış hızı ve açısı, yerden çıkış anında atletin yatay ve dikey hızı tarafından belirlenir ve hızdaki değişimler atletin yere uyguladığı kuvvete ve yerde kalış süresine bağlıdır. Aynı zamanda vücut üyelerinin konumu da yerde kalış süresini etkilemektedir. Yerde kalış süresi ne kadar kısa olursa uygulanan kuvvet o kadar fazla olacaktır. Bu durum, itme-devinirlik ile açıklanabilmektedir. Ayrıca Newton'un 3. hareket yasasına göre, sporcunun yere uyguladığı kuvvet kadar yerde sporcuya eşit fakat zıt yönlü kuvvet uygulamaktadır. Kuvvetin fazla olması; Newton'un 2. hareket yasasından da anlaşıldığı gibi ivmede artışa, ivmedeki artış da yerden çıkış hızının artmasına neden olacaktır. Vücut üyelerinin antropometrik özellikleri, bir başka deyişle kütle dağılımı yerden çıkış hızını ve açısını etkileyen faktörlerdendir (Hay, 1986; Hay ve Nohara, 1990; Jaitner ve diğ., 2001; Less ve diğ., 1993; Nixdorf ve Brüggemann, 1990).

Biyomekanik çalışmalarda kinematik veriler sıklıkla kullanılmaktadır. Kinematik verilerin elde edilmesinde, yarışma ve laboratuvar ortamlarında analiz gerçekleştirebilme olanağı sağlayan, hareket analizi sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Adham ve diğ., 1999; Pezzack ve diğ., 1977). Sportif hareketlerin niteleyici kinematik analizlerinde biyomekanikçiler büyük miktarda veriyi sayısallaştırmak zorundadır. Koordinatların sayısallaştırılma süreci, vücut üyelerinin sınır noktalarının bir sayıyla tanımlanmasını içerir. Sayısallaştırmada incelenen noktanın koordinatları kaydedilir ve bilgisayarın hafızasında saklanır. Sayısallaştırmadan sonra doğrusal ve açısal yerdeğiştirme verileri elde edilir. Bu analizler aynı zamanda, hareketin önemli bir anında, hareketi kendi içinde ve farklı hareketlerle karşılaştırmada kullanılmaktadırlar (Bartlett, 1997). İnsan hareketine ilişkin kinematik çalışmalarda kullanılan verilerinin elde edildiği yöntemler, gürültü içermektedir (Adham ve diğ., 1999; Pezzack ve diğ., 1977). Kinematik ve kinetik çalışmaların doğruluğu işaretlerin yada işaretlenen noktaların yer değiştirme verilerinin doğruluğuna bağlıdır (Çilli ve Arıtan, 2004; Pezzack ve diğ., 1977). Yer değiştirme verilerindeki bu hatalar, yer

değiştirmenin birinci, ikinci türevleri olan hız ve ivme değerlerinde aşırı hatalar olarak ortaya çıkmaktadır (Adham ve diğ., 1999; Çilli ve Arıtan, 2004; Dabnichki ve diğ., 1997; Pezzack ve diğ., 1977).

İki veya 3 boyutlu analize karar verirken incelenmek istenen hareket göz önünde bulundurulmalıdır. Hareket sırasında vücut üyelerinin 3 boyutlu uzaydaki hareketleri 2 ve 3 boyutlu analiz sonuçlarını etkileyebilir. Sportif hareketlerin 2 ve 3 boyutlu kaydedilmesinde, film ve video donanımlarının avantaj ve sınırlılıkları gibi gerekli özellikleri göz önünde bulundurulur. Her iki analiz yönteminin de avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır.

### *2 Boyutlu Kayıt ve Analiz*

- Daha az kamera ve donanıma ihtiyaç olduğu için daha basit ve daha ucuzdur.
- Hareketlerin daha önceden belirlenen hareket düzleminde yapılması gerekir (hareket düzlemi veya performans düzlemi). Bu, gerekli düzlemsel hareketler için mantıklı sonuçlar verir. Fakat seçilen düzlemin dışındaki hareketler göz ardı edilir.
  - Kavramsal olarak 2 boyutlu koordinatları anlamak 3 boyutlu koordinatları anlamaktan daha kolaydır.
  - Daha az sayısallaştırma süresi gerekir ve daha az metodolojik probleme sahiptir (hareket düzlem koordinatlarına görüntünün dönüştürülmesi gibi) (Bartlett, 1997).

### *3 Boyutlu Kayıt ve Analiz*

- Çok daha karmaşık bir işlem yoluna sahiptir.
- Vücudun tam olarak uzaysal hareketleri gösterilebilir ve çalışılan hareketin gerçekliğine daha yakın sonuçlar verir.
  - Daha fazla donanım gerektirdiği için pahalıdır.
  - 3 boyutlu yeniden yapılandırma ile ilişkilendirildiğinde hesaplamayla ilgili zorluk ve karmaşıklık artar.
  - Bozulmuş, biçim yitirmiş (distortion) görüntüler haricinde, üyeler arası açıların doğru olarak hesaplanmasına izin verir. Aynı zamanda, birçok nedenden dolayı tek bir kameradan kolayca görülemeyen diğer açıların da hesaplanmasına izin verir (Bartlett, 1997).

Bu çalışmada; uzun atlamada çıkış evresinin 2 ve 3 boyutlu analizi sonucu elde

edilen kinematik veriler yardımıyla üye uzunluklarındaki değişimi incelenerek analiz protokollerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## YÖNTEM

### Araştırma Grubu

Çalışmaya bir erkek uzun atlayıcı denek olarak katılmıştır. Çalışmada deneğin sağ tarafında belirlenen 7 antropometrik noktaya yansıtıcı işaretler yerleştirildi. Deneğin üzerine yerleştirilen yansıtıcı işaretler arası mesafeler kayan sürgülü kaliper (Harpenden antropometrik set – Holtain / İngiltere) ile ölçülerek, deneğin ayak, alt bacak, üst bacak, üst kol ve önkol üye uzunlukları kullanılan cihazın hassasiyet aralığında ( $\pm 0.1$  mm) hassasiyetle belirlendi (Tablo 1).

**Tablo 1.** Deneğe ait ölçülen üye uzunlukları.

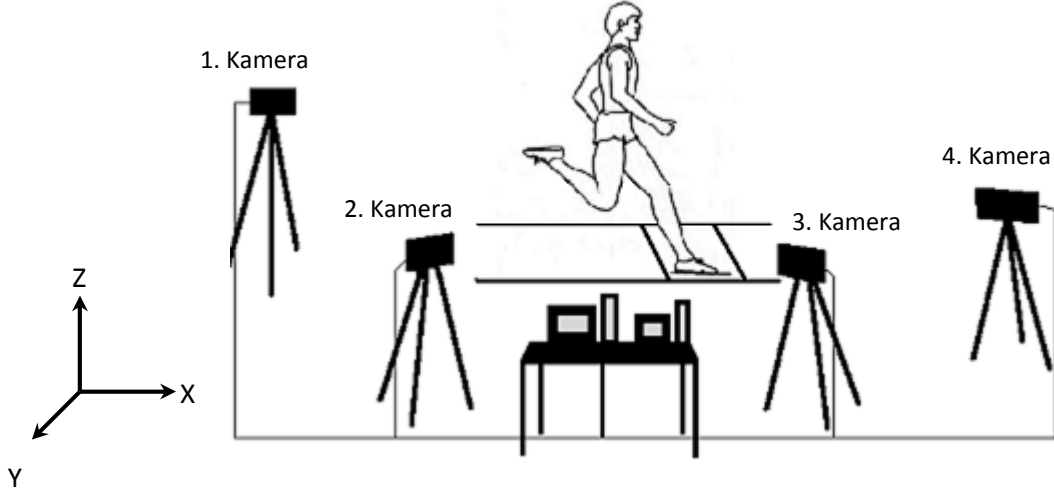
	Ayak	Alt bacak	Üst bacak	Üst kol	Ön kol
Üye Uzunlukları (m)	0.15	0.35	0.41	0.28	0.265

20 dakikalık ısınmanın ardından deneğe aralarda dinlenmeli 5 ayrı uzun atlama yaptırıldı. Daha sonraki analiz ve hesaplamalar için en iyi atlama performansı değerlendirmeye alındı.

### Veri Toplama Araçları

Deneğin uzun atlama görüntüsü saniyede 100 kare kayıt yapabilen 4 adet yüksek hızlı kamerayla (Basler A602f high speed camera) kaydedildi. Hareket alanının 2 boyutlu düzlemde tanımlanabilmesi için 4 noktadan oluşan, 3 boyutlu uzayda tanımlanabilmesi için 8 noktadan oluşan kalibrasyon (ölçümleme) kafesi kullanıldı. Kalibrasyon kafeslerinin ebatları sırasıyla 2 boyutlu analizler için (1.5 m x 1.28 m), 3 boyutlu analiz için (1.5 m x 1.5 m x 1.28 m) dir. Kameralar deneğin sağ tarafına yarım daire çizecek ve aralarında yaklaşık olarak  $45^{\circ}$  açı olacak şekilde yerleştirildi. Deney planının şematik gösterimini Şekil 1’de, deneyin

yapıldığı alanının görüntüsü Resim 1’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Deneğin uzun atlama görüntüsünün kaydedildiği alanda kameraların ve hareket analiz sisteminin yerleşim şeması.



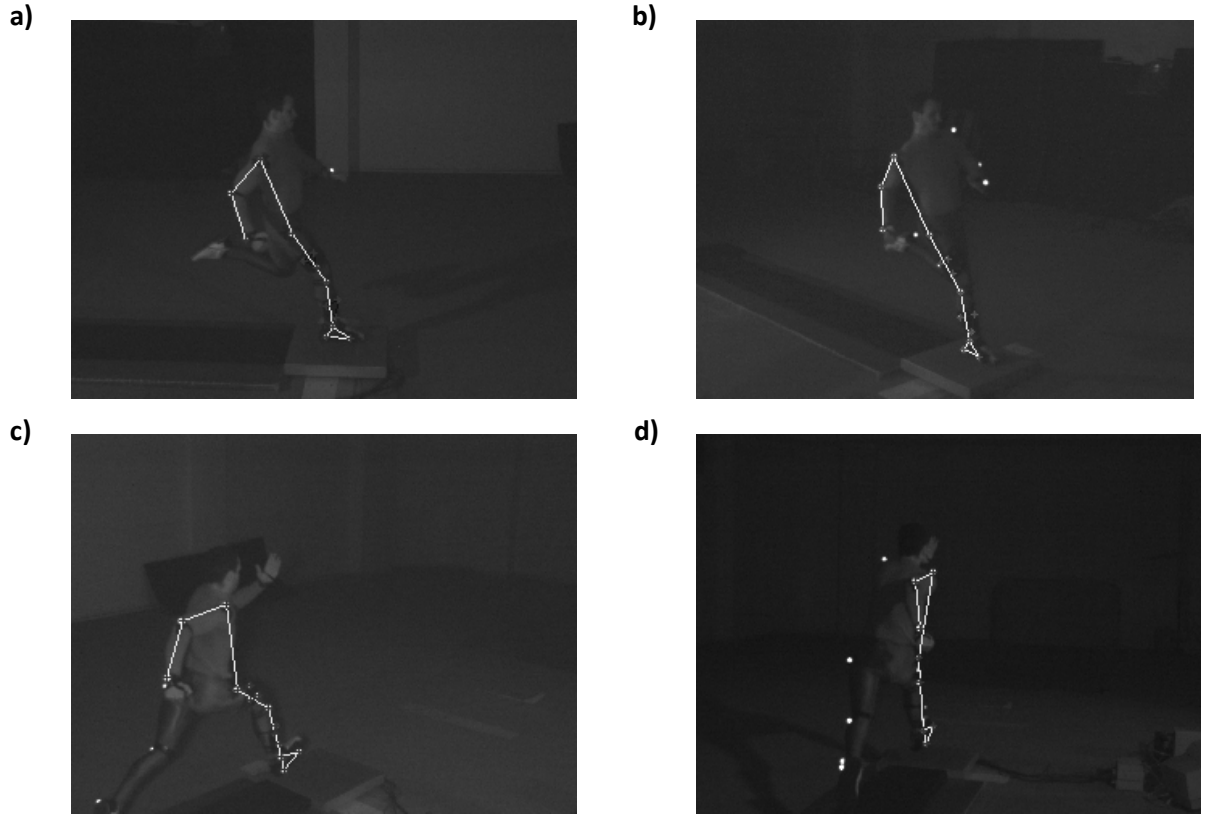
**Resim 1.** Deneğin uzun atlama görüntüsünün kaydedildiği alanda kameraların, kalibrasyon kafesinin ve hareket analiz sisteminin yerleşimi.

Değerlendirmeye alınan atlayışa ait, iki farklı 2 boyutlu analiz ve bir adet 3 boyutlu analiz olmak üzere toplamda üç farklı analiz yapıldı.

1. Deneğin hareket düzlemine dik olarak yerleştirilen 3. kameranın görüntüsü (Dik kamera DK) 2 boyutlu analiz için kullanıldı (Şekil 1) (Resim 2.a).

2. Deneğin hareket düzlemine çapraz olarak yerleştirilen 4. kameranın görüntüsü (Çapraz kamera ÇK) 2 boyutlu analiz için kullanıldı (Şekil 1) (Resim 2.b).

3. Deneğin hareket düzlemine dik ve çapraz olarak yerleştirilen 3. ve 4. kameraların görüntüleri de dahil olmak üzere 1., 2., 3. ve 4. kameraların görüntüsü 3 boyutlu analiz için kullanıldı (Şekil 1) (Resim 2.a, b, c, d).



**Resim 2.** 2 ve 3 boyutlu analizi yapılan görüntüler.

### Verilerin Toplanması

Kaydedilen görüntüler SIMI Motion 7.3 hareket analizi sisteminde manüel olarak ayrı ayrı sayısallaştırıldı (SIMI Reality Motion Systems GmbH-Germany). Sayısallaştırılan noktaların uzaysal konumları kalibrasyon kafesinin değerleri kullanılarak 11 parametrelili Direkt Doğrusal Dönüşüm (DLT) algoritması ile hesaplandı.

### Verilerin Analizi

Verilerin analizinde kullanılan işlemlerin tümünde MATLAB 5.3 ( The MathWorks Inc., Natick, USA) öğrenci sürümü kullanılmıştır. Üyelerin uzunluk değerleri, 2 ve 3 boyutlu olarak ayrı ayrı hesaplandı. İki ve üç boyutlu analizlerde üyelere ait hata yüzdeleri Eşitlik 1'den hesaplandı (E.1).

$$MHY = \frac{|GU - HU|}{GU} * 100$$

E.1

Burada;

MHY: Mutlak hata yüzdesi;

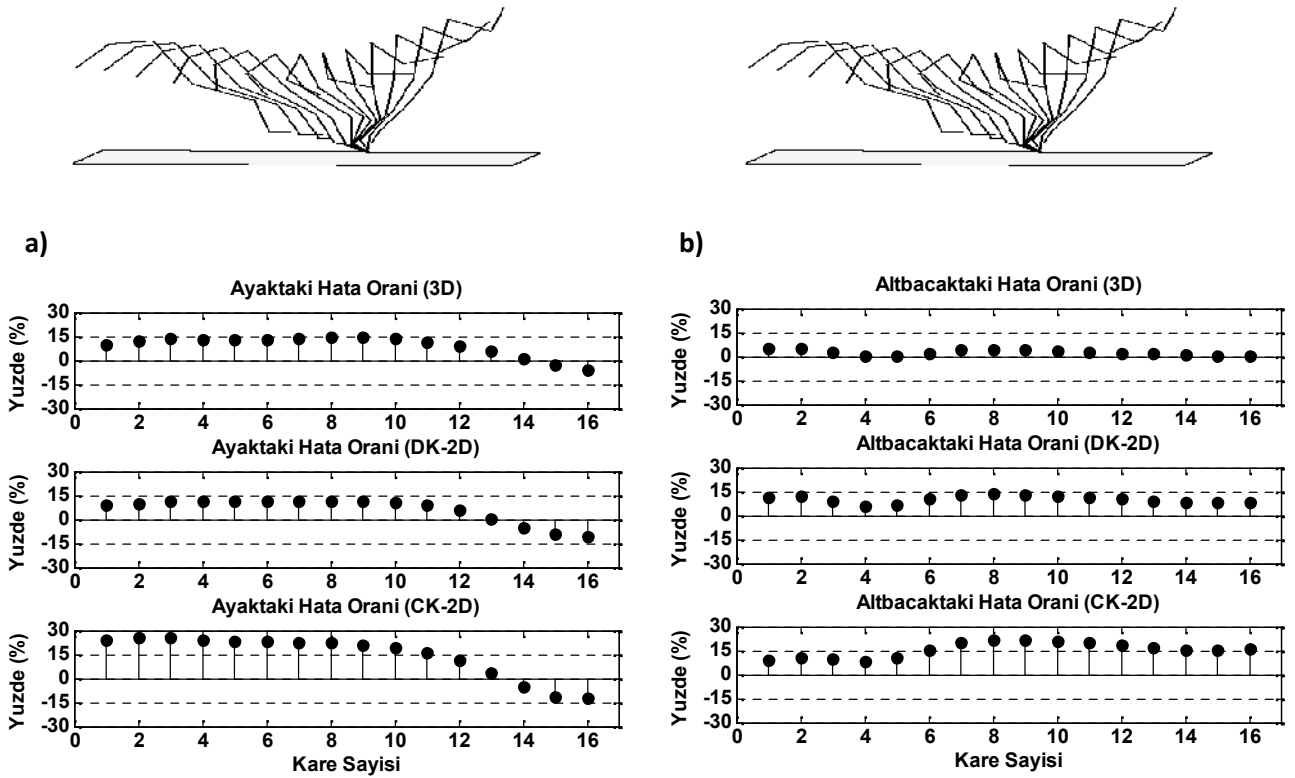
GU: Gerçek üye uzunluğu;

HU: Hesaplanan üye uzunluğunu göstermektedir.

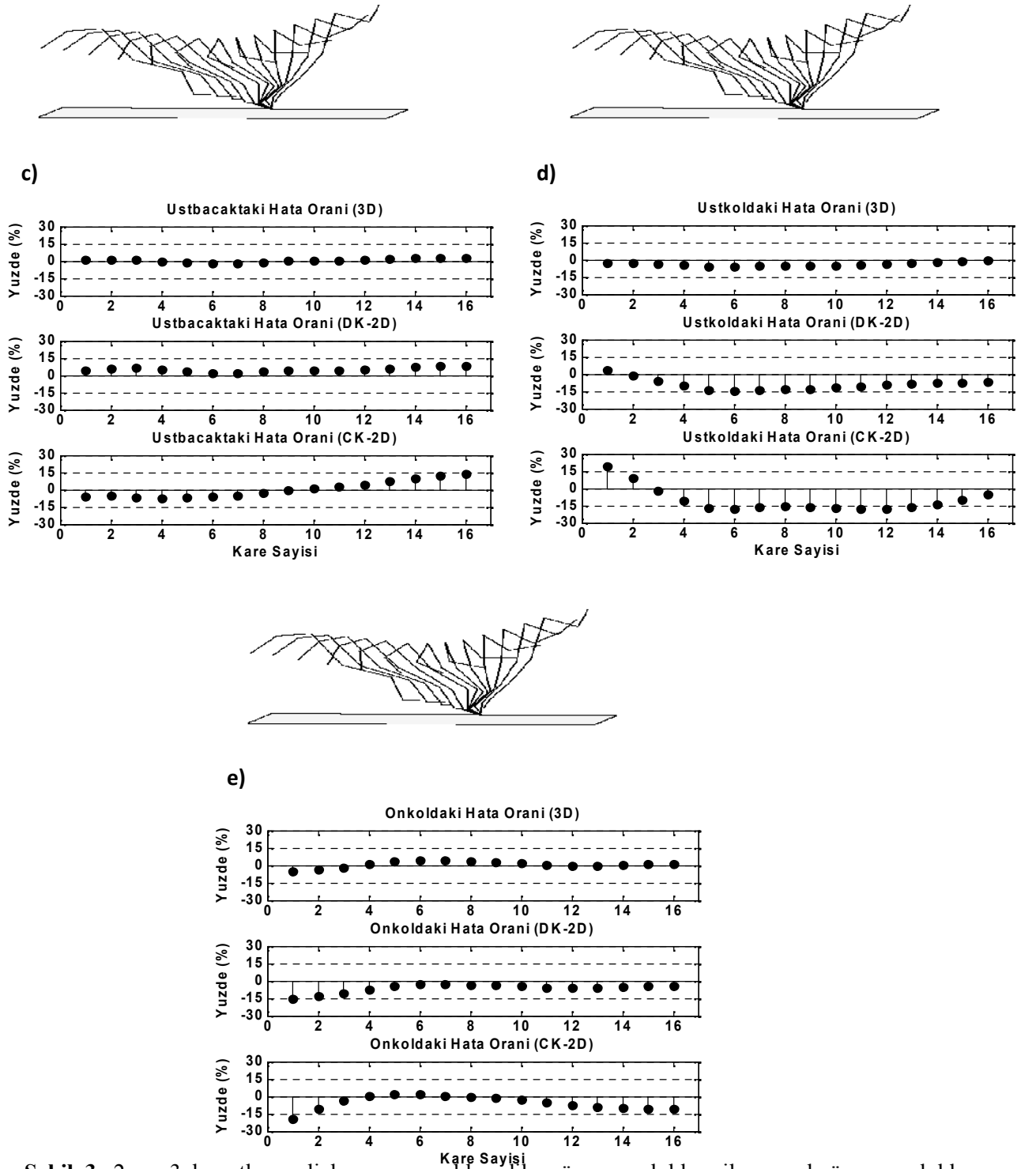
Üyelere ait hata yüzdelerinin analiz sonuçlarına göre minimum, maksimum ve ortalama değerleri MATLAB 5.3 programının var olan min(), max() ve mean() fonksiyonları kullanılarak hesaplanmıştır.

## BULGULAR

Ayak, alt bacak, üst bacak, üst kol ve ön kola ait gerçek üye uzunlukları ile 2 ve 3 boyutlu analizler sonucunda bu üyelere ait hesaplanan üye uzunlukları arasındaki hata yüzdeleri sırasıyla Şekil 3'de gösterilmiştir. Tüm şekillerde ilk olarak 3 boyutlu analiz (3D) sonucu elde edilen üye uzunluğu ile gerçek üye uzunluğu arasındaki hata yüzdesi verilmiştir. Daha sonra hareket düzlemine dik olarak yerleştirilen kamera görüntüsünün 2 boyutlu analizi (DK-2D) sonucu elde edilen üye uzunluğu ile gerçek üye uzunluğu arasındaki hata yüzdesi verilmiştir. Son olarak da hareket düzlemine belirli bir açıyla yerleştirilen kamera görüntüsünün 2 boyutlu analizi sonucu (ÇK-2D) elde edilen üye uzunluğu ile gerçek üye uzunluğu arasındaki hata yüzdesi verilmiştir.







Şekil 3. 2 ve 3 boyutlu analizler sonucu elde edilen üye uzunlukları ile gerçek üye uzunlukları arasındaki hata yüzdesi. a) Ayak, b) Alt bacak, c) Üst bacak, d) Üst kol, e) Önkol.

Ayak, alt bacak, üst bacak, üst kol ve ön kola ait gerçek üye uzunlukları ile 2 ve 3 boyutlu analizler sonucunda bu üyelere ait hesaplanan üye uzunlukları arasındaki hata yüzdelerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri özetlenerek Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2:** Üyelere ait hata yüzdelerinin analiz sonuçlarına göre minimum, maksimum ve ortalama değerleri.

Üyeler	3D (%)			2D-DK (%)			2D-ÇK (%)		
	Min.	Maks.	Ort.	Min.	Maks.	Ort.	Min.	Maks.	Ort.
<b>Ayak</b>	1.27	14.38	10.53	0.65	11.58	9.33	3.83	25.69	18.15
<b>Altbacak</b>	0.01	5.28	2.51	6.13	13.71	10.26	8.32	21.35	15.57
<b>Üstbacak</b>	0.11	2.85	1.38	2.18	8.63	5.09	0.54	13.86	6.05
<b>Üstkol</b>	0.44	5.82	3.80	1.23	14.49	9.36	1.74	19.56	13.76
<b>Önkol</b>	0.05	5.41	2.23	2.77	15.19	6.20	0.37	19.21	6.04

## TARTIŞMA ve SONUÇ

İki ve üç boyutlu analiz sonucunda, gerçek ayak uzunluğu ile hesaplanan ayak uzunluğu arasındaki hata yüzdeleri Şekil 3.a’da verilmiştir. Yapılan üç analiz sonucunda da ayaktaki hata yüzdelerinin yüksek olduğu görülmektedir ( $\pm$  %10.53 – 25.69). Bu çalışmada incelenen hareket göz önünde bulundurulursa, uzun atlamann çıkış evresinde ayağın şiddetli bir şekilde yere vuruşu sırasında denek üzerine yerleştirilen işaretçiler ayağın yere vuruşundan etkilenerek azda olsa hareket etmiş olabileceği düşünülmektedir. Bu etkinin ayak için tüm analizlerin hata yüzdesini artırabileceği düşünülebilir. Üç boyutlu ve DK-2 boyutlu analizde ayaktaki hata yüzdesi ÇK-2 boyutlu analizine göre daha düşük bulunmuştur. Gerçek ayak uzunluğuna en yakın sonuçlar 3 boyutlu analizde elde edilmiştir. Üç boyutlu analizün üyenin veya vücudun tam olarak uzaysal hareketlerinin gösterilebileceği ve çalışılan hareketin gerçekliğine daha yakın sonuçlar vereceği literatürde de bildirilmektedir (Bartlett, 1997).

İki ve üç boyutlu analiz sonucunda alt bacak, üst bacak, üst kol ve önkolun gerçek uzunluğu ile bu üyelere ait hesaplanan uzunluklar arasındaki hata yüzdeleri Şekil 3.b, c, d ve

e'de verilmiştir. Üç boyutlu analiz sonucunda hesaplanan hata yüzdeleri bu 4 üyenin, özellikle üst bacağın hata yüzdelerinde, gerçek uzunluk değerleri veya gerçek uzunluk değerine çok yakın sonuçlar verecek şekilde düşüktür. DK-2 boyutlu ve ÇK-2 boyutlu analizler sonucunda üyelerin uzunluklarına ait yüksek hata yüzdeleri, hareketin başındaki, ortasındaki veya sonundaki karelerde (değerlerde) bulunmuştur. İki boyutlu analizde hareket düzlemsel olarak incelenmektedir. İncelenen hareketin doğası gereği üyelerin hareketi sırasında üye uzunlukları bazen hareket düzleminde gerçek üye uzunluğuna yakın, bazen de gerçek üye uzunluğundan çok daha kısa görülebilmektedir. Bu ise 2 boyutlu analizde hata yüzdelerinin azalması veya artmasına neden olmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre üyelere ait hata yüzdelerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri incelendiğinde tüm üyeler için en az hata yüzde değerlerinin 3 boyutlu analiz sonuçlarında olduğu görülmektedir. İki boyutlu analizler içerisinde hata yüzde değerleri, ÇK-2 boyutlu analize göre DK-2 boyutlu analizde daha düşüktür. En fazla hata yüzde değerlerinin ÇK-2 boyutlu analizde olduğu görülmektedir (Tablo 2). Yüksek hata yüzde değerleri, daha sonraki hesaplamalarda (üyenin doğrusal ve açısız hız ve ivme değerleri, üye kütle merkezinin doğrusal hız ve ivme değerleri gibi) daha büyük hataların ortaya çıkabileceğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak; gerçek üye uzunlukları ile 2 ve 3 boyutlu analiz sonucu elde edilen kinematik veriler yardımıyla hesaplanan üye uzunlukları arasındaki hata yüzdeleri açısından, 3 boyutlu analiz sonuçları 2 boyutlu analiz sonuçlarına oranla daha az hata yüzde değerleri vermiştir. İki boyutlu analiz sonuçları birbirleriyle karşılaştırıldığında; hareket düzlemine dik olarak yerleştirilen kameranın görüntüsünün 2 boyutlu analiz sonuçları, hareket düzlemine belirli açıyla yerleştirilen kameranın görüntüsünün 2 boyutlu analiz sonuçlarına oranla, hata yüzdeleri açısından daha az hata yüzde değeri vermiştir.

Vücudun tam olarak uzaysal hareketlerinin gösterilebilmesi ve çalışılan hareketin gerçeğe yakın sonuçlar vermesi için analizin 3 boyutlu olarak yapılması gerekmektedir. Üç boyutlu analiz yapma imkanı yoksa ve çalışma 2 boyutlu yapılacaksa çalışılan hareketin hareket düzleminde olmasına dikkat edilmelidir.

**KAYNAKLAR**

- Adham, R., Shibab, I. & Asfour, S. (1999). Discrete wavelet transform: a tool in smoothing kinematic data. *Journal of Biomechanics*, 32, 317-321.
- Bartlett, R. (1997). *Introduction to Sports Biomechanics*. First Edition. UK: Chapman & Hall.
- Bompa, T. O. (2003). *Dönemleme – Antrenman Kuramı ve Yöntemi*. (2.Baskı). Çev. İ. Keskin ve Ark. Ankara: Bağırhan Yayımevi.
- Çilli, M. ve Arıtan, S. (2004). Hareket analizi sistemlerinde otomatik olmayan sayısallaştırmada ortaya çıkan hataların dağılımı. *Spor Bilimleri Dergisi*, 15(2), 91-99.
- Dabnicki, P., Arıtan, S., Lauder, M. & Tsirakos, D., (1997). Accuracy evaluation of an on-line kinematics systems via dynamic test. *Journal of Medical Engineering and Technology*, (21), 2, 53-66
- Hay, J. G. & Nohara, H. (1990). Techniques used by elite long jumpers in preparation for takeoff. *Journal of Biomechanics*, 23(3), 229-39.
- Hay, J. G. (1986). The biomechanics of long jump. *Exercise and Sports Science Review*, 14, 401-46.
- Jaitner, T., Mendoza, L. & Schöllhorn, W. I. (2001). Analysis of the long jump technique in the transition from approach to takeoff based on time-continuous kinematic data. *European Journal of Sport Science*, 1(5), 1-12.
- Less, A., Fowler, N. & Derby, D. (1993). A biomechanical analysis of the last stride, touch-down and take-off characteristics of the women's long jump. *Journal of Sports Sciences*, 11, 303-14.
- Nixdorf, E. & Brüggemann, G. P. (1990). *Biomechanical Analysis of The Long Jump*. International Athletic Foundation. International Amateur Athletic Federation Scientific Research Project At The Games Of The XXXIV

Olympiad Seul 1988 Final Report. Italy: Arti Grafiche Danesi.

Pezzack, J.C., Norman, R.W. & Winter, D.A. (1977). An assessment of derivative determining techniques used for motion analysis. *Journal of Biomechanics*, 10, 377-382.