

HAREKET ANALİZİ SİSTEMLERİNDE SAYISALLAŞTIRMADA ORTAYA ÇIKAN HATALARIN DAĞILIMI

Murat ÇİLLİ, Serdar ARITAN

Hacettepe Üniversitesi, Spor Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu

ÖZET

Biyomekanik çalışmalarda kinematik veriler sıklıkla kullanılmaktadır. Kinematik ve kinetik çalışmaların doğruluğu işaretlerin yada işaretlenen noktaların yer değiştirme verilerinin doğruluğuna bağlıdır. Yer değiştirme verilerindeki bu hatalar, yer değiştirme vektörünün birinci, ikinci türevleri olan hız ve ivme değerlerinde aşırı hatalar ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada, otomatik olmayan sayısallaştırmada hata dağılımının incelenmesi amaçlanmıştır. Uygulanan filtreleme ve yumuşatma yöntemlerinin veri senisi içerisinde yer alan gürültüyü azaltabilme özelliklerinin değerlendirilmesinde, hata dağılımının belirlenmesi önemlidir. Hata dağılımının normal dağılım göstermesi halinde, hata dağılımına ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri gürültünün filtreleme ve yumuşatma işlemlerinde kullanılabilmesi düşünülebilir. Bu çalışmada kullanıcı kaynaklı hatanın gözlenmesi amacıyla, statik ve dinamik işaretler oluşturulmuştur. Bu işaretler 4 kullanıcı tarafından sabit ekran ve çözünürlük durumlarında sayısallaştırılmıştır. İşaret boyutu ve ilişkili olarak ön ve art alan renklerinin etkilerini gözlemek amacıyla 3 değişik işaret boyutu ve 3 değişik ön ve art alan rengi kullanılmıştır. Kullanıcılardan işaretin orta noktasını sayısallaştırması istenmiştir. Statik işaret, her seferinde ekrandaki fare belirteci işaretten ± 40 piksel uzaklaştırılarak 90 kez sayısallaştırılmıştır. Dinamik işaretin sayısallaştırılmasında; koşu hareketinde ayak bileği, diz ve kalça eklem noktalarını temsil eden 3 nokta kullanılmıştır. Seçilen 3 nokta her bir kare görüntüde sayısallaştırılmış ve noktalar arasında bağlantı oluşturularak alt bacak ve uyluk üyeleri oluşturulmuştur. Statik ve dinamik işaretlerin sayısallaştırılması ile oluşturulan değerler referans değerlerin karşılaştırılmasında farkların karelerinin toplamı (SSE) ve tanımlayıcılık katsayısı (R^2) değerleri, hata dağılımının normal dağılıma uygunluğunun test edilmesinde Kolmogorov-Smirnov testi kullanılmıştır. Çalışmada, değişik işaret boyutu ve renk durumları için hata dağılımlarının farklılaştığı, yatay ve di-

Geliş tarihi : 29.07.2004
Yayına kabul tarihi : 02.11.2004

key ekseninde değişik hata dağılımlarının oluştuğu gözlenmiştir. Tüm durumlarda oluşan hata dağılımlarının normal dağılıma uygun olmadığı gözlenmiştir ($p > .05$).

Anahtar Sözcükler: Sayıllaştırma, Hata, İşaret boyutu, İşaret rengi, Hareket analizi.

ERROR DISTRIBUTION IN MANUAL DIGITIZING MOVEMENT ANALYSING SYSTEMS

ABSTRACT

Kinematics data are often used in biomechanics research. The accuracy and precision of kinematics and kinetics studies depends on the accuracy and the precision of displacement data. The noise introduced into displacement data is amplified with respect to signal when data are differentiated thus resulting in totally unacceptable under- and over-estimates of segment velocities and accelerations. The aim of this study was to determine the error distribution in manual digitizing. If error distribution is similar to gaussian (normal) distribution, the mean and the variance of the error distribution can be used in the filtering procedure. To be able to observe user-based error, static and dynamics markers were simulated. These marker simulations were digitized by 4 advanced users in standard display and resolution settings. In order to see the effects of the marker size and related background and foreground color 3 different marker size and 3 different background and related foreground colors were used. Users were asked to digitize the center of the marker in both simulations. In static simulation; marker was digitized 90 times and mouse pointer (cross) was moved out side of the area which is a square that each side ± 40 pixel from the center of the marker. In dynamics simulation, three markers were used. These markers illustrated the ankle, the knee and the hip positions in running event. Three markers were digitized and linked for each frame. Two segment lengths, calculated from 3 dynamic markers, were compared. The differences between manual digitized and reference data were compared for horizontal and vertical positions with using sum of squares due to error and R^2 methods. To determine the static and the dynamics error distribution Kolmogorov-Smirnov test was used. It was observed that, error distribution varied for different marker and color settings. Different error were seen for horizontal and vertical axis. Also different error distribution was observed between users. The hypothesis, which tests whether the error show normal distribution, were refused for each marker-color settings and users ($p > .05$). It is observed that error did not show a gaussian distribution in this study. However, if much data would include, user based error may not show random error.

Key Words: Digitizing error, Marker size, Marker color, Motion analysis

GİRİŞ

Biyomekanik çalışmalarda kinematik veriler sıklıkla kullanılmaktadır. Kinematik verilerin elde edilmesinde, yanlışma ve laboratuvar ortamlarında analiz gerçekleştirilebilme olanağı sağlayan hareket analizi sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kinetik ve kinematik verilerin hesaplanmasında, ilgi duyulan antropometrik tanımlanan noktalar üzerine yerleştirilen aktif veya pasif işaretlerin sayıllaştırılmasıyla yer değiştirme verileri elde edilir. Kinematik ve kinetik çalışmaların doğruluğu işaretlerin yada işaretle-

nen noktaların yer değiştirme verilerinin doğruluğuna bağlıdır (Pezzack, Norman ve Winter 1977). Hareket analizinde görüntünün sayısallaştırılmasıyla elde edilen yer değiştirme verileri ise gürültü içermektedir (Adham, Shibab ve Asfour 1999; Pezzack ve ark., 1977). Yer değiştirme verilerindeki bu hatalar, yer değiştirme vektörünün birinci, ikinci türevleri olan hız ve ivme değerlerinde aşırı hatalar ortaya çıkarmaktadır (Adham ve ark., 1999; Dabnichki ve ark., 1996; Pezzack ve ark., 1977).

Biyomekanik çalışmalarda kullanılan ölçüm sistemlerine ve kullanıcılara bağlı olarak hatalar oluşabilmektedir. Ölçüm sistemlerinde oluşabilecek hatalar temel olarak ikiye ayrılabilir;

1- Tasarıma, yaklaşıma, cihazın kullanım yaşına bağlı olarak ortaya çıkan veya ölçüm sırasında oluşan hatalar sistematik hata olarak adlandırılmaktadır.

2- Ölçümlerin tekrarlanması ile meydana gelebilen deneysel belirsizlikler rasgele hata olarak adlandırılmaktadır (Taylor, 1997).

Bu çalışmada, hareket analizi sistem-

lerinden elde edilen yer değiştirme değerleri içerisindeki sayısallaştırma hata kaynaklı gürültünün tanımlanabilmesi ve bazı süreçler ile ilişkilendirilebilmesinde sistematik olarak veri içersine sokulduğu kabul edilen hatalara etki eden faktörlerin incelenmesi amaçlanmaktadır.

YÖNTEM

Sayısallaştırmada ortaya çıkan hataların gözlenebilmesi amacıyla, konumları bilinen statik ve dinamik işaretler üretilmiştir.

Statik İşaretin Sayısallaştırılması:

Statik işaretin sayısallaştırılmasındaki hataların gözlenebilmesi amacıyla, kullanıcılar merkezi koordinatları bilinen farklı çaplarda daire şeklindeki işaretin merkezini 90 kez fare yardımıyla sayısallaştırmıştır. Kullanıcılar her sayısallaştırma işlemi sırasında fareyi, işaretten ± 40 piksel uzaklaştırmışlardır. Sayısallaştırmada işaret boyutu ve renginin etkisinin gözlenmesi amacıyla, 3 farklı artalan, işaret rengi ve işaret boyutu kullanılmıştır. Renk ayarlamalarında 3 ana rengin [KYM] yüzde oranları kullanılmıştır.

Tablo 1. Sayısallaştırmada kullanılan durumlar

İşaret boyutu (1 point=1/72 inch)	İşaret rengi [KYM]	Artalan rengi [KYM]
2 (point)	Beyaz [1.0 1.0 1.0]	Beyaz [1.0 1.0 1.0]
6 (point)	Siyah [0.0 0.0 0.0]	Siyah [0.0 0.0 0.0]
10 (point)	Gri [0.3 0.3 0.3]	Gri [0.2 0.2 0.2]

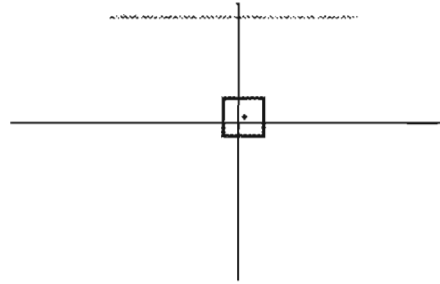
Dinamik İşaretin Sayıllaştırılması:

Dinamik işaretin sayıllaştırılmasındaki hataların gözlenmesi amacıyla, koşu hareketinde bir adım süresince belirlenen noktaların (ayak bileği, diz ve kalça eklem noktaları) konumları oluşturulan matematiksel model yardımıyla simüle edilmiştir. Modelde seçilen noktaların iki boyutlu (2B) konumlarının oluşturulmasın-

da, daha önceden analizi yapılmış olan bir koşu hareketinden elde edilen yer değiştirme bilgilerinden yararlanılmıştır. Her iki boyutta referans konumları bilinen işaretler, tablo 1 de verilen, farklı işaret boyutları ve farklı artalan renkleri için, 3 kullanıcı tarafından sayıllaştırılmıştır (Şekil 1a, Şekil 1b).



Şekil 1a. Dinamik işaretlerin sayıllaştırılması



Şekil 1b. Statik işaretlerin sayıllaştırılması

Sayıllaştırılan değerler ile referans değerler arasındaki farklar her iki boyut için incelenmiştir. Referans yer değiştirme değerleri ile sayıllaştırılan değerler, ayrıca hesaplanan alt ve üst bacak uzunlukları ve referans değerler arasındaki farkların incelenmesinde tanımlayıcılık katsayısı (R^2) ve farkların karelerinin toplamı (SSE) değerleri kullanılmıştır [E1, E2]. Hata dağılımının normal dağılıma uygunluğunun test edilmesinde Kolmogorov-Smirnov testi kullanılmıştır (Chakravarti, 1967).

$$SSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (SAY_i - REF_i)^2} \quad [E.1]$$

$$\left| \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n} \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i)^2}{n} \right)}} \right| \quad [E.2]$$

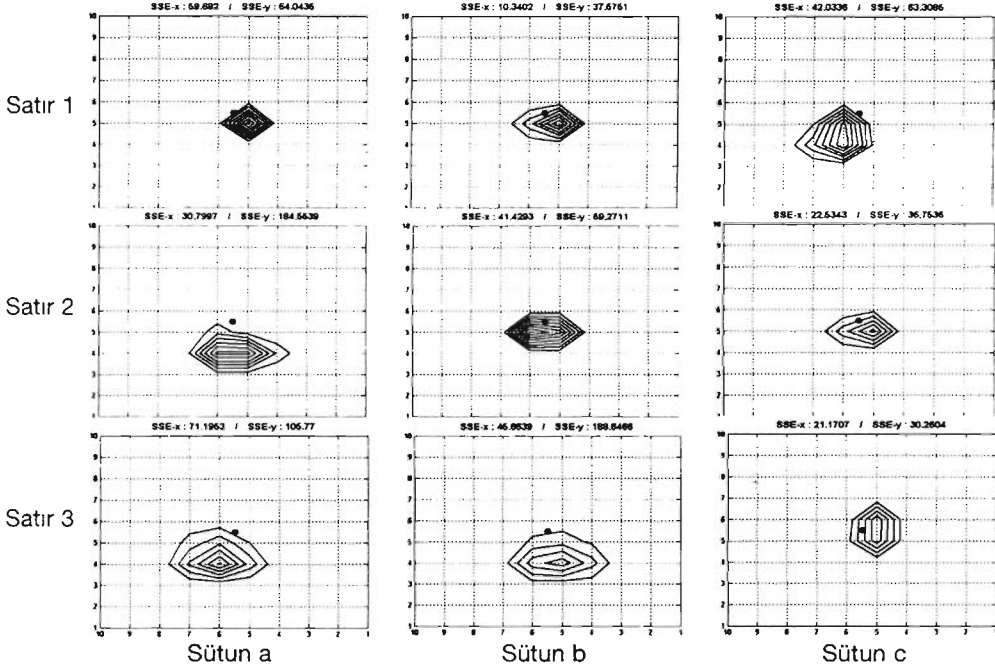
Statik ve dinamik işaretlerin sayıllaştırılması, 1024x768 ekran çözünürlüğünde, 640x480 görüntü alanı içerisinde en az 3 yıl sayıllaştırma konusunda deneyimi olan 4 kullanıcı tarafından gerçekleştirilmiştir ve öğrenme etkisi olmayacağı kabul edilmiştir. Kullanıcıların her biri sağ elini kullanmaktadır.

Sayıllaştırılacak noktaların oluşturu-

rulması, sayısallaştırma ve analiz işlemlerinde, Matlab 5.3 (The MathWorks Inc., Natick, USA) öğrenci sürümü kullanılmıştır.

BULGULAR

Sayısallaştırma işlemini gerçekleştiren kullanıcıların ortalama değerleri kullanılarak hesaplanan hata değerleri ve dağılımları grafikler halinde verilmiştir.

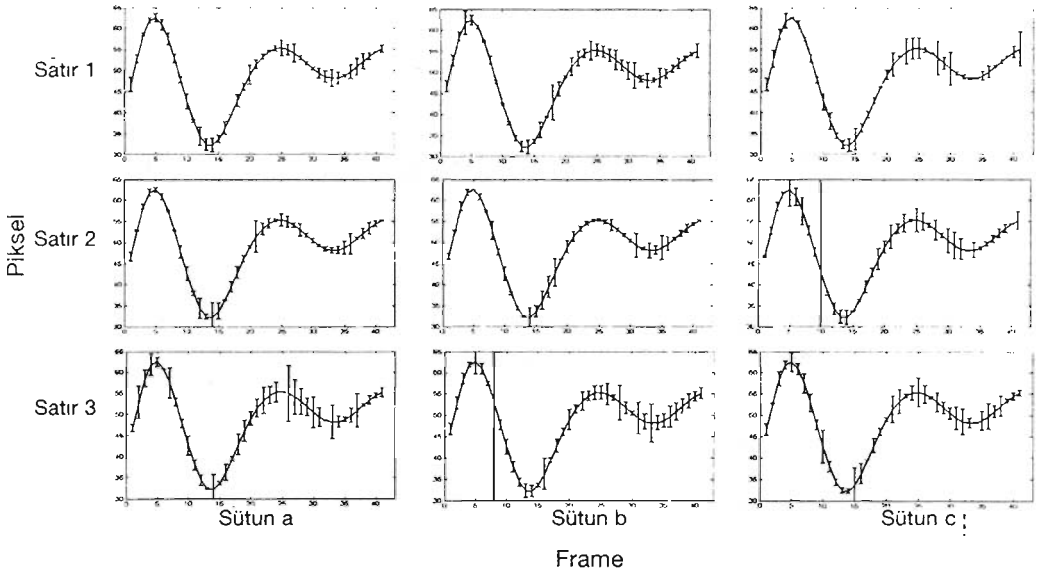


Şekil 2. Statik işaretin sayısallaştırılmasında hataların dağılımı.

Grafiğin ortasında yer alan siyah noktalar fare yardımı ile sayısallaştırılan referans noktayı, konturlar hataların dağılımını göstermektedir. Yatay ve düşey eksenler referans noktaya göre konumu piksel olarak belirtmektedir. Sütun a: siyah art alan-beyaz ön alan, sütun b: beyaz art alan-siyah ön alan, sütun c: değişik gri düzeyde art alan ve ön alan. Satır 1: işaret büyüklüğü 2 point, satır 2: işaret büyüklüğü 6, satır 3: işaret büyüklüğü 10.

Statik işaretin sayısallaştırılmasında, işaret boyutunun artmasına bağlı olarak hassasiyetin azaldığı gözlenmiştir. En

yüksek hassasiyet, siyah artalan, beyaz önalan ve 2 point işaret boyutunda gözlenmiştir.

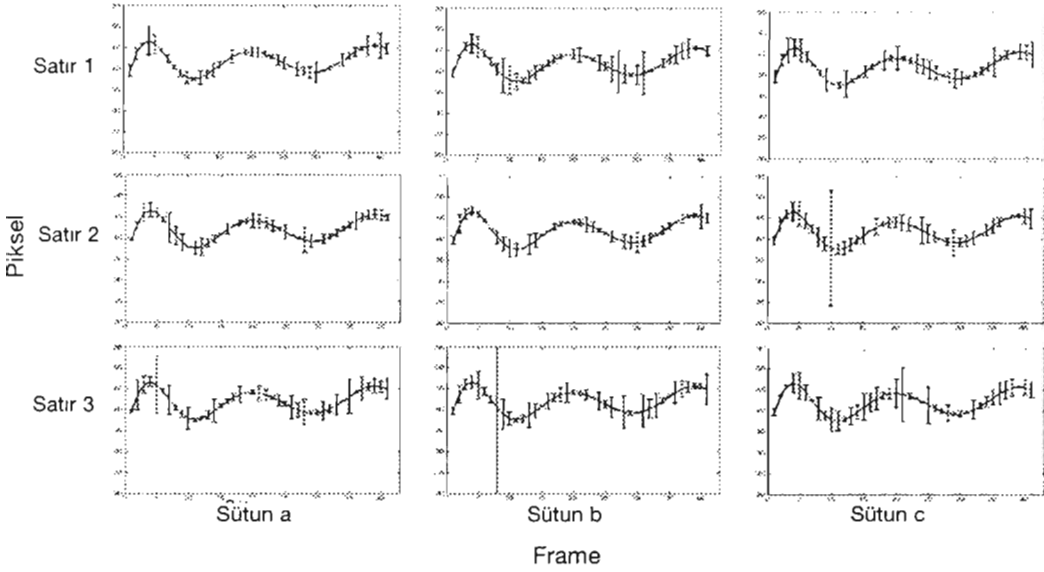


Şekil 3. Alt bacak uzunluğu değerlerindeki hata miktarları.

Grafikte yer alan eğri, zamana bağlı olarak alt bacak uzunluğu değişimini, hata barları ise belli zaman aralıkları ile sayısalılaştırılmış anatomik noktaların konum bilgilerinden hesaplanan uzunluk değerlerindeki hata miktarını piksel olarak göstermektedir. Sütun a: siyah art alan-beyaz ön alan, sütun b: beyaz art alan-siyah ön alan, sütun c: değişik gri düzeyde art alan ve ön alan. Satır 1: işaret büyüklüğü 2 point, satır 2: işaret büyüklüğü 6 point, satır 3: işaret büyüklüğü 10 point.

Hesaplanan uyluk uzunluğu değişimi değerlerinin işaretin boyutu ve rengine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 3). Referans değere en yakın hesaplanan değerler, en küçük işaret boyu ve siyah art alan beyaz ön alan durumu kullanılarak sayısalılaştırılan işarete

ilişkin hesaplamalardan elde edilmiştir ($R^2 = 0.9972$). Referans değere göre en büyük farklılık 6 point işaret boyu ve değişik gri düzeyde art alan ve ön alan durumu kullanılarak sayısalılaştırılan işarete ilişkin hesaplamalardan elde edilmiştir ($R^2 = 0.8061$).



Şekil 4. Uyluk uzunluğu değerlerindeki hata miktarları.

Grafikte yer alan eğri, zamana bağlı olarak uyluk uzunluğu değişimini, hata barları ise belli zaman aralıkları ile sayısallaştırılmış anatomik noktaların konum bilgilerinden hesaplanan uzunluk değerlerindeki hata miktarını piksel olarak göstermektedir. Sütun a: siyah art alan-beyaz ön alan, sütun b: beyaz art alan-siyah ön alan, sütun c: değişik gri düzeyde art alan ve ön alan. Satır 1: işaret büyüklüğü 2 point, satır 2: işaret büyüklüğü 6 point, satır 3: işaret büyüklüğü 10 point.

Hesaplanan uyluk uzunluğu değişimi değerlerinin işaretin boyutu ve rengine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4). Referans değere en yakın hesaplanan değerler, en küçük işaret boyu ve siyah art alan beyaz ön alan durumu kullanılarak sayısallaştırılan işarete ilişkin hesaplamalardan elde edilmiştir ($R^2 = 0.9737$).

TARTIŞMA

Hareket analizi sistemlerinde görüntünün sayısallaştırılmasında otomatik ve otomatik olmayan sayısallaştırma yön-

temleri kullanılabilir. Laboratuvar ortamlarında özel çekimler kullanılarak yapılan otomatik sayısallaştırmalarda, otomatik olmayan sayısallaştırmaya göre daha yüksek oranda hatalar ortaya çıktığı gözlenmiştir. Artalan ve işaret rengi arasındaki zıtlığın ve işaretin merkezinin doğru belirlenebilmesi otomatik sayısallaştırmada hataları etkileyen faktörler olarak düşünülebilir (Wilson ve ark., 1999). Otomatik sayısallaştırmada hassasiyetin yüksek, fakat doğruluğun düşük olabileceği düşünülebilir. Otomatik sayısallaştırmada gözlenen hataların

sistematik olarak oluŖtuđu kabul edilecek ölçüm süreçleri ile ilişkilendirilebilir. Otomatik sayıŖallaŖtırma yönteminin kullanılabilmesi için özel çekim ortamları gerekmektedir. Öte yandan, özellikle laboratuvar ortamı dışındaki çalışmalarda ve yarışma ortamlarında özel çekimler gerçekleŖtirmek (ilgilenilen antropometrik noktalar üzerine işaretler yerleŖtirmek) mümkün olamamaktadır.

Bu çalışmada, kullanıcıların gerçekleŖtirdikleri statik işaretin sayıŖallaŖtırılmasında, ortaya çıkan hataların her iki ekseninde farklı oran ve dağılım gösterdikleri gözlenmiştir. Her 3 kullanıcının da Y ekseninde (dikey eksen) negatif yönde daha sık hatalar yaptıkları gözlenmiştir. Y eksenindeki hataların X eksenine (yatay eksen) oranla % 41 daha büyük ve daha çok sayıda oldukları gözlenmiştir (Şekil 2). Kullanıcıların görsel alanlarının merkezi ile ekran merkezinin aynı düzlemde olmamasının hataların dağılımını etkileyen bir faktör olduğu düşünülebilir.

Artalan ve işaret renginin zıt renklerde olması durumlarında gerçekleştirilen sayıŖallaŖtırmalarda benzer hatalar gözlenirken, birbirine yakın artalan ve işaret rengi durumlarında daha yüksek hatalar gözlenmektedir (Şekil 2). Schamhardt'a göre kinematik verilerin doğruluğunu etkileyen önemli bir faktör de işaret boyutudur (Wilson ve ark., 1999). Yapılan çalışmada birbirine yakın artalan ve işaret durumlarında işaret boyutunun hataları etkilediği gözlenmiştir. Kullanıcıların işaret boyutunun en büyük olduğu durum-

larda daha yüksek hatalar oluŖturdukları gözlenmiştir. İşaretin büyümesi merkeze yakın sayıŖallaŖtırmaların azalmasına neden olabilmektedir.

Dinamik işaretin sayıŖallaŖtırılmasında, statik sayıŖallaŖtırmadaki hatalara benzer şekilde, Y eksenindeki hataların X eksenindeki hatalara oranla daha büyük olduğu gözlenmiştir. Üye uzunluklarındaki hatalar incelendiğinde her 3 deneyin de hesaplanan üst bacak uzunluğu değerleri ile referans değerleri arasındaki benzerliğin alt bacak uzunluğuna ait değerlerden daha düşük olduğu görülürken, işaretlerin sayıŖallaŖtırılmasındaki hatalara benzer şekilde hesaplanan uzunluk değerlerindeki hataların da, birbirine yakın artalan ve işaret rengi durumlarında daha büyük olduğu saptanmıştır (Şekil 3 ve 4).

Statik ve dinamik işaretin sayıŖallaŖtırılmasında ortaya çıkan hataların dağılımının normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile değerlendirilmiştir. Tüm durumlar için hataların normal dağılım göstermedikleri görülmüŖtür ($p>0.05$).

Bu çalışma farklı durumlarda ortaya çıkan sayıŖallaŖtırma hatalarını etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla bir ön çalışma olarak planlanmıştır. Farklı durumların hata büyüklüğu ve dağılımına etkisinin belirlenmesiyle, ortaya çıkabilecek hataların ölçüm süreçleri ile ilişkilendirilerek azaltılabilmesi düşünölmüŖtür. Çalışmanın daha fazla kullanıcı ile farklı du-

rumlar için tekrar edilmesinin, hataların dağılımı hakkında daha detaylı bilgiler ortaya çıkaracağı düşünülmektedir.

Yazışma Adresi (Corresponding Address):

Murat ÇİLLİ
Hacettepe Üniversitesi,
Spor Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu
06532 Beytepe / ANKARA
Elektronik posta: cilli@hacettepe.edu.tr

KAYNAKLAR

- Chakravarti, I.M., Laha, R.G. & Roy, J. (1967). **Handbook of Methods of Applied Statistics**. Volume I, John Wiley & Sons, pp. 392-394.
- Adham, R., Shibab, I. & Asfour, S. (1999). Discrete wavelet transform: a tool in smoothing kinematic data. **Journal of Biomechanics**. 32, 317-321.
- Challis, J. (1997). Estimation and propagation of experimental errors. In Rager Bartlett (Ed). **Biomechanical analysis of movement in sport and exercise**. Leeds: The British Association of Sport and Exercise Sciences.
- Dabnicki, P., Arutan, S., Lauder, M. & Tsirikos, D. (1996). Accuracy of kinematic data collection, filtering and numerical differentiation. In Steeve Haake (Ed). **The Engineering of Sport**. Rotterdam: A.A. Balkema. pp. 119-123.
- Dabnicki, P., Arutan, S., Lauder, M. & Tsirikos, D. (1997). Accuracy evaluation of an on-line Kinematics Systems via dynamic test. **Journal of Medical Engineering and Technology**. 21 (2), 53-66.
- Mullineaux, D. & Bartlett, R. (1997). Research Methods and statistics. in Rager Bartlett (Ed). **Biomechanical analysis of movement in sport and exercise**. Leeds: The British Association of Sport and Exercise Sciences.
- 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.
- Taylor, R.J. (1997). **An introduction to error analysis: The study of uncertainties in physical measurements**. (2nd Edition). Sausalito: University Science Books.
- Wilson, D.J., Smith, B.K., Gibson, J.K., Choe, B.K., Gaba, B.C. & Voelz, J.T. (1999). Accuracy of digitization using automated and manual methods. **Physical Therapy**. 79(6), 558-66.