

Temel Bileşenler Analizi Yardımı ile Elde Edilen Daha Az Sayıda Değişken Kullanılarak Farklı Hızlarda İnsan Koşusunun Fourier Tabanlı Modelinin Oluşturulması

Developing Fourier-Based Model Using Few Variables Obtained by Principal Component Analysis in Running at Different Speeds

Araştırma Makalesi

Murat ÇİLLİ, Serdar ARITAN

Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu, Biyomekanik Araştırma Grubu

ÖZ

Günümüzde gerçekleştirilen çalışmaların bir çoğu günlük yaşamımızda ve birçok spor branşında en sık kullandığımız yürüme ve koşu hareketleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada hareket analizi sistemlerinden elde edilen yüksek boyutlardaki kinematik veri setinin boyutlarının Temel Bileşenler Analizi (TBA) yöntemi kullanılarak indirgenmesi ve daha az sayıdaki yeni değişkenler ile farklı koşu hızları için Fourier tabanlı koşu modeli oluşturularak modelde yer alan parametrelerin koşu yapısı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı hızlardaki (8km/s, 12km/s ve 16km/s) koşu hareketine ait kinematik verilerin elde edilmesi amacıyla kısa mesafe koşucusu olan bir atlet (yaş:26, boy:1.82m, kilo:76kg) koşu bandında koşturularak ardışık 6 adıma ait veriler kullanılmıştır. Denek üzerinde işaretlenen 16 anatomik işarete ait 3 Boyutlu (3B) konum değerleri yardımı ile tanımlanan anlık duruşlardan oluşan veri setlerinin temel bileşenleri hesaplanmıştır. İlk dört temel bi-

ABSTRACT

Most of the recent studies focus on human walking and running movements which we often use in daily life and many athletics events. Aim of the study is to reduce dimension of kinematics data by using Principal Component Analysis method and describing human motion at different velocities by low dimensional Fourier model. In order to collect kinematics data of running movement a short distance runner (age:26, height:1.82m, kilo:76kg) was asked to run on treadmill at 8km/h, 12km/h and 16km/h running speed and 6 strides were captured. Principal Components of data including instantaneous postures which were described 3D position values of 16 anatomical markers attached on subject. It was observed that first four Principal Components can cover over 98% of original data and Running at different velocities can be effectively defined by using low-dimensional Fourier series. It was observed that



leşenin veri setlerinin %98'inden fazlasını temsil edebildiği gözlenmiştir. Ortalama duruş olarak adlandırılan ilk bileşen ve izleyen ilk 3 bileşenin doğrusal kombinasyonu olarak ifade edilen düşük boyutlardaki Fourier tabanlı koşu modelinin, farklı hızlardaki koşu hareketinin tümü hakkında önemli bilgileri kapsadığı gözlenmiştir. Her bir andaki duruşları oluşturan anatomik noktaların gerçek uzaysal konumları ile ilk 4 bileşen kullanılarak oluşturulan koşu modelinden elde edilen konumların birbirleriyle uyumlu oldukları (8km/s için R=0.97, 12km/s için R=0.94 ve 16km/s için R=0.93) gözlenmiştir. Bu çalışmada insan koşusunun TBA yöntemi ile elde edilen ilk dört bileşenin davranışları modellenerek daha düşük boyutlarda veri setleri ile ifade edilebileceği gözlenmiştir. Her ne kadar TBA'dan elde edilen bileşenler gerçekte bir değışkene karşılık gelmese de, birinci bileşenin ortalama duruş bilgisini ikinci bileşenin ayakların salınımını, üçüncü bileşenin kolların salınımını ve dördüncü bileşenin ise koşunun sıçrama özelliğini temsil edebildikleri düşünülmektedir. Daha fazla sayıdaki birey ve cinsiyet, koşu hızı, yorgunluk, fiziksel yapı, sakatlık, tekniğin düzgünlüğü gibi farklı durumlara ait koşu verileri kullanılarak oluşturulan düşük boyutlardaki koşu modellerinin, sınıflama, analiz, teşhis, karşılaştırma ya da hareket durumları arasında harmanlama yapılabilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler

İnsan koşusu, Temel bileşenler analizi, Fourier analizi

Key Words

Human running, PCA, Fourier analysis

GİRİŞ

İnsan hareketlerinin tanımlanabilmesi, biyomekaniksel analizler, performans analizleri, kişi tanıma, hareket bozukluklarının belirlenmesi, bilgisayar grafiklerinde sanal insan canlandırmaları gibi uygulama sahalarında önemli rol oynamaktadır. Gerçekleştirilen çalışmaların birçok günlük yaşantımızda yada farklı spor branşlarında en sık kullandığımız yürüme ve koşma hareketleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Geliştirilen modeller yardımıyla, görüntülerde yürüyen ya da koşan birini belirleme ve izleme, cinsiyet ayırt etme, heyecan ya da kaygı gibi ruhsal durumları farkedebilme, yorgunluk ya da sakatlıkların neden olduğu değışimleri belirleyebilme ve motor becerileri etkileyen bazı hastalıkların belirlenmesi gibi birçok alanda yararlı katkılar sağlanacağı düşünülmektedir. Ne varki vücut üyelerinin yüksek serbestlik derecesinde hareket etmeleri, olasılık dağılımının karmaşıklığı ve büyük

the original spatial locations of the anatomical points which constitute the postures in each instant are coherent with the locations derived from the constructed running model (8km/h, R=0.97, 12km/h, R=0.94 and 16km/h, R=0.93). In this study, it has been determined that human running at varying speeds can be defined with lower dimensional data by modeling the behaviors of the first 4 components derived by using PCA method. Although components derived from PCA do not correspond to a parameter in reality, it can be seen that the second component represents the motion of the feet, the third component represents the motion of the arms and fourth component represents bouncing structure in the running process. The PCs identified in the data belonging to larger amounts of individuals and various positions, can make it possible to classify, analyze, diagnose, compare and collate between movement positions depending on different situations such as gender, running velocity, fatigue, physical structure, injury and well arrangement of technique.

boyutlardaki veri setleri insan hareketlerinin tanımlanabilmesini zorlaştırırken, araştırmacıları yeni yaklaşımlara yöneltmektedir.

İnsan Hareketlerinin Modellenmesi

İnsan gibi karmaşık sistemlerin hareketlerini temsil eden modellerin, sistemin temel yapısına açıklık getiren bir seviyeye indirgenebilmeleri kullanışlı olmalarını sağlamaktadır. Bu yaklaşımla, Margaria (1976) insan yürüyüşünü basit bir yapısal modelle açıklamaya çalışmıştır. Modelde insan yürüyüşü yüzey üzerinde yuvarlanan bir yumurtanın hareketi ile temsil edilmeye çalışılmıştır. Çok basit yapısal modellerin yanında insan hareketlerinin açıklanmasında fiziksel ve matematiksel modeller kullanılmaktadır. Sir James Gray (1953) kara memelilerinin dengelerinin, balıkların yüzmelerinin ve yılanların sürünmelerinin bazı temel prensiplerini açıkla-

makta ilk kez basit fiziksel modeller kullanmıştır (Alexander, 2003). Günümüzde ise insan hareketlerinin açıklanmasında sıklıkla matematiksel modeller kullanılmaktadır. Matematiksel modeller, başlangıç durumları ve değişkenlere bağlı olarak bir sistemin davranışının tahmin edilmesine analitik çözümler aramaktadır. Matematiksel modeller, yürüme ve koşuya ilişkin çok basit modellerin yanı sıra bir çok vücut üyesini içeren daha karmaşık modelleri de içermektedir (Alexander, 2003).

Biyomekanik çalışmalarda, insan kas-iskelet sistemi bağlantılı üyeler olarak kabul edilmektedir (Ladin, 1995; Rosales ve Scarloff, 2000). Alexander (1990) sıçrama hareketinin analizinde, alt ve üst bacağı temsil eden iki kütsüz katı üye ve tüm vücut kütlelerini kalçayla birleştirerek oluşturduğu bir model önermiştir. Oluşturulan model yardımı ile kütle merkezinin en yüksek mesafeye ulaştırılması amacıyla gerçekleştirilen en iyileme yaklaşımlarında model parametreleri değiştirilerek etkileri incelenmiştir (Alexander, 2003).

İnsan hareketlerin temsil edilmesi için oluşturulan basit modeller temel mekanik özellikleri açıklayabilirken daha karmaşık hareket yapılarında yetersiz kalmaktadırlar. Yeadon (1990) kule atlayıcıların ve trampolinde burgulu salto hareketlerini, birbirlerine eklemeler aracılığı ile bağlanmış olan katı çubuklar kullanarak açıklamıştır (Alexander, 2003). Hubbard ve Trinkle (1985) yüksek atlama ile ilişkin çalışmalarında insanı tek bir katı çubuk ile temsil ederken Yeadon önceki çalışmalardaki ne benzer şekilde, fakat on bir katı üye kullanarak hareket yapılarını açıklamaya çalışmıştır (Alexander, 2003). Hatze (1980)'nin, insan vücudundan alınan 242 antropometrik ölçüm değerini kapsayan batarya kullanarak önerdiği modelde 17 üye yer almaktadır (Hatze, 1980). Modelde omuzların ayrı üyeler olarak kabul edilmesi yanında, önceki modellerden farklı olarak üyeler değişik geometrik şekillerdeki daha küçük kütleli üyelere bölünerek şekil ve yoğunlukları üyelerin modellenmesinde değişken olarak tanımlanmıştır (Hatze, 1980).

İnsan yürüyüşünü bir yumurtanın hareketine benzeten basit yapısal modeller yanında yukarıda adı geçen gelişmiş modeller yine de insan gibi kar-

maşık bir sistem ile karşılaştırıldığında yetersiz kalmaktadır. Ne varki oluşturulan katı cisim modelleri beraberinde çözülmesi karmaşık olan denklemler ortaya çıkarmıştır. Üç boyutlu uzayda hareket eden bir çubuğun hareketini açıklamak için 6 hareket denklemi gerekirken, 11 parçalı bir model için 66 serbestlik derecesinde hareket denklem sisteminin eş zamanlı olarak çözülmesi gerekmektedir.

İnsan vücudunu oluşturan üyeler yüksek serbestlik derecesinde hareket etmelerine karşın zaman içerisindeki konumlarının rasgele değişmediği ve düzgün bir davranış gösterdiği gözlenebilir. Öte yandan insan hareketlerinin doğasında simetriklik içerdiği bilinmektedir. Yürüyüşte her adımda bir kolumuz öne doğru hareket ederken diğer kolumuz geriye doğru hareket etmekte diğer adımda ise yönü değişmesine rağmen hareket yapısı korunmaktadır. Sıçrama hareketinde de her iki bacak ve kolun hareketleri simetriktir. Hareketlerin serbestlik derecesinin azaltılabilmesine imkan sağlayan bu özellik spor bilimlerinde koordinasyon olarak değerlendirilmektedir (Troje, 2002b).

Birçok canlandırma ve bilgisayar görüş (computer vision) uygulamasında, belirtilen özelliklerinden dolayı, insan hareketinin tanımlanmasında doğrusal teknikler kullanılmaktadır. İnsan hareket ya da davranışlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmaların çoğu hareket evrelerini anlamakta durum-uzay yaklaşımını kullanmaktadır (Aggarwal ve Cai, 1999). Durum-uzay yaklaşımı her bir evredeki duruşu bir durum olarak tanımlamaktadır. Yakın zamandaki çalışmalar, bir konumdan diğer bir konuma doğrusal dönüşümün konumlar arasında iyi tanımlanmış yumuşak bir değişimi ortaya koyduğunu göstermiştir. Bu yaklaşım insan organizmasında benzer harekete ait durumlar arasında yapısal benzerlik olduğunu ve dolayısıyla durumlar diğer bir deyişle duruşlar arasında konum ve zaman uygunluğunu belirli bir yolla açıklayan, bir anlam olduğunu ifade etmektedir.

Duruşlar arasındaki geçişlerin ifade edilmesinde, özellikle konuşma, el yazısı, el kol hareketlerini tanıma ile ilgili çalışmalarda kullanılan Hidden Markov Modeli (Sanger, 2000; Yamamoto ve diğ., 1983), radyal temelli fonksiyonlar

ve düşük dereceden polinomların kullanıldığı ters dinamik teknikler (Charles ve diğ., 2001) kullanılarak insan hareketlerinin canlandırılmasında modeller ortaya koyulmuştur. Modellemede kullanılan tekniklerden bazıları ise özellikle periyodik hareketler için daha uygun olan, Fourier analizi tabanlı frekans bölgesi kullanımına dayanmaktadır (Sanjeev ve diğ., 1989; Troje, 2002a). Margaria'nın insan yürüyüşünü benzettiği yumurtanın hareketinde olduğu gibi aslında benzer şekilde ama daha fazla sayıda üyenin hareketlerinin belirli frekans ve genlikte sinüsoidal davranışlar gösterdikleri gözlemlenmektedir. Bu yaklaşımla yürüme ve koşu hareketinin bir çok dalganın bir biri üzerine eklenmesi ile açıklanabileceği düşünülmektedir. Yürüme ve koşu hareketlerine ilişkin oluşturulan Fourier tabanlı modeller canlandırma ve benzeşim uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Sanjeev ve diğ., 1989; Troje, 2002a; Unuma, 1995). Bu türden yaklaşımlar farklı hareket yapıları arasında harmanlamayı ve bir yürüyüş ya da koşu döngüsü içerisinde sınırlı bir ruhsal durumdan mutlu bir hale geçmeye olanak sağlayan stilistik durum-uzaylar arasında ara değer doldurmaya imkan sağlamaktadır (Rash ve Campbell, 2002).

İnsan yürüyüşü ya da koşusunu temsil eden modellerin oluşturulmasında her bir üyenin hareketinin matematiksel bir ifade ile temsil edilmesi her ne kadar gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesine olanak sağlasa da modellerdeki değişkenlerin sayısının fazla olması oluşturulan modellerin kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Daha az sayıda değişken kullanarak model oluşturma düşüncesi araştırmacıları çok boyutlu veri setlerinin boyutlarının azaltılmasında yeni yaklaşımlara yöneltmektedir.

Çok boyutlu veri setlerinde boyut indirgenmesi

Günümüzde gelişen hareket analizi sistemleri yüksek boyutlarda 3B kinematik verilerin elde edilebilmesine imkan sağlamaktadır (Ormonite ve diğ., 2005). Ne varki insan yürüyüşü yada koşusunun analizi ve tanımlanmasındaki zorluk, insan vücudundaki yüksek serbestlik derecesinden, olasılık dağılımının karmaşıklığından

ve büyük boyutlardaki veri setlerinden kaynaklanmaktadır (Jason, 2002; Rosales ve Scarloff, 2000). Öte yandan insan yürüyüşünün ve koşusunun simetriklik içerdiği ve birbirini izleyen duruşlar arasında ilişki olduğu gözlenmektedir. Birbirleri ile ilişkili olan değişkenlerin birbirleriyle ilişkili olmayan daha az sayıdaki yeni değişkenler ile tanımlanabilmesi değişken sayısının azaltılmasında yararlı olmaktadır. Yüksek boyutlardaki veri setlerinin boyutlarının indirgenmesinde kullanılan bir çok farklı yaklaşım arasında doğrusal tekniklerin kullanılması, değişkenlerin boyutlarının azaltılabilmesine imkan sağlamaktadır (Bokman ve diğ., 2005; Manly, 1992). İstatistiksel yazılımların ve bilgisayar sistemlerinin gelişmesi ile birlikte insan hareketlerinin tanımlanmasında doğrusal dönüşüm tekniklerinin kullanımı da gelişmektedir (Manly, 1992).

Doğrusal dönüşüm tekniklerinden olan TBA (Temel Bileşenler Analizi) psikoloji, eğitim, kalite kontrol, fotoğrafik bilimler, market araştırmaları, ekonomi, anatomi, biyoloji, orman bilimleri, ziraat, kimya, haritacılık, genetik gibi birçok alanda gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılan araçlardan birisidir. TBA kullanımının, görüntülerin kavranması ve doku eşleştirmeyi içeren doku tanıma (Boyle, 1998; Karhunen ve Joutsensalo, 1995; Rosales ve Scarloff, 2000), sınır ağları (Nayar ve Poggio, 1996; Ramsay ve diğ., 1996), konuşma analizleri (Chen ve Lee, 1995), sanal öğrenme (Murase ve Nayar, 1993; Pinkowski, 1997) ve aktif görüntü (Rodtook ve Rangsanseri, 2001; Sanger, 2000) alanlarında birçok uygulama örneği yer almaktadır. TBA orijinal değişkenlerin, güçlerine bağlı olarak sıralanmış ve aralarında ilişki olmayan yeni değişkenler setine dönüştürülmesiyle gerçekleştirilmektedir. Böylelikle ilk bir kaç değişken orijinal veri içerisindeki değişimin büyük miktarını muhafaza etmektedir (Manly, 1992). TBA çok boyutlu veri setini içeren değişik birçok uygulama alanında etkili olarak kullanıldığı gibi yaklaşık 60 serbestlik derecesine sahip insan hareketlerinin 10 dan daha az sayıda boyuta indirgenerek incelenmesi ve ileri uygulamalar oluşturulmasına olanak sağlamaktadır (Kudoh, 2004; Çilli ve Arıtan, 2007). Daha düşük boyutlara indirgenmiş değişkenler yardımı ile

gisinin yer aldığı $P_{48 \times n}$ matrisinin covaryans matrisinin öz değerleri ve öz vektörleri MATLAB (Mathworks Inc.) yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan öz değerler kullanılarak her bir temel bileşenin toplam varyansın yüzde kaçını temsil ettiği hesaplanmıştır. Yürüme ve koşmaya ilişkin gerçekleştirilen çalışmalarda ilk bir kaç bileşenin toplam varyansın % 95'inden fazlasını temsil ettiği gözlenmiştir (Çilli ve Arıtan, 2005; Çilli ve Arıtan, 2007; Zhang ve Zhang, 2005; Troje, 2002a).

Düşük boyutlardaki yeni değişkenler yardımı ile insan koşusu, ortalama duruş ve ilk birkaç bileşenin ağırlıklı toplamalarının doğrusal kombinasyonu olarak tanımlanmıştır (Eş 2).

$$p = pc_0 + \sum_{i=1}^n c_i pc_i \quad \text{Eş 2}$$

p : anlık duruş, pc_0 ortalama duruş, pc_i : i nci temel bileşen, c_i : i nci bileşen katsayısı.

Koşu hareketi anlık duruşların zaman içerisinde değişimi olarak düşünüldüğünde, ilk birkaç bileşenin modellenmesi ile insan koşusunun modellenebileceği düşünülebilir (Çilli ve Arıtan, 2005; Çilli ve Arıtan, 2007; Troje, 2002a). Bileşenlerin davranışlarının ise basit sinüs fonksiyonu ile modellenebileceği gözlenmektedir (Çilli ve Arıtan, 2005; Troje, 2002a). Unuma ve diğ. (1995) insan yürüyüşünün düşük boyutlu fourier serileri kullanılarak etkili biçimde tanımlanabileceğini belirtmiştir. Bu noktadan hareketle koşu verisinden elde edilen ilk dört bileşenin frekansları hesaplanmıştır. Her bir bileşenin genliği ise sadece ölçek etkisi göstermektedir. Bileşenler arasındaki faz farkları ise ilk bileşen referans alınarak hesaplanmıştır. Ortalama postür ve ilk 3 temel bileşenin modellenmesi ile koşu modeli (R) oluşturulmuştur (Eş 3).

$$R_{(t)} = pc_0 + \sum_{i=1}^3 pc_i \sin(\omega_i t - \varphi_i) \quad \text{Eş 3}$$

$R_{(t)}$: t anındaki duruşa ait konum vektörü,
 pc_0 : ortalama duruş, pc_i : i nci temel bileşen
 ω_i : i nci bileşen frekansı,
 φ_i : i nci bileşen faz farkı.

İnsan koşusunu temsil eden doğrusal koşu modeli, T katsayılar vektörü, C matrisi ve Pc bileşenler matrisinin çarpımı olarak ifade edilmiştir (Eş 4).

$$T = [1 \quad a \quad b \quad c]$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin(2 * \pi * \omega * t + \varphi) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sin(2 * \pi * \omega * t + \varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin(2 * \pi * \omega * t + \varphi) \end{bmatrix}$$

$$Pc = \begin{bmatrix} pc_1 \\ pc_2 \\ pc_3 \\ pc_4 \end{bmatrix}$$

$$R_{(t)} = TCPc$$

Eş 4

Oluşturulan insan koşu modeli gerçek veriler ile karşılaştırılmıştır. Koşu modelinde yer alan T katsayılar vektöründe yer alan parametrelerin koşu yapısı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

BULGULAR

Yüksek boyutlardaki veri setlerinin doğrusal dönüşümlerinde sıklıkla kullanılan TBA, ardışık anlık duruş bilgilerinin değişken olarak tanımlandığı, kinematik veri setlerinin birbirleriyle ilişkili olmayan ve daha az sayıdaki yeni değişkenler ile ifade edilmesinde etkili sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu nedenle TBA, gerçek veri setlerinde fark edilmesi kolay olmayan çeşitli nedenlere bağlı olarak ortaya çıkan değişikliklerin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Borzelli ve diğ., 1999). Periyodik ya da periyodik olmayan insan hareket yapılarına ait kinematik veriler kullanılarak

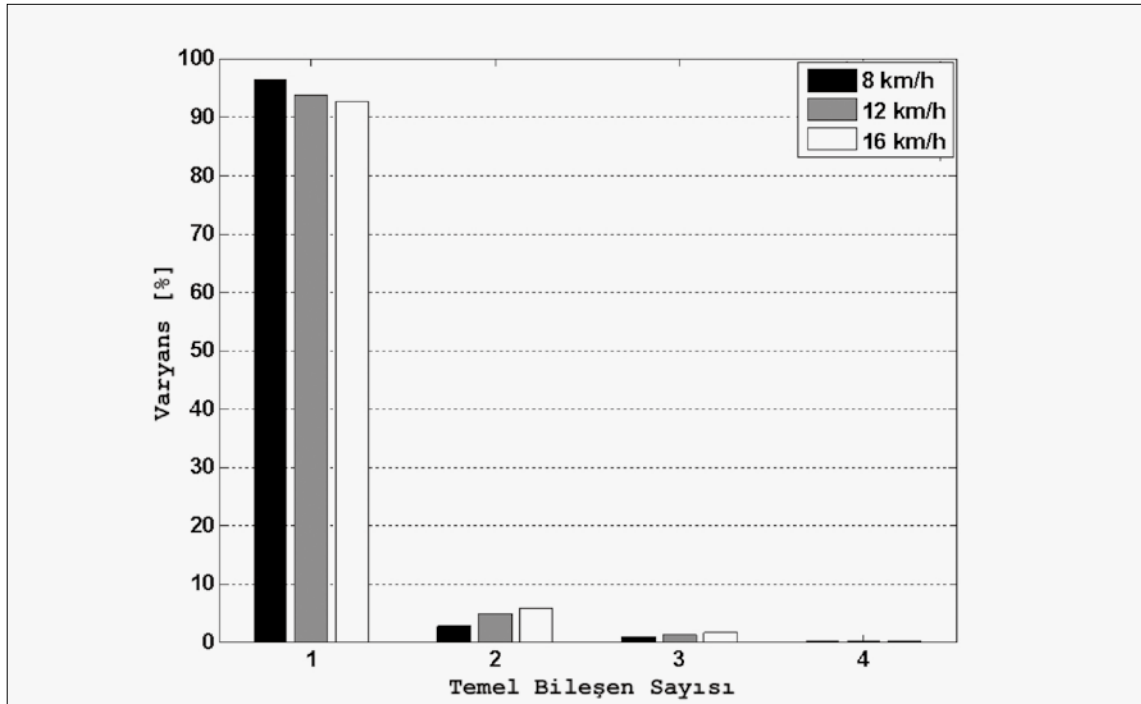
gerçekleştirilen çalışmalarda ilk birkaç bileşenin orijinal verinin büyük kısmını temsil edebildiği gözlenmektedir (Çilli ve Arıtan, 2007; Hollands ve diğ., 2004; Santello et al., 1998; Troje, 2002a; Zhang ve Zhang, 2005). Yürüme gibi basit ve periyodik hareket yapılarında, ilk birkaç bileşen toplam varyansın % 99 unu temsil edebilmektedir (Troje, 2002a; Zhang ve Zhang, 2005). Bu çalışmada ilk 4 bileşenin toplam değişiminin % 98 inden daha fazlasını temsil edebildiği ve ortalama duruş olarak değerlendirilen ilk bileşenin 8 km/s, 12 km/s ve 16 km/s koşu hızlarında toplam değişiminin %96, %93 ve %92 sini temsil ettiği gözlenmiştir (Şekil 2).

Döngüsel bir hareket yapısı olan insan koşusunda 2., 3. ve 4. bileşenlerin düzgün bir sinüzoidal davranış gösterdikleri gözlenmiştir. Bu noktadan hareketle her bir bileşen frekansı ve genliği ile ifade edilebilmektedir. Winter, insan hareketlerinin en yüksek 6. harmonikte frekansa sahip olduğunu gözlemiştir (Winter ve diğ., 1974). Yürüme üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda kine (Zhang ve Troje, 2004) benzer şekilde, bu çalışmada farklı koşu hızlarına ait bileşenlerden

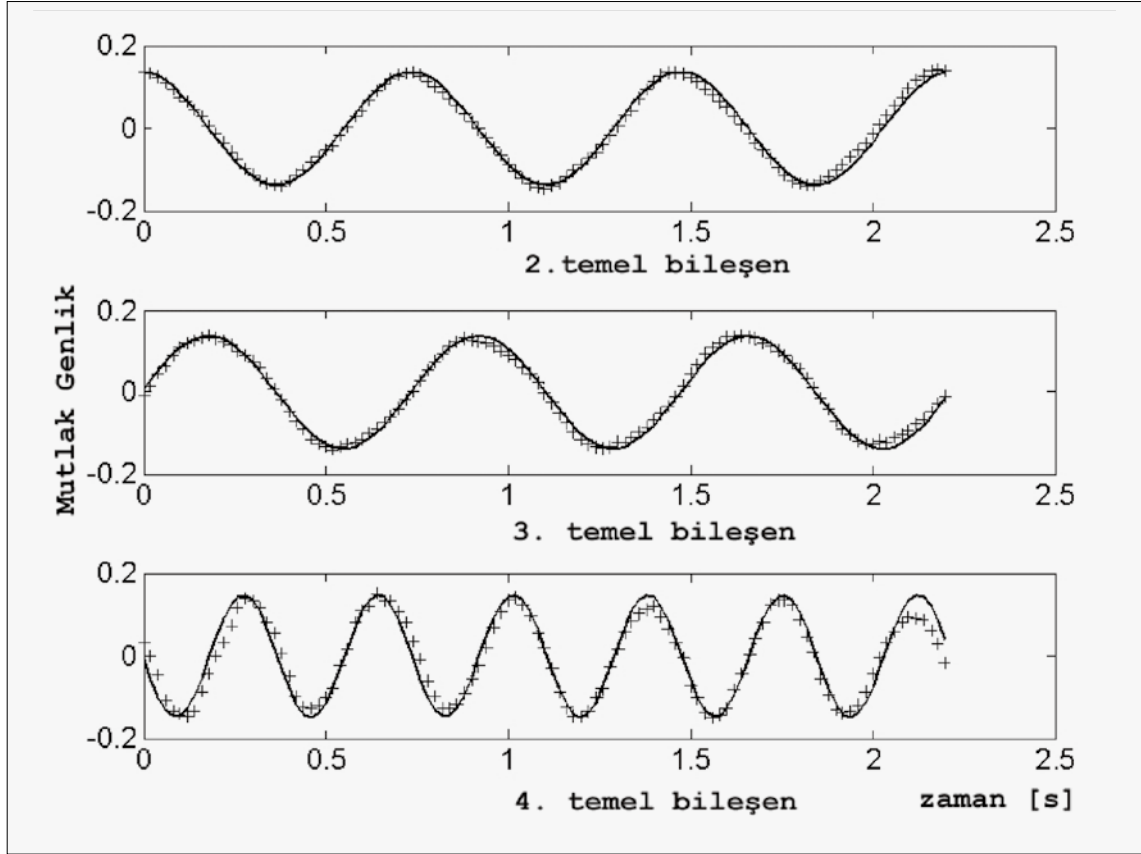
2. ve 3. bileşenin doğal frekansta iken 4. bileşenin ise ikinci harmoniğe sahip oldukları belirlenmiştir. İkinci bileşen referans olarak kabul edildiğinde her bir bileşenin faz farkları hesaplanarak farklı koşu hızlarında 2., 3. ve 4. bileşenlerin davranışlarının sinüzoidal ifadeler ile temsil edilebildiği gözlenmiştir. (Şekil 3).

Ortalama duruş olarak adlandırılan ilk bileşen ve izleyen ilk 3 bileşenin doğrusal kombinasyonu olarak ifade edilen düşük boyutlardaki insan koşu modelinin, farklı hızlardaki koşu hareketinin tümü hakkında önemli bilgileri kapsadığı gözlenmiştir. Her bir andaki duruşları oluşturan anatomik noktaların gerçek uzaysal konumları ile ilk 4 bileşen kullanılarak yeniden üretilen ve oluşturulan koşu modelinden elde edilen konumların birbirleriyle uyumlu oldukları gözlenmiştir (Tablo 1). Bu çalışmada insan koşusunun TBA yöntemi ile elde edilen ilk dört bileşenin davranışları modellenerek daha düşük boyutlarda veri setleri ile ifade edilebileceği gözlenmiştir.

Her ne kadar TBA'den elde edilen bileşenler gerçekte bir değişkene karşılık gelmesede, birinci bileşenin ortalama duruş bilgisini ikinci, üçün-



Şekil 2. Farklı koşu hızları için ilk 4 temel bileşenin toplam varyansta temsil ettiği yüzde değerleri.



Şekil 3. Modelde kullanılan 2., 3. ve 4. bileşenlerin davranışları ve uydurulan ifade arasındaki uyum (12km/s koşu hızı).

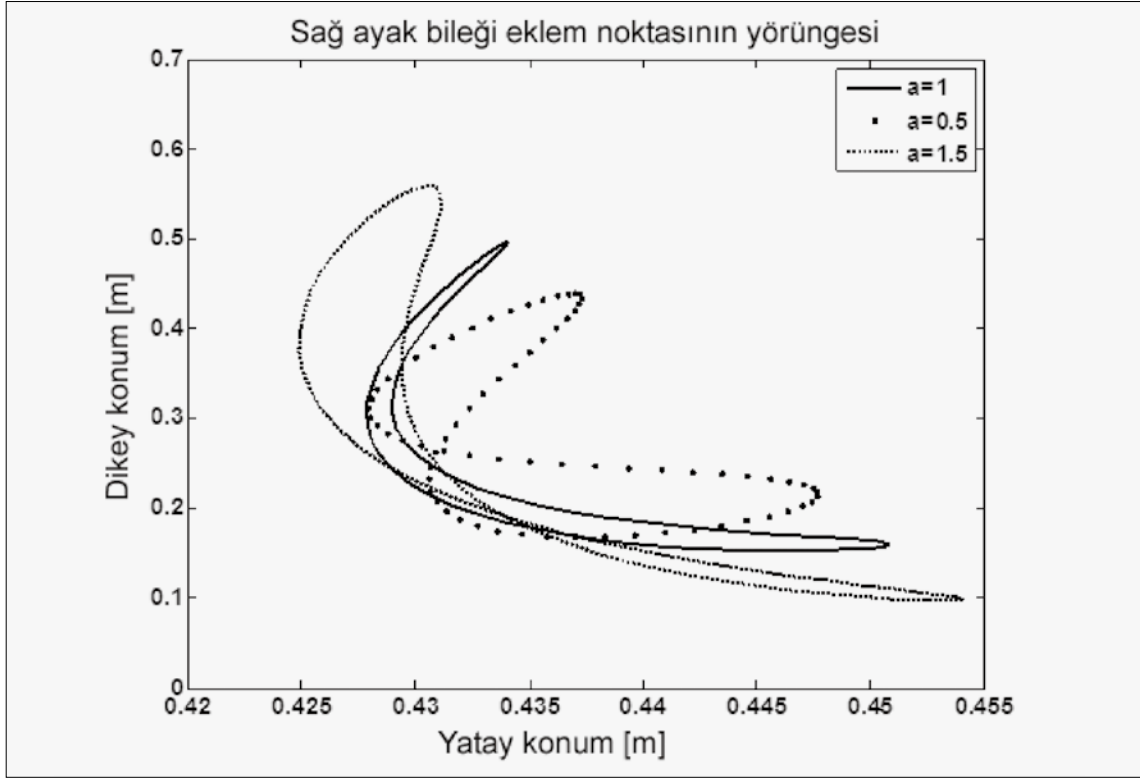
Tablo 1. Farklı koşu hızlarında orijinal data, az sayıda temel bileşen kullanılarak yeniden üretilmiş data ve modelden elde edilen kinematik data arasındaki uyum.

Koşu Hızı	Orijinal - Yeniden üretilmiş ortalama R	Orijinal - Model ortalama R
8 km/h	0.99	0.97
12 km/h	0.99	0.94
16 km/h	0.99	0.93

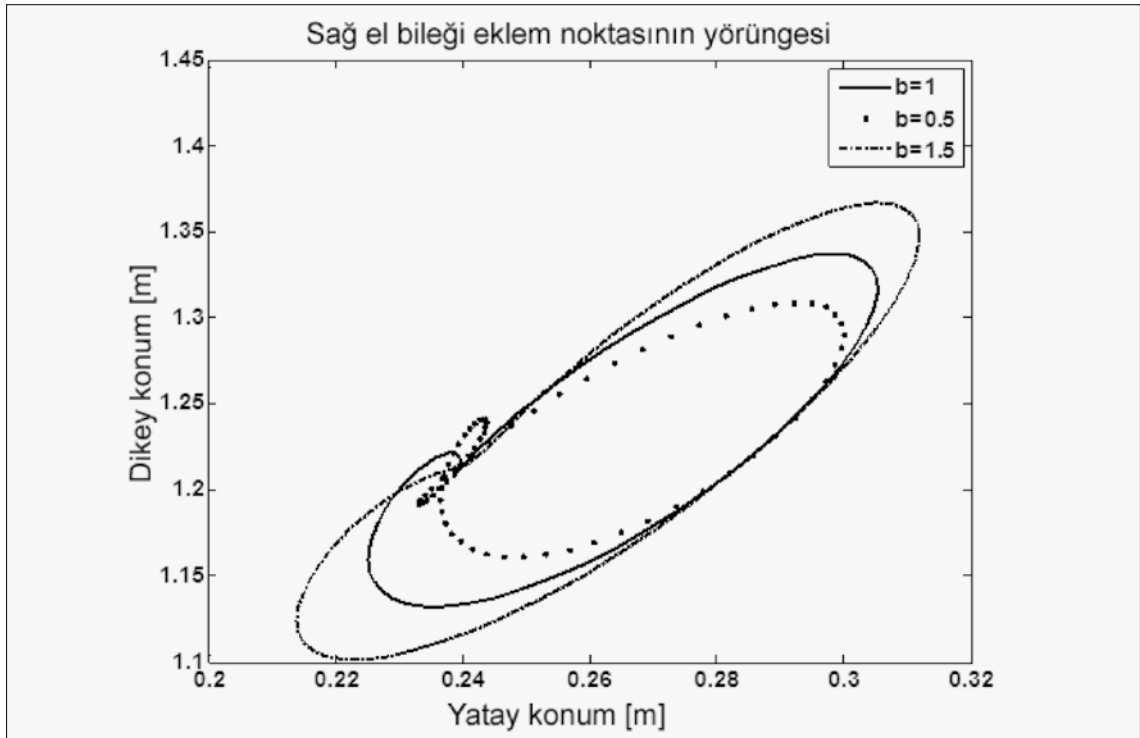
cü ve dördüncü bileşenlerin ise koşu hareketinde farklı özellikleri temsil edebildikleri belirlenmiştir. İkinci bileşenin koşu hareketinde ayakların hareketini temsil ettiği gözlenmiştir. Modelde yer alan T katsayılar vektöründe ikinci bileşenin katsayısının (a) ayakların hareket genişliğini dolayısıyla koşunun adım uzunluğu karakterini etkilediği gözlenmiştir (Şekil 4).

Üçüncü bileşene ait katsayının (b) ise koşu hareketinde kolların salınımını etkilediği gözlenmiştir. Şekil 5' da b katsayısının el bileğinin hareket genişliğini ifade edebildiği, dolayısıyla koşuda kolların hareket karakteristiğini canlandırabildiği gözlenmektedir.

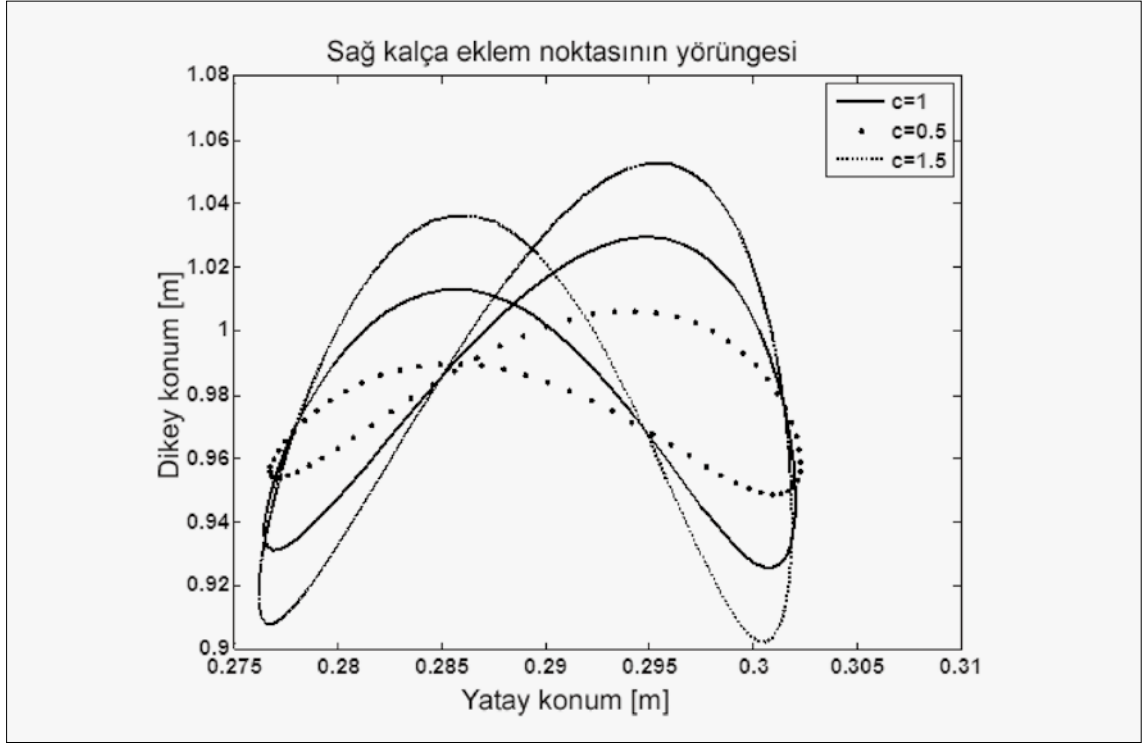
İkinci ve üçüncü bileşenin yanında dördüncü bileşene ait katsayının (c) kalçanın yerdediştirme-



Şekil 4. Sağ ayak bileğinin yatay ve dikey eksenlerin oluşturduğu düzlemdeki yörüngesinin a değişkenine bağlı olarak değişimi.



Şekil 5. Sağ el bileğinin yatay ve dikey eksenlerin oluşturduğu düzlemdeki yörüngesinin b değişkenine bağlı olarak değişimi.



Şekil 6. Sağ kalçanın yatay ve dikey eksenlerin oluşturduğu düzlemdeki yörüngesinin c değişkenine bağlı olarak değişimi.

si ile ilişkili olduğu gözlenmiştir. Şekil 6' de c katsayısının kalça eklemine özellikle dikey eksendeki hareket genişliğini diğer bir deyişle koşunun sıçrama karakteristiğini etkilediği görülmektedir.

TARTIŞMA

Bu çalışmada koşu hareketine ait kinematik veriler kullanılarak TBA'nın birbirleriyle ilişkili değişkenleri birbirleriyle ilişkili olmayan yeni daha az sayıdaki değişkenlere dönüştürebilme özelliği izlenmiştir. İnsan hareketlerinin serbestlik derecesinin aslında hareket uzayının boyutlarını temsil etmediği ve TBA ile veri setlerinin boyutlarının etkili biçimde azaltılabileceği gözlenmiştir. Benzer şekilde, TBA'nın çok boyutlu veri setini içeren değişik birçok uygulama alanında etkili olarak kullanıldığı gibi, yaklaşık 60 serbestlik derecesine sahip insan hareketlerinin 10'dan daha az sayıda boyuta indirgenerek incelenmesi ve ileri uygulamalar oluşturulmasına olanak sağladığı gözlenmiştir (Jason, 2002). Bu çalışmada farklı koşu hızlarına ait kinematik veriden elde edi-

len ilk 4 bileşenin hareket yapısının % 99'undan fazlasını temsil edebildiği gözlenmiştir. Bu çalışmadaki sonuçlara benzer şekilde insan yürüyüşüne ait çalışmalarda ilk bir kaç bileşenin toplam değişimin %98'inden fazlasını temsil edebildiği gözlenmiştir (Çilli ve Arıtan, 2007; Troje, 2002a; Zhang ve Zhang, 2005). Yürüme ve koşma gibi periyodik hareket yapılarının yanı sıra, elleri kaldırıp indirme, kolları döndürme gibi basit hareketleri tanımlamada da TBA etkili olarak kullanılmaktadır (Bokman, 2005; Santello, 1998). Basit ve periyodik hareketlerin ötesinde, modern dans hareket yapıları (Hollands, 2004), basit ve karmaşık farklı sportif hareketlere ait yüksek boyutlardaki kinematik verilerinin boyutlarının azaltılmasında TBA yöntemi kullanılmasının etkili sonuçlar gösterdiğini gözlemişlerdir (Çilli ve Arıtan, 2007).

Farklı koşu hareketine ait kinematik verilerin az sayıdaki değişkenler kullanılarak modellenmesi ileri uygulamalar için faydalar sağladığı gözlenmektedir. Bu noktadan hareketle, sinüzoidal bir

davranış ile modellenebilen az sayıdaki temel bileşen Fourier tabanlı koşu modeli oluşturulabilmesini mümkün kılmaktadır. Bu çalışmada oluşturulan Fourier tabanlı koşu modelinin farklı hızlarda koşu hareketini tanımlayabileceği gözlenmiştir.

Benzer şekilde Fourier teknikler içeren çalışmalar ile insan figürlerinin canlandırılması ve duygusal durumlarına ya da cinsiyet, fiziksel özelliklerine bağlı olarak özellikle periyodik hareketler arasında harmanlama yapılabildiği gözlenmektedir (Amaya, 1996; Unuma, 1995; Troje, 2002b)

Her ne kadar TBA'dan elde edilen bileşenler gerçekte bir değişkene karşılık gelmesede, birinci bileşenin ortalama duruş bilgisini ikinci bileşenin ayakların salınımını, üçüncü bileşenin kolların salınımını ve dördüncü bileşenin ise koşunun bouncing özelliğini temsil edebildikleri düşünülmektedir. Doğrusal fonksiyon mevcuttur parametreler tarafından tanımlanan hareket uzayına genel bir yaklaşımda bulunabilmeye olanak sağlarken, koşu yapısında var olan konumların yanında dış değerlendirme yapabilmeye de olanak sağlamaktadır.

Benzer şekilde gerçekleştirilen çalışmalarda Fourier tekniklerin kullanılmasının mevcut hareket

yapılarının duyguların neden olduğu farklı hareket yapılarına dönüştürebildiği gözlenmiştir (Amaya, 1996; Troje 2002b; Unuma, 1995).

Canlandırma ve bilgisayar görüş toplulukları tarafından sıklıkla kullanımına karşın düşük boyutlarda doğrusal hareket modellerinin insan hareket analizinde kullanılması çalışmaları henüz yenedir. Daha fazla sayıdaki bireye ve farklı durumlara ait koşu verilerinde belirlenen temel bileşenler kullanılarak oluşturulan düşük boyutlardaki koşu modellerin oluşturulması, cinsiyet, koşu hızı, yorgunluk, fiziksel yapı, sakatlık, tekniğin düzgünlüğü gibi farklı durumlara bağlı olarak sınıflama, analiz, teşhis, karşılaştırma ya da hareket durumları arasında harmanlama yapılabilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Yazışma Adresi (Corresponding Address):

Dr. Murat ÇİLLİ

Sakarya Üniversitesi

Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu

Serdivan / Sakarya

E-Posta: mcilli@gmail.com

KAYNAKLAR

- Ariel BG.** (1968). ARIEL Performance Analysis System (APAS) [Bilgisayar yazılımı]. Ariel Dynamics, San Diego: USA.
- Aggarwal JK, Cai Q.** (1999). Human motion analysis: a review. *Computer Vision and Image Understanding*, 73, 428-440.
- Alexander RMc.** (2003). Modelling approaches in biomechanics. *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, 358, 1429-1435.
- Amaya K, Bruderlin A, Calvert T.** (1996). Emotion from Motion, Graphics Interface '96, pp. 222-229.
- Bokman L, Syungkwon R, Park FC.** (2005). *2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation: Movement primitives, principal component analysis, and the efficient generation of natural motions.* Barcelona, Spain.
- Borzelli G, Cappizzo A, Papa E.** (1999). Inter- and intra-individual variability of ground reaction forces sit-to-stand with principal component analysis. *Medical Engineering&Physics*, 21, 235-240.
- Boyle RD.** (1998). Scaling additional contributions to principal component analysis, *Pattern Recognition*, 31, 2047-2053.
- Chen CY, Lee RCT.** (1995). A near pattern-matching scheme based upon principal components analysis. *Pattern Recognition*, 16, 339-345.
- Çilli M, Arıtan, S.** (2005). *10th Annual Congress European College of Sport Science: PCA application for modeling and simulation of running patterns.* Sirbistan: Belgrade, 13-16 July.
- Çilli M, Arıtan S.** (2007). Çok boyutlu kinematik verilerin analizinde temel bileşenler analizi yönteminin kullanılması. *Spor Bilimleri Dergisi*, 18 (4), 156-166.
- Collins JJ, De Luca CJ.** (1993). Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Experimental Brain Research*, 95, 308-318.
- Daffertshofer, A, Lamoth JC, Meijer OG, Beek PJ.** (2004). PCA in studying coordination and variability: a tutorial. *Clinical Biomechanics*, 19, 415-428.

13. **Hatze H.** (1980). A mathematical model for the computational determination of parameter values of anthropomorphic segments. *Journal of Biomechanics*, 13, (10), 833-843.
14. **Hollands K, Wing A, Daffertshofer A.** (2004). *3rd IEEE EMBS UK &RI PostGraduate Conference in Biomedical Engineering & Medical Physics: Principal Components Analysis of Contemporary Dance Kinematics*. Southampton: University of Southampton, 10-11 August.
15. **Jason J, Kutch T, Buchanan S.** (2002). *Fourth World Congress of Biomechanics*. Self-organizing maps and the representation of emg signals in terms of muscular synergies, Calgary, Alberta, Canada, 4-9 August.
16. **Karhunen J, Joutsensalo J.** (1995). Generalizations of principal component analysis, optimization problems, and neural networks. *Neural Networks*, 8, 549-562.
17. **Kudoh S.** (2004). Balance maintenance for human-like models with whole body motion. (Doctoral Thesis, 2005). The Department of Computer Science the Graduate School of Information Science and Technology the University of Tokyo.
18. **Manly BFJ.** (1992). *Multivariate Statistical Methods A Premier*. London: Chapman & Hall.
19. **MATLAB** [Bilgisayar Yazılımı], Mathworks Inc., Natick: Ma, USA.
20. **Murase H, Nayar SK.** (1993). In: *Fall Symposium: Machine Learning In Computer Vision: Learning and recognition of 3-D objects from brightness images*. Raleigh, North Carolina, Fall, 22-24 October.
21. **Nayar SK, Poggio T.** (1996). *Early visual learning*. Oxford University Press, New York.
22. **Ormonet D, Black MJ, Hastie T, Kjellström H.** (2005). Representing cyclic human motion using functional analysis. *Image and Vision Computing*, 23, 1264-1276.
23. **Pinkowski B.** (1997). Principal component analysis of speech spectrogram images. *Pattern Recognition*, 30, 777-787.
24. **Ramsay JO, Munhall KG, Gracco VL, Ostry DJ.** (1996). Functional data analyses of lip motion. *Journal of the Acoustical Society of America*, 99(6), 3718-27.
25. **Rash G, Campbell K.** (2002). Fundamentals of equipment and methodology, Retrieved June 10, 2003, from http://www.gcmas.org/basic_documents.html
26. **Rodtook S, Rangsanseri Y.** (2001). *International Conference of information technology coding and computing: Adaptive thresholding of document images based on Laplacian sign*. Las Vegas: Nevada, 2-4 April.
27. **Rosales R, Scarloff S.** (2000). *IEEE Computer Society Workshop on Human Motion: Specialized mappings and the estimation of human body pose from a single image*. Austin, TX, 19-24.
28. **Sanger TD.** (2000). Human Arm Movements Described by a Low-Dimensional Superposition of Principal Components. *The Journal of Neuroscience*, 20(3), 1066-1072.
29. **Sanjeev D, Nandedkar D, Sanders B.** (1989.). Principal component analysis of the features of concentric needle EMG motor unit action potentials. *Muscle & Nerve*, John Wiley & Sons, Inc., 12(4), 288 - 293.
30. **Santello M, Flanders M, Soechting JF.** (1998). Postural Hand Synergies for Tool Use. *The Journal of Neuroscience*, 18(23), 10105-10115.
31. **Troje FN.** (2002a). Decomposing biological motion: A frame work for analysis and synthesis of human gait pattern. *Journal of Vision*, 2, 371-387.
32. **Troje FN.** (2002b). The little difference: Fourier based synthesis of genderspecific biological motion, In: Rolf P. Würtz, Markus Lappe (Eds.), *Dynamic Perception*, Berlin: AKA Press, 2002, pp 115-120.
33. **Unuma M, Anjyo K, Takeuchi R.** (1995). Fourier Principles for Emotion-based human Figure Animation. Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd. ACM.
34. **Winter DA, Sidwall HG, Hobson DA.** (1974), Measurement and reduction of noise in kinematics of locomotion. *Journal of Biomechanics*, 7, 157-159.
35. **Yamamoto S, Suto Y, Kawamura H, Hashizume T, Kakurai S, Sugahara S.** (1983). Quantitative gait evaluation of hip diseases using principal component analysis. *Journal of Biomechanics*, 16, (9), 717-726.
36. **Yamato J, Ohya J, Ishii K.** (1992). Recognizing human action in time sequential images using Hidden Markov Model, in Proc. IEEE Conf. CVPR, Champaign, IL, pp. 379-385.
37. **Yeadon MR.** (1990). The simulation of aerial movement- II. A mathematical inertia model of the human body. *Journal of Biomechanics*, 23, 67-74.
38. **Zhang Z, Troje FN.** (2004). 3D periodic human motion reconstruction from 2D motion sequences, Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW'04), 1063-6919/04 IEEE.
39. **Zhang H, Zhang LO.** (2005). ECG analysis based on PCA and Support Vector Machines. International Conference on Neural Networks and Brain ICNN&B '05, 2, 743- 747.