

# ÇOK BOYUTLU KİNEMATİK VERİLERİN ANALİZİNDE TEMEL BİLEŞENLER ANALİZİ YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

**Murat ÇİLLİ, Serdar ARITAN**

Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu,  
Biyomekanik Araştırma Grubu

## ÖZ

*İnsan hareketlerinin analizi ve tanımlanmasındaki zorluk insan eklemlerindeki yüksek serbestlik derecesinden ve büyük boyutlardaki kinematik veri setlerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle hareket yapılarının sayısal olarak ifade edilmesi ve anlam kazandırılmasında yeni yaklaşımlar denenmektedir. Birçok farklı disiplinlerce sıklıkla kullanılmasına rağmen, hareket yapılarına ait kinematik verilerin incelenmesinde henüz Temel Bileşenler Analizi (TBA) kullanımı çok yenidir. Bu çalışmada farklı hareket yapılarında konum bilgilerine TBA tekniği uygulanarak, kinematik veri setlerinin boyutlarının indirgenmesi ve belirlenen temel bileşenlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Koşu, atma, atlama, ayakla topa vurma, ağırlık kaldırma ve cimnastik gibi temel sportif hareket tiplerinde konum bilgileri ile temsil edilen anlık duruşlardan oluşan kinematik veri setlerine TBA uygulanmıştır. Hareketin yapısı karmaşıklaştıkça ilk temel bileşenin (tb) toplam varyansta temsil ettiği oranın azaldığı, bunun yanında incelenen tüm hareket tiplerinde ilk 8 tb' nin hareket yapılarının yaklaşık %98'ini temsil edebildiği belirlenmiştir. İnsan hareketlerinin analizinde bu türden yeni yaklaşımların önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir. Koşu hareketinde olduğu gibi daha fazla sayıdaki bireye ve farklı durumlara ait hareket yapılarına ait verilerde belirlenen tb'lerin, cinsiyet, koşu hızı, yorgunluk, fiziksel yapı, sakatlık, tekniğin düzgünlüğü vb gibi farklı durumlara bağlı olarak sınıflama, analiz, teşhis, karşılaştırma yada hareket durumları arasında harmanlama yapılabilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** *Temel bileşenler analizi, İnsan hareketi benzeşimi, İnsan hareketi modellenmesi.*

## USING PCA METHOD FOR ANALYSIS OF MULTI DIMENSIONAL KINEMATIC DATA

### ABSTRACT

*The difficulty in the analysis and description of human movements lies in the high degree of freedom in human body and the large amounts of kinematics data sets. Therefore new approaches have been utilized for the numerical representation and me-*

aning of movement structures. In spite of having been widely used in many different disciplines, the using Principle Component Analysis (PCA) in the investigation of kinematics data of movement structures is quite new. In this study, it was aimed to decrease the dimensions of kinematics data sets and investigate on the determined principle components by applying PCA technique to position information on different movement structures. PCA has been applied to kinematics data sets derived from immediate positions represented by the position information in the basic athletics movement types such as running, throwing, jumping, kicking the ball with foot, weight lifting, and gymnastics. It has been determined that as the structure of the movement gets complex, the ratio of the first PC represented in the total variance decreases, meanwhile in all the movement types the first 8 PCs can represent approximately 98% of the movement structures. It is thought that this type of new approaches will importantly contribute in the analysis of human movements. As in the running movement, 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.

**Key Words:** Principal component analysis, Human movement simulation, Human movement modeling

## GİRİŞ

Canlıların hareketlerinin nasıl gerçekleştiği sorusuna birçok araştırma alanı ilgi duymaktadır. İnsan hareketinin tanımlanabilmesi, biyomekanik analizde, performans analizinde, kişi tanımada, hareket bozukluklarının belirlenmesinde ve sanal insan canlandırılmalarında önemli rol oynamaktadır. Tarih boyunca birçok araştırmacı yapısal, fiziksel ve matematiksel modeller kullanarak insan hareketlerini açıklamayı denemişlerdir. İnsan hareketinin analizi, karşılaştırılması ve tanımlanmasındaki zorluk insan vücudundaki yüksek serbestlik derecesinden ve büyük boyutlardaki veri setlerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle hareket yapılarının daha az veri setiyle ifade edilmesi ve anlam kazandırılmasında yeni yaklaşımlar denenmektedir.

Basit modeller kullanılarak hareketlerin temsil edilmesi temel mekanik özellikleri açıklayabilirken sportif hareketler gibi daha karmaşık hareket yapılarında yeter-

siz kalmaktadır. İnsan hareketlerinin incelenmesinde sıklıkla çubuk şekiller olarak kabul edilen vücut üyelerinin iki yada üç boyutlu kinematik ve kinetik verilerinden faydalanılmaktadır. Hubbard ve Trinkle (1985) yüksek atlamaya ilişkin çalışmalarında insanı tek bir katı çubuk ile temsil ederken, Yeadon (1990) yapılan önceki çalışmalardakine benzer şekilde, fakat vücudu daha fazla sayıda katı çubuklar kullanarak temsil etmiştir. Hatze (1980)'nin, insan vücudundan alınan 242 antropometrik ölçüm değerini kullanarak önerdiği modelde 17 üye yer almaktadır. Bu modeller, insan gibi karmaşık bir sistem ile karşılaştırıldığında basit olmasına rağmen çözülmesi zor olan denklem sistemleri 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.

Geleneksel çubuk şekiller, insan vücudunu birbirlerine eklemler ile bağlı çizgilere benzeten vücut üyeleri olarak temsil etmektedirler. Eklemlerin hareketlerinin tüm vücudu temsil edeceği kabul edilmektedir (Aggarwal, 1999). Tipik olarak üç boyutlu veri vücuda işaretler yerleştirilerek elde edilmektedir (Johansson, 1973). 1970'lerde Johansson gerçekleştirdiği deneyde, vücut üyeleri üzerine ışıklar yerleştirilerek az sayıdaki bu noktalar yardımı ile hareket yapılarının gözlenebileceğini önermiştir (Johansson, 1975). Hareket analizi sistemlerinden elde edilen büyük veri setlerinin ortalama, varyans yada standart sapma gibi temel tanımlayıcı istatistiksel yöntemler ile değerlendirilmesinin anlamsızlığının ötesinde insan hareketlerinin analizinde araştırmacılar farklı teknikler kullanmaya yönelmektedir.

İnsan vücudunu oluşturan üyeler yüksek serbestlik derecesinde hareket etmelerine karşın zaman içerisindeki konumlarının rastgele değişmediği ve düzgün bir davranış gösterdiği gözlenebilir. Öte yandan insan hareketlerinin doğasında simetriklik içerdiği bilinmektedir. Yürüyüş sırasında 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 bacağın ve kolun hareketleri simetriktir. Hareketlerin serbestlik derecesinin azaltılabilmesine imkan sağlayan bu özellik spor bilimlerinde koordinasyon olarak değerlendirilmektedir (Troje, 2002b). Durum-konum 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

koyduğu 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. İnsan hareketi, birbirleriyle ilişkili olan anlık duruşların zaman içerisinde düzgün bir şekilde değişimi ile tanımlanabilmektedir.

Birçok canlandırma ve bilgisayar görüş (computer vision) uygulamalarında, belirtilen özelliklerinden dolayı, insan hareketinin tanımlanmasında doğrusal teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler arasında yer alan Temel Bileşenler Analizi (TBA) yöntemi birbirleriyle ilişkili olan değişkenlerin, birbirleriyle ilişkili olmayan yeni ve daha az sayıdaki değişken ile temsil edilmesine dayanmaktadır. Çok değişkenli istatistiksel analizde  $n$  tane nesneye ilişkin  $p$  adet özellik incelenmektedir. Çok fazla değişkenle çalışmaktan kaynaklanan işlem yükü bilgisayar olanaklarının çok geliştiği günümüzde bir sorun olarak görülmesi de, çok sayıda değişkene ilişkin analiz sonuçlarının yorumlanması ve özetlenmesi kolay işlemler değildir. Böyle durumlarda başvurulacak tekniklerden en önemlisi TBA'dır. Genel olarak değişkenler arasındaki bağımlılık yapısının yok edilmesi ve boyut indirgeme amacıyla kullanılır. Boyut indirgeme 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). Sonuç olarak TBA boyutları indirgenmiş orijinal veri setini oluşturmaktadır.

TBA, 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; Joutsensalo, 1995; Karhunen ve Rosales ve Scarloff, 2000), sinir ağları (Nayar ve Poggio, 1996; Ramsay ve diğ., 1996), konuşma analizleri (Chen ve Lee, 1995), sanal öğrenme (Murase ve Nayar, 1993; Pinkowski, 1997), aktif görüntü (Rodtook ve Rangsanseri, 2001; Sanger, 2000) alanlarında birçok uygulama örnekleri bulunmaktadır.

TBA video görüntülerinde yüz, parmak izi, konuşma yada nesne tanıma gibi çok boyutlu veri setlerinin analiz edilmesinin gerekli olduğu özellikle görüntü işleme süreçlerinde boyut indirgenmesi amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Görüntü tabanlı analizler gibi çok boyutlu elektrokardiyografi (EKG) ya da elektromiyografi (EMG) verilerinin analiz edilmesi, tanımlanması ve sınıflanmasında TBA'nın kullanılması yaygınlaşmaktadır (Deluzio ve diğ., 2000; Gavrila, 1999; Neagoe ve diğ., 2003; Perez ve Nussbaum, 2003; Sanjeev ve diğ., 1989; Yamato ve diğ., 1992). Gerçekleştirilen uygulamalar, birçok kastan okunan eş zamanlı yüzey EMG verilerinin boyutlarının indirgenmesi için TBA'nın etkili olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Khalaf ve diğ., 1999; Sidenbladh ve diğ., 2002, Troje, 2002b). 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). İnsan yürüyüşünde kiloluluk yada cinsiyet gibi fiziksel özellikler ile heyecanlılık yada sınırlılık gibi

psikolojik durumlar TBA tabanlı modeller kullanılarak parametrize edilebilmektedir. Troje (2002a) cinsiyete bağlı olarak insan yürüyüşünde ortaya çıkan farklılıkları belirlemek amacıyla TBA tabanlı bir model oluşturmuştur. Yürüyüş çalışmalarının yanı sıra, elleri kaldırıp indirme, kolları döndürme gibi basit hareketleri tanımlamada TBA kullanılmaktadır (Bokman ve diğ., 2005; Santello ve diğ., 1998). Basit ve periyodik hareketlerin ötesinde, Hollands ve diğ. (2004) modern dans hareket yapılarına ait tüm vücut kinematik verilerini incelemede TBA yönteminden yararlanmışlardır.

Birçok farklı disiplinlerce sıklıkla kullanılmasına rağmen, hareket yapılarına ait kinematik verilerin boyutlarının indirgenmesinde (Çilli ve Artan, 2006; Daffertshofer, 2004), farklı hızlardaki koşu hareketinin TBA kullanılarak modellenmesi (Çilli ve Artan, 2005) gibi hareketlerin uygulama alanlarında henüz TBA kullanımı çok yenidir.

Bu çalışmada, çeşitli sportif hareketlere ait (koşma, engel geçme, atma, ayakla topa vurma, atlama, ağırlık kaldırma, cimnastikte seçilen bazı basit ve daha karmaşık hareket tipleri) kinematik değişkenlerden oluşan büyük boyutlardaki veri setlerinin daha düşük boyutlardaki veri setleri ile ifade edilebilmesinde TBA tekniğinin etkinliğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## **YÖNTEM**

Hareket, zaman içerisinde duruşların sıralanması olarak ele alındığında, insan hareketleri anlık duruşların zamana bağlı olarak belli bir düzen içerisinde ve birbirleri ile ilişkili olarak değişiminin analizi ile incelenebilmektedir (Dean ve diğ., 2005; Troje, 2002a). Durum-uzay yaklaşımı olarak bilinen bu yaklaşımda anlık duruş bilgileri kullanılmaktadır. Farklı hareket yapılarına ilişkin anlık duruş bilgilerinin elde edilme-

sinde hareket analizi sistemi kullanılmıştır. Oluşturulan kinematik veri setlerinde TBA uygulanarak bileşen sayıları incelenmiştir.

### Kinematik Verilerin Toplanması

Anlık duruş bilgilerinin oluşturulmasında 14 anatomik noktadan oluşan çubuk insan modeli kullanılmıştır (Şekil 1).

Çalışmada analiz edilecek olan basit ve karmaşık becerilere (Tablo 1) ait kinematik veriler video tabanlı hareket analizi sisteminden elde edilmiştir. Hareketler Ariel Performans Analiz Sistemi (APAS) kullanılarak, üç boyutlu (3B) olarak ve 50 Hz görüntü hızında analiz edilmiştir. Kinematik veriler 4 Hz kesme sıklığında alçak geçirgen sayısal filtre kullanılarak filtreden geçirilmiştir. Hareket yapısını temsil eden görüntü kareleri belirlenerek, n sayıdaki görüntü karesinde 14 noktaya ait konum bilgileri analizlerde kullanılmıştır. Tablo 1'de çalışmada kullanılan farklı veri setleri ve verilerin elde edildiği kaynaklar özetlenmektedir.

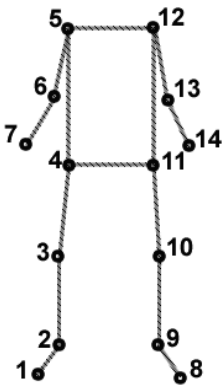
### Duruşların Oluşturulması

Hareket analizi sisteminden elde edilen n sayıdaki kareye ait konum bilgileri

$G^{nx42}$  (Eşitlik 1) matrisine yazılmıştır.  $G^{nx42}$  matrisi her bir görüntü karesine ait konum bilgileri sütun vektörlerde yer alacak şekilde  $P^{42xn}$  matrisi olarak yeniden biçimlendirmiştir (Eşitlik 2).

$$G^{nx42} = \begin{bmatrix} \square x_{1,1} & \square y_{1,1} & \square z_{1,1} & \dots & \square x_{1,14} & \square y_{1,14} & \square z_{1,14} & \square \\ \square x_{2,1} & \square y_{2,1} & \square z_{2,1} & \dots & \square x_{2,14} & \square y_{2,14} & \square z_{2,14} & \square \\ \square x_{3,1} & \square y_{3,1} & \square z_{3,1} & \dots & \square x_{3,14} & \square y_{3,14} & \square z_{3,14} & \square \\ \square \cdot & \square \cdot & \square \cdot & \dots & \square \cdot & \square \cdot & \square \cdot & \square \\ \square \cdot & \square \cdot & \square \cdot & \dots & \square \cdot & \square \cdot & \square \cdot & \square \\ \square \cdot & \square \cdot & \square \cdot & \dots & \square \cdot & \square \cdot & \square \cdot & \square \\ \square x_{n,1} & \square y_{n,1} & \square z_{n,1} & \dots & \square x_{n,14} & \square y_{n,14} & \square z_{n,14} & \square \\ \square x_{n,1} & \square y_{n,1} & \square z_{n,1} & \dots & \square x_{n,14} & \square y_{n,14} & \square z_{n,14} & \square \\ \square x_{n,1} & \square y_{n,1} & \square z_{n,1} & \dots & \square x_{n,14} & \square y_{n,14} & \square z_{n,14} & \square \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$P^{42xn} = \begin{bmatrix} \square x_{1,1} & \dots & \square x_{1,n} & \square \\ \square y_{1,1} & \dots & \square y_{1,n} & \square \\ \square z_{1,1} & \dots & \square z_{1,n} & \square \\ \square \cdot & \dots & \square \cdot & \square \\ \square \cdot & \dots & \square \cdot & \square \\ \square \cdot & \dots & \square \cdot & \square \\ \square \cdot & \dots & \square \cdot & \square \\ \square x_{14,1} & \dots & \square x_{14,n} & \square \\ \square y_{14,1} & \dots & \square y_{14,n} & \square \\ \square z_{14,1} & \dots & \square z_{14,n} & \square \end{bmatrix} = [p_{(1)} \dots p_{(n)}] \quad (2)$$



### Eklemlerin İsim ve Numaraları

- |                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| 1. Sağ ayak ucu    | 8. Sol ayak ucu    |
| 2. Sağ ayak bileği | 9. Sol ayak bileği |
| 3. Sağ diz         | 10. Sol diz        |
| 4. Sağ kalça       | 11. Sol kalça      |
| 5. Sağ omuz        | 12. Sol omuz       |
| 6. Sağ dirsek      | 13. Sol dirsek     |
| 7. Sağ el bileği   | 14. Sol el bileği  |

Şekil 1. İnsan üzerinde belirlenen anatomik noktalar ve 14 noktalı insan modeli

### Kinematik Verilere TBA Uygulanması

Yeniden biçimlendirilmiş konum bilgilerinden oluşan ve her bir sütununda bir duruş bilgisinin yer aldığı  $P^{42 \times n}$  matrisi, sütunlarında yer alan her bir değerden ait oldukları sütun ortalaması çıkarılarak, ortalamaya göre normalize edilmiştir (Bokman ve diğ., 2005). Normalize edilmiş  $P^{42 \times n}$  matrisinin ( $P_n^{42 \times n}$ ) kovaryans matrisi hesaplanmıştır (Eşitlik 3). Kovaryans hesaplamalarında MATLAB yazılımı içerisindeki (cov) fonksiyonu kullanılmıştır.

$$C^{n \times n} = \text{cov}(P_n^{42 \times n}) \quad (3)$$

Elde edilen kovaryans matrislerinin ( $C^{n \times n}$ ) özdeğer ve özvektörleri MATLAB yardımı ile hesaplanmıştır.

### Temel Bileşenlerin Seçilmesi

TBA'dan elde edilen temel bileşenlerin sayısı değişkenlerin sayısı ile aynı olacaktır. Temel Bileşenler Analizinin kullanım amaçlarından birisi n sayıdaki değişkeni  $k < n$  olmak üzere k sayıdaki değişken ile temsil edebilmektir. Oysaki seçilecek olan bileşenlerin veriyi en iyi temsil edecek optimal sayıda olması gerekmektedir.

Optimal sayıdaki temel bileşenlerin belirlenmesinde, anlamlılık testleri yada grafik gösterimler gibi değişik yöntemler kullanılmaktadır (Bokman ve diğ., 2005). Uygulamacıların çoğu anlamlılık testlerinin gereğinden fazla sayıda bileşenin korunmasını önerdiği konusunda aynı görüşe sahiptir (Bokman ve diğ., 2005). Bileşen sayısının seçilmesi ile ne kadar bilginin korunacağını değerlendirilmesinde, her bir bileşen tarafından temsil edilen toplam varyansın birikimli oranı kullanılmaktadır (Bokman ve diğ., 2005; Jackson, 1991). Her bir bileşen tarafından temsil edilen toplam varyans (tvc) Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$tvc = \frac{\ddot{e}_i}{\sum_{i=1}^n \ddot{e}_i} 100$$

tvc: Her bir temel bileşenin toplam varyansın %kaçını temsil ettiği gösteren değer (4)

$\lambda$  : Her bir temel bileşene ait özdeğerler

**Tablo 1.** Analizlerde kullanılmak üzere seçilen basit ve karmaşık hareket yapıları.

Hareket Türü	Hareketler	Veri Kaynağı
Koşu	8 km/saat Koşu Hızında Koşu	(HUBAG veri tabanı)
	12 km/saat Koşu Hızında Koşu	(HUBAG veri tabanı)
	16 km /saat Koşu Hızında Koşu	(HUBAG veri tabanı)
Ağırlık Kaldırma	Basit ağırlık kaldırma	(APAS örnek veri)
	Olimpik halterde koparma	(HUBAG veri tabanı)
Topa Vurma	Futbol topuna vurma	(APAS örnek veri)
Engel Geçme	400 m Engelli koşu engel geçme	(APAS örnek veri)
Atma	Beyzbol topu fırlatma	(APAS örnek veri)
	Disk Atma	(APAS örnek veri)
Atlama	Uzun atlama	(HUBAG veri tabanı)
	Sırıkla yüksek atlama	(APAS örnek veri)
Cimnastik	Durarak geri salto	(HUBAG veri tabanı)
	Yatay barda Gaylord	(APAS örnek veri)
	Yatay barda Tkatchev	(APAS örnek veri)
Tenis	Forehand Vuruş	(APAS örnek veri)

(HUBAG) Hacettepe Üniversitesi Biyomekanik Araştırma Grubu  
(APAS) Ariel Performans Analiz Sistemi

Toplam varyansın ne kadarının veriyi temsil etmede yeterli kabul edilebileceği konusunda tartışmalar bulunmaktadır. Bazı araştırmacılar, ilk 5 veya 6 bileşenin toplam varyansın %70 ile %80'ini kapsamasının yeterli olduğunu savunurken, bazıları %80-90'ının uygun olduğunu belirtmektedirler (Jackson, 1991). Birçok bilgisayar yazılımında ise toplam varyansın %95'inin temsil edildiği bileşen sayısı ölçüt olarak kabul edilmektedir (Bokman ve diğ., 2005). Bu çalışmada optimal bileşen sayısının belirlenmesinde Döküntü Grafiği Yöntemi kullanılmıştır (Jackson, 1991).

### BULGULAR

Farklı hareket yapılarına ait kinematik verilere uygulanan TBA analizleri sonucunda, her bir hareket yapısına ait optimal tb sayıları ve tvç değerleri tablolar halinde verilmiştir.

İncelenen tüm hareket tiplerine ait kinematik verilere uygulanan TBA sonucunda belirlenen optimal tb sayıları ve tvç değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

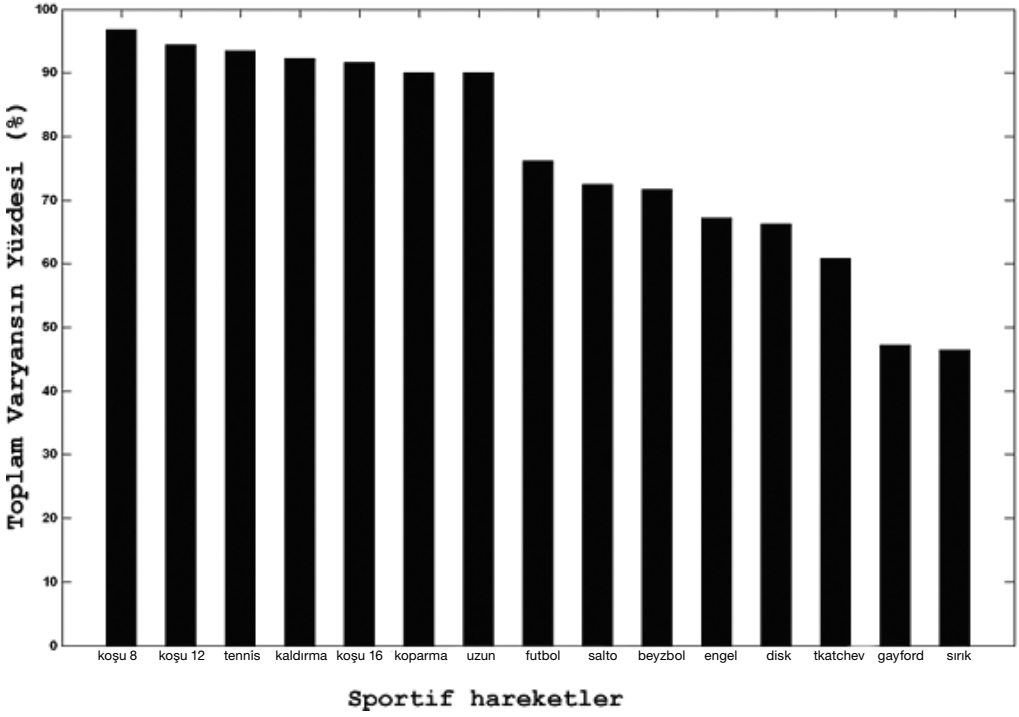
Belirlenen ilk tb lerin tvç değerlerine göre sıralanan farklı hareket tiplerinde ilk tb'lerin temsil ettiği toplam varyans yüzde değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2'de koşu 8; 8km/saat hızda koşuyu, koşu12; 12km/saat hızda koşuyu, tenis; teniste forehand vuruşu, koşu16; 16km/saat hızda koşuyu, koparma; Olimpik halterde koparmayı, uzun; uzun atlamada sıçramayı, futbol; futbol topuna ayak iç üstü ile vuruşu, salto; cimnastikte durarak geri saltoyu, beyzbol; beyzbolda top fırlatmayı, engel; 400m engelli koşuda engel geçişini, disk; disk atmaya, tkatchev; cimnastikte yatay barda Tkatchev hareketini, gaylord; cimnastikte yatay barda Gaylord hareketini ve sırık; sırıkla yüksek atlamada sıçrama ve atlayış evrelerini temsil etmektedir.

Şekil 3'te ilk tb'lerin tvç değerlerine göre sıralanan hareket tiplerinde belirlenen ilk 20 tb'ye ait tvç değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Hareketin karmaşıklığı ekseninde ilk tb'lerinin tvç değerlerine göre sıralanan hareket tipleri yer alırken, tb sayısı

**Tablo 2.** Farklı hareket tiplerinde belirlenen optimal tb sayısı ve tvç değerleri.

Hareket Türü	Hareketler	Optimal tb sayısı	tvç [%]
Koşu	8 km/saat Koşu Hızında Koşu	2	99.0
	12 km/saat Koşu Hızında Koşu	2	98.6
	16 km /saat Koşu Hızında Koşu	3	99.7
Ağırlık Kaldırma	Basit ağırlık kaldırma	3	99.5
	Olimpik halterde koparma	3	98.9
Topa Vurma	Futbol topuna vurma	4	99.5
Engel Geçme	400 m Engelli koşu engel geçme	5	99.5
Atma	Beyzbol topu fırlatma	5	98.7
	Disk Atma	6	98.5
Atlama	Uzun atlama	2	99.3
	Sırıkla yüksek atlama	8	98.4
Cimnastik	Durarak geri salto	6	99.1
	Yatay barda Gaylord	6	99.1
	Yatay barda Tkatchev	6	99.3
Tenis	Forehand Vuruş	2	99.3



**Şekil 2.** Hareketlerin tiplerine bağlı olarak ilk 20 tb'lerin temsil ettiği toplam varyans yüzde değerleri.

ekseninde ilk 20 tb yer almaktadır. Dikey ekseninde yer alan tvç değerleri farklı hareket tiplerinde ilk 20 tb'nin toplam değişimde temsil ettiği yüzdeyi belirtmektedir.

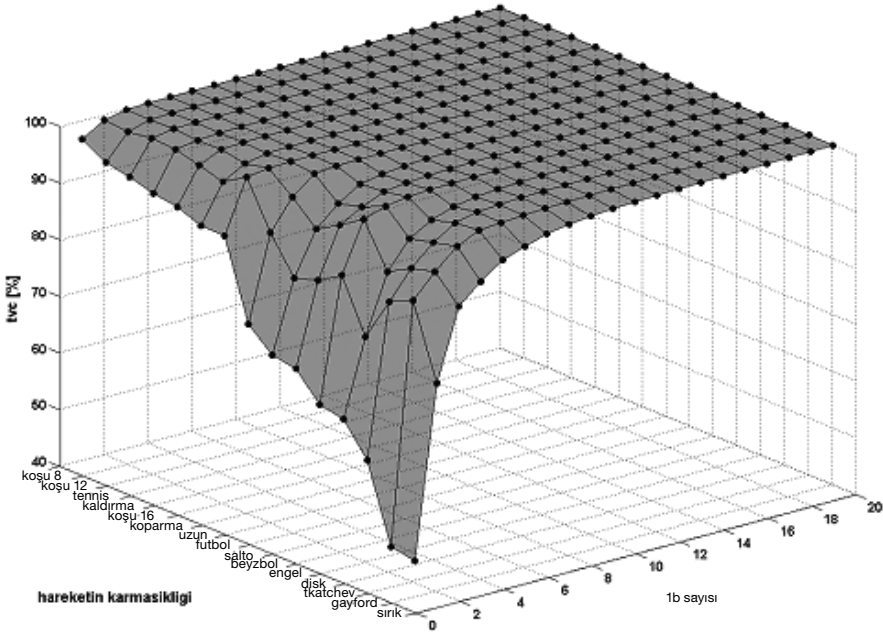
### TARTIŞMA

İnsanın fiziksel özellikleri ve iskelet-kas sistemi hareketlerinin doğası kinematik veri setlerinin boyutlarının diğer bir deyişle hareketlerin serbestlik derecesinin azaltılabilmesine imkan sağlamaktadır. Basit ve periyodik insan hareketlerinden biri olan koşu hareketi simetriklik içermektedir. Koşu ve yürüme gibi periyodik hareketlerde insan vücudunun sağ ve sol üyelerinin benzer şekilde hareket ettikleri gözlenebilir. Bu özelliklerden dolayı TBA'nın insan hareketlerinde kinematik

verilere ait değişken sayılarının azaltılmasında yararlı olduğu gözlenmiştir.

Hareket tiplerine uygulanan TBA'lar sonucunda, insan hareketlerine ait kinematik verilerden oluşan veri setlerinin boyutlarının etkili biçimde indirgenemediği gözlenmiştir. Bokman (2005) çalışmasında, elleri kaldırıp indirme, kolları döndürme gibi basit hareketleri, Santello ve diğ. (1998) ise, alet kullanmada elin gerçekleştirdiği hareketleri tanımlamada TBA kullanmışlardır. Basit periyodik insan hareketleri yanında daha karmaşık yapılar içeren hareketlerde de TBA önemli sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Hollands ve diğ. (2004) modern dans hareket yapılarına ait tüm vücut kinematik verilerini tanımlamada TBA yöntemini kullanmışlardır. TBA çok boyutlu veri setini





**Şekil 3.** Hareket tiplerine bağlı olarak ilk 20 tb ye ait tvc değerleri değişimi

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).

Bazı araştırmacılar tarafından ilk 5 veya 6 bileşenin toplam varyansın %70 ile %80'ini kapsamının yeterli olduğunu savunurken diğerleri %80-%90'ının uygun olduğunu belirtmektedirler (Jackson, 1991). Bu çalışmada hareket karmaşıklığına bağlı olarak ilk temel bileşenin toplam varyansın yaklaşık %45-%93'ünü temsil edebildiği gözlenmiştir. Seçilen hareket yapıları belirlenen ilk tb'lerin tvc değerleri dikkate alınarak sıralandığında hareketin kinematik yapısının karmaşıklığı ile benzer şekilde davrandıkları gözlenmektedir (Şe-

kil 2). Hareketin yapısı karmaşıklaştıkça ilk tb'nin toplam varyansta temsil ettiği oran azalmaktadır (Şekil 3). Bunun yanında incelenen tüm hareket yapılarında ilk 8 tb'nin hareket yapılarının yaklaşık %98' ini temsil edebildiği ortaya konmuştur (Tablo 2).

İnsan hareketlerinin belirlenmesi, izlenmesi ve vücut parçalarının hareketlerinin analiz edilmesi amaçlarıyla, bilgisayar görüntü toplulukları yada spor bilimleri alanlarında gerçekleştirilen çalışmalarda yüksek boyutlardaki veri setlerine anlam kazandırabilmek önemlidir. TBA uygulamaları boyutları indirgenmiş veri setleri yardımı ile ileri uygulamalar gerçekleştirilmesinde yardımcı olabilecek sonuçlar ortaya koymaktadır.

TBA, cinsiyet, yorgunluk, sakatlık, tekniğin düzgünlüğü vb gibi farklı durumlara bağlı olarak verilerin sınıflanması,

analizi, teşhisi, karşılaştırılması yada hareket durumları arasında harmanlama yapılabilmesinde yararlar sağlayabilmektedir.

Hareket analizi sistemlerinden elde edilen büyük veri setlerinin ortalama, varyans ya da standart sapma gibi temel tanımlayıcı istatistiksel yöntemler ile değerlendirilmesinin ötesinde, insan hareketlerinin analizinde bu türden yeni yaklaşımların önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Koşu hareketinde olduğu gibi daha fazla sayıdaki bireye ve farklı durumlara ait hareket yapılarına ait verilerde belirlenen tb'lerin, cinsiyet, koşu hızı, yorgunluk, fiziksel yapı, sakatlık, tekniğin düzgünlüğü vb gibi farklı durumlara bağlı olarak sınıflama, analiz, teşhis, karşılaştırma yada hareket durumları arasında harmanlama yapılabilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

**Yazar Notu:** Bu çalışma "İnsan Hareketinin Modellenmesi Ve Benzeşiminde Temel Bileşenler Analizi Yönteminin Kullanılması", Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Bilimleri Programı, Doktora Tezi, Ankara, 2007'de yapılan tez çalışmasının özetidir.

**Yazışma Adresi (Corresponding Address)**

Dr. Murat ÇİLLİ

Hacettepe Üniversitesi

Spor Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu

Biyomekanik Araştırma Grubu

06800 Beytepe / Ankara

e-posta: cilli@hacettepe.edu.tr

**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. *Phil. Trans. R. Soc.*

*Lond*, 358, 1429-1435.

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.

Boyle RD. (1998). Scaling additional contributions to principal component analysis. *Pattern Recogn Lett*, 31, 2047-2053.

Chen CY, Lee RCT. (1995). A near pattern-matching scheme based upon principal components analysis. *Pattern Recogn Lett*, 16, 339-345.

Çilli M, Arıtan S. (2006). *14th Balkan Sports Medicine Congress: Using PCA for data reduction in different movement pattern*. Bulgaristan: Albena Resort.

Çilli M, Arıtan, S. (2005). *10th Annual Congress European College of Sport Science: PCA application for modeling and simulation of running patterns*. Sirbistan: Belgrade.

Daffertshofer A, Lamoth CJC, Meijer DG, Beek PJ. (2004) . PCA in studying coordination and variability: a tutorial. *Clinical Biomechanics*, 19, 415-428.

Deluzio KJ, Wyss UP, Costigan PA, Zee B. (2000). *Canadian Society for Biomechanics*. Biomechanical factors in gait of knee osteoarthritis patients, Montreal: QC

Gavrila DM. (1999). The visual analysis of human movement: A survey. *Computer Vision and Understanding*, 73, 82-98.

Hatze H. (1980). A mathematical model for the computational determination of parameter values of anthropomorphic segments. *Journal of Biomechanics*, 13, 833-843.

Hollands K, Wing A, Daffertshofer A. (2004). *3rd IEEE EMBSS UK &RI PostGraduate Conference in Biomedical Engineering & Medical Physics: Principal components analysis of contemporary dance kinematics*. Southampton: University of Southampton.

Jackson JE. (1991). *A User Guide to Principle Component*. New York: John Wiley & Sons Inc.

- Johansson G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception and Psychophysics*, 14, 201-211.
- Johansson G. (1975). Visual motion perception. *Scientific American*, 232, 76-88.
- Karhunen J, Joutsensalo J. (1995). Generalizations of principal component analysis, optimization problems, and neural networks. *Neural Networks*, 8, 549-562.
- Khalaf KA, Parnianpour M, Sparto PJ, Barin K. (1999). Feature extraction and quantification of the variability of dynamic performance profiles due to the different sagittal lift characteristics. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 7, 278-288.
- 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.
- Manly BFJ. (1992). *Multivariate Statistical Methods A Premier*. London: Chapman & Hall.
- MATLAB [Bilgisayar Yazılımı] , Mathworks Inc., Natick: Ma, USA
- 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.
- Nayar SK, Poggio T. (1996). *Early Visual Learning*. New York: Oxford University Press,
- Neagoe VE, Iatan IF., Grunwald S. (2003). *AMIA Annu Symp Proc: A neuro-fuzzy approach to classification of ECG signals for ischemic heart disease diagnosis*, 494-498.
- Perez MA, Nussbaum MA. (2003) . Principal component analysis as an evaluation and classification tool for lower torso sEMG data. *Journal of Biomechanics*, (36), 1225-1229.
- Pinkowski B. (1997). Principal component analysis of speech spectrogram images. *Pattern Recog*, 30, 777-787.
- Ramsay JO, Munhall KG, Gracco VL, Ostry DJ. (1996). Functional data analyses of lip motion. *J Acoust Soc Am.*, 99, 3718-3727.
- 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.
- 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.
- Sanger TD. (2000). Human arm movements described by a low-dimensional superposition of principal components. *The Journal of Neuroscience*, 20, 1066-1072
- Sanjeev D, Nandedkar D, Sanders B. (1989). Principal component analysis of the features of concentric needle EMG motor unit action potentials. *Muscle&Nerve*, 288-293.
- Santello M, Flanders M and Soechting JF. (1998) . Postural hand synergies for tool use. *The Journal of Neuroscience*, 18, 10105-10115.
- Sidenbladh H, Black MJ, Sigal L. (2002). *European Conference On Computer Vision: Implicit probabilistic models of human motion for synthesis and tracking*. Copenhagen.
- Troje FN. (2002a). Decomposing biological motion: A frame work for analysis and synthesis of human gait pattern. *Journal of Vision*, 2, 371-387.
- Troje FN. (2002b). In: R. P. Würtz, M. Lappe (Eds.), *Dynamic Perception: The little difference: Fourier based synthesis of gender-specific biological motion*. Berlin: AKA Press, 115-120.
- Yamato J, Ohya J, Ishii K. (1992) . *Proc. IEEE Conf. CVPR: Recognizing human action in time sequential images using Hidden Markov Model*. Champaign: IL, 379-385.
- Yeadon MR. (1990). The simulation of aerial movement-II. A mathematical inertia model of the human body. *Journal of Biomechanics*, 23, 67-74.