

3 boyutlu tarayıcı kullanarak yetişkin erkek ayak biçimi analizi

Deniz Leblebici Başar^{1*}, İlker Akgün²

¹ Dr. Öğr. Üyesi | İstanbul Teknik Üniversitesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü, İstanbul - Türkiye

² Dr. Öğr. Üyesi | Marmara Üniversitesi, İşletme Bölümü, İstanbul - Türkiye

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author:

Deniz Leblebici Başar

İstanbul Teknik Üniversitesi

Mimarlık Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü

34367 Şişli, İstanbul / Türkiye

E-posta: denizleblebici@itu.edu.tr

Alındı/Received: 6 Ocak / January 2022

Düzeltildi/Revised: 4 Mayıs / May 2022

Kabul/Accepted: 12 Haziran / June 2022

Yayımlandı/Published: 30 Haziran / June 2022

Öz

Bu çalışma, Türkiye insanı ayak antropometrik özelliklerini tespit etmek ve Türk Ayak Numaralandırma Sistemini oluşturmak için 3B görüntüleme teknikleri ile yürütülen öncü bir araştırmanın, 42 numara erkek ayak veri analizinin sonuçlarını sunmaktadır. 15-77 yaş aralığında erkek ayağının sağ ve sol 11 boyutta (toplam 22 adet) antropometrik verileri, %95 güven aralığında %5 doğruluk için gerekli 240 örneklem büyüklüğünde incelenmiştir. Ayak topuk genişliği ve çevresi, ayak konturpiye çevresi ve ayak kısa topuk çevresi değişkenleri etkisiyle sağ ve sol ayakta bu boyutlarda farklılık olduğu görülmüştür. 11 boyuttaki orta değer verileri, uluslararası veri tabanları ve Mondopoint numaralandırma sistemi ile karşılaştırıldığında, özellikle genişlik boyutlarında standartların üzerindedir. Bulgular, Türkiye’de yaşayan insanlara özel numaralandırma sisteminin gerekliliğini hem toplum sağlığı hem de ekonomik açıdan önemini bir kez daha vurgular niteliktedir.

Anahtar Sözcükler: Ayak antropometrik ölçümleri, Türk Ayak Numaralandırma Sistemi, 3B ayak ölçümü, ayak analizi, 3B tarama

Giriş

İnsan, yaşam fonksiyonlarını hareket ederek yerine getiren bir canlıdır. Hem bedenini ayakta tutan hem de hareket etmesini sağlayan ayakları, diğer canlılar gibi dış koşullara uyum sağlayacak şekilde evrimleşmemiştir. Bu sebeple, insan var olduğu ilk andan bu yana ayaklarını koruyan ve hareketini destekleyen ayak giysilerine ihtiyaç duymuştur (Naskali, 2003). Bu giysiler zamanla çeşitlenmiş, kültürün, toplumsal yaşam biçimlerinin ve üretim tekniklerinin gereklerine uygun bir değişim geçirmiştir. Kullanıcı morfolojik özellikleri, ihtiyaçları ve deneyimine göre meydana gelen tüm değişimler; insanın yaşam kalitesiyle, performans beklentileriyle, fiziksel ve psikolojik rahatlık algısıyla birebir bağlantılıdır (Cavanagh, 1980; Rossi ve Tennant, 1984; Witana vd., 2004; Mills vd., 2010).

Ayakkabı tasarım ve üretim sürecinde, ayak gibi kişinin anatomisine özgü hareketli bir uzvun doğru ölçüm teknikleri ile, belirli bir geometrideki hareketsiz

Adult male foot shape analysis using 3D scanner

Abstract

Current study presents 42 size men's foot measures data analysis, the preliminary findings of a comprehensive pioneering research to establish Turkish Foot Anthropometric database and Turkish System of Foot Sizing. 11 right and left foot measures (22 in total) of 240 male feet, age ranging from 15 to 77 years were used in a sample size for 5 % accuracy at 95 % confidence interval. It has been observed that there are significant differences between the right and left feet for the measures of ball width, foot girth, instep girth and short heel girth variables. When the median value data in 11 dimensions is compared to international foot measure databases and Mondopoint foot sizing system, especially the width dimensions are higher than the standards. Findings once again emphasizes the necessity of standardizing anthropometric data and sizing system specific to Turkish people, both in terms of public health and economics.

Key Words: Foot anthropometric measures, Turkish Foot Sizing System, 3D foot measurement, foot analysis, 3D scanning

bir yapının içine uyumlandırılması gereklidir. Bu ölçüler yaş, cinsiyet gibi bireysel ve etnik köken gibi toplumsal özelliklere göre farklılıklar gösterir (Kouchi, 1998; Matthews vd., 1998; Goonetilleke ve Luximon, 1999; Wunderlich ve Cavanagh, 2001; Hawes vd., 2007; Krauss vd., 2008, 2010, 2011; Lou vd., 2009; Mickle vd., 2010; Hong vd., 2011; Luximon, 2013; Jurca vd., 2019). Bugüne dek, belirli teknikler kullanılarak popülasyonun geneline uyacak şekilde, bazı toplumlara özel standardizasyonlar yapılmıştır [International Organization for Standardization (ISO), 2015]. Türk insanın ayak karakteristiklerinin tanımlanarak geliştirilen bir ölçü sistemi yoktur (Karavana, 2008; Kasten, 2009; Kağmıçoğlu ve Altay, 2013; Akçakale, 2017; Doğanç, 2019). Bu durum, kişilerin ayak sağlığını, bedensel gelişimini ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilediği gibi ayakkabı sektörünün üretim verimini de düşürmektedir. Bunun yanında dünya genelinde üretimin belirli bölgelerde yoğunlaşması da toplumların

Atıf için / Cite as:

Leblebici Başar, D., ve Akgün, İ. (2022). 3 boyutlu tarayıcı kullanarak yetişkin erkek ayak biçimi analizi. *Antropoloji*, (43), 10-21. <https://doi.org/10.33613/antropolojidergisi.1053529>

Tablo 1. Türkiye’de ayak ölçümü üzerine yapılmış ulusal çalışmalar (1990-2020)

Çalışma	Ölçülen ayak sayısı	Cinsiyet dağılımı	Yaş dağılımı	Ölçüm yöntemi	Ölçülen Bölgeler
Aktaş, 1991	400	200 E, 200 K	20-55	Manuel - Ayak izi	Boy, gen., top gen.
Yorulmaz vd., 1995	1038	543 E, 495 K	Ortalama 39,5	Manuel	Boy, gen., top gen., tarak çev.
Adıgüzel vd., 2003	405	314 E, 91 K	17-20	Manuel	Boy, gen., top gen., kont. yük., MLT, MMT
Güleç vd., 2005	2100	1050 E, 1050 K	20-65	Manuel	Boy, gen.
Karavana, 2008	4386	Erkek	12-17	Manuel	Boy, tarak gen., top gen., tarak çev, kont. çev.
Ocak vd., 2009	1064	Erkek	7-14	Manuel - Mezura	Boy, gen., top gen., tarak çev, kont. çev.
Kağnıcıoğlu ve Altay, 2013	198	100 E, 98 K	0-3	Manuel - Brannock	Boy, tarak gen., top gen., tarak çev, kont. çev, sağ sol karşılaştırma
Akçakale, 2017	100	Erkek	18-23	Mmanuel - Brannock/ mezura	Boy, gen., topuk gen., tarak çev, kont. çev.
Doğancı, 2019	300	141 E, 159 K	18-21	Manuel - Ayak izi	Boy, tarak gen., tarak çev, bilek çev, kısa topuk çev, kısa topuk gen., topuk gen., tarak çev, kont. çev, kont. yük., sağ sol karşılaştırma

ayak karakteristikleri bilgisinin sayısallaştırılması ve ayakkabı üretimi için standardının oluşturmasını gerekli kılmaktadır (Cheng ve Perng, 2000; Witana vd., 2004; Nacher vd., 2006; Witana vd., 2006; Zhao vd., 2008; Jurca vd., 2010; Baek ve Lee, 2016).

Gelişen bilgi teknolojisi ve üretim yöntemleri, ayak özelinde 3 boyutlu tarama ve dijitalleştirme teknolojilerinin erişilebilirliği, bu gibi sayısallaştırma çalışmalarını hızlandırmakta, insan bedeni özelinde daha az hatalı, çok daha fazla boyutta, çok sayıda veri toplanmasına imkân sağlamaktadır (Goonetilleke ve Luximon, 1999; Witana vd., 2006; Zhao vd., 2008; Xiong vd., 2009; Jurca vd., 2010; Rodrigo vd., 2012; Lee vd., 2014; Lee ve Wang, 2015; Jurca vd., 2019).

Mevcut çalışmanın Türkiye’de yaşayan insanların ayak karakteristiklerini belirlemek için 3 boyutlu tarayıcı ve veri analiz yöntemlerini kullanarak yapılan çalışmalara öncü olması ve antropometrik veri toplama için metodik bir yaklaşım geliştirmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem

Ayak ölçümü, numaralandırma sistemleri ve standartlar

Geleneksel olarak ayak ölçümleri; ayak ya da ayak izinin mezura, kumpas, cetvel, Brannock cihazı gibi aletler kullanılarak manuel olarak ölçülmesi ile yapılır. Bu ölçümlerdeki temel ölçüm noktaları ayak boyu, ayak

tarak genişliği veya çevresidir (Baba, 1975; Cheskin, 1987; Witana vd., 2006; Luximon, 2013). Ayak uzunluğu; topuğun en uç noktasıyla en uzun parmağın ucu arasındaki mesafedir. Ayak tarak kemiklerinin baş parmak ve serçe parmak arasındaki yatay uzunluğu; tarak genişliği, ayak tarak kemiğinin çevresi ise tarak çevresi olarak tanımlanır. Yaygın olarak kullanılmakta olan Uluslararası Ayakkabı Ölçüm sistemi: Mondopoint (ISO standardı), Çin, Japon, Amerikan, İngiliz ve Fransız ölçekleri de bu temel ölçüler baz alınarak oluşturulmuştur [Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2001; ISO, 2015].

Ülkemizde Fransız insanının ayak ölçülerine göre oluşturulmuş Paris Point Sistemi, 1988 yılından beri Türk Standartları Enstitüsü tarafından kabul edilerek kullanılan TS 5553 Ayakkabılar Numaralandırma Sistemleri ve 2001 yılından kabul edilen TS ISO 9407 Mondopoint Numaralandırma Sistemi kullanılmaktadır. Yani toplumumuza özgü bir ayak ölçüm ve numaralandırma sistemi bulunmamaktadır. Türkiye insanı özelinde yapılan çalışmalarda Türkiye’deki kadın ve erkeklerin ayakları Avrupa insanına göre kalın ve kısa olduğu bulgularına rastlanmaktadır (Yıldırım, 1984; Aktaş, 1991; Karavana, 2008; Akçakale, 2017). Ürün-kullanıcı ilişkisinin en temeli olarak kabul edilen antropometrik veriler bireyler veya gruplar arasında, anatomi, coğrafi bölge ve meslek grupları gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanan farklılıklara

göre değişmektedir. Her toplumun standart olarak belirlediği ölçüler kendine özgüdür ve başka toplumlarda kullanıldığında fizyolojik olarak insan bedeninde ve ayakkabı üretim/pazarlama sürecinde sorunlara yol açmaktadır. İnsanların kullanımına yönelik tüm araçların insan vücut ölçülerine göre standartlaştırılması sağlık ve ekonomi açısından gereklidir. Standartlaştırma, standartların belirlenmesi ile mümkün olabilir. YÖK Ulusal Tez Merkezi, DergiPark ve TR Dizin dijital kataloglarında, son 30 yıl içinde, sosyal bilimler ve tıp alanında yapılan taramalarda, Türkiye’de yaşayan insanların ayak karakteristiklerini belirlemeye yönelik yapılan çalışmaların yok denecek kadar az olduğu dikkat çekmektedir. Var olanlar ise sınırlı bir katılımcı grubu ile manuel ölçüm yöntemleri kullanılarak yapılmıştır (Tablo 1). Dijital ölçüm yöntemleri ve araçları kullanılarak yapılmış çalışma ise yoktur.

Ayak ölçümü ile ilgili yapılan araştırmalardaki en büyük kısıt, çalışmaların her birinde alınan ölçü tanımlarının (ayak boyu, ayak genişliği, çevreler ve yükseklikler) farklılığı, ayak koordinat sisteminin belirlenememesi ve manuel/dijital ölçüm sırasında uygulanması gerekli protokollerin eksikliğidir (Luximon vd., 2003; Witana vd., 2006; Xiong ve Zhao, 2013). Fiziksel ölçümlerin doğruluğu, geçerliliği ve tekrarlanabilir olması ölçülerin tanımlanması ve ölçülme biçimlerine bağlıdır. En temel ayak ölçülerden biri olan ayak uzunluğu için dahi birden fazla farklı tanım bulunmaktadır (Baba, 1975; Pheasant, 2003; Witana vd., 2006; Domjanic vd., 2013; Xiong ve Zhao, 2013). Ölçüm yapılan kişinin yaşı, kilosuna, cinsiyeti, kökeni, büyüdüğü çevre, hangi ayağın ölçüldüğü, kişinin hangi ayağını daha çok kullandığı, mesleği, ölçüm sırasında ayağa yük verip vermediği gibi kriterler de elde edilen veriyi değiştirmektedir (Cheng vd., 1997; Rossi ve Tennant, 1984; Tsung vd., 2003; Xiong vd., 2008).

Ayak çok boyutlu ve hareketli bir uzuvdur. Ayak biyomekaniğine ilişkin güncel yayınlar, ideal ayak ölçüm teknikleri ve yöntemlerine dair farklı yaklaşımlara işaret etmektedir (Cavanagh vd., 1997; Luximon ve Goonetilleke, 2004; Herbaut vd., 2016). Ayağın hareket halindeyken kemik, kas, eklem yapısının değişiyor olması, ölçümlerde bu üç temel uzunluğun yeterli olmadığını göstermektedir. Ayağın farklı kesitlerindeki genişlikleri, kavileri, kemer bölgesindeki yükseklikler, topuk genişliği, bilek çevresi ve yüksekliği gibi farklı ölçülerin ayak karakteristiklerini belirlemede önemlidir (Goonetilleke ve Luximon, 1999; Witana vd., 2004; Witana vd., 2006; Luximon vd., 2012). Luximon ve Goonetilleke’nin (2003) literatürde bahsi geçen 25 ölçü üzerine yaptığı analizler, ayak uzunluğu ve genişliği yerine ayak uzunluğu ve eksenini (*foot flare*) parametrelerinin genellemeye daha yakın bir ölçü seti olduğunu öne sürmüştür. Ayak ölçümleri üzerine yapılan bu güncel

araştırmalar, ayak özelinde geliştirilen bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemleri ve özellikle 3 boyutlu ayak tarama ve sayısallaştırma teknolojileriyle, ayağın karmaşık özelliklerini tanımlamak ve popülasyonu büyük ölçüde kapsayacak standartlaştırma ve numaralandırma sistemlerinin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır.

Türkiye’de yapılan ayak ölçümü özelindeki çalışmalarda, ulusal ve uluslararası akademik veri tabanlarına geçmiş, 3B tarama yöntemleri ve aletleri kullanılan herhangi bir çalışma yoktur. Bu bağlamda mevcut çalışma ilk olma özelliği taşımaktadır.

Ölçüm yöntemleri ve 3B tarayıcılar

Ayak ölçümü için iki boyutlu ve/veya üç boyutlu ölçüler alınabilir. İki boyutlu ölçümler ayak izinin alınması, ayak seklinin çizilmesi/ taranması ve bazı çevresel ölçülerin alınması ile gerçekleştirilebilir. Ölçüler el ile çeşitli araçlar yardımıyla alındığında “manuel ölçme yöntemi” olarak adlandırılır. Manuel ölçümde kullanılan araçlar genelde cetvel, mezura, kumpas (*caliper*), Brannock aleti ve ölçü çubuğudur. Ayak izi manuel olarak alınabildiği gibi iki boyutlu tarayıcılarla da alınabilir.

Günümüzdeki ileri teknolojik yöntemler arasındaki üç boyutlu (3B) tarayıcılar ayağı ölçmeyi ve sayısallaştırmayı kolaylaştırmaktadır. Üç boyutlu ölçümlerde ayak farklı kamera sistemleri ve görüntü işleme teknikleri ile taranır (Resim 1). Literatür taramasında sıklıkla karşılaşılan tarayıcılar, Volumental, Vorum Yeti, Infoot, Aetrex ve Precision 3B olarak belirlenmiştir. Bu tarayıcıların çalışma mekanikleri cihaz tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. 3B tarayıcıların hızlı ve pratik ölçüm kabiliyetleri, ayağın kodlanan birden fazla bölgesinin ölçümünü aynı anda yapılabilmesini sağlar. Farklı ölçümlerin analiz edilmesi ve veri setlerinin oluşması ayağın kompleks yapısını anlamaya ve farklı ayak ölçü sistemlerinin önerilmesine zemin yaratmaktadır. 3B tarayıcı sistemler daha geniş popülasyonları kapsayacak anlamlı ölçü birimleri geliştirilmesine de imkân sağlayabilir. Bu tarayıcılardan bazıları yapay zekâ algoritmaları ve bulut sistemleri de kullanarak büyük veri analizleri yapabilecek donanımdadırlar (Lee vd., 2014). Optronik teknolojileri geliştikçe, geleneksel manuel antropometrik veri toplama yaklaşımlarına kıyasla, 3 boyutlu tarama yöntemleri ile daha az hatalı ve güvenilirliği yüksek ölçümler gerçekleştirildiği görülmektedir (Witana vd., 2006; Lee vd., 2014; Jurca vd., 2019).



Resim 1. Çeşitli 3B tarayıcılar

Tablo 2. Örneklem büyüklüğü hesaplamaları

	%95 güven aralığı ve doğruluk (%)				
	a=1	a=2	a=3	a=4	a=5
Uzunluklar	191	48	21	12	8
Genişlikler	246	61	27	15	10
Yükseklikler	5276	1319	586	330	211
Çevreler	137	34	15	9	5
Gerekli örneklem sayısı	5276	1319	586	330	211

Veri seti

Çalışmanın kapsamını belirlemek için ayakkabı sektörü satış verileri incelenmiş ve mevcut çalışma kapsamında satış rakamları en yüksek olan 42 numara erkek ayakları analiz için seçilmiştir. Aynı zamanda, bu numara erkek ayakkabı üretiminde yaygın olarak kabul gören standart kalıp numarası, ayakkabı tasarım, serileme ve asortilerin belirlenmesinde baz olarak kabul gören kalıp olarak da kullanılmaktadır. Çalışmada (1) 15 yaş ve üstü yaş için ayak numarasının değişmediği kabul edilmiştir, (2) ölçü birimi mm, ölçüm hassasiyeti noktadan sonra 2 basamak (.,00) alınmıştır. Katılımcılar ayak ölçümleri yapılmadan önce ölçüm süreci hakkında bilgilendirilmiş, ayak verileri, cinsiyetleri ve yaşları haricinde herhangi bir bilgi istenmeyeceği ve bu bilgilerin de sadece araştırma amaçlı kullanılacağı bildirilerek onam alınmıştır.

Örneklem sayısının tespit edilebilmesi için, öncelikle kullanılan 3B tarayıcı cihaz için ölçüm doğruluğu tespiti yapılmıştır.

Cihaz için ölçüm doğruluğu tespiti. Çalışmada kullanılan 3B tarayıcının ölçüm doğruluğunu (ölçüm hatasını) tespit edebilmek için Volumental Ölçüm Doğruluk raporunda (2017) uygulanan metodolojiyi kullanarak bir doğruluk tespiti deneyi tasarlanmıştır. Bir ölçüm aleti ile yapılan her ölçümün bir hata payı ve dolayısıyla bir doğruluğu vardır. Doğruluk, bir ölçümde gerçek değere yakınlık derecesidir (ISO, 2012). Doğruluk tespiti deneyi için, 42 ayak ölçüsüne sahip bir katılımcıya, raporda önerildiği üzere beyaz çorap giydirilerek, 30 defa arka arkaya ölçüm gerçekleştirilmiştir. Her bir ayak ölçüsüne ait standart sapma ve aralık değerleri 5mm'den fazla olanlar tespit edilmiştir. Temel olarak, standart sapma ve aralık değeri ne kadar büyükse doğruluk (ölçüm hatası) o kadar büyüktür. Bu değerler örneklem sayısı tespitinde kullanılmıştır.

Örneklem sayısı tespiti. 42 numara erkek ayakları örneklem verisi üzerinde yapılan analizleri genelledebilmek için gerekli veri sayısı, örneklem

büyüklüğü, 3B tarayıcı kullanarak yapılması gereken ölçüm adedi hesabı ISO standardına göre yapılmıştır (ISO, 2012). Farklı doğruluk değerleri için yapılan hesaplara göre elde edilen örneklem büyüklükleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

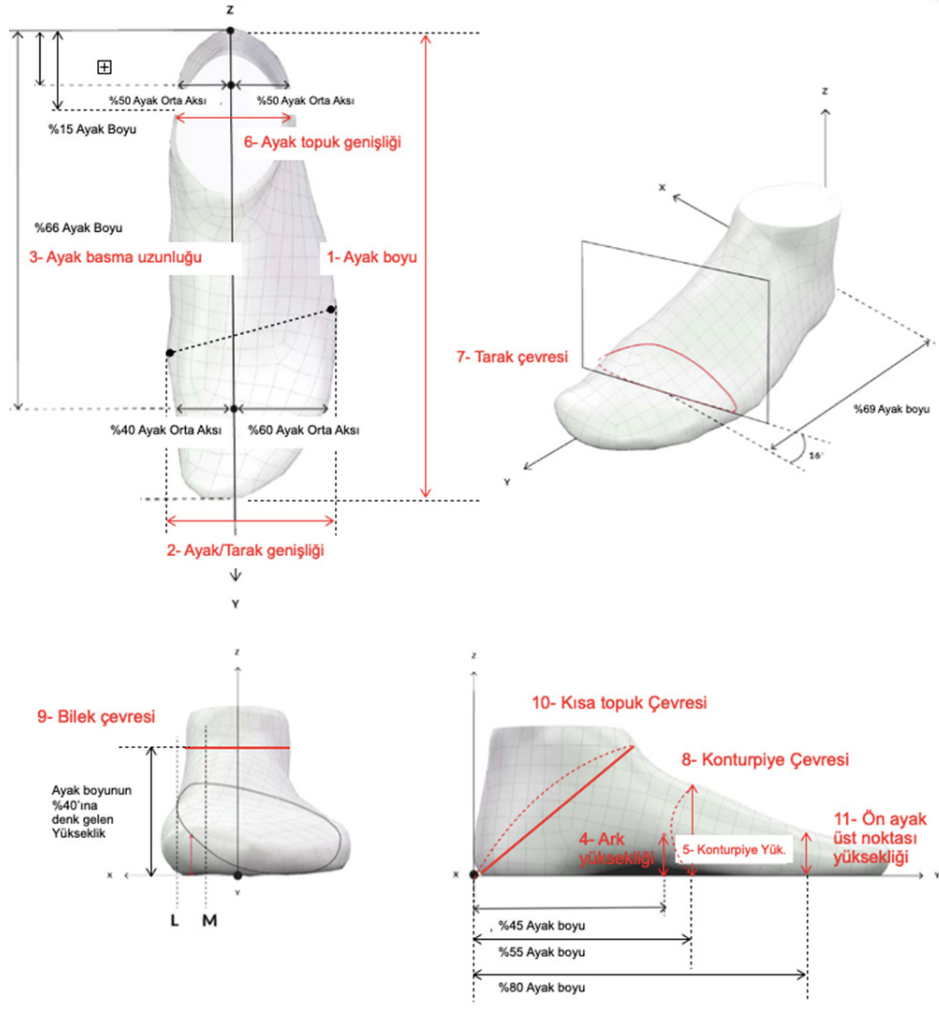
Tabloda görüldüğü üzere, %95 güven aralığında doğruluk (%) a=5 için örneklem büyüklüğü 211 adettir. Çalışma kapsamında; doğruluk (%) a=5 olacak şekilde 240 adet 42 numara erkek ayak ölçüsü toplanmıştır. Araştırmanın ilerleyen safhalarında yapılacak ölçümler için değişik doğruluk yüzdelere göre 3B tarayıcı kullanılarak toplanacak gerekli örneklem sayıları tespit edilmiştir. Örneğin, %95 güven aralığında yüzde 1 (a=1) doğrulukta, tüm Türkiye'deki 42 numara erkek ayakları hakkında çıkarsama yapabilmek için toplanması gereken ölçüm sayısı 5276'dır. Yapılan analizlerin toplum genelindeki doğruluk çıkarsamalarını yapabilmek için büyük örneklem gruplarına ihtiyaç vardır.



Resim 2. Ayak ölçüm seçenekleri (Volumental, 2017)

Kullanılan ölçüm cihazı ve veri tanımları

Bu çalışmada Volumental marka 3B tarayıcısı kullanılmıştır. 3B tarayıcılarla yapılan ölçümlerin doğruluğu, ölçümün kontrollü ve uygun şekilde yapılmasını gerektirmektedir. Veriler, mekân ışık değerine, ölçüm yapılan kişinin cihaza ayak yerleştirmesine, vücudun duruş pozisyonuna, ayaklarına eşit yük vermesine, ayağın çıplak ya da çoraplı olması, vb. gibi birçok etkenden etkilenebilmektedir (Witana vd., 2006; Lee vd., 2014; Lee ve Wang, 2015; Wu vd., 2018). Çalışmanın güvenilirliği ve geçerliliğini sağlamak için bir deney yönergesi hazırlanmış ve tüm katılımcılar için ölçüm sürecinin aynı şekilde yapılmasına özen gösterilmiştir. Cihaz, ayağı çıplak veya çoraplı olarak



Resim 3. Volumental tarayıcı X-Y-Z eksenlerine göre ayak ölçü tanımları.

ölçülebilir (Resim 2). Çalışmada çorap kalınlıklarının yaratabileceği ölçüm hatalarını azaltmak için çıplak ayakla, 2 ayak birden ölçülmüştür. Katılımcı cihaz üzerine çıktuktan sonra ölçüm yaklaşık 6 sn sürmektedir. Ölçüm esnasında ayağın doğru oryantasyonda olması ölçümü etkileyen bir kriterdir (Jurca vd., 2010). Katılımcının ölçüm sırasındaki ayak pozisyonu, makine üzerindeki X-Y eksenleri ile uyumlu olacak şekilde ayarlanmıştır.

Cihazın donanım kısmınının 4 adet kameradan oluşmaktadır. Bu 4 kameradan alınan görüntüler 3 boyutlu olarak modellenmektedir. Bu modellerin ölçülüp bulut sistemi üzerinden bir uygulama arayüzü ile 11 boyutta verilir (Jurca, 2019). Ölçümler sistem üzerinden çalıştırılan görüntü işleme algoritmalarıyla yapılmaktadır. Ölçüm yapılan tarayıcının görüntü işleme algoritması ve ölçüm yapma tekniklerine göre ayak ölçü tanımları incelenerek aşağıdaki 11 adet ölçü birimi kısaltmaları ile kullanılmak üzere belirlenmiş ve tanımları Resim 3'te gösterilmiştir:

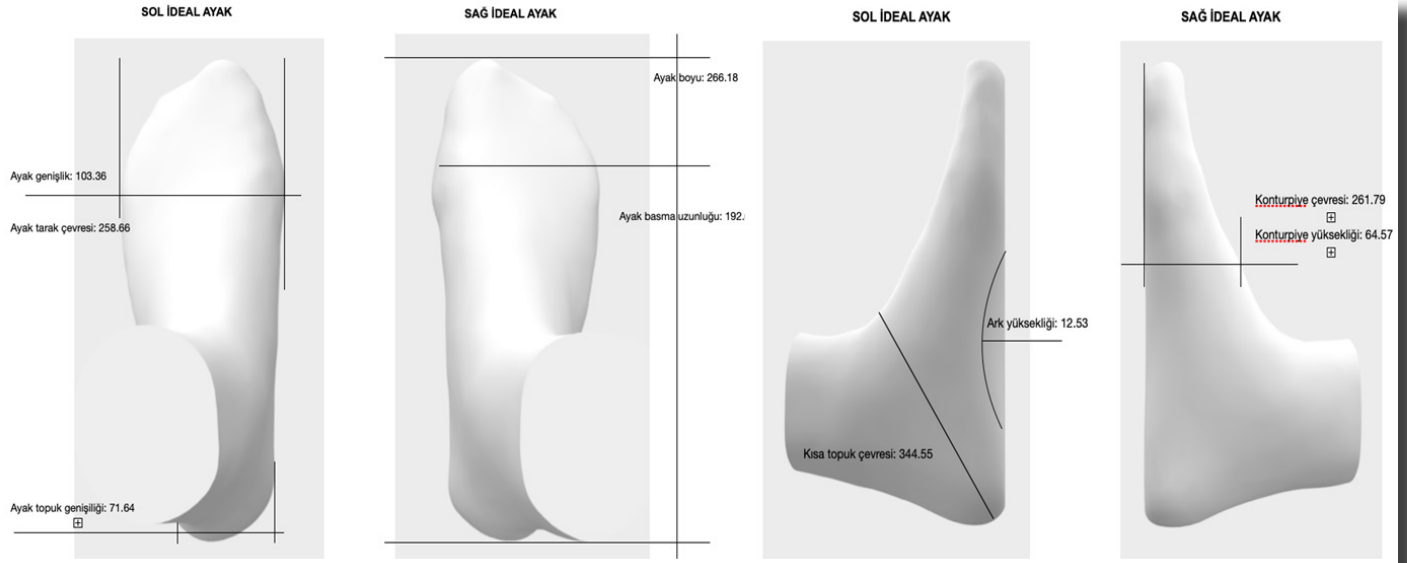
1. Ayak boyu (boy)_le
2. Ayak/Tarak genişliği (gen)_wi
3. Ayak basma uzunluğu (buz)_hb
4. Ark yüksekliği (ayü)_ah

5. Ayak konturpiye yüksekliği (kyü)_ih
6. Ayak topuk (kadino) genişliği (tge)_hw
7. Ayak tarak çevresi (tçe)_bg
8. Ayak konturpiye çevresi (kçe)_ig
9. Ayak bilek çevresi (bçe)_aw
10. Ayak kısa topuk çevresi (oçe)_hg
11. Ön ayak üst noktası yüksekliği (üyü)_th

Bu ölçülerin literatür ile uyumu kontrol edilmiş, Türkçe karşılıkları ve tanımları çalışılmıştır. Bu tanımların çalışmanın başında ortaya konması veri analizinin güvenilirliği, geçerliliği ve yöntemin tekrarlanarak diğer çalışmalarla karşılaştırılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Veri analizi

Çalışma kapsamında, hesaplanan gerekli ölçüm sayısını karşılayan, 42 erkek ayağına ait 240 adet ölçüm yapılmıştır. Eldeki veri setinden doğru çıkarımlar yapmak için ölçüm verisi üzerinde aykırı değer tespiti ve normallik testleri uygulanmıştır. Bu bölümde aykırı değer tespiti, normallik testleri, betimsel istatistikler ve çıkarımsal istatistikler gösterilmektedir.



Resim 4. İdeal 42 numara erkek ayak ölçüleri

Tablo 3. Betimsel istatistikler (42E, N=187) ve 42 numara erkek ayak ölçü üst ve alt sınır değerleri

Ölçüm	Aralık	Minimum	Maksimum	Ort.	SS	Varyans	Alt sınır değeri	Orta değer	Üst sınır değeri
r, le (boy)	41,82	248,50	290,33	267,10	7,52	56,60	262,10	266,18	270,27
l, le (boy)	43,58	248,51	292,09	267,70	7,47	55,80			
r, wi (gen)	23,24	92,79	116,03	104,17	4,22	17,80	100,41	103,36	106,31
l, wi (gen)	22,05	93,35	115,40	103,60	3,92	15,39			
r, hb (buz)	47,20	168,90	216,10	193,67	8,65	74,86	180,91	192,61	204,31
l, hb (buz)	41,85	171,43	213,28	193,54	8,78	77,04			
r, ah (ayü)	18,12	5,02	23,14	12,87	2,96	8,75	9,33	12,53	15,73
l, ah (ayü)	15,25	5,20	20,46	12,55	2,98	8,89			
r, ih (kyü)	26,37	54,45	80,83	65,17	4,15	17,23	61,67	64,57	67,46
l, ih (kyü)	23,45	53,99	77,44	64,74	4,05	16,41			
r, hw (tge)	18,71	61,58	80,29	71,02	3,56	12,66	67,07	71,64	76,21
l, hw (tge)	21,86	60,95	82,81	72,87	3,79	14,34			
r, bg (tçe)	52,72	235,25	287,97	260,81	10,19	103,74	252,66	258,66	264,66
l, bg (tçe)	45,92	236,24	282,16	259,24	9,50	90,17			
r, ig (kçe)	52,70	238,40	291,10	262,55	10,11	102,23	256,63	261,79	266,95
l, ig (kçe)	52,87	234,83	287,70	263,63	10,24	104,77			
r, hg (oçe)	60,18	315,87	376,05	344,83	11,10	123,27	337,17	344,55	351,92
l, hg (oçe)	60,64	316,16	376,80	347,58	11,29	127,40			

Not: Değerler milimetre cinsindedir. 42 numara ayağı olan 187 erkek kullanılmıştır. Ort.= Ortalama, SS=Standart sapma

Tablo 4. 42 numara erkek sağ ve sol ayak fark değerleri

Ortalama (mm)									
	boy	gen	buz	ayü	kyü	tge	tçe	kçe	oçe
Sağ	267,1	104,17	193,67	12,87	65,17	71,02	260,81	262,55	344,83
Sol	267,7	103,60	193,54	12,55	64,74	72,87	259,24	263,63	347,58
Fark	0,6	0,57	0,13	0,32	0,43	1,85	1,57	1,08	2,75
Standart sapma (mm)									
	boy	gen	buz	ayü	kyü	tge	tçe	kçe	oçe
Sağ	7,52	4,22	8,65	2,96	4,15	3,56	10,19	10,11	11,10
Sol	7,47	3,92	8,78	2,98	4,05	3,79	9,50	10,24	11,29

Not: boy=ayak boyu, gen=ayak/tarak genişliği, buz=basma uzunluğu, ayü=ayak yüksekliği, kyü=konturpiye yüksekliği, tge=topuk genişliği, tçe=tarak çevresi, kçe=konturpiye çevresi, oçe=kısa topuk çevresi

Aykırı değer tespiti ve normallik testleri. Çalışmadaki ayak ölçüm değişkenleri 240x22 boyutlu olup, kutu grafikleri kullanılarak yapılan değişken bazlı incelemede 41 gözlem olası aykırı değer olarak belirlenmiştir. Kutu grafiğinde belirlenen 41 gözlemin veri setinden çıkarılması sonrası uygulanan çoklu normallik testi (*Royston's test*) sonucunda veri setinin normal dağılmadığı görülmüştür. Kutu grafikleri ile yapılan inceleme, değişkenleri bireysel olarak değerlendirdiğinden çok değişkenli durumu da incelemek gerekmektedir. Bu noktada Mahalanobis uzaklığı ve Robust Mahalanobis uzaklığı uygulanmış ve bu yöntemin sonuçları kullanılmıştır. Robust yöntem ile belirlenen 42 olası aykırı gözlem veri setinden çıkarılarak normallik sınaması yapıldığında çoklu normallik açısından sonuç değişmemiştir. Değişkenlerin ayrı ayrı normal dağılım durumları incelendiğinde ayak bilek çevresi ve ön ayak üst noktası yüksekliği değişkenlerinin hem sağ hem sol ayak için normal dağılmadığı gözlenmiştir. Robust yöntem ile belirlenen olası aykırı gözlemlere ek olarak ayak bilek çevresi (bçe) ve ön ayak üst noktası yüksekliği (üyü) değişkenleri de veri setinden çıkartılarak normallik sınaması yapılmıştır. Sonuç çıktılarında hem değişken bazında hem de çoklu normallik sağlanmıştır. Mevcut 240x22 boyutlu veriden aykırı değer ve normallik testlerini geçemeyen boyutların çıkarılması sonucunda analizlerin yapılacağı güvenilir veri 197x18 boyuta indirgenmiştir.

Betimsel istatistikler. Çalışmada elde edilen 42 erkek ayağına ait veriler, örneklem büyüklüğü içerisinde betimsel istatistiksel analizleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Çıkarımsal istatistikler. Çıkarımsal istatistikler kapsamında, İstatistiksel Süreç Kontrolü (*Statistical Process Control - SPC*) yöntemi kullanılarak ayak ölçü orta üst ve alt sınır değer tespiti, Hotelling T² yöntemi kullanılarak sağ sol ayak karşılaştırma analizi, Temel Bileşen Analizi (*Principal Component Analysis*) uygulanarak ayak ölçü değişkenlerinin sınıflandırılması ve Türkiye'de yaşayan insanların ayak ölçülerinin diğer toplumsal numaralandırma sistemleri ile karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır.

Ayak ölçü orta üst ve alt sınır değer tespiti

İstatistiksel Süreç Kontrolü (*Statistical Process Control - SPC*) yöntemi kullanılarak, 42 erkek ayağı ölçüleri ile ilgili orta değer, alt ve üst sınır değerleri Tablo 3'te gösterilmektedir. İstatistikte, aritmetik ortalama, mod ve orta değer (medyan) gibi çeşitli merkezi eğilim bulma ölçüleri mevcuttur.

Bu çalışmada Tablo 3'te verilen, orta değer sütunu olarak verilmiş, aykırı değerlerden en az etkilenen orta değer (medyan) merkezi eğilim bulma ölçütü sonuçları ideal değerler olarak belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak modellenen üç boyutlu ayak görseli (Şekil 4), ideal 42 numara Türkiye'de yaşayan erkeklerin ayağını temsil etmektedir. Uluslararası standartlarda 42 numaraya karşılık gelen yetişkin erkek ayağının orta değerleri, ayak uzunluğu boyutunda 266,18 mm, tarak genişliği boyutunda 103,36 mm, ayak basma uzunluğu boyutunda 192,61 mm, ark yüksekliği boyutunda 12,53 mm, konturpiye yüksekliği boyutunda 64,57 mm, topuk genişliği boyutunda 71,64 mm, tarak çevresi boyutunda 258,66 mm, konturpiye çevresi boyutunda 261,79 mm, kısa topuk çevresi boyutunda 344,55 mm'dir.

Sağ ve sol ayak karşılaştırma analizi

Ölçüm verileriyle sağ ve sol ayak arasında fark olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla iki gruba ilişkin ortalama vektörlerinin karşılaştırılması Hotelling T² yöntemi bağımlı gruplar sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulamadan önce parametrik testlerin sağlaması gereken çok değişkenli normallik ve varyans-kovaryans matrislerinin eşitliği varsayımları test edilmiştir. %95 güven düzeyinde, grupların ortalama vektörlerinin eşit olduğunu gösterir yeterli kanıt olmaması sağ ve sol ayak arasında fark olduğunu göstermektedir. Bulgular bu farkın; ayak topuk genişliği (tge), ayak tarak çevresi (tçe), ayak konturpiye çevresi (kçe) ve ayak kısa topuk çevresi (oçe) değişkenlerinden kaynaklandığını göstermektedir (Tablo 4).

Çalışmadaki ölçü değişkenlerinin sınıflandırılması

Aykırı değer ve çoklu normallik değerlendirilmesi yapılmış 197 gözlem 18 değişkenden oluşan 42 numara erkek veri setine Temel Bileşen Analizi (*Principal Component Analysis*) uygulanarak, birbiri ile ilişkili olan çok sayıda değişkenin (ayak ölçüsü) birbiriyle ilişkisiz ve daha az sayıda değişkene (bileşen) indirgenmesi hedeflenmiştir. Temel Bileşen Analizinin ana faydası eldeki sahip olunan değişken sayısını azaltmasıdır. Temel Bileşen Analizi 3B tarayıcıdan elde edilen değişkenleri yeni, korelasyonu olmayan bileşenlere (değişken kümesi) dönüştürmektedir. Her bileşenin varyansı bu bileşendeki bilgi/temsil miktarını göstermektedir.

Üç bileşen, modeldeki toplam varyansın %78,04'ünü açıklamaktadır (Resim 5). Sağ ve sol ayak ölçüm değişkenleri aynı bileşende toplanmış olmak üzere 1. bileşen genişlik ve çevre ölçüm değişkenlerini (genişlik, topuk genişliği, tarak çevresi, konturpiye çevresi ve kısa topuk çevresi), 2. bileşen yükseklik ölçüm değişkenlerini içermektedir (ark yüksekliği ve konturpiye yüksekliği), 3. bileşen ise uzunluk ölçümlerini (uzunluk ve basma uzunluğu) içermektedir.

Küme sayısı 3 iken mevcut olan değişken dağılımı ile küme sayısının 4 olduğu durumdaki değişken dağılımı arasındaki tek fark topuk genişliği (tge) ve kısa topuk çevresi (oçe) değişkenlerinin buldukları kümeden ayrılıp yeni bir küme oluşturmasıdır. Bu durumun uygulamadaki anlamı, aynı kümede toplanan ölçüm değişkenlerinin kendi içinde ilişkili olduğu diğer kümelerdeki değişkenlerden farklı olduğudur.

Türkiye insanı ayak ölçülerinin diğer toplumsal ayak numaralandırma sistemleri ile karşılaştırılması

Karşılaştırmalı analizler, tespit edilen ideal Türk 42 numara olarak belirlenen ayak ölçülerinin farklı toplumsal standartlardaki ölçülerle ve cihaz veri tabanındaki ölçülerle olmak üzere iki şekilde yapılmıştır.

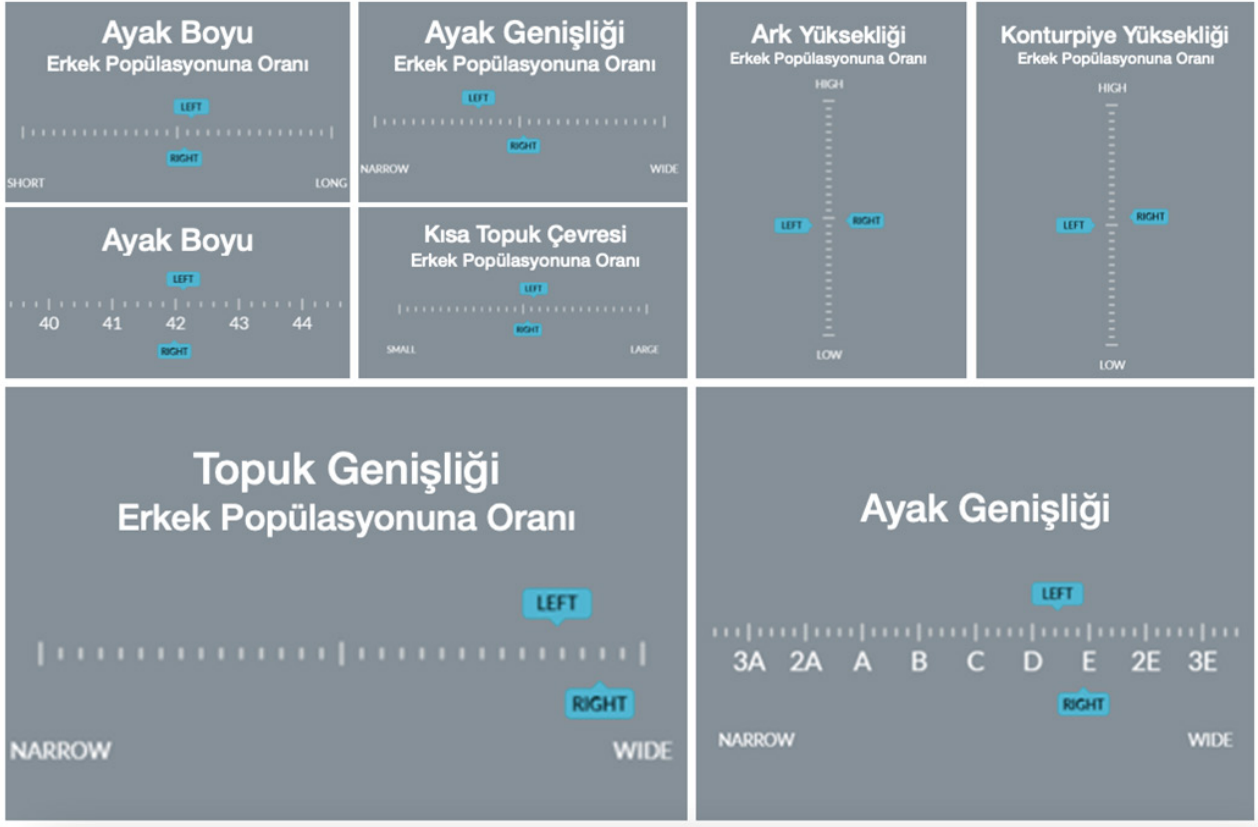
Mevcut numaralandırma sistemleri ile karşılaştırma



Resim 5. Temel ayak bileşenleri

için Tablo 5'te, ISO 19407/2019 standartları Ayakkabı Numaraları Dönüşüm tablosuna Türk ideal Ayak uzunluğu eklenmiş olarak görülmektedir. Deney verisinin Türk standartları tarafından kabul edilen Paris Point ve Mondopoint sistemleri üzerinden karşılaştırılması, Türkiye'de yaşayan ayak numarası 42 olarak kabul edilen insanların ayak farklılıklarını ortaya koymak adına önemlidir. Fakat Mondopoint ölçümü ayak üzerinden verilirken Paris Point sisteminin ayakkabı kalıbı üzerinden kurgulanmış olması karşılaştırmayı zorlaştırmaktadır. Paris Point sistemi kalıp uzunluğu ve kalıp genişlikleri ile ölçüler vermektedir, bunların ayak ölçüsüne dönüşümleri değişiklikler göstermektedir. Mondopoint sisteminde ise sadece uzunluk ve 3 kademeli artan genişlik ölçüleri vardır. İki sistemde de 3B tarayıcı ile ölçüm yapılan 11 ölçü boyutu verisi yoktur. Deney verisi ile saptanan "ayak uzunluğu (boy)" Mondopoint standartlarından 0,1 mm daha uzundur. Paris Point sistemine göre ise 42 numara erkek ayağı 270 mm'ye denk gelmektedir, 3,7 mm kısadır.

İkinci karşılaştırma Volumental ölçüm cihazının veri tabanında bulunan dünya çapındaki ölçü setlerinin



Resim 6. 42 numara Türk erkek 3B tarayıcı veri tabanı karşılaştırma

mevcut çalışmanın bulgularıyla karşılaştırılması olarak sunulmaktadır. Mevcut literatür ve antropometrik veri tabanları 3B tarayıcının sunmuş olduğu 11 ölçü boyutu veri setini sağlayamadığından Türkiye’de yaşayan insanların ayak ölçüleri, istatistiksel olarak ideal ayak tespit edilen 42 numara erkek ayak ölçüleri ile Volumental 3B tarayıcının arayüzündeki bulut sistemde kayıtlı olan dünya ayak verisi kullanılarak (Jurca vd., 2019) değerlendirilmiştir. Bulut sistemindeki, Volumental ölçüm cihazının veri tabanındaki veriye göre ayak genişliği ve topuk genişliği erkek popülasyonun geneline göre daha geniş olduğu gözlemlenmektedir (Jurca vd., 2019). Diğer 4 boyutta (ayak boyu, ark yüksekliği, konturpiye yüksekliği, konturpiye çevresi), farklılıkların daha az olduğu şeklinde değerlendirilebilir (Resim 6) (Jurca vd., 2019).

Sonuç

Ayakkabının ayak ile uyumu, ayak ölçüleri ile ayakkabı üretiminde kullanılan kalıpların ölçüleri arasındaki doğru ilişkiye bağlıdır. Ayakkabı kalıpları ve dolayısıyla ayakkabı üretiminde kullanılan, farklı toplumlara özgü numaralandırma ve ölçüm sistemleri bulunmaktadır. Bu ölçüm sistemlerinin dünya üzerindeki insan çeşitliliğine oranla çok az olması ve ayak gibi belirli bir biçimi olmayan bir yapının tek boyut üzerinden (ayak uzunluğu) numaralandırılması ayak sağlığı problemlerini beraberinde getirmektedir. Ayak giysileri, bireylerin

günlük yaşamını ve yaptığı işle ilgili performansını etkilediğinden özellikle bedensel işlerde verimlilik konusuyla bağlantılı bir nesnedir. Toplumun, coğrafi ve genetik faktörler nedeniyle biçimlenmiş ayak yapısına uygun kalıplarda ayakkabı üretilmesi sağlık ve ekonomi açısından gereklidir. Ayak sağlığını koruyan ayakkabıların üretimi ayak ölçümü üzerine yapılan çalışmaların temel çıkış noktasını oluşturmaktadır.

Her toplumun standart olarak belirlediği ölçüler o topluma özgüdür ve başka toplumlarda kullanıldığında fizyolojik olarak insan bedeninde ve yaşam kalitesinde sorunlara yol açmaktadır. Ülkemizde Avrupa’da yaygın olarak kullanılmakta olan Paris Point sistemi ve uluslararası standart olarak kabul edilmiş Mondopoint numaralandırma sistemleri kullanılmaktadır. Bu standartların Türkiye insanı ile uyumu üzerinde sınırlı araştırmalarda farklılıklar olduğu görülmektedir. Ayrıca bu ve benzeri antropometrik veri toplama çalışmalarının belirli periyotlarla tekrarlanması gerekmektedir. 1988 yılında Türk Ayak Standardı olarak kabul edilmiş Fransız insanı özelindeki bir numaralandırma sisteminin günümüzde geçerliliği ayakkabı endüstrisinde bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Mevcut çalışmada da görüldüğü üzere Türk insanı ayak antropometrik verilerin bu numaralandırma sistemlerinde karşılık gelen boyutlarında, ayak uzunluğu ve ayak genişliği, farklılıklar vardır. 42 numara Türk erkek ayağı uzunluk olarak orta değerlere yakın, genişlik olarak ise kalıp ve ayak

genişlik değerlerinde geniş skalasının yüksek değerlerine yakındır. Konturpiye yüksekliği ve çevresi de geniş kalıp ölçülerine yaklaşmaktadır. Bu analizdeki en çarpıcı fark Volumental uluslararası veri tabanında yapılan analizde topuk genişliği boyutunun dünya popülasyonunun en yüksek değerine yaklaşmasıdır.

Bu bulguların ötesinde, güncel bilimsel çalışmaların büyük bölümü daha kapsayıcı numaralandırma ve serileme yöntemleri geliştirilmesine odaklanmaktadır. Mevcut numaralandırma sistemleri ve standartlar, geleneksel ölçüm teknikleri kullanılarak, ayağı 2 boyuttaki ölçüler (uzunluk ve genişlik) üzerinden sınıflamaktadır. Fakat 3B tarayıcı teknolojiler ile çok boyutlu ölçümler yapmak ve popülasyonun daha büyük bir bölümünü kapsayan ölçüm boyutları geliştirilmeye çalışılmaktadır (Goonetilleke ve Luximon, 1999; Cheng ve Perng, 2000; Mochimaru, 2000). Bunun yanında, ayakkabı numaraları mevcut standartlara göre belirli bir büyüme oranı ile serilenmektedir. Popülasyonun ayak ölçüleri dağılımına göre yapılan istatistiksel analizler doğrultusunda serileme aralık değerleri belirlenmektedir. Bu bağlamda da toplumun ayak biçim ve ölçü dağılımı doğru serileme ile daha doğru ayakkabı numaralandırma sistemleri ile eşlenebilir.

3B tarayıcıların hızlı ve pratik ölçüm kabiliyetlerinin yanı sıra ayak uzunluğu ve genişliğine ek olarak çok fazla boyutta ölçümü aynı anda verebilmektedir. Farklı ölçümlerin analiz edilmesi ve veri setlerinin oluşması ayağın kompleks yapısını anlamaya ve farklı ayak ölçü sistemlerinin önerilmesine zemin yaratmaktadır. Hızlı ölçüm kabiliyeti, ölçümleri belirli zaman dilimlerinde tekrarlanarak toplum genelindeki değişimin izlenmesi adına da fayda sağlayabilir. Türk Ayak Numaralandırma Sistemi geliştirilmesi üzerine 3B görüntüleme teknikleri kullanılarak yapılmakta olan bu çalışma ilk olmasının yansısı Türkiye insanı ayak antropometrik veri tabanının oluşması adına da önemlidir.

Teşekkür

Bu çalışma İTÜNOVA TEKNOLOJİ A.Ş. ARI TEKNOKENT AR-GE Destek Programı kapsamında LC WAIKIKI Mağazacılık Hizm. Tic. A.Ş. iş birliği ile 58605 BSTB kodlu proje kapsamında yürütülmüştür. Araştırma kapsamında ayak ham ölçüm verileri ticarî içerik gereği erişime açık değildir. Analiz edilmiş betimsel veri sorumlu yazardan talep edilebilir.

Kaynakça

Adıgüzel, E., Zencir, M., Yıldırım, M., ve Gümüşburun, E. (2003) Pamukkale üniversitesine başvuran öğrencilerde ayağın morfometrik özellikleri. *Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 8, 15-19.

Akçakale, N. (2017). 18-23 yaş genç erkeklerin ayak ölçülerinin ayakkabı tasarımında kullanılan ölçüler ile karşılaştırılması. *Technological Applied Sciences*, 12(1), 1-8. <http://doi.org/10.12739/NWSA.2017.12.1.2A0106>

Aktaş, N. (1991). *Yetişkin türk kadın ve erkeklerinde ayak yapısının plantogramla incelenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Trakya Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Baba, K. (1975). Foot measurement for shoe construction with reference to the relationship between foot length, foot breadth and ball girth. *Journal of Human Ergology*, 3(2), 149-156. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhe1972/3/2/3_2_149/_pdf/

Baek, S.Y., ve Lee, K. (2016). Statistical foot-shape analysis for mass-customization of footwear. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology*, 8(1-2) 80-98. <https://doi.org/10.1504/IJCAET.2016.073265>

Cavanagh, P. R. (1980). *The Running Shoe Book*. Anderson World.

Cavanagh, P. R., Morag, E., Boulton, A. J. M., Young, M. J., Deffner, K. T., ve Pammer, S. E. (1997). The relationship of statistic foot structure to dynamic foot function. *Journal of Biomechanics*, 30(3), 243-250. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(96\)00136-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(96)00136-4)

Cheng, J., Leung, S., Leung, A., Guo, X., Sher, A., ve Mak, A. (1997). Change of foot size with weightbearing: a study of 2829 children 3 to 18 years of age. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 342, 123-131. <https://doi.org/10.1097/00003086-199709000-00019>

Cheng, F. T., ve Perng, D. B. (2000). A systematic approach for developing a foot size information system for shoe last design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25(2), 171-185. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(98\)00098-5](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(98)00098-5)

Cheskin, M. P. (1987). *The complete handbook of athletic footwear*. Fairchild Publications.

Doğancı, Ö. I. (2019). *Üniversite öğrencilerinde ayak ölçüleri ve plantogram ile ayak yapısının araştırılması* [Yayımlanmamış uzmanlık tezi]. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, İstanbul. <https://hdl.handle.net/20.500.12831/3845>

Domjanic, J., Fieder, M., Seidler, H., ve Mitteroecker, P. (2013). Geometric morphometric footprint analysis of young women. *Journal of Foot and Ankle Research*, 6, 27. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-6-27>

Goonetilleke, R. S., ve Luximon, A. (1999). Foot flare and foot axis. *Human Factors*, 41(4) 596-607. <https://doi.org/10.1518%2F001872099779656761>

Güleç, E., Akın, G., Sağır, M., Koca Özer, B., Gültekin, T., ve Bektaş, Y. (2009). Anadolu insanı antropometrik boyutları: 2005 yılı Türkiye antropometri anketi. *DTCF Dergisi*, 49(2), 187-201. https://doi.org/10.1501/Dtcfder_0000001211

Herbaut, A., Foissac, M., Jurca, A., ve Gueguen, N. (2016). Determination of optimal shoe dimensions for occasional and regular tennis players. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 230(3), 149-157. <https://doi.org/10.1177/1754337115598678>

Hawes, M. R., Sovak, D., Miyashita, M., Kang, S. J., Yoshihuku, Y., ve Tanaka, S. (2007). Ethnic differences in forefoot shape and the determination of shoe comfort. *Ergonomics*, 37(1), 187-196. <https://doi.org/10.1080/00140139408963637>

Hong, Y., Wang, L., Xu, D. Q., ve Li, J. X. (2011). Gender differences in foot shape: a study of chinese young adults. *Sports Biomechanics*, 10(2), 85-97. <https://doi.org/10.1080/14763141.2011.569567>

International Organization for Standardization (ISO) (2015). *Footwear – Sizing – Conversion of sizing systems* (ISO Standard No. 19407:2015). <https://www.iso.org/standard/62349.html>

- International Organization for Standardization (ISO) (2012). *General requirements for establishing anthropometric databases* (ISO Standard No. 15535:2012). <https://www.iso.org/standard/57179.html>
- Jurca, A., Kolsek, T., ve Vidic, T. (2010). Dorothy mass foot measurement campaign. N. D'Apuzzo (Ed.) içinde, *Proceedings of 1st International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland* (s. 338-344). Hometrica Consulting. <https://doi.org/10.15221/10.338>
- Jurca, A., Žabkar, J., ve Džeroski, S. (2019). Analysis of 1.2 million foot scans from North America, Europe and Asia. *Nature Scientific Reports*, 9, 19155. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55432-z>
- Karavana, H. A. (2008). *Türkiye'de 12-17 yaş grubu genç erkeklerde ayak ölçülerinin belirlenmesi ve standardizasyonu üzerine araştırmalar* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kağmıçoğlu, C. H., ve Altay, E. (2013). Türkiye'de ayakkabı tasarımında kullanılan ölçüler ile Türk insanının antropometrik ayak ölçülerinin karşılaştırılması: 0-3 yaş bireyler üzerinden bir analiz. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 25(1), 77-85.
- Kastan, C. (2009). Ayakkabı kalıbı ölçü sistemleri: Fransız ölçü sistemi. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, (13), 3-16. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/abmyoder/issue/46435/583396>
- Kouchi, M. (1998). Foot dimensions and foot shape: Differences due to growth, generation and ethnic origin. *Anthropological Science*, 106(Supplement), 161-188. https://doi.org/10.1537/ase.106.Supplement_161
- Krauss, I., Grau, S., Mauch, M., Maiwald, C., ve Horstmann, T. (2008). Sex-related differences in foot shape. *Ergonomics*, 51(11), 1693-1709. <https://doi.org/10.1080/00140130802376026>
- Krauss, I., Valiant, G., Horstmann, T., ve Grau, S. (2010). Comparison of female foot morphology and last design in athletic footwear: Are men's lasts appropriate for women? *Research in Sports Medicine*, 18(2), 140-156. <https://doi.org/10.1080/15438621003627216>
- Krauss, I., Langbein, C., Horstmann, T., ve Grau, S. (2011). Sex-related differences in foot shape of adult caucasians: a follow-up study focusing on long and short feet. *Ergonomics*, 54(3), 294-300. <https://doi.org/10.1080/00140139.2010.547605>
- Lee, Y-C., Lin, G., ve Wang, M-J. (2014). Comparing 3D foot scanning with conventional measurement methods. *Journal of Foot and Ankle Research*, 7, 44. <https://doi.org/10.1186/s13047-014-0044-7>
- Lee, Y-C., ve Wang, M-J. (2015). Taiwanese adult foot shape classification using 3D scanning data. *Ergonomics*, 58(3), 513-523. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.974683>
- Luo, G. Houston, V. L., Mussman, M., Garbarini, M., Beattie, A. C., ve Thongpop, C. (2009). Comparison of male and female foot shape. *Journal of American Podiatric Medical Association*, 99(5), 383-390. <https://doi.org/10.7547/0990383>
- Luximon, A. (2013). *Handbook of footwear design and manufacture*. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857098795>
- Luximon, A., Zhang, Y. F., Luximon, Y. ve Ma, X. (2012). Sizing and grading for wearable products. *Computer-Aided Design*, 44(1), 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2011.07.004>
- Luximon, A., Goonetilleke, R. S. , ve Tsui, K. L. (2003). Foot landmarking for footwear customization. *Ergonomics*, 46(4), 364-383. <https://doi.org/10.1080/0014013021000045225>
- Luximon, A. ve Goonetilleke, R. S. (2004). Foot shape modeling. *Human Factors*, 46(2), 304-315. <https://doi.org/10.1518/hfes.46.2.304.37346>
- Matthews, J. G. (1998). The developmental anatomy of the foot. *The Foot*, 8(1), 17-25. [https://doi.org/10.1016/S0958-2592\(98\)90015-3](https://doi.org/10.1016/S0958-2592(98)90015-3)
- Mickle, K. J., Munro, B. J., Lord, S. R., Menz, H. B., ve Steele, J. R. (2010). Foot shape of older people: Implications for shoe design. *Footwear Science*, 2(3), 131-139. <https://doi.org/10.1080/19424280.2010.487053>
- Mills, K., Blanch. P. , ve Vicenzino B. (2010). Identifying clinically meaningful tools for measuring comfort perception of footwear. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(10), 1966-1971. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181dbacc8>
- Mochimaru, M., Kouchi, M., ve Dohi, M. (2000). Analysis of 3-D human foot forms using the Free Form Deformation method and its application in grading shoe lasts. *Ergonomics*, 43(9), 1301-1313. <https://doi.org/10.1080/001401300421752>
- Nácher, B., Alemany, S., González, J. C., Alcántara, E., García-Hernández, J., Heras, S., ve Juan, A. (2006). A footwear fit classification model based on anthropometric data. *SAE Technical Paper 2006-01-2356*. <https://doi.org/10.4271/2006-01-2356>
- Naskali, E. G. (2003). *Ayakkabı kitabı*. Çalış Ofset.
- Ocak, B., ve Gülümser, G. (2009). 7-14 yaş grubu genç erkek çocukların ayak ölçülerinin standardizasyonu. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 19(2), 157-162. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tektstilvekonfeksiyon/issue/23634/251723>
- Pheasant, S. (2003). *Bodyspace: Anthropometry, ergonomics and the design of work*. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781482272420>
- Rodrigo, A. S., Goonetilleke, R. S., ve Witana, C. P. (2012). Model based foot shape classification using 2D foot outlines. *Computer-Aided Design*, 44(1), 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2011.01.005>
- Rossi, W. A., ve Tennant, R. (1984). *Professional shoe fitting*. National Shoe Retailers Association for the Professional Shoe Fitters Society.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE) (1998). Ayakkabı numaralandırma sistemi (TS 5553). <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073088065086072100082050088113080070>
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE) (2001). Ayakkabı ölçüleri-ölçülendirme ve işaretleme- Mondpoint sistemi (TS ISO 9407). <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073097055109098121071085110067052066>
- Tsung, B. Y. S., Zhang, M., Fan, Y. B., ve Boone, D. A. (2003). Quantitative comparison of plantar foot shapes under three weighting-bearing conditions. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 40(6), 517-526. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2003.11.0517>
- Volumental AB, Stockholm, Sweden (2017). *Accuracy of the Volumental Foot Scanner Report*. <https://volumental.com/volumental-retail-scanner>
- Witana, C. P., Xiong, S., Zhao, J., ve Goonetilleke, R. S. (2006). Foot measurements from 3D scans: A comparison and

- evaluation of different methods. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(9), 789-807. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2006.06.004>
- Witana, C. P., Feng, J., ve Goonetilleke, R. S. (2004). Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit. *Ergonomics*, 47(12), 1301-1317. <https://doi.org/10.1080/0140130410001712645>
- Wunderlich, R. E., ve Cavanagh, P. R. (2001). Gender differences in adult foot shape: implications for shoe design. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(4), 605-611. <https://doi.org/10.1097/00005768-200104000-00015>
- Wu, G., Li, D., Hu, P., Zhong, Y., ve Pan, N. (2018). Foot shape prediction using elliptical Fourier analysis. *Textile Research Journal*, 88(9), 1026-1037. <https://doi.org/10.1177/002071791770693983>
- Xiong, S., Goonetilleke, R. S., Witana, C. P., ve Au, E. Y. L. (2008). Modelling foot height and foot shape-related dimensions. *Ergonomics*, 51(8), 1272-1289. <https://doi.org/10.1080/00140130801996147>
- Xiong, S., Zhao, J., Jiang, Z., ve Dong, M. (2009). A computer-aided design system for foot-feature based shoe last customization. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46, 11-19. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2087-7>
- Xiong, S., ve Zhao, J. (2013). Foot models and measurements. A. Luximon (Ed.) içinde, *Handbook of Footwear Design and Manufacture* (s. 72-89). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857098795.1.72>
- Yıldırım, M. (1986). Yetişkin Türk kadın ve erkeklerinde ayak (pes) ölçüleri. *Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 3(2), 45-58. <https://dergipark.org.tr/en/pub/bmj/issue/3716/49173>
- Yorulmaz, F., Turut, M., Taşkınalp, O., Aktaş, N., ve Kutoğlu, T. (1995). Yetişkin 1038 Türk insanında bazı ayak ölçüleri ve ayak parmak formülü. *Trakya Üni. Tıp Fakültesi Dergisi*, 12(1-2-3), 61-63. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bmj/issue/3724/49505>
- Zhao, J., Xiong, S., Bu, Y., ve Goonetilleke, R. S. (2008). Computerized girth determination for custom footwear manufacture. *Computers & Industrial Engineering*, 54(3), 359-373. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.07.015>



2022. Telif hakları yazar(lar)a aittir.

Bu makale Creative Commons Atf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) lisansının hüküm ve şartları altında yayımlanan açık erişimli bir makaledir.