TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası
UCTEA Chamber of Textile Engineers
Tekstil ve Mühendis
Journal of Textiles and Engineer

Yıl (Year) : 2019/4
Cilt (Vol) : 26
Sayı (No) : 116

Derleme Makale / Review Article

ÜÇ BOYUTLU TARAMA SİSTEMLERİ

Hakan YÜKSEL[1*]
Meliha OKTAV BULUT[2]
https://orcid.org/0000-0002-0009-5981
[1]Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Isparta, Türkiye
Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği, Isparta, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 16.03.2018
Kabul Tarihi / Accepted: 08.05.2019

***ÖZET*:** Endüstrinin artan ihtiyaçlarını karşılamak üzere, 3 boyutlu ölçme tekniklerine olan ilgi ve sektörlerin bu konudaki yatırımları giderek artmaktadır. Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler sayesinde, insan vücudunu kısa bir sürede, yüksek çözünürlükte tarayabilen ve bilgisayara aktarabilen son derece gelişmiş 3 boyutlu tarayıcılar geliştirilmektedir. 3 boyutlu tarama sistemleriyle birlikte konfeksiyon endüstrisinde giysilerinin ön üretim süreçlerinin kısalması ve giysi kalıplarında oluşabilecek hata olasılığının en aza indirgenmesi sağlanmaktadır. Özellikle son yıllarda sanal giysi simülasyonu şeklinde ifade edilen giysilerin 3 boyutlu mankenler ve modeller üzerinde giydirilmesi ile giysi yapısının model üzerindeki duruşunun gösterilmesi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca 2 boyutlu üretim kalıplarının elde edilmesi 3 boyutlu giysi model yardımıyla yapılabilmektedir. 3 boyutlu vücut tarayıcıların geliştirilmesi, konfeksiyon sektöründe kullanılan yazılımların ve simülasyon sistemlerinin gelişmesine yön vermektedir.

Anahtar Kelimeler: 3 boyutlu tarama, konfeksiyon, sanal giysi simülasyonu, giysi kalıbı

THREE-DIMENSIONAL BODY SCANNING SYSTEMS

ABSTRACT: In order to meet the increasing needs of the industry, the interest in 3 dimensional measurement techniques and the investments of the sectors in this field are increasing. Thanks to rapid developments in computer technology, highly sophisticated 3 dimensional scanners have been developed that can scan the human body in a short time, in high resolution, and transfer it to a computer. With the 3D scanning systems, the garment industry shortens the pre-production processes of garments and minimizes the possibility of errors in garment patterns. Especially in recent years, the clothing has been shown on the model by wearing the clothes which are expressed in the form of virtual clothing symbol on 3 dimensional models and models. In addition, the production of 2 dimensional production patterns can be realized with the help of 3 dimensional clothing model. The development of 3 dimensional body scanners has led to the development of software and simulation systems that use this data in the garment industry.

Keywords: 3 dimensional scanning, garment, virtual try-on system, garment pattern

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: *hakanyuksel@sdu.edu.tr*
DOI: *10.7216/1300759920192611612, www.tekstilvemuhendis.org.tr*

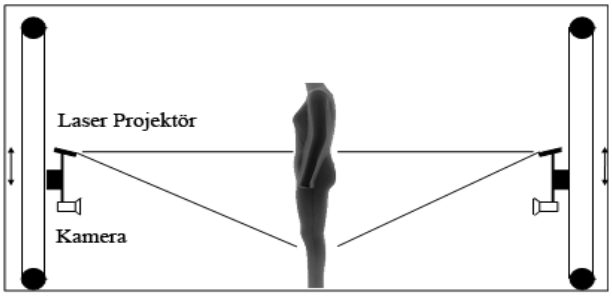
1. GİRİŞ

Günümüzde sektörler, serbest rekabet piyasasında yerini alabilmek ve koruyabilmek için son teknolojileri takip etme, yeni teknolojileri araştırma ve keşfetme yoluna girmiştir. Sadece genel standartlar yakalanarak ve standart hizmetler sunarak rekabet ortamında tutunabilmenin güç olduğu gözlenmektedir [1].

Sektörler, yeni ürün sunma ve geliştirme adımlarındaki süreçleri ve tasarımları esnasında yer alan aşamaların hızlı, esnek ve kullanıcı temelli ölçme işlemleriyle gerçekleşmesine ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla yeni bir ürün geliştirmek isteyen sektörlerin öncelikle modelleme ve tasarım süreçlerini planladığı görülmektedir. Modelleme ve tasarım süreçlerinde yararlanılan ölçme ve modelleme sistemlerinin gelişimi sektörlerin odak noktası haline gelmektedir. Konfeksiyon endüstrisinde de kullanılan bu sistemlerle birlikte sektörde önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Bu gelişmeler, 3 boyutlu vücut tarama sistemlerinin (3 dimensional body scanner) ve giysi simülasyon sistemlerinin (virtual try-on) araştırılmasına yönelik uygulamalar, memnuniyet ve kalite iyileştirme çalışmaları olarak devam etmektedir. Bu sistemlerin kullanılması sektör içerisindeki rekabette ön plana çıkmanın yanı sıra işlem süreçlerindeki verimliliğinde artmasını sağlamaktadır [2].

Konfeksiyon endüstrisinde yapılan araştırmalarda kullanılan 3 boyutlu vücut tarayıcıları genellikle giysi üretimi ve giysi pazarlama için kullanılan en önemli sistemlerin başında gelmektedir. 3 boyutlu vücut tarayıcılarından elde edilen veriler sayesinde, giysinin model üzerinde konumlanması ve bedenlendirilmesi sürecindeki sorunlara da farklı bir bakış açısı sunulmaktadır. Gelişen bu sistemler karşısında konfeksiyon endüstrisi, 3 boyutlu vücut tarayıcılarından elde edilen veriler aracılığıyla gelişmiş üretim imkanı sağlamaktadır.

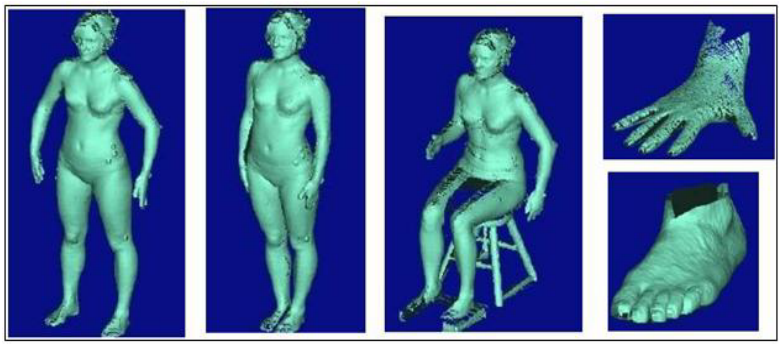
3 boyutlu vücut tarama, kullanıcının sabit bir duruş pozisyonundaki görsellerinden yararlanılarak hızlı ve dinamik bir şekilde modelinin dijital olarak oluşturulmasını sağlamaktadır (Şekil 1). Geçmişten günümüze farklı teknik ve metodolojiler de 3 boyutlu tarama sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemler, kamera kullanım teknikleri, ışık kaynağının pozisyonu, taranan alanın hacmi, tarama verilerinin işlenmesi gibi farklı parametrelerden oluşmaktadır. Bu parametrelerden dolayı bazı tarama sistemleri taranacak alan ile ilgili yüzeysel modeli oluştururken, bazıları ise hem yüzeysel modelin oluşmasını hem de xyz eksenlerindeki koordinat verilerinin detaylı bir şekilde oluşturulmasını sağlamaktadır. 3 boyutlu tarama sistemlerindeki bu farklılıkların karşılaştırılmasını sağlayan veri yakalama zamanı aynı zamanda verinin çözüm durumunu belirlemektedir [3].



Şekil 1. Üç boyutlu tarama için hazırlanmış kabin

Kullanıcının aktif pozisyonu sayesinde, tarama sistemindeki algılayıcılar vücut yüzeyine ait birçok veriyi algılamaktadır. Tarayıcıdan gelen veriler bilgisayar yazılımları ile işlenerek anlık olarak dijital sistemler üzerinde görüntülenmektedir. Verilerin görüntülenmesi, kullanılan tarayıcının sistemi ve metodolojisi açısından farklılıklar göstermektedir. Ancak temel olarak tarayıcıların geneli, taranacak modele ait her bir noktaya ait verinin xyz koordinatlarının elde edilerek modele ait nokta bulutunun oluşturulmasıdır. 3 boyutlu modelin ve tarayıcının kalitesini ortaya çıkaran en önemli husus elde edilen noktalardaki aralıkların birbirine yakın mesafede (< 2 mm) oluşturulabilmesidir.

Vücut tarama sisteminden elde edilen veriler ile kullanıcının antropometrik modeli oluşturulmaktadır (Şekil 2). Antropometri, vücut hareketleri ve ölçülerinin yanı sıra fiziksel hareketlerin sınırları inceleyen bilim dalıdır [4]. Antropometrinin biyomekanik disiplini; hareket sınırları, davranış hızı ve kuvvet gereksinimi gibi yaklaşımlarda insan vücudu ölçülerinin etkisini araştırmaktadır. Giysiler için alınan ölçüler başta olmak üzere, seri üretim yapan konfeksiyon endüstrisinde kullanılan ölçülerde klasik ölçme teknikleri kullanılmaktadır. Günümüzde 3 boyutlu tarayıcılardan elde edilen antropometrik modellerden, konfeksiyon endüstrisinin sanal giysi simülasyon çözümlerinde yararlanılmaktadır. Sanal giysi simülasyon sistemlerinde insan vücuduna ait ölçüler kullanılmaktadır. Geliştirilen sistemin yapısına göre elde edilen vücut ölçülerinde hassasiyeti yakalayabilmek ve hatasız modeller oluşturabilmek için veriler üzerinde değişiklik yapılabilmektedir [5].



Şekil 2. Vücut taraması sonucu elde edilen antropometrik modeller [6]

Simülasyon sistemlerinin gelişmesiyle birlikte üreticiler, üretim zamanından kazanmakta ve tasarımlarını verimli bir şekilde kontrol edebilmektedir. Bu avantajlar ürünlerin hızlı bir şekilde üretilmesi ve 3 boyutlu olarak sunulmasını sağlarken maliyetleri de azaltmaktadır. Ayrıca teknolojik yenilikleri yakalamanın yanı sıra özellikle tüketicilerin alışveriş stratejilerini ve tutumlarını da değiştirebilecek işlem süreçlerini oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın ikinci bölümde, dinamik ve hareketli vücut ölçüm yöntemlerinin incelenmesine ve yapılan çalışmalara, üçüncü bölümde vücut tarama teknolojilerine, bu teknolojilerin temel yapısına ve kullanıldığı alanlara, dördüncü bölümde vücut tarama sistemlerinin tartışılmasına ve son bölümde ise vücut tarayıcıların günümüzdeki yeri ve geleceği hakkındaki konularına değinilmiştir.

2. VÜCUT ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

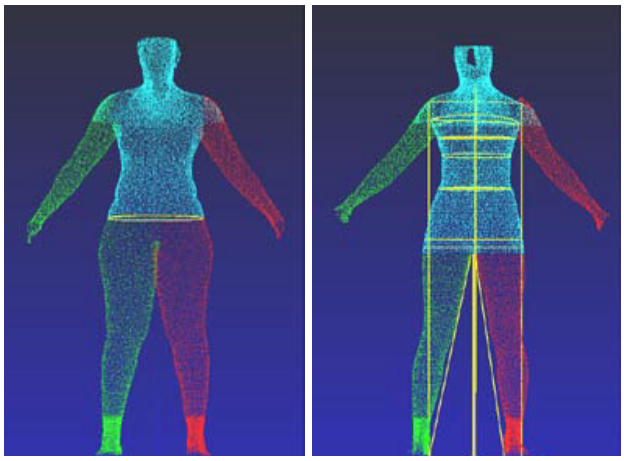
İnsan vücudunun yapısı ve oranı göz önünde bulundurulduğunda kişiden kişiye değişen birçok farklılık bulunmaktadır. İnsan vücudunun modellenmesinde yararlanılan sistemlerde elde edilen sonuçlarda yüksek oranda başarı ve hassasiyet beklenmektedir [7]. Çünkü vücudun ölçülmesi ve yorumlanması, tatmin edici bir biçimde uygun bir giysi geliştirmenin ilk adımını oluşturmaktadır. Tarayıcıdan elde edilen 3 boyutlu modelin, gerçek modele uygunluğu sonucunda yararlanılan sistemin kullanılabilirliği artacaktır.

Konfeksiyon kavramı, giysi ve insan vücudu arasındaki ilişkinin bütünü olarak ifade edilmektedir. Konfeksiyon endüstrisinde, giysi geliştirmenin temel adımı vücudun ölçülmesi ve yorumlanmasından geçmektedir. Vücudun, giysiyle bu ilişkisi "giysi uyumu" olarak ifade edilmektedir [8,9]. Giysi uyumunu yüksek başarı oranlarında gerçekleştirmenin temel yolu ise insan vücudunun daha iyi ölçülmesinden geçmektedir. Geçmişten günümüze, insan vücudunu ölçmek için birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar sırasında doğrusal, çoklu prob ve vücut formu gibi çeşitli vücut ölçüm yöntemleri test edilmiştir. 3 boyutlu vücut tarama, modelleme ve giysi uyumu sağlamak için araştırmalar esnasında elde edilen deneysel verilerden sıklıkla yararlanılmıştır [10]. Günümüzde halen insan vücudunu çeşitli şekiller, duruşlar ve hareketlerle doğru bir biçimde modelleyen ölçüm yöntemleri araştırılmaya devam etmektedir.

2.1. 3 Boyutlu Vücut Ölçümleri

3 boyutlu tarama teknolojisi, 1990'lardan sonra konfeksiyon endüstrisine daha fazla katkı ve uygulama kazandırmıştır. Vücut tarayıcılarının geliştirilmesiyle kısa bir süre içerisinde çeşitli açı ve şekillerin yanı sıra uzunluk, genişlik ve çevre dâhil olmak üzere doğrusal ölçümler elde edilebilir hale gelmiştir. Vücut ölçüm verileri, vücudun noktasal, çizgisel, yüzeysel, şekil ve hacmini içermektedir. Şekil 3'te kızılötesi ışınlar aracılığıyla taranan vücudun noktasal modeli ve bu modelin uzunluk, genişlik ve çevresel ölçüm çizgileri gösterilmiştir.

Vücut tarayıcılarının, güvenilirliği ve doğruluğu birçok araştırmacı tarafından test edilmiştir [12]. Test sonuçları analiz edildiğinde kullanılan sistemlerin hızlı ve kolay bir şekilde gerçeğe yakın veriler sağladığı görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda, vücut tarama ölçümleri ile antropometrik yöntemle alınan ölçümler arasında istatiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı elde edilmiştir [13]. Sistemi test eden kullanıcıların özellikle çevre ölçümleri (bel çevresi, kalça çevresi vb.) geleneksel ölçümlere göre daha geniş (1 - 2 cm) bulunmuştur. Ancak tespit edilen bu farkın iki ölçüm arasında anlamlı bir fark oluşturmadığı yapılan analizler sonucunda ortaya çıkmıştır [14,15]. Vücut tarayıcılarından elde edilen ölçümlerin, antropometrik ölçümlerden daha hassas veriler elde etmesinin yanı sıra aynı zamanda kolay, hızlı ve tekrarlanabilir ölçümler elde edilebileceği de belirtilmiştir [15].



Şekil 3. 3 boyutlu taranan vücudun noktasal modeli ve ölçüm çizgileri [11]

3 boyutlu tarama teknolojileri, karmaşık vücut yapılarına ait bilgilere ulaşmayı mümkün kılmaktadır. Araştırmalar, bu karmaşık probleme çözüm üretebilmek için model - kıyafet ilişkisini incelemiştir [16]. Farklı vücut ölçülerine sahip vücut tarama verilerini kullanarak vücut yapısının pantolon kalıplarıyla uyumu analiz edilmiştir. Sonuç olarak, vücut şeklinin giysilerin vücuda oturma durumunu etkilediğini göstermiştir. Benzer bir çalışmada, beden ölçümleri ve vücut taramaları ile oluşturulan modeli, pantolon kalıplarıyla ilişkilendirerek model - kıyafet ilişkisi incelenmiştir [17]. Yine vücut tarayıcısından yararlanılarak, omuz eğim açı verilerinin, göğüs belirginliği ve vücut biçiminin bileşenlerini analiz edilmiştir [18].

2.2. Dinamik Vücut Ölçümleri

Dinamik vücut ölçümleri, insan vücudunun belirli bir etkinlik sırasında vücut hareketlerinin 3 boyutlu olarak elde edilmesidir. Fonksiyonel kıyafetler geliştirirken, giysiye göre hareketin net bir şekilde anlaşılmasının, işlev ve uygunluk gereksinimlerini karşılaması açısından önem taşıdığı belirtilmiştir [19]. Dinamik vücut ölçümlerini elde etmenin geliştirilmiş farklı yöntemleri bulunsa da, insan hareketi verilerini giyim tasarımına uygulamak için uygulanan yöntemler sınırlıdır. Hareketli insan vücudunun analizinde, vücudun genişlemesi ve daralması için cilt uzama ölçümleri araştırılmıştır. İnsan vücuduna ait bazı bölgelerin (kalça, sırt, dirsek vb.) fiziksel faaliyetler esnasında değişiklik

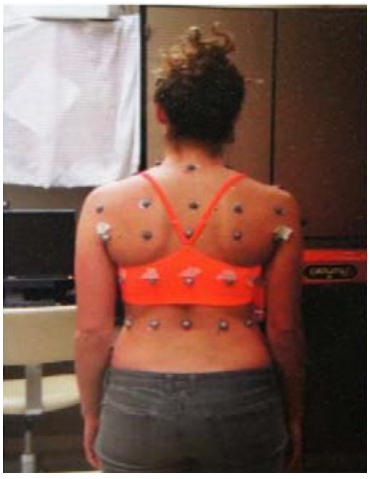
gösterdiği ve giysi tasarımı için gerilmeli kumaşların performansı değerlendirirken göz önünde bulundurulması gerektiği sonucuna varılmıştır. Özellikle kalça, sırt, dirsek ve diz gibi çeşitli vücut bölgelerinde cilt uzamasına ilişkin testlerin sonuçları vücut ölçümlerinde değişiklikler olduğunu göstermiş ve elde edilen sonuçlar normal vücut pozisyonunun cilt uzunluğuna oranı olarak ifade edilmiştir [20].

Vücut ölçümü, standart konumdaki yedi dinamik vücut duruşun bir sonucu olarak ifade edilmiştir. Vücut ölçüm değişikliklerinin bulunduğu bölgeler ise omuz, dirsek, bel ve diz eklemleri olarak belirlenmiştir [21]. Dinamik beden ölçümüyle ilgili yapılan çalışmalarda, araştırmacılar genellikle ergonomik duruşlara odaklanmıştır. Standart antropometrik pozisyon ile omuz fleksiyonu, skapula çıkığı ve skapula yükselmesi gibi çeşitli aktif duruşlar arasında üst vücut yüzey ölçümlerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir [14]. Bazı araştırmacılar, eklem hareketi ile vücut ölçümleri arasındaki etkileşimin tespiti üzerine araştırmalar sunmuştur. İnsan vücudu ölçümlerinde meydana gelen değişiklikleri, dirsek, omuz, bel, kalça ve dizlerin eklem hareketleri de dâhil olmak üzere 19 aktif pozisyonda insan vücudunu ölçerek farklı eklem hareketleri incelenmiştir. Eklem hareketleri esnasında, eklem uzunluklarının ve çevrelerinin belirgin şekilde değiştiği gözlenmiştir. Vücut ölçümlerinde yapılan önemli değişikliklerin eklemdeki vücut hareketlerine karşılık geldiği sonucuna varılmıştır [22]. Aktif duruşlar arasında alt vücut yüzey ölçümlerinde meydana gelen değişiklikleri analiz etmek için 120^{o} diz eğimi duruşu, tek adımlı duruş ve 90^{o} diz eğimi ile oturma duruşları analiz edilmiştir. Araştırmalar, vücut tarayıcılarının dinamik duruşlar ölçümleri için geliştirilen sistemlerin gerçek verileri elde edemediğini göstermektedir. Aynı zamanda, kullanıcıların vücut duruşlarını kontrol etmelerinin zorluğu da ölçüm sonuçları açısından dezavantaj oluşturmaktadır [15]. Günümüzde dinamik vücut duruşlarını yakalamak mümkün olsa da, 3 boyutlu vücut taramaları kullanarak dinamik duruşlarda vücudun ölçülmesinde bazı temel sorunlar halen yaşanmaktadır.

2.3. Hareketli Vücut Ölçümleri

Vücut tarama sistemleri, zamanla ve tarama sırasında vücut genişlemesi veya daralmasını esnasındaki anlık ölçümleri sağlamaktadır. Giysilerin bütünleştirilmiş vücut içi algılayıcıları kullanan optik hareket yakalama sistemi ile vücut duruşunu hesaplamanın fizibilitesi araştırılmıştır. Giysilerin uzamasıyla sırttaki farklı oturma duruşlarındaki ölçümler incelenmiş ve 5 cm'lik aralıklarla toplam 90 işaretçi belirlenmiştir (Şekil 4).

İşaretçiler arasındaki mesafe analiz edilerek, giysinin uzaması ölçülmüştür. Uygulanan yöntem, giysi uzamalarını hesaplayarak hareket ve duruş pozisyonunu ölçmek için uygun olduğu ortaya koymuştur. Ancak giysi uzamalarının cilt yüzeyindeki uzamalarla aynı olduğu varsayımı yapılamayacağını, dolayısıyla hareket ve duruş değişiklikleri gözlemlenirken sonuçların vücut yüzey ölçümlerine dönüştürülemeyeceğini belirtmiştir [23]. Dinamik vücut değişikliklerini ölçmek için hareket yakalama sistemi önerilmiştir [24]. Reflektif işaretleyicileri ve kinematik verileri kullanarak, kadınların spor iç giyim gelişimini izleyebilmek için hareket yakalama sistemi kullanılarak vücut hareketleri elde edilmiştir. Özellikle, yürüme ya da koşu sırasında üç boyutlu göğüs hareket yörüngesine ait sonuçlar, spor iç giyim tasarımını iyileştirilmesini sağlamıştır [25,26]. Diz çökme ve çömelme gibi aktif duruşlarda insan vücudu ölçümlerini elde etmek için 3 boyutlu vücut tarayıcısı, işaretsiz hareket yakalama sistemiyle birlikte bütünleştirici bir sistem geliştirmiştir [27].



Şekil 4. Vücut ölçümlerinde yararlanılan işaretçi yapıları

Yapılan araştırmalar, vücut hareketi ve giysi uyumu arasında bir ilişki olduğunu belirtse de günümüze kadar dinamik bedenin ölçülmesi ve giysiye uygulanması konusunda sınırlı kalmıştır. Araştırmacılar daha çok standart antropometrik bir pozisyon ile ağır kontrol edilen çeşitli aktif duruşlar arasındaki vücut yüzey ölçümlerinde yapılan değişiklikler üzerine yoğunlaşmıştır. Gerçek faaliyetler sırasında ortaya çıkan doğal hareketler, mevcut çalışmalar için kullanılan kontrollü duruşlardan daha karmaşıktır. Hareket yakalama sistemi kullanarak, gerçek dinamik vücut ölçüm değişikliklerinin ölçülebilmesi için daha doğal ve sürekli hareket algılama gerçekleştirilmelidir [28].

3. 3 BOYUTLU VÜCUT TARAMA SİSTEMLERİ

3 boyutlu vücut tarayıcıları, vücuda fiziksel temas etmeden, ışığa duyarlı cihazlarla birlikte optik teknikleri kullanarak insan vücudunun yüzeyini algılayan cihazlardır. Vücut tarama sistemleri, veri yakalama sürecini görselleştirmek için bir veya daha fazla ışık kaynağından, bir veya daha fazla görüş veya yakalama cihazından, yazılımdan, bilgisayar sistemlerinden ve monitör ekranlarından oluşmaktadır. Vücut tarama teknolojileri incelendiğinde lazer tarama, yapısal ışık ve stereografik yöntemlerin özellikle son yıllarda milimetrik dalga ve kızılötesi ışın teknolojileri göre daha sık kullanıldığı görülmektedir [29].

Tablo 1' de günümüzde en çok kullanıma sahip üç boyutlu vücut tarama sistemlerinin temel özellikleri listelenmiştir. Bu tablo oluşturulurken yaygın bir kullanım ve uygulama alanına sahip olan 3 boyutlu vücut tarayıcılarından Cyberware, 4ddynamics, Vitronica, TC^2, SizeStream, SpaceVision ve 3dMDbody firmalarına ait popüler tarayıcılar ele alınmıştır. Bu tarayıcılar; maliyet,

ölçüm tekniği, tarama alanı (modelleme yapılacak kabin büyüklüğü), tarama hacmi (tek pozda algılanabilecek görüntünün hacim büyüklüğü), tarama başlığı (tarama esnasında yararlanılan algılayıcı kullanım sayısı), noktalar arası uzaklık (taranan modele ait nokta bulutundaki noktalar arasındaki mesafe), tarama süresi (tarama esnasında pozlanma süresi), tarama dosya uzantısı (tarayıcıdan elde edilen görüntünün 3 boyutlu katı model dosya uzantısı), renkli (tarama dosyasında 3 boyutlu modelin aynı zamanda renkli görüntüleme dosyası), hareketli parçalar (tarama cihazlarının tarama esnasında hareket eden parça sayısı) ve uygulama yazılımı (tarama esnasında görüntü işleme sürecinin ne tür yazılımlar tarafından gerçekleştirileceği) parametreleri açısından incelenmiştir.

3.1. Lazer Tarama Yöntemi

Lazer tarama teknolojisinde tarayıcı, vücudun etrafında bir lazer ışık çizgisi yansıtmaktadır. Lazer çizgisi, tarama kafalarının her birinde bulunan kameralara eşleştirilmektedir (Şekil 5). Veriler, taranan nesnenin yüzeyi üzerine bir ışık şeridinin yayılmasından sonra iki konumdan eşzamanlı olarak görüntülenen noktaların üçgenleme (triangulation) yöntemi kullanılarak elde edilmektedir. Lazer tarama teknolojisinde kullanılan CCD (Charge-coupled device – şarj eşleştirmeli cihaz) algılayıcıları deformasyonları algılar ve nesnenin sayısallaştırılmış görüntüsünü oluşturmaktadır. Dört tarama başlığının her birinin içine yerleştirilen kamera ile tarama hacminin uzunluğu boyunca dikey olarak hareket ettirilerek yüzey bilgisini kaydedilmektedir. Tarama başlıklarından gelen veri dosyaları, taranan nesnenin bütünleşik görüntüsünü yazılım sisteminde gerçekleştirir [30]. Diğer tarama yöntemlerinden farklı olarak lazer tarayıcı, taramadan sonra veri ayıklamak için renk kodlu yer işaretlerini tanımlayan bir işlem olan taramanın renkli (RGB) değerlerini de saklamaktadır.



Şekil 5. Lazer tarama tekniği ile oluşturulmuş 3 boyutlu model [3]

1998 yılında Cyberware ve Vitronic, lazer tarama sistemlerin öncü üreticileriydi [31]. Günümüzde ise Cyberware WBX'i, Vitronic ise Smart XXL' yi en üst model olarak geliştirmiştir. Bu sistemler incelendiğinde gelişmiş çözünürlük ve düşük maliyet özelliklerine dikkat çekmektedir. Cyberware WBX, genellikle film endüstrisi için kullanılan güvenilir tarama sistemi olarak kullanılmaktadır [32]. Vitronic Smart XXL, Vitronic Pro' dan türetilmiştir. Özellikle konfeksiyon endüstrisinde kullanılan Vitronic Smart XXL, "Human Solutions" firması tarafından özel yazılım desteği almaktadır.

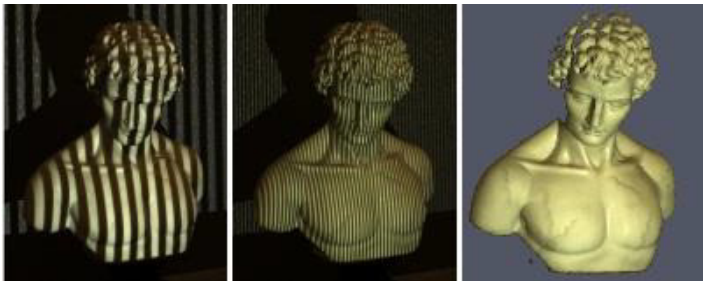
Tablo 1. 3 boyutlu vücut tarama sistemlerinin temel özellikleri

Tarayıcı	Cyberware	4ddynamics	4ddynamics	Vitronics	Vitronics	TC2	SizeStream	SpaceVision	3dMDbody
Tip	WBX	Mephisto EX-pro, CX-pro	Gotcha	Vitus Smart LC	Vitus Smart XXL	KX-16	3D Body Scanner	Cartesia	Flex8
Şehir	Monterey, CA	Antwerp	Antwrep	Wiesbaden	Wiesbaden	Cary, NC	Cary, NC	Tokyo	Atlanta
Ülke	ABD	Belçika	Belçika	Almanya	Almanya	ABD	ABD	Japonya	ABD
Maliyet ($)	240.000	60.000 – 120.000	10.000	37.000	65.000	10.000	15.000	20.000	190.000
Ölçüm Tekniği	Lazer Tarama	Yapısal Işık	Yapısal Işık	Lazer Tarama	Lazer Tarama	Kızılötesi	Kızılötesi	Lazer tarama	Stereografik
Tarama Alanı	261*235*290	300*300*160	Alan belirtilmemiş	220*220*260	210*210*290	114*168*200	107*165*216	198*229*240	440*346*225
Tarama Hacmi	130*50*200	100*100*200	Hacim belirtilmemiş	90*90*2100	120*120*2100	90*70*210	95*70*215	70*60*200	79*76*213
Tarama Başlığı (adet)	4	4-8	4-8	3	4	16	14	9	9
Noktalar Arası Uzaklık	< 2 mm	< 1 mm	< 1 mm	7 / cm2 ***	27 / cm2 ***	1 mm	1 mm	3 mm	1 < mm
Tarama Süresi (s)	17	2	1	12	12	3	6	2	0.002*
Tarama Dosya Uzantısı	.ply	. ply	.ply	ASCII/.obj/.stl	ASCII/.obj/.stl	Vücut uzunluk bilgileri**	Vücut uzunluk bilgileri**	.obj	TSB/OBJ/STL/WRL/PLY
Renkli	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet
Hareketli Parçalar	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Uygulama Yazılımı	Dönüştürücü	Yok	Yok	Human Solution	Human Solution	Clothing Related	Clothing related	Yok	Yok

*Belirtilen değer tek bir poz yakalama süresidir. 60 fps (frame per second) hızında çalışmaktadır.
**Vücud uzunluk bilgileri, vücudun ölçülen uzuvlarına ait bilgilerin yer aldığı bir dosyadır (Text uzantılı dosya formatlarında saklanabilmektedir).
*** Alandaki nokta sayısı.

3.2. Yapısal Işık Yöntemi

Lazer tarama sistemleri tipik olarak yüzey üzerinde sadece bir lazer çizgisi yansıtırken, yapısal ışık sistemi nesnenin tümüne desen yansıtmaktadır (Şekil 6). Tek bir hattın avantajı, algılayıcının kolayca algılayabilmesi ve öngörülen 2 boyutlu çizginin 3 boyutlu yüzey üzerinde nasıl deforme olduğunun doğru bir şekilde hesaplanmasıdır. Ardışık çizgilerin bir araya getirilmesiyle 3 boyutlu görüntü oluşturulmaktadır. Aslında lazer tarama sistemindeki lazer çizgisi de yapılandırılmış bir ışık modeli olarak düşünülebilir, ancak hat taraması nedeniyle güçlü bir zaman bileşenine sahiptir ve bu nedenle farklı bir sistem sınıfı olarak kabul edilmektedir. Bu sistem, sahneye tam olarak yapılandırılmış bir ışık deseni yansıtmaktadır. Taranan nesnenin deforme edilmiş görüntüsünden 3 boyutlu model hesaplanmaktadır. Bu model noktalar, çubuklar veya başka bir ışık deseninden oluşabilmektedir. Yapısal ışık tarayıcısının temel avantajı hızıdır. Tipik olarak yapılandırılmış ışık tarayıcısı, saniyede 10–30 kare hızında 3 boyutlu görüntü tarayabilmektedir. Yapısal ışık tarayıcılarında paraziti önlemek için, farklı ışık ve kamera sistemleri genellikle aynı anda değil seri olarak çalışmaktadır.

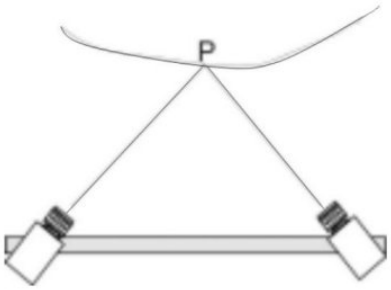


Şekil 6. Yapılandırılmış ışık yöntemiyle oluşturulmuş 3 boyutlu model [28]

Çin merkezli Artec firması Artec L ve Artec Eva modeli, Belçika merkezli 4D-Dynamics firması vücut tarayıcılarında yapısal ışık yöntemini kullanmaktadır. 2011 yılında x-Box oyun konsoluna eklenti olan Kinect algılayıcısı da yapısal ışık yöntemi olarak kullanılmaya başlamıştır. İlk başta oyun sektörü için kullanılan algılayıcı, düşük maliyeti ve açık kaynak yazılımı sayesinde yapısal ışık yöntemini kullanacak araştırmacıların gözdesi haline gelmiştir. Algılayıcının düşük kalitedeki çözünürlüğü ise en büyük dezavantajıdır. TC^2 ve Sizestream, algılayıcıları, iyi doğrulukta ve düşük maliyetle çalışan 3 boyutlu vücut tarayıcı sistemleri için yapısal ışık yöntemi kullanmaktadır.

3.3. Stereografik Yöntem

Stereografik yöntem, yatay bir düzlemin bir küre üzerine izdüşümünün alınması olarak tanımlanmaktadır. Stereografik teknolojisinde birbirine yakın konumlandırılmış iki kamera ve ön kalibresi renkli (RGB) kamera içeren bir sistemden oluşmaktadır. Nesnenin 3 boyutlu modellenmesi, iki kameradan alınan ve üst üste binen görüntülerden hesaplanarak elde edilmektedir. Stereografik yönteme ait sahne üzerinde bir görüntünün elde edilme sürecine ait işlem Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Stereografik yöntemin şematiği

3.4. 3 Boyutlu Vücut Tarayıcıların Kullanıldığı Alanlar

İnsanların tarama sistemi karşısında 3 boyutlu vücut bilgilerinin alınabilmesiyle vücut tarayıcılarının kitlesel pazarlamadaki yeri tartışılmaz bir boyuta taşınmıştır.

Sağlık ve tıbbi uygulamalar için 3 boyutlu vücut tarayıcıları, sektörde giderek daha fazla kullanılmaktadır. İnsan vücudunu 3 boyutlu olarak yakalamanın invazif olmayan ve hızlı yolu sayesinde, 3 boyutlu tarayıcılar sağlık hizmetleri alanındaki uygulamalarda üst düzey katkı sağlamaktadır. 3 boyutlu vücut tarayıcılarının tıbbi alanda dört temel uygulaması bulunmaktadır. Epidemiyoloji; sağlıkla ilgili durumların belirlenmiş popülasyonlarda dağılımı ve belirleyicileri üzerine yapılan çalışmadır. Antropometrik araştırmalar yapmak için 3 boyutlu vücut tarayıcıları kullanılmaktadır. Yetişkinler arasında şişmanlığın (obezitenin) evrimi üzerine araştırmaları için uygulanmaktadır. Teşhis; 3 boyutlu vücut taraması doktorların tanı koymasına yardımcı olmaktadır. Bu tip kullanım durumlarında, 3 boyutlu tarayıcılar çoğunlukla ciltle ilgili sorunları (yanıklar, gözeneklerdeki bakteriler, kırışıklıklar vb.) tedavi etmek ve vücut şeklinin analizi yoluyla şekil bozukluklarını tespit etmek için yararlanılmaktadır. Tedavi; 3 boyutlu vücut tarayıcıları özellikle yanmış hastalar için önem arz etmektedir. Hastaya doğru miktarda ilaç vermek için, yanmış cilt miktarının net bir şekilde hesaplanması gerekir. Uygulanan ilaç miktarı cilt yüzeyine bağlı olmakla birlikte, ilaç miktarı doğru değilse hasta ölebilmektedir. Yüksek hassasiyetli 3 boyutlu tarayıcılar veya elde taşınabilir 3 boyutlu tarayıcılar, hasarlı cildin yüzeyini doğru bir şekilde ölçülmesini sağlamaktadır. İzleme; 3 boyutlu tarayıcılar, diyet veya hamilelik sırasında hastanın vücudundaki (şekil, kompozisyon vb.) değişiklikleri izlemeye yardımcı olabilmektedir.

Vücut şekli izleme; 3 boyutlu vücut tarayıcıları, vücudun çeşitli uzunluk (boy, omuz genişliği, kol uzunluğu vs.) ve şekilsel ölçümlerini (bel, göğüs ve kalça çevresi) ve duruş analizini izlemek için spor ve sağlık bilimlerinde kullanılmaktadır. 3 boyutlu vücut tarayıcıları, özellikle sporcuların kişisel hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olmaktadır (kilo verme, kas oluşturma vb). 3 boyutlu vücut taraması ayrıca duruş, vücut kompozisyonu (yağa karşı kas yüzdesi) ve vücut şekli hakkında kullanıcılara bilgi sağlamaktadır.

Moda ve konfeksiyon sektöründe, 3 boyutlu vücut taraması, kişinin vücudunu kusursuz olarak 3 boyutlu haritalandırmasını

ve oluşturulmasını sağlamaktadır. Moda ve konfeksiyon endüstrisi açısında, kişiye özel giysi üretimi için doğru vücut ölçümlerini elde edebilmek adına bu tarayıcılar kullanılmaktadır. Ayrıca sanal giysi simülasyonlarının ortaya çıkmasıyla mağaza içi ve çevrimiçi alışveriş için yeni bir kavram ortaya çıkmıştır. Müşteriler, kıyafetleri üzerlerinde nasıl görebilecekleri gösteren sanal giysi simülasyon uygulamaları gelişmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Sanal giysi simülasyon uygulaması

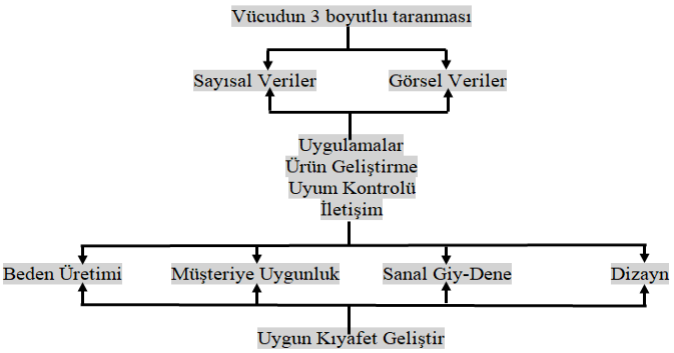
3 boyutlu tarayıcılar aracılığıyla moda ve konfeksiyon endüstrisinde günümüzde özellikle aşağıda belirtilen işlemler gerçekleştirilebilmektedir.

- Vücut ölçü tespiti
- Sayısal veri tespiti
- Görsel veri sonuçları
- Beden analizi
- Ürün geliştirme
- Uygun kıyafet elde etme

3.5. 3 Boyutlu Vücut Tarayıcıların Konfeksiyon Endüstrisindeki Yeri

3 boyutlu vücut tarama sistemlerinin gelişmesiyle simülasyon sistemlerinin uygulanmasına yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Simülasyon sistemlerindeki vücut ölçülendirme, giysi tasarımı ve pazarlama gibi konfeksiyon teknolojisinin ve üretiminin en önemli basamaklarında kullanım alanları üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Simülasyon sistem uygulamaları, konfeksiyon endüstrisine birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Özellikle 2 boyutlu benzetim sistemlerinden 3 boyutlu benzetim sistemlerine yönelim; gerçekliği artırma, işlemlerin hızlanması ve kullanıcı hatalarının azalmasına yönelik avantajlar sağlamaktadır [23]. Şekil 9'da 3 boyutlu tarama sisteminin konfeksiyon endüstrisinde kıyafet geliştirme süreci gösterilmiştir.

Konfeksiyon sektöründe yararlanılan bilgisayar destekli sanal giyim ve tasarım sistemleri bütünleşmiş farklı donanım ve yazılım sistemlerinden oluşmaktadır. Literatür incelendiğinde bu tarz çalışmalara rastlansa da, daha gerçekçi ve doğru çözümler için sürekli bir gelişim içinde olduğu gözlenmektedir. Geliştirilen uygulamalar, günümüzde kullanılmasına rağmen, istenilen hedeflere ulaşması bakımından eksikliklerinin olduğu gözlenmektedir.



Şekil 9. 3 boyutlu vücut tarama sistemlerinin kıyafet geliştirme süreci [34]

4. TARTIŞMA

3 boyutlu vücut tarayıcıları kullanılarak sağlık, mühendislik, tasarım vb. alanlarda birçok nesnenin modellenmesi farklı uygulamalarla gerçekleştirilmektedir [35]. Bu çalışmaların sayısı ise gün geçtikçe artmaktadır. Konfeksiyon endüstrisi günümüzdeki en büyük pazarlardan biri ve bu çalışmada özellikle 3 boyutlu tarayıcılar konfeksiyon endüstrisi penceresinden ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Son yıllarda, düşük maliyetli ve küçük boyutlarda üretilen 3 boyutlu vücut tarama cihazları sayesinde insanlar 3 boyutlu modellerini evlerde dâhil üretebilmektedir. 3 boyutlu vücut tarama sistemi için geliştirilen cihazların en yaygın ve en popüler kullanılanı ise Microsoft firmasına ait Kinect algılayıcısıdır.

3 boyutlu vücut tarayıcılarında yaşanan gelişmeler konfeksiyon endüstrisine yansıması başta simülasyon sistemlerinin gelişmesinin yanı sıra satış stratejilerini de etkilemiştir. Perakende mağaza satışları yerini yavaş yavaş internet satışlarına bırakmamaktadır. Bu geçişin hızını belirleyen temel yapı ise perakende mağazalarındaki satışlarda müşterilerin en uygun bedeni buluncaya kadar farklı denemeler gerçekleştirmesidir. Bu durum internet satışları için mümkün değildir. Ancak gelişen 3 boyutlu vücut tarama sistemleri ve geliştirilen simülasyon yazılımları bu geçişin hızını belirleyecek farklı alternatifler sunmaktadır.

Bununla birlikte, farklı tekniklerle internet satışlarındaki giysi deneme ve satın alma süreçleri de geliştirilmektedir. Bu seçeneklerin 3 boyutlu vücut tarayıcılarına alternatif sunmasına rağmen çoğu zaman uyum sağlamadığı görülmektedir.

İlk seçenek, internet kullanıcılarının, uygun kıyafetler elde etmek için boy, kilo, yaş vb. temel verileri sunmalarıdır. Bu bilgiler, iyi bir giysi uyumu için yeterli görünmeyebilir, ancak son zamanlarda, özellikle öznel bilgiler eklenmesiyle, bu durumun oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlenmektedir [36].

İkinci seçenek, internet kullanıcılarının dijital bir mankeni kullanarak kendi modelini oluşturmasıdır. "My virtual model" isimli web uygulaması en popüler örnektir. Model oluşturmada sadece vücut ölçüleriyle değil, aynı zamanda saç, ten rengi vb. özellikler de görselleştirilmektedir.

Üçüncü seçenek ise internete yüklenen ve vücut modelini oluşturmak için dijital fotoğrafların kullanılmasıdır. Genel olarak, vücut duruşunun ön ve yan görüntülerinden yararlanılmaktadır. "Poikos" ve "UPCload" web uygulamaları bu seçeneğin en önemli alternatiflerindendir [37].

Giysi boyutlandırma için göğüs, kalça ve bel çevresi gibi parametreler çok önemlidir. Bu nedenle, bu parametrelerin gerçeğe yakın veriler vermesi beklenmektedir. Ancak elde edilen ölçümler muhtemelen net sonuçları göstermemektedir [38]. Bu değerlerin gerçek bir modele yakın modellemelerinin elde edildiği söylenebilir, ancak giysiler için gereken hassasiyetten kısmen eksik kalmaktadır.

Gelişen teknolojiyle beraber 3 boyutlu vücut tarayıcıları, taranan kişiye ait gerekli bütün ölçümleri kısa ve yüksek doğrulukta elde edebilmektedir. Boyutları ve azalan maliyetleri sayesinde günümüzde endüstri dışındaki kullanım alanları da hızla yaygınlaşmaktadır. Kesim makineleri üreten birçok büyük şirket (Gerber ve Lectra), 3 boyutlu sanal modellerden giyim modelleri üretmek için giderek daha iyi hale gelen [39] yeni yazılımlara yatırım yapmaktadır.

Hin ve Krul, "Human Solution" ve "TC^2" firmalarına ait yazılım paketlerindeki 2 boyutlu vücut boyutlarını hesaplayan iki yazılım paketini incelemiştir. İki paketin de eşit derecede iyi performans gösterdiği, ancak bilgisayar tarafından üretilen vücut boyutlarının ISO 20685 [39] kullanılarak elle türetilmiş vücut boyutlarından anlamlı ölçüde farklı olduğu görülmüştür [40]. Gözlemlenen farkın önemli bir nedeni, elle alınan ölçümler için referans alınan eklem noktalarının belirgin olmasıdır. 3 boyutlu vücut tarayıcılarından elde edilen ölçümlerimden göğüs, bel ve kalça çevresi gibi uzunluklar gerçek ölçüm sonuçlarına göre kısmi farklılıklar göstermektedir. Mutlak çevre farklılıkları göz önüne alındığı bu farklar birkaç santimetre (cm) kadar olabilmektedir.

5. SONUÇ

Ülkemizde, hazır giyim sektöründe kullanılan kalıpların birçoğu yurt dışı menşeili firmalar ve o firmaların ülkelerine ait beden ölçüm tabloları kullanılmaktadır. Bu nedenle, piyasada değişik boyutlarda ve farklı beden gruplarında giysiler bulunmaktadır. Farklı ölçüm standartları, beden grup karmaşası yaratmaktadır. Bu karmaşadan dolayı ülkemizde insanlar, kendi vücut ölçülerine uygun giysi bulmakta zaman zaman zorlanmaktadır. Satın alınan giysi üzerinde işlem yaptırmak zorunda kalmakta veya vücut ölçülerine uygun olan markalar araştırıp, sadece o markalara ait ürünlerini almaktadırlar.

Bu problemlerin yanı sıra farklı vücut ölçülerine sahip bireylerin kıyafet deneme esnasında birtakım problemler yaşadığı ve 21. yüzyılda bireylerin alışkanlıklarının hızla değiştiği gözlenmektedir. İşletmeye gidip bir kıyafetin denenmesi gibi hem fiziksel efor sarf ettirecek hem de zaman kaybına neden olacak aktiviteler yerine, sanal giyim uygulamaları yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulamalardaki temel eksiklik, bu sistemleri kullanacak kişinin beden tespitinin yapılamamasıdır. Sanal giyim uygulamalarında seçilecek kıyafetin kullanıcının gerçek bedenine uygun bedenlerde yansıtılması daha gerçekçi bir yaklaşım oluşturacaktır. Bu yüzden vücut tarama ve beden tahminleme işlemleri için donanımların ve yazılımların gelişmesi ölçme işlemini daha işlevsel hale getirecektir.

3 boyutlu vücut tarama sistemlerine günümüzde, ekonomik ve geliştirilebilir çözümlerinden biri olan ve hareket algılama teknolojisine sahip olan Kinect algılayıcısının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Hareket algılayıcılarından hesaplanan ölçümlerin, insan hareketlerinin anlık değişimleri nedeniyle elde edilmesinin zor olduğu düşünülmüştür [40]. Ancak günümüzdeki hareket algılayıcılarının avantajları arasında, zaman içindeki hareket değişikliklerinin algılanıp, bu değişikliklerden kaynaklanan ölçüm farklarının eş zamanlı elde edilebilmesi yer almaktadır. Bu yüzden hareket algılayıcı sistemlerinin vücut ölçülendirmesinde yararlanılması gün geçtikçe artmaktadır. Kinect algılayıcısı günümüzde, kullanıcının dinamik hareketlerini tespit edebilen ve anlık durumlarıyla ilgili bilgiler sunabilen en yaygın hareket algılayıcısı konumunda bulunmaktadır [40, 41, 42, 43].

3 boyutlu vücut tarama sistemleri konfeksiyon sektörü başta olmak üzere birçok sektörün modelleme problemine çözüm sunmaktadır. 3 boyutlu vücut tarayıcıları aracılığıyla giysi üretimine ait süreçler kısalmaktadır. Ayrıca, elde ettiği parametrik veriler sayesinde giysinin yeniden serilendirilmesinde ve ölçülendirilmesinde kullanıcılarına daha esnek ve hızlı çalışma imkânı sunmaktadır. Antropometrik yöntemlerle alınmış ölçülerin hazırlandığı giysi kalıplarında oluşabilecek hatalara, bu sistemlerde rastlama olasılığı çok daha düşük bir oranda gerçekleşmektedir. 3 boyutlu tarama sistemlerinin gelişimiyle giysilerin 3 boyutlu modeller üzerine giydirilmesi ve giysinin model üzerinde nasıl durduğunun sanal olarak gösterilmesi gerçekleştirilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Vuruşkan, A., Bulgun, E., (2008), *Kişiye özel üretim sistemleri ve made-to-measure uygulamaları*, Tekstil Ve Mühendis, 13 (64), 12-19.
2. Eğri, Ş., (2011), *Üç boyutlu vücut tarama sistemlerinde karşılaşılan sorunlar üzerine örnek inceleme (kardem ve ima örneği)*, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 112.
3. Özbay, E., (2013), *Nesnelerin üç boyutlu modellenmesi için kinect tabanlı bir uygulama*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, Elazığ.
4. Sabancı, A., (1999), *Ergonomi*, Baki Kitapevi, Adana.
5. Şener, F., Çelik, S., (2008), *Üç boyutlu vücut tarama sistemleri ve kullanım alanları,* Tekstil Maraton Dergisi.
6. D'apuzzo, N., (2007), *3D body scanning technology for fashion and apparel industry*, Human Body Measurement Newsletter.
7. Saxena, D., Bruniaux, P., Sebastian, T., Gupta, S., Jana, P., (2007), *Garment Pattern With Ease in 3D*, Casablanca Morocco Intelligent Tekstiles & Mass Customisation, 250-261.
8. Ashdown, S., DeLong, M., (1995), *Perception testing of apparel ease variation*, Applied Ergonomics, 26, 47–54.

9. Bye, E., LaBat, K., McKinney, E., Kim, D.E., (2007), *Optimized pattern grading*, International Journal of Clothing Science and Technology, 20, 79–92.
10. Bye, E., LaBat, K., DeLong, M., (2006), *Analysis of body measurement systems for apparel,* Clothing and Textiles Research Journal, 24, 66–79.
11. Apeagyei, P., (2010), *Application of 3d body scanning technology to human measurement for clothing fit*, International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 4 (7), 1-11.
12. Yu, C., Lo, Y., Chiou, W., (2003), *The 3D scanner for measuring body surface area: A simplified calculation in the Chinese adult*, Applied Ergonomics, 34, 273–278.
13. Heuberger, R., Domina, T., MacGillivray, M., (2007), *Body scanning as a new anthropometric measurement tool for health-risk assessment*. International Journal of Consumer Studies, 32, 34–40.
14. Lee, J., & Ashdown, S. P. (2005). Upper body surface change analysis using 3-D body scanner. Journal of Korean Society of Clothing and Textiles, 29, 1595–1607.
15. Choi, S., Ashdown, S., (2011), *3D body scan analysis of dimensional change in lower body measurements for active body positions*, Textile Research Journal, 81, 81–93.
16. Hwang Shin, S. J., Istook, C. L. (2007), *The importance of understanding the shape of diverse ethnic female consumers for developing jeans sizing systems*, International Journal of Consumers Studies, 31, 135–143.
17. McKinney, E. C., Bye, E., LaBat, K., (2012), *Building patternmaking theory: A case study of published patternmaking practices for pants*, International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 5, 153–167.
18. Chen, C., LaBat, K., Bye, E., (2010), *Physical characteristics related to bra fit*, Ergonomics, 1, 514–524.
19. Watkins, S., (1995), *Clothing*, Ames, IA: Iowa State University Press.
20. Kirk, W., Jr., Ibrahim, S.M., (1966), *Fundamental relationship of fabric extensibility to anthropometric requirements and garment performance*, Textile Research Journal, 36, 37–47.
21. Lotens, W.A., (2007), *Optimal design principles for clothing systems*, Handbook on clothing: Biomedical effects of military clothing and equipment systems, Brussels, Belgium
22. Wang, Y. J., Mok, P. Y., Li, Y., Kwok, Y.L., (2011), *Body measurements of Chinese males in dynamic postures and application,* Applied Ergonomics, 42, 900–912.
23. Mattmann, C., Clemens, F., Tröster, G., (2008), *Sensor for measuring strain in textile*, Sensors, 8, 3719–3732.
24. Zhou, J., Yu, W., Ng, S.P., (2011), *Methods of studying breast motion in sports bras: A review*, Textile Research Journal, 81, 1234–1248.
25. Okabe, K., & Kurokawa, T., (2006), *A study of the relationships between breast vibration, clothing pressure and dislocation under running condition for designing sports brassiere*, Descente Sports Science, 27, 75–85.
26. Scurr, J., White, J., Hedger, W., (2009), *Breast displacement in three dimensions during the walking and running gait cycles*, Journal of Applied Biomechanics, 25, 322–329.
27. Zong, Y., & Lee, Y.A., (2011), *An exploratory study of integrative approach between 3D body scanning technology and motion capture system in the apparel industry*. International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 4, 91–101.
28. Sohn, M.H., Bye, E., (2014), E*xploratory study on developing a body measurement method using motion capture*, Clothing and Textiles Research Journal, 32 (3), 170-185.
29. Daanen, H.A.M, Ter Haar, F.B., (2013), *3D whole body scanners revisited,* Displays, 34, 270-275.
30. Paquette, S., (1996), *3D scanning in apparel design and human engineering*, IEEE Computer Graphics and Applications, 16 (5), 11-15.
31. Daanen, H.A.M., Van De Water, G.J., (1998), *Whole body scanners*, Displays, 19, 111–120.
32. Robinette, K.M., Daanen, H.A.M., (2006), *Precision of the CAESAR scan-extracted measurements*, Appl. Ergon, 37, 259–265.
33. Öndoğan, Z., Pamuk, O., Topal, E., Çelikkaş, M., Ünver, O., Işıklıoğlu,P., (2007), *giysi tasarımı, vücut ölçülendirme ve giysi pazarlaması konularında simülasyon sistemlerinin incelenmesi*, Tekstil Ve Konfeksiyon 2007(4), 265-272.
34. Ashdown, S., Loker, S., (2007), *Improved Apparel Sizing: Fit and Anthropometric 3D Scan Data*, National Textile Center Research Briefs, 1.
35. Jones, P.R.M., Rioux, M., (1997), *Three-dimensional surface anthropometry: applications to the human body*, Opt. Lasers Engineering, 28, 89–117.
36. Daanen, H.A.M., Byvoet, M.B., (2011), *Blouse sizing using self-reported body dimensions*, International Journal of Clothing Science Technology, 23, 341–350.
37. Saito, S., Kouchi, M., Mochimaru, M., Aoki, Y., (2012), *Simple system for 3D body shape estimation*, 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics, 203–205.
38. Daanen, H.A.M., Krul, A.J., (1997), *Reliability of circumference estimation based on depth and width of the hip*, Report TNO Soesterberg A88.
39. Sayem, A.S.M., Kennon, R., Clarke, N., (2010), *3D CAD systems for the clothing industry*, International Journal Fashion. Design. Technologly and Education, 3, 45–53.
40. Hin, A.J.S., Krul, A.J., (2005), *Performance of Human Solutions body measure software*, Report TNO-DV3 2005 A-009.
41. Gill, S., (2009), *Determination Of Functional Ease Allowances Using Anthropometric Measurement For Application in Pattern Construction*. Manchester Metropolitan University, PhD Thesis, Manchester.
42. Apeagyei, P., (2010), *Application of 3D Body Scanning Technology to Human Measurement for Clothing Fit*, International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 4 (7), 1-11.
43. Khoshelham, K., Elberink, S.O., (2012) *Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications*, Sensors, 12 (2), 1437-1454.
44. Tong, J., Zhou, L., Pan, Z., Yan, H., (2012), *Scanning 3D Full Human Bodies Using Kinects*, Transactions on Visualization and Computer Graphics, 18 (4), 643-650.
45. Yüksel H., Oktav Bulut M., (2018), *Development of the 3D Clothing Simulation Systemin Virtual Reality Using Motion Capture Sensor*, 18th AUTEX World Textile Conference, Istanbul, Turkey.