



**TEKSTİL VE MÜHENDİS**  
**(Journal of Textiles and Engineer)**

<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>



---

**Kumaş Dökümlülüğünün Görüntü Analizi Temelli Yöntemlerle Ölçülmesi**

**Measurement of Fabric Drape by the Methods Based on Image Analysis**

Gülsüm Gökçe PLATTÜRK, Musa KILIÇ  
Dokuz Eylül Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Buca-İzmir, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 30 Haziran 2014 (30 June 2014)

---

**Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):**

Gülsüm Gökçe PLATTÜRK, Musa KILIÇ (2014): Kumaş Dökümlülüğünün Görüntü Analizi Temelli Yöntemlerle Ölçülmesi, Tekstil ve Mühendis, 21: 94, 31-45.

**For online version of the article:** <http://dx.doi.org/10.7216/130075992014219404>



***Derleme Makale / Review Article***

# **KUMAŞ DÖKÜMLÜLÜĞÜNÜN GÖRÜNTÜ ANALİZİ TEMELLİ YÖNTEMLERLE ÖLÇÜLMESİ**

**Gülsüm Gökçe PLATTÜRK\***  
**Musa KILIÇ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Buca-İzmir, Türkiye

*Gönderilme Tarihi / Received: 21.03.2014*

*Kabul Tarihi / Accepted: 22.05.2014*

**ÖZET:** Son zamanlarda, objektif ölçüm tekniklerinin teknolojiye paralel olarak gelişmesiyle kumaşların estetik davranışlarının ölçümünde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Dökümlülük ve eğilme özellikleri özellikle kumaş konforu açısından değerlendirildiğinde tekstil materyalinin seçimini, tasarımını ve görünümünü etkileyen başlıca parametreler olarak öne çıkmaktadırlar. Literatür incelendiğinde, dökümlülük ve eğilme özellikleri arasında oldukça yakın bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, kumaş dökümlülüğünü ve eğilme direnci ile ilişkisini inceleyen çalışmalar derlenmiş ve bu parametrelerin ölçümündeki yenilikler belirtilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dökümlülük, Dinamik Dökümlülük Ölçeri, Eğilme Rijitliği, Görüntü Analizi.

## **MEASUREMENT OF FABRIC DRAPE BY THE METHODS BASED ON IMAGE ANALYSIS**

**ABSTRACT:** Recently, there have been significant developments in investigating the aesthetic behavior of the fabrics due to the developments in objective evaluation techniques in parallel with the technology. Drape and bending properties are important in terms of fabric comfort because of their effects on selection of raw material, design and appearance of the fabric. When the literature is checked, it is seen that relationships between the drape and bending properties of fabrics are fairly important. In this study, it was aimed to summarize the recent studies and investigate the fabric drape and its relation with the bending rigidity.

**Keywords:** Fabric Drape, Dynamic Drape Tester, Bending Rigidity, Image Analysis.

---

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: [gplatturk@hotmail.com](mailto:gplatturk@hotmail.com)

DOI: 10.7216/130075992014219404, [www.tekstilvemuhendis.org.tr](http://www.tekstilvemuhendis.org.tr)

## 1. GİRİŞ

Dökümlülük, kumaşın görünümünü etkileyen önemli özelliklerden biri olup, kumaşın kendi ağırlığı altında şekil değiştirme davranışı olarak tanımlanabilir. Kumaşın kullanım sırasında nasıl görüneceği hakkında tahmin yürütebilme açısından önemli bir parametre olarak ortaya çıkar. Eğilme direnci ise kumaş dökümlülüğü ile çok yakından ilgili bir parametredir. Eğilme, bir ucu yatay olarak tespit edilen dikdörtgen biçiminde kesilmiş bir kumaşın, kendi ağırlığı altında yatay durumundan sapsması olarak tanımlanır. Son yıllarda konfor algısının ön plana çıkmasıyla kumaşların dökümlülük ve eğilme özellikleri önem kazanmaya başlamıştır.

Özellikle kumaş konforu açısından değerlendirildiğinde dökümlülük ve eğilme özellikleri tekstil materyalinin seçimini, tasarımını ve görünümünü etkileyen başlıca parametreler olarak öne çıkmaktadırlar. Bilindiği gibi kumaş dökümlülüğü Cusick Dökümlülük Ölçer ile ölçülmektedir. Bu cihaz, örnek tablası, bir konkav ayna ve ışık sisteminden oluşur ve kes-tart yöntemine dayanır. Yöntemde kumaşın dökümlü haldeki görüntüsü ayna ve ışık vasıtasıyla üzerine yerleştirilen bir kâğıt ekran üzerine yansıtılır ve kumaşın dökümlü haldeki gölgesinin şekli bir kalem ile çizilir. Cusick tarafından 1965 yılında geliştirmiş olan bu cihaz [1], günümüzde hala önemli bir değişikliğe uğramadan kullanılmaktadır. Son yıllarda bu cihazın çalışma prensibine benzer farklı birkaç cihaz daha ortaya çıkmış ve bazılarında bir kamera ilavesiyle kumaşın dökümlülüğü görüntü analizi yöntemleriyle ölçülmeye çalışılmıştır. Kumaş eğilme özelliklerinin ölçümü için bilinen yöntemlerin başında Cantilever testi gelmektedir. Bu yöntemde, kumaşın yerçekimi kuvvetinin etkisiyle belirli bir açıya eğilen uzunluktan eğilme direnci hesaplanmaktadır.

Günümüze kadar bu iki parametrenin ölçülmesi, aralarındaki ilişkilerin ortaya konulması gibi konularda pek çok çalışma yapılmış, yüksek korelasyonlar bulunmuş, ölçümleri için değişik yöntem ve cihazlar geliştirilmiştir.

## 2. DÖKÜMLÜLÜĞÜN TARİHSEL GELİŞİMİ

Kumaşların dökümlülük ve eğilme özellikleri ile ilgili çalışmalar ilk olarak 1930'da Peirce [2] ile başlamak-

tadır. Pierce, iki boyutlu dökümlülük değerini saptamak için Cantilever cihazını geliştirerek kumaş eğilme ölçümünü gerçekleştirmiştir. Eğilme direnci ile ilgili ilk denklem Peirce tarafından ortaya konulmuştur (Formül 1):

$$B = w c^3 \quad (1)$$

Sonrasında Chu ve ark. [3], F.R.L. (Fabric Research Laboratories) cihazını geliştirmiş ve üç boyutlu bir dökümlülük analizi yaparak dökümlülük katsayısını (%F) tanımlamışlardır. Chu ve ark. [4], kumaş dökümlülüğüne etki eden faktörler üzerine bir araştırma yapmışlar, bu amaçla bir dökümlülük diyagramı oluşturmuşlar ve kumaş örneğinin üç boyutlu dökümlülük görüntüsünün iki boyutlu hali ile görülebilme imkânını sunmuşlardır. Çalışmada üç önemli dökümlülük parametresine dikkat çekilmiştir. Bunlar; dökümlü haldeki kumaşın yüzeyi, kıvrımların sayısı ve kıvrımların şeklidir. Chu ve arkadaşlarına göre bir kumaşın dökümlülük karakteristiğinden iplik bükümü ve lifin enine kesit morfolojisi tahminlenebilir. Çalışmalarının sonucunda dökümlülüğün genel olarak Young modülü (E), enine kesit atalet momenti (I) ve ağırlığa (W) bağlı olduğunu belirtmişlerdir (Formül 2):

$$\text{Dökümlülük Katsayısı } (\%F) = E I / W \quad (2)$$

Daha sonra Cusick [1, 5], dökümlülük üzerine çalışmalar yapmış ve yeni bir cihaz tasarlamıştır. Bu cihaz günümüzde hala önemli bir değişikliğe uğramadan kullanılmaktadır. Ancak zaman ve emek gerektirmesi, sarf malzemelerinin yüksek maliyeti gibi konular yüzünden günümüzde Cusick dökümlülük ölçerini geliştirme amaçlı çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmaların başında görüntü analizi yöntemi yer almaktadır. Bu yöntem geleneksel Cusick dökümlülük ölçere bir kamera monte edilerek dökümlü haldeki kumaşın görüntüsünü alma esasına dayanır. Ardından, alınan görüntü bilgisayar ortamına aktarılır ve çeşitli programlar ve yazılımlar kullanılarak kumaş dökümlülüğü hesaplanır. Bu sayede tamamen manuel olan kumaş dökümlülük ölçümü elektronikleştirilir ve hata riski azaltılarak maliyet ve zaman kaybı minimize edilir.

## 3. GÖRÜNTÜ ANALİZİ YÖNTEMİ İLE DÖKÜMLÜLÜK ÖLÇÜMLERİ

Son yıllarda objektif ölçüm tekniklerinin gelişmesi ile birlikte kumaşların estetik özelliklerinin önemi artmış-

tır. Dökümlülük, giysinin görünümünde ve konforunda etkili olan önemli tutum özelliklerinden biridir.

Dökümlülük ile ilgili ölçümleri kolay ve hızlı bir hale getirmek için son yıllarda görüntü analizi yöntemleri geleneksel bir dökümlülük ölçere alternatif olarak geliştirilen cihazların esasını oluşturmaktadır. Jeong [6], geleneksel bir dökümlülük ölçere bir bilgisayar, iki monitör, bir kamera ve bir görüntü tablası (dakikada 512x512 piksel çözünürlükte 25 görüntü çekebilen) ekleyerek dökümlülük katsayısını görüntü analizi yöntemi hesaplamıştır (Şekil 1). Çalışmasında dökümlülük katsayısına alternatif olarak dökümlülük-uzaklık oranı (drape-distance ratio) dediği bir parametre geliştirmiş ve bunu da kumaşın dökümlü görüntüsünden elde etmiştir. Daha sonra Jeong ve Phillips [7], görüntü analizi yöntemi kullanarak kumaş yapısının ve mekanik özelliklerinin kumaş dökümlülüğüne etkilerini araştırmış ve ölçümler için dökümlülük-uzaklık oranının standart sapmasını, kumaş dökümlülüğünün değişim katsayısı için parametre olarak kullanmışlardır. Cusick dökümlülük cihazı ile görüntü analizi tekniğini kullanarak kumaşın dökümlülük davranışını inceleyen Robson ve Long [8], bunun için Cusick dökümlülük ölçerin 80 cm yukarısına bir CCD kamera monte ederek kumaşın dökümlülük anını fotoğraflamışlardır. Araştırmalar sonucunda geleneksel kes-tart yöntemi ile görüntü analizi yönteminden elde edilen sonuçlar arasında istatistiksel olarak önemli ilişkiler bulunmuştur. Bununla birlikte, görüntü analizi teknikleri ile kumaşın dökümlülük karakterinin daha hızlı bir şekilde görüleceği belirtilmiştir. Her kumaş için ortalama 30 saniyede dökümlülük katsayısı bulunarak zamandan tasarruf edilmiştir. Benzer bir çalışmada Kenkare ve May-Plumlee [9], klasik Cusick dökümlülük ölçere bir kamera monte ederek görüntü analizi yöntemi ve Adobe Photoshop programı yardımıyla kumaş dökümlülüğünü ölçmüşlerdir. Her kumaş için ortalama dökümlülük katsayısı geleneksel kes-tart yöntemi ve geliştirilmiş dijital yöntemle ölçülmüş ve sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Çalışmalar sonunda geliştirilmiş dijital yöntem ve geleneksel yöntemin sonuçları arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Sonuç olarak, modifiye edilmiş yöntem sağladığı kağıt tasarrufu, kullanıcı hatalarını azaltması ve görüntüleri arşivleyebilmesi gibi sebeplerden dolayı tavsiye edilmiştir.

Willems ve ark. [10], benzer bir çalışmada görüntü analizi yöntemini kullanarak tekstil kompozit takviyelerinin dökümlülük karakterini incelemiştir.



Şekil 1. Dökümlülük ölçümünde kullanılan görüntü analizi sistemini diyagramı [6]

Bazı araştırmacılar dökümlülük katsayısının kumaşın dökümlülüğünü tanımlamak için yeterli olmadığını, dökümlülük katsayısının yanında kumaş dökümlülüğünü etkileyen farklı parametreler de olduğunu ve dökümlülüğün bu parametrelerin hepsi ile ilgili olduğunu savunmuşlardır [6, 11, 23, 25, 26]. Behera ve Pattanayak [11], çalışmalarında dijital görüntü analizi yöntemini kullanarak kumaş dökümlülüğü ölçüm ve modellemesini incelemiştir. Deneylerde kumaş örneklerinin eğilme rijitliğini, gerilmesini ve kayma özelliklerini KES-FB2 ile dökümlülük katsayısını da Cusick dökümlülük ölçere bir CCD kamera bağlayarak ve Matlab programını kullanarak görüntü analizi yöntemi ile ölçmüşlerdir. Çalışma kapsamında dökümlülük katsayısı (*DC*), dökümlülük-uzaklık oranı (*DDR*), kıvrım derinlik endeksi (*FDI*) ve kıvrım çapı (*ARR*) gibi çeşitli parametreler belirlemişlerdir. Dijital görüntü analiz yöntemi ile bulunan dökümlülük katsayısı değeri ile Cusick metodu ile bulunan değer arasında iyi bir korelasyon bulmuşlardır. Ayrıca, eğilme direnci / dökümlülük ve kayma rijitliği / dökümlülük parametreleri arasında güçlü pozitif korelasyonlar, eğilme direnci / kıvrım sayısı arasında negatif korelasyon bulmuşlardır.

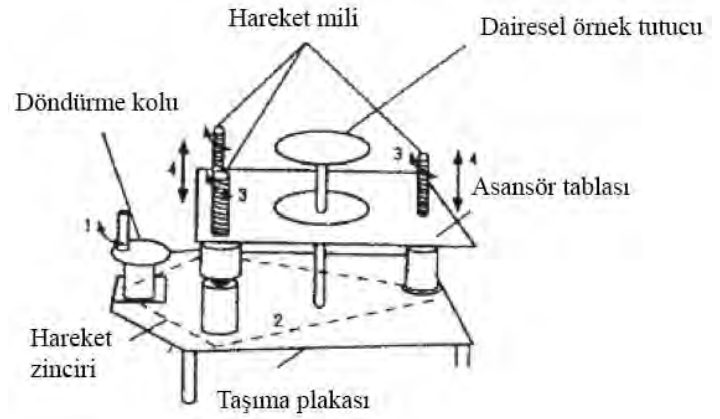
Stylos ve Wan [12], 3D sanal ölçüm sistemini (VMS: Virtual Measurement System) incelemiştir. Bu sistemde kumaşın dökümlülüğü ile ilgili matematiksel bir algoritma geliştirmişler ve kumaştaki kıvrım sayıları, kıvrım varyasyonu ve derinliğini belirleyerek dökümlülük katsayısı ile birlikte hesaplamışlardır. Bu

sistemle sanal dökümlülük katsayısının (Virtual Drape Coefficient) hesabı için 3D tahminlemesini, gerçek dökümlülük katsayısı hesabı için de görüntü analizi yöntemini kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda sanal ve gerçek dökümlülük katsayısı arasında iyi bir uyum bulunmuştur. Görüntü analizi yöntemi kullanan diğer araştırmacıların sistemlerine ek olarak Lo ve ark. [13] dökümlülük görüntüsünü almak için bilgisayar ve fotoğraf makinesinin yanına bir yazıcı ve çizim tahtası eklemiş ve kumaşın dökümlülük profilini Lecia QW görüntü analizi yöntemini kullanarak, polar koordinatlar yardımıyla matematiksel bir model geliştirerek incelemiştir. Bu çalışma ile dökümlülük katsayısı, tepe-çukur pozisyonları, sayıları ve şekilleri hakkında bilgi sahibi olmuşlardır.

Görüntü analizi yöntemi kumaşın dökümlülüğünün değerlendirilmesinde etkili bir yöntemdir. Bu yöntem ile çeşitli kumaş özelliklerinin dökümlülüğe etkisini incelemek de mümkündür. Uçar ve ark. [14], görüntü analizi yöntemini kullanarak dikişli örme kumaşlarda dökümlülük davranışı ile ilgili bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında Vangheluwe ve ark. [15] tarafından geliştirilen görüntü analiz metodunu kullanmışlar ve dökümlülük katsayısını hesaplamışlardır. Bir başka çalışmada Jeong ve Phillips [16], basınçlı dekatür makinasının kumaş dökümlülüğü üzerindeki etkilerini görüntü analizi tekniğini ile incelemiştir. Behera ve Mishra [17], dijital görüntü analizini kullanarak kumaş görünümünün objektif ölçümü üzerinde çalışmışlardır. Kumaşın görünüm endeksini (FAI - Fabric Appearance Index) geliştirmek üzere kumaşın bazı estetik özelliklerini (boncuklanma, dökümlülük, tekstüre ve kırışıklık), ölçen bir bilgisayar sistemi geliştirmişlerdir. Sonuç olarak boncuklanma özelliğinin görünüme yönelik maksimum katkıya sahip olduğunu ve onu kumaş kırışıklığı, dökümlülük ve tekstürenin etkisinin izlediğini belirtmişlerdir.

Mizutani ve ark. [18], çalışmalarında geleneksel dökümlülük makinesini inceleyerek yeni bir dökümlülük ölçüm aleti olan "Dökümlülük Asansörü"nü (Drape Elevator) geliştirmişlerdir (Şekil 2). Bu alet ile dökümlülük sırasında kıvrımların değişimini ve dökümlülük şeklini ölçmeye çalışmışlardır. Mizutani ve arkadaşlarına göre dökümlülük olayı dökümlülüğün doğuşu, gelişmesi ve son aşaması olmak üzere üç aşamadan oluşur. Çalışmalarında yeni bir parametre olarak dökümlülük görüntü değerini ( $R$ ) tanımlamış-

lardır. Kumaşın nicel dökümlülük analizi için  $R$  ve dökümlülük katsayısının kullanışlı parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Dökümlülük Asansörü; 12.7 cm çapında dairesel örnek tutucu, örnek tutucuyu çevreleyen 6 cm genişliğinde asansör tablası, asansör tablasının dikey yönde aşağı ve yukarı hareketini sağlayan döndürme kolu, taşıma plakası, hareket mili ve hareket zincirinden oluşan bir sistemdir. Ölçümün başlangıcında örnek tutucu ve hareketli tabla aynı seviyede olup asansör tablası aşağıya doğru hareket ettirildiğinde kumaş, kendi ağırlığı altında dökümlü hale gelir. Proses boyunca cihazın üst kısmına yerleştirilmiş bir dijital kamera ile dikey olarak görüntü kaydedilir.

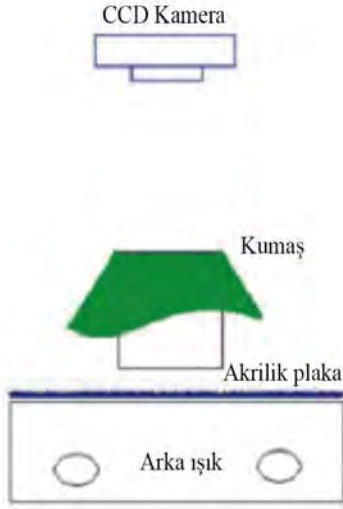


Şekil 2. Yeni geliştirilen Dökümlülük Asansörü (Drape Elevator) [18]

Tsai ve ark. [19], kumaş dökümlülüğü ölçüm cihazını, bir arka ışık sistemi ekleyerek yeniden dizayn etmişlerdir. Kumaş tablası ile arka ışıkların arasına ışığı yansıtması için akrilik bir plaka yerleştirmişler ve üst kısmına da bir CCD kamera yerleştirerek arka ışık yardımıyla oluşturulan görüntünün alınmasını sağlamışlardır (Şekil 3). Dökümlülük konturu bulunduktan sonra konturdaki toplam piksel sayısını hesaplamışlar, bu da kumaş görüntüsünün gerçek alanını ve dökümlü haldeki kumaş alanını bulmak için yeterli olmuştur. Sonuç olarak, bu değerleri kullanarak kumaşın dökümlülük katsayısını hesaplamışlardır.

Sonuç olarak, teknolojinin gelişimine paralel olarak kullanımı yaygınlaşan görüntü analizi yöntemi özellikle son yıllardaki araştırmalarda ön plana çıkmaktadır. Bu yöntem sayesinde daha hassas ve tekrar edilebilirliği yüksek ölçümler yapılabilmekte, daha az deneyimli iş gücüne ihtiyaç duyulmakta, sarf malzemesi

ve zaman gibi maliyeti arttıran etkenlerden tasarruf edilmektedir.



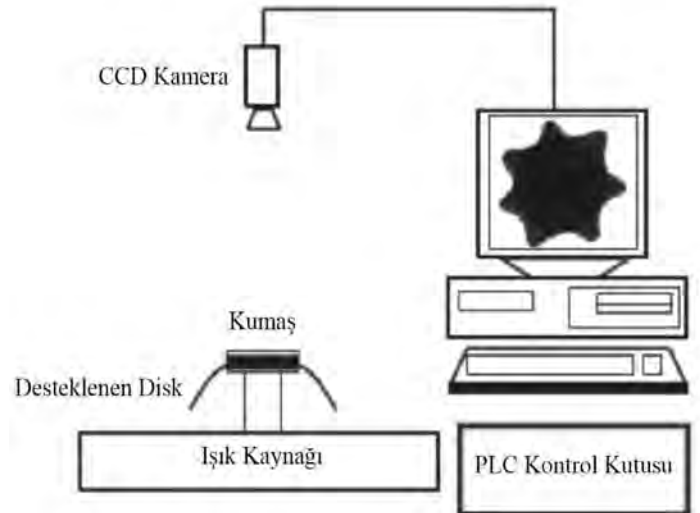
Şekil 3. Arka ışık kullanılarak yeniden dizayn edilen dökümlülük ölçerin sistematik diyagramı [19]

#### 4. Dinamik Dökümlülük Ölçeri Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

1930'lara [2] dayanan kumaş dökümlülüğü ölçümü uzunca bir süre Cusick dökümlülük ölçer [1, 5] yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar sistemlerinin gelişimiyle birlikte dökümlülük ile ilgili çalışmalar bilgisayar ortamında gerçekleştirme fikirleri oluşmaya başlamıştır. Daha sonrasında ise araştırmacılar dökümlülüğü modellendirmeyi ve simüle etmeyi amaçlamışlar ve dinamik dökümlülük ölçümleri ile ilgili çalışmalara yoğunlaşmışlardır. Dinamik dökümlülük ölçümü dökümlü haldeki kumaşın üzerinde bulunduğu tablayı belirli hızlarda hareket ettirerek bu esnada dökümlülük ölçümünü yapmaya imkân sağlayan bir sistemdir. Bu sistem, bir kumaşın giyildiğinde nasıl dökümlü duracağı hakkında fikir sahibi olmak açısından oldukça etkilidir.

Shyr ve ark. [20], doğal lifli dokuma kumaşta yeni geliştirilmiş dinamik dökümlülük ölçüm sistemiyle, dinamik ve statik dökümlülük katsayısını etkileyen temel parametreleri karşılaştırmışlardır. Yeni dinamik dökümlülük ölçüm sisteminde (DDAMS); geleneksel Cusick dökümlülük ölçüm cihazının üst kısmına bir CCD kamera yerleştirilmiş, bilgisayar tarafından otomatik olarak ayarlanan hızı ile dökümlülük tablası otomatikleştirilmiş ve bilgisayarda görüntü analizi ile dökümlülük görüntüsü pikseller halinde ayrılarak

dökümlülük profilinin ölçümü sağlanmıştır (Şekil 4). Çalışmalarında KES-F cihazı ile 16 fiziksel özellik ölçümü yapılmıştır. Sonuç olarak kumaşların statik ve dinamik dökümlülük katsayısının ölçümü için yeni geliştirilen DDAMS, başarılı bir tasarım olmuştur. Deneyle, statik ve dinamik dökümlülük katsayıları arasında değişik hızlarda iyi bağıntılar bulunmuştur. Diğer bir çalışmada Shyr ve ark. [21], subjektif ve objektif değerlendirme metodunu kullanarak dökümlü kumaşın tepe-çukur eşiğinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Kumaşın tepe-çukur sayısını ve dökümlülük katsayısını hesaplamak için dinamik dökümlülük cihazını en yüksek hızda (450 dev/dk) kullanarak kumaşın 19 farklı dinamik dökümlülük görüntüsünü fotoğraflamışlardır. ANOVA ve Duncan analizlerinden sonra kumaşın tepe sayısını belirlemek için 19 aday arasından 13 tutarlı değerlendirici seçilmiş, subjektif tepe sayılarının ortalama değerleri daha sonra tepe-çukur eşiğinin belirlenmesi için temel olarak kullanılmıştır. Dalgalı yapılı bir dökümlülük diyagramı oluşturulmuştur. Dökümlülük profilinde tepe-çukur bölgelerin merkez noktaya olan uzaklığı (0,3 cm) tepe-çukur eşiği olarak belirlenmiştir. Bir dökümlülük ölçerin üst kısmına CCD kamera monte ederek bilgisayarın, dökümlü kumaşın görüntüsünü kaydetmesi sağlanmış ve Adobe Photoshop ve Matlab programları kullanılarak kumaşın dökümlülük görüntüsünden (BMP formatında) piksel sayıları hesaplanarak dökümlülük katsayısı hesaplanmıştır. Çalışmalarının sonucunda artan rotasyon hızı, tepe ve çukurların arasındaki mesafelerin kısalmasına ve tepe sayılarının azalmasına yol açmıştır.



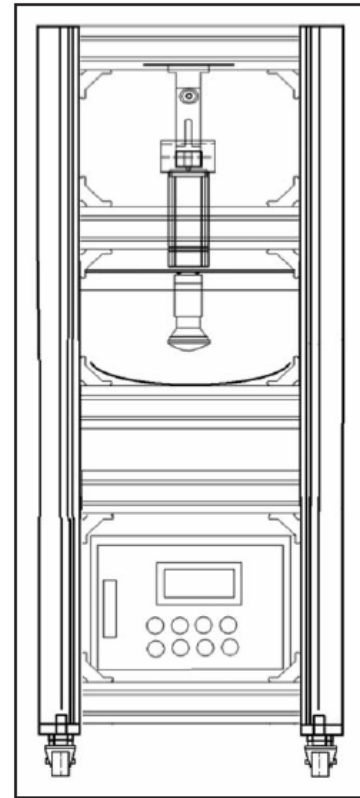
Şekil 4. Dinamik dökümlülük ölçerin sistematik diyagramı [20]



Pek çok araştırmacı ortaya çıkan bu yeni fikir karşısında dinamik dökümlülük ölçer üzerinde çalışmış ve küçük değişiklikler yaparak cihazı modernize etmişlerdir. Matsudaira ve ark. [22], dinamik dökümlülük için dönen dökümlülük artış katsayısı ( $D_r$ ), 200 dev/dk hızla dönen dökümlülük katsayısı ( $D_{200}$ ), sallanma pozisyonunda dinamik dökümlülük katsayısı ( $D_d$ ) gibi bazı yeni parametreler tanımlamışlar ve çalışmalarını Japon standartlarına uygun ve 0 – 240 dev/dk hız ile çalışabilen dinamik dökümlülük ölçerini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Kumaşların statik dökümlülük katsayısı ve kıvrım sayısını formüller yardımıyla hesaplamışlar ve kumaşların dinamik dökümlülük parametreleri için regresyon denklemleri bulmuşlardır. Her tip kumaş çeşidi için dokuma yoğunluğu, iplik bükümü ve iplik numarası değişimi ile dökümlülük katsayılarının değişimini incelemişlerdir. Daha farklı bir çalışmada ise Wang ve Cheng [23], yeni bir otomatik dökümlülük ölçüm sistemi kullanarak yürüyüş sırasında oluşan farklı salınım açılarının kumaştaki dökümlülük davranışı üzerindeki etkilerini incelenmişlerdir. Yeni geliştirilen otomatik dinamik dökümlülük ölçüm sistemi (AMSDD, diğer bir deyişle 4'ü bir arada), 175 dev/dk'ya kadar çıkarılabilen hıza ve ileri, ileri-geri ve sallanma hareketinin oluşturulmasına imkân veren bir sistemdir (Şekil 5). Bu çalışmada kullanılan dört adet dokuma kumaşın (pamuk, keten, ipek, yün) dökümlülük davranışının incelenmesi için yedi farklı dönüş hızı (25, 50, 75, 100, 125, 150 ve 175 dev/dk), iki tip hareket (ileri ve ileri-geri), farklı sallanma hızları (5-45 dev/dk) ve farklı sallanma açıları ( $0^0$ - $90^0$ ) kullanılmıştır. 4'ü bir arada (AMSDD) sistemi; dönebilen örnek tabla, dökümlülük görüntüsünü fotoğraflamak için yerleştirilmiş bir CCD kamera, yürüyüş davranışını simüle eden (ileri, ileri-geri ve salınım hareketi) yedi farklı hıza ayarlanabilen üç çeşit dinamik durum ayarı, kavisli yansıtıcı ayna, akrilik dökümlülük görüntüsü yansıtıcı panel, halojen lamba ve dairesel şablonlardan oluşur.

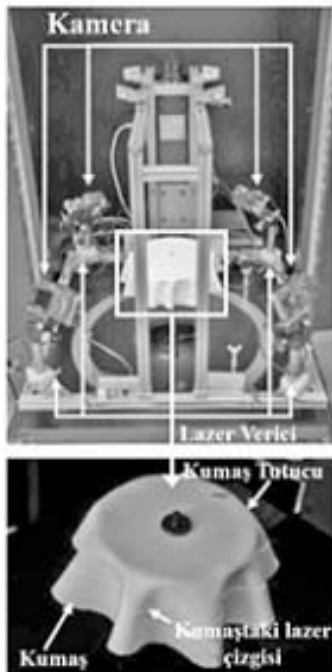
Al-Gaadi ve ark. [24], dökümlülüğün ölçümü ve analizi üzerine yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç, dökümlü kumaşı nispeten daha büyük ölçekli olarak görerek, değişik dökümlülük şekilleri ve farklı dökümlülük özelliklerinin nedenlerini bulmaktır. Çalışmada, iplik bükümünün

dökümlülük davranışı üzerine etkisini incelemişlerdir. Ayrıca, tekstil malzemesinin dökümlülük şekil düzensizliğini açıklamak için “Dökümlülük Düzgünsüzlük Faktörü” (Drape Unevenness Factor -  $DU$ ) tanımlamışlardır. Deneyde kayma ve eğilme özelliklerini KES sistemi ile ve dökümlülük ölçümü Sylvie 3D dökümlülük ölçüm cihazı ile gerçekleştirmişlerdir (Şekil 6). Sylvie 3D cihazı tamamen bilgisayar kontrolünde çalışır ve bilgisayar kontrollü motor, tablayı kaldırır. Bu sayede dökümlülük hızı her seferinde aynı olur ve aynı dinamik etki sağlanır. Ölçüm boyunca cihazın köşelerine yerleştirilmiş 4 lazer vericisi kumaş üzerine lazer çizgileri yansıtır ve köşelere yerleştirilmiş 4 kamera vasıtasıyla lazer vericilerinin üzerinden çizgileri kaydeder. Kameralar ve lazer vericileri ölçüm çerçevesine yerleştirilmiştir. Tarama boyunca ölçüm çerçevesi hareketlidir. Bilgisayar kontrollü cihaz siyah bir kutu içine monte edilmiştir ve bu sayede ölçüm sırasında karanlık bir ortam sağlanmıştır.  $DU$ , fiziksel olarak dalgalı haldeki dökümlü kumaşın düzlemsel izdüşümünün çevresinin dalga boyunun bağıl sapmasıdır. Yüksek kayma ve eğilme rijitliği, yüksek dökümlülük katsayısını beraberinde getirir.



Şekil 5. Dördü bir arada dinamik dökümlülük ölçüm sistemi [23]

Matsudaira ve Yang [25], ipekli dokuma kumaşın geleneksel statik ve yeni dinamik dökümlülük katsayısının özelliklerini incelemişlerdir. Geleneksel statik dökümlülük katsayısını ( $D_s$ ) görüntü analiz sistemiyle yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlikle ölçmüşlerdir. Daha sonra izotropik ve anizotropik kumaşlar için katsayı ile ilgili bir regresyon eşitliği oluşturmuşlar ve bilgisayar simülasyonu ile statik dökümlülük şeklini kantitatif olarak kumaşın temel mekanik parametrelerini analiz etmişlerdir. Kumaşın dinamik dökümlülük davranışını incelemişler ve kumaşın dönen dökümlülük katsayısını niteleyen  $D_r$  parametresi ve sallanan pozisyonlardaki dinamik dökümlülük katsayısını niteleyen bir  $D_d$  parametresi belirlemişlerdir. Çalışmada ipekli kumaşların geleneksel dökümlülük katsayısı ve yeni dinamik dökümlülük katsayısı üzerinde çalışarak kendi regresyon denklemlerini kullanmışlar ve iplik yapısından kumaş yüzeylerini tam olarak ayırt etmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak yeni geliştirdikleri  $D_r$  ve  $D_d$  dökümlülük katsayılarının ipekli kumaşları karakterize etmede geleneksel statik dökümlülük katsayısından ve kıvrım sayısından daha kullanışlı parametreler olduğunu açıklamışlardır.



Şekil 6. Sylvie 3D dökümlülük ölçüm cihazı [24]

Matsudaira ve ark. [26], terbiye işlemleri esnasında polyester kumaşların statik ve dinamik dökümlülük katsayılarının değişimini incelemişlerdir. Dinamik ve

statik dökümlülük katsayılarının ölçümü çok zaman alacağı için bu değerleri tahmin edebilmek için regresyon denklemleri türetmişlerdir. Statik dökümlülük katsayısı ( $D_s$ ), dönen dökümlülük artış katsayısı ( $D_r$ ), 200 dev/dk ile dönen dökümlülük katsayısı ( $D_{200}$ ) ve dinamik dökümlülük katsayısı ( $D_d$ ) için regresyon denklemleri bulmuşlardır. Bitim işlemleri kumaşların kıvrım sayılarını ( $n$ ), dönen dökümlülük artış katsayısını ( $D_r$ ) ve dinamik dökümlülük katsayısını ( $D_d$ ) arttırmıştır. Öte yandan, statik dökümlülük katsayısı ( $D_s$ ) ve 200 dev/dk ile dönen dökümlülük katsayısı ( $D_{200}$ ) bitim işlemleri ile azalmıştır.

Tandon ve Matsudaira [27], kumaşların dökümlülük davranışının tahmini üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında, kumaşların gerekli mekanik özelliklerini KES-F ile ölçmüşlerdir. Ayrıca, dinamik ve statik dökümlülük katsayılarını hesaplamışlardır. Statik ( $D_s$ ) ve dinamik dökümlülük katsayılarının ( $D_r$ ,  $D_d$ ,  $D_{200}$ ) %CV değerleri yüksek olduğu için bunların yerine  $D_r/D_s$  ( $I_r$ ),  $D_d/D_s$  ( $I_d$ ) ve  $I_{200}$  dökümlülük akışkanlık endekslerini kullanmışlardır. Dinamik dökümlülük katsayısını Japon standartlarına göre, 0-240 devir/dk hız seçenekleri olan dinamik dökümlülük ölçer ile ölçmüşlerdir. Çalışmalarının sonucunda KES-F sistemi kullanılarak objektif ölçümlerle dökümlülük katsayısının tahminlenebileceğini belirtmişlerdir.

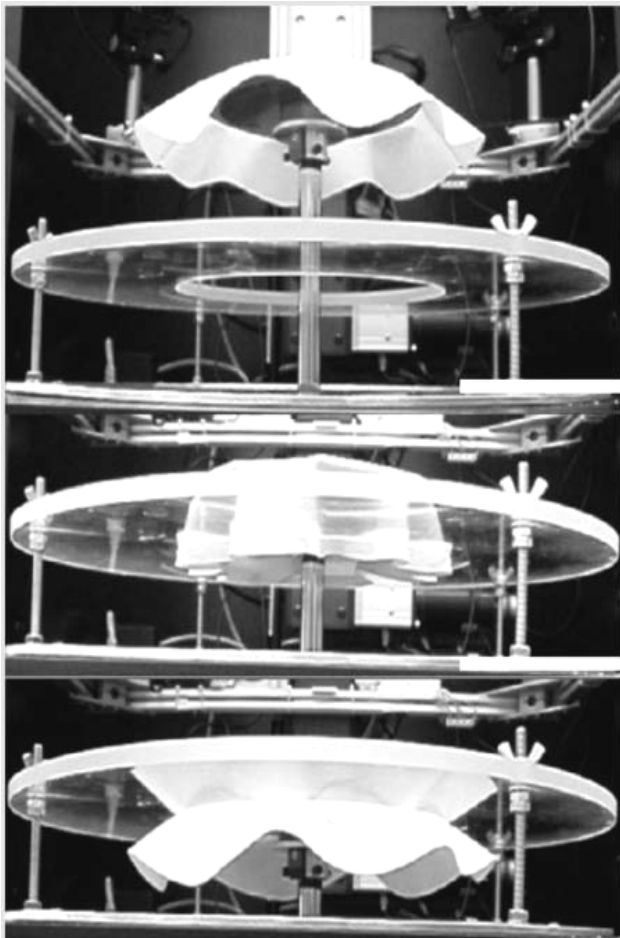
Pratihari [28], kumaşın dökümlülük davranışını incelemiş ve bu kapsamda çeşitli kumaş parametrelerini araştırmıştır. Çalışmasında deneyde Plakom Digital Planimeter'i (Japonlar tarafından yeni geliştirilen dökümlülük ölçüm cihazı) kullanarak kumaşın dökümlülüğünü hesaplamış ve kumaşın eğilme özelliklerini Shirley Stiffness test cihazı ile ölçmüştür. Kumaşların dökümlülük katsayılarını 5 farklı hızda (0, 25, 75, 125, 175 dev/dk) ölçmüş ve farklı hızlarda kıvrım sayılarını belirlemiştir. Sonuç olarak, hız arttıkça dökümlülük katsayısı ve kumaştaki kıvrım sayısının arttığı, dökümlülük katsayısı arttıkça da kumaştaki kıvrım sayısının arttığı görülmüştür.

## 5. FARKLI YAKLAŞIMLARLA KUMAŞ DÖKÜMLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜMÜ

Cusick dökümlülük ölçeri ve bunu esas alan görüntü analizi yöntemlerinin dışında kumaşların dökümlülük davranışlarını farklı yöntemlerle de inceleyen pek çok çalışma bulunmaktadır. Kumaş dökümlülüğü için



elastik halka teorisini esas alan ve bir model geliştiren Stump ve Fraser [29], çalışmalarında iki boyutlu halka teorisine dayanan basitleştirilmiş tekstil kumaş dökümlülüğünün modelini, dökümlülük ölçerin dairesel geometrisine uygulamışlardır. Kumaş özellikleri ve dökümlülük geometrisini içeren materyal parametrelerini belirlemişler ve bir dizi deforme halkanın içinde bulunan enerjiyi kullanarak dökümlülüğü karakterize etmişlerdir. Al-Gaadi ve ark. [24], kumaş dökümlülüğünün ölçümünde halka prensibine dayalı dökümlülük ölçüm cihazını kullanmışlardır. Çalışmada yukarı ve aşağı hareketi sağlayan tabla üzerinde bulunan dökümlü haldeki kumaşlar değişik çaplarda (210 mm, 240 mm, 270 mm, 300 mm) halkaların içinden geçirilerek belirli zamanlarda dökümlülükleri görüntülenmiştir (Şekil 7). Bu sayede fotoğraflanan kumaşta dökümlülük düzgünlük faktörü ( $DU$ ) ve dökümlülük katsayısı ( $DC$ ) hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda veriler istatistiksel olarak Student t-testi ve F-testleri ile değerlendirilmiştir.



Şekil 7. Halka prensibine dayalı dökümlülük ölçüm cihazı [24]

Bazı araştırmacılar kumaşların dökümlülük ve eğilme özelliklerini yapay sinir ağları ile modellemişlerdir. Bu yöntem kumaşların dökümlülük derecesi ve dökümlülük özelliklerini belirlemede etkili bir araçtır. Pattanayak ve ark. [30], yapay sinir ağları ve çoklu regresyon yöntemini kullanarak pamuklu dokuma kumaşın dökümlülük parametreleri hakkında tahminde bulunmuşlar ve bu amaçla kumaş dökümlülük parametreleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Kumaşların dökümlülük parametrelerini geliştirilmiş dijital görüntü analizi tekniğiyle, düşük yük altındaki mekaniksel özelliklerini ise KES cihazı ile ölçmüşlerdir. Dökümlülük parametrelerini, çoklu regresyon ve ileri beslemeli yapay sinir ağları tekniklerini kullanarak modellemişler ve düşük hata yüzdesi vermesinden dolayı yapay sinir ağları metodunun daha kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir. Stylos ve Powell [31], yapay sinir ağları kullanarak kumaş dökümlülüğü ve kıvrım sayısı, kıvrım derinlik indeksi ve kıvrım düzgünlüğü arasındaki ilişkiyi modellemişlerdir. Ek olarak dökümlülük özellikleri ve kumaş eğilme direnci, kayma ve ağırlığı arasındaki ilişkileri de yapay sinir ağlarını kullanarak modellemişlerdir. Sistemin doğruluğu %83'ün üzerinde bulunmuştur. Fan ve ark. [32], çalışmalarında bulanık-yapay sinir ağı kullanarak değişik kumaş ve modellerde üretilmiş giysilerdeki dökümlülük görüntüsünü tahminlemiş ve görüntülemişlerdir.

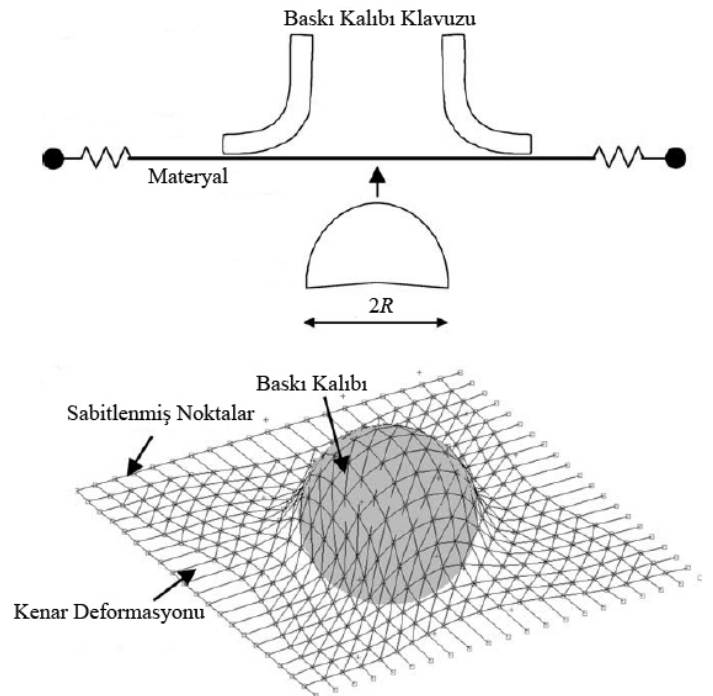
Fisher ve ark. [33], dokuma kumaşların deformasyon davranışlarını açıklamak için kabuk teorisini esas alarak kumaşların dökümlülük davranışlarını simülasyon tekniği ile belirlemeye çalışmışlardır. Başka bir çalışmada Breen ve ark. [34], etkileşimli parçacıklar tekniğini kullanarak dokuma kumaşın dökümlülüğünü incelemişlerdir. Çalışmalarında süreç yaklaşımından ziyade etkileşimli parçacıklar ile dokuma kumaşın mikro yapısını açıkça temsil eden teorik bir modelden yararlanmışlardır. Giysinin dökümlülük davranışını modellemek için KES cihazı kullanılarak elde edilen deneysel veriler ve modelin enerji denklemleri yardımıyla bir model geliştirmişlerdir.

Çoklu lineer regresyon modelini öneren başka bir çalışmada Okur ve Cihan [35], kumaşlarda dökümlülük katsayısını FAST cihazından elde edilen objektif

verilerle tahminlemişlerdir. Korelasyon analizi için SPSS programını kullanmışlar ve Cusick dökümlülük ölçerden elde edilen dökümlülük katsayısı ve FAST sistemi ile tespit edilen mekanik özellikleri incelemişlerdir.

Sonlu elemanlar tekniğini kullanarak dökümlülüğü inceleyen çalışmalarda ise bu tekniğin kompozit malzemenin dökümlülüğünü belirlemede etkili olduğu belirtilmiştir. Tahal ve ark. [36], sonlu elemanlar tekniğini kullanarak çift eğrilik modülleri üzerinde dokuma kumaşların dökümlülük davranışı hakkında bir tahminleme yapmışlardır. Çalışmalarında ince tekstil kompozit ile birlikte jüt ve cam lifi kullanmışlardır. Çift eğrilik modülü normal bir dökümlülük ölçerden farklı bir yapıya sahiptir ve kompozit malzeme üretim tekniğine benzer yapıdadır. Bir kamera, pozitif kalıp, negatif kalıp, piston, iki adet kol, şeffaf yüzey, örgülü yüzey ve kılavuz milinden oluşan bir sistem ile dökümlülük ölçümü yapılarak kumaşın kayma davranışı ve eğilme rijitliği hakkında tahminleme yapılmıştır. Kaplama faktörü arttıkça, kayma dayanımı artmış ve dolayısıyla kötü bir dökümlülük elde edilmiştir. Sharma ve Sutcliffe [37], dokuma kumaşta kompozit malzemenin dökümlülüğü için basitleştirilmiş sonlu elemanlar modelini geliştirmişlerdir. Geliştirilen model başlıca iki yaklaşımın (kinematik modelleme ve kapsamlı sonlu elemanlar modelleme) ortasında yer alır. Araştırmacılar yaklaşımda basit birim hücre tekniğini kullanmışlardır. Çalışmada kumaş basit kafes elemanları ağı ile modellenmiş ve malzemenin kayma rijitliğini simüle etmek için yumuşak elemanlar ile uç uca bağlanmış köşegenler kullanılmıştır (Şekil 8). Materyali temsil etmesi için uzunluğu  $D$  olan deforme olmamış kare şeklinde bir birim hücre oluşturulmuştur. Belirlenen materyal özellikleri birim hücre üzerinde formüle edilmiştir. Çekme testleri çapraz yönde yapılmıştır. Sonuç olarak, basitleştirilmiş sonlu elemanlar modeli kompozit malzemelerin dökümlülük davranışını belirleyebilmek için tavsiye edilmiştir. Termona [38], dokusuz yüzey kumaşların dökümlülük ve eğilme özellikleri için kafes modeli geliştirmiştir. Modelde ilk önce belirlenmiş vektör boyunca bir lifi, kafesin üzerine yerleştirmiş ve bu işlemi belirlenen hacime gelene kadar diğer lifler için de tekrar etmiştir. İşlem lif şeritlerinin iki çeşit ağ oluşumuna olanak

vermiştir (serbest olmayan şeritler ve tamamen serbest şeritler). Çeşitli matematiksel hesaplamaların sonucunda kafes modelinin eğilme rijitliğini  $E_f d^2$  olarak bulmuştur. Çalışmanın sonunda, kafes modelinin dokusuz yüzey kumaşların eğilme rijitliğini etkileyen faktörleri kontrol etmede etkili bir yöntem olduğunu belirtmiştir. Bir başka çalışmada Sze ve Liu [39], kumaş dökümlülüğü için parçacık bazlı eş dönme modeli üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında, sonlu eleman analizlerindeki küçük germe problemleri için eş dönme yaklaşımını ve yaygın olarak kullanılan varsayımları elastik enerjiyi formüle etmek için kullanmışlardır. Öncelikle, geleneksel yöntemleri kullanarak kumaşların eğilme ve kayma özelliklerini ölçmüşlerdir. Newton-Raphson metodu tek boyutlu örnek için iyi bir sonuç çıkarmış olmasına rağmen üç boyutlu dökümlülük için yetersiz kalmıştır. Daha sonra üç boyutlu dökümlülüğü açıklayabilmek için daire şeklinde bir masa üzerine dökümlü olacak şekilde daire şeklinde bir kumaş, daire şeklinde masa üzerine dökümlü olacak şekilde kare şekilli bir kumaş, kare şeklinde masa üzerine dökümlü olacak şekilde kare şekilli bir kumaş yerleştirmişlerdir. Daire şeklindeki masa etrafına dökümlü olacak şekilde yerleştirilmiş kare ve daire şekilli kumaşlarda kıvrım sayıları sallanan kumaş uzunluklarının azalmasıyla artmıştır.

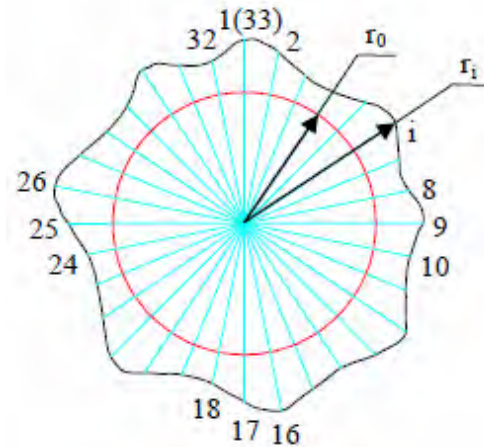


Şekil 8. Kompozit malzemenin dökümlülük simülasyonu [37]

Parçacık sistemlerinde basit doğrusal eğilme direncini araştıran ve bir model geliştiren Volino ve Magnenat-Thalmann [40], çalışma kapsamında basit, düşük maliyetli ve nicel olarak eğilme sertliğini temsilen oldukça iyi bir doğruluğa sahip alternatif bir yaklaşım önermişlerdir. Yaklaşımında; parçacık pozisyonlarının basit doğrusal kombinasyon doğrultusunda yüzeydeki eğilmeyi temsilen eğilme vektörü hesaplanmış ve sonra bu vektörü yüzey eğilme sertliğine bağlı olarak parçacık kuvvetler şeklinde yeniden paylaştırılmıştır.

3D vücut taraması, bilgisayar ortamında vücut ölçüleri alınan insanda bir giysinin vücutta nasıl duracağı hakkında fikir edinilmesi açısından etkili bir yöntemdir. Kenkare ve ark. [41], kumaşların dökümlülük simülasyonunun doğruluğunu arttırmaya yönelik 3D vücut taraması kullanarak kumaş dökümlülüğünün ölçümü üzerine yeni bir teknik geliştirmişlerdir. Her dökümlülük görüntüsünün  $0^0$  ve  $90^0$  görüntülerini vücut tarayıcı ile çekmişler ve tam bir görüntüde birleştirmişlerdir. 3D vücut tarayıcı ile alınan dökümlü kumaş görüntülerinden elde edilen dökümlülük katsayısını Cusick cihazı ile bulunan dökümlülük katsayısı ile karşılaştırmışlar ve oldukça yüksek bir korelasyon elde etmişlerdir. Dai ve ark. [42], çalışmalarında birkaç şekil parametresini, kumaşın mekanik özelliklerini ve yapı modeli tahminlemesini kullanarak kumaş dökümlülüğü için yeni bir model tasarlamışlardır. Bu teknik ile giysinin 3 boyutlu dökümlülüğünü görselleştirmişler ve etek olarak simüle edebilmişlerdir. Bu model sayesinde 3D etek görünümü gibi 3D kumaş dökümlülük görüntüsü görselleştirilmiştir. Geometrik model kıyafetin dökümlülüğünü basit, hızlı ve detaylı bir şekilde simüle etmede başarılı olmuştur. Pandurangan ve ark. [43], özel bir yazılım kullanarak (Modulate<sup>TM</sup>) dökümlülük simülasyonunu iyileştirmişlerdir. Deney aşamasında, gerçek kumaşlardaki gibi, parçacık modeli dökümlülük simülasyonunun da eğilme rijitliği parametresinin değişiminden etkilendiği vurgulanmıştır. Çalışmada, kumaş örneklerinin eğilme rijitliği değerleri KES cihazı ile ölçülmüştür. Daha sonra 3D tarayıcı kullanılarak dökümlülük simülasyonları değerlendirilmiştir. Çeşitli testler sonucu simülasyonun gerçek dökümlülük görüntüsü ile iyi bir

eşleşmeye sahip olduğunu ortaya konmuştur. Ngoc ve Anh [44], çalışmalarında dökümlülük katsayısı ve dökümlülük profili analizi ile ilgili deneysel yöntem kullanarak kumaş ve etek dökümlülüğü üzerine bir araştırma yapmışlardır. Eteğin dökümlülüğünü V-stitcher 3D simülasyon yazılımını kullanarak incelemişlerdir. Kumaş örneğinin dökümlülük profilini ölçmek için x-y koordinat sistemini baz alan bir metod geliştirmişlerdir. Bu metoda göre dökümlü haldeki kumaşın görüntüsünü merkezinden 32 eşit parçaya bölmüşlerdir (Şekil 9). Kıvrım yer değiştirme eğrisi üzerinde x-y koordinat sistemi yerleştirmişler ve burada x eksenini 1'den 33'e kadar ( $0-2\pi$  radyan) olan açıları niteleyen kıvrım pozisyonları ve y eksenini de kıvrımın derinliğini  $[r_i-r_0]$  temsil edecek şekilde nitelendirmişlerdir. Kumaşın 3D dökümlülüğünü inceleyebilmek için hazır bir mankene etek giydirmişler ve dökümlülük profilinin ön, yan ve arka görüntüsünü dijital kamera ile çekmişlerdir.



Şekil 9. Kumaşın dikey görünümü [44]

Çalışmalarında parçacık tabanlı modellemeyi kullanan Kim ve Chi [45], bu modeli dökümlülük simülasyonu için hızlı hesaplama ve kolay uygulanabilirliği sayesinde tercih edilebilir bir yöntem olarak önermişlerdir. Simülasyon sonuçları ve KES-FB'den alınan sonuçlarda birbirine yakın sonuçlar elde etmişler ve 3D giysi dökümlülük simülasyonunu her çeşit giysi tipi dökümlülük ve tasarımı için kullanışlı bir yöntem olarak tanımlamışlardır.

## 6. EĞİLME DİRENCİ İLE DÖKÜMLÜLÜĞÜN İLİŞKİSİ

Pek çok araştırma kumaşların dökümlülük ve eğilme direnci parametrelerinin doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Araştırmacılar çeşitli regresyon denklemleri, bağıntılar, yöntemler ve deneyler ile bu iki parametre arasındaki ilişkiyi sayısallaştırmaya çalışmış ve sonuç olarak çok iyi korelasyonlar elde etmişlerdir.

Kumaşların mekanik özellikleri ile ilgilenen Hu ve Chan [46], Cusick dökümlülük ölçer ve KES-F cihazlarını kullanıp kumaş örneğinin atkı ve çözgü yününde ölçümler yapmışlardır. Dört adet regresyon modeli geliştirmişler ve bulunan bu modellere göre kumaşın dökümlülük katsayısını en iyi şekilde tahminleyerek parametreler arasında istatistiksel bir ilişki bulabilmek için SPSS programını kullanmışlardır. Sonuç olarak, kumaşın dökümlülük katsayısı ve eğilme direnci arasında güçlü bir korelasyon elde etmişlerdir.

Kumaşların eğilme ve dökümlülük özellikleri çeşitli cihazlar yardımıyla ölçülüp denklemler kullanılarak hesaplanabilmektedir (Formül 3-5). Süle [47], çalışmasında atkı ipliği numarasının, atkı ipliği sıklığının ve çözgü geriliminin dokuma kumaşların eğilme ve dökümlülük özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada kumaşların dökümlülük katsayıları Cusick dökümlülük ölçeri ve kumaşların eğilme dirençleri de Shirley eğilme ölçeri kullanılarak ölçülmüştür. Kumaşların eğilme rijitlikleri ve dökümlülük katsayıları arasında farklı çözgü gerilimleri açısından yüksek korelasyon katsayıları (0,86 – 0,96) bulunmuştur.

Kumaşın eğilme rijitliği  $G$ , eğilme uzunluğu  $C$ , gramajı  $W$ , atkı ve çözgü eğilme direnci  $G_a$  ve  $G_ç$ , atkı ve çözgü eğilme uzunluğu da  $C_a$  ve  $C_ç$  olmak üzere;

$$G = 0,1.W.C^3 \quad (3)$$

olarak hesaplanır. Kumaşın genel eğilme dayanımı  $G_0$  olmak üzere;

$$G_0 = \sqrt{G_a \cdot G_ç} \quad (4)$$

dir. Dökümlülük katsayısı  $D$ , kumaş örneğinin görüntülenilen alanı  $AP$  esas alınarak hesaplanır. Örneğin, gölgesinin alanı  $AS$  ve desteklenen diskin alanı  $AD$  olmak üzere dökümlülük katsayısı;

$$D = 100 \times \frac{(AP - AD)}{(AS - AD)} \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir.

Kumaş dökümlülüğü ve eğilme direnci arasındaki ilişkiyi inceleyen ve bu iki parametrenin birbiri ile bağlantılı olacağını belirten bir başka çalışmada ise Seram ve Rupasinghe [48], dikişli ve düşük gramajlı dokuma kumaşlarda eğilme rijitliğinin dökümlülük katsayısına etkilerini incelemiştir. Çalışmada, üç farklı yönde dikişli kumaşlarda (atkı, çözgü ve çapraz yön) incelenen bu parametreler ile ilgili denklemler tanımlanmış, dikişin bu parametreler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deney için kumaşların eğilme rijitlikleri Shirley eğilme direnci test cihazı kullanılarak ve dökümlülük katsayıları da Cusick dökümlülük ölçeri kullanılarak hesaplanmıştır. Benzer bir çalışmada Hu ve ark. [49], dikişlerin kumaş dökümlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Dikey yöndeki dikişte kumaşın eğilme uzunluğunun dikiş toleransı ile arttığı ve daha sonra dikiş toleransının artmasıyla sabit kaldığını gözlemişlerdir. Çalışmanın sonunda, dikişli kumaştaki dökümlülük davranışının dikişsiz kumaşa göre çok daha karmaşık olduğu ortaya konulmuştur. Dikiş pozisyonları, tipleri, yapıları, yönleri ve test yöntemleri sonuçları etkileyen parametrelerdir.

Dokuma kumaş anizotropisinin dökümlülük davranışı üzerindeki etkilerini inceleyen Sidabraite ve Masteikaite [50], test örneklerinde farklı yönlerdeki eğilme rijitliğini değerlendirmişlerdir. Eğilme rijitliğinden dolayı dokuma kumaşların anizotropi seviyesini temsil etmesi ve polar diyagramlar oluşturmak için FAST-2 cihazını kullanarak 12 değişik yönde eğilme uzunluğunu ölçmüşler ve eğilme rijitliğini hesaplamışlardır. Ayrıca dökümlü haldeki kumaşın kenar uzunluklarını 24 farklı yönden ölçmüşlerdir. Çalışma kapsamında kumaşların dökümlülükleri görüntü analizi yöntemi kullanılarak ölçülmüştür.



Sonuç olarak, 12 yönden ölçülen eğilme rijitliğinin, kumaşın dökümlülük profili ve dökümlülük katsayısını belirlemek için iyi bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur.

Kumaşların dökümlülüğünün değerlendirilmesinde dökümlülük parametreleri ve kumaşların mekanik özellikleri büyük ölçüde etkiye sahiptir. Kenkare ve May-Plumlee [51], kumaşın dökümlülük karakteristiği üzerine bir değerlendirme yapmış ve sonuç olarak, eğilme, kayma ve uzama özelliklerinin dökümlülük katsayısına etkilerini göstererek dökümlülük ölçümünün giysilik kumaşlar için önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir. Kumaşların mekanik özelliklerinin dökümlülük ve tutumu nasıl etkilediğini araştıran Frydrych ve ark. da [52] dökümlülük katsayısı ve kumaşın şekil alabilirliğini ve şekil alabilirlik katsayısını etkileyen mekanik özellikleri arasında korelasyon bulmaya çalışmışlardır. Çalışmalarında dökümlülüğe en çok etki eden parametreleri eğilme rijitliği (özellikle atkı yönünde  $B_{OW}$ ), başlangıç gerilme modülü  $C_{OW}$  (özellikle çözgü yönünde  $C_o$ ) ve kumaş şekil alabilirliği (özellikle atkı yönünde  $F_{FW}$ ) olarak bulmuşlardır.

Bazı çalışmalarda da kumaş mekanik özelliklerinin zamanla değişebileceği belirtilmiştir. Lojen ve Jevnik [53], kumaş dökümlülük parametrelerinin (dökümlülük katsayısı, kıvrımlar, eğilme rijitliği, örnek çapı ve ölçümün tekrarlanabilirliği) uzun zaman periyotlarında değişimlerini analiz etmişlerdir. Deneyler için 8 tip dokuma kumaş kullanılmıştır. Dört farklı zaman periyodu (2, 4, 6 ve 24 saat sonra) ile Cusick dökümlülük ölçer ve görüntü analiz tekniğini kullanarak kumaşların dökümlülük katsayısı ve dökümlülük parametrelerini (kıvrımları sayısı, maksimum ve minimum genlikleri), FAST kullanarak da kumaşların eğilme rijitliğini hesaplamışlardır. Deneyler sonucunda zamana bağlı olarak parametrelerin değişimini ve dökümlülük katsayısı - eğilme rijitliği, dökümlülük katsayısı - maksimum/minimum genlikleri arasında bağlantılar bulmuşlardır.

Kumaş eğilme direnci ve dökümlülüğünü ölçmek için yeni bir test metodu geliştiren Sun [54], bir mesnet üzerine artı işareti şeklinde yerleştirilen ve üzerine bir ağırlık konarak desteklenen şerit şeklindeki dört parça

kumaş numunesi üzerinden eğilme direnci ve dökümlülük ölçümleri gerçekleştirmiştir (Şekil 10). Her bir şerit 2,5 cm genişliğinde ve 5 cm uzunluğundadır. Dikdörtgen blok şeklinde tasarlanan mesnetin dört tarafına cetveller yerleştirilmiş ve dikdörtgenin her yüzeyine milimetre ölçekli gönye yerleştirilmiştir. Sarkan şeritlerin x ve y koordinatları ölçülerek dökümlülük açıları belirlenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak da atkı ve çözgü şeritlerinin dökümlülükleri hesaplanmıştır. Çalışmada, eğilme direnci değerleri Peirce'nin formülü (Formül 1) kullanılarak geleneksel yöntemle ve FAST-2 eğilme direnci ölçeri kullanılarak ölçülmüştür. Shirley eğilme direnci ölçeri ve FAST-2 eğilme ölçeri kullanılarak bulunan sonuçlar ile yeni sonuçlar arasında güçlü bir korelasyon olduğu görülmüştür. İyi bir sonuç için ölçümden önce bir dakika boyunca beklenerek kumaşın oturması sağlanmalıdır. Bu yöntemde, kullanılan kumaşın boyutları küçük olduğundan kumaş firesi azdır. Ancak kumaşın sertlik ve yumuşaklığına bağlı olarak şerit uzunluğu 7,5 cm'e çıkarılmalı veya 2,5 cm'e düşürülmelidir.



Şekil 10. Yeni kumaş sertlik ölçeri [54]

Kumaş konforu giysi seçiminde önemli faktörlerden biri olup tüketici bir giysiyi beğendiğinde renk, model ve konfor o giysinin ilk olarak gözüne çarpan özelliklerindedir. Spor giyim uygulamalarında ise giysi seçiminde konfor isteği ön plana çıkmaktadır.

Filgueiras ve ark. [55], çalışmalarında spor giyim uygulamalarında örme kumaşlarda polyester-fonksiyonel lif karışımlarının dökümlülük özelliklerine etkisini incelemiştir. Polyester lif karışımı kullanılarak farklı yüzeylerde fonksiyonel liflerle (Outlast, Dry release, Aquator, Polybutylene terephthalate, Bioactive) çeşitli örme kumaşlar üretilmiştir. Bu farklı karışimli kumaşların dökümlülük katsayıları ve eğilme dirençleri standartlara uygun olarak ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Araştırmaların sonucunda dökümlülük katsayısı ve eğilme direnci değişimleri açıklanmış, dökümlülük ve eğilmenin hareket esnasında (örneğin bir futbolcu için) pozitif etki, rahat hareket ve konforu artırma açısından önemli parametreler olduğu vurgulanmıştır.

Bir başka çalışmada Agraval [56], kıvrım parametrelerinin bilgisayar yazılımı kullanılarak kavranması üzerine çalışmıştır. Kamera ile elde edilen dökümlü kumaş görüntüsünden Makromedia Flash Player yazılımını kullanarak kıvrım sayılarını elde etmiştir. Kumaşların eğilme uzunluğunu, eğilme modülünü, bükülme rijitliğini Shirley sertlik ölçer ile ölçmüştür. Kıvrım parametreleri ve eğilme özellikleri ile yapısal özellikler arasında yüksek korelasyon elde edilmiştir.

## 7. SONUÇ

Dökümlülük ve eğilme, kumaşın en önemli görünüm ve mekanik özellikleri arasındadır. Bu özelliklerin ölçümleri için kullanılan ve 1930'lu yıllardan bu yana fazla bir değişikliğe uğramayan geleneksel yöntemler özellikle son yıllarda teknolojinin gelişimine paralel bir şekilde gelişmiştir. Günümüzde dökümlülük ölçümlerinin geliştirilmesi için en çok görüntü analizi yöntemleri kullanılmaktadır [6-19]. Burada esas olarak geleneksel dökümlülük ölçerinin üst tarafına görüntü almaya yardımcı olan bir kamera düzeneği ilave edilerek sarf malzemesi, zaman, işçilik gibi maliyet unsurları en aza indirilmekte ve deneylerin hassasiyeti ve tekrarlanabilirliği arttırılmaktadır.

Özellikle son zamanlarda, kullanıcıların kalite beklentilerinin ve konfor algılarının değişmesi sonucunda kumaşların dökümlülük özelliklerini sadece bir ölçüm düzeneği ile statik olarak ölçmek yetersiz hale gelmiştir. Kumaşların giysi haline getirildikten sonra kulla-

nım sırasındaki davranışlarının da tahminlenebilmesi amacıyla dinamik dökümlülük ölçümlerini esas alan çalışmalar ön plana çıkmıştır. Bu çalışmalar [20-28], genel olarak geleneksel dökümlülük ölçerinin kumaş tablasının farklı yönlerde ve devirlerde hareketini esas alan ve görüntü analizi teknikleriyle desteklenen yeni yöntemler geliştirilmesi şeklinde sürdürülmektedir.

Tüm bu gelişmelere paralel olarak dokusuz yüzey ve tekstil takviyeli kompozit malzemelerin kullanımlarının yaygınlaşması ile farklı dökümlülük ölçüm yöntemlerinin geliştirilmesi çalışmaları gündeme gelmiştir [29-45]. Bu çalışmalar genel olarak görüntü analizi yöntemleriyle elde edilen görüntülerin sonlu elemanlar, yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi modern yöntemler kullanılarak değerlendirilmesine dayanmaktadır.

Literatür incelendiğinde kumaşların dökümlülük ve eğilme özellikleri arasındaki ilişkiler inceleyen pek çok çalışma olduğu görülmektedir [46-56]. Bu çalışmalarda genel olarak kumaşların eğilme ve dökümlülük özellikleri arasında istatistiksel açıdan çok yakın ilişkiler olduğu ifade edilmektedir [46-56]. Çoğunlukla, dökümlülük özellikleri geleneksel kesip-tartma veya görüntü analizi teknikleri kullanılarak ve eğilme özellikleri de geleneksel Shirley eğilme direnci ölçeri veya KES, FAST gibi cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Kalite ve konfor algıları zaman içerisinde yeniden şekillendikçe kumaşların dökümlülük ve eğilme özellikleri araştırmacıların ilgisini çekmeye devam edecek ve gelişen teknolojiye paralel olarak farklı yöntemler ortaya çıkacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Cusick G.E., (1965), *The Dependence of Fabric Drape on Bending and Shear Stiffness*, Journal of the Textile Institute, 56, 11, 596-606.
2. Peirce F.T., (1930), *The Handle of Cloth as a Measurable Quantity*, Journal of the Textile Institute, 21, 9, 377-416.
3. Chu C.C., Cummings C.L., Teixeira N.A., (1950), *Mechanics of Elastic Performance of Textile Materials Part V: A Study of the Factors Affecting the Drape of Fabrics - The Development of a Drape Meter*, Textile Research Journal, 20, 8, 539-548.
4. Chu C.C., Platt M.M., Hamburger W.J., (1960), *Investigation of the Factors Affecting the Drapability of Fabrics*, Textile Research Journal, 30, 1, 66-67.



5. Cusick G.E., (1968), *The Measurement of Fabric Drape*, Journal of the Textile Institute, 59, 6, 253–260.
6. Jeong Y.J., (1998), *A Study of Fabric-drape Behavior with Image Analysis Part 1: Measurement, Characterization, and Instability*, Journal of the Textile Institute, 89, 1, 59–69.
7. Jeong Y.J., Phillips D.G., (1998), *A Study of Fabric-Drape Behavior with Image Analysis Part 2: The Effects of Fabric Structure and Mechanical Properties on Fabric Drape*, Journal of the Textile Institute, 89, 1, 70-79.
8. Robson D., Long C.C., (2000), *Drape Analysis Using Imaging Techniques*, Clothing and Textiles Research Journal, 18, 1, 1–8.
9. Kenkare N., May-Plumlee T., (2005), *Fabric Drape Measurement: A Modified Method Using Digital Image Processing*, Journal of Textile and Apparel Technology and Management, 4, 3, 1–8.
10. Willems A., Lomow S.V., Verpoest I., Vandepitte D., (2009), *Drapeability Characterization of Textile Composite Reinforcement Using Digital Image Correlation*, Optics and Lasers in Engineering, 47, 343-351.
11. Behera B.K., Pattanayak A.K., (2008), *Measurement and Modeling of Drape Using Digital Image Processing*, Indian Journal of Fiber and Textile Research, 33, 230-238.
12. Stylos G.K., Wan T.R., (1999), *The Concept of Virtual Measurement 3D Fabric Drapeability*, International Journal of Clothing Science and Technology, 11, 1, 10-18.
13. Lo W.M., Hu J.L., Li L.K., (2002), *Modeling a Fabric Drape Profile*, Textile Research Journal, 75, 2, 454-463.
14. Uçar N., Kalaoğlu F., Bahtiyar D., Bilaç O.E., (2004), *Investigating the Drape Behavior of Seamed Knit Fabrics with Image Analysis*, Textile Research Journal, 74, 2, 166-171.
15. Vangheluwe L., Kiekens P., (1993), *Time Dependence of the Drape Coefficient of Fabrics*, Institute Journal Textile Science Technology, 5, 5-8.
16. Jeong Y.J., Phillips D.G., (2001), *Effect of Pressure Decatizing on Fabric Drape*, Textile Research Journal, 71, 5, 415-419.
17. Behera B.K., Mishra R., (2006), *Objective Measurement of Fabric Appearance Using Digital Image Processing*, The Journal of the Textile Institute, 97, 2, 147-153.
18. Mizutani C., Amano T., Sakaguchi Y., (2005), *A New Apparatus for the Study of Fabric Drape*, Textile Research Journal, 75, 1, 81-87.
19. Tsai K.H., Tsai M.C., Wang P.N., Shyr T.W., (2009), *New Approach to Directly Acquiring the Drape Contours of Various Fabrics*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 17, 3 (74), 54-59.
20. Shyr T.W., Wang P.N., Cheng K.B., (2007), *A Comparison of the Key Parameters Affecting the Dynamic and Static Drape Coefficients of Natural-Fibre Woven Fabrics by a Newly Devised Dynamic Drape Automatic Measuring System*, Institute of Textile Engineering, 15, 3, 81-86.
21. Shyr T.W., Wang P.N., Lin J.Y., (2009) *Subjective and Objective Evaluation Methods to Determine the Peak-trough Threshold of the Drape Fabric Node*, Textile Research Journal, 79, 13, 1223–1234.
22. Matsudaira M., Yang M., Kinari T., Shintaku S., (2003), *Changes in the Static and Dynamic Drape Coefficients of Polyester Fabrics through the Finishing Stages*, Textile Research Journal, 73, 1, 59-63.
23. Wang P.N., Cheng K.B., (2011), *Dynamic Drape Property Evaluation of Natural Fiber Woven Fabrics Using a Novel Automatic Drape-Measuring Systems*, Textile Research Journal, 81, 13, 1405–1415.
24. Al-Gaadi B., Göktepe F., Halasz M., (2012), *A New Method in Fabric Drape Measurement and Analysis of the Drape Formation Process*, Textile Research Journal, 82, 5, 502–512.
25. Matsudaira M., Yang M., (2013), *Features of Conventional Static and New Dynamic Drape Coefficients of Woven Silk Fabrics*, Textile Research Journal, 73, 3, 250–255.
26. Matsudaira M., Yamazaki S., Hayashi Y., (2008), *Changes in Dynamic Drapability of Polyester Fabrics with Weave Density, Yarn Twist and Yarn count Obtained by Regression Equations*, Indian Journal of Fibre and Textile Research, 33, 223-229.
27. Tandon S., Matsudaira M., (2010), *Improved Discrimination and Prediction of Drapability of Fabrics*, Research Journal of Textile and Apparel, 14, 3, 62-76.
28. Pratihar P., (2013), *Dynamic Drapen Behavior of Textile Fabric: Part 2- Attributes of Various Fabric Parameters*, International Journal of Engineering Research and Application, 3, 5, 1017-1021.
29. Stump D.M., Fraser W.B., (1996), *A Simplified Model of Fabric Drape Based on Ring Theory*, Textile Research Journal, 66, 8, 506-514.
30. Pattanayak A.J., Luximon A., Khandual A., (2010), *Prediction of Drape Profile of Cotton Woven Fabrics Using Artificial Neural Network and Multiple Regression Method*, Textile Research Journal, 81, 6, 559-566.
31. Stylos G.K., Powell N.J., (2003), *Engineering the Drapability of Textile Fabrics*, International Journal of Clothing Science and Technology, 15, 3/4, 211-217.
32. Fan J., Newton E., Au R., (2001), *Predicting Garment Drape with a Fuzzy-Neural Network*, Textile Research Journal, 71, 7, 605–608.
33. Fisher P., Krzywinski S., Rödel H., Schenka., Ulbricht V., (1999), *Simulating the Drape Behavior of Fabrics*, Textile Research Journal, 69, 5, 331-334.
34. Breen D.E., House D.H., Wozny M.J., (1994), *Predicting the Drape of Woven Cloth Using Interacting Particles*, In Pro-

- ceedings of ACM SIGGRAPH, ACM Press/ACM SIGGRAPH, New York, NY, USA, 365-372.
35. Okur A., Cihan T., (2002), *Prediction of Fabric Drape Coefficient from FAST Data*, Textile Asia, 33, 7, 28-31.
36. Tahal I., Abdin Y., Ebeid S., (2012), *Prediction of Draping Behavior of Woven Fabrics over Double-Curvature Moulds Using Finite Element Techniques*, International Journal of Material and Mechanical Engineering, 1, 25-31.
37. Sharma S.B., Sutcliffe M.P.F., (2004), *A Simplified Finite Element Model For Draping Of Woven Material*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 35, 637-643.
38. Termona Y., (2003), *Lattice Model for the Drape and Bending Properties of Nonwoven Fabrics*, Textile Research Journal, 73, 1, 74-78.
39. Sze K. Y. ve Liu X. H., (2003), *A co-rotational grid-based model for fabric drapes*, International Journal For Numerical Methods In Engineering, 57, 1503-1521.
40. Volino P., Magnenat-Thalmann N., (2006), *Simple Linear Bending Stiffness in Particle Systems*, Eurographics/ ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, 101-105, Switzerland.
41. Kenkare N., Lamar T.A.M., Pandurangan P., Eischen J., (2008), *Enhancing Accuracy of Drape Simulation. Part I: Investigation of Drape Variability via 3D Scanning*, Journal of the Textile Institute, 99, 211-218.
42. Dai X., Fukurawa T., Mitsui S., Takatera M., Shimizu Y., (2001), *Drape Formation Based on Geometric Constraints and its Application to Skirt Modelling*, International Journal of Clothing Science and Technology, 13, 1, 23-37.
43. Pandurangan P., Eischen J., Kenkare N., Lamar T.A.M., (2008), *Enhancing Accuracy of Drape Simulation. Part II: Optimized Drape Simulation Using Industry-Specific Software*, Journal of The Textile Institute, 99, 3, 219-226.
44. Ngoc N.T.T. ve Anh H.N., (2010), *Investigating on Fabric and Skirt Drape in Clothing Construction*, 7th International Conference – TEXSCI, September 6-8 2010, Liberec, Czech Republic.
45. Kim S.M., Chi Y.S., (2006), *Simulation of Cusick Drapemeter Using Particle-Based Modeling: Stability Analysis of Explicit Integration Methods*, Textile Research Journal, 76, 9, 712-719.
46. Hu J., Chan Y.F., (1998), *Effect of Fabric Mechanical Properties on Drape*, Textile Research Journal, 68, 1, 57-64.
47. Süle G., (2012), *Investigation of Bending and Drape Properties of Woven Fabrics and the Effects of Fabrics Constructional Parameters and Warp Tension on These Properties*, Textile Research Journal, 82, 8, 810-819.
48. Seram N., Rupasinghe W., (2013), *The Influence of Bending Rigidity on Drape Coefficient of Selected Light Weight Woven Fabrics with Seams*, International Journal of General Engineering and Technology, 2, 1, 25, 32.
49. Hu J., Chung S., Lo M.T., (1997), *Effect of Seams on Fabric Drape*, International Journal of Clothing Science and Technology, 9, 3, 220-227.
50. Sidabraite V., Masteikaite V., (2003), *Effect of Woven Fabric Anisotropy on Drape Behaviour*, Material Science, 9, 1, 111-115.
51. Kenkare N., May-Plumlee T., (2005), *Evaluation of Drape Characteristics in Fabrics*, International Journal of Clothing Science and Technology, 17, 2, 109-123.
52. Frydrych I., Dziworska G., Cieslinska A., (2000), *Mechanical Fabric Properties Influencing the Drape and Handle*, International Journal of Clothing Science and Technology, 12, 3, 171-183.
53. Lojen D.Z., Jevnik S., (2007), *Some Aspects of Fabric Drape*, Fibers and Textiles in Eastern Europe, 15, 4, 39-45.
54. Sun M.N., (2008), *A New Tester and Method for Measuring Fabric Stiffness and Drape*, Textile Research Journal, 78, 9, 761-770.
55. Filgueiras A., Fangeiro R., Sountinho F., (2009), *Drape Behavior of Functional Knitted Fabrics for Sport Clothing*, Indian Journal of Fibre and Textile Research, 34, 64-68.
56. Agraval S. A., (2013), *Node Parameters and Its Relation with Constructional and Bending Properties of PC Blended Fabric*, International Journal of Engineering Research and Development, 5, 7, 61-66.