





## DOKUMA KUMAŞLARIN GERİLME ALTINDA ŞEKİL DEĞİŞTİRME DAVRANIŞLARININ GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİYLE TESPİTİ

*Fatih SÜVARI* \*  
*Mine AKGÜN* \*  
*Recep EREN* \*  
*Tuğba YURDAKUL* \*\*

Alınma: 30.05.2021; düzeltme: 07.07.2021; kabul: 26.07.2021

**Öz:** Bu çalışmada çekme kuvveti sebebiyle dokuma kumaşlarda gerçekleşen boyut değişikliklerinin ölçülmesi amacıyla dairesel Hough dönüşümü tabanlı bir görüntü işleme yöntemi geliştirilmiştir. Bunun için farklı yapısal parametrelere sahip dokuma kumaşlar üzerine iğneler yerleştirilerek, kumaşlar çözgü doğrultusunda çekme işlemine tabi tutulmuştur. Bu esnada 30 saniye süresince 5'er saniye aralıklarla alınan kumaş görüntüleri bilgisayara kaydedilmiştir. Kumaş görüntüleri üzerindeki iğneler arası mesafeler hem el ile çizim yöntemiyle hem de dairesel Hough dönüşümü tekniği kullanılarak geliştirilen görüntü işleme yöntemiyle ölçülmüştür. İki ölçüm yöntemi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde sonuçlar arasındaki sapmanın %1'den düşük olduğu görülmüştür. Tüm ölçümler hesaba katılarak hesaplanan ortalama yüzde sapma değeri ise yalnızca %0,26'dır. İki ölçüm yöntemi ile elde edilen sonuçlar arasındaki korelasyon katsayısı değeri 0,99 hesaplanmıştır. Geliştirilen görüntü işleme temelli ölçüm yöntemi, dokuma kumaşların gerilme altındaki boyut değişikliklerini kolay, hızlı ve doğru olarak ölçebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü işleme, Hough dönüşümü, dokuma kumaş, auxetic

### Determination of Deformation Behavior of Woven Fabrics Under Stress Using Image Processing Method

**Abstract:** In this study, a circular Hough transform based image processing method has been developed to measure the dimensional changes of woven fabrics due to tensile force. For this purpose, needles were placed on woven fabrics with different structural parameters and the fabrics were pulled in warp direction. In the meantime, fabric images taken at intervals of 5 seconds for 30 seconds were recorded on the computer. The distances between the needles on the fabric images were measured both by hand drawing method and by image processing method developed using the circular Hough transform technique. When the results obtained from the two measurement methods were examined, it was seen that the deviation between the results was less than 1%. The average percentage deviation calculated by considering all measurements was only 0.26%. The correlation coefficient value between the results obtained by the two measurement methods was calculated as 0.99. The developed image processing based measurement method can measure the dimensional changes of woven fabrics under stress easily, quickly and accurately.

**Keywords:** Image processing, Hough transform, woven fabric, auxetic

\* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa, Türkiye

\*\* Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, 16059, Görükle, Bursa, Türkiye

İletişim Yazarı: Fatih Süvari (suvari@uludag.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Dokuma kumaşların gerilmeye maruz kalmaları durumunda gösterdikleri şekil değiştirme davranışları, kumaşların kullanım esnasındaki performansını tahmin etmek açısından incelenmesi gereken bir konudur (Behera ve Hari, 2010; Hu ve Xin, 2008). Dokuma kumaşların sadece kopma davranışları değil aynı zamanda düşük kuvvetler altındaki deformasyonları günlük kıyafetlerden ev tekstillerine, tekstil takviyeli kompozitlerden teknik tekstillere kadar, bu ürünlerin tasarım ve üretim aşamalarında dikkate alınmaktadır (Hu ve Xin, 2008).

Tekstil malzemeleri diğer mühendislik malzemelerine kıyasla birçok yönüyle farklılıklar gösterir. Örneğin kuvvet altında her doğrultuda aynı davranışı göstermeyebilirler. Kullanım yerlerinde kopmadan, kolaylıkla deforme olabilirler, şekil değiştirebilirler, uzayabilirler. Bu özellikleri açısından bakıldığında insan hareketlerine uyumluluğu bakımından eşsiz bir malzeme olduğu söylenebilir (Hu ve Xin, 2008). Dokuma kumaş yapıları, çözgü ve atkı ipliklerinin birbirleriyle dik olarak kesişmesiyle meydana gelir. Dokuma işlemi esnasında kumaşı oluşturan bu ipliklerin yer değiştirmesi nedeniyle hem çözgü hem de atkı iplikleri kıvrım almaktadır. Kumaş eksenel yönde gerildiğinde, yüklemeye yönünde gerilen ipliklerin kıvrımları sifıra ulaşana kadar azalır. Eksenel olarak gerilen iplikler, yüklemeye yönüne dik olan ipliklerin daha fazla kıvrım almasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda, kumaş enine yönde daralmakta ve pozitif bir Poisson oranı elde edilmektedir (Ng ve Hu, 2018; Shahabi ve diğ., 2014). Poisson oranı, tek eksenli gerilme altında mühendislik malzemelerinin deformasyonunun öngörülmesinde kullanılmaktadır. Poisson oranı, diğer bir ifade ile esneklik katsayısı, bir malzemeye uygulanan kuvvete dik doğrultuda meydana gelen enine birim şekil değiştirmenin, kuvvetin uygulandığı doğrultudaki boyuna birim şekil değiştirmeye negatif oranı olarak tanımlanmaktadır. Mühendislikte kullanılan malzemelerin büyük bir kısmı pozitif Poisson oranına sahip olmakla birlikte sınırlı sayıda malzeme negatif Poisson oranına sahiptir. Farklı özelliklerde konvansiyonel kumaşların Poisson oranları üzerinde yapılan çalışmalarda (Shahabi ve diğ., 2013; Sun ve diğ., 2005) konvansiyonel kumaş yapılarının gerilim altında yan alarak daralmasından dolayı pozitif Poisson oranı değerleri verdiği gözlenmiştir. Negatif Poisson oranına sahip malzemeler auxetic malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Auxetic malzemeler, pozitif Poisson oranına sahip malzemelerin aksine bir özellik göstererek uzamaya zorlandıkça genişlerler (Carneiro ve diğ., 2013; Choi ve Lakes, 1991; Evans ve Alderson, 2000; Evans ve diğ., 1991; Rant ve diğ., 2013; Uzun, 2010). Hem konvansiyonel hem de auxetic malzemelerin kuvvet altında boyut değişikliklerinin hızlı, doğru ve tekrar edilebilir şekilde ölçülmesi gereklidir.

Test cihazı tasarımı ve test yöntemi geliştirilmesinde ideal durum operatörün teste en az müdahil olmasıdır (Saville, 1999). Bu hedef doğrultusunda ölçme sistemi tasarımında çeşitli sensör ve bilgisayarların kullanılması sonuçların hızlı, daha doğru ve tekrar edilebilir olmasını sağlamaktadır. Kameralarla görüntülerin toplandığı, bilgisayarlarda uygulamaya özel algoritmaların çalıştırılarak verilerin işlendiği görüntü analizi ve işleme temelli geliştirilen boncuklanma, dökümlülük, dikiş büzülmesi gibi tekstil test yöntemleri objektif sonuçlar verebilmektedir (Süvari, 2021; Süvari ve Meric, 2008; Xu, 1997). Görüntü işleme yönteminde, matematiksel fonksiyonlar ve mantıksal işlemler dijital görüntüye uygulanarak pratikte faydalı bilgiler elde edilmek istenir. Dairesel Hough dönüşümü, görüntü işlemede kullanılan matematiksel tekniklerden biridir. Genellikle dijital bir görüntüdeki tamamlanmamış ya da kopukluklar içeren daireleri tespit etmek için kullanılır. Bu yaklaşımın kullanımı özellikle görüntülerde gürültü olması, tespit edilmek istenen objenin başka objeyle kesişmesi ya da iç içe geçmesi ve değişen aydınlatma şartlarının var olması durumunda tutarlı ve sağlam sonuçlar vermesiyle bilinmektedir (MathWorks, 2019). Dairesel Hough dönüşümü tekniği, tekstil alanında kumaşların dökümlülük katsayısının ölçümünde başarıyla kullanılmıştır (Süvari, 2021). Bu teknik, gözlerde gözbebeği ve iris tabakasının tespiti (Supriyanti ve diğ., 2012), bozuk paraların sayılması (Jain ve Jain, 2012), bir izleme kamerasından elde edilen görüntüdeki kişi sayısının

hesaplanması (Liu ve diğ., 2010), parmak izi tanıma (Tong, ve diğ., 2006) gibi çeşitli uygulama alanlarında da başarıyla kullanılmıştır.

Bu çalışmada, çekme kuvvetine maruz kalmış dokuma kumaşların gerilme doğrultusunda (boyuna) ve enine doğrultuda şekil değiştirme davranışlarının kolay, hızlı ve doğru tespit edilebilmesi için dairesel Hough dönüşümüne dayalı bir görüntü işleme algoritması geliştirilmiştir. Bu yöntemle konvansiyonel dokuma kumaşların kuvvet altına şekil değişiklikleri ölçülebileceği gibi, özellikle kumaş enine değişimlerinin tespit edilmesinin önemli olduğu auxetic yapıları dokuma kumaşlar için de özgün bir ölçüm sistemi geliştirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Malzeme

Çekme kuvveti altındaki boyut değişikliklerinin ölçülmesi için pamuk, yün ve polyester içerikli, farklı yapısal parametrelere sahip 8 adet dokuma kumaş yapısı kullanılmıştır. Kumaşların yapısal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1. Ölçüm için kullanılan dokuma kumaşların özellikleri**

Kumaş kodu	Hammadde özellikleri	İplik numarası		İplik sıklığı (iplik/cm)		Örgü
		Çözü	Atkı	Çözü	Atkı	
A	%100 Pamuk	Nm 15	Nm 15	22	18	Armürlü
B	%100 Pamuk	Nm 26	Nm 22	28	26	Armürlü
C	%100 Pamuk	Nm 15	Nm 15	20	20	Armürlü
D	%100 Pamuk	Nm 15	Nm 15	18	20	Armürlü
E	%100 Polyester	300 denye 72 filament	300 denye 72 filament	30	20	Bezayağı
F	%100 Yün	Nm 16	Nm 14	17	12	Bezayağı
G	%100 Pamuk	Nm 30	Nm 30	40	20	Dimi 3/1
H	%100 Yün	Nm 10	Nm 10	15	15	Armürlü

### 2.2. Test Yöntemleri

#### 2.2.1. Kumaş Çekme Testi

Dokuma kumaşlar çözgü doğrultusunda Shimadzu AG-X plus mukavemet test cihazında çekme işlemine tabi tutulmuştur. Testler, çeneler arası mesafe 200 mm, kumaş eni 50 mm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Dokuma kumaşların kuvvet altında şekil değişikliklerinin belirli saniyelerde kaydedilmesi için bilgisayara bağlantısı yapılmış, optik yakınlaşma kabiliyeti olan kamera kullanılmıştır. Kamera kumaşa 10 cm mesafede pozisyonlanacak şekilde sabitlenmiştir. Test öncesi, baş kısmı siyah renkte olan dairesel toplu iğneler yaklaşık 1 cm aralıklarla kumaş yüzeyine takılmıştır. Kumaş çekme test cihazı ve kamera sistemi eş zamanlı olarak çalıştırılarak, test cihazı üst çenesi yukarı doğru 10 mm/dk hızla hareket ettirilmiş, 0, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30. saniyelerde üzerinde iğneler bulunan kumaş görüntüleri 1600 x 1200 piksel çözünürlükte bilgisayara kaydedilmiştir.

#### 2.2.2. İğneler Arası Mesafenin Çizim Yöntemi İle Ölçümü

Çözgü doğrultusunda germe esnasında 0, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30. saniyelerde kaydedilen kumaş görüntüleri üzerindeki iğneler arası mesafelerin el ile (manuel) ölçümü için Image J programı kullanılmıştır. Bu programda, öncelikle 0. saniyedeki gerilimsiz kumaş eni 50 mm olarak bilindiği için görüntü eni 50 mm olarak tanıtılır. Image J programı girilen bu veriye göre

bir piksele karşılık gelen uzunluğu milimetre cinsinden hesaplayıp hafızasında saklar. Ardından görüntü üzerinde bulunması istenen mesafenin başlangıç ve bitiş noktaları bilgisayar imleci ile işaretlenerek mesafenin mm cinsinden program tarafından hesaplanması sağlanır. Ayrıca bu mesafe program tarafından görüntü üstüne çizilir. Mesafe ölçümü için başlangıç ve bitiş noktalarının önce gözle tespit edilmesi, ardından el ile bu noktaların işaretlenmesi gerektiğinden sonuçlara ölçümü yapan kişinin etkisi söz konusudur.

### 3. GÖRÜNTÜ ANALİZİ YAKLAŞIMI

#### 3.1. Görüntü Üzerinde Ön İşlem

Kumaş çekme işlemi esnasında belirtilen sürelerde kamerayla yukarıda bahsedildiği gibi elde edilen görüntüler siyah, beyaz ve gri renkleri barındıran, 256 farklı gri tondan oluşan renk seviyelerine dönüştürülmüştür. Böylece görüntüyü temsil eden matris, 0 ve 255 rakamları arasında değerleri ihtiva etmektedir. 0 değeri siyah renge, 255 ise beyaz renge karşılık gelmektedir. Ara değerler ise gri renk tonlarıdır. Bu aşamadan sonra görüntüler MATLAB programında geliştirilen algoritma ile analiz edilmiş ve işlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan görüntü işleme teknikleri ve prosedürleri aşağıdaki kısımlarda açıklanmıştır. Geliştirilen program, Intel Core i7 2,80 GHz frekansındaki işlemciye sahip bilgisayarda çalıştırıldığında 2,8 saniyede istenen ortalama mesafe sonuçlarını hesaplamaktadır.

#### 3.2. Dairesel Hough Dönüşümü

Düzlem üzerinde yer alan bir daire, yarıçapı ( $r$ ) ve merkez koordinatlarıyla ( $a$ ,  $b$ ) tanımlanabilir. Aşağıda verilen denklem (1) ve (2) vasıtasıyla daire üzerindeki tüm noktaların koordinatlarını ( $x$ ,  $y$ ) hesaplamak mümkündür.

$$x = a + r \cos \theta \quad (1)$$

$$y = b + r \sin \theta \quad (2)$$

(1) ve (2) numaralı denklemlerdeki  $\theta$  açısı, 0 ve  $2\pi$  arasında küçük artımlarla arttırıldığında elde edilen  $x$  ve  $y$  koordinatları, merkezi ( $a$ ,  $b$ ), yarıçapı ( $r$ ) olan çemberi oluşturmaktadır. Dijital görüntü üzerinde veya bir başka isimlendirmeyle geometrik düzlemde bulunan her nokta potansiyel olarak aranan çember üzerinde bir nokta ( $x$ ,  $y$ ) olabilir. Dairesel Hough dönüşüm tekniğine göre, geometrik düzlemdeki bu  $x$ ,  $y$  noktaları başka bir parametrik uzayda merkez noktaları olabilir. Parametrik uzayda bu merkez noktalar kullanılarak yarıçapı ( $r$ ) olan başka çemberlerin çizilmesi mümkündür. Geometrik düzlemdeki her nokta ( $x_g$ ,  $y_g$ ), parametre uzayında yeni bir dairenin merkezine karşılık gelir. (3) ve (4) numaralı denklemler kullanılarak parametrik uzayda çemberler çizdirilebilir.

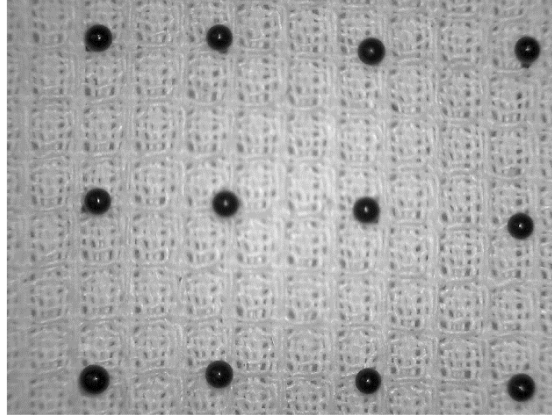
$$a = x_g + r \cos \theta \quad (3)$$

$$b = y_g + r \sin \theta \quad (4)$$

Parametrik uzayda çizdirilen çemberlerin üzerindeki noktaların pozisyonu, geometrik düzlemdeki muhtemel çemberlerin merkez koordinatlarıdır ( $a$ ,  $b$ ). Hesaplanan her merkez koordinat ve kullanılan her yarıçap ( $r$ ) değeri için akümülatör matrisi ismi verilen değişkene bir oy kaydedilir. Bazı parametrik çemberler bazı noktalarda kesişecek ve bu kesişim noktaları için akümülatör matrisinde daha fazla oy birikecektir. Yüksek sayıda oy alan ( $a$ ,  $b$ ) noktaları ve bu noktalara karşılık gelen ( $r$ ) yarıçapları geometrik düzlemde ve dolayısıyla dijital görüntü üzerinde aranan çemberlerin merkez noktaları ve yarıçaplarıdır (Süvari, 2021).

### 3.3. Kumaş Üzerindeki İğnelerin Dairesel Hough Dönüşümü Kullanılarak Bulunması

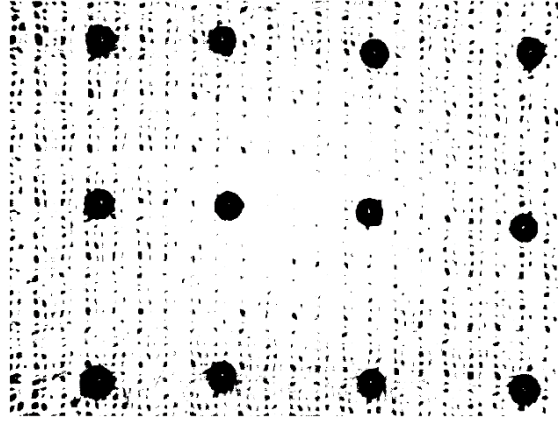
Görüntü işleme prosedürleri uygulanmamış, 0. saniyede kaydedilmiş A kodlu kumaş görüntüsü bir örnek olarak Şekil 1’de verilmiştir. Görüntüyü temel olarak üç farklı bileşene ayırmak mümkündür. Birinci bileşen, tespit edilmek istenen toplu iğnelerdir. Şekil 1’de siyah renkli daireler olarak görülmektedir. Şekil 1’deki fotoğrafa karşılık gelen görüntü matrisinde, toplu iğneleri temsil eden pikseller siyah renkli olduğu için 0 değerine yakın değerler almaktadır. İkinci bileşen, kumaşı oluşturan ipliklerdir. İğnelerin etrafını kuşatan yüzeyi oluşturan dokuma kumaş olarak Şekil 1’de görülmektedir. Görüntü matrisinde, iplikleri temsil eden pikseller açıktan koyuya gri rengin birçok tonuna karşılık gelen sayısal değerler içermektedir. Kumaş gözenekleri Şekil 1’deki üçüncü bileşen olarak tanımlanabilir. Atkı ve çözgü ipliklerinin kesiştiği yerlerde görülen, fotoğraf üzerinde hemen her bölgede bulunabilen, küçük siyah renkli kısımlardır. Toplu iğneler gibi, gözenekler de siyah renkli olduğundan görüntü matrisinde 0 değerine yakın değerler ile temsil edilmektedir.



**Şekil 1:**

*Görüntü işleme uygulanmamış A kodlu kumaş görüntüsü*

Bir görüntü üzerindeki farklı bileşenleri birbirinden ayırmak için kullanılan görüntü işleme yöntemlerinden biri eşikleme (thresholding) tekniğidir. Bu yöntem, temelde piksel değeri farklılıklarına bağlı olarak çalışır. Seçilen veya hesaplanan eşik değerine göre pikseller gruplara ayrılabilir. Eşik değerinden büyük veya ona eşit piksel değerleri bir grup, geri kalanı ise diğer grup olarak tanımlanır (Shapiro ve Stockman, 2001). Eşikleme tekniğinin kumaştaki iğnelerin pozisyonlarının tespiti için tek başına kullanılması problemlerle sonuçlanabilir. Bunun başlıca sebebi gözenekler ve iğnelere karşılık gelen piksel değerlerinin birbirine eşit veya çok yakın olmasıdır. Örnek olarak Şekil 1’deki görüntüye eşikleme işlemi uygulanması sonucunda elde edilen siyah-beyaz görüntü Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2’de görüldüğü üzere eşikleme işlemi sonucu gözenekler ve toplu iğneler siyah, kumaşı oluşturan iplikler ise beyaz renk olarak ayrılmıştır. Ancak iğnelere yakın gözenekler, eşikleme işlemi sonrası dairesel iğne geometrisinde bozukluklara sebep olmuştur. Şekil 2 sağ üst köşedeki iğne, Şekil 3 de daha büyük gösterilerek dairesel geometrideki bozulmaya örnek olarak verilmiştir. İğnelerin görüntüden tam ve düzgün olarak ayrıştırılabilmesi için başka görüntü analizi yöntemlerinin kullanılması gerektiği açıktır. Bu çalışmada iğnelerin tam olarak tespit edilebilmesi için dairesel Hough dönüşüm tekniği kullanılmıştır. Dijital bir görüntüdeki kusurlu ve eksik daireleri tespit etmek için kullanılan bu yaygın teknik bir oylama prosedürünü temel olarak çalışır. Aranılan daire üzerindeki bazı noktalar biliniyorsa, daire üzerindeki eksik noktalar Hough dönüşümü (MathWorks, 2019; Shapiro ve Stockman, 2001) yardımıyla hesaplanabilir.

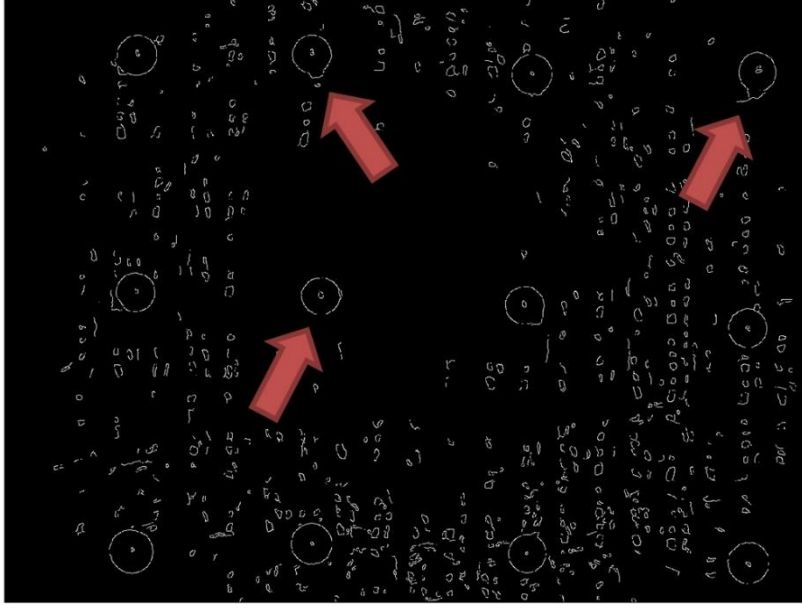


**Şekil 2:**  
*Eşikleme işlemi uygulanmış A kodlu kumaş görüntüsü*



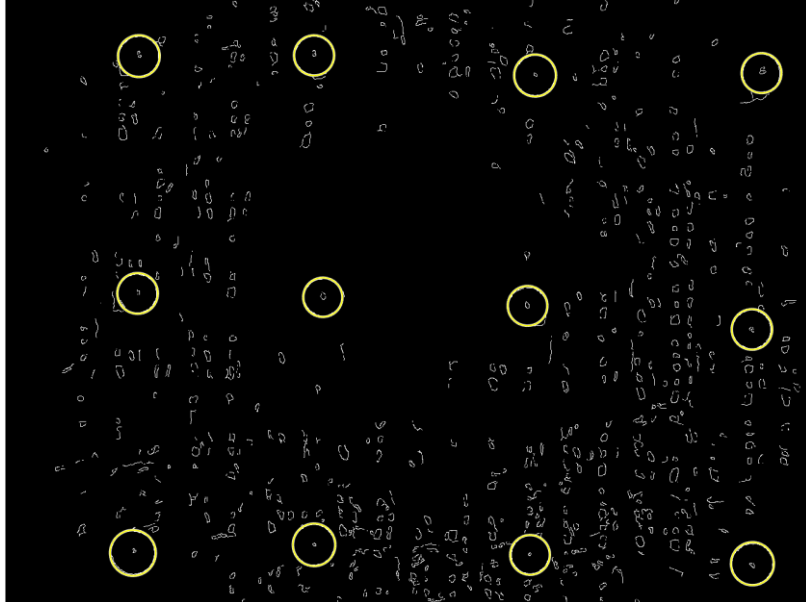
**Şekil 3:**  
*Eşikleme işlemi sonrası dairesel iğne geometrisinin bozulması*

Görüntü üzerinde aranacak iğneleri temsil eden, nispeten büyük dairelerin merkez noktası kumaş üzerinde çok farklı konumlarda olabilir. Çekme testi esnasında da bu merkez noktaların konumu değişim gösterecektir. Dolayısıyla merkez nokta bulunması için kumaş görüntüsü üzerindeki tüm bölgelerin taranması gerekecektir. Bunun yanında arama yapılacak dairelerin çaplarının değişiklik göstermeyecek olması programın daha hızlı sonuç vermesi açısından bir avantajdır. Daireler 25 – 50 piksel yarıçapı aralığında aranmıştır. Bu seçimde alt limit değerinin çok küçük seçilmesi istenmeyen kumaş gözeneklerinin tespitine sebep olabileceği gibi üst limit değerinin de büyük seçilmesi programın daha uzun sürede sonuç vermesine sebep olacaktır. Ayrıca piksel değerlerinin ani değişim gösterdiği bölgelerde dairenin bulunma ihtimali yüksek olduğundan bu kısımlarda arama yapmak programı hızlandıracaktır (MathWorks, 2019). Piksel değerlerinin ani değiştiği kısımları tespit etmek için Şekil 1 deki A kodlu kumaş görüntüsüne Canny operatörü uygulanmıştır. Sonuç olarak elde edilen görüntü Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4’te iğneleri oluşturan büyük daireler ve gözenekleri temsil eden küçük ve farklı geometrilere şekiller görülmektedir. Bu görüntüde aranan hemen hemen tüm dairelerde ya eksik piksel vardır ya da dairesel geometriden sapmalar olmuştur (Şekil 4’te oklarla gösterilmiştir).

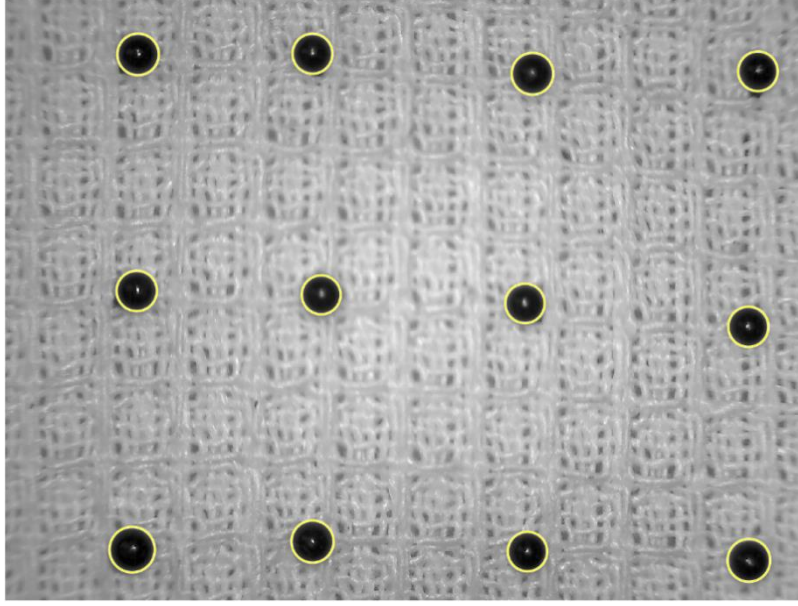


**Şekil 4:**  
*Dairesel geometriden sapmalar ve eksik pikseller*

Bu aşamadan sonra büyük daireleri tam olarak bulabilmek için, görüntü dairesel Hough dönüşümü tekniğine göre işleme tabi tutulmuştur. Dairesel Hough dönüşümü sonrası tespit edilen daireler Şekil 5'te görüntü üzerine çizdirilmiştir. Görüldüğü üzere tespit edilen daireler eksik daireleri tamamlamaktadır. Ayrıca dairesellikten sapmış geometrileri tekrar daire olarak gösterebilmektedir. Bulunan daireler Şekil 6'da kumaş görüntüsü üzerine de çizdirilerek iğnelerin yerleri gösterilmiştir. Görüldüğü üzere bulunan daireler iğne görüntüsü üzerine tam olarak oturmaktadır.



**Şekil 5:**  
*Dairesel Hough dönüşümü sonrası tespit edilen daireler*

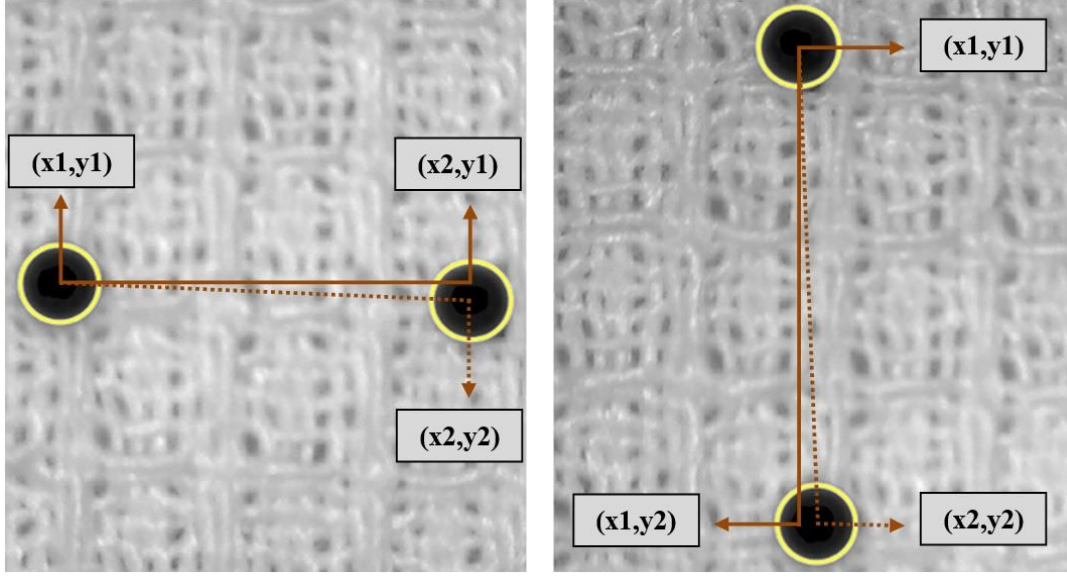


**Şekil 6:**  
*Tespit edilen daireelerin A kodlu kumaş üzerindeki konumları*

### 3.4. Kumaş Üzerindeki İğneler Arası Mesafelerin Hesaplanması

Kumaş üzerinde bulunan iğneler arası mesafelerin hesaplanması için, dairesel Hough dönüşümü yöntemi ile tespit edilen dairelerin merkez koordinatları kullanılmıştır. Bu çalışmada kumaş boyuna (dikey) doğrultuda çekilmekte ve dolayısıyla dikey yerleşmiş iğneler arası mesafenin zamanla artması beklenmektedir. Dikey doğrultuda uzamanın yanında, bu esnada kumaşın enine şekil değiştirmesi de beklenen bir olaydır. Enine şekil değiştirme, yine tespit edilen dairelerin merkez koordinatları kullanılarak hesaplanmıştır. Bazı iğnelerin tam olarak aynı hizaya batırılma ve pozisyonlama zorluğu sebebiyle yatayda iki iğne merkezi arası mesafe yerine (Şekil 7’de kesikli çizgi ile gösterilen mesafe), sol tarafta bulunan iğne merkezi ile  $(x_1, y_1)$  onun hemen sağında bulunan iğne merkezinin yatay izdüşümü  $(x_2, y_1)$  arası mesafe (Şekil 7’de sürekli çizgi ile gösterilen mesafe) hesaplanmıştır. Bu mesafe  $x_2 - x_1$  işlemi ile kolayca bulunabilir. Benzer hesaplama dikey pozisyonlanmış iğneler arası mesafe hesabı için de uygulanmıştır; bunun için üst tarafta bulunan iğne merkezi  $(x_1, y_1)$  ile onun hemen altında bulunan iğne merkezinin dikey izdüşümü  $(x_1, y_2)$  arası mesafe hesaplanmıştır. Bu mesafe de  $y_2 - y_1$  işlemi ile bulunabilir.





Şekil 7:  
İğneler arası yatay ve dikey mesafeler

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

##### 4.1. Yatay ve Dikey Mesafe Ölçümünde Görüntü İşleme Tekniği ile Çizim Yöntemi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Farklı özelliklerdeki 8 dokuma kumaş çözgü doğrultusunda sabit hızda çekilmiştir. 0, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30. saniyelerde üzerinde iğneler bulunan kumaş görüntüleri bilgisayara kaydedilmiştir. 50 mm uzunluğundaki kumaş eni referans alınarak, Image J programı ile görüntüler üzerinde el ile çizim yapılarak yatay ve dikeyde iğneler arası mesafeler ölçülmüştür. Ardından ortalama hesaplanarak yatay ve dikeyde iğneler arası ortalama mesafeler hesaplanmıştır. Toplamda 56 görüntü üzerinde mesafe ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Aynı görüntüler üzerinde dairesel Hough dönüşümü tekniği ile geliştirilen görüntü işleme prosedürleri kullanılarak da yatay ve dikeyde iğneler arası mesafe ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde bir kumaş numunesinde toplam 12 adet iğne kullanılmıştır. Birbirlerine yatay ve dikey doğrultularda komşu iğneler arası mesafeler hesaplanmıştır. Dikey doğrultuda mesafe hesabı için, 1.satırda konumlandırılmış 4 iğne ile aynı hizada 2.satırda bulunan komşu 4 iğne arası mesafeler ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yine 2.satırda konumlandırılmış 4 iğne ile aynı hizada 3.satırda bulunan komşu 4 iğne arası mesafeler de ayrı ayrı hesaplanmıştır. Böylelikle 8 mesafe değeri elde edilip, ardından dikey doğrultuda ortalama mesafe hesaplanmıştır. Benzer işlemler yatay doğrultuda mesafe hesabı için de yapılmıştır; 1.sütundaki 3 iğne ile bu iğnelere yatayda komşu 2.sütundaki 3 iğne arası mesafe, 2.sütundaki 3 iğne ile 3.sütundaki komşu 3 iğne arası mesafe, 3.sütundaki 3 iğne ile de 4.sütundaki komşu 3 iğne arası mesafeler bulunmuştur. 9 mesafenin ortalaması alınarak, yatay doğrultudaki ortalama mesafe hesaplanmıştır.

El ile çizim yöntemi ile elde edilen ve görüntü işleme tekniği ile hesaplanan ortalama mesafe sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3’de verilmiştir. İki ölçüm yöntemi sonuçları arasındaki fark sapma değeri olarak, sapma değerlerinin el ile çizim yöntemi sonuçlarına oranı ise yüzde(%) sapma olarak yine Tablo 2 ve 3’de verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde tüm ölçümlerin yüzde sapma değerlerinin %1’in altında olduğu görülmektedir. Bununla birlikte tüm ölçümler hesaba katılarak hesaplanan ortalama yüzde sapma değeri yalnızca %0,26’dır. Bu sonuçlara göre görüntü işleme yöntemi ile elde edilen mesafe sonuçlarının bilgisayarda el ile çizim yöntemi ile ölçülen sonuçlara çok yakın olduğu söylenebilir.

**Tablo 2. Görüntü işleme ve el ile çizim yöntemleri ile elde edilen iğne mesafeleri ölçüm sonuçları ve sapma değerleri-1**

Kumaş kodu	Çekim süresi (s)	El ile ölçüm ortalama mesafe (mm)		Görüntü işleme ortalama mesafe (mm)		Sapma (mm)		Yüzde sapma	
		Doğrultular		Doğrultular		Doğrultular		Doğrultular	
		Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
A	0	12,83	15,26	12,81	15,17	0,02	0,09	%0,16	%0,60
	5	12,88	15,29	12,87	15,25	0,01	0,04	%0,07	%0,24
	10	12,90	15,39	12,84	15,31	0,06	0,08	%0,45	%0,54
	15	12,84	15,48	12,80	15,37	0,04	0,11	%0,31	%0,74
	20	12,75	15,49	12,74	15,43	0,01	0,05	%0,06	%0,35
	25	12,71	15,53	12,69	15,48	0,02	0,05	%0,16	%0,32
	30	12,66	15,56	12,64	15,52	0,02	0,04	%0,13	%0,24
B	0	11,43	13,59	11,42	13,56	0,01	0,03	%0,10	%0,21
	5	11,43	13,59	11,42	13,58	0,02	0,01	%0,13	%0,04
	10	11,24	13,68	11,21	13,76	0,02	-0,08	%0,20	-
	15	11,20	13,84	11,14	13,80	0,07	0,04	%0,58	%0,28
	20	11,01	13,88	11,03	13,87	-0,01	0,01	%0,11	%0,06
	25	10,92	13,93	10,91	13,93	0,01	0,00	%0,08	-
	30	10,76	14,08	10,75	13,99	0,01	0,08	%0,07	%0,58
C	0	11,98	11,92	11,96	11,83	0,03	0,09	%0,22	%0,74
	5	12,04	11,98	11,98	11,89	0,05	0,09	%0,44	%0,79
	10	12,03	12,02	11,98	11,94	0,05	0,08	%0,42	%0,67
	15	11,98	12,02	11,96	11,99	0,02	0,03	%0,20	%0,27
	20	11,94	12,10	11,95	12,06	-0,01	0,04	%0,07	%0,34
	25	11,94	12,18	11,91	12,11	0,03	0,07	%0,26	%0,60
	30	11,91	12,24	11,87	12,16	0,03	0,08	%0,25	%0,69
D	0	12,19	12,20	12,16	12,12	0,02	0,08	%0,20	%0,63
	5	12,19	12,30	12,16	12,19	0,02	0,11	%0,19	%0,87
	10	12,18	12,37	12,14	12,27	0,04	0,10	%0,32	%0,78
	15	12,11	12,36	12,10	12,34	0,01	0,02	%0,08	%0,18
	20	12,07	12,46	12,04	12,39	0,03	0,07	%0,26	%0,54
	25	12,01	12,52	11,98	12,46	0,03	0,07	%0,26	%0,54
	30	11,94	12,64	11,90	12,53	0,04	0,12	%0,31	%0,92

**Tablo 3. Görüntü işleme ve el ile çizim yöntemleri ile elde edilen iğne mesafeleri ölçüm sonuçları ve sapma değerleri-2**

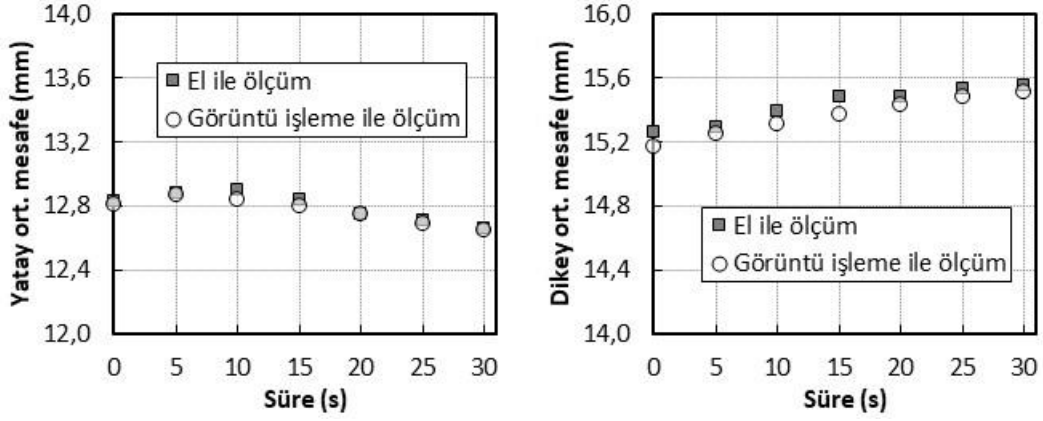
Kumaş kodu	Çekim süresi (s)	El ile ölçüm ortalama mesafe (mm)		Görüntü işleme ortalama mesafe (mm)		Sapma (mm)		Yüzde sapma	
		Doğrultular		Doğrultular		Doğrultular		Doğrultular	
		Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey	Yatay	Dikey
E	0	12,38	12,31	12,38	12,31	0,00	-0,01	- %0,02	- %0,05
	5	12,31	12,32	12,34	12,34	-0,03	-0,02	- %0,22	- %0,18
	10	12,31	12,40	12,29	12,40	0,02	0,00	%0,13	- %0,01
	15	12,25	12,46	12,26	12,46	0,00	0,00	- %0,03	%0,03
	20	12,20	12,52	12,21	12,50	-0,01	0,01	- %0,08	%0,09
	25	12,17	12,59	12,16	12,57	0,01	0,02	%0,10	%0,17
	30	12,06	12,62	12,10	12,62	-0,03	-0,01	- %0,27	- %0,04
F	0	12,55	12,12	12,55	12,11	0,00	0,00	%0,04	%0,03
	5	12,49	12,16	12,48	12,18	0,02	-0,03	%0,12	- %0,23
	10	12,40	12,22	12,39	12,23	0,00	-0,01	%0,03	- %0,11
	15	12,38	12,31	12,31	12,29	0,08	0,02	%0,61	%0,18
	20	12,22	12,36	12,23	12,35	-0,01	0,01	- %0,10	%0,11
	25	12,09	12,38	12,12	12,40	-0,03	-0,02	- %0,26	- %0,14
	30	12,00	12,49	12,06	12,43	-0,06	0,06	- %0,52	%0,46
G	0	10,65	10,56	10,64	10,56	0,01	0,00	%0,09	%0,05
	5	10,62	10,63	10,64	10,64	-0,02	-0,01	- %0,19	- %0,11
	10	10,60	10,64	10,60	10,68	0,00	-0,04	%0,00	- %0,34
	15	10,60	10,70	10,57	10,73	0,03	-0,02	%0,32	- %0,22
	20	10,58	10,77	10,53	10,78	0,06	-0,02	%0,54	- %0,17
	25	10,47	10,77	10,47	10,82	0,00	-0,05	%0,02	- %0,49
	30	10,40	10,88	10,40	10,86	-0,01	0,01	- %0,05	%0,11
H	0	11,68	11,39	11,64	11,40	0,04	-0,01	%0,34	- %0,05

	5	11,75	11,46	11,72	11,46	0,03	-0,01	%0,25	- %0,08
	10	11,75	11,53	11,75	11,54	0,00	-0,01	%0,03	- %0,10
	15	11,76	11,64	11,74	11,61	0,02	0,03	%0,17	%0,23
	20	11,76	11,75	11,74	11,68	0,02	0,07	%0,14	%0,58
	25	11,75	11,78	11,73	11,76	0,02	0,02	%0,16	%0,16
	30	11,74	11,80	11,70	11,84	0,04	-0,04	%0,32	- %0,37

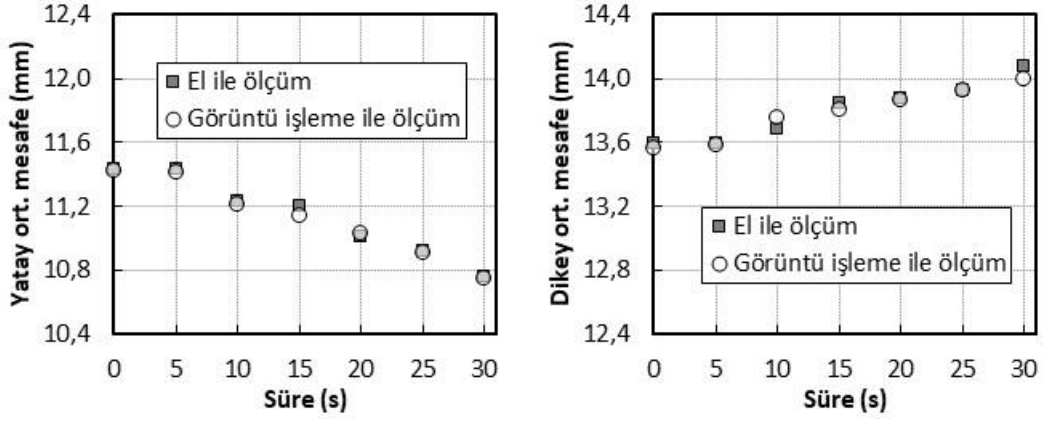
#### 4.2. Yatay ve Dikey Mesafe Ölçümünde Görüntü İşleme Tekniği ile Çizim Yöntemi Sonuçları Arasındaki Korelasyon

Her bir kumaş tipi için görüntü işleme tekniği ve el ile çizim yöntemi ile elde edilen ortalama mesafe sonuçları, karşılaştırma amacıyla Şekil 8-15'de bir arada verilmiştir. Her iki ölçüm yöntemiyle elde edilen ortalama mesafe sonuçlarının birbirine çok yakın olmasına ek olarak, süreye bağlı olarak mesafe artış ya da azalış eğilimlerinin de aynı olduğu görülmektedir. Örneğin, test esnasında kumaş üst kısmından yukarı yönde sabit hızla çekildiği için iğneler arası dikey mesafenin de doğrusal artış göstermesi beklenebilir. Şekil 8-15'deki dikey ortalama mesafe sonuçları incelendiğinde hem el ile ölçüm hem de görüntü işleme ile ölçüm sonuçlarının doğrusala çok yakın artış gösterdiği görülmektedir. Her bir dikey ortalama mesafe grafiği için verileri en iyi temsil eden doğru denklemleri bulunduğunda, el ile çizim yöntemi ile elde edilen mesafe sonuçları için ortalama 0,96, görüntü işleme ile elde edilen mesafe sonuçları için ise ortalama 0,99 regresyon katsayısı hesaplanmıştır. Her iki regresyon verisi de dikey ortalama mesafe sonuçlarının süreye doğrusal arttığına işaret etmektedir. Bu sonucun yanında 0,99 regresyon katsayısıyla görüntü işleme yöntemi ile elde edilen verilerin doğrusal artış eğilimine çok daha yakın olduğu da görülmektedir. Buna göre görüntü analizi yöntemi ile yapılan ölçümler doğrusal artış beklentisini daha iyi karşılamaktadır.

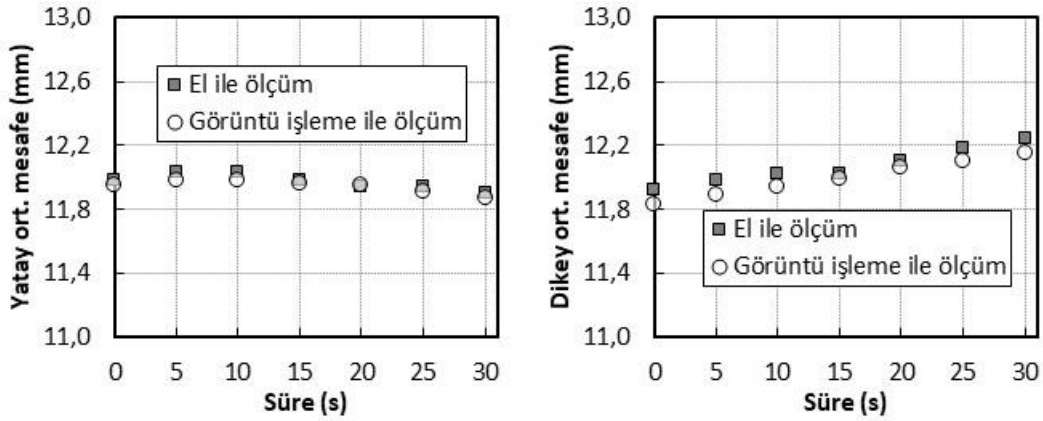
Test esnasında kumaş üst kısmından yukarı yönde sabit hızla çekilirken kumaşın enine daralması, dolayısıyla yatay konumlandırılmış iğneler arası mesafelerin de azalması genellikle beklenen bir davranıştır. Ancak bu davranış özel örgü tasarımı ve kullanılan iplik tipleri sebebiyle auxetic kumaşlarda gerçekleşmeyebilir. Şekil 8-14'deki yatay ortalama mesafe sonuçları incelendiğinde hem el ile ölçüm hem de görüntü işleme ile ölçüm sonuçlarının süreye bağlı olarak azalarak aynı trendi takip ettiği görülmektedir. Şekil 15'teki H kodlu kumaşın sonuçları incelendiğinde ise her iki ölçüm yönteminde de yatay ortalama mesafenin arttığı görülmektedir. Kumaş enindeki genişlemeye bağlı olarak negatif Poisson oranı vermesi beklenen H kodlu kumaşın auxetic bir yapıda olduğu söylenebilir. Auxetic davranış her iki ölçüm yöntemi ile de tespit edilebilmiştir.



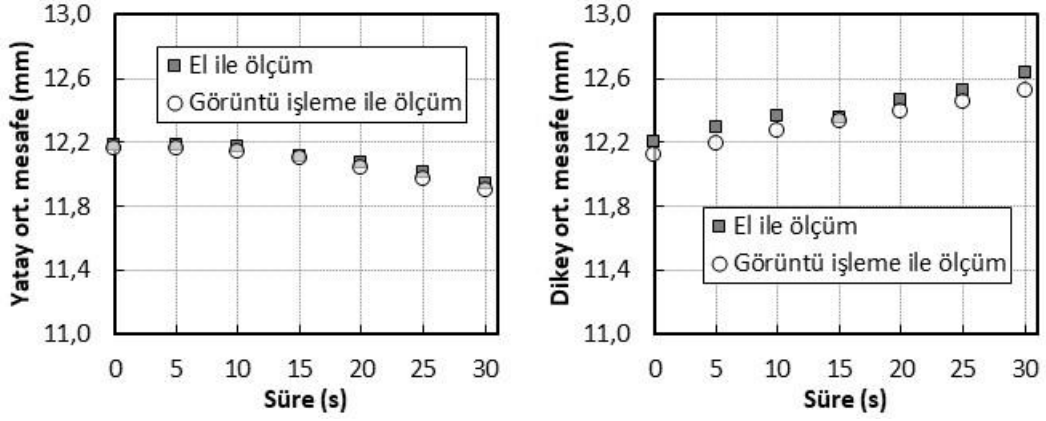
Şekil 8: A kodlu kumaşın gerilme altında süreye bağlı yatay ve dikeyde boyut değişimi



Şekil 9: B kodlu kumaşın gerilme altında süreye bağlı yatay ve dikeyde boyut değişimi

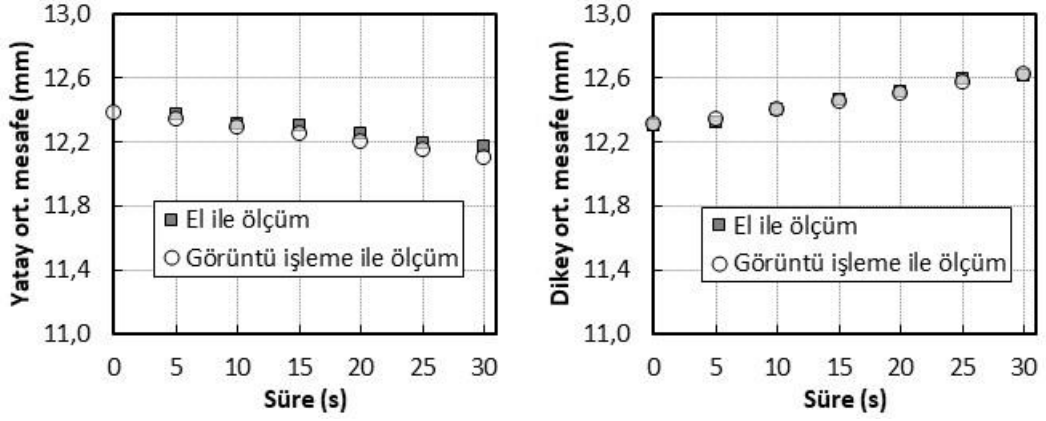


Şekil 10: C kodlu kumaşın gerilme altında süreye bağlı yatay ve dikeyde boyut değişimi



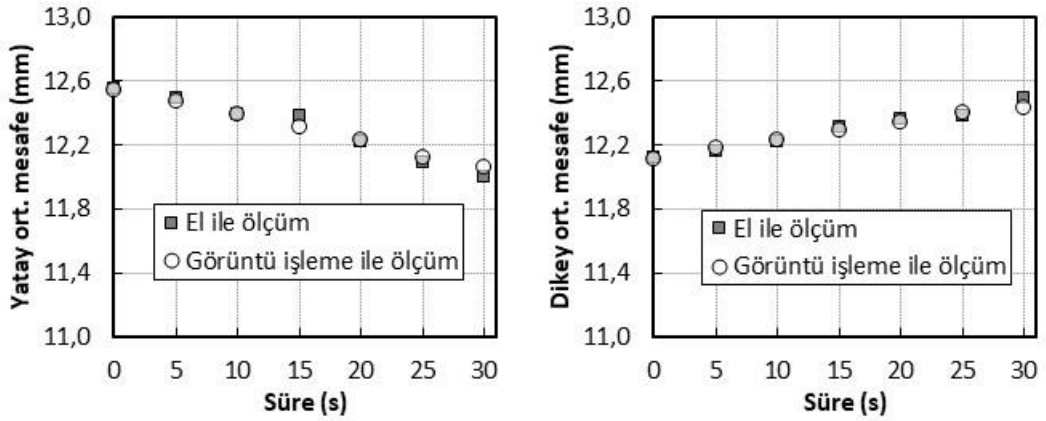
Şekil 11:

D kodlu kumaşın gerilme altında süreye bağlı yatay ve dikeyde boyut değişimi



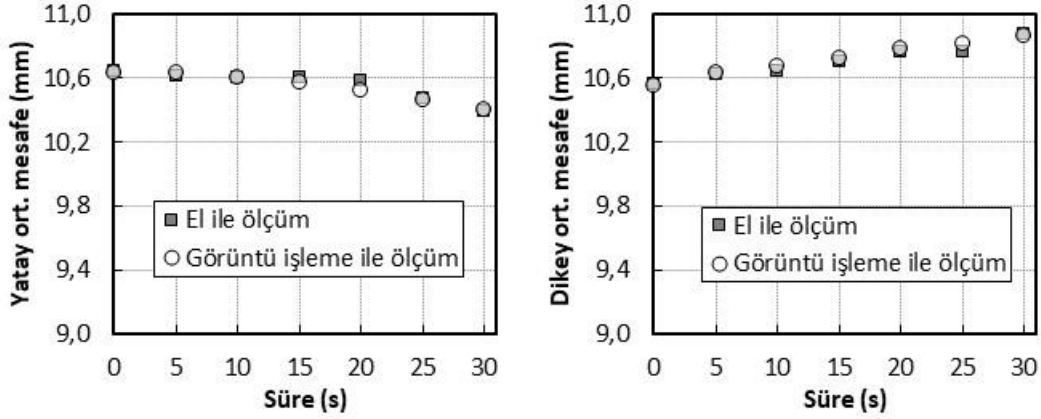
Şekil 12:

E kodlu kumaşın gerilme altında süreye bağlı yatay ve dikeyde boyut değişimi

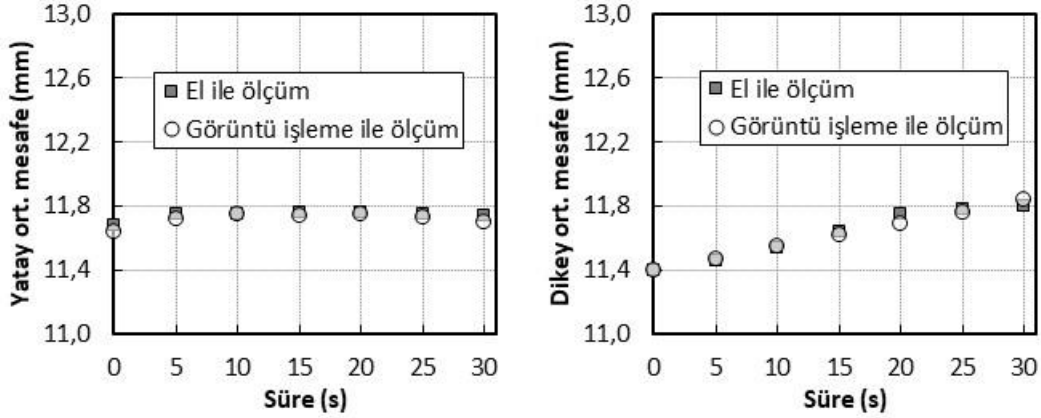


Şekil 13:

F kodlu kumaşın gerilme altında süreye bağlı yatay ve dikeyde boyut değişimi



**Şekil 14:**  
*G kodlu kumaşın gerilme altında süreye bağlı yatay ve dikeyde boyut değişimi*



**Şekil 15:**  
*H kodlu kumaşın gerilme altında süreye bağlı yatay ve dikeyde boyut değişimi*

İki ölçüm yöntemi ile elde edilen sonuçların zamana bağlı değişim trendleri arasındaki benzerliğin tespiti için yatay ve dikey konumlandırılmış iğne mesafeleri için ayrı ayrı korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. İki ölçüm yöntemi ile 8 farklı kumaş üzerinde yapılan ölçüm sonuçlarının tümü dikkate alındığında yatay konumlandırılmış iğneler için gerçekleştirilen mesafe ölçümlerinde 0,99, benzer şekilde dikey mesafe ölçümlerde yine 0,99 gibi çok yüksek korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Bu sonuçlar dikkate alındığında geliştirilen görüntü işleme yönteminin el ile ölçme yöntemi ile çok uyumlu sonuçlar verdiği söylenebilir.

## 5. SONUÇLAR

Gerilme altında dokuma kumaşlarda enine ve boyuna doğrultularda ortaya çıkan boyut değişiklikleri geliştirilen dairesel Hough dönüşümü tabanlı görüntü işleme yöntemi ile ölçülmüştür. Yöntemin doğru ölçüm yaptığını göstermek için farklı yapısal özelliklerdeki dokuma kumaşlar hem el ile (manuel olarak) çizim yöntemiyle hem de geliştirilen görüntü işleme yöntemi ile ölçülmüştür. Ölçüm yöntemlerinden elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu ve aralarındaki sapmanın %1'den düşük olduğu belirlenmiştir. Gerilme altında boyuna doğrultuda beklenen mesafe artışı, enine doğrultuda ise çoğu kumaşta beklenen daralma her iki yöntemle de ölçülmüştür. Boyuna gerilmeye bağlı olarak kumaş eninde artışın gözlemlendiği ve bu nedenle auxetic bir yapıda olduğu düşünülen H kodlu kumaşın enindeki genişleme her iki ölçüm yöntemiyle de ölçülebilmektedir. Hem yatay hem de dikey konumlandırılmış iğneler arası mesafe ölçümlerinde iki ölçüm yöntemi sonuçları arasında 0,99 korelasyon katsayısı değeri

hesaplanmıştır. Bu sonuca göre iki ölçüm yönteminden elde edilen sonuçların zamana bağlı değişim trendleri çok benzerdir. El ile çizim yöntemi ile yapılan ölçümler oldukça zaman alıcı ve kullanıcı dikkati gerektiren bir yöntemdir. Geliştirilen görüntü işleme yöntemi ile kullanıcının sonuçlara etkisi olmadan birkaç saniye içinde netice alınabilmektedir. Sonuç olarak dokuma kumaşların kuvvet altındaki boyut değişikliklerini kolay, hızlı ve doğru olarak ölçebilen görüntü işleme temelli bir ölçüm yöntemi geliştirilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma, TÜBİTAK 1001 projesi (Proje No. 119M358) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür eder.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

## YAZAR KATKISI

Fatih Süvari, Mine Akgün ve Recep Eren çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetiminde, Tuğba Yurdakul veri toplama, Fatih Süvari, Mine Akgün veri analizi ve yorumlama aşamalarında katkı sağlamıştır. Fatih Süvari, Mine Akgün, Tuğba Yurdakul makale taslağının oluşturulması, Recep Eren fikrinsel içeriğin eleştirel incelemesine katkı sağlamıştır. Çalışmanın son onay ve tam sorumluluğunu tüm yazarlar üstlenmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Behera, B. K., ve Hari, P. K. (2010) *Woven Textile Structure: Theory and Applications*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge. doi:10.1533/9781845697815
2. Carneiro, V. H., Meireles, J., ve Puga, H. (2013) Auxetic materials — A review, *Materials Science-Poland*, 31(4), 561–571. doi:10.2478/s13536-013-0140-6
3. Choi, J. B., ve Lakes, R. S. (1991) Design of a fastener based on negative Poisson's ratio foam, *Cellular Polymers*, 10(3), 205–212.
4. Evans, K. E., ve Alderson, K. L. (2000) Auxetic materials: the positive side of being negative, *Engineering Science and Education Journal*, 9(4), 148–154. doi:10.1049/esej:20000402
5. Evans, K. E., Nkansah, M. A., Hutchinson, I. J., ve Rogers, S. C. (1991) Molecular network design, *Nature*, 353(6340), 124–124. doi:10.1038/353124a0
6. Hu, J., ve Xin, B. (2008) *Structure and Mechanics of Woven Fabrics*, Woodhead Publications Limited, Cambridge. doi:10.1533/9781845695231.48
7. Jain, N., ve Jain, N. (2012) Coin recognition using circular Hough transform, *International Journal of Electronics Communication and Computer Technology*, 2(3), 101–104.
8. Liu, H., Qian, Y., ve Lin, S. (2010) Detecting persons using hough circle transform in surveillance video, *Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications 2010* (Vol. 2, pp. 267–270). doi:10.5220/0002856002670270
9. MathWorks. (2019) Circular Hough Transform, Erişim Tarihi: 12.10.2019, [www.mathworks.com/help/images/ref/imfindcircles.html](http://www.mathworks.com/help/images/ref/imfindcircles.html)
10. Ng, W. S., ve Hu, H. (2018) Woven fabrics made of auxetic plied yarns, *Polymers*, 10(2), 226. doi:10.3390/polym10020226



11. Rant, D., Rijavec, T., ve Pavko-Čuden, A. (2013) Auxetic textiles, *Acta Chimica Slovenica*, 60(4), 715–723.
12. Saville, B. P. (1999) *Physical Testing of Textiles*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
13. Shahabi, N. E., Mousazadegan, F., Varkiyani, S. M. H., ve Saharkhiz, S. (2014) Crimp analysis of worsted fabrics in the terms of fabric extension behaviour, *Fibers and Polymers*, 15(6), 1211–1220. doi:10.1007/s12221-014-1211-y
14. Shahabi, N. E., Saharkhiz, S., ve Varkiyani, S. M. H. (2013) Effect of fabric structure and weft density on the poisson's ratio of worsted fabric, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 8(2), 63–71. doi:10.1177/155892501300800208
15. Shapiro, L., ve Stockman, G. (2001) *Computer Vision*. New Jersey: Prentice Hall.
16. Sun, H., Pan, N., ve Postle, R. (2005) On the Poisson's ratios of a woven fabric, *Composite Structures*, 68(4), 505–510. doi:10.1016/j.compstruct.2004.05.017
17. Supriyanti, R., Setiawan, B., Widodo, H. B., ve Murdyantoro, E. (2012) Detecting pupil and iris under uncontrolled illumination using fixed-hough circle transform, *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 5(4), 175–188.
18. Suvvari, F. (2021) Image processing based drape measurement of fabrics using circular Hough transformation, *The Journal of The Textile Institute*, 112(5), 846–854. doi:10.1080/00405000.2020.1782553
19. Süvari, F., ve Meric, B. (2008) Görüntü analizi yaklaşımı ile dikiş büzülmesi ölçümü, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 13(2), 35–44. doi:10.17482/uujfe.89674
20. Tong, Y., Wang, H., Pi, D., ve Zhang, Q. (2006) Fast algorithm of Hough transform-based approaches for fingerprint matching, *6th World Congress on Intelligent Control and Automation* (Vol. 2, pp. 10425–10429). IEEE. doi:10.1109/WCICA.2006.1714046
21. Uzun, M. (2010) Negatif poisson oranına sahip (Auxetic) malzemeler ve uygulama alanları, *Tekstil ve Mühendis*, 17(77), 13–18.
22. Xu, B. (1997) Instrumental evaluation of fabric pilling, *The Journal of The Textile Institute*, 88(4), 488–500. doi:10.1080/00405000.1997.11090899

