



---

**Araştırma Makalesi / Research Paper**

---

**Shearlet Dönüşümü ve Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Kot Kumaşlar Üzerinde Gerçek Zamanlı Hata Tespiti**

Erdal GÜVENOĞLU<sup>1\*</sup>, Muhammet BAĞIRGAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maltepe University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Istanbul, Turkey.

<sup>2</sup>Republic of Turkey Ministry of National Education, Atatürk Vocational and Technical Anatolian High School, Kayseri, Turkey.

[erdalguvenoglu@maltepe.edu.tr](mailto:erdalguvenoglu@maltepe.edu.tr)

**Received/Geliş:** 15.04.2019

**Accepted/Kabul:** 28.06.2019

**Öz:** Tekstil sektörünün ara mamul maddesi olan kumaşlar, farklı üretim teknikleri ile elde edilen ve temeli elyaf olan ürünlerdir. Tekstil sektöründe kumaş üretimindeki payı, üretim çeşitliliği ve kullanma alanı göz önüne alındığında en geniş kumaş sınıfını oluşturan dokuma kumaşlar, atkı ve çözgü ipliği denilen iki paralel iplik dizisinin birbiriyle dik olarak kesişmesi sonucu oluşan bağlantıların oluşturduğu örgülerdir. Dokuma teknolojisinde yaşanan gelişmeler sayesinde oluşabilecek bazı kumaş hatalarının tamamen ortadan kaldırılması ya da önlenmesi mümkün olsa da günümüzde hala kumaş üretimi esnasında hatalar oluşmaktadır. Bu çalışmada görüntü işleme tekniklerinden faydalanılarak dokuma kumaş üzerinde gerçek zamanlı hata tespiti yapabilecek bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem yüksek çözünürlüklü kamera vasıtasıyla anlık kaydedilen dokuma kumaş görüntüleri üzerinde görüntü işleme tekniklerinden Shearlet dönüşümü öznelik çıkarma yöntemi kullanılarak gerçek zamanlı dokuma kumaş hata kontrolünün yapılmasını sağlayan düzenden oluşmaktadır. Oluşturulan bu düzencele yapılan gerçek zamanlı hata tespit çalışmalarında bilinen kumaş hatası türlerinden çözgü kopuğu, atkı kopuğu, delik, yırtık ve leke hatalarının başarılı bir şekilde tespiti yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kumaş Hatası Tespiti, Shearlet Dönüşümü, Gerçek Zamanlı Kontrol, Öznelik Çıkarma, Kumaş Dokuma Makinesi.

---

**Real-time Error Detection on Jeans Fabrics Using Shearlet Transform and Image Processing Techniques**

**Abstract:** Fabrics, which are intermediate products of the textile industry, are products that are obtained by different production techniques and are basic fibers. Considering the share of fabric production in the textile sector, production diversity and usage area, the woven fabrics, which constitute the largest fabric class, are the knits formed by the connections formed by the intersection of two parallel thread series called weft and warp yarn. Although it is possible to remove or prevent certain fabric faults that may occur due to developments in weaving technology, there are still faults during fabric production today. In this study, a system has been developed which can make real time error detection on weaving fabric by using image processing techniques. This system consists of a mechanism that enables real time woven fabric error control using the shearlet conversion feature extraction method from image processing techniques on instantly recorded woven fabric images with a Full HD camera. In the real time error detection studies made with this apparatus, the defects of warp breakage, weft breakage, hole, tear and stain have been successfully detected.

**Keywords:** Fabric Defect Detection, Shearlet Transform, Real Time Control, Feature Extraction, Fabric Weaving Machine.

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Güvenoğlu, E., Bağrgan, M., "Shearlet Dönüşümü Ve Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Kot Kumaşlar Üzerinde Gerçek Zamanlı Hata Tespiti", El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2019, 6(3); 491-502.

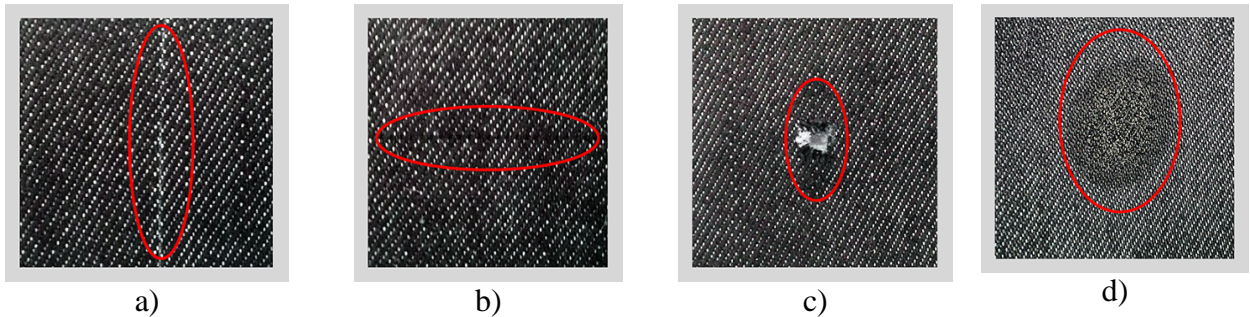
*How to cite this article*

Güvenoğlu, E., Bağrgan, M., "Real-time Error Detection on Jeans Fabrics Using Shearlet Transform and Image Processing Techniques", El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2019 6(3); 491-502.

## 1. Giriş

Tekstil endüstrisinde önemli bir yeri olan dokuma sanayisinin üretim hattını kumaş üretim birimleri oluşturmaktadır. Bu birimlerde genellikle dokuma ve örgü makineleri kullanılarak kumaş üretimi yapılmaktadır. Kalite standartları yüksek kumaş üretiminin yapılabilmesi için kumaş kalitesini etkileyen başlıca olumsuz etmenlerin giderilmesi gerekmektedir. Bu etmenlerin başında iplikten ya da dokumadan kaynaklı kumaş hataları gelmektedir. Kumaş hatalarının tespiti, genellikle işletmelerin üretim sonrasında kalite kontrol birimlerinde yapılmaktadır. Bu birimlerde kalite kontrol operatörü ya da bir otomasyon sistemi tarafından ışıklı kontrol masalarında ham veya bitmiş kumaşların dikkatli bir şekilde izlenmesiyle gerçekleştirilir. Bu sistemin dezavantajı, kontrollerin dokuma işleminden sonra yapılmasıdır. Bu nedenle dokuma esnasında oluşabilecek hatalara müdahale edilememektedir. Bizzat insanın rol aldığı ve müdahale ettiği kumaş kontrolünün başarı oranı yaklaşık olarak %70'tir [1]. Bir kalite kontrol elemanının dokunmuş kumaş kalitesinin kontrolü esnasında işe odaklanma süresi en fazla 30 dakika civarındadır. Bu süreden sonra kalite kontrolcüde dikkat dağınıklığı başlar ve tam olarak odaklanamaz [1]. Otomatik olarak hata tespiti yapabilen gelişmiş otomasyon sistemleri ise %90 oranında tespit yapabilmektedir.

Kumaş hataları, kumaşın kalitesini olumsuz yönde etkileyen gözün görebildiği ve hakkında değerlendirme yapılabilen unsurlardır. Bu unsurlar, dokuma öncesi ve sonrası ya da dokuma esnasında birkaç sebepten dolayı meydana gelebilir. Tekstil endüstrisi tarafından 70' ten fazla kumaş hatası tanımlanmıştır [2]. Bununla birlikte literatürde 235 farklı hata türü ve oluşum sebebi bulunmaktadır. Kumaşlardaki bu hata türleri çözgü yönünde ve atkı yönünde oluşan hatalar, kumaş doku yüzeyinde oluşan hatalar ve kumaş kenarında oluşan hatalar şeklinde 4 ana kısımda ifade edilmektedir. Bu sınıflamaya göre çözgü yönündeki hatalardan bazıları çözgü kopuğu ve kaçığı, kalın ve ince çözgü, çift çözgü ipliği, gevşek çözgü ipliği ve tarak izidir. Atkı yönündeki hatalardan bazıları ise atkı yığılması, çift atkı, kalın atkı, ince atkı, atkı kaçığı ve atkı aralığıdır. Düğüm, nope, uçuntu, dalgalı yüzey, delik, boş çözgü, yırtık ve leke, kumaş yüzeyindeki hatalara örnek verilebilir. Kenar hatalarına örnek olarak kıvrık kenar, kalın kenar, gevşek kenar ve cımar izi verilebilir. Çözgü kaşığı ve kopması hatası, dokuma tezgâhının dokuma işlemine devam etmesi nedeniyle kumaş yüzeyi boyunca oluşan çözgü ipliği eksikliğidir. Atkı kaşığı ve kopması hatası, dokunmuş kumaş yüzeyinde enine yönde gözüken atkı ipliği noksanlığıdır. Delik, patlak ve yırtık hatası, dokuma esnasında çerçevelerin arasına yabancı bir ipliğin düşmüş olması ya da testere ayarsızlığından kaynaklı çok sayıda çözgü ipliğinin kopması veya cımarların ayarsız olması gibi birkaç nedenden dolayı kumaş yüzeyinde oluşan delik, patlak veya yırtıklardır. Leke hatası ise, kumaş yüzeyine bulaşan veya damlayan yağ, pas ya da boyadan kaynaklı hatadır [3]. Şekil 1'de bu hata türlerine örnekler verilmiştir.



Şekil 1. Dokuma kumaş hataları a) Çözgü kaçığı b) Atkı kaçığı c) Delik hatası d) Yağ lekesi

## 2. Literatür Araştırması

Kumaş görüntülerinin otomatik olarak gerçek zamanlı takip edilmesinde görüntü işleme teknikleri de kullanılmaktadır. Bu teknikler kusurların yer aldığı pikselleri çıkartarak bazen sınıflandırıcıya

ihtiyaç duymadan da hata tespitini yapabilmektedir [4]. Fakat başarımları oranları beklentileri tam olarak karşılayamamaktadır. Kumaş hata tespit uygulamasına yönelik birçok yöntem öne sürülmüştür. Bu yöntemler istatistiksel, model tabanlı ve spektral yaklaşımlar olmak üzere temelde üç ayrı gruba ayrılabilir. Dokuma kumaşlar için geliştirilen sistemlerde kullanılan en başarılı yaklaşım grubu spektral yaklaşımdır [5]. Bu yaklaşım içerisinde Fourier dönüşümü [6-7-8] Gabor filtresi [9-10-11-12] ve Dalgacık dönüşümü [13-14-15-16-17] gibi yöntemler yer almaktadır. Malek tarafından yapılan çalışmada [6], hızlı Fourier dönüşümü ve çapraz korelasyon yöntemlerini kullanarak kumaş görüntülerinin öznelik bilgileri çıkartılmış ve sonrasında bu bilgiler eğitim için seviye seçim filtresine sunulmuştur. Ardından bu filtrenin ideal çalışma aralığı kumaş hata türlerine göre tespit edilmiştir. Benzer bir öznelik çıkarma tabanlı çalışma Chan ve Pang tarafından yapılmış ve Fourier dönüşümü kullanılarak daha fazla değişken yardımıyla daha düşük bir hesaplama süresi elde edilmiştir [7]. Yapılan çalışmada iki spektral diyagram tanımlanmıştır. Bu diyagramlar üç boyutlu frekans spektrumuna dayanmaktadır. Fourier dönüşümü anlık hata tespitinde hız gerektiren bir işlemdir. Performansı arttırmaya yönelik bir çalışma Pan ve Jiao tarafından gerçekleştirilmiştir [8]. Bu çalışmada Fourier dönüşümüne dayalı önerilen yöntem CPU ve GPU üzerinde test edilmiştir. Bodranova ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada iki boyutlu optimum bir Gabor filtresi tasarlamışlar ve tasarladıkları bu filtreyi desenli kumaş hatalarının tespitinde gerçek zamanlı kullanmışlardır [9]. Gabor filtresi çözümü hem homojen desenlerden hem de kompleks jakarlı dokuma desenlerden oluşan kumaş yüzeylerde uygulanmıştır. Farklı hata türlerinin yakalanabilmesi için yöntemde az sayıda da olsa optimum filtre gerekmektedir. Kumaş hatalarının tespitinde morfolojik işlemler ve Gabor dalgacık dönüşümü birlikte kullanılabilir [10]. Yapılan çalışmada 78 adet kumaş görüntüsü alınmıştır. Bunlardan 39 tanesi hatasız kumaş görüntüsüdür. Geriye kalanlar ise farklı hataların bulunduğu kumaş görüntüleridir. Hatalı ve hatasız kumaş görüntüleri Gabor dalgacık ağı ile eğitilmiş ve testleri gerçekleştirilmiştir. Tek simetrik ve çift simetrik Gabor filtresi kullanan bir diğer çalışmada [11] farklı boyut ve türlerde hatalar içeren 42 farklı kumaş yüzeyinden oluşan görüntülere yer verilmiştir. Bu çalışmada tek simetrik Gabor filtresinin özellikle keskin kenar tipindeki atkı ve çözgü kopuğu gibi hataların tespitinde ve çift simetrik Gabor filtresinin ise düğüm gibi benek veya damlaya benzer hataların tespitinde daha etkili olduğu görülmüştür.

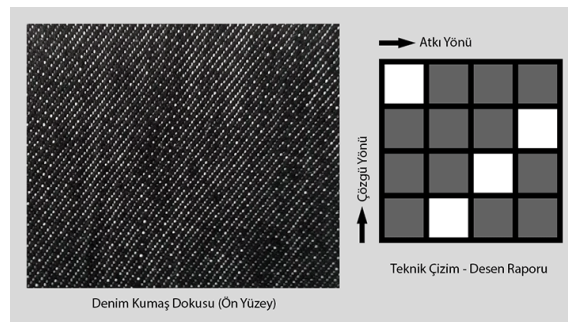
Günümüzde kameralar yardımıyla eş zamanlı olarak hata tespiti çalışmalarına hız verilmiştir. Bunun için en temel gereksinim ışıklandırılmalı bir yüzeyde kameralar yardımıyla anlık görüntüler yakalamaktır. Yakalanan görüntüler üzerinde siyah beyaz filtreleme ve dalgacık dönüşümü gibi metotlarla hata tespiti ve sınıflandırma işlemleri yapılmaktadır [12]. Kamerayla elde edilen görüntülerde hata yakalamak için yapılan bir çalışmada [13], dalgacık dönüşümü yöntemi ile görüntüler çözünürlükleri farklı alt bantlara ayrılmıştır. Alt bantlardan entropi değeri en düşük olan 6 tanesi hata konumunun tespitinde kullanılmıştır. Konumların belirlenmesi, görüntülerin öznelikleri çıkartılarak yapay sinir ağı ile eğitilmiştir. Yöntem ile atkı ve çözgü kopuğu, yağ lekesi ve delik hatası gibi kumaş hatası türlerinden oluşan dört farklı hatanın tespit edilmesi ve sınıflandırılması yapılmıştır. Hata tespitinde sadece temel dokular olarak bilinen bez ayağı ve dimi gibi örgü yapısına sahip kumaş desenleri değil karmaşık örgü desenli kumaş yüzeylerinde görülen hataların da tespit edilmesi gerekmektedir. Desenli kumaş hatalarının tespiti için yapılan bir çalışmada [14] dalgacık dönüşümü metodu tercih edilerek uygun bir algoritma elde edilmiştir. Otuzar adet hatalı ve hatasız jakarlı kumaş görüntüsü üzerinde hata tespit çalışması yapılmıştır. Kumaş hata denetimi çalışmasında kullandığı yöntemler olarak dalgacık dönüşümü başta olmak üzere bağımsız ve topolojik bağımsız bileşen analizleri gibi metotları kullanarak farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir [15]. Ön işlem olarak dalgacık dönüşümü metodu kumaş görüntülerine uygulanmış ve görüntülerin alt bantlara ayrılması sağlanmıştır. Bu çalışmada çeşitli dalgacık dönüşüm metotları ve alt bantları kullanılmış ve sonuç olarak 13 farklı kumaş hatası analiz yöntemi geliştirilmiştir. Hata tespitinde yapay sinir ağları da yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Atkı ve çözgü kopuğu ve yağ lekesi gibi hatalarının tespiti yapılabilmektedir [16]. Öznelikleri çıkartılan görüntülerin bir kısmı eğitim bir kısmı da test amaçlı kullanılmaktadır. Bazı çalışmalarda dalgacık dönüşümü

metodu ve Fourier dönüşümünü birlikte kullanılmıştır [18]. Bu çalışmada temel dokulardan bezayağı kumaş yüzeylerinden oluşan 160 görüntü, her bir grupta 40'ar adet olmak üzere farklı hata tiplerinin yer aldığı dört ayrı gruba bölünmüştür. Aynı süreç dimi örgü kumaş yüzeyi görüntüleri içinde tekrarlanmıştır. Hatalı ve hatasız kumaşların standart sapmaları alınarak karşılaştırılmıştır. Önceden belirlenen eşik değerini aşan kumaş bölgeleri hatalı kabul edilmiştir. Hata tespiti için eşik değeri kullanan bazı çalışmalarda [19] birinci derece gradyan filtresi, kontrast germe, standart sapma, Fourier dönüşümü ve gri seviye fark alma işlemlerinden faydalanılmıştır. Bu yöntemlerle görüntüler alt bantlara ayrılmış ve öznelikleri çıkartılmıştır. Öznelikleri çıkartılan görüntülerin ortalama değerleri ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Belirlenen alt ve üst eşik değerleri dışındaki kumaşlar hatalı kabul edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, yüksek çözünürlüklü kamera ile gerçek zamanlı kaydedilen dokuma kumaş görüntüleri üzerinde, görüntü işleme tekniklerinden Shearlet dönüşümü metodu kullanılarak kumaş hatası kontrolünün yapılmasıdır. Bu çalışmanın diğer bir amacı ise zaman ve maliyet bakımından kaliteli kumaş üretimine katkı sağlamaktır. Çalışmada, mekikçikli dokuma tezgâhları temel alınarak sektörde önemli bir yeri olan ve dimi örgü desenine sahip kot kumaşlar kullanılmış ve bu kumaşlar üzerinde çözgü kaçığı, atkı kaçığı, delik ve leke hatalarına yönelik hata tespit çalışmaları yapılmıştır.

### 3. Materyal ve Önerilen Yöntem

Bu çalışmada çözünürlüğü yüksek bir kamera aracılığı ile piyasada satılan kot kumaş numunelerinden elde edilen görüntüler kullanılmıştır. Bu kumaşlardan elde edilen görüntüler hata türlerine göre tasnif edilmiştir. Yağ lekesi ve delik hatası görüntüleri ise tarafımızdan kumaş üzerine dışarıdan müdahale edilerek oluşturulmuştur. Kullanılan bu numunelerinin çözgü sıklığı ve atkı sıklığı elde edilen kumaş numunesine göre değişmekte olup örgü deseni 3/1 Z (sağ yollu) dimi, çözgü ipliği pamuk, atkı ipliği polyesterdir. Ayrıca bilindiği üzere kot kumaşların yapısı gereği çözgü iplikleri boyalı ve atkı iplikleri ise beyazdır. Şekil 2’de bu çalışmada kullanılan örnek bir kot kumaş numunesi ve deseninin teknik çizimi bulunmaktadır. Kumaş görselleri üzerinde yapılan değerlendirmeler ön yüzey temel alınarak yapılmış ve tüm kumaşlarda çözgü yönü aynı tutulmuştur.



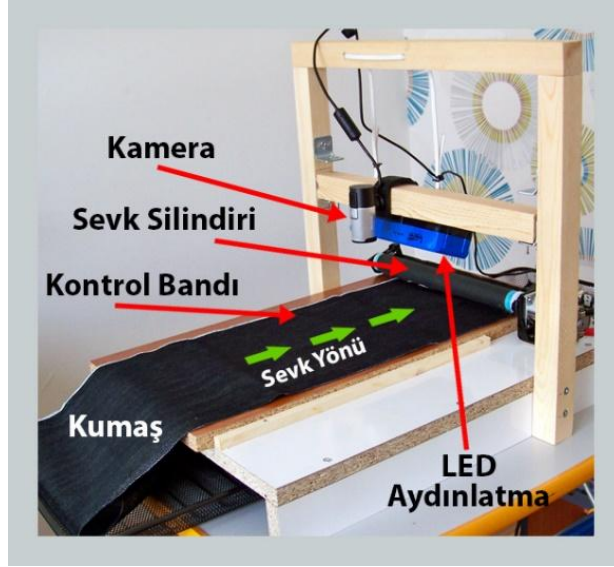
Şekil 2. Kot kumaş numunesi ve Dimi 3/1 Z (sağ yollu) dimi örgü deseni

#### 3.1. Gerçekleştirilen Çalışma

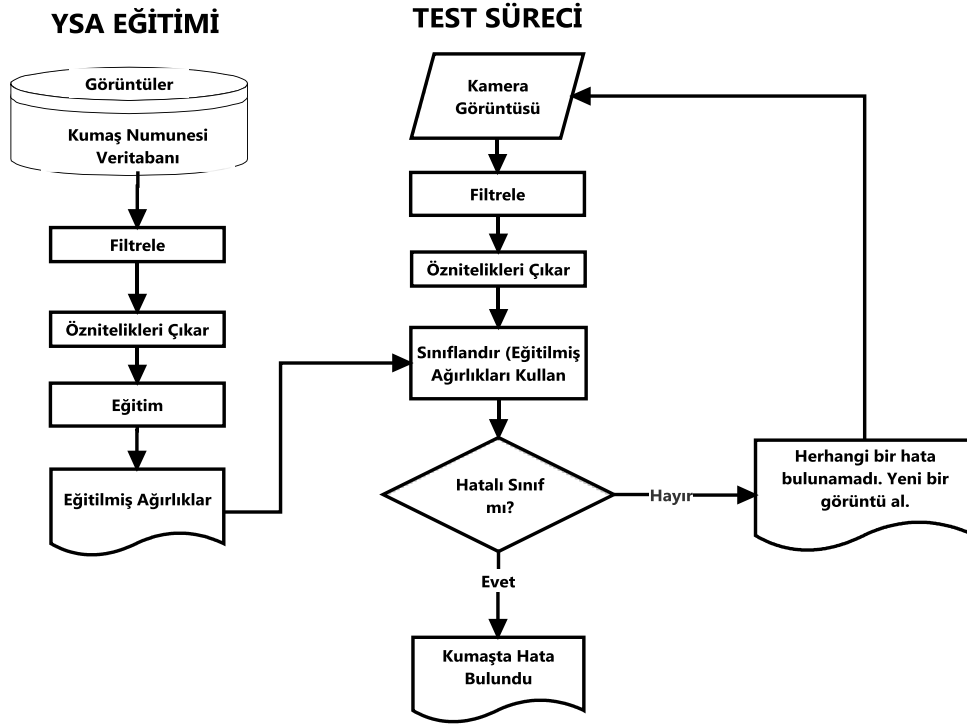
Bu çalışma için özel hazırlanan ve kumaş dokuma makinesinin çalışma prensibinin modellendiği bir kumaş kontrol sistemi (KKS) kullanılmıştır. Şekil 3’te verilmiş olan bu sistem sayesinde fabrika ortamına girmeden kumaş hata kontrolü işlemleri yapılmıştır.

Bu sistem 360x500 mm ebatlarında olup yüksek çözünürlüklü kamera, LED ışık kaynağı, DC motor, motor sürücü kartı ve güç kaynağı ve motora bağlı olan sevk silindiri bileşenlerini içermektedir. Bu bileşenlerden biri olarak kullanılan kamera, CMOS algılayıcı teknolojisine sahip

olan yüksek çözünürlüklü, 1080p HD görüntü kalitesine sahip, 0.1 m ile 10 m arası otomatik netleme (odaklama) ve saniyede 30 kare yakalama özelliklerine sahiptir.



Şekil 3. Gerçekleştirilen kumaş kontrol sistemi ve bileşenleri



Şekil 4. Kumaş hatası tespiti için oluşturulan sistemin genel yapısı

Verilerin işlendiği bilgisayar Intel Core i7 işlemci ve 12 GB Ram belleğe sahiptir. Sistem tek bir motor üzerinden kontrol edilmekte olup motor sürücü kartı sayesinde motor hız ayarı manuel olarak yapılabilmektedir. Kamera sistemi bilgisayara bağlı olarak çalışmakta ve kumaş kontrol sistemi üzerinde kumaş yüzeyini görece şekilde 90 derece açıyla 10 cm uzaklığa sabitlenmiştir. Işık kaynağı yardımı ile kameranın gördüğü alanı aydınlatmaktadır. Tasarlanan KKS üzerindeki kamera ile her bir kumaş parçasının kumaş hareket ederken görüntüleri bilgisayar sistemine aktarılmıştır. Aktarılan kumaş görüntüleri MATLAB ortamında hazırlanmış Kumaş Hatası Tespit Yazılımı (KHTY) vasıtası ile kontrolden geçirilmiş ve hatalı kumaş görüntüleri “jpg” dosya formatında kaydedilmiştir. Elde edilen kumaş görüntüleri yapay sinir ağları ile eğitilmiştir. Gerçekleştirilen KHTY sisteminin tüm aşamaları Şekil 4’te gösterilmektedir.



### 3.2. Shearlet Dönüşümü

Dalgacık ve Fourier dönüşümü gibi sinyal ve görüntü analiz metotları günümüzde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu metotlar yüksek boyutlu sinyal ve görüntü verileri için veya kenar ya da köşe bilgileri gibi benzer geometrik özellikleri en iyi şekilde ortaya çıkartmak için uygun metotlar değildir. Bunun en büyük sebebi bu metotlarla görüntüler üzerinde çok yönlü olarak yapılan analizlerde yeterli düzeyde bilgiye ulaşılamamasıdır. Bunu sağlamak için görüntüleri çok yönlü ve çok ölçekli analiz edebilen metotlar geliştirilmiştir. Bu metotlardan birisi de Shearlet dönüşümü metodudur. Yönel olarak dalgacık dönüşümü metodunun daha geliştirilmiş bir sürümü olan bu metot, görüntü analizlerinin yapılmasında kullanılan çok ölçekli bir modeldir. Shearlet dönüşümü farklı ürünlerin dokularının sınıflandırılmasında kullanılan bir dönüşümdür [20]. Shearlet dönüşümü üzerine sonraki yıllarda karmaşık formda tanımlanmış bazı çalışmalar yapılmıştır [21].

Shearlet dönüşümü, parabolik ölçekleme  $A_a = \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & \sqrt{a} \end{pmatrix}$  matrisi,  $S_s = \begin{pmatrix} 1 & s \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$  kesme matrisi ve  $t$  çevrim değişkeni olmak üzere  $\psi_{a,s,t}$  ana shearlet fonksiyonu denklem 1'de verildiği şekliyle kutupsal koordinat sisteminde tanımlanmaktadır [21]. Bu verilen denklem  $a$  ölçek değişkeni reel sayı olmak üzere sıfırdan büyük ve  $s$  kesme değişkeni ise reel sayı olmaktadır.

$$\psi_{a,s,t}(x) = a^{-\frac{3}{4}} \psi(A_a^{-1} S_s^{-1}(x - t)) \quad (1)$$

Görüntü işleme uygulamalarında Shearlet dönüşümü yönteminin yer alabilmesi için kartezyen koordinat sisteminde tanımlanmış olması gerekmektedir. Bu kapsam içerisinde shearlet dönüşümü sonlu ayırık şeklinde tarif edilebilir.  $M, N$  Görüntü boyutları ile  $j_0 = \left\lceil \frac{1}{2} \log_2 \max\{M, N\} \right\rceil$  olmak üzere, Shearlet dönüşümü yönteminde kullanılan parametrelerin ayırık karşılıkları vardır. Bunlar;

$$a_j = 2^{-2j}; j = 0, \dots, j_0 - 1 \quad (2)$$

$$S_{k,j} = k2^{-j}; -2^j \leq k \leq 2^j \quad (3)$$

$$t_m = \left( \frac{m_1}{M}, \frac{m_2}{N} \right), m \in \mathcal{G}; \quad (4)$$

$$\mathcal{G} = \{(m_1, m_2) : m_1 = 0, \dots, M - 1, m_2 = 0, \dots, N - 1\} \quad (5)$$

dir. Burada  $\mathcal{G}$  ızgarayı (grid) ifade etmektedir. Denklem 6' da verilen sonlu ayırık şeklinde ifade edilen Shearlet dönüşümü, hızlı Fourier dönüşümünden de faydalanılarak Hızlı Sonlu Shearlet Dönüşümü (Fast Finite Shearlet Transform - FFST) şeklinde de ifade edilir [22].

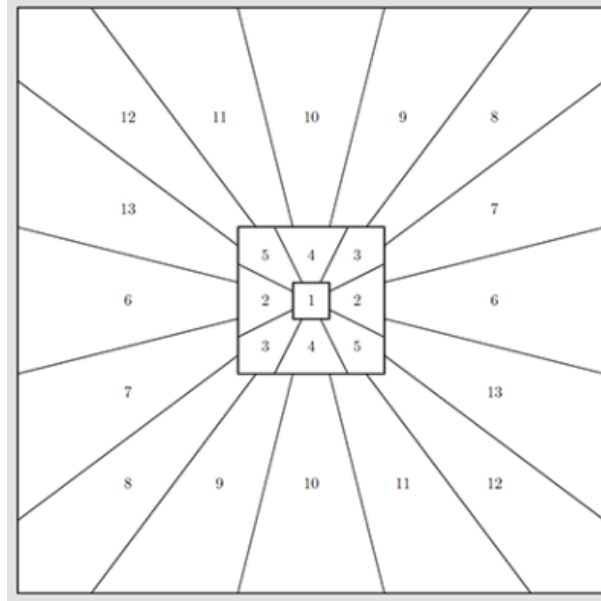
$$\psi_{j,k,m}(x) := \psi_{a_j, s_{j,k}, t_m}(x) := \psi \left( A_{a_j}^{-1} S_{s_{j,k}}^{-1}(x, t_m) \right) \quad (6)$$

Frekans dilimlerinin dağılımına bakıldığında alçak geçişli bölüm için her zaman bir tane indeks var olduğu görülmektedir. Her bir frekans bandında diyagonaller için 2 indis vardır. Her bir konide ise  $1 + 2 \cdot (2^j - 1) = 2^{j+1} - 1$  tane indeks vardır. Ayrıca  $j$  ölçek için  $2 \cdot (2^{j+1} - 1) + 2 = 2^{j+2}$  tane indeks vardır. Tablo 1'de her  $j$  için kesme sayısı listelenmektedir.

**Tablo 1.** Her  $j$  için kesme sayısı

Alçak Geçiş (Low-pass)	$j = 0$	$j = 1$	$j = 2$
	1	4	8
			16

Şekil 5'te işlemlerde kullanılan frekans dilimlerinin dağılımı verilmiştir [22].



Şekil 5. FFST frekans dilimleri

Her indeks için spektrum,  $M \times N$  boyutunda bir ızgara üzerinde hesaplanır. Tüm indeksler  $M \times N \times \eta$  boyutunda üç boyutlu bir matris içinde saklanır. Sonuç olarak  $M \times N$  boyutunda bir  $f$  görüntüsü,  $M \times N \times \eta$  boyutunda bir görüntüye yüksek oranda örneklenir.  $j_0 = 1, \dots, 4$  için  $\eta$  sırasıyla 5, 13, 29, 61 değerlerini alır. Burada  $j_0$  ölçek sayısını ifade etmekle birlikte  $j$  parametresi için en yüksek ölçek  $j_0 - 1$  dir. Her bir  $j_0 = 1, 2, 3, 4$  ölçek değerlerindeki kesme sayısı hesaplanırken  $2^{j_0+2} - 3$  formülü kullanılır. Tablo 2’de, tüm görüntü boyutları olan  $N = 4, \dots, 1024$  için ölçek sayıları listelenmiştir.

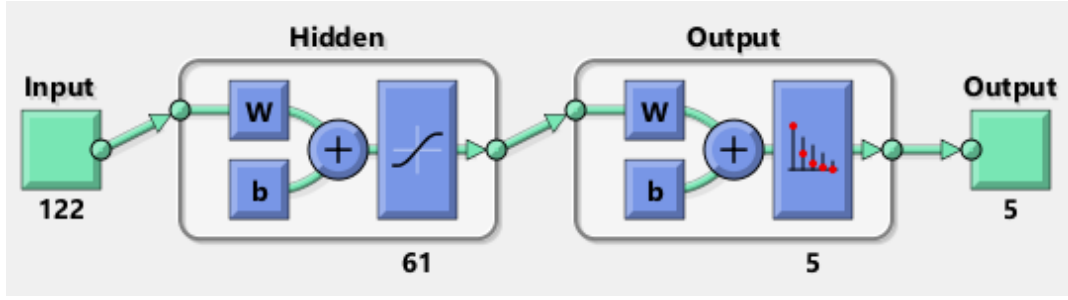
Tablo 2. N için ölçek sayıları

N	4...15	16...63	64...255	256...1023	1024
$j_0$	1	2	3	4	5

Bu çalışmada shearlet dönüşümü metodu ile görüntünün öznelilik değerleri çıkartılırken alınan ölçek sayısı 4 olarak belirlenmiştir.  $1080 \times 480$  boyutunda belirlenen her bir kumaş yüzeyi görüntüsü farklı açılarda filtreleme işleminden geçirilirken 61 frekans dilimi kullanılmış ve böylece her bir görüntü için  $1080 \times 480 \times 61$  ölçüsünde shearlet katsayı matrisleri hesaplanmıştır. Elde edilmiş olan frekans katsayı matrisleri üzerinde istatistiksel analizler yapılmıştır. Hata tespitinde her bir shearlet katsayı matrisi için ortalama ve varyans ölçüleri hesaplanmış ve normalizasyon işleminden geçirilmiştir. Sonuç olarak KKS’den alınan her bir kumaş yüzeyi görüntüsünün analiz işlemlerinde kullanılmak üzere öznelilik vektör boyutu değeri  $1 \times 122$  olarak bulunmuştur.

### 3.3. Yapay Sinir Ağları

Görüntü işleme ve örüntü tanıma teknikleri için sınıflandırıcılara ihtiyaç vardır. Yapay Sinir Ağları (YSA) parametrik olmayan doğası ve karmaşık karar bölgelerini tanımlama gibi yeteneklerinden ötürü hata tespiti için en hızlı ve en esnek sınıflandırıcılar arasındadır [23]. YSA’nın öğrenme süreci verilen örnekler ışığında eğitilmesiyle olur. YSA, giriş katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere genellikle üç katmana sahiptir [24]. YSA nöronlardan oluşur ve her bir nöron toplama işlemi ile bağlı olduğu diğer nöronun giriş verisine katkı sağlamaktadır [25]. Bu çalışmada kumaş hata tespiti için örüntü tanıma işleminin sınıflandırma aşamasını oluşturan YSA’nın çalışma modeli çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı olarak belirlenmiştir. Şekil 6’da çalışma modeli diyagramı verilmiştir.

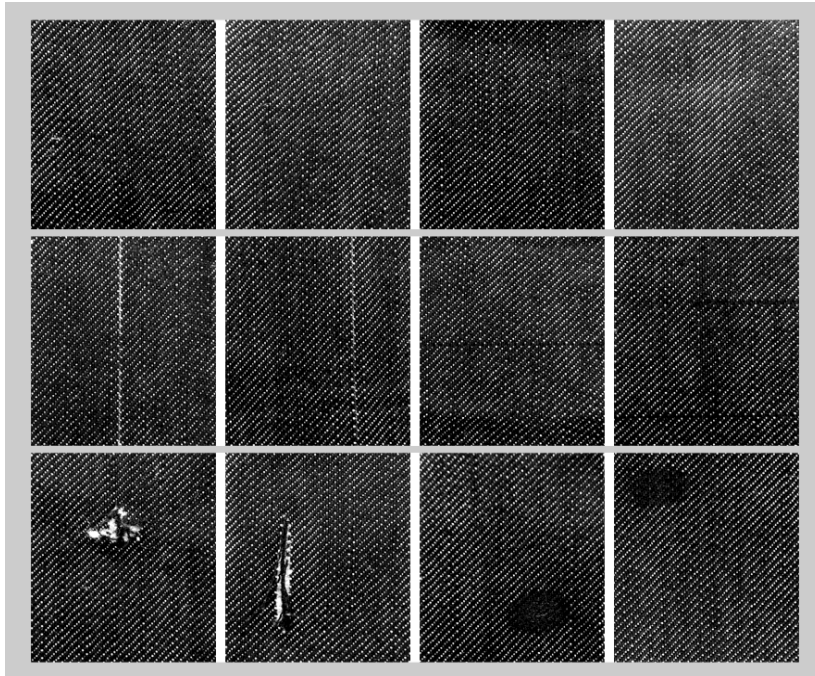


Şekil 6. Çalışmada kullanılan YSA modeli

YSA'nın eğitimi için MATLAB ortamında bulunan Neural Network Toolbox kullanılmıştır. YSA'nın eğitiminde ve hata sınıflandırma çalışmalarında çok katmanlı ve ileri beslemeli YSA modeli tercih edilmiştir. Hatalı 1120 adet kot kumaş numunesi görüntüleri giriş bilgisi olarak YSA'ya sunulmuştur. Giriş bilgisi olarak YSA'ya sunulan bu verilerin %80'i eğitim, %20'si test amaçlı kullanılmıştır. Ayrıca 1120 adet görüntü haricinde 400 adet hatalı görüntü de hiçbir işleme tabi tutulmayıp eğitim aşamasından sonra yöntemin doğru çalışıp çalışmadığının kontrolü için ayrılmıştır.

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada gerçekleştirilen kumaş hatası tespit yazılımı ile kameradan gelen kumaş yüzeyi görüntüleri gri seviyeye dönüştürme, gürültü giderme ve iyileştirme algoritmaları ile ön işlemlerden geçirilmiştir. Ardından Shearlet dönüşümü yöntemi uygulanmıştır. Öznitelik vektörleri elde edilmiş görüntüler üzerinden çıkarımlar yapılarak varsa hatalı görüntüye ait bilgiler temin edilmiştir. Buradan elde edilen veriler yardımıyla sınıflama yapılarak hatanın çeşidinin tespit edilmesi sağlanmaktadır. Bu sınıflandırmada hatalı kumaş türleri çözüğü kaçığı, atkı kaçığı, delik hatası ve leke şeklinde ayrılmıştır. Bu kumaşlara ait bazı görüntüler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Kullanılan örnek hatasız ve hatalı kumaş yüzeyi görüntüleri (birinci satır hatasız, diğer satırlar hatalı)



Hatalı kumaş kontrolü çözgü kaçığı, atkı kaçığı, delik ve leke hata türlerine yönelik yapılmıştır. Her bir hata türünden test amaçlı olarak eğitilmiş görüntüler haricinde 100'er adet görüntü kullanılmıştır. Sonuç olarak yapılan kontrol işlemlerinde ortalama %94.25 hata tespit başarısının yakalandığı görülmüştür. Elde edilen sonucun geçerliliği bölüm 3.1'de verilen yöntem ile doğrulanmıştır. Shearlet dönüşümü yönteminin test çalışmaları sonrası hatalı kumaş tespit sonuçları ve başarı oranları Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Shearlet dönüşümü yönteminin test çalışmaları sonrası elde edilen sonuçlar

Hata Türü	İncelenen Görüntü Sayısı (adet)	Doğru Tespit Sayısı (adet)	Yanlış Tespit Sayısı (adet)	Başarı Oranı (%)
Çözgü Kaçığı	100	92	8	%92
Atkı Kaçığı	100	95	5	%95
Delik Hatası	100	96	4	%96
Leke	100	94	6	%94

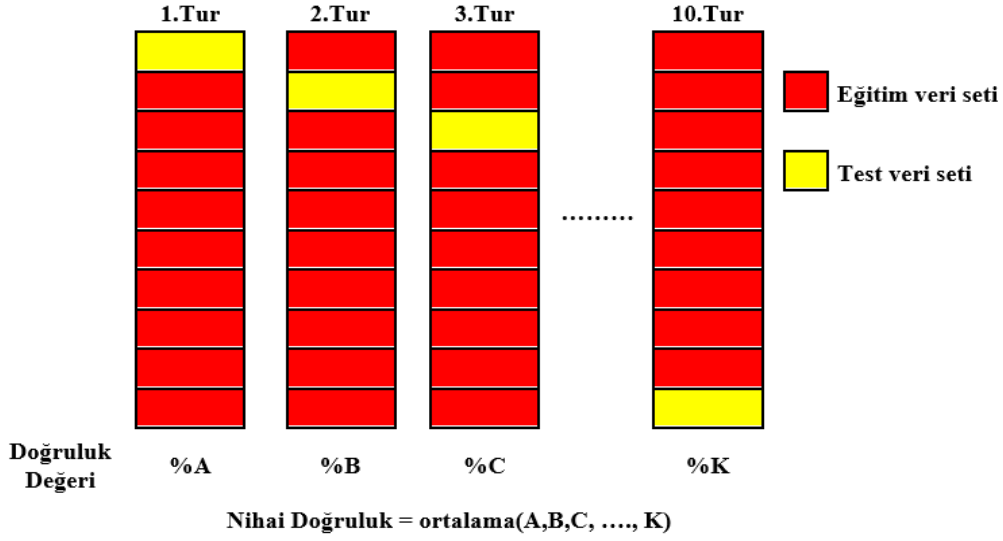
Elde edilen ortalama sonuçlara bakıldığında bu yöntemin kararlı çalıştığı anlaşılmıştır. Fakat bu çalışmada incelenen her kumaş numunesinin doku örüntüsünün benzer karakteristik özelliklere sahip olduğu unutulmamalıdır. Yukarıdaki tabloda verilen sonuçlar çerçevesinde ortaya çıkan yanlış tespitin nedenlerini irdelediğimizde dikkate alınması gereken birkaç önemli etkenin olduğunu görmekteyiz. Bunlar, kumaşın dokuma sıklığı, kullanılan atkı ve çözgü ipliklerinin inceliği (çapı), örüntüyü oluşturan desen yapısı, YSA eğitiminde kullanılan farklı kumaş numunelerinin sayısı, anlık görüntüyü elde eden kamera, aydınlatma sistemi, gürültü oranı (makine sarsıntısı / titreşim vb.) ve kullanılan filtrelerdir. YSA'nın daha fazla farklı kumaş numunesi görüntüleri ile eğitmek, çok daha kaliteli görüntü alabileceğimiz kamera sistemi kullanmak, kumaş yüzeyinin daha net algılanması için daha iyi aydınlatma sistemi kullanmak, kullanılan kamera sisteminin makine gürültüsünden etkilenmeyecek derecede fiziki ortamının iyileştirilmesi ve gürültü giderici filtrelerin seçiminde farklı tercihlerin denenmesi alınan yanlış tespitin daha da minimize edilmesini ya da tamamen ortadan kaldırılmasını sağlayacaktır.

#### 4.1. Geçerlilik Testi

Önerilen yöntemin geçerliliği ve elde edilen sonuçların doğruluğunu test etmek için K katlamalı çapraz doğrulama (K-Fold Cross Validation) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem rastgele katmanlar üretmek için kullanılmaktadır. Her bir kat makine öğrenme modellerinin eğitimi ve doğrulanması için eğitim veri alt kümesi ve test veri alt kümesi bölümlerinin birleşimini ifade etmektedir. Her kat, model için belirli bir doğruluk değeri elde edilmektedir. Örneğin, 10 kat çapraz doğrulama olması durumunda, genel doğruluk 10 katın tamamı tarafından üretilen doğruluk değerlerinin ortalaması alınarak tahmin edilir. Belirli sayıda örnek içeren herhangi bir veri kümesi için, üretilebilecek birçok olası eğitim ve test veri kümesi kombinasyonu vardır [26]. Bu veri kümelerinin bir kısmı modeli eğitmek bir kısmı da modelin başarısını test etmek için kullanılmaktadır. Veri parçalanırken veri dağılımına bağlı olarak eğitim ve test aşamalarında sapmalar ve hatalar olabilmektedir. Bunun ortadan kaldırılabilmesi için K katlamalı çapraz doğrulama yöntemi veriyi belirlenen K sayısına eşit oranda bölmektedir. Dolayısı ile bölünen her bir parçanın hem eğitim hem de test için ayrı ayrı kullanılmasına olanak sağlamaktadır. K katlamalı çapraz doğrulama yönteminin genel bir örneği Şekil 8'de verilmiştir.

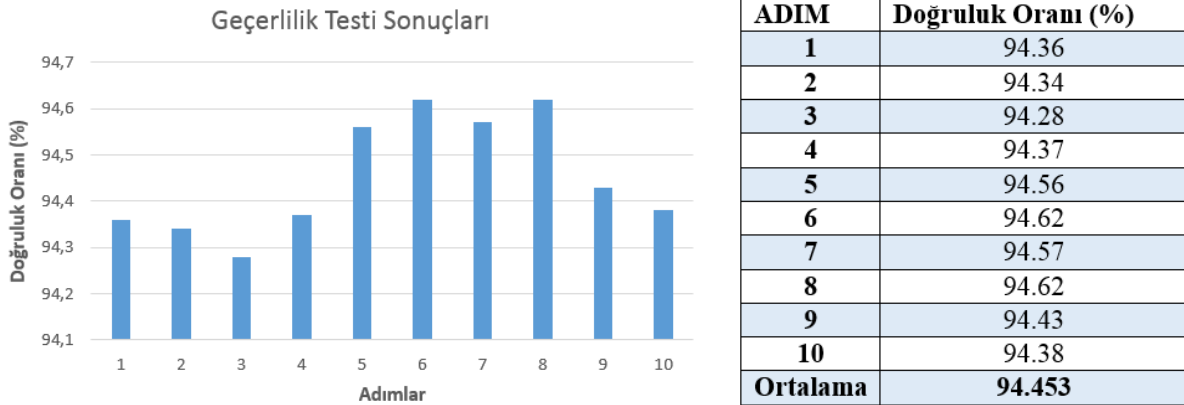
Modelin K kadar eğitilmesi ve test edilmesi uzun bir zaman alabilmekte ve büyük hacimli veri setleri üzerinde hesaplama ve zaman bakımından maliyetli olabilmektedir. Buna karşılık güvenilir bir sonuç elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada K değeri 10 kabul edilmiş ve 1120 adet hatalı kumaş üzerinde geçerlilik testleri yapılmıştır. Burada her bir adımdaki test ve eğitim görüntüleri anlamlı bir şekilde parçalara ayrılmıştır. Örneğin K değeri 10 olarak alındığında test için

112 adet görüntü ayrılmıştır. Test için ayrılan bu 112 görüntü dört farklı hata türünden eşit sayıda görüntülerden oluşmaktadır.



**Şekil 8.** K Katlamalı Çapraz Doğrulama metodunun genel yapısı

Benzer durum her K adımında tekrar edilmiş ve farklı görüntüler üzerinde geçerlilik testleri yapılmıştır. Testler sonucunda ortalama doğruluk oranı %94.453 olarak elde edilmiştir. Her K adımında elde edilen doğruluk değerleri ve grafiği Şekil 9’ da verilmiştir.



**Şekil 9.** Geçerlilik testlerinin sonuçları

## 5. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde tekstil sektörüne baktığımızda hatalı kumaş üretimini minimize etmek ya da engellemek için geliştirilmiş farklı sistemler kullanılmaktadır. Dokuma makineleri üzerinde çalışabilen gerçek zamanlı hata tespit sistemleri tekstil dokuma sektörü için popüler olmasının yanında geliştirilmeye ihtiyaç duyan sistemlerdir. Bunun en büyük nedeni birçok farklı kumaş yapısının olması ve hata türlerinin çeşitliliğidir. Bu çalışma ile dokuma hatalarının tespitine yönelik geliştirilen sistemler için Shearlet dönüşümünün de kullanılabileceği görülmüştür. Gerçekleştirilen kumaş hatalarının tespiti çalışmasında ortalama %94.453 başarımla elde edilmiştir. Elde edilen bu başarımla hata tespiti çalışmalarında Shearlet dönüşümünü kullanılabilir kılmaktadır.

Çalışmada kullanılan kot kumaş numunelerinin dokuma sıklığı, çözgü ipliğinin boyalı olması, daha ince numarada çözgü ipliği kullanılması ve örgü yapısının dimi örgü deseni ile dokunmuş olması gibi özellikler hata tespitini zorlaştırmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında

Shearlet dönüşümü yönteminin hata tespitindeki başarı ortalamasının yadsınamayacak bir başarı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada gözden kaçmayan önemli bir detay ise daha hızlı işlem süreçlerinin gerekliliğidir. Bu çalışmada YSA'nın eğitilmesinde daha fazla kumaş görüntüsü ve çeşitliliğinin kullanılması tespit ve sınıflandırma başarısını artıracaktır. Bu sistemin farklı türlerdeki kumaş hatalarının tespitinde de kullanılabilmesi öngörülmektedir. Sonraki çalışmalarda kumaş numune sayısının artırılması ve YSA yapısının başarımı arttıracak şekilde yeniden yapılandırılması hedeflenmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Ngan, H. Y. T., Grantham, K. H. P., Nelson, H. C. Y., "Automated fabric defect detection-A review", *Image And Vision Computing*, 2011,29(7), 442-458.
- [2] Hanbay, K., Talu, M. F., Özgüven, Ö. M., "Fabric defect detection systems and methods-A systematic literature review", *Optik*, 2016,127(24), 11960-11973.
- [3] Ala, D. M., "Dokuma Kumaş Hatalarının Görüntü Analizi Yöntemiyle Sayısallaştırılması", (Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).
- [4] Bandara, P., Bandara, T., Ranatunga, T., Vimarshana, V., Sooriyaarac, S., Silva, C. "Automated Fabric Defect Detection", 18th International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer), Colombo, Sri Lanka, Sri Lanka 119-125, (2018).
- [5] Kumar, A., "Computer-Vision-Based Fabric Defect Detection: A Survey", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2008,55(1), 348-363.
- [6] Malek, A. S., "Online Fabric Inspection by Image Processing Technology", (PhD Thesis), Mechanical Engineering. Haute Alsace University, Mulhouse, Sud Alsace, France, (2012).
- [7] Chan, C. H., Pang, G. K. H., "Fabric Defect Detection by Fourier Analysis", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2000,36(5), 1267-1276.
- [8] Pan, Z., He, N., Jiao, Z. "FFT used for fabric defect detection based on CUDA", 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC) Chongqing, China, 2014-2017, (2017).
- [9] Bodnarova, A., Bennamoun, M., Latham, S., "Optimal Gabor Filters for Textile Flaw Detection", *Pattern Recognition*, 2002,35(12), 2973-2991.
- [10] Mak, K. L., Peng, P., Lau, H. Y. K. "Optimal morphological filter design for fabric defect detection", *International Conference on Industrial Technology*, Hong Kong, China., 799-804, (2005).
- [11] Han, R., Zhang, L. "Fabric Defect Detection Method Based on Gabor Filter Mask", *WRI Global Congress on Intelligent Systems*, Xiamen, China, 184-188, (2009).
- [12] Karayiannis, Y. A., Stojanovic, R., Mitropoulos, P., Koulamas, C., Stouraitis, T., Koubias, S., Papadopoulos, G. "Defect detection and classification on web textile fabric using multiresolution decomposition and neural networks", 6th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, Pafos, Cyprus, 765-768, (1999).
- [13] Hu, M. C., Tsai, I. S., "Fabric Inspection Based on Best Wavelet Packet Bases.", *Textile Research Journal*, 2000,70(8), 663-670.
- [14] Ngan, H. Y. T., Grantham, K. H. P., Yung, S. P., Michael, K. N., "Wavelet based methods on patterned fabric defect detection", *Pattern Recognition*, 2005,38(4), 559-576.
- [15] Serdaroglu, A., Ertuzun, A., Ercil, A., "Defect detection in textile fabric images using subband domain subspace analysis", *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2007,17(4), 663-674.
- [16] Liu, S. G., Qu, P. G. "Inspection of fabric defects based on wavelet analysis and BP neural network", *International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition*, Hong Kong, China, 232-236, (2008).
- [17] Sadaghiyanfam, S. "Using gray-level-co-occurrence matrix and wavelet transform for textural fabric defect detection: A comparison study", *Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT)*, Istanbul, Turkey 1-5, (2018).

- [18] Guan, S., Shi, X. "Fabric Defect Detection Based on Wavelet Decomposition with One Resolution Level", International Symposium on Information Science and Engineering, Shanghai, China, 281-285, (2008).
- [19] Cho, C. S., Chung, B. M., Park, M. J., "Development of Real-Time Vision-Based Fabric Inspection System", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2005,52(4), 1073-1079.
- [20] Meshkini, K., Ghassemian, H. "Texture classification using Shearlet transform and GLCM", Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), Tehran, Iran 1845-1850, (2017).
- [21] Guo, K., Kutyniok, G., Labate, D. "Sparse Multidimensional Representations using Anisotropic Dilation and Shear Operators", International Conference on the Interaction between Wavelets and Splines Athens, Greece, 189-201, (2005).
- [22] Häuser, S., Steidl, G., "Fast Finite Shearlet Transform: a tutorial".University of Kaiserslautern, Department of Mathematics,,Erişim Tarihi:12.01.2019, <https://arxiv.org/abs/1202.1773>
- [23] Kumar, A., "Neural network based detection of local textile defects", Pattern Recognition, 2003,37(7), 1645-1659.
- [24] Sağıroğlu, Ş., "Identifying Three Linear Systems Using Only Single Neural Model", Journal of Polytechnic, 2012,15(4), 191-198.
- [25] Kubat, C., "MATLAB: Yapay Zeka ve Mühendislik Uygulamaları", 4.Baskı, Abaküs Yayıncılık, İstanbul, (2019).
- [26] Gunasegaran, T., Cheah, Y. "Evolutionary cross validation", 8th International Conference on Information Technology (ICIT), Amman, Jordan, 89-95, (2017).