

Yuvarlak Örgü Makineleri için Kumaş Hatası Tespit Metotları

Fabric Defect Detection Methods for Circular Knitting Machines

Kazım Hanbay¹, Muhammed Fatih Talu², Ömer Faruk Özgüven³, Dursun Öztürk⁴

¹Bingöl Üniversitesi, Enformatik Bölümü, kazimhanbay@gmail.com

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, fatihtalu@gmail.com

³Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, omer.ozguven@inonu.edu.tr

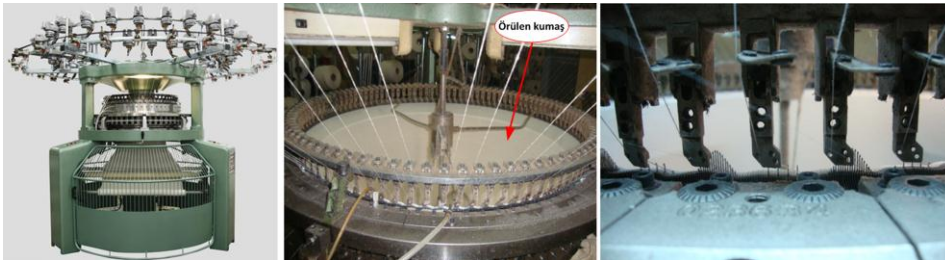
⁴Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bingöl Üniversitesi, dozturk23@gmail.com

Özetçe— Bu çalışmada, örgü makinelerinde kumaş üretimi esnasında meydana gelebilecek kumaş hatalarını çevrimiçi tespit edebilen bir kumaş hatası algılama sistemi tanıtılmaktadır. Bu sistem ana hatlarıyla üç aşamayı içermektedir: 1) hatalı/hatasız kumaş veri tabanı inşası; 2) özniteliklerin elde edilmesi ve sınıflandırılması; 3) gömülü sistem üzerinde çevrimiçi çalışması. Bu çalışma sadece ilk iki aşama hakkında bilgi içermektedir. Birinci aşamada, üzerinde çizgi kamera ve ışık bulunan bir konveyör sistemi kullanılarak 3242 hatalı, 5923 hatasız kumaş görüntüsü elde edilmiştir. İkinci aşamada ise filtreleme, öznitelik çıkarma (dalgacık dönüşümü, eş-oluşum matrisi ve Eş-oluşum Yönlü Gradyan Histogramı metodu-CoHOG) ve sınıflandırma (YSA) işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, özniteliklerin dalgacık dönüşüm yöntemi ile elde edilmesi, işlem maliyetini %53 azaltmış, bununla birlikte hataların %90 başarıyla sınıflandırılmasını sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler — Kumaş hatası tespiti; doku sınıflandırma; dalgacık analizi; hata sınıflandırma.

Abstract— In this paper, an online fabric defect detection system that can detect fabric defects which may occur during the fabric product in knitting machines is introduced. This system mainly includes three steps: 1) Construction of a defected/defect-free fabric database; 2) Obtaining and classification of the feature vectors; 3) Online working on embedded system. This study only contains information about the first two stages. In the first stage, 3242 'defected' and '5923' defect-free images were acquired by using a conveyor system which has line scan camera and linear light. In the second stage, filtering, feature extraction (wavelet transform, co-occurrence matrix and CoHOG) and classification (YSA) processes were carried out. As a result, obtaining the feature vectors through wavelet transform has reduced computation cost by 53% and also has successfully provided the classification of the defects by 90%.

Keywords — Fabric defect detection; texture classification; wavelet analysis; defect classification.



Şekil 1. (a) Yuvarlak örgü makinesi, (b) Kumaşın örüldüğü bölüm, (c) Örgü iğneleri

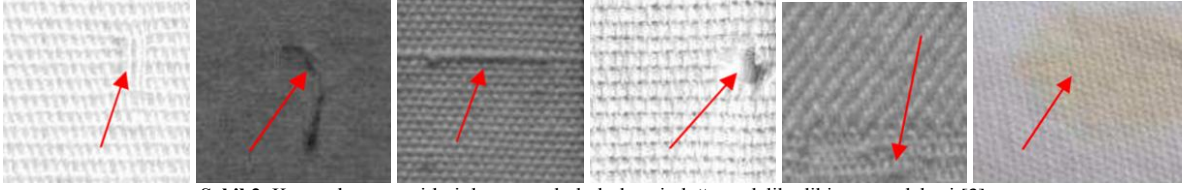
I. GİRİŞ

Örgü makineleri tekstil endüstrisinde kumaş üretimi için kullanılmaktadır. Sektörde büyük bir üretim kapasitesine sahip olan bu makineler ile aylık 10-15 ton kumaş üretilmektedir. Kumaş üretimi esnasında meydana gelen hatalar, giyim endüstrisinde karşılaşılan hataların %85'ini oluşturmaktadır [1]. Tekstil endüstrisi tarafından tanımlanan 70'den fazla kumaş hatası vardır. Bu hatalar bazen örgü makinelerindeki iğnelerin aşınması, kırılması veya eğilmesinden, bazen de elyafın aşırı gerilmesi veya iplik problemlerinden kaynaklanmaktadır [2]. Kumaş üretimi esnasında çevrimiçi hata yakalamayı amaçlayan belirli ürünler bulunmaktadır. Kızılötesi algılayıcı kullanan bu ürünlerin hata tespit başarımı oldukça düşüktür. Bunun nedeni örgü makinelerinin ortalama 1.4 (m/sn) gibi yüksek hızlarda çalışması, kumaş hatalarının 0.25 (mm) gibi küçük boyutlarda olması, fabrikaların elverişsiz ortamlara sahip oluşudur. Geliştirilen bu ürünler hassas kumaş hatalarını algılayamamakta ve örgü makinelerinin gereksiz yere durmasına neden olduğu için birçok işletme tarafından satın alınmasına rağmen kullanılmamaktadır.

Şekil 1'de yuvarlak örgü makinesi ve bu makinenin temel bileşenlerine ait görüntüler yer almaktadır. Kumaş, 2000'in üzerinde iğne ile silindirik bir eksen üzerinde örülmektedir. Şekil 2 sık karşılaşılan kumaş hatası

Firma Adı	Yuvarlak Örgü Makina Sayısı
Anateks A.Ş.	162
Yaka Tekstil A.Ş.	68
Ilsan Tekstil A.Ş.	53
Karagözlüler Tekstil A.Ş.	48
Babacan Tekstil Ltd. Şti.	33
Polat Tekstil	22
Diğer (Toplam)	53
Toplam	439

Tablo 1. Malatya'daki bazı kumaş üreticileri ve makine sayıları



Şekil 2. Kumaş hatası çeşitleri: kayma, atkı bükülmesi, düğüm, delik, dikiş ve pas lekesi [3]

türlerini göstermektedir.

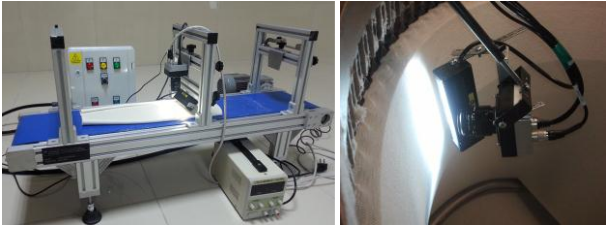
Tablo 1’de sadece Malatya ilinde yuvarlak örgü makinesi kullanarak kumaş üretimi gerçekleştiren bazı tekstil firmaları ve sahip oldukları makina sayıları listelenmiştir. Örneğin, 45 örgü makinesi olan bir kumaş imalatçısı aylık yaklaşık olarak 500 ton ham kumaş üretimi gerçekleştirebilmektedir. Üretilen kumaş kalite kontrol biriminde incelendikten sonra yaklaşık olarak %2-4’ü hatalı olarak tespit edilmekte ve oluşan zarar üreticiye yansımaktadır. Tablo 1’de gösterilen toplam 439 örgü makinesi hata tespit sistemi olmadan çalışmaktadır. Buna göre Malatya’daki firmalarda aylık yaklaşık olarak 490 ton hatalı kumaş üretimi gerçekleşmektedir. Bu zararın ülke genelinde çok daha ciddi boyutlara ulaşacağı açık bir şekilde anlaşılmaktadır.

II. ÖNERİLEN SİSTEMİN TANITILMASI

Kumaş üretimi esnasında hatanın algılanabilmesi üç aşamalı bir sistem geliştirilmiştir: 1) Çevrimdışı olarak hatalı/hatasız kumaş görüntülerini içeren veri tabanının inşa edilmesi; 2) Veri tabanı kullanılarak eğitilmiş yapay bir sistemin inşa edilmesi; 3) Eğitilmiş sistemin gerçek kumaş üretim sistemi üzerinde kullanılması.

A. Veri Tabanının İnşa Edilmesi

Bu çalışmada çevrimdışı ve çevrimiçi olmak üzere iki farklı kumaş görüntüsü elde etme sistemi inşa edilmiştir. Çevrimdışı kumaş görüntülerinin elde edilebilmesi için ilk olarak kumaş fabrikalarından hatalı ve hatasız kumaş örnekleri toplanmış ve Şekil 3-a gösterilen konveyör bandı sistemi kullanılarak toplanan kumaş örneklerine ait görüntü veri tabanı elde edilmiştir. Literatürde/piyasada yuvarlak örgü makinesi ile kumaş üretimi gerçekleşirken eşzamanlı kumaş görüntülerinin alınabildiği bir sistem henüz mevcut değildir. Bu çalışmada, yuvarlak örgü makinesinden çevrimiçi kumaş görüntülerinin kaydedilmesini sağlayan

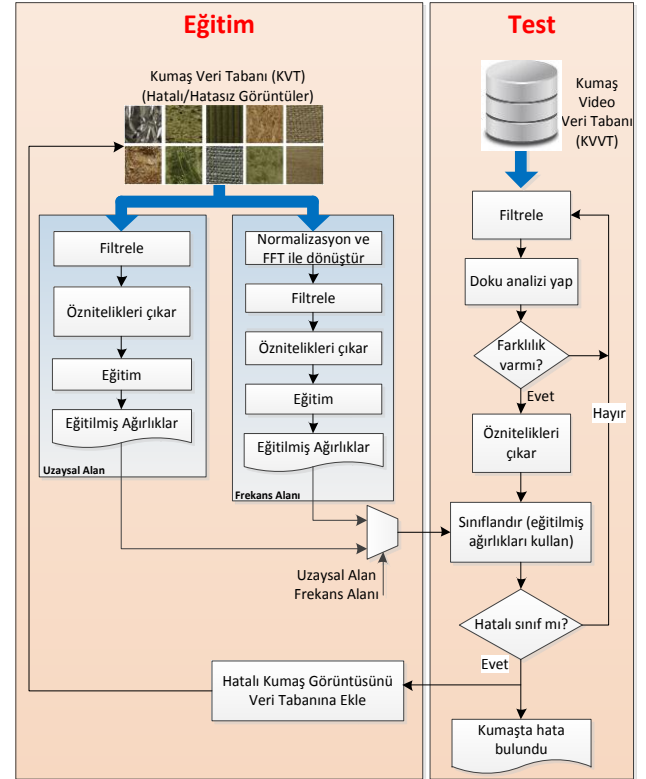


Şekil 3. (a) Konveyör bant sistemi, (b) Gerçek zamanlı kayıt sistemi yeni bir kayıt sistemi (Şekil 3-b) inşa edilmiştir. Çevrim içi hata yakalamada şekil 3-a kullanılmıştır.

B. Kumaş Hatası Tespit Sistem Yazılımlarının Geliştirilmesi

Şekil 4’te kumaş hatası tespit sisteminin akış şeması verilmektedir. Buna göre kumaş veri tabanındaki görüntülerin filtrelenmesi, özneliklerinin çıkarılması ve sınıflandırılması işlemleri çevrimdışı olarak gerçekleştirilmektedir. Öznelik çıkartma yöntemleri için frekans ve uzaysal yöntemler ayrı ayrı kullanılması bilimsel açıdan kıyaslamalar yapılabilmesini sağlamıştır. Bu sayede gerçek bir hata tespit sistemi için doğruluk ve zaman açısından en uygun yöntemler belirlenebilmiştir.

Öznelik elde etme yöntemleri bir sonraki bölümde detaylandırılmıştır.



Şekil 4. Offline Kumaş Hatası Tespit Yazılımı akış diyagramı

III. ÖZELLİK ÇIKARTMA YÖNTEMLERİ

A. CoHOG Yöntemi

Görüntü dokusunun ifade edilmesi için gradyan yönelimlerini temel alan geliştirilmiş bir özellik çıkartma algoritmasıdır [4]. Bu yöntem gradyan yönelimleri arasındaki uzaysal ilişkiyi ortaya çıkartmak için eş oluşum

matrisi kullanılmaktadır. Görüntülerin gradyan yönelimleri üzerinden eş oluşum matrisi hesaplanır. Eş oluşum matrisi görüntü üzerindeki belirli bir ofsette gradyan yönelimlerinin dağılımını ifade etmektedir. Matematiksel olarak $m \times n$ boyutundaki görüntü ve (x, y) ofset değeri için eş oluşum matrisi denklem (5)'teki gibi tanımlanmaktadır [4].

$$C_{i,j} = \sum_{p=0}^{n-1} \sum_{q=0}^{m-1} \begin{cases} 1 & \text{if } I(p,q) = i \text{ ve } I(p+x,q+y) = j \\ 0 & \text{Değilse} \end{cases} \quad (1)$$

I gradyan yönelim görüntüsünü i ve j ise gradyan yönelimlerini ifade etmektedir. CoHOG yöntemi gradyan tabanlı histogram özellikleri elde ettiğinden dolayı ışık değişimi ve gürültü gibi durumlara karşı hassastır. Görüntünün gradyan yönelimleri denklem (2)'deki gibi hesaplanır [4].

$$\theta = \arctan \frac{v}{h} \quad (2)$$

Burada v ve h sırasıyla Roberts, Sobel vb filtreler yardımıyla hesaplanan yatay ve dikey gradyanları ifade etmektedir. Sonraki adımda her görüntü pikseli 0-360 derece arasında 45 derecelik açılarla ayrılan 8 farklı yönelimden biriyle etiketlenir. Denklem (1)'de olduğu gibi eş oluşum matrisi hesaplanır. Eş oluşum matrisi her bir bölgede verilen ofset değerleri için hesaplanmaktadır. Verilen görüntü $m \times n$ boyutunda dikdörtgensel bölgelere ayrılır. Her bir alt bölge için elde edilen ofset sayısı kadar eş oluşum matrisleri tek bir özellik vektörü haline getirilir.

B. Dalgacık Dönüşümü Yöntemi

Ayrırt edici doku öznelikleri görüntünün dalgacık alt bantlarının frekans dağılımları ile elde edilebilir [5]. Dalgacık katsayılarının genelleştirilmiş Gaussian yoğunluklarını modellemek Daubechies dalgacık fonksiyonu ile kumaş görüntüsünün üç seviyeli dalgacık dönüşümü hesaplanır. Her bir dalgacık alt bant görüntüsü için olasılık yoğunluk fonksiyonu genelleştirilmiş Gaussian yoğunluğunun uyarlamalı olarak değişen iki parametresi ile elde edilebilir. Genelleştirilmiş Gaussian yoğunluğu şöyle tanımlanır:

$$p(x; \alpha, \beta) = \frac{\beta}{2\alpha\Gamma(1/\beta)} e^{-(|x|/\alpha)^\beta} \quad (3)$$

Burada Γ Gamma fonksiyonudur ve $\Gamma(z) = \int_0^\infty e^{-t} t^{z-1} dt$ olarak ifade edilir. Burada α olasılık yoğunluk fonksiyonunun standart sapmasını, β ise fonksiyonun tepe değerinin azalma oranını ifade eder. Bu iki parametrenin tahmin edilmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada Maksimum-olasılık metodu kullanılmıştır. Bağımsız bileşenlere sahip örnek bir $x = (x_1, \dots, x_L)$ dağılımının olasılık fonksiyonu:

$$L(x; \alpha, \beta) = \log \prod_{i=1}^L p(x_i; \alpha, \beta) \quad (4)$$

Burada α ve β hesaplanacak parametrelerdir. Bu durumda aşağıdaki olasılık denklemleri olasılıkta benzersiz köke sahiptirler. Maksimum-olasılık metodunun detaylarına girmeden iki parametreyi ifade eden matematiksel ifadeler aşağıda verilmiştir:

$$\alpha = \left(\frac{\beta}{L} \sum_{i=1}^L |x_i|^\beta \right)^{1/\beta} \quad (5)$$

$$\beta = 1 + \frac{\psi(1/\hat{\beta})}{\hat{\beta}} - \frac{\sum_{i=1}^L |x_i|^{\hat{\beta}} \log|x_i|}{\sum_{i=1}^L |x_i|^{\hat{\beta}}} + \frac{\log\left(\frac{\hat{\beta}}{L} \sum_{i=1}^L |x_i|^{\hat{\beta}}\right)}{\hat{\beta}} \quad (6)$$

Denklem (5) ve (6) nümerik olarak çözülebilir. Parametrelerin tahmin edilmesi için Newton-Raphson iteratif prosedürünü kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan iteratif prosedür [6] da tanımlanan prosedür ile aynıdır. Yukarıdaki işlemler dokuz dalgacık alt bant için tekrarlanarak her bir görüntünün 1×18 boyutunda özellik vektörü elde edilmiş ve YSA girişi olarak kullanılmıştır.

C. Eş-oluşum Matrisi Yöntemi

Renk yoğunlukları arasındaki bağımlılıkların ölçülerek doku özelliklerinin karakterize edilmesini sağlar. Matematiksel olarak $m \times n$ boyutundaki bir kumaş görüntüsü ve (x, y) ofset değeri için eş oluşum matrisi denklem (1)'de ifade edilmiştir. Eş oluşum matrisinden elde edilen bazı dokusal özellikler görüntünün doku yüzeyi ile ilgili faydalı bilgiler ortaya çıkarır. Bu özelliklerden en çok kullanılanları korelasyon, zıtlık, enerji ve entropi hesaplamalarıdır. Bu katsayıları ifade eden matematiksel ifadeler aşağıda görülmektedir:

$$\text{Enerji} = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} [p(i, j)]^2 \quad (7)$$

$$\text{Zıtlık} = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} (i - j)^2 p(i, j) \quad (8)$$

$$\text{Korelasyon} = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} \frac{i \cdot j \cdot p(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (9)$$

$$\text{Entropi} = - \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} p(i, j) \log_2(p(i, j) + \epsilon) \quad (10)$$

Yukarıdaki ifadelerde p normalize edilmiş eş oluşum matrisini, G , görüntüdeki farklı piksel sayısını göstermektedir. μ_x , μ_y ve σ_x , σ_y ise matrisin satır ve sütun toplamalarının, sırasıyla ortalama ve standart sapmalarıdır.

IV. DENEYSEL SONUÇLAR

Gerçekleştirilen çevrimiçi kumaş hatası algılama sistemi, kumaş veri tabanının inşası, öznelik vektörlerinin elde edilmesi, sınıflandırılması ve konveyör sistemi üzerinde test edilmesi aşamalarını içermektedir.

İlk olarak ebatları yaklaşık 150mm x 500mm olan konveyör sistemi kullanılarak hatalı/hatasız kumaş örneklerinin kaydı gerçekleştirilmiştir. Veri tabanında 3242 adet hatalı, 5923 adet hatasız olmak üzere toplam 9165 kumaş görüntüsü elde edilmiştir. Gerçek kumaş görüntülerinin elde edilmesinin ardından medyan filtresi

kullanılarak gürültü temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak temizlenmiş görüntülerin CoHOG özellik vektörleri üretilmiştir. CoHOG algoritmasının özellik vektör boyutu $m \times n \times d^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada $d=16$ olarak alınmıştır ve gradyan yönelimlerinin sayısını ifade etmektedir. Kumaş görüntüleri yeterince küçük olduğundan dolayı orijinal resim bölünmemiş ve bu nedenle $m=n=1$ değerleri verilmiştir. Bu değerler literatüre bağlı kalınarak seçilmiştir. Burada m bölünmüş bölge sayısını, n ise offset (uzaklık) sayısını ifade etmektedir. İkinci özellik çıkartma metodu dalgacık dönüşümü temelli bir metottur. Buna göre her kumaş görüntüsünün üç seviyeli dalgacık dönüşümü hesaplanmıştır. Alt bant görüntülerinin her biri için genelleştirilmiş Gaussian yoğunluk parametreleri hesaplanmıştır. 3 seviyeli dalgacık dönüşümü ve Daubechies dalgacı literatüre bağlı kalınarak seçilmiştir. Üçüncü özellik çıkartma yöntemi olarak eş-oluşum matrisi kullanılmıştır. Bu yöntemde uzaklık parametresi 15, doku özelliklerinin dönme ile değişmediğini garantilemek için de $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ ve 135° olacak şekilde dört yönde inceleme yapılmıştır. Kumaş görüntülerinin eş-oluşum matrisi hesaplanarak zıtlık, enerji, ilgileşim (korelasyon) ve türdeşlik'ten oluşan dokusal özellik vektörü elde edilmiştir. Kullanılan özellik çıkartma yöntemlerine ait sonuçlar Tablo 2'de gösterilmektedir. Sınıflandırıcı olarak iki katmanlı ve tek çıkış hücre mimarisine sahip bir YSA kullanılmıştır. YSA'nın eğitim işlemi geriye yayılım algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan üç öznelik yöntemi için en iyi normalleşme yönteminin sıfır

Yöntem	Süre (sn)	Öz-Vektör boyutu	Normalleşme*	Eğitim İterasyon Sayısı	Doğruluk (%)
CoHOG	0,241	1024	1	150	93.80
			1	250	95
			2	150	99
			3	150	86
Eş-Oluşum matrisi	0,187	236	1	150	86
			2	150	97
			3	150	94
			1	250	85
Dalgacık Dönüşümü	0,114	18	2	250	99
			3	250	98
			1	150	75
			2	150	90
			3	150	73
			1	250	78
			2	250	90
			3	250	74
			1	450	83
			2	450	90
3	450	75			

Tablo 2. Öznelik elde etme ve sınıflandırma sonuçları. (*1 minimum-maksimum, 2 sıfır ortalama-birim değişim, 3 logaritmik normalleşmeyi ifade etmektedir).

ortalama-birim varyans yöntemi görülmüştür. Sınıflandırma doğruluğunun en yüksek olduğu öznelik yöntemi CoHOG olduğu görülmüştür. Tablo 2'deki doğruluk ve çalışma süresi parametreleri birlikte değerlendirildiğinde, dalgacık ve eş-oluşum öznelik çıkartma yöntemlerinin gerçek zamanlı sistemler için uygun bir seçim olduğu görülmektedir.

V. SONUÇLAR

Kumaş hatalarının üretim esnasında tespit edilmesini, böylece üreticinin zararının minimum seviyeye düşürmeyi hedefleyen bu çalışmada ilk olarak hatalı ve hatasız olmak üzere toplam 9165 adet kumaş görüntünü içeren yeni bir kumaş veri tabanı inşa edilmiştir. Gerçek kumaş görüntülerini içeren bu veri tabanı üzerinde uzaysal ve frekans alanındaki filtreleme ve öznelik çıkarma yöntemleri çalıştırılmış ve elde edilen öznelik vektörlerinin sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Dalgacık dönüşümü, eş-oluşum matrisi ve CoHOG öznelik çıkarma yöntemleri kullanılmış ve elde edilen farklı boyutlardaki özneliklerin yapay sinir ağlarıyla sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Dalgacık dönüşümünden elde edilen alt bant görüntülerinin ortalama ve standart sapma parametreleri ile ifade edilmesi, özellik vektör boyutunun düşmesine ve sınıflandırma doğruluğunun kabul edilebilir seviyede kalmasına neden olmuştur. Sonuç olarak, özneliklerin dalgacık dönüşüm yöntemi ile elde edilmesi, işlem maliyetini %53 azaltmış, bununla birlikte hataların %90 başarıyla sınıflandırılmasını sağlamıştır. Gelecek çalışmada kumaş veri tabanının genişletilmesiyle literatüre yeni bir kumaş veri tabanı kazandırılması, öznelik çıkarma ve sınıflandırma yöntemlerinin gömülü sistem üzerinde çalışabilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Textile Handbook 2000, Hong Kong Productivity Council, The Hong Kong Cotton Spinners Association 2000.
- [2] H.Y.T. Ngan, G.K.H. Pang, N.H.C. Yung, Automated fabric defect detection—A review, *Image and Vision Computing*, 29 (2011) 442-458.
- [3] Hanbay, K., M.F. Talu, Kumaş hatalarının online/offline tespit sistemleri ve yöntemleri, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(1) (2014) 49-69.
- [4] Watanabe T., Ito S., Yokoi K., Co-occurrence histograms of oriented gradients for pedestrian detection, In Proc. The 3rd IEEE Pacific-Rim Symposium Image and Video Technology (2009) 37-47.
- [5] Do M.D., Vetterli M. Wavelet-based texture retrieval using generalized gaussian density and kullback-leibler distance, *IEEE Trans. Image Processing* 11(2) (2002) 146-158.
- [6] Sharifi K., Leon-Garcia, A. Estimation of shape parameter for generalized Gaussian distributions in subband decompositions of video, *IEEE Transactions Circuits and Systems for Video Technology* 5 (1) (1995) 52-56.