



Araştırma Makalesi / Research Article

KUMAŞ SIKLIKLARININ GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ İLE OTOMATİK OLARAK BELİRLENMESİ

Erdoğan ALDEMİR¹
Hakan ÖZDEMİR^{2*}
Selçuk KILINÇ¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 13.05.2016

Kabul Tarihi / Accepted: 30.11.2016

ÖZET: Bu çalışmada, uzamsal yöntemler olan Wiener filtre, medyan filtre, gri düzeyli eş-oluşum matrisi, gri sıra kesit teknikleri ile, frekans uzayı yöntemlerinden Fourier ve dalgacık dönüşümü teknikleri kullanılarak renkli ve desenli bezayağı ve dimi örgülü kumaşların çözgü ve atkı sıklıklarının belirlenme olanakları araştırılmıştır. Uzamsal yöntemler açısından, bezayağı ve dimi örgülü kumaşların çözgü ve atkı sıklıklarının belirlenmesinde en başarılı yöntem medyan filtre yöntemidir. Medyan filtre yöntemini, Wiener filtre ve gri düzeyli eş-oluşum matris yöntemleri izlemektedir. Diğer yandan, frekans uzayı yöntemlerinden Fourier analizi yöntemi, kumaş görüntülerinde bulunan örüntülerin frekans uzayındaki harmoniklerinin tespiti esasına dayanmakta ve uzamsal yöntemlere oranla daha yüksek başarımlı oranı elde etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sıklık, dokuma kumaş, uzamsal yöntemler, frekans uzayı yöntemleri

AUTOMATIC INSPECTION OF THE WARP-WEFT DENSITY USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

ABSTRACT: In this study, possibility of determining warp and weft yarn density of colored and figured plain and twill woven fabrics by Wiener filter, median filter, grey level co-occurrence matrix and gray line profile methods, which are spatial techniques, and by Fourier and wavelet transformation methods, which are frequency domain techniques, are investigated. Considering the spatial techniques, the most successful technique that determines warp and weft densities of plain and twill fabrics is the median filter method. The following successful techniques are Wiener filter and gray level co-occurrence matrix. On the other hand, it is obtained that Fourier analysis method, one of the frequency domain techniques, which depends on the counting of the harmonics of the yarns, provide more successful result than spatial techniques.

Keywords: Density, woven fabric, spatial techniques, frequency domain techniques

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: h.ozdemir@deu.edu.tr

DOI: 10.7216/1300759920162310402, www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Kumaş sıklığı geleneksel olarak örnekten çözgü ve atkı ipliklerini cımbız veya iğne ile çıkarılıp, lup yardımıyla çözgü ve atkı ipliklerini sayarak belirlenmektedir. Geleneksel yöntem insana bağlı olduğu için zaman israfı olmakla birlikte aynı zamanda gözlem sonuçları operatörün mental ve fiziksel durumundan etkilenmektedir. Bu nedenle araştırmacılar görüntü işleme yöntemleri kullanarak kumaş sıklığını otomatik olarak belirlemek için çalışmalar yapmışlardır:

Lin [1] bezayağı, dimi ve saten örgülü kumaşların sıklığını gri düzeyi eş-oluşum matrise bağlı bir yöntem ile belirlemiştir. Bezayağı örgülü kumaşların sıklığı doğru olarak belirlenirken, dimi ve saten örgülü kumaşların sıklıkları gerçek sıklıklardan farklı belirlenmiştir. Eş-oluşum matrisleri kullanılarak örgü sıklıklarının tespit edildiği diğer bir çalışmada [2] yöntemin hesaplama yükü ve zamanı açısından diğer yöntemlerle karşılaştırması yapılmıştır.

Literatürde frekans uzayı yaklaşımı ile çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Sari-Sarraf [3] dijital sinyal işleme yardımıyla çalışan gerçek zamanlı Fourier transformu ile kumaş sıklığının online belirlenmesi için dijital sistem geliştirmiştir. Maros ve Ales [4] Fourier dönüşümü kullanarak bezayağı örgülü kumaşta sıklığı otomatik olarak hesaplatmışlardır. Pan, Goa ve arkadaşlarının [5] yapmış olduğu çalışmada ayrık Fourier dönüşümü ile frekans uzayına alınan bezayağı, dimi ve saten örgülü kumaşların görüntüleri üzerinden iplik yoğunlukları tespit edilmiştir. Lachkar, Gadi ve arkadaşlarının [6] Fourier dönüşümü tabanlı yaptığı diğer çalışmalarda çeşitli kumaşlara ait kesişme noktalarının tespiti yapılmıştır. Fourier dönüşümü yönteminin uzamsal yöntemlerle hibrit olarak kullanıldığı diğer bir çalışmada [7] dokuma öncesi yün ipliği yoğunluğu renkli görüntüler üzerinde tespit edilmektedir. Li ve ark. [8] eşikleme, filtreleme ve frekans analizini kullanarak kumaş sıklığını analiz etmişlerdir. Frekans uzayı yaklaşımlarla yapılan diğer çalışmalar hakkında [9], [10] 'den daha ayrıntılı bilgiler elde edilebilir.

Görüntü işleme temelli diğer bir yaklaşımda ise dalgacık dönüşümü kullanılmaktadır. Feng ve Li [11] dokuma kumaşların sıklığını ölçmek için uyarlamalı dalgacık dönüşümüne bağlı bir yöntem kullanmışlardır. Jing [12] bu çalışmada Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) yardımı ile çok ölçekli "wavelet" dönüşümünü görüntü işleme yöntemleri ile kombine ederek bezayağı, dimi, çözgü sateni ve atkı sateni örgülü kumaşlarda atkı ve çözgü sıklığını % 99,92 oranında doğrulukla tespit etmişlerdir. Yili [13] ve arkadaşları dalgacık dönüşümünü çalışmalarında kumaş ipliklerinin sayısının tespiti için kullanmışlardır.

Pan ve ark. [14] ipliği boyalı 2/2 sağ dimi örgülü kumaşta çözgü ve atkı ipliklerinin çarpıklık açılarını Hough transformu ile belirlemişler, "steering" filtresi ve gri-"grad" görüntüsü ile iyileştirmişlerdir. İplikler ve iplik atlamalarının yeri gri projeksiyon metodu ile tespit edilerek iplik sıklıkları belirlenmiştir.

Bir başka çalışmada, Pan ve ark. [15] bezayağı ve dimi örgülü kumaşlarda çözgü ve atkı ipliklerinin çarpıklık açılarını Hough transformu ile belirlemişlerdir. Projeksiyon eğrisindeki lokal minimumlar filtreler ile elimine edilerek, iplikler arası boşluğu temsil eden doğru minimum noktaları tespit edilmiştir. İplikler arasındaki boşlukların tespit edilmesiyle kumaşta ipliklerin bulunduğu bölümler belirlenmiştir. Kumaşın sıklığı birim kumaş uzunluğundaki iplikler sayılarak ölçülmüştür.

Yıldırım ve Başer [16] iki tane laser çizgi ışın kaynağı kullanarak tezgahdaki atkı sıklığını belirlemişlerdir. Laser çizgi ışık kaynakları referans olarak kullanılmış, ayrılan bölgede atkı ipliği konumunun belirlenmesi için fotoğraf makinesi ile alınan görüntü, ham vektör çekirdeğine sahip medyan filtre ile işleme sokulmuştur. Medyan filtre ve diğer uzamsal yöntemler hakkında çeşitli çalışmalarda ayrıntılı bilgiler mevcuttur [17].

Pan ve Gao [18] kumaşın yüksek çözünürlükte görüntüsünü tarayıcı ile almışlardır. Kumaş yüzeyinden yansıyan görüntüden elde edilen projeksiyon eğrisinden kumaş sıklığını hesaplamışlardır. Xie ve Yu [19] projeksiyon eğrisindeki bozukluğu elimine ederek iplik sıklığını yüksek doğruluk oranlarında ölçmüşlerdir.

Ohta ve ark. [20] ikili bit görüntüye dikkörtgen tip band geçiren filtre uygulayarak çözgü ve atkı ipliklerinin sıklıklarını belirlemişlerdir. Gao ve ark. [21] "ikili bit" ve "medium" filtre kullanarak korelasyon fonksiyonu temelli bir yaklaşım ile çözgü ipliklerinin sıklığını belirlemişlerdir. Shady ve ark. [22] kumaş görüntüsünden Wiener filtre ile düşey ve yatay alt görüntüler oluşturmuşlardır. Kumaş sıklığı alt görüntülerini ikili bit haline getirme işleminden sonra hesaplanmıştır. Techniková ve Tunák [2] gri sıra kesit metodu, Wiener ve "Median" filtreye dayalı görüntüyü yeniden oluşturmaya bağlı metot, eş-oluşum matris bağlı metot ile iki boyutlu ayrık Fourier dönüşümü metodları kullanarak bezayağı, dimi ve saten örgülü kumaşların sıklıklarını belirlemişlerdir. Gri sıra kesit yönteminin kullanıldığı diğer bir çalışmada [23], yöntemin diğer uzamsal yöntemlere nazaran ön-işleme aşamasına gerek duymadığı fakat kesit grafiğinin yerel minimumlarının filtre boyutlarına bağlı olduğu belirtilmiştir. Çalışmada gri sıra kesit yöntemi Fourier dönüşümü ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Gri sıra kesit yöntemi üzerinde daha ayrıntılı çalışmalar mevcuttur [24].

Bu çalışmanın amacı iplik sıklıklarının görüntü işleme teknikleri ile belirlenmesi ve bu yöntemlerin karşılaştırılmasıdır. Bu nedenle renkli ve desenli bezayağı ve dimi örgülü kumaşların çözgü ve atkı ipliği sıklıklarını tespit etmek için ilk aşamada Wiener filtre, medyan filtre işlemleri uygulandıktan sonra iplik sıklıkları tespit edilmiştir. Daha sonra gri seviyeli eş-oluşum matrisi, sadece gri sıra kesit yöntemi uygulanarak iplik sayıları tespit edilmiştir. Ayrıca iplik sıklıklarını belirlemek için Frekans uzayı yöntemlerinden ise ayrık Fourier ve dalgacık dönüşümü teknikleri kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, otomatik bir algoritmayla iplik sıklıklarını tespit eden görüntü işleme temelli bir algoritmanın geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Yöntem geliştirilirken uzamsal ve frekans uzayı yöntemleri iki ana başlık altında ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır. Yöntemler örnek kumaş görüntüleri üzerinde test edilerek, nicel kriterler göz önüne alınarak en iyi yöntemin tespitine çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak, renkli ve desenli bezayağı ve dimi örgülü kumaşların çözgü ve atkı ipliği sıklıklarını tespit etmek için Wiener Filtre, medyan filtre ve gri düzeyi eş-oluşum ve gri set kesit matrisi uzamsal yöntemleri kullanılmıştır. Uzamsal yöntemler temel olarak, kumaşlardaki düğümlerin meydana getirdiği örüntülerin tespiti ve bunların oluşturduğu tekrarların sayılması yoluyla iplik sıklıklarının tespit edilmesi esasına dayanmaktadır.

İkinci olarak, görüntüler Fourier ve dalgacık dönüşümü kullanılarak, frekans uzayında ipliklere ait sıklıkların tespiti yapılmıştır. Frekans uzayı yöntemlerinde ilk olarak, görüntülere iki boyutlu Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) uygulanmış böylece görüntüler frekans uzayına alınmıştır. Zaman uzayında belirli aralıklarla tekrar eden örüntüler (düğümler) frekans uzayında belirli frekanslarda harmonikler meydana getirir. Bu esasa dayanılarak, iplik dokularının frekans uzayında meydana getirdiği harmonikler sayılarak iplik sıklıkları tespit edilmiştir. Frekans uzayında ikinci yöntem olarak, Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) vasıtasıyla dikgen dalgacık bazlar kullanılarak kumaşların dalgacık uzayında analizi yapılmış ve frekans ortamındaki bileşenlere eşik değeri uygulanarak örüntülere ait bileşenlerin gürültülerden temizlenmesi sağlanmıştır. Daha sonra dalgacık katsayıları ters ADD ile zaman ortamına alınarak aynı şekilde çözgü ve atkı sıklıklarının hesaplanması sağlanmıştır.

Çalışmada yedi tip bezayağı kumaş ile 12 tip dimi örgülü kumaşın çözgü ve atkı ipliği sıklıkları, MATLAB yazılımı ortamında geliştirilen gerçek zamanlı olamayan algoritmalarla tespit edilmiştir. Kumaşların ölçekli fotoğrafları Sony DCR-TRV 40E model kamerasıyla fotoğraf çekim düzeneği yardımıyla gün ışığında çekilmiştir. Görüntüler parlaklık değerini 8 bit aralığına nicemlendiren 1305 x 1049 piksel boyutlarında görüntü kaydeden optik algılayıcıya sahip kamera ile kaydedilmiştir. Uygulanan tüm tekniklerde, öncelikle kumaş görüntüleri renk uzayından (Kırmızı, Yeşil, Mavi – KYM uzayından) gri düzeye (Renk özü, Doygunluk, Değer - RDD uzayında sadece değer matrisi (D) üzerinde işlem yapılmıştır) dönüştürülmüştür. Daha sonra her kumaş fotoğrafında ölçeğin bir cm'sine karşılık gelen piksel büyüklüğünde olmak üzere bir cm²'lik fotoğraf alanı kırpılmıştır. Sonuç olarak, tüm işlemler bir cm²'lik kumaş fotoğrafları üzerinde yapılmıştır. Bu sayede yöntemler tüm kumaşlar

üzerinden normalize değerlerde uygulanmış ve nicel değerlendirilme imkânı elde edilmiştir.

İşlemler 8 bit derinlikli parlaklık düzeyinde yapılmaktadır ve filtrelemeler önemli bir işlem yükü içermektedir. Bu nedenle işlemler gerçek zamanlı olmayacak şekilde, INTEL core™ i5-3470 CPU, 3.20 GHz çift çekirdekli ve 4 GB ön belleğe sahip 64 bit işlemci üzerinde yapılmıştır.

Bir cm²'lik kumaş fotoğrafları Şekil 1'de, çözgü ve atkı ipliği sıklıkları ise Tablo 1'de verilmiştir. İşlemler gerçek zamanlı olmayan bir sistem üzerinde yapılmakla beraber gerçek zamanlı uygulamalar için sonuç kısmında önerilerde bulunulmuştur.

Kumaşların çözgü ve atkı sıklıklarının tespiti için ilk aşamada, uzamsal yöntemler olan Wiener filtre, medyan filtre, gri düzeyi eş-oluşum matris ve Gri Sıra Kesit (GSK) yöntemleri kullanılmıştır. Wiener ve medyan filtreler, görüntüler üzerinde gürültü gidermede kullanılan uzamsal filtrelerdir. Bu çalışmada öncelikle Wiener ve medyan filtre, görüntülere ait D matrisine uygulanmış ve doku bölgelerinin belirginleştirilmesi amacıyla sağlanmıştır.

Wiener filtre, uyarlamalı optimal bir uzamsal filtredir. "Wiener" filtre aslında görüntülerdeki gürültüyü gidermek için kullanılan bir gri düzeyi alçak geçiren filtredir [10]. İki boyutlu Wiener filtre, görüntü üzerinde en küçük ortalama karesel hatayı hesaplayarak sinyal gürültü oranını artırmakta böylece iplik dokularının gürültülerden arınmasını ve belirginleşmesini sağlamaktadır. Wiener filtre, görüntü üzerindeki belirli parlaklık değer bölgesi etrafında - belirli bir piksel bölgesini pencerelenerek - ortalama ve varyans değerleri hesaplamaktadır. $I(x, y), M \times N$ boyutlu kumaş görüntüsü olmak üzere, n_1 ve n_2 genişliğindeki (T tencere boyutu olmak üzere) piksellerin ortalama değeri μ :

$$\mu = \frac{1}{MN} \sum_{x,y \in T} I(x, y) \quad (1)$$

olarak hesaplanmaktadır. Aynı $I(x, y)$ görüntüsüne ait standart sapması σ^2 olmak üzere;

$$\sigma^2 = \frac{1}{MN} \sum_{x,y \in [M \times N]} I(x, y)^2 - \mu \quad (2)$$

varyans değeri hesaplanmaktadır. Wiener filtre gürültüyü $[M \times N]$ piksel bölgesindeki μ ortalama ve σ^2 varyans değerlerini kullanarak ortadan kaldırmakta böylece gri düzey kumaş görüntülerine uygulanan yöntem ve eşik değeri sayesinde tekrar eden örüntülerin, örgü tekrarları, tespit edilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 1. Bir cm²'lik kumaş fotoğrafları: 1-7) bezayağı örgülü kumaşlar, 8-19) dimi örgülü kumaşlar.

Wiener filtrede pencere genişliği P değeri tespiti, yöntemde, $P[n \times m]$, $n \in \{13,14,15,16\}$, $m \in \{1,2,3,4\}$ şeklinde yapılmaktadır. Bu seçimde önemli olan, çevre piksellerin etkisini optimal tutmak için n değerinin çok yüksek seçilmemesi, m değerinin ise çözgü tekrarlarında sadece bir tekrar (bir iplik genişliğini kapsayan pikseller) alacak şekilde seçilmesidir. Atkı

sıklıkları tespitinde ise, görüntü döndürüldüğü için çözgü ipliklerinde kullanılanın tam tersi olarak, pencere seçimi, $P[m \times n]$, $n \in \{13,14,15,16\}$, $m \in \{1,2,3,4\}$ şeklinde yapılmaktadır. Bu ilkeye göre tespit edilen pencereler Şekil 2'de görülebilir. Pencere seçimi için 16 olasılık vardır. Yazılan kod en düşük hatayı veren pencere genişliğini belirlemiştir.



Şekil 2. Wiener filtre ve medyan filtre seçiminde temel alınan pencere seçimi: a) çözgü ipliklerinin sayısının tespitinde kullanılan dikdörtgen pencere, b) atkı ipliklerinin sayısının tespitinde kullanılan dikdörtgen pencere

Uzamsal yöntemlerden ikinci olarak, doğrusal olmayan bir filtre olan medyan filtre kullanılmıştır. Medyan filtre, görüntü matrisinin $P[m \times n]$ pencere boyutundaki pikselleri sıralayıp ortanca sayıyı pencerenin merkezine yerleştiren bir filtredir [25]. Medyan filtre doğrusal filtrelerden farklı olarak görüntü üzerinde bulanıklık etkisi yapmadan (bu sayede, uzamsal ortamda yüksek frekanslı bileşenler korunmaktadır) gürültülerin giderilmesini ve dokuların belirginleşmesini sağlayan başarılı bir yöntemdir.

Medyan filtrede pencere seçimi Wiener filtrede açıklandığı ilkeye dayanılarak dikdörtgen boyutlarda seçilmiştir. Örneğin 1 ve 6 numaralı bez ayağı kumaşlar için sırasıyla $[14 \times 4]$, $[13 \times 2]$ pencere boyutları tercih edilmiştir. Aynı kumaş örnekleri için medyan filtre pencere boyutları, $[13 \times 3]$ ve $[13 \times 4]$ olarak seçilmiştir. Dimi örgülü kumaş örneklerinden 8 ve 18 numaralı kumaşlarda ise Wiener filtre pencere boyutları, $[16 \times 1]$ ve $[13 \times 4]$ seçilmiştir.

Üçüncü yöntem olan gri düzeyi eş-oluşum matrisi kullanılan diğer bir uzamsal yöntemdir. Genel olarak $\frac{1}{2}$ seviyesine sahip piksellerin dikey / yatay ya da köşegenler doğrultuda ne sıklıkla var olduğunu tespit eden bir yöntemdir. Ayrıca eş-oluşum matrisinden karışıklık, korelasyon enerji ve homojenlik gibi özellikler ile ilgili istatistiksel bilgiler çıkarılabilir [16]. $I(x, y)$ görüntü matrisi, verilen bir ofset cinsinden tanımlanır. Çalışmada ofset değerlerinden ilk parametre ilgili piksel ve onun komşuluğunda olan piksel arasında uzaklık değeri alınmış, diğer parametre ise görüntünün boyutu kadar tamsayılardan oluşan bir gri düzeyi matrisi kullanılmaktadır. Gri düzey eş-oluşum matris yöntemi gerçek zamanlı olarak tasarlanmakta ve hâlihazırda sistemlerde kullanılmaktadır.

Gri set kesit kullanılan son uzamsal yöntemdir. Gri sıra kesit algoritmasında, iplik tekrarlarının iki boyutlu düzlemde (D matrisi), bir boyutlu düzleme izdüşümü alınarak elde edilen bir düzlem boyunca kümülatif toplam elde edilmiştir [2]. GSK yönteminde $[M, N]$ boyutlarında $I(x, y)$ görüntü matrisin sütunlar boyunca izdüşümü G_s olmak göstermek,

$$G_s(i) = \frac{\sum_{x=1}^N I(x, i)}{N} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilmektedir [2]. Burada (x, y) uzamsal koordinatlar göstermektedir. Elde edilen kümülatif toplam $G_s(i)$

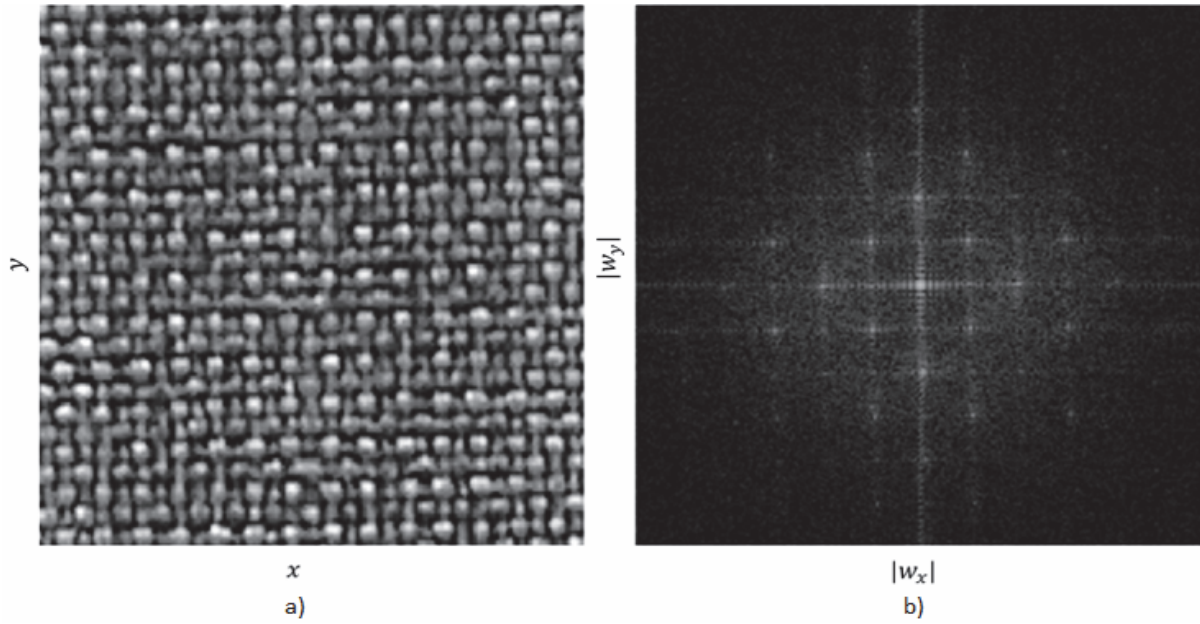
iplik dokuları ile ilişkili olarak görüntüye ait tepeler meydana getirmektedir. Diğer bir deyişle, bir boyuta izdüşümü alınan görüntü parlaklık değerleri, iplik sayıları oranında tepe meydana getirmektedir. Bu aşamadan sonra elde edilen bir boyutlu verilerin (vektör) tepe değerleri tespit edilerek iplik sayıları elde edilmektedir. Tepe değeri tespitinde yerel maksimum değerleri, vektöre ait değerlerin iki komşuluğu (vektördeki elemanın bir önceki ve bir sonraki komşuluk değeri) incelenerek iki komşuluktan da büyük olan değerler yerel maksimumlar olarak değerlendirilmektedir. Burada kritik olan nokta iplik sayılarından kaynaklanmayan, çeşitli gürültülerden kaynaklı, tepe değerlerinin belirli bir eşik değeri konarak elenmesidir. Uygun bir eşik değeri yöntemlerin başarımını önemli ölçüde etkilemektedir. Görüntüler döndürülerek (1) numaralı eşitlik kullanılarak aynı yöntem uygulanmakta ve böylece atkı sıklıkları da tespit edilebilmektedir.

İkinci aşamada, kumaş görüntülerinde iplik sıklıklarının tespiti için frekans ortamı yöntemlerinden Ayırık Fourier Dönüşümü (AFD) ve Ayırık Dalgacık Dönüşümü (ADD) yöntemleri uygulanmıştır. $I(x, y)$ görüntüsüne ait AFD,

$$F(e^{jw_x}, e^{jw_y}) = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I(x, y) e^{-j(w_x x + w_y y)} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanır. Burada $I(x, y)$ $M \times N$ boyutlarında (x, y) uzamsal koordinatlarına sahip bir görüntü matrisi olmak üzere, w_x, w_y frekans uzayına ait koordinatlar ve $F(e^{jw_x}, e^{jw_y})$ frekans uzayında sürekli bir fonksiyonu göstermektedir. Frekans uzayında $F(e^{jw_x}, e^{jw_y})$ fonksiyonu, uzamsal $I(x, y)$ görüntüsüne ait örüntülerin harmoniklerini göstermektedir. Bu örüntülerin içermiş olduğu tekrarlara ait harmoniklerin tespiti ile iplik tekrarları tespit edilmektedir. Şekil 3'te 6 nolu örnek kumaşa ait frekans uzayı bileşenleri görülebilir.

Fourier dönüşümü sayesinde kumaş görüntüleri frekans uzayına alınmakta ve böylece görüntü frekans uzayı değişkenleri olan faz ve genlik değerleri cinsinden görselleştirilmektedir. Şekil 3 b)'de karmaşık sayı olan frekans değerlerinin mutlak değeri alınarak görselleştirilmiş hali görülmektedir. Yöntem görüntü verilerine ait örüntülerin (her bir iplik düğümü bir örüntü oluşturmaktadır) frekans uzayındaki tekrarlarını tespit ederek, iplik sayısını belirlemektedir.



Şekil 3. 6 numaralı kumaş örneğine ait AFD frekans genlik değerleri: a) 6 numaralı kumaş görüntüsü, b) 6 numaralı örneğe ait AFD frekans bileşenlerine (harmoniklere) ait genlik gösterimi $|F(e^{jw_x}, e^{jw_y})|$

Dalgacık dönüşümü kumaş sıklıklarının belirlenmesinde kullanılan frekans uzayı yöntemlerindendir. Dalgacık dönüşümü temel olarak kumaş görüntülerinin frekans uzayında yüksek frekans bileşenleri (ayrıntı katsayıları-detail coefficients) ve düşük frekans bileşenleri (yaklaşıklık katsayıları-approximation coefficients) olarak iki ana gruba ayırmaktadır. Yöntem ilk aşamada ADD uygulayarak görüntüye ait örüntülerin frekans uzayında daha belirgin olmasını sağlamaktadır. $I(x, y)$ kumaş görüntüsüne ait dalgacık katsayıları

$$I(x, y) = \sum_m \langle I(x, y), \psi_m \rangle \psi_m \quad (5)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Burada ψ_m dikgen dalgacık baz fonksiyonunu ifade etmektedir. Ayrık dalgacık katsayıları elde edildikten sonra gürültüye ait olan bileşenler elenerek geriye kalan katsayılar ters ADD ile zaman uzayında döndürülmüştür. Bu işlem görüntüye ait katsayılarla uygun bir eşik değeri uygulayarak özellikle gürültüye ait frekans bileşenlerini yok etmektedir. Daha sonra $\hat{I}$ görüntü sinyali uzamsal yöntemlerde uygulanan kümülatif tepe değeri tespiti ile iplik sayıları hesaplanmaktadır.

Çalışmada kullanılan kumaş örneklerine ait gerçek (fiili) çözgü ve atkı sıklıkları adet cinsinden Tablo 1.'de verilmiştir. Çalışmada elde edilecek sonuçlar bu fiili değerler üzerinden değerlendirilecektir.

Tablo 1. Çözgü ve atkı ipliği sıklıkları

Kumaş kodu	Çözgü ipliği sıklığı (adet)	Atkı ipliği sıklığı (adet)
1	30	18
2	25	22
3	34	24
4	36	28
5	26	24
6	26	24
7	22	22
8	44	38
9	26	28
10	28	14
11	34	26
12	26	24
13	24	18
14	12	12
15	34	32
16	34	34
17	20	15
18	28	22
19	28	20

3. SONUÇLAR

Wiener filtre yöntemiyle ölçüm sonuçları Tablo 2'de verilmektedir. 1, 2, 4 nolu bezayağı örgülü kumaşta “Wiener” filtre ile çözgü sıklığı % 100 doğru tespit edilirken, 5 ve 6 nolu çözgü sıklıkları dışında tüm bezayağı örgülü kumaşlarda çözgü sıklığı % 90 oranının üstünde doğru tespit edildiği görülmüştür.

Wiener filtre ile 11, 17, 19 nolu dimi örgülü kumaşta çözgü sıklığı % 100 doğru tespit edilirken, 10 ve 14 nolu kumaş dışındaki tüm dimi örgülü kumaşlarda çözgü sıklığı % 90 oranının üstünde doğru tespit edilmiştir. 14 nolu kumaş için hata oranının yüksek çıkmasında kumaş dokularının en fazla sayıda renk ve desenin uygulanan 1cm²'lik alanda işlenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Wiener filtre ile 8, 11, 15, 17, 19 nolu dimi örgülü kumaşta atkı sıklığı % 100 doğru belirlenirken, 9, 10, 14 nolu dimi örgülü kumaşlar dışındaki kumaşlarda atkı sıklığı % 90 oranının üstünde doğru belirlenmiştir.

Medyan filtre yöntemiyle ölçüm sonuçları Tablo 3'te verilmektedir. 1, 2, 4 ve 7 nolu bezayağı örgülü kumaşlarda medyan filtre ile çözgü sıklığı % 100 doğru tespit edilirken, 5 ve 6 nolu bezayağı örgülü kumaşlarda çözgü sıklığı % 90'nın üstünde oranlarda doğru tespit edilmiştir.

Kumaş kodu 1, 3 ve 4 olan bezayağı örgülü kumaşlarda medyan filtre ile atkı sıklığı % 100 doğru belirlenirken, diğer bezayağı örgülü kumaşlarda atkı sıklığı % 90 oranının üstünde oranlarda doğru belirlenmiştir.

Medyan filtre ile 8, 10, 12, 13 ve 15 nolu dimi örgülü kumaşlarda çözgü sıklığı % 100 doğru tespit edilirken, 14 nolu kumaş hariç diğer dimi örgülü kumaşlarda çözgü sıklığı % 90 oranında doğru tespit edilmiştir. 14 nolu kumaş için hata oranının yüksek çıkması aynı nedenden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Medyan filtre ile 8, 12, 15 ve 17, 18, 19 nolu dimi örgülü kumaşlarda atkı sıklığı % 100 doğru belirlenirken, 10 ve 14 nolu

kumaş dışındaki tüm dimi örgülü kumaşlarda atkı sıklığı % 90 oranının üstünde oranlarda doğru belirlenmiştir. 10 kumaşta hata oranının yüksek çıkmasında, normalize alanda düşük karşıtlık değeri içermeleri olduğu düşünülmektedir. 14 nolu kumaş için daha önce açıklanan nedenin bu yöntemde de hata oranını artırdığı görülmüştür.

Gri düzeyli eş-oluşum matris yöntemiyle ölçüm sonuçları Tablo 4'de verilmektedir. 1, 4, 5, 6 ve 7 nolu bezayağı örgülü kumaşlarda gri düzeyli eş-oluşum matris yöntemiyle çözgü sıklığı % 90 oranının üstünde oranlarda doğru tespit edilmiştir. Gri düzeyli eş-oluşum matris yöntemiyle bezayağı örgülü kumaşlarda çözgü sıklığı % 100 doğru tespit edilememiştir.

Dimi örgülü kumaşlarda gri düzeyli eş-oluşum matris yönteminin başarımı çözgü sıklığı bezayağı örgülü kumaşlara göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Gri düzeyli eş-oluşum matris yöntemiyle 3, 4, 5, 6 ve 7 nolu bezayağı örgülü kumaşlarda atkı sıklığı % 90 doğru tespit edilmiştir. Bezayağı örgülü kumaşlarda gri düzeyli eş-oluşum matris yöntemiyle atkı sıklığını tespiti düşük başarımlı orana sahip olduğu görülmüştür.

Gri düzeyli eş-oluşum matris yöntemiyle 15 ve 17 nolu dimi örgülü kumaşta atkı sıklığı % 100 doğru belirlenmiştir. Dimi örgülü kumaşlarda gri düzeyli eş-oluşum matris yöntemiyle atkı sıklığı % 90 oranının üstünde oranlarda doğru tespit edilememiştir. Uzamsal filtreler açısından değerlendirildiğinde, Gri düzeyli eş-oluşum matrisi yönteminin diğer uzamsal yöntemlerin gerisinde kaldığı görülmektedir.

Tablo 2. Wiener filtre yöntemiyle ölçüm sonuçları

Kumaş kodu	Çözgü ipliği sıklığı	Atkı ipliği sıklığı	Hata oranı (Çözgü) % olarak	Hata oranı (Atkı) % olarak
1	30	18	0.0	0.0
2	25	22	0.0	0.0
3	32	24	5.9	0.0
4	36	28	0.0	0.0
5	32	26	23.0	8.3
6	29	24	11.5	0.0
7	22	20	0.0	9.1
8	45	38	2.2	0.0
9	28	35	7.7	25.0
10	31	21	10.7	50.0
11	34	26	0.0	0.0
12	27	25	3.8	4.2
13	26	19	8.3	5.5
14	19	23	58.3	91.7
15	32	32	5.9	0.0
16	35	36	2.9	5.9
17	20	15	0.0	0.0
18	29	23	3.6	4.5
19	28	20	0.0	0.0

Tablo 3. Medyan filtre yöntemiyle ölçüm sonuçları

Kumaş kodu	Çözgü ipliği sıklığı (adet)	Atkı ipliği sıklığı (adet)	Hata oranı (Çözgü) % olarak	Hata oranı (Atkı) % olarak
1	30	18	0.0	0.0
2	25	21	0.0	4.5
3	39	24	14.7	0.0
4	36	28	0.0	0.0
5	28	26	7.7	8.3
6	28	25	7.7	4.2
7	22	21	0.0	4.5
8	44	38	0.0	0.0
9	28	29	7.7	3.6
10	28	23	0.0	64.3
11	32	25	5.9	3.8
12	26	24	0.0	0.0
13	24	19	0.0	5.5
14	10	14	16.7	16.7
15	34	32	0.0	0.0
16	32	36	5.9	5.9
17	19	15	5.0	0.0
18	30	22	7.1	0.0
19	27	20	3.6	0.0

Tablo 4. Gri düzeyli eş-oluşum matris yöntemiyle ölçüm sonuçları

Kumaş kodu	Çözgü ipliği sıklığı (adet)	Atkı ipliği sıklığı (adet)	Hata oranı (Çözgü) % olarak	Hata oranı (Atkı) % olarak
1	31	16	3,3	11,1
2	11	8	56,0	63,6
3	17	25	50,0	4,2
4	37	27	2,8	3,6
5	24	26	7,7	8,3
6	28	26	7,7	8,3
7	24	20	9,1	9,1
8	33	28	25,0	26,3
9	20	8	23,1	71,4
10	10	3	64,3	78,6
11	12	9	64,7	65,4
12	8	10	69,2	58,3
13	12	11	50,0	38,9
14	8	5	33,3	58,3
15	19	32	44,1	0,0
16	28	19	17,6	44,1
17	13	15	35,0	0,0
18	9	8	67,9	63,6
19	11	6	60,7	70,0

GSK yöntemiyle elde edilen sonuçlar Tablo 5’te verilmiştir. Bezayağı kumaş örneklerinden elde edilen başarımların oranlarının %80’lere kadar düştüğü görülmüştür. Diğer yandan dimi örgülü kumaş örneklerindeki başarımlar bezayağı kumaş örnekleri ile karşılaştırıldığında başarımların daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Burada, tekrar belirtmek gerekirse, bazı kumaş örneklerinde örneğin 10 ve 14 numaralı kumaşlarda, başarımların oranı büyük bir

düşüş göstermektedir. Bu kumaş örneklerinde Wiener ve medyan filtrede açıklanan nedenlerden dolayı görülen başarımların düşümünün GSK yönteminde de görülmesi şaşırtıcı olmamıştır.

Frekans uzayındaki yöntemlerden Fourier dönüşümü ait sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir. Fourier yöntemi sonuçları dikkate alındığında hem genel başarımların oranlarında hem de %100 başarımlar elde edilen örneklerde artış görülmüştür. Ayrıca uzamsal yöntemlerin

tespit etmekte başarısız olduğu 10 ve 14 numaralı kumaşlarda başarımlar oranı %90'nın üzerinde seyretmiştir. Genel sonuçlar göz önüne alındığında iki tür kumaşlarda da başarımlar oranının önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

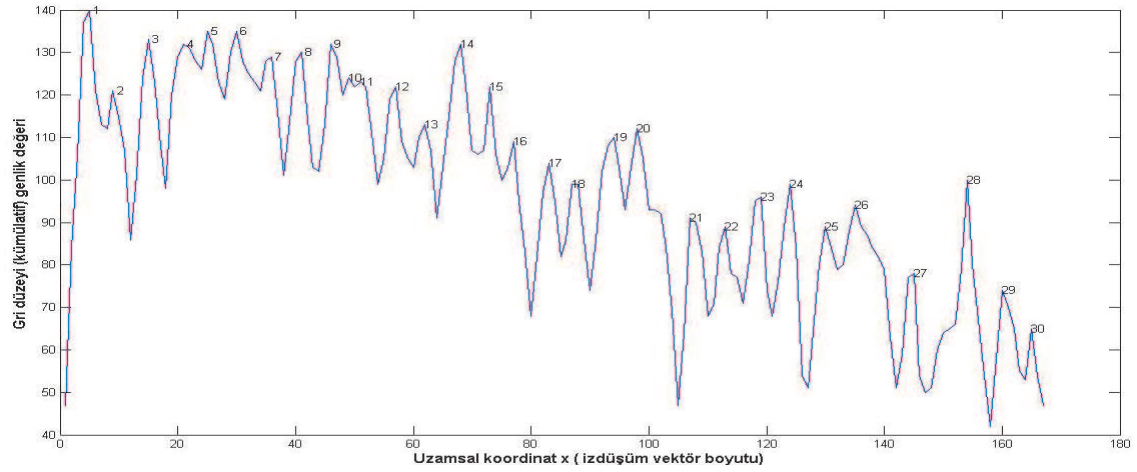
Yöntemlerin uygulanışı Şekil 4-15'te verilmektedir. Uzamsal yöntemlerin uyguladığı kümülatif toplamlardan elde edilen vektörlerin seçili bazı kumaşlar için tepe değeri grafikleri aşağıda verilmiştir. Tepe değerlerindeki sayılar yerel maksimum sayılarını dolayısıyla iplik sayılarını göstermektedir.

Tablo 5. Gri set kesit yöntemi ölçüm sonuçları

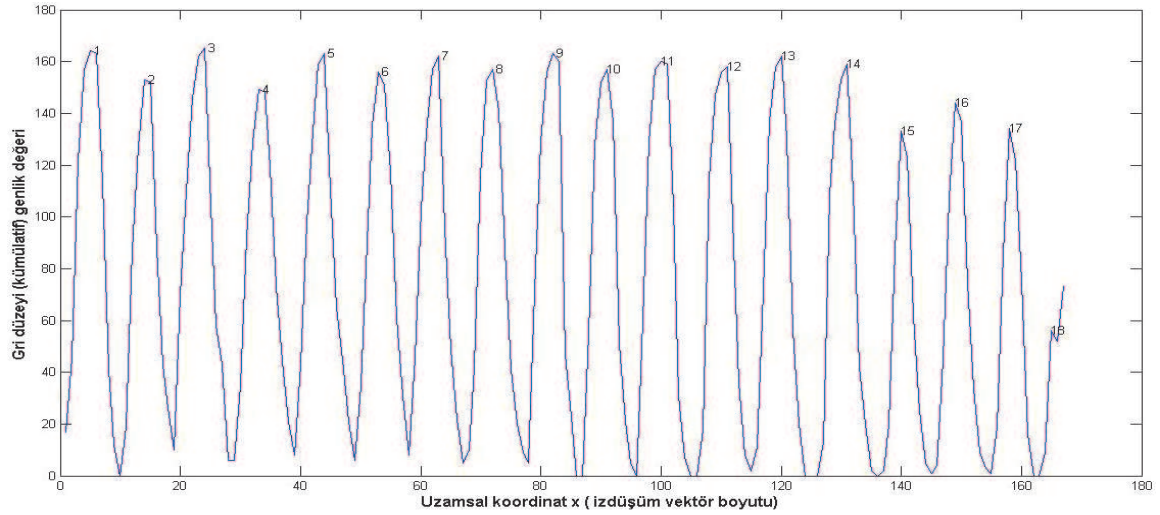
Kumaş kodu	Çözümlü ipliği sıklığı (adet)	Atkı ipliği sıklığı (adet)	Hata oranı (Çözümlü) % olarak	Hata oranı (Atkı) % olarak
1	32	17	6.7	5.6
2	24	19	4.0	13.6
3	34	26	0.0	8.3
4	37	28	2.8	0.0
5	33	27	27.0	12.5
6	29	28	11.5	16.7
7	21	20	4.5	9.1
8	44	36	0.0	5.3
9	29	32	11.5	14.3
10	38	27	35.7	92.9
11	33	23	3.0	11.5
12	42	24	61.5	0.0
13	33	20	37.5	11.1
14	19	25	58.3	108.3
15	30	34	11.8	6.2
16	43	38	26.5	11.8
17	33	15	65.0	20.0
18	35	8	25.0	22.7
19	32	6	0.0	5.0

Tablo 6. Fourier analizi yöntemine ait sonuçlar

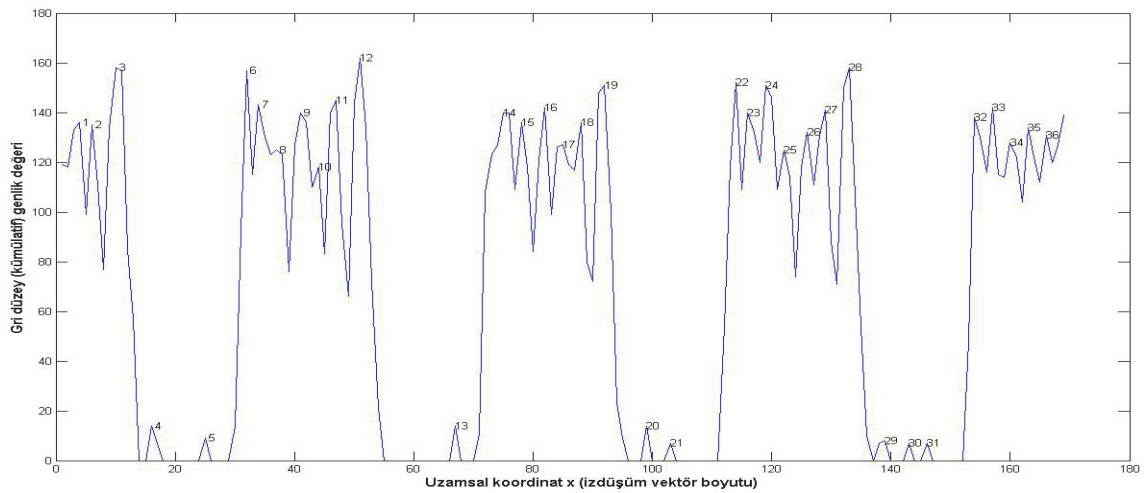
Kumaş kodu	Çözümlü ipliği sıklığı (adet)	Atkı ipliği sıklığı (adet)	Hata oranı (Çözümlü) % olarak	Hata oranı (Atkı) % olarak
1	30	18	0,0	0,0
2	25	26	0,0	0,0
3	35	25	2,8	4
4	35	30	2,7	7,1
5	27	23	3,8	4,16
6	25	23	3,84	4,16
7	22	22	0,0	0,0
8	44	38	0,0	0,0
9	25	28	3,8	7,1
10	28	15	0,0	7,1
11	36	26	5,5	0,0
12	26	26	0,0	8,3
13	25	18	4,16	0,0
14	11	12	8,3	0,0
15	35	32	2,9	0,0
16	35	33	2,9	2,9
17	21	15	5	0
18	27	22	3,5	0,0
19	27	21	3,5	5



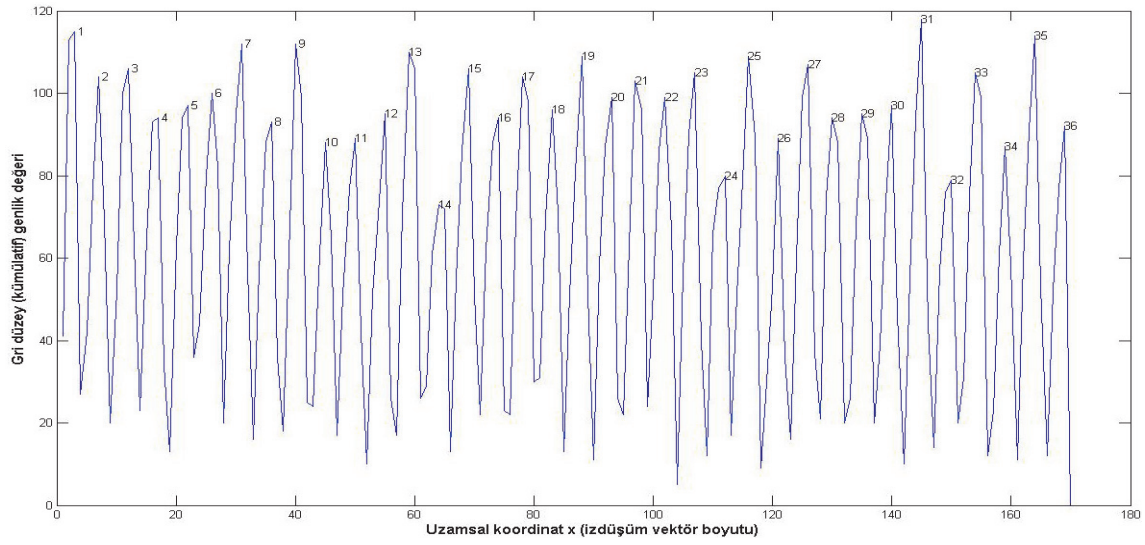
Şekil 4. Wiener filtre ile bezayağı örgülü 1 numaralı kumaşta çözgü sıklığı belirlenmesi.



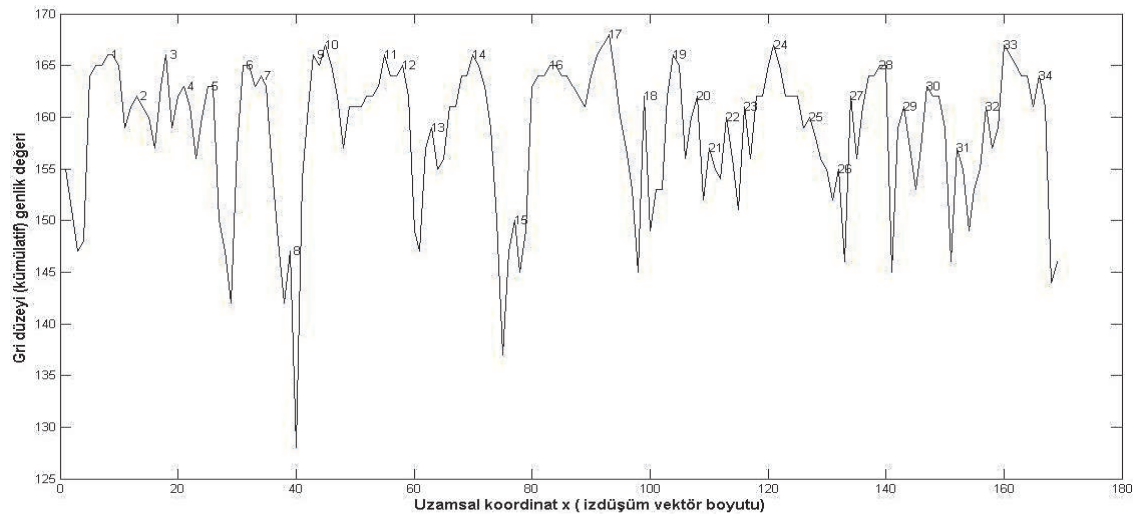
Şekil 5. Wiener filtre ile bezayağı örgülü 1 numaralı kumaşta atkı sıklığı belirlenmesi.



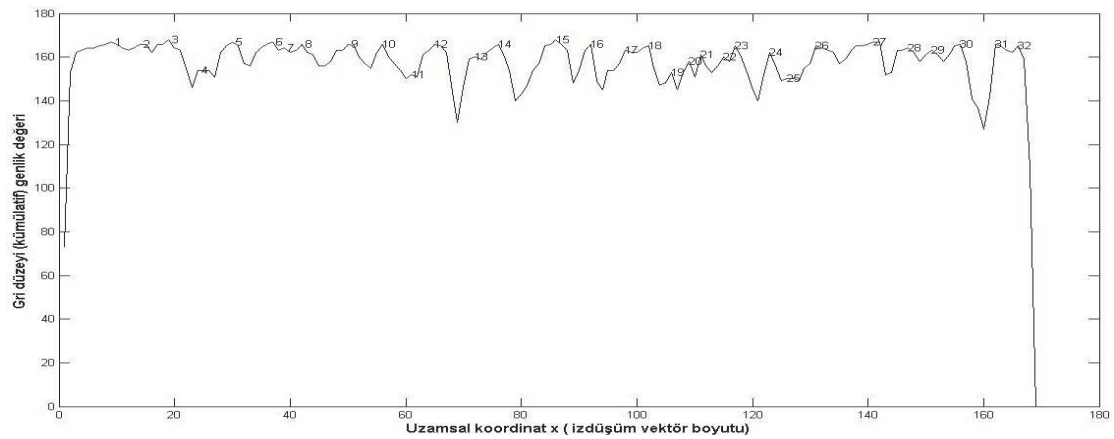
Şekil 6. Wiener filtre ile bezayağı örgülü 16 numaralı kumaşta çözgü sıklığı belirlenmesi.



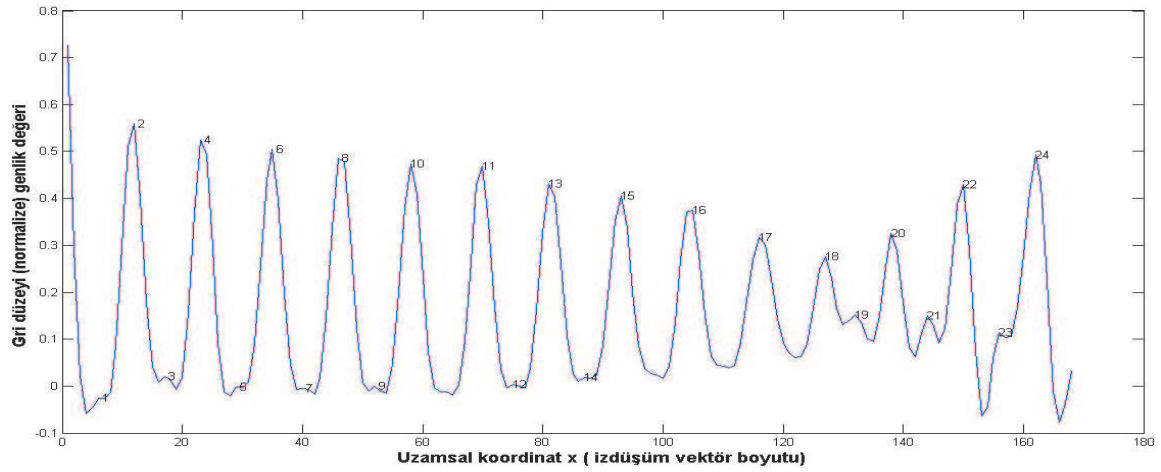
Şekil 7. Wiener filtre ile bezayağı örgülü 16 numaralı kumaşta atkı sıklığı belirlenmesi.



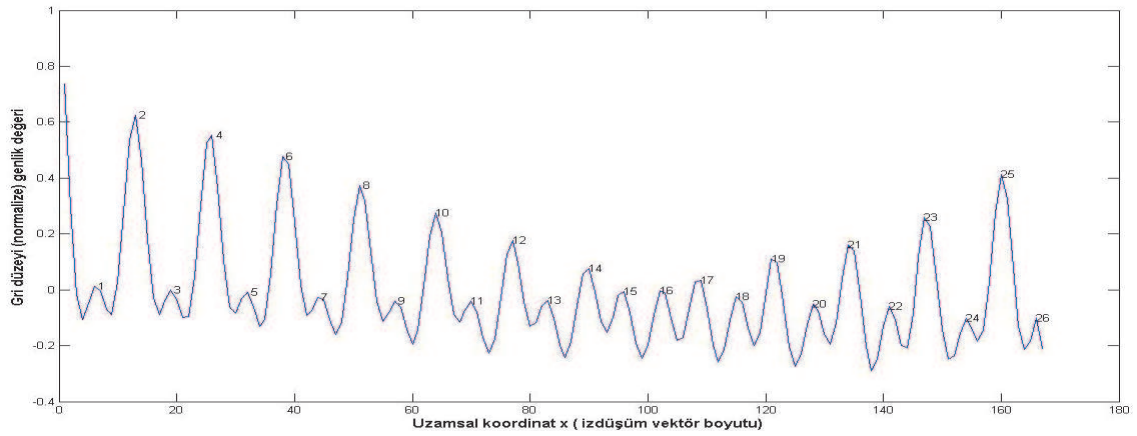
Şekil 8. Medyan filtre ile demi örgülü 15 numaralı kumaşta çözgü sıklığı belirlenmesi.



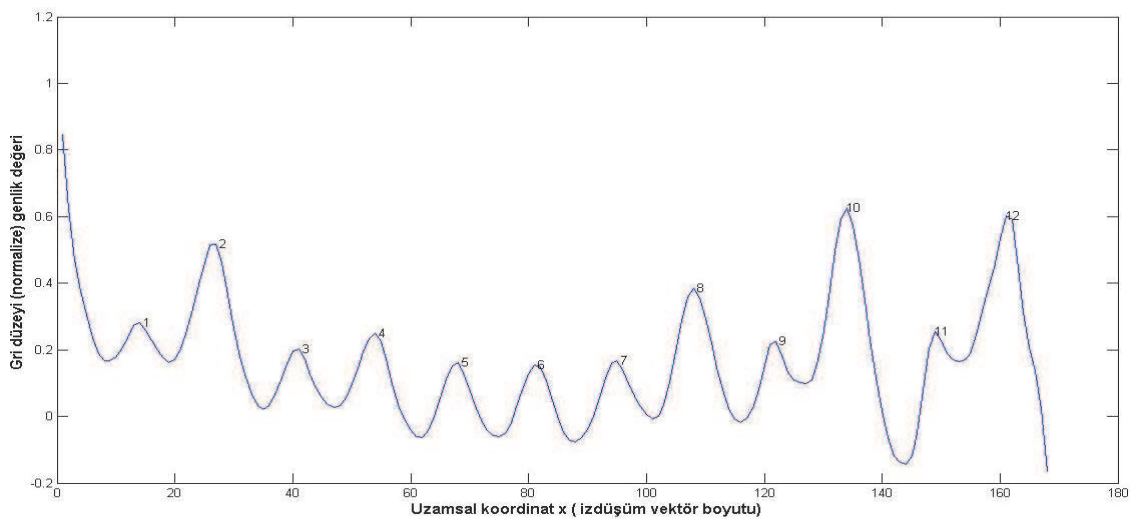
Şekil 9. Medyan filtre ile demi örgülü 16 numaralı kumaşta çözgü sıklığı belirlenmesi.



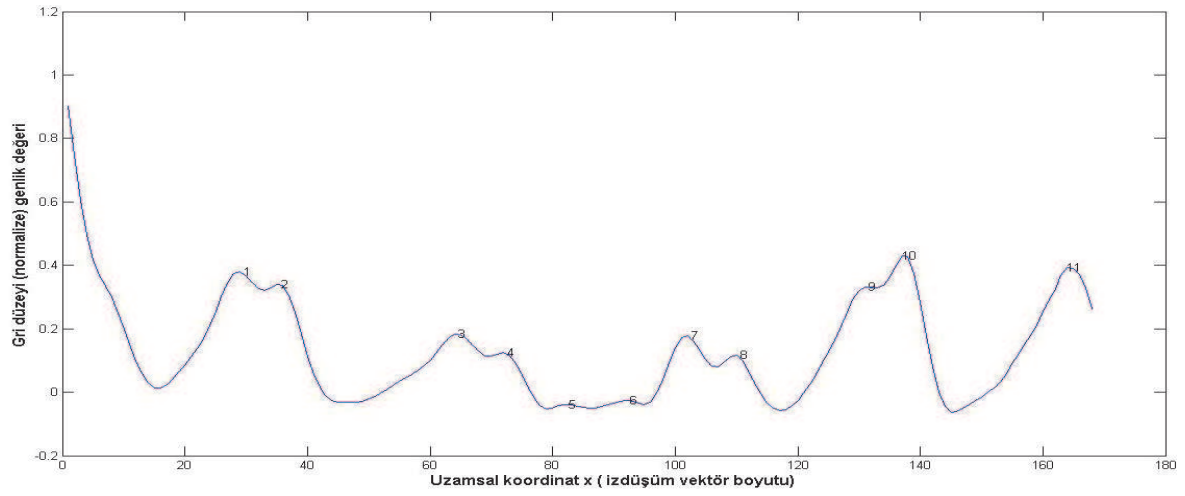
Şekil 10. GLCM yöntemi 5 numaralı çözgü sıklığı grafiği



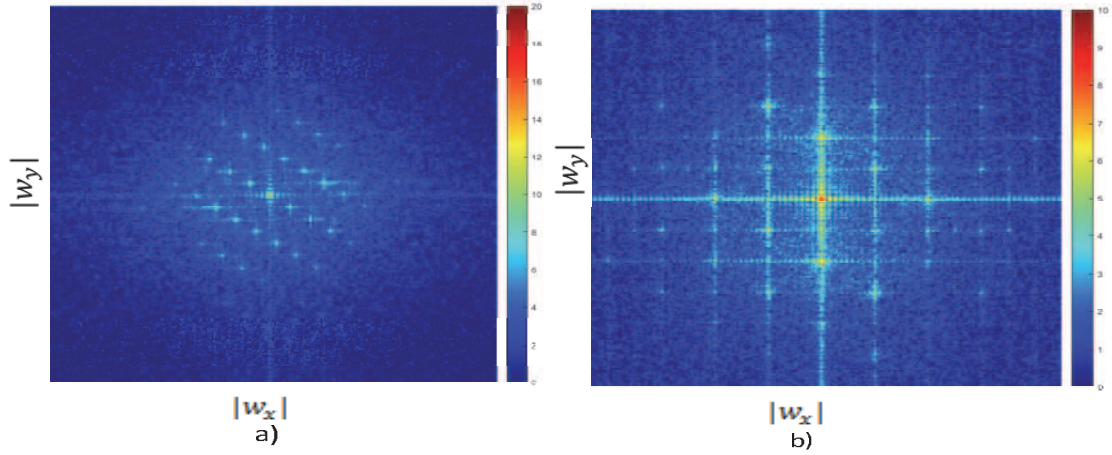
Şekil 11. GLCM yöntemi 5 numaralı atkı sıklığı grafiği



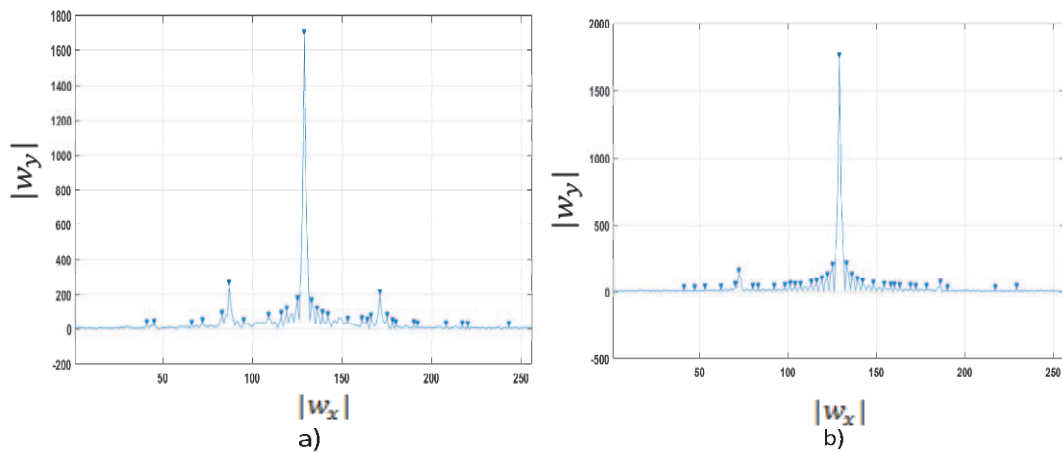
Şekil 12. GLCM yöntemi 13 numaralı çözgü sıklığı grafiği



Şekil 13. GLCM yöntemi 13 numaralı atkı sıklığı grafiği



Şekil 14. Fourier uzayı gösterimi: a) 4 nolu kumaş frekans bileşenleri, b) 9 nolu kumaş frekans bileşenleri



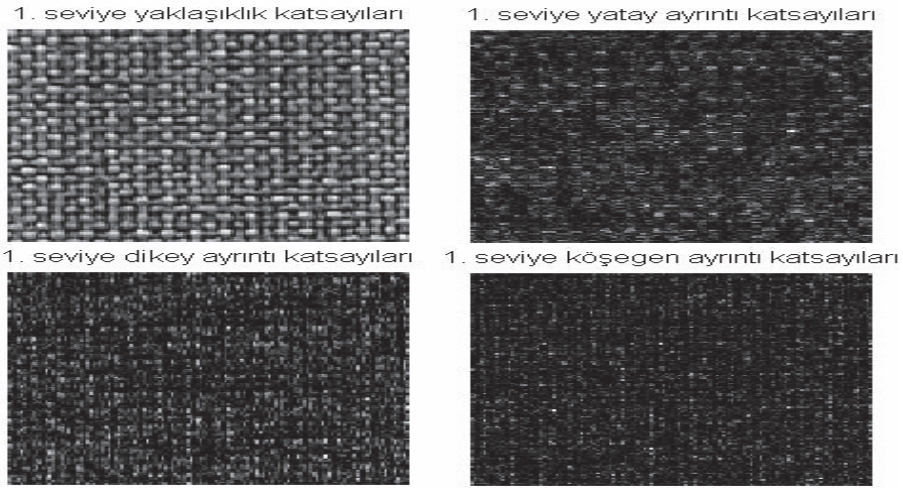
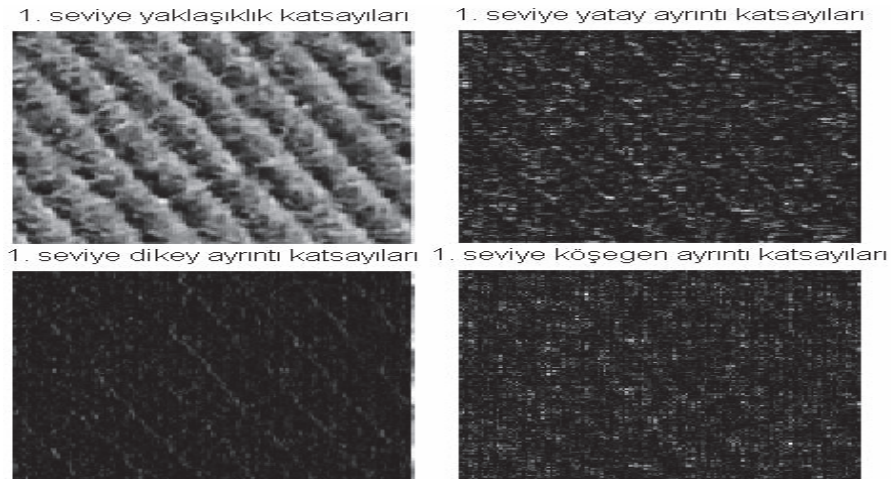
Şekil 15. Ayırık Fourier dönüşümü yöntemi: a) 4 numaralı kumaş çözgü sıklıkları (35 adet/cm), b) 4 numaralı kumaş atkı sıklıkları (30 adet/cm)

ADD sonuçları Tablo 7.'de ve Şekil 15-16'da verilmiştir. Frekans uzayı yöntemi olan Fourier dönüşümü ile karşılaştırıldığında, ADD yönteminin başarımı daha düşük

olduğu gözlenmiştir. Bazı kumaş örneklerinden, örneğin 10 numaralı kumaş, başarımın çok düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 7. Ayırık dalgacık Dönüşümü yöntemine ait sonuçlar

Kumaş kodu	Çözümlü ipliği sıklığı	Atkı ipliği sıklığı	Hata oranı (Çözümlü) % olarak	Hata oranı (Atkı) % olarak
1	31	17	3.3	5.6
2	26	22	4.0	0.0
3	34	26	0.0	8.3
4	42	29	16.7	3.6
5	23	23	11.5	4.2
6	29	24	11.5	0.0
7	24	20	9.1	9.1
8	15	24	65.9	36.9
9	36	38	38.5	35.7
10	40	33	42.8	135.7
11	32	18	5.9	30.8
12	28	33	7.7	37.5
13	30	28	25.0	55.6
14	15	12	25.0	0.0
15	35	24	3.0	25.0
16	33	30	3.0	11.8
17	17	28	15.0	86.7
18	28	20	0.0	9.1
19	35	24	25.0	20.0

**Şekil 16.** 6 numaralı kumaşa ait ADD ayrıntı ve yaklaşıklık katsayılarının gösterimi**Şekil 17.** 10 numaralı kumaşa ait ADD ayrıntı ve yaklaşıklık katsayılarının gösterimi

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında renkli ve desenli bezayağı ve dimi örgülü toplam 19 çeşit dokuma kumaşın sıklıkları görüntü işleme teknikleri kullanılarak belirlenmiştir.

Uzamsal yöntemler arasında en başarılı yöntem yedi bezayağı örgülü ve 11 dimi örgülü kumaşta çözgü ve atkı sıklıklarını % 100 doğru bulan medyan filtre yöntemidir. Medyan filtre altı bezayağı örgülü, 10 dimi örgülü kumaşta çözgü ve atkı sıklıklarını % 90 oranının üstünde oranlarda doğru bulmuştur.

Wiener filtreleme yöntemiyle dokuz bezayağı örgülü ve sekiz dimi örgülü kumaşın çözgü ve atkı sıklıkları % 100 doğru tespit edilirlerken, üç bezayağı örgülü, 11 dimi örgülü kumaşın çözgü ve atkı sıklıkları % 90 oranının üstünde oranlarda doğru tespit edilmiştir.

Gri düzeyli eş-oluşum matrisi ile on bezayağı örgülü kumaşta çözgü ve atkı ipliği sıklığı % 90 oranının üstünde oranlarda doğru belirlenirken, iki dimi örgülü kumaşta atkı sıklığı % 100 doğru belirlenmiştir. En az başarılı yöntem olan gri düzeyli eş-oluşum matrisi ile bezayağı örgülü kumaşlarda çözgü ve atkı sıklıkları ile dimi örgülü kumaşlarda çözgü sıklıkları % 100 doğru belirlenememiştir. Bezayağı kumaş örneklerinde yöntemin başarı oranı dimi kumaş örneklerine göre daha düşüktür.

Son uzamsal yöntem olan gri sıra kesit yöntemi tüm kumaş örneklerinde dört adet %100 tespit oranına sahiptir. 11 adet %90 ve üzerinde başarı gösteren yöntem gri düzeyli eş-oluşum matrisi yönteminden daha başarılı ama diğer uzamsal yöntemlerden daha düşük başarı göstermiştir.

Uzamsal yöntemler, daha önce de açıklandığı gibi iki boyutlu görüntülerin tek bir vektör izdüşümünü almakta ve vektörler üzerinde tepe değeri sayılarak iplik sayıları tespiti esasına dayanmaktadır. Burada uzamsal filtreler kullanıldığında yöntemden kaynaklı iplik desenlerine ait görüntülerinin, 90° ya da tam açılardan çekilmiş olması yöntem performansı açısından önemli bir husustur. Belirli açılarla eğimli desenler içeren görüntülerde uzamsal filtrelerin performansını etkilemektedir. Dimi örgülü kumaşların fotoğraflarında gözle görülür bir eğiklik yoktur.

Frekans uzayı yöntemlerinden ayrı Fourier dönüşümü, altı adet bezayağı 11 adet dimi örgülü kumaş örneğinin iplik sıklığını %100 oranında belirlemiştir. Diğer tüm kumaş örneklerinde başarı %90'ın üzerinde seyretmiştir. Bu açıdan bakıldığında, genel olarak uzamsal yöntemlerden daha başarılı olduğu görülmektedir. Ayrık dalgacık dönüşümü yönteminin başarımının ayrı Fourier dönüşümü yöntemine göre geride kaldığı görülmüştür. Bazı kumaş örneklerinde, örneğin 10 ve 14 numaralı kumaşlar, başarımın iyice düştüğü görülmektedir. Bazı örneklerdeki yüksek hata oranı, daha fazla sayıda renk ve desen içeren örneklerin 1cm²'lik alanda normalize edilmesinden ve çözünürlük düşüklüğünden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İşlemler 8 bit derinlikli parlaklık düzeyinde yapılmakta ve filtrelemeler önemli bir işlem yükü içermektedir. Bu nedenle işlemler gerçek zamanlı olmayacak şekilde yapılmıştır. Önerilen otomatik iplik sıklığı belirleme algoritmasının bir üretim sisteminde gerçek zamanlı çalışabilmesi uygun bir gömülü sayısal işaret işleme yongası ya da alan programlanabilir kapı dizileri (Field Programmable Gate Arrays – FPGA) gibi paralel işlem yapan sistemin içine gömülü olarak tasarlanması gerekmektedir. Bu sistemlerin yüksek çözünürlüklü görüntülerde gerçek zamanlı olarak çalıştığı çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir [26], [27].

İleriki çalışmalarda en iyi başarı gösteren yöntemin gerçek zamanlı olarak gerçekleşmesi planlanmaktadır. Diğer yandan, gelişmiş görüntü algılama sistemleri sayesinde kumaş görüntüleri daha yüksek çözünürlükte elde edilmesi ve kumaş örneklerinin geliştirilmesiyle çalışmanın daha geniş bir nicel değerlendirme olanağı ve daha yüksek başarımın elde edileceği ön görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Lin, J. J. (2002), *Applying a Co-occurrence Matrix to Automatic Inspection of Weaving Density for Woven Fabrics*, Textile Research Journal, 72, 486-490.
2. Techniková, L. ve Tunák, M. (2013), *Weaving Density Evaluation with the Aid of Image Analysis*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 21(2), 74-79.
3. Sari-sarraf, H. (1996), *On-line Optical Measurement and Monitoring of Yarn Density in Woven Fabrics*, Photonics China '96 Symposium on Automated Optical Inspection for Industry: Theory, Technology, and Application. Beijing, China, 444-452.
4. Maroš, T. ve Aleš, L. (2004), *Applying Spectral Analysis to Automatic Inspection of Weaving Density*, 16th International Conference Structure and Structural Mechanics of Textiles. Liberec, Çek Cumhuriyeti.
5. Pan R., Gao W., Li Z., Gou J., Zhang J., Zhu D. (2015), *Measuring Thread Densities of Woven Fabric Using the Fourier Transform*, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, 23, 1(109), 35-40.
6. Lachkar, A., Gadi T., Benslimane, R., D'Orazio, L., Martuscelli, E. (2003), *Textile Woven-fabric Recognition by Using Fourier Image-analysis Techniques: Part I: A Fully Automatic Approach for Crossedpoints Detection*, The Journal of The Textile Institute, 94(3-4), 194-201.
7. Pan, R., Gao W., Liu, J., Wang, H., Qian, X. (2011), *Automatic Inspection of Double-system-mélange Yarn-dyed Fabric Density with Color-gradient Image*, Fibers and Polymers, 12(1), 127-131.
8. Li, L.Q., Chen, X. ve Huang, X.B. (2005), *Automatic Inspection of Weaving Density for Woven Fabrics Using Adaptive Wavelets*, Journal of Donghua University, 31, 63-65.

9. Chan, C. Pang, G. (2000), *Fabric Defect Detection by Fourier Analysis*, IEEE Transactions on Industry Applications, 36(5), 1267-1276.
10. Lachkar, A., Benslimane, R., D'Orazio, L., Martuscelli, E. (2005) *Textile Woven Fabric Recognition Using Fourier Image Analysis Techniques: Part II – Texture Analysis for Crossed-States Detection*, The Journal of The Textile Institute, 96(3), 179-183.
11. Feng, Y.L. ve Li, R.Q. (2001), *Automatic Measurement of Weave Count with Wavelet Transfer*, Journal of Textile Research, 22, 30-31.
12. Jing, J., Liu S. (2014) *Automatic Density Detection of Woven Fabrics via Wavelet Transform*, Journal of Information and Computational Science, 11(8), 2559-2568.
13. Yili F., et al (2001), *Automatic Measurement of Weave Count with Wavelet Transfer*, Journal of Textile Research, 2001-02. 22(2), 94-95.
14. Pan, R., Gao, W., Liu, J., Wang, H. ve Zhang, X. (2010), *Automatic Detection of Structure Parameters of Yarn-dyed Fabric*, Textile Research Journal, 80(17), 1819-1932.
15. Pan, R., Gao, W., Liu, J. ve Wang, H. (2010), *Automatic Inspection of Woven Fabric Density of Solid Colour Fabric Density by the Hough Transform*, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, 18(4), 46-51.
16. Yıldırım, B. ve Baser, G. (2009), *Image Processing Approach for Weft Density Measurement on the Loom*, 16th International Conference Structure and Structural Mechanics of Textiles. 1-6, Aralık 2009, Liberec, Çek Cumhuriyeti.
17. Zhang, J., Xin², B., Wu X. (2013), *Review of Fabric Identification Based on Image Analysis Technology*, Textiles and Light Industrial Science and Technology (TLIST), 2(3), 120-130.
18. Pan, R.R. ve Gao, W.D. (2008), *High-precision Identification of Woven Fabric Density Via Image Processing*, Journal of Textile Research, 29, 128-131.
19. Xie, L.Q. ve Yu, W.D. (2008), *Applied Technique of Automatic Measurement of Warp and Weft Densities in Fabrics: 1. Method of Measurement*, Journal of Textile Research, 29, 26-30.
20. Ohta, K., Nonaka, Y. ve Miyawaki, F. (1995), *Automatic Analyzing of a Weaving Design with the Spatial Frequency Components*, Image Analysis Applications and Computer Graphics, 1024, 516-51.
21. Gao, W.D., Liu, J.H., Xu, B.J., Di, W. ve Xue, W. (2002), *Automatic Identification of Warps Arrangement Parameters in Fabric*, Cotton Textile Technology, 30, 31-34.
22. Shady, E., Qashqary, K., Hassan, M. ve Miltky, J. (2012), *Image Processing Based Method Evaluating Fabric Structure Characteristics*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 20, 86-90.
23. Jeong, Y., Jang J. (2005), *Applying Image Analysis to Automatic Inspection of Fabric Density for Woven Fabrics*, Fibers and Polymers, 6(2), 156-161.
24. Yıldırım B. (2013), *Determination of Optimum Filter Size for Detecting Yarn Boundaries*, Fibers and Polymers, 14(10), 1739-1747.
25. Lim, Jae S. (1990), *Two-Dimensional Signal and Image Processing*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
26. Raheja, L., J., Ajay, B., Chaudhary (2013), A. *Real Time Fabric Defect Detection System on an Embedded DSP Platform*, Optik: International Journal for Light and Electron Optics, Elsevier, 124(21), 5280-5284.
27. Zhou, J., Li, G., Wan X., Wang F. (2015), *A Real-Time Computer Vision-Based Platform for Fabric Inspection Part 2: Platform Design and Real Time Implementation*, The Journal of The Textile Institute, 107(2), 264-272.