

Suyla iğnelenmiş dokunmamış kumaşlarda yüzey görünümünün gelişimi

Ömer Berk BERKALP*, Emel ONDER, Behnam POURDEYHIMI

İTÜ Makine Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Gümüşsuyu, İstanbul

Özet

Kısa bir süre önce eş-oluşum(co-occurrence) temeline dayanan bir görünüm analiz metoduyla ilgili bir makalemizi sunduk. Bu makalemizde de aynı görünüm analiz metodunu kullanılarak, suyla iğnelenmiş (dolaştırılmış) dokunmamış kumaşlardaki yüzey görünümünün işlem parametrelerine bağlı olarak gelişimini inceleyeceğiz. Görünümdeki değişimi suyla iğneleme enerjisiyle ilişkilendirerek verilerimizi değerlendireceğiz. İşlem enerjisi, makinadaki basınç değişimi ve geçiş sayısına göre kontrol edilmiş, tüm kumaşlar aynı tül ve aynı destek bandı üzerinde üretilmiştir. Verilerimiz bize, yüzey belirginliğinin basınç ile doğru orantılı olarak belli bir değere kadar iyileştiğini ve daha sonra ise görünümün bozulduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Görünüm analizi, suyla iğneleme(dolaştırma), spesifik enerji, eş-oluşum yöntemi.

Texture development in hydroentangled nonwovens

Abstract

The intention of this research is to develop an optical method and a turnkey imaging system for classifying texture in hydroentangled nonwovens. This paper uses this texture analysis method to examine the development of the texture during hydroentangling as a function process conditions. We report on the development of texture as a function of hydroentangling energy. Energy was varied by controlling the pressure and number of passes. 1.7 dtex PET was selected as the fiber. A pilot-scale Honeycomb hydroentangling machine was used to produce fabrics under varying pressures and number of passes. All fabrics were produced using the same web on the same forming belt substrate. Our data indicated that co-occurrence analysis is a good indicator for determining the surface texture properties. We have demonstrated that horizontal and vertical contrast functions and their respective power spectral analysis data will provide a useful tool for quantifying texture. We have also showed that hydroentangling pressure has a marked effect on the manner in which texture develops during the process. In general, increasing pressure and the number of passes will result in a better texture definition up to a certain point provided that the web is sufficiently consolidated. If the web is not consolidated, higher pressures will result in perturbing the web with a concomitantly lower texture definition.

Keywords: Texture analysis, hydroentanglement, specific energy, co-occurrence method.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Ömer Berk BERKALP. berkalpo@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00 dahili: 2519.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Makine Fakültesi'nde tamamlanmış "Texture classification in hydroentangled nonwovens" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 20.12.2002 tarihinde dergiye ulaşmış, 17.02.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2003 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Suyla iğneleme (dolaştırma) teknolojisi değişik şekillerde, yaklaşık 40 yılı aşkın bir süreden beri kullanılmaktadır. Chicopee firması, bu yöntemi oluşturan temel kavramları, 1950'lerde düşük enerjili desenlendirme işlemi ile başlatmıştır. DuPont ise 1974 yılında ilk yüksek enerjili, yüksek hızlı tül oluşturma ve hidrolik iğneleme (suyla iğneleme) teknolojisini başlatmıştır (Medeiros, 1996). Suyla iğnelenmiş kumaşların yumuşak, esnek, tutumlu, dökümlü, dolgun, mukavemetli ve yapıştırılma dayanımlı olmaları, dolayısıyla sahip oldukları iyi fiziksel özellikleri, bu yöntemi diğer dokunmamış kumaş üretim yöntemleri arasında farklı kılmaktadır.

Suyla iğneleme işleminin bir başka amacı da, estetik ve performans açısından dokuma ve örme kumaşlarla kıyaslanabilecek kumaşlar üretmektir. Suyla iğnelenmiş kumaşların, mukavemet, yırtılma dayanımı ve eğilme davranışı bakımından bu tip dokuma ve örme kumaşlarla kıyaslanabilir düzeyde olmalarına karşı; düşük başlangıç modülü, gerilme sonrası zayıf geri dönebilme ve düşük yıkama dayanımı özellikleri sergilemektedirler. Bu teknolojinin, imkanları dahilinde, ileride dokuma ve örme ile büyük bir yarışa gireceği de beklenmektedir.

Suyla iğneleme işlemine ve dolayısıyla kumaş performansına birçok parametre etki etmektedir. Kullanılan lif ve tül özellikleri, bitmiş ürünün performansına etki eden en önemli iki parametredir. Liflerin kumaş içindeki yerleşme derecesi ve kullanılan kumaş destek kayışı son ürünün özelliklerini belirlemektedir (Wilson, 2000).

Suyla iğneleme yöntemi ile, iki farklı amaç için tamamıyla farklı iki tip kumaş üretilebilir. Suyla iğneleme sadece liflerin mekanik bir bağlama işleminden ibaret olan deliksiz düz kumaş veya delikli ya da desenli kumaş üretimi için kullanılabilir. İkinci üretim yönteminde amaç, bir tekstil yüzeyi oluşturmaya ilave olarak, kumaşa desen kazandırmaktır. Bu iki tip üretim yöntemi için kullanılan kumaş destek kayışlarının özellikleri birbirinden tamamen

farklıdır. Deliksiz, düz kumaş üretilmesinde amaç, son ürünün suyla iğneleme ile mukavemetinin artırılmasıdır. Bundan başka, suyla iğneleme kompozit üretilmesinde, iki veya daha fazla tülün birleştirilmesi için de kullanılabilir. Bu durumda, tipik olarak kumaş destek kayış yüzeyi son ürün de kesin bir desen oluşturmaz. Diğer yandan, desenli ve delikli dokunmamış kumaş üretimlerinde, kumaş destek kayışının deseninin kumaş üzerine geçirilmesi beklenmektedir (Widen, 1991).

Kumaş yüzeyine desenin geçirilmesindeki en önemli etken, anahtar işlem değişkeni olan tüle uygulanan toplam spesifik enerji ile bağlantılıdır. Doğal olarak, enerji aynı zamanda kumaşın fiziksel ve yapısal özelliklerine de etki etmektedir.

Tüle geçirilen enerji miktarı şu değişkenlerle kontrol edilebilir:

1. Manifold basıncı
2. Tülün manifold altında kaldığı zaman
3. Manifold ve toplam geçiş sayısı

Hedeflenen kumaş gramajı ve yoğunluğunun artmasıyla beraber enerji ihtiyacı da artar; ancak, buna su basıncından dolayı tülde yüksek miktarda lif hasarlarının oluşması başlayana kadar izin verilebilir. Manifoldtaki bir su jetinin, tüle uyguladığı spesifik enerji E (j/kg), teorik basitleştirilmiş şu formülle verilmektedir (Timble v. diğ., 1996; Timble v. diğ., 1997):

$$E = 6.66 \times 10^4 \frac{C_d \cdot d^2 \cdot N \cdot P^{3/2}}{\sqrt{\rho} \cdot W \cdot S} \quad (1)$$

Bu formülde C_d akış katsayısı (0.7 alınmıştır), d su jeti çapı (m), N manifoldtaki jet sayısı (jet/m), P manifoldtaki su basıncı (N/m^2), ρ suyun yoğunluğu (g/m^3), W tül ağırlığı (g/m^2), ve S ise makinanın hızını (m/dak) temsil etmektedir.

Kumaşa uygulanan toplam spesifik enerji (j/kg) ise şöyle verilmektedir:

$$\text{Toplam Spesifik Enerji, } E_t = \sum_{a=1}^p \sum_{b=1}^m E_{ab} \quad (2)$$

Bu formülde ise a kumaşın manifoldtan geçiş sayısını, b ise manifold sayısını temsil etmektedir.

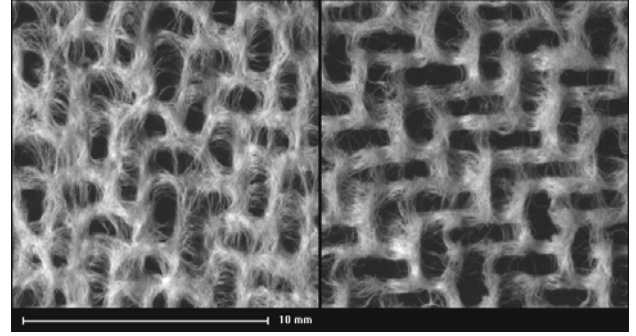
Suyla iğnelenmiş kumaşların mukavemet özellikleri ile ilgili pek az bilimsel yayın bulunmaktadır (Connolly ve Parent 1993; Ghassemieh v. diğ., 2001; Timble v. diğ., 1996; Timble v. diğ., 1997; Vuillame, 1993.) Bunların yanında kumaşın tutum ve görünüm özellikleri veya yüzey yapısı da tüketicilerin son ürünü beğenisinde ve seçmesinde en büyük etkenlerden biridir. Bu alandaki boşluk da dikkate alınarak, çalışmada bu yüzden kumaş görünümüne veya yüzey yapısına odaklanılmıştır.

Tekstür tanım olarak görünüm ve tüm yüzey özelliklerini kapsamaktadır (Sonka v. diğ., 1999). Bu makalede görünümü, yüzeyin kendi içindeki tekrarlanabilirliği şeklinde değerlendirmekteyiz. Bu yaklaşımla, görünümün periyodik olduğunu kabul etmekte ve periyodiklik seviyesinin (gözle) görünüm belirginliğiyle doğru orantılı arttığı yaklaşımını kullanmaktayız. Bu yaklaşımın gerçekliği, somut olarak bilimsel yayınlarda da verilmiştir (Berkalp v. diğ., 2002; Pourdeyhimi ve Sobus, 1993; Pourdeyhimi v. diğ., 1994; Sobus v. diğ., 1991,1992; Wood, ve Hodgson 1989; Wood, 1990; Wu v. diğ., 1991; Xu, 1994). Bu makalede ise, yukarıda sözü geçen yaklaşım esasında suyla iğnelenmiş dokunmamış kumaşların görünümünün değişik spesifik enerjilerde gösterdiği değişim incelenmiştir.

Malzeme ve metod

Bu çalışmada kullanılmak üzere 38 mm kesikli, 1.7 dtex Polyester lifi seçilmiştir. Kumaşların farklı geçiş sayılarında ve farklı basınç altında üretilmesi için pilot ölçekli "Honeycomb" marka suyla iğneleme makinası kullanılmıştır. Makina üç manifoldlu (başlıklı) olup her bir manifold bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Jetlerdeki delik çapı 0.127 mm ve bir manifoldtaki jetlerin sıklığı ise 16 delik/cm'dir. Makinada basınç, ön ıslatma amaçlı 13 bara veya suyla iğnelemek için 110 bara kadar çıkabilmektedir. Lifler suyla iğnelenmeden önce açılmış, taraklanmış ve

çapraz katlanarak tül haline getirilmiştir. Tüm kumaşların üretimi için aynı özellikte tül kullanılmıştır. İlk başta deneme amaçlı olarak 50 g/m² ağırlığında tül kullanılmış, ancak tatmin edici sonuçlara ulaşılamamıştır. Yüksek basınçla birlikte geçiş sayısının artmasıyla hafif gramajlı bir tülde kumaş görünümünün bozulduğu görülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. İlk deneme (50g/m² - 96,5 bar)

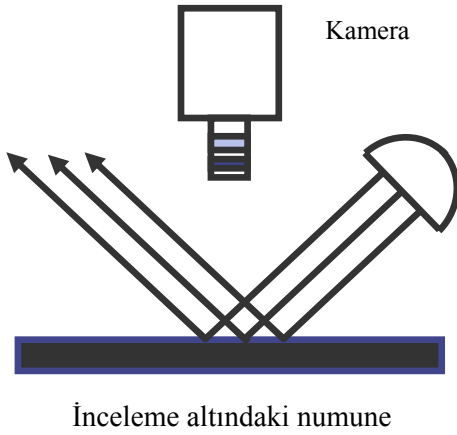
Suyla iğnelemeden önce tülün ilk önce kuvvetlendirilmemesi durumunda, suyun liflerin yerini alacağı açıktır. Bu yüzden, yüksek basınçlarda kumaş oluşumu için kullanılacak tülün ilk önce belli bir dereceye kadar kuvvetlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada daha yüksek gramajlı tül kullanımına karar verilmiş, sırasıyla 100 ve 150 g/m²'lik taraklanmış ve çapraz katlanmış tüller üretilmiştir. Üretilen tüller öncelikle 55 bar basınç altında deliksiz bir kayış (250 tel/cm sıklığında) üzerinde ön bir su iğneleme işleminden geçirilerek, kuvvetlendirilmiştir. Numunelerin elde edilme şartları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kumaş özellikleri

Geçiş sayısı	Manifold sayısı	Basınç (bar)
1	3	27.6
1	3	41.4
1	3	55.2
1	3	69
1	3	82.7
1	3	96.5

Görüntü alma ve ön işlemler

Görüntü alma cihazı, yüksek çözünürlü tek renkli bir kamera, bir görüntü yakalayıcı ve laboratuvar ortamında kurulan, yönlendirilmiş karanlık alan aydınlatma ışık sisteminden oluşmaktadır (Şekil 2). Görüntüler kamera düzlemine dik olarak alınmıştır. Işık sistemi, düzgün dağılımlı LED ışık panosundan oluşmaktadır (Berkalp v. diğ., 2002). Böylece, yaklaşık 20x20 mm²lik bir alanın görüntüsü alınabilmektedir. Her bir numune için üç adet görüntü alınmıştır. Verilen sonuçlar üçer ölçümün ortalama ve standard sapmalarını göstermektedir.



Şekil 2. Deney düzeneği

Alınan görüntüler eş-oluşum analizinden önce bir ön işleme tabi tutulmuşlardır. İlk önce histogram dengeleyici kullanılarak görüntünün gri seviye değerleri yeniden düzeltilerek histogramı düzeltilmiştir, böylece daha düzgün bir gri seviye dağılımı elde edilmekte ve tüm görüntünün ışık yoğunluğunda oluşan değişimler kaldırılmaktadır (Haralick v. diğ., 1973).

Görüntü analizi

Kumaşların görünüm periyodikliğini ve tanımlamalarını değerlendirmek için uzaysal eş-oluşum metodu kullanılmıştır. Uzaysal eş-oluşum, d uzaklığı ve θ yönüyle ayrılmış, i ve j ışık yoğunluk değerleri olan piksel çiftlerini örneklemek için ikinci derece, birleşik şartlı olasılık yoğunluk fonksiyonunu $f(i,j|d,\theta)$ incelemektedir. Pratikte, d mesafesinde ve θ

yönünde bulunan komşu pikselleri incelemek için görüntüdeki her piksel sistematik olarak örneklenir. Mevcut i pikselinin ve komşusu j' nin ışık yoğunlukları, verilen örnekleme parametreleri d ve θ için i ve j' nin tek bir eş oluşumunu oluşturmaktadır. Oluşturulan bu tüm eş oluşum frekansı, $N \times N$ boyutlarında bir M matrisinde depolanmaktadır. Bu yüzden, matrisin i, j girişi görüntüde örneklenmiş i, j çiftlerinin sayısını vermektedir. Bu frekanslar da tipik olarak örnek boyutlarında normalleştirilirler. Dikdörtgen bir piksel grubu için, 8 yön bulunmaktadır: 0 (sağ), 45 (yukarı sağ), 90 (yukarı), 135 (yukarı sol), 180 (sol), 225 (aşağı sol), 270 (aşağı) ve 315 (aşağı sağ).

Uzaysal korelasyonun derecesi eş-oluşum matrisini etkileyecektir. Işığın yoğunluğu kısa mesafelerde değişiyorsa frekans, matris boyunca, yoğunluğun kademeli olarak değişen durumundan, daha düzgün olarak yayılacaktır. Ana köşegendeki ($i=j$ durumu) bu yayılmanın veya momentin tanımı için farklı istatistikler kullanılmıştır (tüm bu tanımlamalar için Sobus v. diğ., 1991 no lu kaynağa başvurunuz). Biz ise bu makalede:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \{(i-j)^2 M_{i,j}\} \quad (3)$$

olarak tanımlanan kontrast (veya eylemsizlik) üzerine yoğunlaşmaktayız. Kontrast bir moment istatistiği olup M matrisinin ana köşegeninin yayılma derecesi ile orantılıdır.

Uzaysal eş oluşum periyodik desenlerin incelenmesi için kullanılabilir; zira görünüm periyodikliğinin özellikleri (değeri, frekansı ve yönü) eş oluşum matrisine yansımaktadır (Pourdeyhimi ve Sobus, 1993). Örnek olarak, φ periyodikliği olan bir desen tekrarında $\varphi > d$ ise örneklenen çiftlerin yoğunlukları benzer ve bunun sonucunda da M köşegeni boyunca da frekansı artacaktır. $d \sim \varphi$ durumunda ise, buna bağlı olarak düzgün dağılımlı bir M oluşturacaktır. M , her bir d ve θ kümesi için ayrı hesaplanmaktadır, fakat buna benzer şekilde d 'nin, örnek olarak 1 den 100 e, farklı değerleri

için matris serileri hesaplanabilmektedir. Bu seriler, değişen görünüm özelliklerini 100 piksel üzerinde göstermektedir.

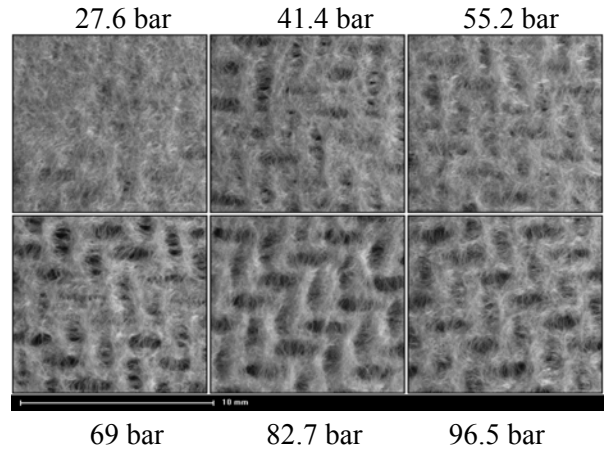
Kontrast istatistiğini de, d'nin belli değer aralıklarındaki görünüm değişikliğini ölçmek için kullanmaktayız. Kontrast bu durumda mesafenin bir fonksiyonu olmaktadır. Düzgün bir dağılımı rasgele örnekleyerek oluşturulan bir görüntü için bu fonksiyon sabit bir ortalama değer kabul etmektedir. Kontrast ile düzenli bir görünüm, uzaysal korelasyonun belli aralıklar içinde sırasıyla iniş ve çıkışlarının olduğu periyodik bir fonksiyon üretmektedir. Bu tip bir fonksiyonun periyodikliğinin görünümün periyodikliği olduğunu ve bu değerın yüksekliği de periyodiklik sinyalinin bağlı gücünü belirttiğini daha önce gösterilmiştir (Berkalp, v. diğ., 2002; Pourdeyhimi v. diğ., 1994; Sobus v. diğ. 1991).

Uzaysal eş oluşum matrislerinin kontrast istatistikleri $d=1$ ila $d=200$ arası için yatay ve dikey yönlerde hesaplanmıştır. Daha sonra ise bu fonksiyonların spektral analizi yapılmıştır. Sobus ve Pourdeyhimi önceki çalışmalarında periodogram veya güç spektrumu (her bir Fourier harmonisinin sinüs ve kosinüs katsayılarının karelerinin toplamı) hesaplamasını sonlu Fourier transform kullanarak spektral yoğunlukların kullanılabileceğini göstermişler ve periodogramın gücünün de belirtilen frekansın veya görünüm periyodunun istatistiksel kuvvetini belirttiğini saptamışlardır.

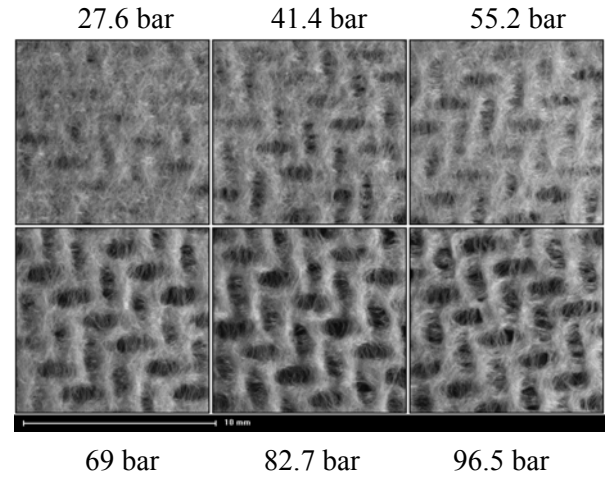
Sonuçlar ve tartışma

Tüm suyla iğnelenmiş kumaşların görüntüleri Şekil 3-6'da verilmiştir. Öte yandan, 4 kumaş tipinin kontrast sonuçları Şekil 7'de yer almaktadır. Kontrast grafikleri ve onların güçleri, tül ağırlığı ve geçiş sayısına göre yerleştirilmiş ve gruplandırılmıştır.

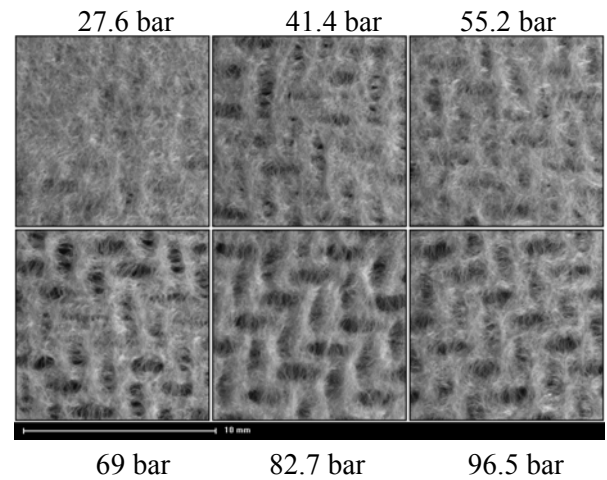
Şekil 7'de PET 150 g/m² – 1 pasaj geçirilmiş örnek tüller için kontrast, mesafenin bir fonksiyonu olarak basınca göre çizilmiştir. Bu gösterilen sonuç diğer tüm örneklerde elde edilmiş sonuçlara benzemektedir.



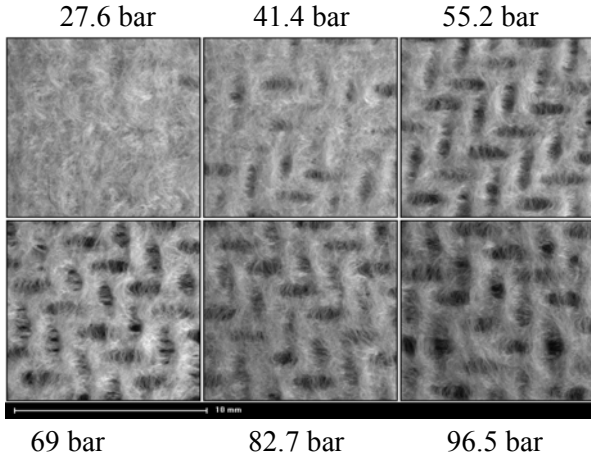
Şekil 3. 100 g/m² tül - 1 geçiş sonucu farklı basınçlardaki görüntüleri



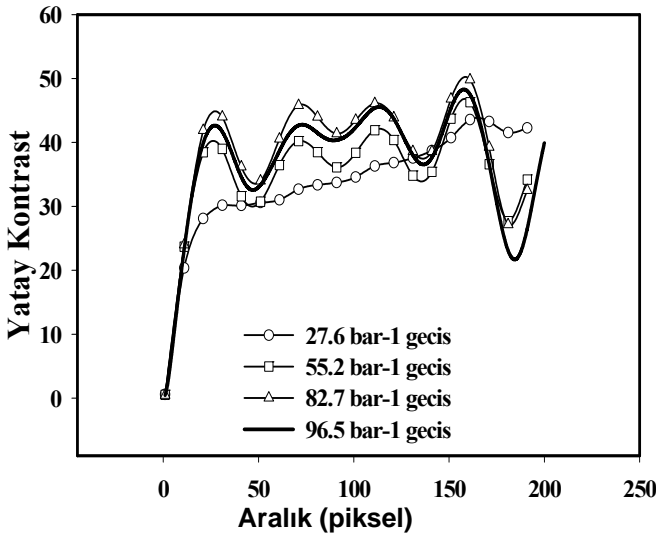
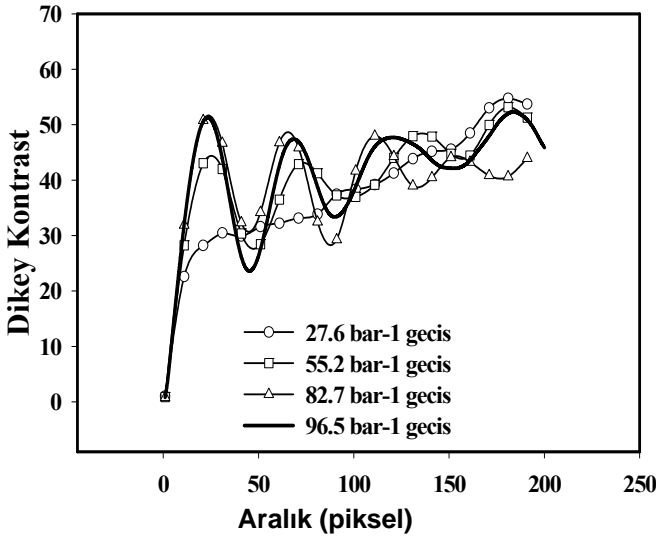
Şekil 4. 100 g/m² tül - 2 geçiş sonucu farklı basınçlardaki görüntüleri



Şekil 5. 150 g/m² tül - 1 geçiş sonucu farklı basınçlardaki görüntüleri



Şekil 6. 150 g/m² tül - 2 geçiş sonucu farklı basınçlardaki görünüşleri



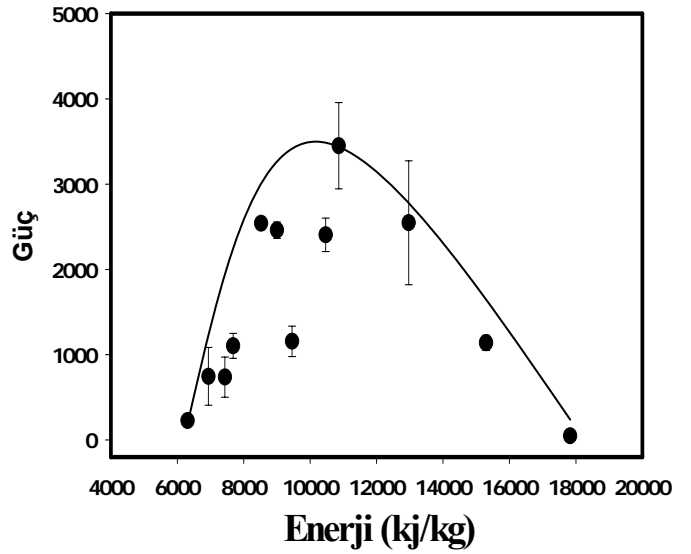
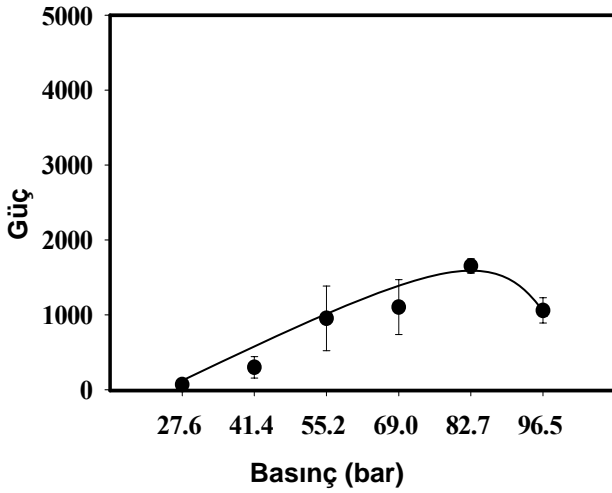
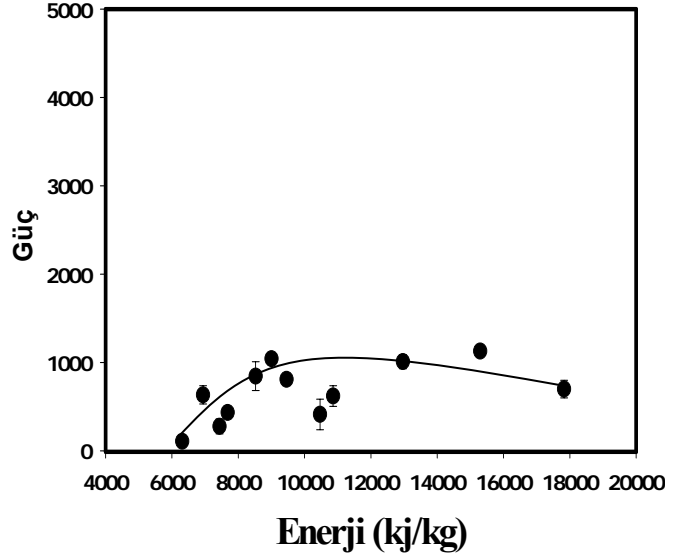
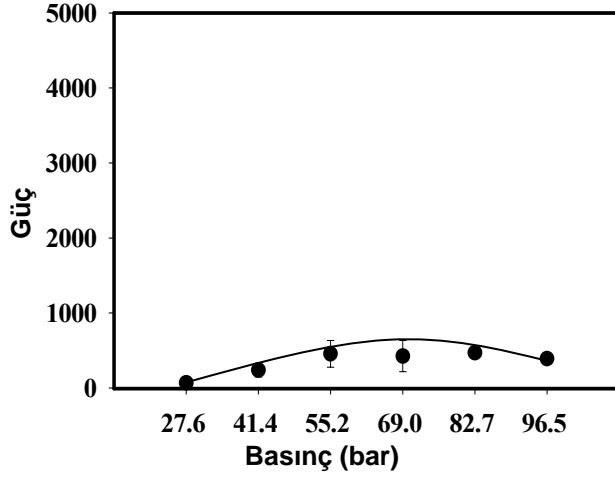
Şekil 7. 150 g/m² PET -1 geçişin farklı basınçlarda yatay ve dikey kontrast analizi

Burada mesafe fonksiyonunun basınç veya enerjinin artmasıyla belli bir noktaya kadar belirginleştiği (Şekil 4'e de bakınız) ve daha sonra da fonksiyonun genliğinin düştüğü açıkça görülmektedir. Daha yüksek basınçlarda ise tülün yapısı bozulduğundan görünüm ve dayanım bakımından uygun sonuç alınamaması ihtimali mevcuttur. Aynı davranış tüm örneklerin kontrast verilerinin spektral analiz sonuçlarında (Şekil 8-10) da gözükmemektedir. Örneklerde geçiş sayısı veya tül ağırlığına bakılmaksızın eğilim hep aynıdır. Görünüm belirginliği artmakta ve sonra azalmaktadır. Enerji-güç grafiklerinde (Şekil 9-10), bu eğilim çok açıktır ve bu numunelerde 13000 kJ/kg'lık enerji, görünüm kayıpları için bir eşik enerjisi olarak gözükmemektedir.

Yukarıda da belirtildiği üzere, yüksek basınçlardaki görünüm kaybı, tül yoğunluğunun ve kuvvetlendirilmesinin az ve eksik olmasından kaynaklanabilir. Şekil 1'de ve ayrıca Şekil 3-6'nın son görüntülerinde de görüldüğü üzere, yüksek basınçta jetlerin tülü hareketlendirmesiyle liflerin destek kaybının üzerindeki deliklerden yayıldığı ve bunun sonucu olarak da görünüm kaybına yol açtığı sanılmaktadır.

Ağır tüllerde iğnelenecek ve karıştırılacak daha fazla lif olduğu düşünülürse, tül'e geçirilen spesifik enerji de az olmaktadır. Bu yüzden de, aynı manifold basıncı kullanılarak görünümün belirginliğinin gelişmesi beklenemez (Şekil 9-10). Fakat, sonuçlarımız bu farklılıkları tam göstermemektedir. Bunların muhtemel sebebi, kullandığımız pilot makinanın dar basınç aralığında olmasıdır. Bundan dolayı, çalışmanın sonraki aşamasının işletme koşullarında, farklı kumaşlarla denemesi planlanmıştır.

Genel itibarla, yeterince kuvvetlendirilmiş, dolayısıyla iğneleme esnasında çok hasara uğramayacak tüllerde belli bir noktaya kadar basıncın ve geçiş sayısının artmasıyla daha iyi bir görünüm belirginliği elde edildiği görülmektedir.



Şekil 8. 150 g/m² PET -1 geçişin kontrast fonksiyonunun tüm basınçlar için Fourier analizi sonucu spektral güç grafiği (yatay kontrast üstte, dikey kontrast altta)

Şekil 9. 100 g/m² PET kumaşların enerji seviyelerine göre spektral güç grafiği (yatay kontrast üstte, dikey kontrast altta)

Sonuçlar

Bu makalede, eş-meydana gelme analizinin yüzey görünüm özelliklerinin belirlenmesi için iyi bir belirleyici olduğu gösterilmiştir. Yatay ve dikey kontrast fonksiyonlarının ve bunların spektral analizlerinin görünümü tanımlamada kullanışlı bir araç olduğu gösterilmiştir.

Bunların yanında suyla iğneleme basıncının işlem esnasında görünüme belirgin olarak etki ettiği anlaşılmıştır. Genel olarak, basıncın ve geçiş sayısının artırılmasıyla yeterli sağlamlıktaki bir tülde belirli bir noktaya kadar görünümde iyileşme olduğu ve tül eğer kuvvetlendirilmemiş ise yüksek basınçlarda tülün bozularak düşük

bir görünüm belirginliği gösterdiği saptanmıştır. Bu çalışmada bazı sınırlamalarda söz konusu olmuştur. Kullanılan pilot makine ticari makinalardan farklı olarak 100 bar basınca kadar çıkabilmiştir.

Semboller

- C_d : Akış katsayısı
 d : Su jeti çapı (m)
 N : Manifolttaki jet sayısı (jet/m)
 P : Manifolttaki su basıncı (N/m²)
 ρ : Suyun yoğunluğu (g/m³)
 W : Tül ağırlığı (g/m²)
 S : Makinanın hızı (m/dak)

Kaynaklar

- Berkalp, O. B., Pourdeyhimi, B., Seyam, A., ve Holmes, R., (2002). Texture Retention after Fabric-to-Fabric Abrasion, *Textile Research Journal* tarafından yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.
- Connolly, T. J., ve Parent, L. R., (1993). Influence of Specific Energy on the Properties of Hydroentangled Nonwoven Fabrics, *Tappi Journal* 76, 8, 135-141.
- Ghassemieh, E., Acar, M., ve Versteeg, H. K., (2001). Improvement of the Efficiency of Energy Transfer in the Hydroentanglement Process, *Composites Science and Technology*, **61**, 1681-1694.
- Haralick, R. M., Shanmugam, K., ve Dinstein, I., (1973). Textural Features for Image Classification, *IEEE Trans.Syst.Man, Cybernet.* **3** 6, 610-621.
- Medeiros, F. J., (1996). Spunlace /Hydroentanglement Methods&Products, *The Proceedings of Inda-Tech*.
- Pourdeyhimi, B., ve Sobus, J., (1993). Evaluating Carpet Appearance Loss: Surface Intensity and Roughness, *Textile Res. J.*, **63**, 9, 523-535.
- Pourdeyhimi, B., Xu, B., ve Wehrle, L., (1994). Evaluating Carpet Appearance Loss: Periodicity and Tuft Placement, *Textile Res. J.*, **64**, 1, 21-32.
- Sobus, J., Pourdeyhimi, B., Gerde, J., ve Ulcay, Y., (1991). Assessing Changes in Texture Periodicity Due to Appearance Loss in Carpets: Gray Level Co-Occurrence Analysis, *Textile Res. J.*, **61**,10,, 557-567.
- Sobus, J., Pourdeyhimi, B., Xu, B., ve Ulcay, Y., (1992). Evaluating Loss of Texture Definition in Carpets Using Mathematical Morphology: Covariance, *Textile Res. J.*, **62**, 1, 26-39.
- Sonka, M., Hlavac, V., ve Roger B., (1999). *Image Processing and Machine Vision*, Second Edition, Brooks/Cole Publishing Company.
- Timble, N. B., Gilmore, T. F., ve Morton, G. P., (1996). Spunlaced Fabric Performance for Unbleached, Bleached and Low Micronaire Unbleached Cotton at Different Specific Energy Levels of Water, *The Proceedings of Inda-Tech*.
- Timble, N. B., ve Allen, C., (1997). Hydroentangled Fabric Performance for Polyester/Unbleached Cotton Blends at Various Levels of Specific Energy Levels, *The Proceedings of Inda-Tech*.
- Vuillame, A. M., (1993). Spunlace Nonwovens: The Bridge Between Nonwovens and Textiles, *The Proceedings of Inda-Tech*.
- Widen, C. B., (1991). Forming Fabrics for Spunlace Applications, *Tappi Journal*, 149-153.
- Wilson, A., (2000). Blurring the Boundaries, *Nonwovens Report International*, 30-38, April.
- Wood, E. J., and Hodgson M. R., *Carpet Texture Measurement using Image Analysis*, *Textile Res. J.*, 59, 1-11, 1989.
- Wood, E. J., (1990). Applying Fourier and associated Transforms to Pattern Characterization in Textiles, *Textile Res. J.*, 60, 212-220.
- Wu, Y., Pourdeyhimi, B., and Spivak, S. M., (1991). Texture Evaluation of Carpets Using Image Analysis, *Textile Res. J.*, 61, 7, 407-419.
- Xu, B., (1994). Assessing Carpet Appearance Retention by Image Analysis, *Textile Res. J.*, **64**, 12, 697-709.