



**TEKSTİL VE MÜHENDİS**  
**(Journal of Textiles and Engineer)**



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

**Spunlace (Su Jeti ile Bağlama) Teknolojisi ile Üretilen Dokusuz Yüzeylerin Morfolojik Özelliklerinden Bazı Performans Özelliklerinin Yapay Zeka ile Tahminlenmesi**

**Estimation of Some Performance Properties of Nonwoven Fabric Produced with Spunlace (Hydroentanglement) Technology from Morphological Characteristics by Using Artificial Intelligence**

Elif GÜLTEKİN<sup>1</sup>, Halil İbrahim ÇELİK<sup>1</sup>, Hatice Nida CİVAN<sup>2\*</sup>, Eyüp Ali SATIL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gaziantep Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

<sup>2</sup>Selçuk İplik San. ve Tic. A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Gaziantep, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online):30 Eylül 2020 (30 September 2020)

**Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):**

Elif GÜLTEKİN, Halil İbrahim ÇELİK, Hatice Nida CİVAN, Eyüp Ali SATIL (2020): Spunlace (Su Jeti ile Bağlama) Teknolojisi ile Üretilen Dokusuz Yüzeylerin Morfolojik Özelliklerinden Bazı Performans Özelliklerinin Yapay Zeka ile Tahminlenmesi, Tekstil ve Mühendis, 27: 119, 130-143.

**For online version of the article:** <https://doi.org/10.7216/1300759920202711901>

***Arastırma Makalesi / Research Article***

**SPUNLACE (SU JETİ İLE BAĞLAMA) TEKNOLOJİSİ İLE ÜRETİLEN DOKUSUZ YÜZEYLERİN MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNDEN BAZI PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN YAPAY ZEKA İLE TAHMİNLENMESİ**

**Elif GÜLTEKİN<sup>1</sup>**

<http://orcid.org/0000-0003-4910-4081>

**Halil İbrahim ÇELİK<sup>1</sup>**

<http://orcid.org/0000-0002-1145-6471>

**Hatice Nida CİVAN<sup>2\*</sup>**

**Eyüp Ali SATIL<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Gaziantep Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

<sup>2</sup>Selçuk İplik San. ve Tic. A.Ş, Ar-Ge Merkezi, Gaziantep, Türkiye

*Gönderilme Tarihi / Received: 06.05.2020*

*Kabul Tarihi / Accepted: 15.09.2020*

**ÖZET:** Dokusuz yüzeylerde lif yerleşimi ve lif dağılım karakteristiği kumaşın fiziksel, mekanik ve geçirgenlik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Literatürdeki çalışmalarda kumaş lif dağılımı ve gözenekliliği ile mekanik ve performans özellikleri arasındaki anlamlı ilişkiler ortaya konmuştur. Bu çalışmada görüntü işleme tekniği kullanılarak geliştirilen algoritma ile dokusuz yüzey kumaş numunelerinden alınan görüntülerden yüzey özneliklerine ilişkin istatistiksel veriler elde edilmiştir. Elde edilen yüzey öznelik değerleri hazırlanan yapay sinir ağı modelinde girdi verileri olarak kullanılmıştır. Hava geçirgenliği, makine yönü ve makine tersi yöndeki kopma mukavemeti ve kopma uzaması performans özellikleri ise çıktı verileri olarak kullanılmıştır. Böylece, spunlace (su jeti ile bağlama) teknolojisi ile üretilmiş kumaş numunelerinde doğrudan yüzey görüntülerinden elde edilen doku karakteristiği özellikleri kullanılarak test yapmaksızın hava geçirgenliği, kopma mukavemeti ve kopma uzaması performanslarının tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Neticede, deneysel sonuçlar ile yapay sinir ağı tahmin sonuçları arasında hava geçirgenliğinde  $R^2=0,97$ , kopma mukavemetinde  $R^2=0,90$  ve kopma uzamasında  $R^2=0,89$  korelasyon katsayısı değerleri elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü işleme, dokusuz yüzey, spunlace, yapay sinir ağı, performans tahminleme

**ESTIMATION OF SOME PERFORMANCE PROPERTIES OF NONWOVEN FABRIC PRODUCED WITH SPUNLACE (HYDROENTAGLEMENT) TECHNOLOGY FROM MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS BY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

**ABSTRACT:** Fiber placement and fiber distribution characteristics of nonwoven surfaces significantly affect the physical, mechanical and permeability properties of the fabric. In the studies from the literature, significant relationships between fiber distribution and porosity with mechanical performance properties have been revealed. In this study, an algorithm developed using image processing techniques for statistical data related to texture features were obtained images from nonwoven surface fabric samples. The texture features obtained were used as input data in the artificial neural network model. Air permeability, machine direction breaking strength, cross direction breaking strength, and breaking elongation performance characteristics were used as output data. Thus, it is aimed to estimate the air permeability, breaking strength and breaking elongation performances of the fabric samples produced with spunlace (hydroentanglement bonding) technology without testing by using the texture characteristic features obtained directly from the surface images. As a result, the correlation coefficient values of  $R^2 = 0,97$  in air permeability,  $R^2 = 0,90$  in breaking strength and  $R^2 = 0,89$  in breaking elongation were obtained between experimental results and artificial neural network prediction results.

**Keywords:** Image processing, nonwoven, spunlace, artificial neural network, performance estimation

**\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** [nida.civan@kholding.com.tr](mailto:nida.civan@kholding.com.tr)

**DOI:** <https://doi.org/10.7216/1300759920202711901> [www.tekstilvemuhendis.org.tr](http://www.tekstilvemuhendis.org.tr)

## 1. GİRİŞ

Kullanılan hammaddeler ve üretim yöntemleri açısından geleneksel tekstillerden farklı olan dokusuz yüzeyler son yıllarda oldukça popüler hale gelmiştir. Dokusuz yüzeyler, farklı üretim teknolojisi ve elyaf seçimi sayesinde farklı uygulama alanları sunarlar. Bunlar; kişisel bakım ve hijyen, giyim, medikal, seyahat, ulaşım, filtreleme, tarım, jeo-tekstil ve ev endüstrisidir. Polimerler ve lif teknolojisindeki gelişmeler ile dokusuz yüzeylerin fiziksel, mekanik, termal ve ses yutumu özelliklerinde iyileşme sağlanmıştır [1]. Dokusuz yüzeyler hammadde, yüzey oluşturma yöntemi ve yüzey bağlama yöntemlerine göre sınıflandırılabilir. En yaygın olarak kullanılan üretim teknolojileri spunbond (eriyikten bağlama), meltblown (eriyikten üfleme), spunlace (su jeti ile bağlama) ve iğne ile keçeleştirilmiştir.

Spunlace üretim hattı, mikser makinesi, tarak makinası, su jetleri vb. gibi çeşitli makine parçalarından oluşmaktadır. Yüzey oluşturma işlemleri tarak makineleri ile gerçekleştirildikten sonra, yüksek basınçlı su jetleri kullanılarak yüzeyi oluşturan lifler birbirine bağlanmaktadır [2-4]. Yüzey lifleri, gerekli minimum enerjiye sahip sıvı jetleri veya akımları ile yakalanır veya yönlendirilir. Su jetleri kumaş yapısından geçerken liflere çarparlar ve birbirine dolanmaya, iç içe geçmeye ve hatta düğümlenmeye yol açarlar.

Spunlace teknolojisi uygulanarak üretilen dokusuz yüzeyler yüksek mukavemet, düşük hacim, yüksek ve hızlı nem emme, nefes alabilme, yumuşak tuşe, cilt dostu olma vb. gibi özelliklerinden dolayı mendil, hijyen ve temizlik bezleri, endüstriyel bezler ve cerrahi örtü bezleri gibi alanlarda ideal bir ürün olarak kullanılmaktadır [5]. Ortalama 38-40 mm lif uzunluğuna sahip kesikli elyaf, su jeti ile bağlama tekniği uygulanan dokusuz yüzeyler için kullanılmaktadır. Günümüzde spunlace kumaş üretiminde doğal lifler (pamuk, keten ve bambu), sentetik lifler (polyester, polipropilen, poliamid, iki bileşenli) ve rejener lifler (viskoz, tencel) kullanmak mümkündür [6]. Son yıllarda, spunlace teknolojisi ile üretilen dokusuz yüzeyler sahip oldukları özellikleri nedeni ile filtrasyon malzemesi üretiminde büyük avantaj sağladığı için daha fazla ilgi görmektedir.

Dokusuz yüzey kumaşlarda lif yerleşimi, lif dağılımı, gözenek dağılımı, gözenek büyüklüğü gibi özellikler filtrasyon ve geçirgenlik performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [7]. Bu yüzden, dokusuz yüzeylerin gözenek büyüklüğü dağılımı, lif yerleşim karakteristiği, lif dağılımı homojenliği gibi doku karakteristik özelliklerinin hassas ve güvenilir bir şekilde ölçülebilmesi için etkili yöntemler geliştirme ihtiyacı doğmuştur [8-10].

Önceki çalışmalar incelendiğinde, görüntü işleme yöntemleri ile gözeneklilik ve lif yönelimi ölçümlerinin gerçekleştirildiği çalışmaların yoğunlukta olduğu görülmektedir. [7, 8, 10-22]. Rawal [7], dokusuz yüzeylerin gözenek büyüklüğü dağılımını tahmin etmek için bir model geliştirmiştir. Çalışmada eriyikten bağlanmış ve iğne ile delme dokusuz kumaş türlerinin gözenek boyutu dağılımı araştırılmıştır. Xu [8], tarafından sunulan çalış-

mada mikroskop görüntüleri elde edilen dokusuz yüzey numunelerinin gözenek özellikleri görüntü işleme yöntemi ile belirlenmiştir. Tunak ve diğ. [21], iki boyutlu ayrı Fourier dönüşümüne dayanan görüntü analiz algoritması kullanarak, çeşitli dokusuz yüzeylerin lif yerleşim özelliklerini belirlemiştir. Maity ve diğ. [22] mikro-görüntü analizi ile 3 boyutlu dokusuz yüzeylerin karakterizasyonu için farklı teknikleri tartışmışlardır. İstenen kumaş özellikleri için en uygun malzeme parametrelerini belirlemenin mümkün olduğu bildirilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar değerlendirildiğinde genellikle gözeneklilik ve lif yerleşim özelliklerinin belirlenmesi amacı ile görüntü işleme yöntemlerinin geliştirildiği görülmektedir. Yapay zeka yöntemlerindeki gelişmelerle birlikte dokusuz yüzeylerin bazı fiziksel ve performans özelliklerinin tahmin edilmesi konusunda çalışmalar sunulmuştur [23-29]. Dokusuz yüzeylerin gözeneklilik, sıvı geçirgenliği, gaz geçirgenliği, filtrasyon ve mekanik özellikleri gibi bazı performanslarının ölçümü ve tahmini, görüntü analizi ve yapay zeka yöntemleri ile sağlanmıştır. Nohut ve diğ. [24, 25], polipropilen (PP) eriyikten bağlanmış (spunbond) dokusuz yüzeylerin doku özelliklerinden birim ağırlık, kopma mukavemeti ve uzaması özelliklerini tahmin etmek amacı ile çalışma sunmuştur. Doku özelliklerini çıkarmak için görüntü işleme yöntemleri uygulanmış ve kumaş örneklerinin performans özelliklerini tahmin etmek için Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri oluşturulmuştur. Doku özelliği çıkarılırken görüntü karesinden bazı istatistiksel veriler elde edilmiştir. YSA modelinden üretilen tahmin sonuçlarının kumaş gramajı ve kopma mukavemeti için kopma uzamasına göre daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Yüzey doku özelliklerinden öznelik vektörlerinin elde edilmesinde farklı istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. Yapay sinir ağının girdi matrisini oluşturan bu öznelik vektörlerinin elde edilmesinde kullanılan yaklaşımlara göre farklı girdi matrisi ve dolayısı ile farklı çıktılar elde edilmektedir. Yapay sinir ağının başarı düzeyini belirleyen en önemli etkenlerden birisi özneliklerin doku özelliklerini yansıtabilme kabiliyetidir. [24 ve 25] çalışmasında görüntü karelerini oluşturan piksel değerlerinden elde edilen istatistiksel veriler öznelik olarak kullanılmıştır. Sunulan çalışmada ise doku analiz çalışmalarında yaygın olarak kullanılan gri seviye eş oluşum matrisi (Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM)) yöntemi uygulanmıştır.

Yekrang ve diğ. [26] tarafından sunulan çalışmada düşük gramajlı spunlace dokusuz yüzeylerde gözenek büyüklüğü ve gözenek büyüklüğü dağılımının hava geçirgenliği ve ısı iletkenlik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada gözenek özellikleri görüntü işleme yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, hava geçirgenliği ve ısı iletkenlik performanslarını tahmin etmek amacı ile YSA modeli kurulmuştur. Sonuç olarak, dokusuz yüzeylerin gözenek özelliklerinin hava geçirgenliği ve ısı iletkenlik özelliklerini önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca, oluşturulan YSA modeli ile dokusuz yüzey geometrik özelliklerinden bu performans özelliklerinin başarılı şekilde tahmin edildiği ifade edilmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında, spunlace teknolojisi uygulanarak üretilen dokusuz yüzeylerin hava geçirgenliği ve mekanik özelliklerinin tahmini ile ilgili çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür. Spunlace dokusuz yüzeylerin materyal olarak kullanıldığı bazı çalışmalarda kumaş gözenekliliği ile hava geçirgenliği arasındaki ilişki yapılan regresyon analizleri ile ortaya konulmuştur [30-32]. Diğer yandan, doğrudan dokusuz yüzeylerin yüzey özniteliklerinden (lif yerleşimi ve lif dağılımına bağlı olarak) mekanik ve geçirgenlik özelliklerinin başarı ile tahmin edildiği güçlü yapay zeka modellerinin oluşturulmasına yönelik girişimlere rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, spunlace dokusuz yüzeylerin, gramajları ve kalınlıkları itibari ile farklılaşan yüzey doku özniteliklerinden faydalanılarak kopma mukavemeti, kopma uzaması ve hava geçirgenlik gibi performans özelliklerini test yapmaksızın tahmin etmek için Yapay Sinir Ağı (YSA) mimarisi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, kumaş doku özniteliklerini istatistiksel veriler olarak elde etmek amacı ile görüntü işleme algoritması geliştirilmiştir. Daha sonra, elde edilen doku öznitelikleri kullanılarak farklı yapay sinir ağı topolojileri oluşturularak ağın eğitilmesi sağlanmıştır. Böylece, gerçek zamanlı uygulama için su jeti ile bağlama tekniği uygulanan dokusuz yüzeylerin üretim hattına adapte edilebilecek yeni ve güçlü bir yapay zeka sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1 Materyal

Çalışmada kullanılan spunlace dokusuz yüzey numuneleri farklı karışım oranlarında polyester ve viskon liflerinden elde

edilmiştir. Kullanılan polyester (PES) lifi 1.67 dtex inceliğe ve 38 mm uzunluğa sahipken, viskon (CV) lifi ortalama 1.7 dtex inceliğe ve 40 mm uzunluğa sahiptir. Performans tahmini için güvenilir bir YSA modeli geliştirmek adına farklı karışım oranına sahip numuneler; %80/20 PES/CV ve üç farklı alan ağırlığının kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışma kapsamında, %80/20 PES/CV karışım oranına sahip 35 g/m<sup>2</sup>, 50 g/m<sup>2</sup> ve 70 g/m<sup>2</sup> olmak üzere 3 farklı ağırlıkta spunlace dokusuz yüzey numunesi kullanılmıştır. Deney numunelerine ait fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Dokusuz yüzey üretiminde lifler farklı yöntemler ile rastgele serilerek tülbent yüzeyi oluşturulmaktadır. Elyaf dağılımının tüm yüzeyde homojen olması dokusuz yüzeyler için önemli bir kalite parametresidir. Üretim parametreleri mümkün olduğu kadar sabit tutulmasına rağmen liflerin üretim sırasında rastgele dağılımından dolayı dokusuz yüzey kalınlığı ve birim alan ağırlığı yüzeyin farklı bölgelerinde değişiklik göstermektedir. Bu yüzden, dokusuz yüzeyi temsil edecek kalınlık ve ağırlık değerlerini elde etmek için her yüzey numunesinin farklı bölgelerinden 10 adet ölçüm alınarak sonuçların ortalamaları ve % CV değerleri hesaplanmıştır.

### 2.2 Yöntem

Çalışma kapsamında üretilen numunelere Tablo 2'de verilen testler verile standartlara göre uygulanmıştır. Tüm testlerden önce deney numuneleri standart atmosfer koşullarında (20±2°C sıcaklık ve 65±4 bağıl nem) kondisyonlanmıştır. Uygulanan testler EDANA- NonWovens Standard Procedure(NWSP) standartlarına göre yapılmıştır.

**Tablo 1.** Spunlace dokusuz yüzey numunesi özellikleri

Numune	Karışım Oranı (%)	Kalınlık (mm)	Kalınlık (%CV)	Birim Ağırlık (g/m <sup>2</sup> )	Birim Ağırlık (%CV)
PES/CV	80/20	0,73	0,04	35	0,72
	80/20	0,82	0,02	50	0,35
	80/20	1,06	0,04	70	0,86

**Tablo 2.** Uygulanan testler ve standartları

Test Edilen Özellikler	Standartlar	
Birim Ağırlık Tayini	NWSP 130.1	ISO 9073-1:1989
Kalınlık Tayini	NWSP 120.6	ISO 9073-2:1995
Kuru Kopma Mukavemeti (MD-CD)	NWSP 110.4	ISO 9073-3:1989
Hava Geçirgenliği	NWSP 070.1 (15)	EN ISO 9237

### 2.2.1 Kopma Mukavemeti/ Uzama Mukavemeti

Dokusuz yüzeyler kullanımları sırasında farklı yönlerde birçok gerilme kuvvetine maruz kalmaktadır. Bu nedenle söz konusu numunelerin sağlamlıklarının tayin edilmesi için NWSP 110.4 standardına uygun olarak kopma mukavemeti ve uzaması testi uygulanmıştır. Test için 50×200 mm boyutlarında şeritler halinde kumaş numuneleri uzun kenar ilgili yöne paralel olacak şekilde makine yönü (MD) ve tersi yönde (CD) hazırlanmıştır. Çeneler arasında mesafe 200 mm ve çene hızı 100 m/dk olarak belirlenmiştir. Her bir yönde, her bir kumaş numunesi için 55 adet olmak üzere toplamda 330 adet numune testi gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.2 Hava Geçirgenliği Testi

Hava geçirgenliği testi, EN ISO 9237 standardına göre PROWHITE markalı Hava Geçirgenliği Test Cihazında gerçekleştirilmiştir. Dokusuz yüzey numunelerine 200 Pa basınç altında ve 20cm<sup>2</sup>'lik test alanında hava geçirgenliği ölçümü yapılmıştır. Her bir numune için 5 farklı bölgeden ölçümler alınarak ortalama hava geçirgenliği değeri elde edilmiştir.

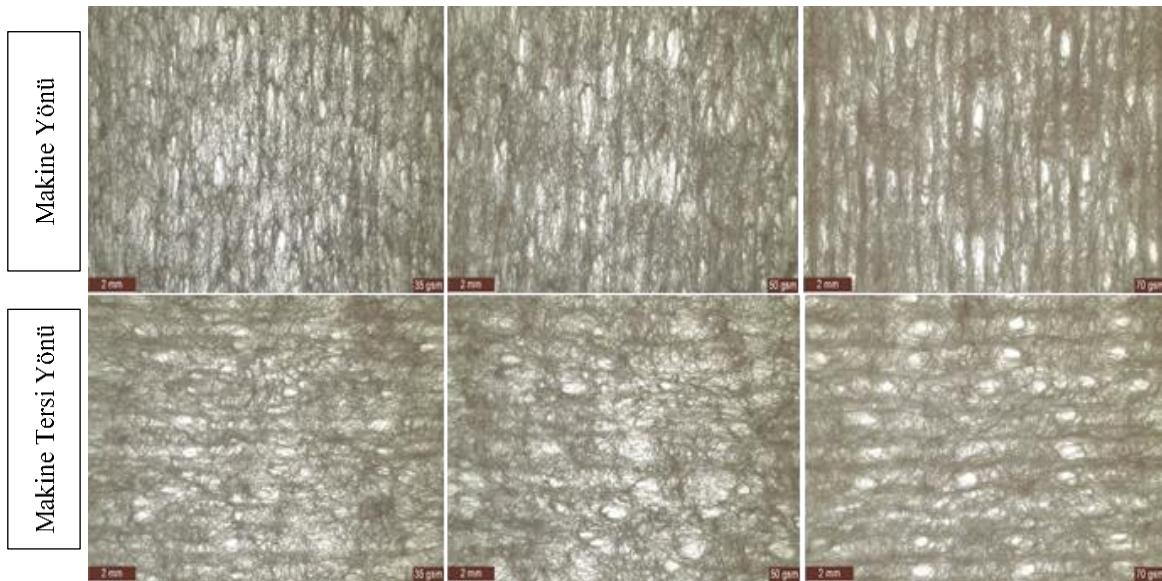
### 2.2.3 Görüntü Alma

Görüntü işleme prosesinden önce, dokusuz yüzey numunelerinin görüntülerinin, belirlenen uygun koşullar altında ve yüksek kalitede alınması gerekmektedir. Alınan numune görüntüleri yüzey özneliklerinin çıkartılması amacı ile geliştirilen algoritmalarda işlenecektir. Görüntü alma işlemi için LEICA S9I marka mikroskop kullanılmıştır (Şekil 1). Görüntü kareleri 1920x1080 çözünürlükte elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 1. Mikroskop kamera görüntüsü

Veri setindeki her ölçüm ilgili performansın standardında anlatıldığı şekilde kumaşın farklı bölgesinden alınmıştır. Yüzey öznelik çıkarma algoritmasında kullanılan görüntüler test yapılan kumaş numunelerinden alınmıştır. Görüntü alma işlemi tamamlandıktan sonra aynı numunenin test işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece her bölgenin yüzey özelliği ile yaklaşık olarak o bölgenin test ölçüm sonucu eşleştirilmiştir. Tüm bu işlemler göz önünde bulundurulduğunda böyle bir çalışma için veri setinin oluşturulması dikkat gerektiren bir işlem olduğundan bu noktada hassas davranıldığı ifade edilebilir.



Şekil 2. 35, 50 ve 70 GSM in Mikroskop Altında Alınan Görüntüsü (Leica S9i Stereo Mikroskop – 10x)

## 2.2.4. Yüzey Öznitelik Çıkarma Algoritması

Dokusuz yüzeylerin lif yerleşimi ve lif dağılımı özelliklerinin mukavemet, gözeneklilik, geçirgenlik ve sıvı emilimi gibi mekanik ve fiziksel özellikleri etkilediği bilinmektedir [33-35]. Bu yüzden çalışma kapsamında numunelerin görüntü karelerinden kumaş yüzey öznitelikleri çıkarılarak hava geçirgenliği, kopma mukavemeti ve kopma uzaması performans özellikleri ile ilişkilendirilmiştir. Böylece, doğrudan dokusuz yüzeylerin doku özniteliklerinden (kumaş numunesi yüzey görüntüsü kullanılarak), mekanik ve geçirgenlik performanslarının tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Başarılı bir yapay sinir ağı modeli kurulabilmesi için öncelikle istatistiksel olarak doku karakteristiğini yansıtacak yüzey özniteliklerinin çıkarılması gerekmektedir. Çalışma kapsamında görüntü işleme yöntemleri kullanılarak yüzey öznitelikleri çıkartma algoritması hazırlanmıştır. Yüzey doku özniteliklerinin çıkarılması için kullanılacak görüntü çerçeveleri, arka aydınlatma sistemi kullanılarak elde edilmiştir. Dijital mikroskop kamera, kumaş yapısının üzerinden geçen ışık yoğunluğu miktarının saptanabilmesi için, uygun bir mesafede kumaş numunesinin üzerine yerleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan yüzey öznitelik çıkarma algoritmasının çalışma prensibi, mikroskop altında elde edilen kumaş görüntülerinin ışık geçirgenliği ve lif yerleşimine bağlı olarak yüzey özniteliklerinin elde edilmesine dayanır. Alt aydınlatma kullanılarak elde edilen görüntü karelerinde, kumaş gramajı (birim alana düşen lif yoğunluğu) ve kumaş kalınlığı değiştiğinde yüzeye yansıyan ışık miktarı değişmektedir. Dolayısı ile görüntüyü oluşturan piksel değerleri bu parametrelere (lif yerleşimi, kumaş gramajı ve kalınlığı) bağlı olarak değişmektedir. Diğer taraftan, kumaş yüzey özniteliklerinden çıkarılan birinci ve ikinci dereceden istatistiksel veriler piksel değerlerine göre hesaplanmaktadır. Sonuç olarak, yapay sinir ağı girdi verileri olarak kullanılan değerler kumaş numunesi fiziksel özelliklerine bağlı olarak oluşmaktadır.

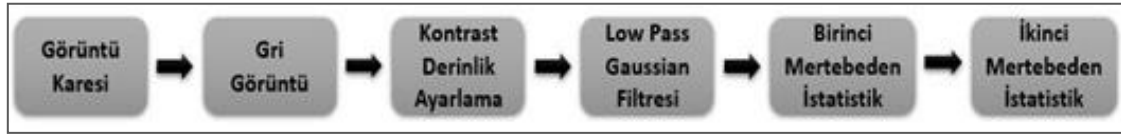
Görüntüler kameranın odak düzlemine dik olarak yakalanmıştır. Daha sonra her görüntü çerçevesi MATLAB'da işlenmek için hazırlanmıştır. Güvenilir bir yüzey doku özelliği veri seti üretmek için, her bir numune örneğinin farklı kısımlarından JPEG formatında görüntü çerçeveleri elde edilmiştir. Mikroskop kamera numune yüzünün çok küçük bir alanını gördüğü için, tahmin edilmesi hedeflenen kumaş performans testine göre görüntü sayıları belirlenmiştir. Hava geçirgenliği testi için, hava akışının uygulandığı bölgeye denk gelen 5 adet görüntü karesi alınmıştır. Yüzey doku özellikleri çıkarılırken 5 görüntünün ortalama değerleri dikkate alınmıştır. Deney setini oluşturan her kumaş numunesinden 55 adet olacak şekilde hava geçirgenliği ölçümü gerçekleştirilmiştir. Böylece, hava geçirgenliği için, toplam 825 (3x5x55) adet görüntü alınmıştır. Mukavemet ve uzama değerleri için kumaş numunesinin her iki yönünden (makine yönü ve tersi yön) şerit halinde kesilen kumaş numunesinin 15 farklı bölgesinden görüntüler alınarak daha sonra her bir görüntü karesi için yüzey öznitelik değerleri

çıkarılmıştır. Yapay sinir ağı girdi matrisinde kullanılabilmesi için bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Mukavemet ve uzama eğitimi için 15 adet görüntünün alınma sebebi şerit halinde hazırlanan kumaş numunesinin hangi bölgesinde kopmanın gerçekleşeceğinin bilinmemesidir. Hava geçirgenliğinde olduğu gibi tüm deney numunelerinden 55 adet test ölçüm sonucu olacak şekilde toplamda, doku özelliği çıkarma algoritmasında işlenecek 4950 (3x15x55x2) görüntü karesi elde edilmiştir. Farklı istatistiksel yaklaşımlar kullanılarak farklı öznitelik çıkarma yöntemleri denenmiştir. Kabul edilebilir başarı oranları, Şekil 3'te verilen algoritma uygulanarak elde edilmiştir.

RGB formatında alınan görüntü çerçeveleri ilk önce gri düzeye dönüştürülmüştür. Görüntü iyileştirme ve gürültü giderme için sırasıyla kontrast ayarı ve düşük geçişli Gauss filtreleme uygulanmıştır. Daha sonra birinci ve ikinci derece istatistiksel değerler görüntü çerçevelerinden elde edilmiştir. Birinci mertebeden istatistiksel değerler; ortalama gri seviyesi ( $m$ ), ortalama kontrast ( $\sigma$ ), pürüzsüzlük ( $R$ ), üçüncü moment ( $\mu_3$ ), tekdüzelik ( $U$ ) ve entropi ( $e$ ) değerleridir. Bu öznitelikler, gri düzeyli görüntünün yoğunluk histogramından türetilmiştir [43]. İkinci derece istatistiksel değerler Haralick tarafından önerilen metodoloji kullanılarak görüntülerin Gri Seviye Eş-Oluşum Matrisinden (Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM)) türetilmiştir [36]. İkinci dereceden istatistikler; enerji, kontrast, korelasyon, varyans, ters fark momenti, toplam ortalama, toplam varyans, toplam entropi, entropi, fark varyansı, fark entropisi ve korelasyon ölçümleri IMC-1 ve IMC-2'den oluşmaktadır.

## 2.2.5 Yapay Sinir Ağı Modeli (YSA Modeli)

YSA mimarisinde, spunlace kumaş görüntülerinden çıkarılan istatistiksel veriler girdi olarak kullanılmış ve ortalama hava geçirgenliği, kopma mukavemeti ve kopma uzaması sonuçları çıktı verisi olarak eklenmiştir. Araştırmanın kapsamı, spunlace teknolojisi uygulanarak üretilmiş dokusuz yüzey kumaşların lif dağılımı karakteristiğinden kaynaklanan doku özniteliklerini değerlendirerek hava geçirgenliği, kopma mukavemeti ve kopma uzaması özelliklerini tahmin etmektir. Bu yüzden yapay sinir ağı modelinde doku özniteliklerinden daha yüksek seviyede etki ağırlığına sahip olabilecek kumaş ağırlığı, kalınlığı ve karışım oranı gibi fiziksel özellikler girdi matrisine dahil edilmemiştir. Literatürde, gözeneklilik ve hava geçirgenlik özelliklerinin kumaş ağırlığı ve kalınlığından doğrudan etkilendiği bilinmektedir. Bu fiziksel özellikler YSA modeline eklendiğinde, dokudan gelen özniteliklerin tahmin başarısı üzerinde sınırlı etkisi olacağı düşünülmüştür. Kumaş kalınlığı ve kumaş ağırlığı, YSA ağındaki hava geçirgenliği, kumaş kopma mukavemeti ve kopma uzaması sonuçlarını doğrudan belirleyecektir. Öte yandan, bu tür bir tahmin modelinin (sadece kumaş dokusu özniteliklerini kullanarak) spunlace dokusuz kumaş üretimi yapan firmalar için az miktarda numune kullanarak kumaşın performans özelliklerini değerlendirmede daha faydalı olacağı düşünülmüştür.



Şekil 3. Yüzey öznelilik çıkarma algoritması

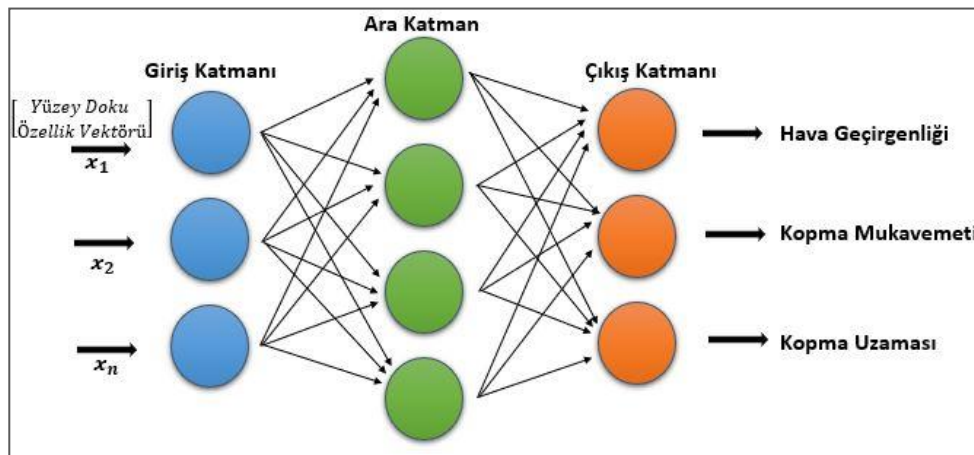
Güvenilir bir tahmin modeli oluşturmak için girdi ve çıktı değerleri arasındaki ilişki minimum hata oranı ile oluşturulmalıdır. Böyle bir YSA modeli elde etmek için farklı sayıda katman, nöron ve fonksiyon kombinasyonu denenmelidir. Bu deneylerin bir sonucu olarak, en iyi sonucu veren ağ modeli belirlenebilir. Bu çalışmada, farklı katman ve nöron sayısı kombinasyonlarından oluşan farklı ağ topolojisi denemeleri yapıldıktan sonra başarılı bir ağ oluşturulmuştur. Seçilen ağ topolojisi 3 katmandan oluşmaktadır; giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı (Şekil 4). Feed-Forward Back-Propagation tipi ağ oluşturulmuştur. TRAINLM eğitim fonksiyonu, LEARNMSE ise öğrenme fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Ağın performansı Ortalama hatalar karesi (MSE) fonksiyonu ile değerlendirilmiştir. Hava geçirgenliği tahmini ve kopma mukavemet-uzama değerleri tahmini için iki ayrı YSA kurulmuştur. Hava geçirgenliği için kurulan ağ parametreleri; öğrenme oranı %70/%30 şeklinde belirlenmiştir. Toplam verinin kendi içerisinde %70'i eğitim, %15'i validasyon ve %15'i test için ayrılmıştır. Kurulan ağın nöron sayıları sırasıyla 15, 13 ve 9 şeklinde girilmiştir ve epoch parametresi 1000 ve hedeflenen hata değeri 0,001 olarak girilmiştir. Kopma mukavemet-uzama ağ yapısı için ise; kurulan ağın nöron sayısı 17, 15 ve 13 olarak, epoch sayısı 1000 ve hedeflenen hata değeri 0,001 şeklinde belirlenmiştir. Her iki ağ yapısında durdurma kriteri 0,001 MSE değeri olarak belirlenmiştir. Yapay sinir ağı modeli MATLAB ortamında hazırlandığından başlangıç ağırlık ve bias (yanlılık) katsayı değerleri rastgele belirlenmektedir. Daha sonra her iterasyon ile

bu değerler değişmektedir. Bu değerler her bir katman için ayrı ayrı oluşturulmaktadır. Burada vurgulanacak kısım bir yapay sinir ağı kurulurken nöron sayısı tamamen sezgisel olarak belirlenir. Deneme yanılma yoluyla en düşük MSE değeri elde edilene kadar bu parametreler değiştirilebilir.

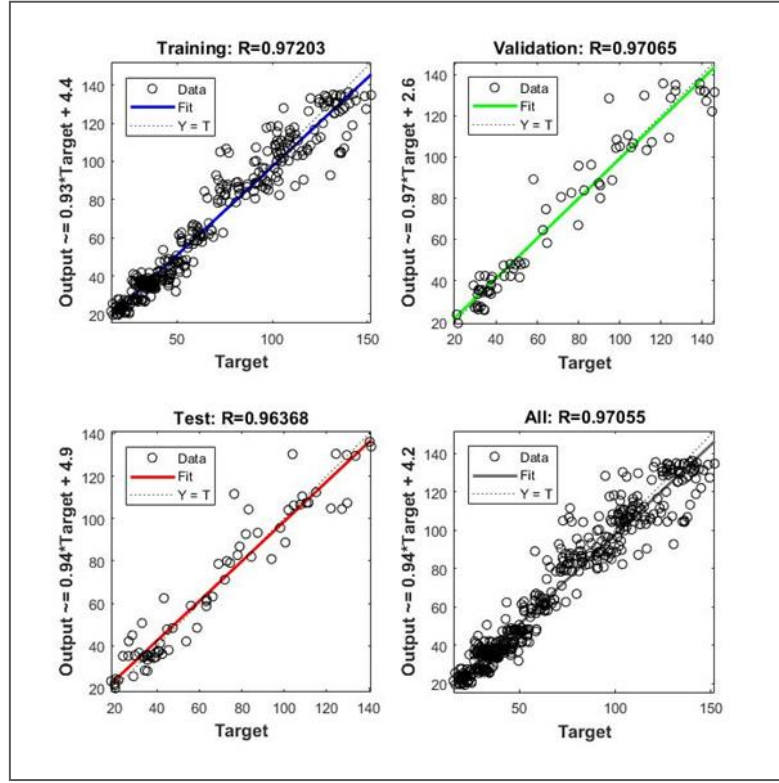
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Yapay Sinir Ağı Modeli – Hava Geçirgenliği, Mukavemet ve Uzama Sonuçları

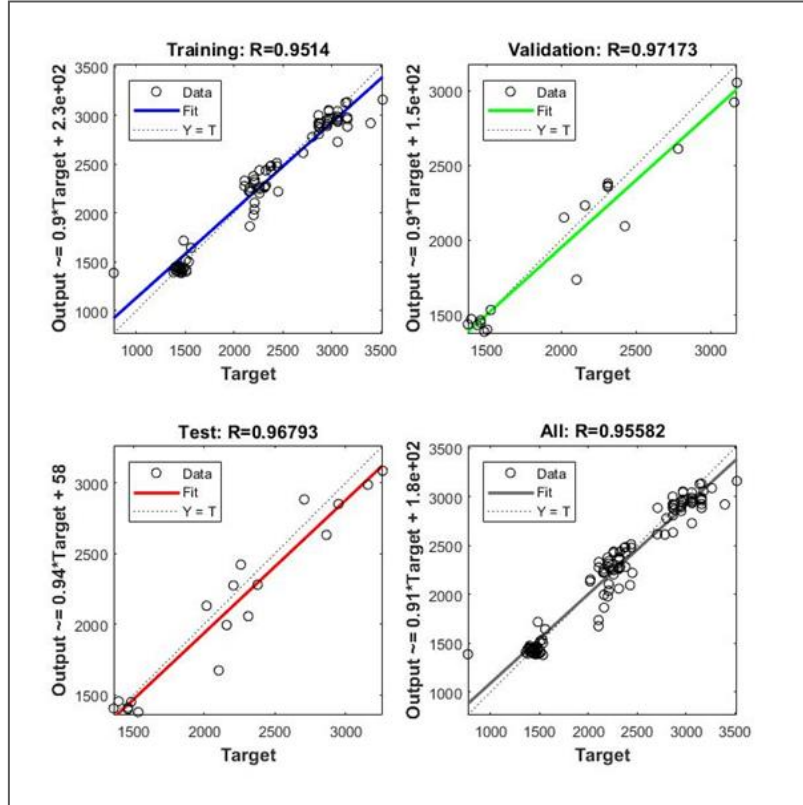
Çalışma kapsamında MATLAB Sinir Ağı araç kutusu kullanılmıştır. Ağa yüklenen girdi matrisi; eğitim (Training), doğrulama (Validation) ve test (Test) olmak üzere 3 grupta değerlendirilmiştir. Her ağ modeli için veri kümesi bölünerek toplam verilerin %70'i eğitim için, %15'i doğrulama için ve %15'i test için kullanılmıştır. Oluşturulan ağ modelleri eğitildikten sonra girdi ve çıktı verileri arasında dört ayrı regresyon analizi sonucu R katsayısı olarak; eğitim (Training), doğrulama (Validation), test (Test) ve genel toplam (All) şeklinde verilmiştir. Kopma mukavemeti - Kopma uzaması ve hava geçirgenliği tahminleri için eğitim, doğrulama, test ve genel toplam regresyon sonuçları Şekil 5'te ve Şekil 6'da sırasıyla gösterilmiştir. Kopma mukavemeti ve kopma uzaması performans değerleri tahmini için tek bir YSA modeli kurulmuştur. Kopma mukavemeti-uzaması için  $R=0,97$  ve hava geçirgenliği için  $R=0,95$  olmak üzere her iki ağ modelinde yüksek regresyon değerleri elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4. Oluşturulan YSA modeli



Şekil 5. Kopma Mukavemeti-Kopma Uzaması için kurulan YSA modeli regresyon sonuçları



Şekil 6. Hava geçirgenliği için kurulan YSA modeli regresyon sonuçları



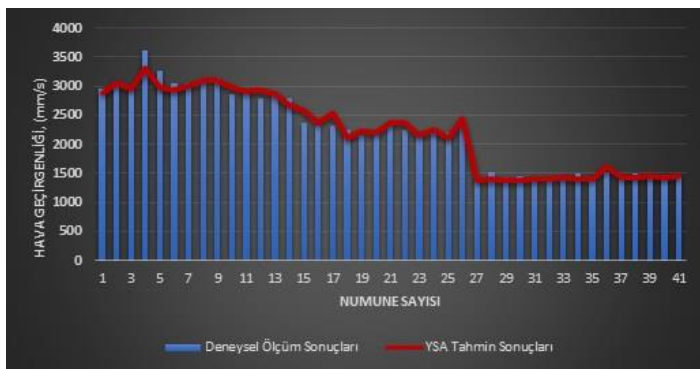
Burada doğrulama (validation) ve test (testing) için ayrılan grupların oluşturulan yapay sinir ağının kendi içerisinde kullandığı veriler arasında da yüksek regresyon katsayısına sahip olduğunu göstermektedir. Üretilen YSA modellerinin başarı düzeyini belirlemek için mukavemet-üzama ve hava geçirgenliği özelliklerinin deneysel olarak ölçülen ve tahmin edilen değerlerinin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Her modelin başarı düzeyi Denklem 1’de verilen ortalama hatalar karesi (MSE) ve Denklem 2’de verilen ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) ile hesaplanmıştır.

burada  $i$  test örneğini,  $n$  toplam test örneği sayısını,  $y_i$  test numunesi için test sonucundan elde edilen gerçek değerleri,  $\hat{y}_i$  geliştirilen model ile her test numunesi için tahmini değerleri belirtir.

### 3.2 Hava Geçirgenliği YSA Tahmin Sonuçları

Hava geçirgenliği tahmini için geliştirilen YSA modelinin başarı oranını belirlemek amacı ile, her bir birim ağırlıktan rastgele dokusuz yüzey numune örnekleri seçilerek toplam 41 numune için testler gerçekleştirilmiştir. Bu numunelerin hava geçirgenlik sonuçları YSA eğitim süreci için kullanılmamıştır. Aynı numunelerden görüntü kareleri alınarak sırası ile önce görüntü işleme algoritmasında öznitelik vektörü oluşturulmuştur. Daha sonra YSA modelinde elde edilen öznitelik vektörüne göre tahmini hava geçirgenliği değeri üretilmiştir. Gerçek deneysel veriler ve YSA modelinin ürettiği veriler Tablo 3’te karşılaştırılarak her bir numuneye ait hata yüzdesi verilmiştir.

Tablo 3’e göre, en düşük ve en yüksek hata yüzdesi değerleri sırasıyla %0.33 ve %9.79 olarak elde edilmiştir. Geliştirilen YSA modelinin ortalama mutlak hata yüzdesi %3.61 olarak hesaplanmıştır. Deneysel ve tahmin edilen hava geçirgenliği sonuçları Şekil 7’de birlikte gösterilmektedir. İki değer kümesi arasında yüksek tutarlılık olduğu ve veri gruplarının benzer eğilime sahip oldukları açıkça görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Deneysel ve YSA hava geçirgenliği sonuçları karşılaştırması

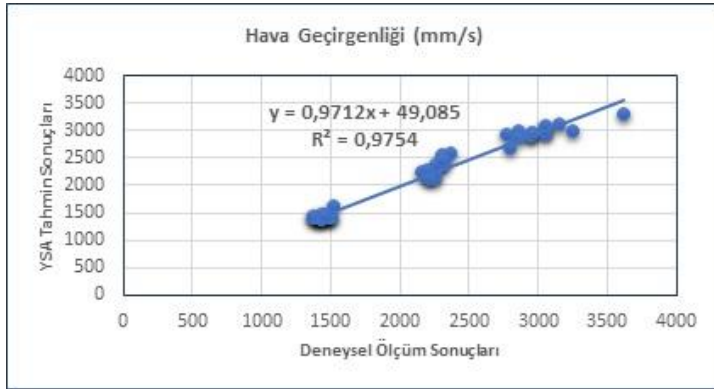
$$\text{Ortalama Hatalar Karesi (MSE)}, \% = \frac{|\hat{y}_i - y_i|}{y_i} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (MAPE)}, \% = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i}}{n} \times 100 \quad (2)$$

Tablo 3. Hava geçirgenliği tahmin sonuçları

Numune sayısı	Birim Ağırlık (g/m <sup>2</sup> )	Hava Geçirgenliği Deneysel Ölçüm Sonuçları (mm/s)	Hava Geçirgenliği YSA Tahmin Sonuçları (mm/s)	Hata (%)
1	35	2948,79	2886,65	2,11
2		3058,61	3046,72	0,39
3		2966,25	2952,34	0,47
4		3619,94	3305,46	8,69
5		3259,60	2991,01	8,24
6		3056,74	2934,62	3,99
7		3058,61	2996,50	2,03
8		3056,74	3090,85	1,12
9		3154,91	3095,17	1,89
10		2861,21	2977,02	4,05
11		2964,50	2905,55	1,99
12		2781,79	2930,97	5,36
13		2861,22	2870,73	0,33
14		2797,32	2684,52	4,03
15	50	2377,79	2580,63	8,53
16		2322,67	2376,24	2,31
17		2311,95	2538,34	9,79
18		2258,79	2119,96	6,15
19		2158,55	2219,55	2,83
20		2257,77	2198,40	2,63
21		2310,89	2371,90	2,64
22		2258,79	2371,88	5,01
23		2207,05	2145,07	2,81
24		2199,30	2250,61	2,33
25		2208,02	2117	4,12
26		2310,89	2447,14	5,90
27	70	1418,86	1384,26	2,44
28		1510,40	1394,76	7,66
29		1418,86	1382,04	2,59
30		1439,66	1374,86	4,50
31		1418,46	1400,40	1,27
32		1378,65	1406,25	2,00
33		1443,39	1428,94	1,00
34		1505,86	1394,69	7,38
35		1375,62	1414,25	2,81
36		1529,30	1609,54	5,25
37		1461,07	1433,58	1,88
38		1487,09	1425,83	4,12
39	1460,64	1442,06	1,27	
40	1482,69	1432,32	3,40	
41	1439,24	1447,77	0,59	

Deneysel sonuçlar ve tahmin edilen sonuçlar arasındaki yüksek tutarlılık (Şekil 7), YSA modelinin yüksek R değeri nedeniyle beklenmektedir (Şekil 6). Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, görüntü işleme algoritması ile elde edilen doku öznelikleri ile hava geçirgenlik değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca, deneysel ve tahmin edilen hava geçirgenliği sonuçları arasındaki doğrusal regresyon değeri  $R^2 = 0,97$  olarak elde edilmiştir (Şekil 8). Bu değer, spunlace teknolojisi ile üretilen dokusuz yüzeylerin hava geçirgenliğinin, dijital görüntü işleme ve geliştirilen YSA modeli kullanılarak doğru bir şekilde tahmin edilebildiğini doğrulamaktadır. Önceki çalışmalara bakıldığında, dokusuz yüzey kumaşların yapısal özellikleri (kalınlık, gramaj, gözenek büyüklüğü vs.) ile hava geçirgenliği arasında anlamlı bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur [16-19,43]. Ancak, sunulan bu çalışmada doğrudan kumaş yüzey görüntüsü özneliklerinden hava geçirgenliği performansının güçlü bir şekilde tahmin edilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen sinir ağı modelinin başarısı, kumaş doku özneliklerinin doğrudan lif yerleşimi, lif dağılımı, birim alandaki lif yoğunluğu ve kumaş gözenekliliği gibi yapısal özelliklere göre şekillenmesine dayandırılmıştır.



Şekil 8. Deneysel ve YSA tahmini hava geçirgenlik değerleri Q-Q grafiği

### 3.3 Mukavemet YSA Tahmin Sonuçları

Spunlace teknolojisi ile üretilen dokusuz yüzey numunelerinin görüntü karelerinden, mukavemet değerlerinin tahmin edilmesi amacı ile geliştirilen YSA modelinin başarı oranını belirlemek için her bir birim ağırlık için makine yönü ve tersi yönünden rastgele kumaş örnekleri alınarak testler gerçekleştirilmiştir. Mukavemet sonuçları 5 cm enindeki kumaş numunesine düşen gerilme değerinin Newton cinsinden ifadesi şeklinde verilmiştir. Bu numunelerin mukavemet ve yüzey öznelik sonuçları YSA eğitim süreci için kullanılmamıştır. Deneysel ve YSA modeli ile tahmin edilen mukavemet sonuçları makine yönü ve tersi yön için sırası ile Tablo 4 ve 5'te verilmiştir.

Tablo 4. Makine yönü kopma mukavemeti tahmin sonuçları

Makine Yönü (MD)				
Numune Sayısı	Birim Ağırlık (g/m <sup>2</sup> )	Deneysel Ölçüm Sonuçları (N/5 cm)	YSA Tahmin Sonuçları (N/5cm)	Hata (%)
1	35	54,6	59,67	9,29
2		54,5	64,30	17,99
3		54,1	56,94	5,25
4		68,8	60,77	11,66
5		65,3	59,08	9,51
6		56,9	63,23	11,13
7		52,1	60,14	15,43
8		52,3	57,74	10,41
9		58,3	65,32	12,05
10		59,6	64,35	7,98
11		62,9	66,09	5,08
12		61,5	63,35	3,01
13		60,2	61,45	2,09
14		53,4	60,19	12,72
<b>Ortalama (%)</b>		58,17	61,62	9,54
<b>Standart sapma (%)</b>		4,94	2,75	4,38
15	50	84,5	89,26	5,64
16		76,4	90,91	18,99
17		97,5	85,24	12,56
18		92,7	83,11	10,33
19		103,8	92,86	10,53
20		90,9	82,88	8,81
21		104,8	96,75	7,67
22		97,5	100,91	3,49
23		90,5	109,24	20,71
24		93,8	104,54	11,45
25		101	116,48	15,33
<b>Ortalama (%)</b>		93,94	95,65	11,41
<b>Standart sapma (%)</b>		8,032	10,55	5,03
26	70	131,2	127,40	2,89
27		120,4	131,02	8,82
28		147,6	122,45	17,03
29		126,3	123,41	2,28
30		127,4	132,72	4,17
31		134,7	135,04	0,25
32		140,2	135,89	3,06
33		130,4	134,35	3,03
34		150,3	136,44	9,21
35		110,1	129,67	17,77
<b>Ortalama (%)</b>		131,86	130,84	6,85
<b>Standart sapma (%)</b>		11,50	4,78	5,90

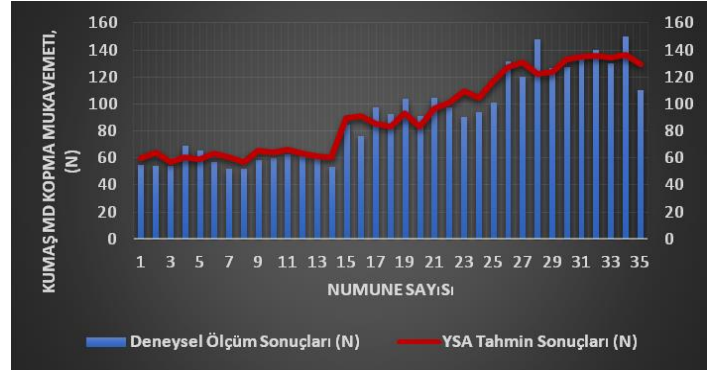
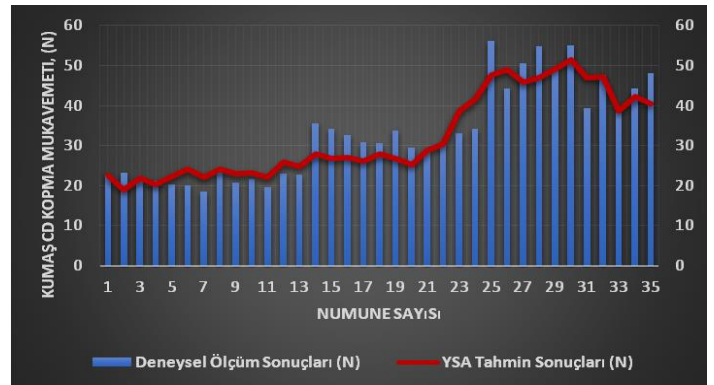
**Tablo 5.** Makine tersi yönü kopma mukavemeti tahmin sonuçları

Makine Tersiyön (CD)				
Numune Sayısı	Birim Ağırlık (g/m <sup>2</sup> )	Deneyisel Ölçüm Sonuçları (N/5cm)	YSA Tahmin Sonuçları (N/5cm)	Hata (%)
1	35	22,7	22,50	0,86
2		23,3	19,00	18,42
3		21,2	21,79	2,81
4		21,1	20,17	4,36
5		20,3	22,32	9,99
6		20,1	24,19	20,35
7		18,4	21,98	19,50
8		23,5	24,10	2,56
9		20,8	22,87	9,99
10		21,6	23,23	7,59
11		19,6	22,04	12,48
12		23	25,89	12,56
13		22,7	24,85	9,51
<b>Ortalama (%)</b>		21,40	22,69	10,08
<b>Standart sapma (%)</b>		1,50	1,78	6,26
14	50	35,6	27,85	21,76
15		34,1	26,75	21,54
16		32,7	27,11	17,06
17		30,8	26,08	15,30
18		30,5	27,85	8,67
19		33,7	26,86	20,26
20		29,5	25,20	14,56
21		28,7	28,81	0,41
22		30,3	30,36	0,22
23		33,1	38,65	16,77
24		34,3	41,51	21,03
<b>Ortalama (%)</b>		32,11	29,73	14,33
<b>Standart sapma (%)</b>		2,14	5,08	7,54
25	70	56,1	47,57	15,20
26		44,2	49,04	10,95
27		50,5	45,77	9,35
28		54,9	47,04	14,29
29		49	49,28	0,59
30		55	51,45	6,44
31		39,4	47,02	19,35
32		47,6	47,19	0,86
33		38,2	38,65	1,18
34		44,3	42,16	4,82
35	48,2	40,43	16,10	
<b>Ortalama (%)</b>		47,94	45,96	9,01
<b>Standart sapma (%)</b>		5,78	3,76	6,39

Tablo 4 ve 5'te sunulan veriler değerlendirildiğinde, makine yönündeki en düşük ve en yüksek hata yüzdesi değerleri sırasıyla %18,99 ve %0,25 olarak; makine tersi yönündeki en düşük ve en yüksek hata yüzdesi %21,76 ve %0,41 sonuçları elde edilmiştir.

Deneyisel ve tahmin edilen mukavemet sonuçları arasındaki ilişki her iki yön için; makine yönü ve tersi yön sırası ile Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmektedir. Her iki yön için deneyisel sonuçlar ve YSA sonuçları arasında tutarlılık olduğu ve benzer eğilimlere sahip oldukları görülmektedir.

Hava geçirgenliği sonuçlarında elde edildiği gibi kopma mukavemeti tahmini için kurulan YSA modelinde de her iki yön için numune kumaş görüntüsünden elde edilen doku öznelikleri ile mukavemet değerleri arasında güçlü bir ilişki kurulduğu görülmektedir. Bu durum, literatürde sunulan önceki çalışmalarda ortaya konulan kopma mukavemeti ile dokusuz yüzeylerin yapısal özellikleri arasında anlamlı ilişki ile örtüşmektedir [24,25]. Dokusuz yüzeylerde lif yerleşimi rastgele gerçekleştiği için gerilime maruz bırakıldığında kopma anına kadar liflerin yönelimi ve davranışı tam olarak kestirilememektedir. Gerilim altında liflerin yönelimi ve buna bağlı olarak kopma ve uzama davranışlarını modellemek amacı ile literatürde bazı çalışmalar yapılmıştır [41,42]. Dokusuz yüzeylerde birim alana düşen liflerin yerleşimi mukavemet değerini etkileyeceğinden mukavemet değerleri dokusuz yüzeyin düzgünlüğü ile ilişkilendirilmektedir. Dokusuz yüzeylerin mukavemet özellikleri, doğrudan lif oryantasyonu ve dağılımı ile ilgilidir. Lif dağılımı ve yönelimi kumaşın yüzey özelliğini etkilediğinden, YSA modelinde tahmin edilen performans değerleri ve doku öznelikleri arasında yüksek bir ilişki bulunmuştur.

**Şekil 9.** Deneyisel ve YSA makine yönü kopma mukavemeti sonuçları karşılaştırması**Şekil 10.** Deneyisel ve YSA makine tersi yönü kopma mukavemeti sonuçları karşılaştırması

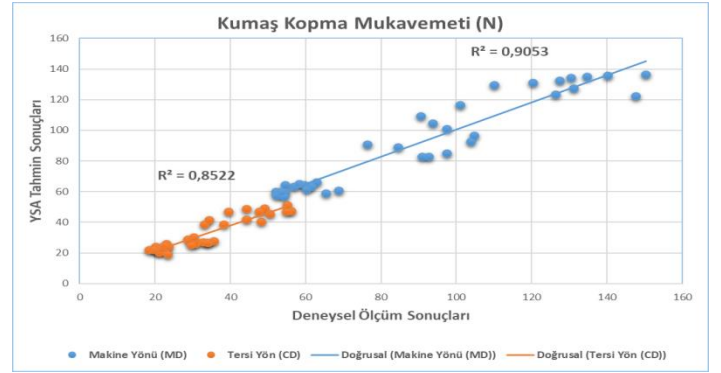
Deneysel ve tahmin edilen kopma mukavemeti sonuçları arasındaki doğrusal regresyon makine yönünde  $R^2 = 0,90$  makine tersi yönünde  $R^2 = 0,85$  olarak elde edilmiştir (Şekil 11). Bu değer su jeti ile bağlanmış kumaşların kopma mukavemeti performansının, doğrudan kumaş numune görüntü karesinden, geliştirilen görüntü işleme ve YSA algoritmaları ile yüksek doğrulukta tahmin edilebildiğini göstermektedir.  $R^2$  değerinin 1'e yaklaşması gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin yakınlık derecesinin yüksek olduğu ve aralarında önemli bir fark olmadığı anlamına gelmektedir.

### 3.4 Kopma Uzaması YSA Tahmin Sonuçları

Numune görüntülerinden elde edilen öznitelik vektörleri ile geliştirilen YSA modelinden kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri elde edilmiştir. Deneysel uzama sonuçları ve tahmin edilen performans değerleri ve hata yüzdeleri her iki yön için; makine yönü ve tersi yön sırası ile Tablo 6 ve 7'de gösterilmektedir.

**Tablo 6.** Makine yönü kumaş kopma uzaması tahmin sonuçları

Makine Yönü (MD)				
Numune Sayısı	Birim Ağırlık (g/m <sup>2</sup> )	Deneysel Ölçüm Sonuçları (%)	YSA Tahmin Sonuçları (%)	Hata (%)
1	35	35,5	36,24	2,10
2		35	34,79	0,58
3		35,5	37,79	6,47
4		37	34,78	5,99
5		36	34,31	4,69
6		36	34,07	5,35
7		35,5	33,63	5,25
8		37,5	38,18	1,81
<b>Ortalama (%)</b>		36	35,47	4,03
<b>Standart sapma (%)</b>		0,79	1,61	2,05
9	50	41,5	40,72	1,85
10		40	42,12	5,30
11		45	42,44	5,68
12		33,5	34,43	2,79
13		34	34,72	2,13
14		36	35,22	2,14
15		38	35,64	6,20
16		35	34,46	1,52
<b>Ortalama (%)</b>		37,87	37,47	3,45
<b>Standart sapma (%)</b>		3,78	3,37	1,80
17	70	34	35,05	3,11
18		36	36,26	0,72
19		38	36,12	4,92
20		35,5	34,68	2,28
21		36,5	34,26	6,13
22		34	33,37	1,82
23		36	33,34	7,38
24		35,5	33,70	5,04
25		36	34,43	4,34
26		36	36,81	2,26
27		36,5	35,52	2,67
28		36,5	37,72	3,36
<b>Ortalama (%)</b>		35,87	35,11	3,67
<b>Standart sapma (%)</b>		1,043	1,34	1,85



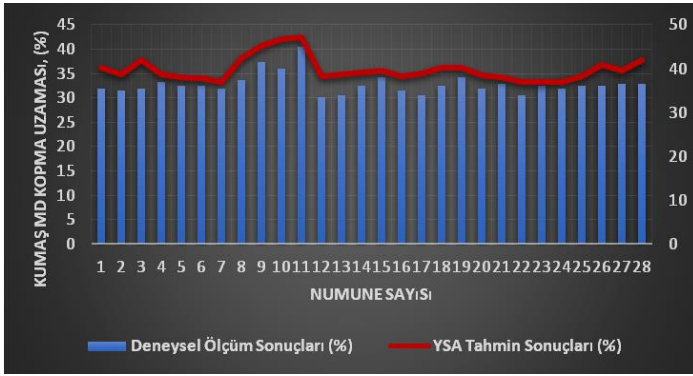
**Şekil 11.** Deneysel ve YSA tahmini kopma mukavemeti değerlerinin Q-Q grafiği

**Tablo 7.** Makine tersi yönü kumaş kopma uzaması tahmin sonuçları

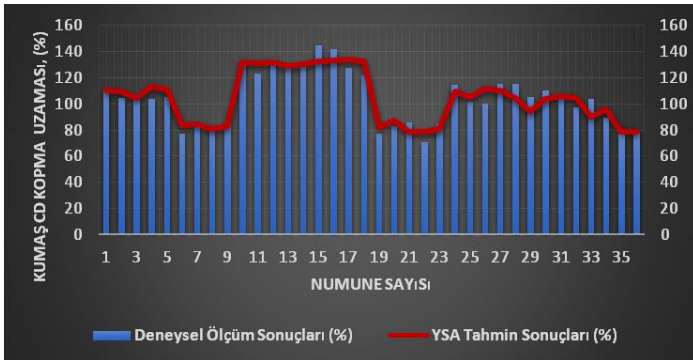
Makine Tersiyön (CD)				
Numune Sayısı	Birim Ağırlık (g/m <sup>2</sup> )	Deneysel Ölçüm Sonuçları (%)	YSA Tahmin Sonuçları (%)	Hata (%)
1	35	110,5	110,31	0,17
2		104,5	109,73	5,00
3		103	104,67	1,62
4		104	113,22	8,87
5		105	110,64	5,37
6		77,5	83,55	7,80
7		85	84,61	0,45
8		82,5	80,65	2,23
9		85	82,718	2,68
<b>Ortalama (%)</b>		95,22	97,79	3,80
<b>Standart sapma (%)</b>		11,72	13,52	2,95
10	50	132,5	132,11	0,28
11		123	131,47	6,89
12		134	132,20	1,33
13		128	128,68	0,53
14		131,5	130,63	0,65
15		144,5	132,84	8,06
16		142	133,38	6,07
17		127,5	134,00	5,10
18		122	132,60	8,69
19		77	82,56	7,22
20		83	86,94	4,75
21		85,5	79,11	7,46
22		71	78,41	10,45
23	85	80,50	5,29	
<b>Ortalama (%)</b>		113,32	113,96	5,20
<b>Standart sapma (%)</b>		25,51	24,28	3,18
24	70	114,5	109,28	4,55
25		101,5	104,99	3,44
26		100	112,01	12,01
27		115	110,06	4,28
28		115	104,83	8,83
29		105,5	94,26	10,65
30		110,5	103,75	6,10
31		103,5	106,16	2,57
32		97,5	104,69	7,38
33		104	90,47	13,00
34		89,5	95,65	6,87
35		77	79,96	3,85
36		79	78,59	0,51
<b>Ortalama (%)</b>		100,96	99,59	6,46
<b>Standart sapma (%)</b>		12,10	10,57	3,64

Tablo 6 ve 7'ye göre, makine yönündeki en düşük ve en yüksek hata yüzdesi değerleri sırasıyla %7,38 ve %0,58 olarak; makine tersi yönündeki en düşük ve en yüksek hata yüzdesi %13,00 ve %0,17 sonuçları elde edilmiştir. Makine yönünde farklı birim ağırlıktaki numunelerin kopma uzaması sonuçları karşılaştırıldığında, standart sapma ve ortalama değerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Numunelerin makine yönü kopma uzaması değerlerinin birbirine çok yakın olması doku özneliklerine göre kümelenme oluşturmayı zorlaştırmıştır. Bu durumun tahmin başarısını önemli ölçüde etkilediği düşünülmektedir.

Deneysel ve tahmin edilen kopma uzaması sonuçları karşılaştırması makine yönü ve tersi yön için sırası ile Şekil 12 ve Şekil 13'te verilmiştir. Hem makine yönü hem de makine tersi yönü verilerinde YSA tarafından tahmin edilen uzama değerleri ile deneysel sonuçlar arasında yüksek tutarlılık ve uyum olduğu görülmektedir.



Şekil 12. Deneysel ve YSA makine yönü kopma uzaması sonuçları karşılaştırması

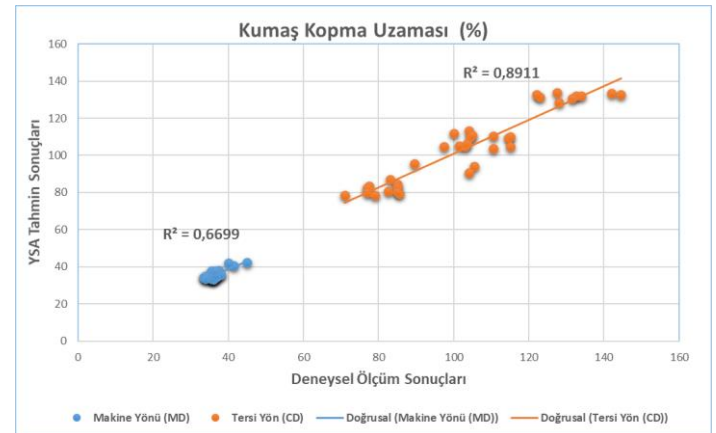


Şekil 13. Deneysel ve YSA makine tersi yönü kopma uzaması sonuçları karşılaştırması

Deneysel ve tahmin edilen kopma uzaması sonuçları arasındaki doğrusal regresyon makine yönünde  $R^2 = 0,67$ ; makine tersi yönünde  $R^2 = 0,90$  olarak elde edilmiştir (Şekil 14). Bu sonuç dokusuz yüzeylerin üretim parametreleri ve deneysel test cihazlarının ölçüm parametreleri göz önünde bulundurularak, spunlace teknoloji ile üretilen dokusuz yüzeylerin makine tersi yönünde yapılan kopma uzaması testinin öngörülmesinde kabul edilir bir orandır. Bu yüzden yapılan farklı ağ denemelerine rağmen makine yönünde en fazla  $R^2=0,67$  değeri elde edilmiştir.

Ancak deneysel sonuçlara göre elde edilen tahmin sonuçlarının yeterli düzeyde olduğu düşünülmektedir. Kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri incelendiğinde makine yönünde yüksek mukavemet ve düşük uzama değeri elde edilirken, makine tersi yönünde düşük mukavemet ve yüksek uzama değerleri elde edilmiştir. Makine yönünde elde edilen uzama değerlerinde her birim ağırlık değeri için elde edilen ortalama değerleri (Tablo 6 –  $35\text{g/m}^2:36$ ,  $50\text{g/m}^2:37,87$ ,  $70\text{g/m}^2:35,87$ ) incelendiğinde farklı birim ağırlık değerleri arasında önemli fark olmadığı görülmektedir. Bu durum, farklı birim ağırlık ve dolayısı ile farklı doku özneliklerine sahip numunelerin makine yönünde uzama değerlerinin kümelenmesi zorlaştırmaktadır. Makine tersi yöndeki kopma uzaması değerlerinde ise önemli fark elde edildiği için numunelerde doku özneliklerine göre daha başarılı kümelenme gerçekleştirilebilmektedir.

Görüntü işleme ile elde edilen doku öznelikleri ile deneysel mukavemet ve uzama değerleri arasındaki ilişkinin YSA eğitim sonuçlarında  $R = 0,97$  (Şekil 5) olarak elde edilmesinden dolayı bu sonuç beklenmektedir. Kopma uzaması, birim alandaki lif yoğunluğu, lif dağılımı ve lif yönelimi ile ilişkilendirilmektedir. Birim alandaki lif miktarı arttıkça kumaşa uygulanan kuvvete karşı direnç sağlayan lif sayısı artacaktır. Gerilim etkisi altında kumaş numunesinde yer alan lifler farklı konumlara yönelim göstermekte ve malzemede uzama deformasyonu gerçekleşmektedir. Lif yerleşiminin yoğun olduğu bölgelerde lif arasındaki sürtünme ve tutunma daha fazla olacağından daha yüksek mukavemet ve daha düşük uzama değeri elde edilmektedir. Diğer taraftan, dokusuz yüzeylerin mukavemet ve uzama performansları lif yönelim açısına bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 14. Deneysel ve YSA tahmini kopma uzaması değerlerinin Q-Q grafiği

#### 4. SONUÇ

Sunulan çalışmada, spunlace teknolojisi ile üretilen dokusuz yüzeylerin üretiminde kullanılabilecek bir yapay zeka uygulaması geliştirilmiştir. Dokusuz yüzey numunesinin doğrudan dijital görüntüsü üzerinden hava geçirgenliği, kopma mukave-

meti ve kopma uzaması performanslarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Böylece, dokusuz yüzey numunelerinin yüzey özneliklerinden mekanik ve geçirgenlik performans özelliklerinin tahmin edilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen yapay zeka modeli, farklı numune örnekleri ile güncellenerek daha geniş ürün portföyüne cevap verebilecek duruma getirilebilecek niteliktedir. Çalışma kapsamında, en yaygın olarak üretilen spunlace dokusuz yüzey olan PES/CV %80/%20 karışımı seçilmiştir.

Farklı sinir ağı topolojileri üzerinde denemeler yapılmıştır. Her bir ağ mimarisi denemesinde farklı katman sayıları ve nöron sayılarında denemeler yapılmıştır. Sonuç olarak en yüksek R değerinin elde edildiği model seçilmiştir. Daha sonra, rastgele alınan farklı dokusuz yüzey numuneleri kullanılarak oluşturulan ağ modelinin başarı düzeyi hava geçirgenliği, kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri (makine yönü ve tersi yön için ayrı ayrı olmak üzere) için elde edilmiştir. Hava geçirgenliği sonuçları arasında  $R^2 = 0,97$  düzeyinde yakınlık elde edilirken, kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri arasında ortalama  $R^2 = 0,90$  düzeyinde yakınlık elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda hazırlanan algoritmaların spunlace teknolojisi ile üretilen dokusuz yüzeylerde geçirgenlik ve mekanik performans özelliklerinin tahmin edilmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceğine karar verilmiştir. Sonraki çalışmalarda farklı numune örnekleri ile ağın kapsamının geliştirilebileceği ve farklı lif kombinasyonları içinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

1. Pourmohammadi A., (2013) *Nonwoven materials and joining techniques*. In: Jones I and Stylios GK (eds) *Joining Textiles: Principles and Applications*. 1st ed. Philadelphia: Woodhead Publishing, pp. 565–581.
2. Mbwana N.,S., Jin X., Ting, C.,Yu, C., (2009), *Optimum Water Jets Inclination Angle for Better Tensile Strength in Hydroentanglement Process*. *Fibres & Textiles In Eastern Europe*. 75(4), 82-86.
3. Berkalp, O.,B, Pourdeyhimi, B., Seyam, A., (2003 ), *Texture Evolution in Hydroentangled Nonwovens*. *International Nonwovens Journal*, 12, 28-35.
4. Lu, Zhi, M., Xia,o M.,Q. (2011), *Combination Technology of Spunbond & Spunlace*. *Advances in Textile Engineering*, 331, 241-244.
5. Hajiani, F., Hosseini, S.,M., Ansari, N., (2010), *The influence of water jet pressure settings on the structure and absorbency of spunlace nonwoven*. *Fibers and Polymers*, 11(5), 798-804.
6. Kalebek, N., A., Babaarslan, O., (2016), *Fiber Selection for the Production of Nonwovens*. In: Jeon H Y(eds) *Non-woven Fabrics*. London: IntechOpen, pp.1-23.
7. Rawal, A., (2010), *Structural analysis of pore size distribution of nonwovens*. *Journal of the Textile Institute*, 101(4), 350-359.
8. Xu, B., (1996), *Measurement of pore characteristics in nonwoven fabrics using image analysis*. *Clothing and Textiles Research Journal*, 14(1), 81-88.
9. Berkalp, O., (2006), *Air permeability & porosity in spun-laced fabrics*. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 14(3), 81.
10. A., Rawal, A., Majumdar, S., Anand., T. Shah., (2009), *Predicting the Properties of Needle-punched Nonwovens Using Artificial Neural Network*, *Journal of Applied Polymer Science*, 112, pp. 3575-3581.
11. Gong, R., H., Newton, A., (1992), *Image-analysis Techniques. Part I: The Measurement of Pore-size Distribution*, *Journal of the Textile Institute*, 83(2), 253-268.
12. Aydılek, A., H., Seyfullah, H., O., Edil., T., B., (2002), *Digital image analysis to determine pore opening size distribution of nonwoven geotextiles*, *Journal of Computing in Civil engineering*, 16(4), 280-290.
13. Rawal, A., (2010), *Structural analysis of pore size distribution of nonwovens*, *Journal of the Textile Institute*, 101(4), 350-359.
14. Dimassi, M., Koehl, L., Zeng, X., (2008), *Pore network modelling using image processing techniques: Application to the nonwoven material*, *International Journal of Clothing Science and Technology*, 20(3): 137-149.
15. Wang, R., Xu, B., Li, C., (2013), *Accurate fiber orientation measurements in nonwovens using a multi-focus image fusion technique*, *Textile Research Journal*, 84(2), 115–124.
16. Pourdeyhimi, B., Dent, R., Jerbi, A., (1999), *Measuring Fiber Orientation in Nonwovens Part V: Real Webs*, *Textile Research Journal*, 69(3), 185-192.
17. Pourdeyhimi, B., R., Ramanathan, R., Dent., (1996), *Measuring fiber orientation in nonwovens: Part I: Simulation*, *Textile research journal*, 66 (11), 713-722.
18. Pourdeyhimi, B., and H., S., Kim., (2002), *Measuring fiber orientation in nonwovens: The Hough transform*, *Textile Research Journal*, 72(9), 803-809.
19. Pourdeyhimi, B., R., Dent., (1997), *Measuring fiber orientation in nonwovens part IV: Flow field analysis*, *Textile Research Journal*, 67(3),181-187.
20. Lien, H., C., Liu, C., H., (2006), *A method of inspecting non-woven basis weight using the exponential law of absorption and image processing*, *Textile Research Journal*, 76, 547-558.
21. Tunak, M., Antoch., J., Kula., J., (2014), *Estimation of fiber system orientation for nonwoven and nano fibrous layers: local approach based on image analysis*. *Textile Research Journal*, 84(9), 989-1006.
22. Maity, S., Singha, K., Singha, M., (2013), *Three-dimensional micro-image analysis of nonwoven structure*, *Frontiers in Science*, 3(1): 22-26.
23. Chhabra, R., (2003), *Nonwoven Uniformity - Measurements Using Image Analysis*, *International Nonwovens Journal*, 12(1): 43-50.
24. Nohut, S., Taşcan, M., Akgöbek., Ö., (2015), *Estimation of Areal Weight, Grab Tensile Strength, and Elongation at Break of PP Spunbond Nonwovens using Digital Image Analysis and Artificial Neural Networks*, *Journal of Engineered Fabrics & Fibers (JEFF)*, 10(2): 155-162.
25. Tascan, M., Nohut, S., (2015), *Nondestructive Prediction of Areal Weight, Grab Tensile Strength and Elongation at Break of Polypropylene (PP) Spunbond Nonwoven Fabrics Using Digital Image Analysis*, *Textile and Apparel*, 25(1): 24-32.
26. Yekrang, J., Sarijeh, B., Semnani, D., (2015), *Prediction of heat transfer and air permeability properties of light weight nonwovens using artificial intelligence*, *Indian Journal of Fiber & Textile Research*, 40, 373-379.
27. Debnath, S., (2011), *Modelling of Needle-Punched Nonwoven Fabric Properties Using Artificial Neural Network*, In: *Artificial Neural Networks-Industrial and Control Engineering Applications*, Published by InTech, 65.
28. Chen, T., Zhang, C., Li, L., Chen, X., (2008), *Simulating the drawing of spunbonding nonwoven process using an artificial neural network technique*, *The Journal of the Textile Institute*99(5), 479-488.
29. Bo, Z., (2009), *Using Artificial Neural Network Model on Studying Fiber Diameter of Spunbonding Nonwovens: Comparison with Mathematical Empirical Statistical Method Model*, *Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 423-426.

30. Chen, T., Zhao, S., Wu., L., (2010), *Simulating the Filtration Properties of Nonwoven Fabrics: Comparison of Artificial Neural Network, Statistical and Grey Models*, Applied Mechanics and Materials, 20(23), 1021-1027.
31. Cay, A., Vassiliadis, S., Maria., R., (2007), *Prediction of the air permeability of woven fabrics using neural networks*, International Journal of Clothing Science and Technology ,19(1), 18-35.
32. Zupin, Ž., Hladnik, A., Dimitrovski, K., (2012), *Prediction of one-layer woven fabrics air permeability using porosity parameters*, Textile Research Journal, 82(2), 117-128.
33. Matusiak, M., (2015), *Application of artificial neural networks to predict the air permeability of woven fabrics*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 109, 41-48.
34. Ozturk, M., K., Nergis, B., Candan, C., (2016), *A Comparative Study on Air Permeability Properties of Multilayered Nonwoven Structures*, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering, 10(12), 1510-1513.
35. Çelik, H., İ., (2017), *Determination of Air Permeability Property of Air-Laid Nonwoven Fabrics Using Regression Analyses*, Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 5(2), 210-216.
36. Haralick, R., M., (1973), *Texture feature for image classification*, IEEE Trans. on System, Man and Cybern, 3(6), 610-621.
37. Haralick, R., M., (1979), *Statistical and structural approaches to texture*, Proceedings of the IEEE, 67(5), 786-804.
38. Lin, J., J., (2002), *Applying a Co-occurrence Matrix to Automatic Inspection of Weaving Density for Woven Fabrics*, Textile Research Journal, 72 (6), 486-490.
39. Gadelmawla, E., S., (2004), *A vision system for surface roughness characterization using the gray level co-occurrence matrix*, NDT & E International, 37 (7), 577-588.
40. Albrecht, W., Fuchs, H., Kittelmann, W., (2003) *Nonwoven Fabrics*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 561.
41. Jeon, S., Y., Na, W., J., Choi, Y., O., Lee, M., G., Kim, H., E., Yu, W., R., (2014), *In situ monitoring of structural changes in nonwoven mats under tensile loading using X-ray computer tomography. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 63, 1-9.
42. Soltani, P., Zarrebini, M., Laghaei, R., Hassanpour, A., (2017), *Prediction of permeability of realistic and virtual layered nonwovens using combined application of X-ray  $\mu$ CT and computer simulation*, Chemical Engineering Research and Design, 124, 299-312.
43. Gültekin, E., Çelik, H., İ., Nohut, S., Elma, S., K., (2020), *Predicting air permeability and porosity of nonwovens with image processing and artificial intelligence methods*, The Journal of The Textile Institute, 1-11.