

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(DOKTORA TEZİ)**

**KUMAŞ BONCUKLANMA ÖZELLİĞİNİN OBJEKTİF
OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ VE TAHMİNLENMESİ
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Gonca ÖZÇELİK

**Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
Bilim Dalı Kodu: 621.01.00
Sunuş Tarihi: 22.05.2009**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erhan KIRTAY

Bornova-İZMİR

V

ÖZET

KUMAŞ BONCUKLANMA ÖZELLİĞİNİN OBJEKTİF OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ VE TAHMİNLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

ÖZÇELİK, Gonca

Doktora Tezi, Tekstil Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Erhan KIRTAY

Mayıs 2009, 291 sayfa

Kumaş boncuklanma problemi ile ilgili pek çok araştırmacı tarafından boncuklanmaya neden olan faktörler ve boncuklanma mekanizmaları üzerine çalışmalar yapılmıştır, fakat problemin değerlendirilmesinde farklı üretim aşamalarındaki değişik faktörlerin karmaşık ilişkisi göz önünde bulundurularak, lif, iplik ve kumaş özelliklerinden yararlanarak boncuklanma özelliğinin tahminlenmesi üzerine çok fazla çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada, farklı pamuk harmanları kullanılarak, farklı iplik numarası ve iplik büküm katsayısında üretilen ipliklerden örülen interlok örme kumaşlarda, kumaşların boncuklanma özelliğinin tahminlenmesini sağlayacak denklemler ve modellerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla farklı iplik işletmelerinden temin edilen 7 farklı pamuk harmanından 3 farklı iplik numarasında (Ne 20, Ne 30 ve Ne 40) ve 3 farklı büküm katsayısında ($\alpha_c=3.2$; 3.6 ve 4.0) iplik ve bu ipliklerden her bir tip için 3 farklı sıklıkta interlok örgü yapısında kumaşlar üretilmiştir. Üretilen kumaşların boncuklanma eğilimleri TS EN ISO 12945-2 standardına göre Martindale cihazında test edilmiştir. Boncuklanmış kumaşların değerlendirilmesinde görüntü analizi yöntemi prensibine göre çalışan PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi kullanılarak, kumaşların boncuklanma derecesi, toplam boncuk sayısı, ağırlıklı toplam boncuk sayısı, ortalama boncuk alanı, ortalama boncuk yüksekliği, ortalama hav yüksekliği değerleri tespit edilmiştir. Lif özellikleri iplik üretiminde kullanılan fitillerden ölçüldüğü için, tahminleme analizlerinde, AFIS PRO 2 cihazı ile ölçülen lif özellikleri bağımsız değişken olarak yer almıştır. İplik özelliklerinden iplik düzgünsüzlüğü, iplik büküm sayısı, iplik numarası, iplik tüylülüğü, kumaş özelliklerinden kumaş örtme faktörü değerleri bağımsız değişken olarak; objektif olarak yapılan değerlendirme sonucunda belirlenen boncuklanma özelliklerinin her biri bağımlı değişken seçilerek, Statistica ve Minitab istatistik programları aracılığıyla çok değişkenli doğrusal regresyon ve yapay sinir ağları yöntemleri ile tahminleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda boncuklanma derecesi, toplam boncuk sayısı, ağırlıklı ve toplam boncuk sayısı arasındaki fark, boncuk alanı, boncuk yüksekliği ve hav yüksekliği özelliklerinin lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla tahminlenmesi sağlayacak denklem ve yapay sinir ağı modelleri elde edilmiştir. Ayrıca kumaş boncuklanma özelliğini üzerinde pamuk harmanı, iplik numarası, iplik büküm sayısı, kumaş sıklığının etkisi çok değişkenli varyans analizi yardımıyla belirlenmiş ve korelasyon analiziyle lif, iplik ve kumaş boncuklanma özellikleri arasındaki ilişki tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: pamuk ipliği, interlok örme kumaş, boncuklanma derecesi, PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi, yapay sinir ağı, çok değişkenli doğrusal regresyon

VII

ABSTRACT

A RESEARCH ON THE OBJECTIVE EVALUATION AND PREDICTION OF FABRIC PILLING PROPERTY

ÖZÇELİK, Gonca

PhD in Textile Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Erhan KIRTAY

May 2009, 291 pages

Many studies on the factors giving rise to pilling and on the pilling mechanisms concerned with pilling problem were carried out by several researchers. However, there is not much study on estimating the pilling characteristics of the fabrics using the fiber, yarn and fabric features and by considering the complex interactions of various factors at different manufacturing process. In this study it is aimed to determine the equations and models for estimating the pilling propensity of the interlock knitted fabrics produced from the yarns in different yarn counts and yarn twist coefficients spun by using different cotton types. For this reason, by using 7 different cotton blends supplied from different spinning mills, yarns in 3 different yarn count (Ne 20, Ne 30 and Ne 40) and in 3 different twist coefficient ($\alpha_s=3.2, 3.6$ and 4.0) were produced. Interlock knitted fabrics was manufactured in 3 different yarn densities from every type of the produced yarns. The pilling tendencies of the fabrics were tested according to TS EN ISO 12945-2 standard by the Martindale device. PillGrade Objective Pilling Grading System working based on the image analysis principle was used for evaluating the pilling properties of the fabrics. By using this system, the pilling grade of the fabrics, total pill number, total weighted pill number, average pill area, average pill height and average fuzz height of the fabrics were measured. As the fiber properties of the roving, used for the production of the yarns were measured, fiber features determined by AFIS PRO 2 device were used as independent variables for the estimation analysis. For the prediction of the pilling properties of the fabrics, by considering the yarn unevenness, yarn twist number, yarn count, yarn hairiness and cover factor as independent variables and each of the pilling features as a dependent variable, artificial neural network and multivariate linear regression methods were performed via Statistica and Minitab statistical programs. As a result of the study, equations and neural network models were derived for the prediction of pilling grade, total pill number, total weighted pill number, average pill area, average pill height and average fuzz height of the fabrics by using fiber, yarn and fabric properties. Moreover, the effects of cotton type, yarn count, yarn twist and fabric density on the pilling related properties of the fabrics were determined by multivariate variance analysis and by correlation analysis, the statistical relation between the fiber, yarn and fabric pilling properties were identified.

Keywords: cotton yarn, interlock knitted fabric, pilling degree, PillGrade Objective Pilling Grading System, artificial neural network, multivariate linear regression

IX

TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçiminde ve gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Erhan KIRTAY`a, manevi desteğini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Faruk BOZDOĞAN`a, tezin her aşamasında verdiği manevi destek ve önemli katkılarından dolayı değerli hocam Doç. Dr. Nilgün ÖZDİL`e, ipliklerin üretimi için fitillerin temin edilmesinde ve her türlü ihtiyacımızda her zaman yanımızda olan Bilkont iplik fabrikasının kalite müdürü Bahri ULUSOY`a, fitil temininde yardımcı olan Şencan KADOĞLU`na, pamuk fitillerinin lif testlerini gerçekleştirilmeme yardımcı olan Anteks iplik fabrikasının değerli müdürü Yusuf DAĞLARAŞAR`a, lif testlerinin gerçekleştirilmesine yardımcı olan Uster Teknoloji firmasından Dilek CEVİZOGLUGİL`e, ipliklerin eğrilmesi sırasındaki yardımlarından dolayı E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkez Müdürlüğü Pamuk İpliği işletmesi personeli Zeki YİĞEN`e, kumaşların üretilmesi sırasındaki yardımlarından dolayı E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkez Müdürlüğü Örme işletmesi personeli Nemci GEZER`e, görüntü analizi konusunda yardımcı olan Öğr.Gör.Dr.Cihat ARIKAN`a, bu süreç boyunca her an yardımını esirgemeyen ve bana destek olan değerli arkadaşım Pelin GÜRKAN ÜNAL`a, her türlü sıkıntımı paylaştığım, manevi desteklerini hep hissettiğim arkadaşlarım Rıza ATAV`a, Arzu ÖZERDEM`e, İbrahim BAHTİYARİ`ye, Sema NAMLIGÖZ`e, Diren M. ARMAKAN`a, tez süresince verdiği destek için Yrd. Doç. Dr. Pınar ÇELİK`e, tez süresi boyunca sıkıntılarımı paylaşan ve destek olan değerli çalışma arkadaşlarım Gamze SÜPÜREN`e ve Seyhan YAŞAR`a, kumaş testleri sırasında yardımcı olan Gözde DAMCI`ya, tez ipliklerinin üretilmesinde yardımcı olan değerli öğrencilerimizden İnci

ALANYALI'ya ve kumaş testlerinde yardımcı olan değerli öğrencilerimizden Selen SONER'e, manevi desteğiyle her zaman yanımda olduğunu hissettiğim değerli dostum Burcu TUNCELİ'ye, bana her zaman güç veren çok sevdiğim canım babaanneme ve gösterdikleri anlayış ve destekleri için canım AİLEME, bu zor süreç boyunca desteğiyle her zaman yanımda olan canım hayat arkadaşım Turushan KAYSERİ'ye ve emeği geçen tüm diğer kişi ve kuruluşlara sonsuz teşekkürlerimi sunarım

XI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
TEŞEKKÜR	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XXIV
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ÖZETİ	7
2.1 Kumaş Boncuklanma Özelliğinin Objektif Olarak Değerlendirilmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar	7
2.2 Kumaş Boncuklanma Özelliğinin Tahminlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar	26
3.KUMAŞ BONCUKLANMASI ve MEKANİZMASI	32
4.KUMAŞ BONCUKLANMA ÖZELLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	48
4.1 Lif Özelliklerinin Etkisi	49
4.1.1 Lif tipi	50
4.1.2 Lif uzunluğu	51
4.1.3 Lif inceliği	51
4.1.4 Lif enine kesit şekli	52

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1.5 Lif mukavemeti ve eğilme direnci	52
4.1.6 Lifler arası sürtünme	53
4.1.7 Lif kıvrımlılığı.....	53
4.2 İplik Özelliklerinin Etkisi.....	53
4.2.1 İplik numarası.....	53
4.2.2 İplik tüylülüğü.....	54
4.2.3 İplik büküm sayısı.....	54
4.2.4 İplik kat sayısı	54
4.2.5 İplik eğirme yöntemi	55
4.3 Kumaş Özelliklerinin Etkisi.....	56
4.3.1 Kumaş tipi	56
4.3.2 Kumaş sıklığı	57
4.3.3 Kumaş yapısı.....	57
4.3.4 Kumaş ağırlığı.....	58
4.4 Terbiye İşlemlerinin Etkisi.....	58
4.4.1 Kimyasal terbiye işlemlerinin etkisi.....	58
4.4.2 Mekanik terbiye işlemlerinin etkisi.....	59
5.KUMAŞ BONCUKLANMA ÖZELLİĞİ ÖLÇÜM VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	60
5.1 Boncuklanma Ölçümünde Kullanılan Test Cihazları	62
5.1.1 Kumaşın döndürülmesine dayanan boncuklanma test cihazları	62
5.1.1.1 Düşey taklalı (Random Tumble) boncuklanma test yöntemi ve cihazı	62

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.1.1.2 Kutulu boncuklanma (ICI Pilling Box) test yöntemi ve cihazı.....	65
5.1.2 Kumaşın aşındırılmasına dayanan boncuklanma test cihazları	66
5.1.2.1 Martindale boncuklanma ve aşındırma test cihazı	67
5.1.2.2 Elastomerik yastık tabanlı boncuklanma test cihazı....	69
5.1.2.3 Fırçalı boncuklanma test cihazı	70
5.1.2.4 H.A.T.R.A. boncuklanma test cihazı.....	70
5.1.2.5. IWS test cihazı.....	70
5.2 Kumaş Boncuklanma Özelliğinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Standartlar.....	71
6. MATERYAL VE METOD	75
6.1 Materyal.....	75
6.2 Deneysel Çalışma	75
6.2.1 İpliklerin eğrilmesi	77
6.2.2 İpliklerin bobinlenmesi.....	79
6.2.3 Kumaşların üretimi.....	79
6.2.4 Lif özelliklerinin belirlenmesi	81
6.2.4.1 Demet halinde lif özelliklerinin ölçümü	82
6.2.4.2 Tek lif ölçüm prensibine göre lif özelliklerinin ölçümü	87
6.2.5 İplik özelliklerinin belirlenmesi	91
6.2.5.1 İplik numarası ölçümleri.....	91

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.2.5.2 İplik büküm sayısı ölçümleri.....	92
6.2.5.3 İplik düzgünsüzlük ölçümleri.....	92
6.2.5.4 İplik tüylülük ölçümleri.....	96
6.2.6 Kumaş özelliklerinin belirlenmesi	96
6.2.6.1 Relaksasyon.....	97
6.2.6.2 Kumaş örtme faktörünün tayini	99
6.2.6.3 Kumaş gramaj testi.....	99
6.2.6.4 Kumaş boncuklanma testi	99
6.2.6.5 Kumaş boncuklanma özelliğinin objektif olarak değerlendirilmesi.....	100
6.2.6.6 Kumaş yüzey sürtünme katsayısının ölçülmesi	110
6.3 Sonuçların Değerlendirmesinde Kullanılan Metotlar	113
6.3.1 Varyans analizi.....	113
6.3.2 Korelasyon analizi.....	114
6.3.3 Regresyon analizi	115
6.3.4 Yapay Sinir Ağları (YSA).....	121
7.BULGULAR	131
7.1 Lif Özelliklerine Ait Bulgular	131
7.1.1 Demet halindeki liflerin ölçüm sonuçları.....	131
7.1.2 Tek liflerin ölçüm sonuçları	132
7.2 İplik Özelliklerine Ait Bulgular	139
7.2.1 İplik numara testi sonuçları.....	140
7.2.2 İplik büküm sayısı ölçüm sonuçları	140
7.2.3 İplik düzgünsüzlük testi sonuçları.....	141
7.2.4 İplik tüylülük testi sonuçları.....	141

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

7.3. Kumaş Özelliklerine Ait Bulgular.....	141
7.3.1 Kumaş relaksasyon testi sonuçları.....	142
7.3.2 Kumaş örtme faktörü sonuçları	143
7.3.3 Kumaş gramaj testi sonuçları	147
7.3.4 Kumaş boncuklanma testi sonuçları.....	152
7.3.5 Kumaş yüzey sürtünme katsayısına ait ölçüm sonuçları....	157
8.SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	158
8.1.Kumaş Boncuklanma Özelliğine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi.....	159
8.1.1 Varyans analizi yardımıyla boncuklanma özelliğine etki eden faktörlerin incelenmesi	159
8.1.2 Boncuklanma özelliğine etki eden lif, iplik ve kumaş özelliklerinin incelenmesi.....	174
8.2 Kumaş Boncuklanma Özelliğinin Regresyon Yöntemi İle Tahminlenmesi	178
8.2.1 Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi	179
8.2.2 Toplam boncuk sayısının tahminlenmesi	184
8.2.3 Ağırlıklı boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesi.....	188
8.2.4 Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi	194
8.2.5 Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi	197
8.2.6 Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi	201
8.3 Kumaş Boncuklanma Özelliğinin Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Tahminlenmesi	207
8.3.1 Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi	209
8.3.2 Toplam boncuk sayısının tahminlenmesi	216

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

8.3.3.Ağırlıklı boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesi.....	222
8.3.4.Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi.....	228
8.3.5.Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi.....	234
8.3.6.Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi.....	240
9. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	247
KAYNAKLAR DİZİNİ	266
EKLER.....	271
EK 1 İplik Numarası Test Sonuçları	271
EK 2 İplik Büküm Sayısı Ölçüm Sonuçları	273
EK 3 İplik Düzensizlik Testi Sonuçları	275
EK 4 İplik Tüylülük Testi Sonuçları.....	279
EK 5 Kumaş ilmek yüksekliği (c) ve ilmek genişliği (w) değerleri	281
EK 6 Kumaş Boncuklanma Testi Sonuçları.....	283
EK 7 Kumaş sürtünme katsayısı (μ_{kin}) sonuçları	290
ÖZGEÇMİŞ.....	291

XVII

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Boncuk yoğunluğu ve boncuk alanına göre boncuklanma derecesi eğrileri (Xu, 1997).....	11
2.2 Boncuklanma derecesi ile toplam boncuk alanı ve boncuk yoğunluğu arasındaki ilişki (Millan, 2001)	15
2.3 Zweigle ve ASTM standart boncuk değerlendirme fotoğraflarına ait histogram (Millan, 2001).....	16
2.4 Boncuklanmayı etkileyen faktörler (Beltran, 2006).....	29
3.1 Lif uçlarının dolaşmasıyla kumaş üzerinde boncuk oluşumu (x50). 32	
3.2 Boncuklanmanın oluşum mekanizması (Hauser,2004).....	34
3.3 Boncuklanma mekanizması (Brand ve Bohmfalk modeli).....	38
3.4 Boncuklanma mekanizması (Conti ve Tassinari modeli).....	38
3.5 Basitleştirilmiş boncuklanma mekanizması	39
3.6 Kumaş yapısında başlangıç aşamasında yer alan lifler. (A:lif ucu kumaşa gömülü lifler, B: serbest lif ucu, C, D:potansiyel lif halkaları, E:hav şeklindeki lif halkası)	44
4.1 Boncuklanma eğrisi	48
4.2 Boncuklanmaya etki eden özellikler	49
4.3 Örme ve dokuma kumaşlarda zamana bağlı boncuklanma eğrisi	56
5.1 Impulse düşey taklalı boncuklanma test cihazı	63
5.2 ICI pilling box	65
5.3 Martindale boncuklanma test cihazı.....	67
5.4 Lissajous hareketi	68
5.5 Zweigle KG-741 derece 4.....	72

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.6 ASTM standart fotoğrafları.....	73
5.7 EMPA (SN198525-K3) serisi standart fotoğrafları	74
6.1 1x1 İnterlok örgünün a) şematik görünümü b) iğne diyagramı	80
6.2 HVI cihazında ölçülen lif uzunluk özellikleri.....	82
6.3 AFIS cihazında ölçülen lif uzunluk özellikleri	88
6.4 Uster Tester 5 S800 iplik düzgünsüzlük test cihazı	92
6.5 CV_m değerinin hesaplanması.....	93
6.6 İlmek yapısı.....	99
6.7 PillGrade pilling derecelendirme sistemi.....	100
6.8 PillGrade Sisteminin şematik gösterimi.....	102
6.9 Arkadan aydınlatılmış kumaşın yatay görüntüsü.....	103
6.10 PillGrade tarafından taranmış örnek alanı.....	104
6.11 Kumaş yüzey çizgisi, boncuk ve tüylerin siyah-beyaz görüntüsü.....	105
6.12 Boncuklanma derecesi grafiği.....	107
6.13 PillGrade Otomatik Pilling Değerlendirme Sistemi ekranı.....	108
6.14 Frictorq kumaş sürtünme katsayısı test cihazı	110
6.15 Frictorq cihazının şematik gösterimi.....	111
6.16 Frictorq cihazı ölçüm ekranı	112
6.17 Serpme grafikleri (a) $r=-1$ mükemmel negatif ilişki (b) $r= 0$ ilişki yok (c) $r= 1$ mükemmel pozitif ilişki	114
6.18 Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki biçimleri	117
6.19 Hata değerleri ile bağımlı değişken arasında	119
6.20 Biyolojik Nöronun Genel Yapısı ve İşlevleri (Yurtoğlu, 2005) ..	123

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.21 Yapay sinir ağı.....	124
6.22 a) Tek katmanlı ileri sürümlü b) Çok katmanlı (3-4-2) ileri sürümlü ağ	126
7.1 Çalışmada kullanılan hammaddelerin 1 gramdaki toplam neps, elyaf nepsi ve tohum kabuğu sayıları	133
7.2 Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS N modülü ile ölçülen ortalama neps büyüklükleri	134
7.3 Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS L&M modülü ile ölçülen ağırlık ve uzunluk esaslı lif uzunluğu değerleri.....	135
7.4 Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS L&M modülü ile ölçülen ağırlık ve uzunluk esaslı kısa lif içeriği değerleri.....	135
7.5 Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS L&M modülünde ölçülen ağırlık esaslı üst çeyrek uzunluk ve %5 uzunluk değerleri	136
7.6 Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS L&M modülü ile ölçülen lif incelik değerleri	136
7.7 Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS T modülü ile ölçülen pamuk içinde bulunan yabancı maddelerin ortalama boyutu	137
7.8 Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS T modülü ile ölçülen pamuk içindeki toz miktarları.....	138
7.9 Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS T modülü ile ölçülen pamuk içindeki çöpel miktarları.....	138
7.10 Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS-T modülü pamuk içindeki görünür yabancı madde miktarlar	139
7.11 1.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri	144
7.12 2.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri	144
7.13 3.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri	145
7.14 4.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri	145

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.15 5.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri.....	146
7.16 6.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri.....	146
7.17 7.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri.....	147
7.18 1. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri.....	149
7.19 2. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri.....	149
7.20 3. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri.....	150
7.21 4. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri.....	150
7.22 5. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri.....	151
7.23 6. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri.....	151
7.24 7. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri.....	152
7.25 1. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri.....	154
7.26 2. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri.....	154
7.27 3. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri.....	155
7.28 4. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri.....	155
7.29 5. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri.....	156
7.30 6. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri.....	156
7.31 7. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri.....	157
8.1 Boncuklanma derecesine ait tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki ilişki	183

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.2 Boncuklanma derecesinin tahminlenmesinde hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler	184
8.3 Toplam boncuk sayısına ait tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki ilişki.....	187
8.4 Toplam boncuk sayısının tahminlenmesinde hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler	188
8.5 Ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki farka ait tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki ilişki	193
8.6 Ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki farkın tahminlenmesinde hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler	193
8.7 Boncuk alanına ait tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki ilişki.....	196
8.8 Ortalama boncuk alanının tahminlenmesinde hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler	197
8.9 Boncuk yüksekliğine ait tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki ilişki	200
8.10 Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesinde hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler	201
8.11 Hav yüksekliğine ait tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki ilişki	204
8.12 Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesinde hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler	206
8.13 Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi için oluşturulan yapay sinir ağı	210
8.14 Tüm verilerde tahminlenen ve gerçek boncuklanma derecesi değerleri arasındaki ilişki	214
8.15 Öğrenme verilerinde tahminlenen ve gerçek boncuklanma derecesi değerleri arasındaki ilişki.....	215

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.16 Test verilerinde tahminlenen ve gerçek boncuklanma derecesi değerleri arasındaki ilişki	215
8.17 Toplam boncuk sayısının tahminlenmesi için oluşturulan yapay sinir ağı.....	217
8.18 Tüm verilerde tahminlenen ve gerçek toplam boncuk sayısı değerleri arasındaki ilişki	220
8.19 Öğrenme verilerinde tahminlenen ve gerçek toplam boncuk sayısı değerleri arasındaki ilişki	221
8.20 Test verilerinde tahminlenen ve gerçek toplam boncuk sayısı değerleri arasındaki ilişki	221
8.21 Ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark için oluşturulan yapay sinir ağı.....	223
8.22 Tüm verilerde tahminlenen ve gerçek ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark değerleri arasındaki ilişki.....	226
8.23 Öğrenme verilerinde tahminlenen ve gerçek ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark değerleri arasındaki ilişki.....	227
8.24 Test verilerinde tahminlenen ve gerçek ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark değerleri arasındaki ilişki.....	227
8.25 Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi amacıyla oluşturulan yapay sinir ağı	229
8.26 Tüm verilerde tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk alanı değerleri arasındaki ilişki	233
8.27 Öğrenme verilerinde tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk alanı değerleri arasındaki ilişki	233
8.28 Test verilerinde tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk alanı değerleri arasındaki ilişki	234

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.29 Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan yapay sinir ağı.....	235
8.1 Tüm verilerde tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk yüksekliği değerleri arasındaki ilişki	238
8.31 Öğrenme verilerinde tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk yüksekliği değerleri arasındaki ilişki.....	239
8.32 Test verilerinde tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk yüksekliği değerleri arasındaki ilişki.....	239
8.33 Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan yapay sinir ağı.....	242
8.34 Tüm verilerde tahminlenen ve gerçek ortalama hav yüksekliği değerleri arasındaki ilişki	245
8.35 Öğrenme verilerinde tahminlenen ve gerçek ortalama hav yüksekliği değerleri arasındaki ilişki.....	245
8.36 Test verilerinde tahminlenen ve gerçek ortalama hav yüksekliği değerleri arasındaki ilişki.....	246

XXIV

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Dünya`da ve Türkiye`de pamuk üretim ve tüketim tahminleri.....	2
2.1 Objektif ve subjektif boncuk değerlendirme sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları (Amirbayat,Alagha, 1994)	9
2.2 Standart boncuk değerlendirme fotoğraflarının analiz sonuçları	22
2.3 Hedef boncuklanma derecesi ile tahminlenen ağ değeri arasındaki hata kareler toplamı (Beltran, 2005)	27
4.1 Boncuklanma aşamalarına etki eden lif özellikleri	50
5.1 Boncuklanma test standartları	61
5.2 ASTM D-3512 standardına göre boncuklanmanın değerlendirilmesi	64
5.3 BS 5811 standardına göre değerlendirme	66
5.4 Martindale yöntemi ile boncuklanma derecesinin değerlendirilmesi	69
6.1 Çalışmada kullanılan deney planı	76
6.2 Çalışmada kullanılan ring iplik makinesinin teknik özellikleri	77
6.3 Çekim sistemi ekartman mesafeleri, apron ve manşon ölçüleri, klips tipleri	77
6.4 Çalışmada kullanılan fitillere uygulanan çekim miktarları	78
6.5 Çalışmada kullanılan kopçaların özellikleri.....	78
6.6 Çalışmada üretilen ipliklerin büküm katsayıları ve büküm sayıları.	79
6.7 Örme makinesinde yapılan sıklık ayarları.....	80
6.8 UHML değerine göre lif uzunluğunun sınıflandırılması	83
6.9 Uzunluk üniformitesinin ve uzunluk indeksinin sınıflandırılması...	83
6.10 Kısa lif indeksine (SFI) göre liflerin sınıflandırılması.....	84

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.11 Lif kopma mukavemeti ve uzaması değerlerine göre sınıflandırma.....	84
6.12 Mikroner değerinin sınıflandırılması.....	85
6.13 Kısa Lif İçeriğine (SFC) göre liflerin sınıflandırılması.....	88
6.14 AFIS Olgunluk, IFC ve incelik değerlerine göre liflerin sınıflandırılması.....	89
6.15 PillGrade Otomatik Değerlendirme Sistemi kapsamındaki ölçüm yöntemleri.....	101
6.16 Boncuklanma derecesi ölçümü için ayarlanan değişkenler.....	110
6.17 Transfer fonksiyonları (Hagan ve arkadaşları,1996).....	126
7.1 HVI cihazı ölçüm sonuçları.....	131
7.2 AFIS-N modülü ölçüm sonuçları.....	133
7.3 AFIS L&M modülü ölçüm sonuçları.....	134
7.4 AFIS-T modülü ölçüm sonuçları.....	137
7.5 İpliklere ait ortalama numara değerleri.....	140
7.6 İpliklere ait ortalama büküm katsayıları.....	141
7.7 Kumaşların ilmek iplik uzunluğu (mm) değerleri.....	143
7.8 Kumaşların gramaj (g/m ²) değerleri.....	148
7.9 Kumaşların boncuklanma derecesi değerleri.....	153
8.1 Çalışmada incelenen faktörler ile bağımlı değişkenler arasındaki varyans analizine ait p değerleri.....	160
8.2 Boncuklanma derecesi için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları.....	161
8.3 Toplam boncuk sayısı için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları.....	164

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
8.4 Ağırlıklı toplam boncuk sayısı için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları	165
8.5 Toplam ve ağırlıklı boncuk sayıları arasındaki fark için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları	166
8.6 Ortalama boncuk alanı için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları	169
8.7 Boncuk yüksekliği için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları	171
8.8 Hav yüksekliği için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları ...	173
8.9 Lif, iplik ve kumaş özellikleri ile boncuklanma özellikleri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları	175
8.10 Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi için oluşturulabilecek bazı regresyon modelleri	180
8.11 Boncuklanma derecesinin regresyon denkleminde ait varyans analizi	181
8.12 Boncuklanma derecesinin regresyon denkleminde yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri	182
8.13 Toplam boncuk sayısının tahminlenmesi için oluşturulabilecek bazı regresyon modelleri	185
8.14 Toplam boncuk sayısı regresyon denkleminde ait varyans analizi	186
8.15 Toplam boncuk sayısının regresyon denkleminde yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri	186
8.16 Ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesi için oluşturulabilecek bazı regresyon modelleri	190
8.17 Ağırlık ve toplam boncuk sayıları arasındaki farkın tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemin varyans analizi	191

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
8.18 Ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki farkın tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemde yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri.....	191
8.19 Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi için oluşturulabilecek bazı regresyon modelleri	194
8.20 Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemin varyans analizi	195
8.21 Boncuk alanı tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemde yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri	196
8.22 Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi için oluşturulabilecek bazı regresyon modelleri	198
8.23 Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemin varyans analizi	199
8.24 Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemde yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri	200
8.25 Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi için oluşturulabilecek bazı regresyon modelleri	202
8.26 Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemin varyans analizi	203
8.27 Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemde yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri	204
8.28 Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan ağa ait eşik ve ağırlık değerleri.....	211
8.29 Boncuklanma derecesinin tahminlenmesinde yer alan girdilere ait hassasiyet analizi	213
8.30 Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait tanımlayıcı istatistik değerleri	213

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
8.31 Toplam boncuk sayısının tahminlenmesinde yer alan girdilere ait hassasiyet analizi.....	218
8.32 Toplam boncuk sayısının tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait tanımlayıcı istatistik değerleri.....	218
8.33 Toplam boncuk sayısının tahminlenmesi amacıyla oluşturulan ağa ait eşik ve ağırlık değerleri.....	219
8.34 Ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesi amacıyla oluşturulan ağa ait eşik ve ağırlık değerleri.....	224
8.35 Ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesinde yer alan girdilere ait hassasiyet analizi.....	225
8.36 Ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait tanımlayıcı istatistik değerleri.....	225
8.37 Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait eşik ve ağırlık değerleri.....	230
8.38 Ortalama boncuk alanının tahminlenmesinde yer alan girdilere ait hassasiyet analizi.....	231
8.39 Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait tanımlayıcı istatistik değerleri.....	231
8.40 Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait eşik ve ağırlık değerleri.....	236
8.41 Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesinde yer alan girdilere ait hassasiyet analizi.....	237
8.42 Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait tanımlayıcı istatistik değerleri.....	237
8.43 Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait eşik ve ağırlık değerleri.....	242

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
8.44 Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesinde yer alan girdilere ait hassasiyet analizi	243
8.45 Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait tanımlayıcı istatistik değerleri	244
9.1 Regresyon ve YSA yöntemlerinde yer alan bağımsız değişkenlerin veri aralıkları	258
9.2 Tahminlenen kumaş boncuklanma özelliklerinin YSA ve regresyon yöntemleri ile tahminlenmesine ait tanımlayıcı istatistikler.....	259

1. GİRİŞ

Globalleşme ile birlikte ekonomik sınırların ortadan kalkması ve üretim teknolojilerindeki hızlı gelişme ile birlikte her geçen gün yeni üreticiler küreselleşen pazara dahil olmakta bu da acımasız rekabeti beraberinde getirmektedir. Önceleri rekabet sadece fiyat odaklı iken günümüzde bilinçli tüketicilerin tekstil ürünleri seçiminde ürünün kullanım sırasında göstereceği performans ile yakından ilgilenmeleri kaliteli ürün üretimini ön plana çıkarmıştır.

Son yıllarda polyester, akrilik gibi sentetik, viskon ve modal gibi rejenere selüloz liflerinden üretilen tekstil ve hazır giyim mamullerine uluslararası pazarlarda gösterilen rağbet artmış olmakla birlikte, pamuk doğal bir lif olarak tekstil ve hazır giyim sanayinin en temel ve stratejik hammadde olma özelliğini korumaktadır. Hammadde maliyetinin, tekstil ürünlerinin toplam üretim maliyeti içinde %50'nin üzerinde olduğu bilinmektedir, dolayısıyla hammadde fiyatları üretim maliyetleri açısından çok önemlidir. Hammadde temini açısından Türkiye, Dünya'nın önde gelen pamuk üreticilerinden olup, büyük bir avantaja sahiptir. Cotton Outlook/Cotlook 2008 Şubat ayı tahminlerine göre Türkiye 2007/2008 sezonunda 675 bin ton pamuk üretimi ile Çin, Hindistan, ABD, Pakistan, Brezilya ve Özbekistan'ın ardından Dünya'nın yedinci büyük pamuk üreticisi ülkesidir. Ancak üretim, talebi karşılayamamakta ve önemli miktarda ithalat da yapılmaktadır. Çizelge 1.1'de Dünya'nın önde gelen pamuk üreticisi ülkeleri için yayınlanan üretim ve tüketim tahminleri yer almaktadır.

Çizelge 1.1: Dünya'da ve Türkiye'de pamuk üretim ve tüketim tahminleri

Dünya'da ve Türkiye'de Pamuk Üretim ve Tüketim Tahminleri						
2007 / 2008 ve 2008 / 2009 Sezonları						
Birim:1000 Ton						
En Fazla Pamuk Üreten Ülkeler	2007 / 2008		2008 / 2009		% Değişim	
	Üretim	Tüketim	Üretim	Tüketim	Üretim	Tüketim
Çin	7.800	10.800	7.755	11.000	- 0,6	1,9
Hindistan	5.185	4.165	5.610	4.250	8,2	2,0
ABD	4.144	1.002	3.197	958	- 22,9	- 4,4
Pakistan	1.840	2.465	1.920	2.550	4,3	3,4
Brezilya	1.550	950	1.500	950	- 3,2	-
Özbekistan	1.100	260	1.150	270	4,5	3,8
Türkiye	675	1.450	665	1.425	- 1,5	- 1,7
Avustralya	126	7	340	7	169,8	-
Türkmenistan	290	95	300	105	3,4	10,5
Yunanistan	290	55	280	50	- 3,4	- 9,1
Diğer Ülkeler	2.628	5.018	2.921	4.946	11,1	- 1,4
Dünya Toplam	25.628	26.267	25.638	26.511	0,0	0,9

Kaynak: Cotton Outlook, March 14, 2008

Türkiye'de pamuğun tekstil ürünlerinin üretiminde yaygın olarak kullanılması nedeniyle bu tez çalışmasında, pamuk lifi kullanılarak üretilmiş olan kumaşların kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmada, rahatlığı ve kullanışlılığı ile günümüzde özellikle yoğun çalışma saatlerinin dışındaki serbest zamanlarda kullanımı tercih edilen, dokuma kumaşlara göre daha esnek olan, az buruşan, giyimde rahatlık hissi veren interlok tipi örme kumaşlar kullanılmıştır. Günümüzde, örme fabrikalarının ilk yatırım maliyetinin dokuma fabrikalarına göre genellikle daha düşük olması, hazırlık aşamasının kısa, dolayısıyla işçilik ve zaman açısından avantajlı olması, örme makinelerinin üretim yelpazesinin çok daha geniş ve esnek olması nedeniyle moda değişimlerinin yakalanmasının çok daha kolay olması örme kumaş üretimine yapılan yatırımlarını arttırmıştır.

Dokuma ve örme yüzeylerin yapısal özelliklerinin belirgin farklılıklar gösterdiği bilinmektedir. Dokuma yüzeyler elastikiyeti düşük olan, stabil

yapılardır. Atkı örme yapılarının ise elastikiyeti ve esneme özelliği yüksek olup, kolayca vücut şeklini alabilmektedirler. Çözü örne yüzeylerin elastikiyet özellikleri, örgü yapısı ve iplik özelliklerine bağlı olmakla birlikte, genellikle dokuma kumaşların stabilitesine yakındır. İpliklerin birbirini dik olarak kestiği dokuma yapılarında kolayca kat izi oluşabilmekte, örme yapılarında ise esneyebilme özelliği nedeniyle kuvvet tüm yüzeye yayılmakta ve kat izinin oluşması zorlaşmaktadır. Bu özellik, kumaşların buruşmazlığını da etkilediğinden normal şartlar altında, en iyi buruşmazlık özelliğinin atkı örme kumaşlarda olduğunu bunu çözü örne ve dokuma yüzeylerin izlediğini söylemek mümkündür. Yapısal özellikleri ve düşük bükümlü iplik kullanılması nedeniyle, atkı örme yapıları aynı gramaja sahip dokuma kumaşlardan daha kalın olmaktadır. Dokuma kumaşların aynı gramaja sahip örme kumaşlardan daha sık ve sert olması nedeniyle, hem atkı hem çözü örne yapılarının eğilme uzunluğu daha azdır. Bu da örme yapılarının dökümlülüğünün daha yüksek olduğunu göstermektedir. Örme yapıların hava geçirgenliği, aynı gramajda dokuma kumaşlardan genellikle daha yüksektir. Bu özellik, derinin nefes almasına izin verdiğinden örme kumaşların iç giysilik amacıyla en yaygın olarak kullanılmasına sebep olmaktadır.

Önceden sadece iç giysiliklerde ve kazak, ceket gibi kalın giysiliklerde tercih edilen örme kumaşların üretim ve kullanım alanları çok artmıştır. Günümüzde bu yapılar fantezi ve spor, ince ve kalın tüm iç ve dış giysiliklerin yanında çarşaf, döşemelik, perdelik olarak veya başta tıbbi ve zirai olmak üzere pek çok teknik alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Örme kumaşların yaygın biçimde kullanılmaya başlaması bu ürünlerin pazar payını da arttırmış ve bunun sonucunda örme kumaş üreticileri arasında

pazardan daha büyük pay alabilmek için kıyasıya rekabet ortamı oluşmaya başlamıştır. Örme kumaşlarda kaliteyi en fazla etkileyen faktörlerden birisi kumaşların boncuklanma özelliğidir (Marmaralı, 2004).

Özellikle örme kumaşlarda karşılaşılan bir problem olarak tanımlanabilecek kumaş boncuklanması, giysi yüzeyine bir veya daha fazla tutunan küçük, karmaşık hale gelmiş lif kümeleriyle karakterize edilen ve giysiye hoş olmayan görünüm veren bir kumaş yüzey hatasıdır.

Örme kumaşlar, esnek ve gevşek yapıları nedeniyle dokuma kumaşlara göre daha fazla boncuklanma eğilimindedirler ki bu hem imalatçı hem de kullanıcı için son derece ciddi bir problemdir. Kumaşın kötü görünmesinin yanı sıra, boncuklanma bazen delik oluşumuna kadar giderek giysilerin yıpranması nedeniyle kullanma süresinin kısılmasına neden olmaktadır. Çok kuvvetli temas kuvvetleri veya bağlantılarla liflerin birlikte çok sıkı bir şekilde tutulması sağlanarak oluşan boncuklanmaya karşı dirençli kumaşlar üretmek kolaydır. Ancak bu durum estetik ve konfor açısından olumsuzluklara sebep olabilmektedir. Kumaşın stabilliğini arttıran ve boncuk oluşumunu azaltan faktörler, kumaşın yumuşaklık ve hacimliliğinde kötüleşmeye yol açmaktadır.

Kumaş boncuklanması üzerine çeşitli lif, iplik ve kumaş özelliklerinin etkili olduğu belirlenmiştir. Lif cinsi, lif uzunluğu, lif inceliği ve enine kesit şekli, eğilme direnci, lifler arası sürtünme, iplik eğirme yöntemi, iplik numarası, iplik bükümü, iplik tüylülüğü, iplik kat adedi, kumaş sıklığı, kumaş gramajı, kumaş dokusu kumaş boncuklanma eğiliminde rol oynayan önemli özelliklerdir.

Kumaş boncuklanma özelliği ile ilgili olarak yapılan ilk çalışmaların büyük bir kısmı boncuk oluşum mekanizması ve bu mekanizmanın modellenmesi üzerinedir. 1970 ve 1990 yılları arasında bu çalışmaların yerini boncuklanmaya etki eden lif ve iplik özelliklerinin yanı sıra, terbiye işlemlerinin boncuklanma üzerine etkisi, farklı kumaş yapılarının boncuklanma eğilimleri, boncuklanma test yöntemleri ve farklı teknikler kullanılarak boncuklanma mekanizmasının görüntülenmesi gibi konular almıştır. 2000'li yıllara gelindiğinde ise yapılan çalışmaların genellikle boncuklanma özelliğinin objektif olarak değerlendirilmesi üzerine olduğu görülmektedir.

Kumaş boncuklanma problemi şimdiye kadar pek çok araştırmacı tarafından ele alınmış olsa da boncuklanmanın yapısı gereği, kumaşın boncuklanma özelliğinin önceden tahmin edilmesini sağlayacak tatmin edici bir modele ulaşılammıştır. Pek çok araştırmacı, boncuklanmaya neden olan ana faktörler ve mekanizmalar üzerine çalışmalar yapmıştır fakat problemin değerlendirilmesinde üretim sürecinin tek bir aşamasından öteye geçilememiştir. Farklı üretim aşamalarındaki değişik faktörlerin karmaşık ilişkisini göz önünde bulundurmadan, kumaş boncuklanma eğilimi üzerine her bir faktörün ağırlığının belirlenmesi ve bu faktörlerin birbirlerine olan etkisinin tam olarak anlaşılması oldukça zordur.

Türkiye'de tekstil sanayi ülke ekonomisinde çok önemli bir yere sahiptir. Kalite kaybına yol açan kumaş boncuklanma özelliğinin kumaş üretilmeden önce tahmin edilmesi ve en az seviyeye indirilebilmesi olanaklarının incelenmesi tekstil sanayimiz ve ülke ekonomimiz açısından da önemli bir husus olarak görülmektedir. Ayrıca boncuklanma testi değerlendirmesinin subjektif yerine objektif bir yöntemle yapılması,

subjektif yöntemin getirdiği tekrarlanabilirlik ve doğruluk problemlerinin ortadan kaldırılması açısından önemlidir.

Bu çalışmada rahatlığı ve kullanılışlığı ile kullanımı gittikçe artan örme kumaşlarda, boncuklanma eğilimine etki eden önemli lif, iplik ve kumaş özellikleri tespit edilerek, günümüzde daha da önem kazanan, tasarım aşamasında kumaş özelliklerinin belirlenebilmesi için %100 pamuklu interlok örme kumaşlarda boncuklanma eğiliminin tahminlemesi yapılmıştır. Üreticiler arasında büyük anlaşmazlıklara sebep olabilecek subjektif yöntemlerin yerine objektif yöntemlerin ortaya çıkması önemlidir. Bu nedenle çalışmada kumaşların laboratuvar ortamında gerçekleştirilen boncuklanma testi sonuçlarının değerlendirilebilmesi için görüntü analizi yöntemine dayanan PillGrade Objektif Boncuk Değerlendirme Sistemi kullanılmıştır. Boncuklanma derecesi yanında, sistem tarafından ölçülen boncuklanma ile ilgili çeşitli özelliklerin çok değişkenli regresyon analizi ile lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla tahminlemesi yapılmıştır. Ayrıca özellikle farklı parametrelerin etkileşimlerinin söz konusu olduğu durumlarda kullanılan yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak her bir boncuklanma özelliği için modeller geliştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde konu ile ilgili yapılan çalışmalar iki kısımda incelenmiştir. İlk bölümde özellikle son yıllarda yaygın olarak çalışılan görüntü işleme yöntemleri kullanılarak kumaş boncuklanma özelliğinin objektif olarak değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar geçmişten günümüze doğru sırasıyla sunulmuştur. İkinci kısımda ise lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla kumaşların boncuklanma eğilimlerinin tahminlenmesi amacıyla kişi ve kuruluşlar tarafından gerçekleştirilen çalışmalar yine geçmişten günümüze doğru sırasıyla sunulmuştur.

2.1 Kumaş Boncuklanma Özelliğinin Objektif Olarak Değerlendirilmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Konda ve arkadaşları (1990), çalışmalarında öncelikle boncuklanma özelliğinin değerlendirmesinde kullanılan JIS L 1076 standart fotoğraflarının görüntülerini kullanarak boncuk büyüklüklerinin dağılımını belirlemişler ve daha sonra bu dağılım aracılığıyla elde edilebilecek boncuklanma özelliklerinin ve boncuklanma derecesinin hesaplanması için yöntemler geliştirmişlerdir. Boncuk büyüklük dağılımında küçük boyutlu olanların, dokuma kumaşın yapısından ve tüylerden kaynaklanan yansımalar içerdiği ve dolayısıyla belirli bir eşik değerinin (T_a) üzerindeki boncuk büyüklüklerinin doğru olabileceğini belirlemişlerdir. Standart fotoğraflar için bu T_a değeri, görüntü analizi ile elde edilen boncuk sayısının fotoğrafların görsel değerlendirmesine uyacak şekilde ayarlanmasıyla belirlenmiştir. T_a değeri, standart fotoğraflar grupları için farklı ancak her gruptaki farklı dereceler için neredeyse sabit olacak şekilde ayarlanmıştır. Bir örneğin boncuklanma derecesinin belirlenmesinde tek başına toplam boncuk sayısı veya toplam boncuk alanı değerinin kullanılması yerine

iki özelliğin birlikte kullanılmasının daha iyi bir değerlendirme sağlayacağı belirlenmiştir.

Ramgulam ve arkadaşları (1993), kumaşın yüzey profilini çıkarabilen lazer sensörlü, bilgisayar destekli bir cihaz kullanarak geliştirdikleri yöntemde, standart örneklerin farklı bölgelerinde boncukların yüksekliklerini ölçmüşlerdir. Sistemde, x-y doğrultusunda hareket edebilen bir masaya yerleştirilen kumaş, 0.1 mm aralıklarla hareket ettirilmektedir. 25 µm çapındaki bir ışığa maruz kalan kumaşın yüzeyinden yansıyan ışık, foto dedektörü yardımıyla tespit edilmekte ve mikro proses kontrollü ölçüm sistemi ile yükseklik değerine dönüştürülmektedir. Daha sonra geliştirdikleri bir yazılımı kullanarak, elde edilen yükseklik değerlerine göre her bir örneğin yüzeyini boncuk ve arka plan olarak iki bölüme ayırmışlardır. Çalışmalarında boncuklanma derecesi, boncuk sayısı ve yükseklikleri ile birim kumaş alanı başına düşen boncukların toplam büyüklükleri arasında ilişki kurabilmenin mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Amirbayat ve Alagha (1994), geliştirdikleri lazer tarama yöntemini kullanarak 50 adet örme kumaşın boncuklanma testi sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Çalışmada kumaşın farklı bölgelerinde yükseklikleri ölçüldükten sonra, uygun bir eşik değeri kullanarak arka plandan boncukların ayrılması gerektiği, ancak kumaş yapısının kendisinden kaynaklanan pürüzlülük ve boncuklanma testi sonucunda oluşan tüylenme nedeniyle, yükseklik-piksel eğrisinin sürekli olduğu ve eğiminde ani değişimlerin olmadığı belirtilmiştir. Yapılan pek çok denemeden sonra eşik değerini belirlemek için en iyi yöntemin geriye doğru kısaltma yöntemi olduğuna karar verilmiştir. İşlem rasgele seçilen bölgelerden alınan verilere dayanarak kumaş yüzeyinin ortalama yüksekliğini belirlemekle ve

ortalamanın altında kalan pikselleri atmakla başlamaktadır. Kalan piksellerin yüksekliklerinden tekrar ortalama hesaplanmakta ve aynı işlemler, sadece en üstteki boncukların uç noktalarına ait pikseller kalana kadar devam etmektedir. İlk aşamada, ortalamanın altında ve üstündeki piksellerin sayısı aynı büyüklükte iken, daha düşük piksellerin uzaklaştırılmasıyla NL/N oranı (NL:atılan piksel sayısı, N:toplam piksel ortalamaları) maksimuma yükselmekte ve daha sonra düşmektedir. Çalışmada maksimum NL/N değerine sahip ortalama yüksekliğin eşik değeri olarak kullanılabilceği belirtilmiştir. Siyah-beyaz resmin oluşturulması için yöntem belirlendikten sonra, 7 panelist tarafından 50 adet örme kumaş değerlendirilmiştir. İstatistiksel analiz sonucunda 2 panelistin verdiği sonuçlar diğerlerine tutmadığı için atılarak, geri kalan 5 panelistin verdiği sonuçların ortalamaları dikkate alınmıştır. Eşik değeri belirlenerek, siyah-beyaz resimler oluşturulduktan sonra, toplam alan (TA), toplam sayı (N), örnek içerisindeki en büyük boncuğun maksimum kapladığı alan (MA), eşik değerinin üzerindeki en büyük boncuğun maksimum yüksekliği (MH) değerleri hesaplanmıştır ve subjektif değerlendirme sonuçlarıyla korelasyon katsayıları belirlenmiştir.

Çizelge 2.1: Objektif ve subjektif boncuk değerlendirme sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları (Amirbayat, Alagha, 1994)

	MH	MA	TA/N	Subjektif değerlendirme
MH	-			
MA	0.660	-		
TA/N	0.623	0.807	-	
Subjektif değerlendirme	-0.743	-0.711	-0.662	-

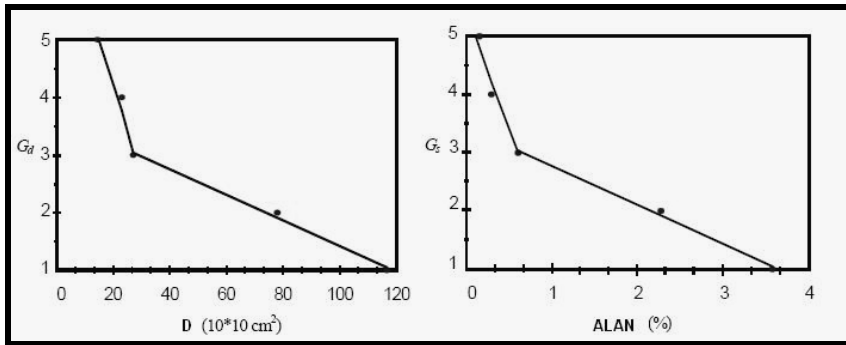
Toplam alan ve boncukların toplam sayısının gerçek değerleri, subjektif değerlendirme ile çok düşük bir korelasyon göstermektedir. Bu da

subjektif değerlendirmede, daha büyük ancak az sayıdaki boncuğun, daha fazla ancak daha kk sayıdaki boncuğa göre daha kötü bir değerlendirme yapılmasına neden olduğu anlamına gelmektedir.

Çalışmada ayrıca, ortalama boncuk büyüklüğü X eksenine, maksimum boncuk alanı Y eksenine ve maksimum yükseklik Z eksenine gelecek şekilde oluşturulan, standart boncuk derecelerine ait grafik aracılığıyla 50 adet kumaşın X-Y-Z koordinat sistemindeki yeri, dolayısıyla en yakın boncuklanma derecesi belirlenmiştir. Tahminlenen ve gerçek boncuk dereceleri arasındaki korelasyon 0.085 olarak belirlenmiştir. Subjektif değerlendirme ile kesinlikle korelasyon gösterecek en önemli boncuk özelliğinin boncukların toplam hacmi olduğu belirtilmiştir.

Xu (1997), kumaş boncuklanma özelliğini belirlemek ve değerlendirmek için bir görüntü analizi sistemi geliştirmiştir. Yaygın olarak kullanılan görüntü işleme yöntemi ile boncuklanma özelliğinin değerlendirilmesinde bir CCD kamera, görüntü kaydedici, bilgisayar ve analiz için bir yazılımın bulunması gerektiği, geliştirilen yazılımların genellikle boncukların çevresindeki alana göre daha parlak olması özelliğinden yararlanarak boncukları ayırt edebildiği belirtilmiştir. Ancak desenli kumaş yüzeylerinde boncukların bu yöntemle tanımlanmasının çok zor olduğu vurgulanmıştır. Lazerle tarama mekanizmasının desenli kumaşlar için kullanılabileceği ancak bu yöntemin de rneği x-y düzleminde mekanik olarak hareket ettirmesi gerektiği için kamerayla görüntü yakalamaya göre çok daha yavaş olduğu belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan görüntü analiz sisteminin diğer çalışmalarda kullanılanlara göre farkı, kumaş rengindeki farklılıklara uyum sağlamak için, otomatik iris lensi kullanılarak koyu ve parlak örneklerde sabit bir parlaklık elde edilmesidir. 3 çipli renkli CCD

kamera, bir DC motoru, 12 inç hareket mesafesi olan numunenin yerleştirildiği platformun üzerine sabitlenmiştir. Platformun hareketi tamamen bilgisayar kontrolü ile sağlanmış böylece kullanıcı etkisi ortadan kaldırılmıştır. Görüntünün düzeltilmesi için kullanılan yöntemler, karmaşık renk varyasyonları (gölgeler) içeren bazı boncuklanmış kumaşlar için yeterli olmamaktadır. Düzgün olmayan arka plan ve düşük kontrast gibi görüntü hatalarını düzeltmek için Fast Fourier Transform (FFT) ve diğer teknikleri kullanılmıştır. Kumaş görüntüsünü periyodik ve periyodik olmayan yapıya ayırmak için geliştirilen yöntem açıklanmıştır. Periyodik olmayan görüntüden boncukları ayırmak için kullanılan görüntü yakalama tekniği tartışılmıştır. Boncuk özellikleri, boncukların yoğunluk, büyüklük ve kontrast özellikleri ile tanımlanmış ve kumaş boncuklanması için bir eşitliğin belirlenmesi için ASTM standart fotoğrafları kullanılmıştır. Kontrast özellikleri açısından standart fotoğraflar genel bir eğilim göstermediğinden derecelendirme faktörü olarak kullanılamamıştır. Çalışmada belirlenen boncuk alanı ve boncuk yoğunluğu değerlerine göre boncuklanma derecesinin değişimini gösteren eğriler Şekil 2.1'de verilmektedir.



Şekil 2.1: Boncuk yoğunluğu ve boncuk alanına göre boncuklanma derecesi eğrileri (Xu, 1997)

Bueno ve arkadaşları (2000), geliştirdikleri bir tüylülük ölçer yardımıyla kumaş yüzeyindeki tüylerin miktarını ölçmüşlerdir. Açısal bir ışık altında incelenen bir kumaşa hem kumaş yapısı hem de kumaş tüylülüğü görüldüğünden bunların birbirinden ayrılması gerektiğini belirtmişlerdir. Geliştirdikleri tüylülük ölçer, kumaşın hareket ettirildiği ve optik düzener olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Kumaşın önünde, ışık dağıtıcısı 2 cm çaplı bir ışık huzmesi oluşturmakta ve açık bir arka plana karşı koyu görünen liflerden oluşan bir görüntü oluşmaktadır. Elde edilen sinyal, yani foto diot üzerine düşen tüy alanı, tüy miktarı Q ile orantılıdır. a_i : i. tüyün yansıyan alanı, n :tüy sayısı, A :yansıyan tüylerin ortalama alanı, w : yansıyan tüylerin ortalama genişliği, L :tüylerin ortalama uzunluğu olmak üzere, Q aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$Q = \sum_{i=1}^n a_i = nA = nLw$$

Q değerinin, tüm lifler aynı çapta olması durumunda ortalama tüy uzunluğu ile ilişkisi olduğu belirtilmiştir. Kumaşın sadece tek bir liften üretilmesi durumunda, Q değeri, tüy kütlesi ile orantılıdır.

Sirikasemert ve Tao (2000), lazer tarama yöntemini kullanarak örme kumaşların üç boyutlu görüntüsünü elde etmişler ve boncuklanma, havlanma ve kumaş yapısındaki ipliklerin yerleşimindeki değişimi değerlendirmek amacıyla iki boyutlu Fourier analizi ve wavelet analizi yöntemlerini kullanmışlardır. Subjektif değerlendirme ile 14 ölçüm parametresi arasındaki korelasyon araştırılmıştır ve kumaş yüzey değişimini karakterize etmek için en uygun olanları seçilmiştir. Objektif ölçüm sistemi, bir lazer tarayıcı, numunenin yerleştirildiği kısımda X-Y pozisyon kontrol

tertibatı ve verileri toplamak, değerlendirmek ve aynı zamanda lazer tarayıcıyı kontrol etmek için bir PC içermektedir. 90x120 mm boyutlarındaki kumaş numunesinde ölçüm alanı 19.2x19.2 mm olup, kumaş yüzeyi 0.15 mm aralıklarla taranmış ve böylece toplamda 128 adet x,y,z koordinatlarından oluşan bir veri grubu elde edilmiştir. Subjektif değerlendirme ASTM D 4970 standardına göre yapılmıştır. Deneysel olarak belirlenen yüzey profili, kumaş düzlemindeki koordinatların (x,y) bir fonksiyonu şeklinde, bağımsız profil yüksekliği değerlerinin bir dizilişi olarak tanımlanmıştır. Veriler, istatistik, fraktal, Fourier ve wavelet analizleri ile yüzey yapısı parametreleri elde etmek için kullanılmıştır. Bu yöntemlerle ölçülen 11 objektif ölçüm parametresi ile subjektif değerlendirme arasında en düşük korelasyon katsayısı yüzey yükseklik dağılımı (0.161-0.200) arasında belirlenmiştir. Pürüzlülük parametreleri ile korelasyon katsayısı 0.45-0.574 arasında, fraktal analiz parametreleri ile 0.587-0.683 arasında, boncukların kapladığı alanın boncuk sayısına oranı arasında 0.676, Fourier analizi ile elde edilen güç spektrumundaki değişim arasında 0.79 olarak belirlenmiştir. En yüksek korelasyon katsayısı 0.868-0.897 arasında olup wavelet analizi ile elde edilen parametreler için belirlenmiştir.

Hsi ve arkadaşları (2000), kumaş yüzeyindeki havların saptanması ve tanımlanması için görüntü analizi tekniklerine dayalı bir donanım ve yazılım geliştirmiştir. Kumaşların yüzeyine yakın bölgelerden alınan ince kesitler, mikroskop ve elektronik kamera aracılığıyla görüntülenmiştir. Görüntülenen havlar, hav yoğunluğu, hav yüksekliği ve kumaş-hav ayırımı açısından tanımlanmıştır. Cihazın kullanılabilirliği, mekanik aşınma ve hav azaltıcı bitim işlemlerinin havlanma üzerine etkisi değerlendirilerek araştırılmıştır.

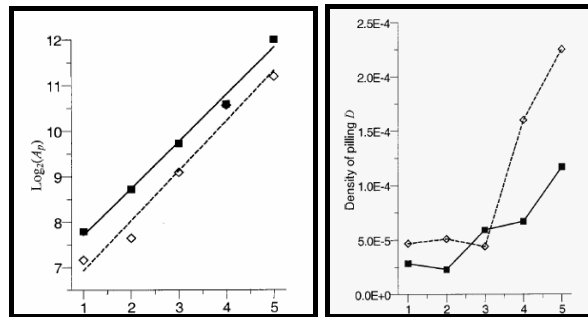
Sistem, kumaşı XY düzleminde hareket ettiren bir masa, bilgisayara entegre edilmiş tek renkli görüntü yakalama kartı, düşük büyütme kapasitesine sahip mercek içeren tek renkli video kamera ve aydınlatma kaynağı içermektedir. Sistemde bir görüntü alınıp, analiz edildikten sonra, kumaş hareket tertibatı bir sonraki görüntü için kumaşı yeniden yerleştirmektedir. Kumaş hareketi rasgele ya da sistematik olacak şekilde ayarlanabilmektedir. Çalışmada odaklanamayan liflerin görüntüsünün uzaklaştırılmasından sonra geri kalan havlarda hav yoğunluğu, hav yoğunluk dağılımının düzgünlüğü, hav yüksekliği, hav yükseklik düzgünlüğü değerleri piksel histogramı aracılığıyla hesaplanmıştır. Farklı havlanma özelliğindeki 7 interlok kumaşta her bir kumaştan alınan 30 görüntü kullanılarak kumaşların havlanma özellikleri tespit edilmiş ve sonuçlar beklenildiği yönde çıkmıştır.

Latifi ve arkadaşları (2001), geliştirdikleri silindirik bir ışılandırma sistemi ile arka planı göz ardı edip sadece yüzeyden dışarı çıkan boncukları aydınlatarak boncukların kolay bir şekilde tespit edilmesini sağlamışlardır. Sistemde, çember şeklindeki bir ışık ve silindirik bir yansıtıcı ile istenilen açıda dar bir bant aralığında ışık geçirilerek örnek aydınlatılmaktadır. Işığın açısı ve dağılımı, silindirik yansıtıcı ve/veya çember şeklindeki ışığın numuneye olan mesafesi değiştirilerek kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Açısal ışığın yayılımını minimize etmek için, çapı 200 mm olan geniş bir silindirik yansıtıcı kullanılmıştır. Işığın açısal yayılmasının 4° ile 10° arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Böylece kumaş yüzeyinden çok az ışık yansıyor karanlık bir görüntü oluştururken, boncuk tarafından saçılan ışık miktarı oldukça yüksek olmakta ve kumaş yüzeyi ile boncuk görüntüsü arasındaki kontrast artmaktadır. Bu durum da ilave bir görüntü işleme

analizi gerçekleştirmeden boncukların kolaylıkla belirlenmesini sağlamaktadır.

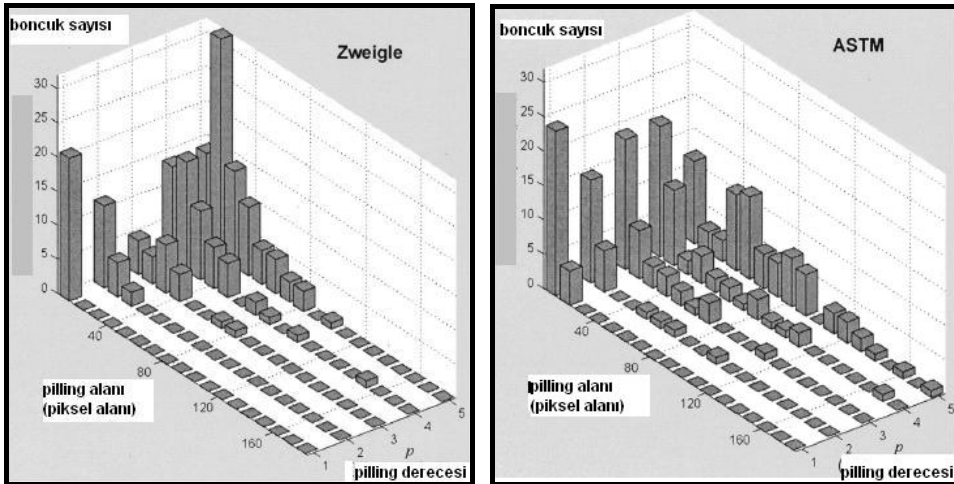
Millan ve arkadaşları (2001), yaygın olarak kullanılan çeşitli standart fotoğraf serilerinin (Zweigle KG-741 ve ASTM D 3512) analizini yapmışlardır. Her iki standardında temelde toplam boncuk alanı ve boncuk derecesi arasında aynı logaritmik fonksiyona yaklaşım gösterdiği belirlenmiştir. Standart fotoğraflar, 512x512 piksel ve 256 gri skala çözünürlükte sayısallaştırıldıktan sonra, sırasıyla aydınlatmadan kaynaklanan düzensizlikler giderilmiş, periyodik desenler filtrelenmiş, bölgesel siyah-beyaza dönüştürme işlemleri ile boncuklar arka plandan ayrılmıştır.

Boncuk yoğunluğu, boncukların ağırlık merkezlerine göre birbirine yakın olan boncuklar arası uzaklıktan hesaplanmıştır. Çalışmada belirlenen ASTM ve Zweigle standart fotoğraflarının boncuklanma derecesi ile toplam boncuk alanı (A_p) ve boncuk yoğunluğu (D) arasındaki ilişki Şekil 2.2'de verilmektedir.



Şekil 2.2: Boncuklanma derecesi ile toplam boncuk alanı ve boncuk yoğunluğu arasındaki ilişki (Millan, 2001)

Şekil 2.2`den de görüldüğü gibi, çalışmada Zweigle ve ASTM standartlarının her ikisinin de logaritmik bir skala izlediği ancak başlangıç boncuk alanlarının farklı olduğu belirlenmiştir. Boncuk yoğunluğu grafiğinde ise Zweigle ve ASTM standartları arasındaki fark daha belirgindir. Ancak yine de düşük boncuk dereceleri için düşük boncuk yoğunluğunun; yüksek boncuk dereceleri için ise yüksek boncuk yoğunluğunun elde edildiği belirlenmiştir. ASTM fotoğrafları Zweigle fotoğraflarına göre daha yüksek boncuk alanı içermektedir. Ancak bu yüksek A_p değerinin, boncuk sayısının fazla olmasından değil boncukların büyük olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu düşüncenin daha iyi kanıtlanması için her bir standardın içerdiği boncuklar büyüklüklerine göre sınıflandırılmıştır. Şekil 2.3`de Zweigle ve ASTM standartları için belirlenen boncuk histogramları verilmektedir. ASTM fotoğraflarının daha geniş bir boncuk büyüklüğü dağılımına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 2.3: Zweigle ve ASTM standart boncuk değerlendirme fotoğraflarına ait histogram (Millan, 2001)

Çalışmada, EMPA ve JIS L 1076 standartlarında kullanılan görüntülerde yüksek kontrasta sahip arka planın, boncukların kumaşın periyodik yapısında bölgesel değişimler olarak görülmesine neden olduğu ve bu nedenle açık bölgelerin sadece boncuk değil aynı zamanda kumaşın kendi yapısından da kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu durumda özellikle piksel histogramı bimodal bir yapı gösteren JIS L 1076 standart görüntüleri için eşik değerini belirleyip, boncuk ve kumaş yapısını birbirinden ayırmak mümkün olamamıştır.

Jensen ve Carstensen (2002), deterjan enzimi üreticisi ile yaptıkları ortak çalışmada geliştirilen enzimin etkinliğini kumaş yüzeyinde ki hav ve boncukları uzaklaştırma etkinliği açısından test etmişlerdir. Bu amaçla öncelikle 0 ile 10 mg arasında 8 farklı konsantrasyonda işlem görmüş kumaş uzmanlar tarafından 1:en az hav/boncuk, 8:en çok hav/boncuk olacak şekilde subjektif olara değerlendirilmiştir. Daha sonra kumaş yapısında hav ve boncukları etkili bir şekilde filtreleyen maskeler kullanarak Fourier dönüşümü yapılmıştır ve elde edilen değerlendirmenin, uzmanların yaptığı değerlendirmeye uygun olduğu belirlenmiştir.

Xin ve arkadaşları (2002), kumaş görüntülerinden boncuklanma özelliklerini belirlemek için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmada, gerçek boncuk görüntüleri kullanılarak bir boncuk modeli oluşturmak için, iki boyutlu Gauss teorisi uygulanarak, histogram uydurma tekniği ile görüntü ayırma için anlamlı bir eşik değeri belirlenmiştir. Daha sonra boncuk sayısı, ortalama boncuk alanı, toplam boncuk alanı, kontrast ve yoğunluk olmak üzere boncuk özelliklerini ifade eden beş parametre elde edilmiştir. ASTM D 3512 standardına göre 0 ile 60 dakika arasında farklı test sürelerinde boncuklanma testi yapılan 45 kumaş örneğinde, boncuklar

iki boyutlu Gauss fonksiyonu kullanılarak tespit edilmiştir. Siyah-beyaz fotoğraf haline dönüştürülen görüntülerde beyaz noktaların sayısı boncuk sayısı olarak tespit edilmiştir. 4 pikselden küçük alanlar değerlendirmeye alınmamıştır. Boncuğu oluşturan piksel sayısı bir boncuğun kapladığı alan olarak değerlendirilmiştir. Boncuk kontrastı, görüntüde bir boncuğun gri seviyesinin, kumaşın gri seviyesinden ayrılma ölçüsüdür ve g_{p-i} , i . boncuğun ortalama gri seviyesi, g_b arka planın gri seviyesi olmak üzere, kontrast aşağıdaki eşitliğe göre belirlenmektedir;

$$C_i = \frac{g_{p-i}}{g_b}$$

Çalışmada boncuk yoğunluğunun, boncuk görünümünü etkileyen önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir. Boncuk yoğunluğunun ölçülmesi için öncelikle, siyah-beyaz resimde rasgele noktalar seçilmekte ve bu noktalara en yakın boncuk araştırılmaktadır. Seçilen nokta ile boncuk arasındaki mesafe r_i ölçülmektedir. Daha sonra bu boncuğa en yakın boncuk tespit edilerek, iki boncuk arasındaki mesafe x_i hesaplanmaktadır. n adet rasgele nokta sayıldıktan sonra, tüm boncuk yoğunluğu D aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$D = \frac{\sqrt{2n}}{\pi \sqrt{\sum (r_i^2) \sum (x_i^2)}}$$

Subjektif değerlendirme ile yapılan korelasyon analizi sonucunda en yüksek korelasyon katsayısı toplam boncuk alanı ile elde edildiği için boncuklanma derecesi için x , görüntüde ki toplam boncuk alanı ve y objektif boncuklanma derecesi olmak üzere,

$y = -7E-12x^3 + 2E-0.7x^2 - 0.0012x + 5.0904$ şeklinde bir eşitlik hesaplanmıştır.

Belirlenen eşitliğin geçerliliğini test etmek amacıyla 40 kumaş test edilmiş objektif ve subjektif değerlendirme arasındaki korelasyon katsayısı 0.8468 olarak bulunmuştur.

Palmer ve arkadaşları (2003, 2004), örnek içerisindeki boncuk yoğunluğunu objektif olarak ölçmek için iki boyutlu kesikli dalga dönüşümüne dayalı frekans alan analizinin yeni bir yöntemini geliştirmişlerdir. İki standart fotoğraf serisinin analizi, yöntemin kullanılabilirliğini kanıtlamıştır. Yöntemin, analizi yapılan görüntünün parlaklık değişimlerinden, küçük yatay ve dikey doğrultudaki dönüşümlerden etkilenmediği, ancak görüntünün döndürülmesine ve genişletilmesine karşı hassas olduğu belirlenmiştir.

Kang ve arkadaşları (2004), 3 boyutlu kumaşa temas emeyen bir ölçüm sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmada, kumaşın renk ve deseninden bağımsız olarak, geniş bir kumaş yüzeyinin hızlı bir şekilde ölçülmesi için dar bir lazer ışık projektörü ve yüksek çözünürlüklü bir CCD kamera kullanılmıştır. Ayrıca, iki CCD kamera ve stereo görüntüleme tekniğini kullanarak, boncuk içeren kumaş yüzeyinin üç boyutlu görüntüsü çıkarılmıştır. Beş standart değerlendirme fotoğrafı analiz edilerek, boncukların sayısı, alanı ve yoğunluğunu içeren üç parametre tanımlanmıştır. Daha sonra bu üç parametre ve boncuklanma derecesi arasında bir regresyon analizi yapılmıştır.

Boncuklanma derecesi = 4.172 - 0.0118xboncuk sayısı - 1.017xboncuk alanı + 24.834xboncuk yoğunluğu

Chen ve arkadaşları (2004), kumaş boncuklanma derecesinin objektif olarak değerlendirilmesi için kumaş deseni ve renginden bağımsız olarak görüntü elde ederek, görüntü analizi ile değerlendirme yapmışlardır. Motor ile çalışan bir taşıyıcı bant üzerine yerleştirilen kumaş numunelerinin yatay görüntüleri bir CCD kamera aracılığıyla yakalanmıştır. Her bir örnekten 0.15mm/piksel çözünürlüğünde 400x50 piksel boyutlarında 400 adet görüntü alınmış ve bu görüntüler birleştirildiğinde kumaşın 3 boyutlu kontur diyagramı elde edilmiştir. Pürüzlülük, düzgünsüzlük, boncuk sayısı, boncuk alanı, boncuk boyutları, boncukların toplam hacmi ve ortalama hacmi, boncukların maksimum yüksekliği ve ortalama yüksekliği değerleri kumaş görüntülerinden tespit edilmiştir. Subjektif değerlendirme ve objektif ölçüm arasındaki korelasyon için 30 adet kumaş test edilmiş ve ölçülen 10 adet parametre değeri hesaplanmıştır. Boncuklanmanın objektif ve subjektif değerlendirmesi arasındaki korelasyon katsayıları -0.76 ile -0.96 arasında bulunmuştur. Dolayısıyla, objektif boncuk değerlendirmesi için yapay sinir ağları modelinde tüm özelliklerin kullanılmasına karar verilmiştir. Boncuklanma derecesi, boncuklanmış kumaştan elde edilen parametrelerin sınıflandırılmasına dayalı olduğu için yapay sinir ağlarının ön düzenleyici haritalar (self organizing feature map-SOFM) yöntemi kullanılmıştır. SOFM, girdi değerlerinin sınıflandırılmasında kullanılan bir yöntem olup, Kohonen algoritmasını kullanarak öğrenmeyi gerçekleştirmektedir. 10 girdi değerinden ve 5 boncuk derecesini ifade eden 5 çıktıdan oluşan modelde, 0.02 öğrenme hızıyla 400 iterasyondan sonra öğrenme tamamlanmıştır. Modelde 20 farklı yönlü örme kumaşa ait veriler öğrenme verisi olarak ve 10 kumaşa ait veriler de test verisi olarak kullanılmıştır. Öğrenme ve test grubu kumaşlarına ait veriler bir arada değerlendirildiğinde objektif ve

subjektif derecelendirme arasındaki regresyon katsayısı %83 olarak belirlenmiştir.

Kim ve arkadaşları (2005a), kumaş boncuklanma özelliğinin, boncuk sayısı, alanı ve yoğunluğu yanında 3 boyutlu değerlendirilerek kumaş yüzey pürüzlülüğü açısından da ifade edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. 3 boyutlu temassız bir tarama sistemi aracılığıyla alınan verilerden dalga boyu yöntemi ile hesaplanan fraktal boyutlar ve ortalama çarpıklığın standart sapması kumaş pürüzlülüğünün hesaplanmasında kullanılmıştır. Dalgacık dönüşümü ile boncukların yerleşimi belirlenmiş ve boncuk sayısı, alanı ve yoğunluğu tespit edilmiştir. K-L dönüşümü kullanarak beş boncuk özelliği 1 boyutlu eksen vektörüne (PAV) dönüştürülmüştür ve PAV ile boncuk özellikleri vektörleri arasında lineer bir ilişki bulunmuştur.

$$PAV=0.4531FD+0.6709xSDMC+0.4593xP_{num}+0.4591xP_{area}+0.4158xP_{den}$$

(*FD: fraktal boyut, SDMC: yüzey ortalama pürüzlülüğü standart sapması, P_{num}: boncuk sayısı, P_{area}: boncuk alanı, P_{den}: boncuk yoğunluğu*)

Behera ve Mohan (2005), mevcut standart kumaş boncuklanma özelliği değerlendirme fotoğraflarının genel olarak aynı eğilimde olmasına rağmen belirli kumaş tipleriyle sınırlı olduğunu ve boncuk sayısı, boncukların alanı, kumaş üzerindeki dağılımı gibi parametreleri de göz önünde bulunduran genel bir standardın gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada kontrollü bir aydınlatmanın olduğu kapalı bir kabin içerisinde görüntüleme sistemi tasarlanmıştır. Alınan görüntüler Fast Fourier Dönüşümü ile spektrum şekline dönüştürülmüş, pikler tanımlandıktan ve filtrelendikten sonra gri skaladan siyah-beyaz resime dönüşüm OTKI algoritması yardımıyla belirlenen eşik değeri aracılığıyla yapılmıştır. Daha

sonra siyah-beyaz resimde toplam boncuk sayısı, toplam boncuk alanı, birim alandaki boncuk sayısı değerleri belirlenmiştir. Öncelikle EMPA (W2), EMPA (W3), ASTM ve IWS standart fotoğrafları taranarak, geliştirilen yazılım bu görüntülerde uygulanmıştır. Çizelge 2.2`de, çalışmada değerlendirilen fotoğraflardan elde edilen boncuklanma özelliklerine ait veriler verilmektedir.

Çizelge 2.2: Standart boncuk değerlendirme fotoğraflarının analiz sonuçları

Standart	Boncuklanma derecesi	Boncuk Sayısı	Alan (inç ²)	Ortalama boncuk alanı(inç ²)	Boncuk sayısı/inç ²
EMPA (W2)	1-2	67	1.5924	0.0238	2.8089
	2-3	53	0.9602	0.0181	2.2212
	3-4	31	0.6640	0.0214	1.2992
	4-5	5	0.0023	0.0004	0.2095
EMPA (W3)	1-2	81	1.8995	0.0235	3.39
	2-3	40	1.0151	0.0254	1.67
	3-4	17	0.5978	0.0352	0.71
	4-5	0	0.0000	0.0000	0.00
ASTM	1	65	0.2702	0.0042	3.81
	2	38	0.0787	0.0021	2.23
	3	15	0.0262	0.0017	0.88
	4	6	0.0129	0.0022	0.35
	5	0	0.0000	0.0000	0.00
IWS	1	16	0.5191	0.0324	9.102
	2	12	0.4449	0.0371	6.826
	3	7	0.1461	0.0208	3.980
	4	2	0.0548	0.0274	1.137
	5	0	0.0000	0.0000	0.000

Kim ve Kang (2005), dokuma kumaşlarda standart boncuk görüntülerinde tekrarlanan desenleri azaltmak için yok etmeyen kesikli dalgacık dönüşüm yöntemini (UDWT) kullanmışlardır. Boncukları kumaş yapısından ayırt etmek için ise uygun dalga boyları ve yeniden oluşturulmuş çoklu çözünürlük seviyesi seçilmiştir. Büyütülmüş boncuk görüntüleri

içeren yeniden oluşturulan görüntülerde, boncukları kumaş yüzeyinden ayırmak ve kumaş görüntülerini sınıflandırmak için eşik değeri uygulanmıştır. Bezayağı, arka planı beyaz olan dimi, siyah arka planlı dimi ve battaniye grubu olmak üzere, her biri 1-5 arasında dört görüntü içeren SM50 Avrupa normlarına uygun standart fotoğraflarla yapılan görüntü analizi yardımıyla, boncukların görüntüde kapladığı alan (AR) yardımıyla objektif değerlendirme için bezayağı ve dimi kumaşlar için eşitlik belirlenmiştir.

$$G_{bezayağı} = 0.07671 - 0.0132 AR_{bezayağı} \quad (R^2 = 0.943)$$

$$G_{dimi} = 0.0979 - 0.0198 AR_{dimi} \quad (R^2 = 0.988)$$

Hesaplanan boncuklanma derecesi negatif olduğunda 0 değerine ve 5'in üstünde çıktığında ise 5 değerine yuvarlanmıştır.

Kim ve Kang (2005), daha önce geliştirmiş oldukları yöntemde boncuk sayısı, boncuk alanı, boncuk yoğunluğu, fraktal boyut ve yüzey ortalama pürüzlülüğü olmak üzere 5 boncuk özelliğinden oluşan vektörleri K-L dönüşümü uygulayarak tek vektöre dönüştürmüşlerdir. Bu çalışmalarında da boyutsal olarak azaltılmış eksen vektörünü, Bayes, minimum uzaklık, k-en yakın komşu ve yapay sinir ağı sınıflandırma yöntemleriyle kumaş boncuklanma derecesinin belirlenmesi için eğitmişler ve test etmişlerdir.

Uçar ve Boyraz (2005), kumaş yüzeyinde oluşan, istenmeyen bir görüntüye ve kumaşın boncuklanmasına neden olan havların objektif olarak ölçülmesi için yatay görüntüleri alınan resimlerde havları kumaş yüzeyinden görüntü analizi yöntemiyle ayırdıktan sonra toplam hav alanını hesaplamışlardır. Yöntemin geçerliliğini belirlemek için kumaşın havlanma

derecesinin değerlendirilmesi subjektif olarak da gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonucuyla korelasyon katsayısı 0.90 olarak belirlenmiştir.

Jackson ve arkadaşları (2005), Linetech Industries tarafından geliştirilen ve ticari olarak kullanıcılara sunulmuş olan PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi'nin kullanılabilirliği ile ilgili araştırma yapmışlardır. Numune büyüklüğünün ve kumaş yönünün PillGrade değerlendirme sonuçları üzerine etkisini ve sonuçların tekrarlanabilirliğini test etmek amacıyla 2 örme kumaş numunesi 4x4 in ve 5x5 inç boyutlarında kesilerek ASTM D3512 standardına göre düşey taklalı boncuklanma test cihazında test edilmiştir. 4x4 inç boyutlarındaki numunelere ait boncuklanma dereceleri sonuçlarının daha düşük varyasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Kenara paralel ve 90° açıyla kesilen numuneler arasında %95 güven aralığında istatistiksel olarak önemli fark tespit edilmiş ve paralel kesilen numunelerin sonuçlarının daha az varyasyon içerdiği belirlenmiştir. Kumaş numuneleri cihaza farklı doğrultularda beslendiğinde sonuçlar arasında önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, kumaş kenarına paralel kesilmiş numunelerle, her bir numuneden 5 tekrarlı 2 kez ölüm yapılarak elde edilen sonuçların tekrarlanabilir ve güvenilir olduğu tespit edilmiştir.

Behera ve Mishra (2006), kumaş dökümlülük, boncuklanma, kırıkılık, yüzey pürüzlülüğü gibi özelliklerin kumaş görüntüsünün değerlendirilmesinde önemli olduğunu ve bu özelliklerin çoğunlukla tekrarlanabilirliği düşük subjektif yöntemlerle değerlendirildiğini belirtmişlerdir. Kumaş kalitesini görünüş özellikleri açısından ifade etmek için tüm bu estetik özellikleri birleştiren mevcut bir yöntem olmadığı belirtilmiş ve çalışmada kumaş görünüş indeksi (FAI) olarak adlandırılan

indeksin hesaplanması için bilgisayarlı görüntüleme sistemi geliştirilmiştir. n , özelliklerin toplam sayısı; A_i , görüntü analizi yöntemi ile elde edilen i . özelliğin derecesi ve W_i , i . özelliğin ağırlık değeri olmak üzere, $FAI = \sum_{i=1}^n A_i W_i$ olarak tanımlanmıştır. Boncuklanma özelliğinin objektif ölçülmesi için alınan görüntülerde önce Fast Fourier dönüşümü uygulanmış, daha sonra boncuk ve kumaş yapısını birbirinden ayırmak için eşik değerinden yararlanılmıştır. Geliştirilen değerlendirme yöntemi ile subjektif derecelendirme arasındaki korelasyon katsayısı 0.87 olarak belirlenmiştir. Kumaş görüntüsünü etkileyen diğer özelliklerle birlikte FAI indeksi için bir eşitlik belirlenmiştir.

Zhang ve arkadaşları (2007a), kumaş boncuklanma yoğunluğunun objektif olarak sınıflandırılması için dalgacık yüzey analizine dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Yeni yöntemde, boncuk yapısının daha detaylı bir şekilde tanımlanmasını sağlayan yatay, düşey ve diyagonal yerleşimlere ve dalga boyu katsayılarına dayalı karmaşık bir yapı vektörü oluşturulmuştur. Dokuma, örme ve dokusuz yüzey kumaşların boncuklanma eğilimi, yapı vektöründe diskriminant analizi yapılarak tespit edilmiştir.

Zhang ve arkadaşları (2007b), çok skalalı iki boyutlu ikili-üçlü kompleks dalgacık dönüşümü ile Bayes kuralının lineer diskriminant fonksiyonuna dayalı objektif bir boncuk değerlendirme yöntemi geliştirmiş. Yeni yöntem SM50 dokuma ve dokusuz yüzey standart fotoğrafları ve SM54 örme kumaş standartları kullanılarak denenmiş ve başarılı bir şekilde kullanılabileceği belirtilmiştir.

2.2 Kumaş Boncuklanma Özelliğinin Tahminlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Beltran ve arkadaşları (2005), yünlü kumaşların boncuklanma özelliğinin, lif özelliklerinden lif özgül mukavemeti, lif çapı, uzunluğu ve kıvrımlılığın; iplik özelliklerinden iplik kat sayısı, iplik tüylülüğü ve iplik numarasından; kumaş özelliklerinden kumaş yapısı ve kumaş örtme faktöründen etkilendiğini belirtmişlerdir. Ancak aynı zamanda bu faktörlerin karmaşık etkileşimleri, her bir faktörün boncuk oluşumu üzerine etkisinin ağırlığı ve etkileşimlerinden kaynaklanan etkiler dikkate alınmadan kumaş boncuklanma eğiliminin tamamen anlaşılamayacağını ifade etmişlerdir. Bu nedenle çalışmalarında hem lineer hem de lineer olmayan ilişkilerin ortaya çıkarılmasında kullanılan yapay sinir ağları yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada 1x1 rib ve süprem örme yapılarında, bir makine inceliğinde ticari olarak örülebilir en uç sıklıklarda olmak üzere iki farklı sıklıkta kumaşlar üretilmiştir. Tahminlemede modelin oluşturulması için ortalama lif çapı, lif çapı varyasyonu (CV_D), 30 μm 'den kalın lif yüzdesi (%), lif kıvrımlılığı (deg/mm), hauteur lif uzunluğu (mm), lif uzunluk varyasyonu (CV_H), 40 mm'den kısa elyaf yüzdesi (%), demet lif mukavemeti (cN/tex), iplik numarası, kalın yer sayısı, ince yer sayısı, tüylülük, büküm faktörü, katlı büküm oranı ve kumaş örtme faktörü girdi değerleri olarak kullanılmıştır. Çalışmada boncuklanma test cihazı olarak ICI kutulu pilling test cihazı seçilerek 4 saatlik bir test gerçekleştirilmiştir. Modelde çıktı değeri olarak dört deneyimli panelistin birbirinden bağımsız olarak yaptıkları boncuklanma derecesinin subjektif değerlendirmesinin ortalaması alınmıştır. Mevcut 135 veri setinin 105'i modelin oluşturulmasında, 20 veri seti çapraz doğrulamada ve geri kalan 10 veri seti modelin test edilmesinde

kullanılmıştır. Oluşturulan yapay sinir ağı, hata geri yayılma algoritması ile öğrenen, çok katmanlı, bir gizli katman içeren, hem gizli hem de çıktı katmanında hiperbolik tanh aktivasyon fonksiyonunun kullanıldığı bir modeldir. Gizli katmandaki nöron sayısı 9 olarak seçilmiş ve öğrenme 50 yaklaşımdan sonra gerçekleşmiştir. Hedeflenen boncuklanma dereceleri ile ağdan elde edilen değerlerin karşılaştırılması Çizelge 2.3`de verilmektedir.

Çizelge 2.3: Hedef boncuklanma derecesi ile tahminlenen ağ değeri arasındaki hata kareler toplamı (Beltran, 2005)

Test verisi	Hedef boncuklanma derecesi	YSA çıktısı	Hata kareler toplamı (SSE)
1	2.5	2.83 (3)	0.109
2	2	1.47(2)	0.277
3	2.5	2.47(2.5)	1.8×10^{-4}
4	2.5	2.54(2.5)	1.5×10^{-4}
5	2.5	2.51(2.5)	1.3×10^{-4}
6	1.5	1.35(1.5)	0.021
7	2	1.93(2)	0.005
8	3	2.98(3)	2.3×10^{-4}
9	2	1.78(2)	0.048
10	3.5	3.49(3.5)	4.0×10^{-5}

YSA ile elde edilen değerlerle dört gözlemcinin yaptığı subjektif değerlendirme sonuçları karşılaştırıldığında, modelin 10 veri setinden 8`ini doğru tahminlenebildiği görülmektedir. Çalışmada veri setinin arttırılmasıyla ve ağ parametrelerinin daha hassas ayarlanması ile modelin performansının arttırılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca çeşitli girdi parametrelerinin değerleri değiştirilerek, ağ çıktı değerlerinin daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi değiştiği gözlenmiştir.

Beltran ve arkadaşları (2006a), lif, iplik ve kumaş özellikleri ile ICI boncuklanma kutusu yöntemi ile boncuklanma özellikleri test edilmiş %100 yün süprem ve rib örme kumaşlar arasındaki ilişkiyi yapay sinir ağı

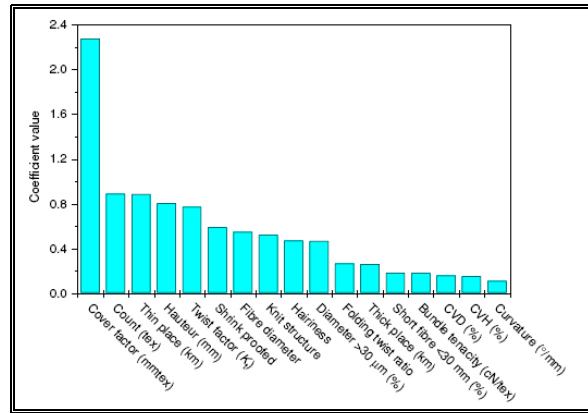
modeliyle (YSA) tahminlemeye çalışmışlardır. Ağ oluşturulurken lif özellikleri (çap, $CV_D > 30 \mu m$, kıvrım, hauteur uzunluğu, CV_H , kısa lif miktarı, demet mukavemeti), iplik özellikleri (numara, tüylülük, ince&kalın yer sayısı, büküm faktörü ve katlı büküm oranı), kumaş örtme faktörü girdi değerleri olarak girilmiştir. Farklı ölçüm seviyelerinin etkisini ortadan kaldırmak ve sigmoid fonksiyonunun uygunluğunu engellemek için veriler aşağıdaki eşitlik kullanarak normalleştirilmiştir.

$$X_i = \frac{(x - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} \quad i= 1 \dots n$$

Kantitatif değişkenler yanında, kumaş yapısı (0:1/1 rib, 1:süprem) ve çekmezlik bitim işlemi (0:işlem görmemiş, 1:işlem görmüş) gibi kalitatif değişkenler de modelde yer almıştır. Model oluşturulurken çalışmada üretilen kumaşların 145'i öğrenme veri seti olarak, 25'i modelin geçerliliğinin test edilmesinde kullanılmıştır. YSA pilling modeli, ileri beslemeli çok katmanlı, tek bir gizli katman içeren, sigmoid aktivasyon fonksiyonunun kullanıldığı bir modeldir. Optimum modelin belirlenmesi için gizli bağlantıların sayısı, öğrenme oranı ve hızı değiştirilmiştir. Bağımsız bir doğrulama veri seti ile yapılan kontrol testi sonucunda tahminlenen ve gerçek boncuklanma dereceleri arasındaki korelasyon yaklaşık %85 olarak belirlenmiştir. Model ayrıca klasik çoklu lineer regresyon sonucu ile karşılaştırılmıştır. Tahminlemede yer alan bağımsız değişkenlerin boncuklanma derecesi ile lineer olmayan ilişkisi nedeniyle YSA ($R^2=0.881$) ile yapılan tahminlemeye göre çoklu regresyon analizinde daha düşük bir regresyon katsayısı ($R^2=0.571$) belirlenmiştir.

Beltran ve arkadaşları (2006b), yünlü örme kumaşlarda çeşitli lif, iplik ve kumaş özelliklerinin boncuk oluşumuna etkisini üç farklı yöntemle

incelemişlerdir. Çalışmada girdi değişkenlerinin belirlenmesinde, ağ performansına önemli katkı sağlamayan değişkenlerin ağdan çıkarılması yöntemine dayanan çeşitli teknikler olduğu belirtilmiştir. %100 yünlü kumaşlarda boncuklanma özelliği üzerine girdi değerlerinin etkisinin belirlenmesi için kullanılan yapay sinir ağları, hassasiyet analiz, ileri/geri araştırma yöntemlerinin bir kombinasyonu ve generik algoritma yöntemleri kumaş boncuklanma özelliğini etkileyen en önemli parametrelerin belirlenmesinde benzer sonuçlar vermiştir. Sıralamada boncuk oluşumu üzerine en etkili özelliğin kumaş örtme faktörü olduğu belirlenmiştir. Diğer önemli özellikler ise iplik numarası, ince yer sayısı, lif uzunluğu ve iplik bükümü olarak sıralanmiştir. Orta derecede etkili özellikler lif çapı, iplik tüylülüğü olarak sıralanmiştir. Boncuklanma üzerine en az etkili özellikler ise lif kıvrımlılığı, lif çapı ve uzunluk dağılımı ve 30 mm`den kısa liflerin yüzdesi olarak belirlenmiştir. Önemli olmayan lif özellikleri modelden çıkarılarak yeniden yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuş ancak yeni modellerin hata payının arttığı ve tahminleme hassasiyetinin azaldığı gözlenmiştir.



şekil 2. 4: Boncuklanmayı etkileyen faktörler (Beltran, 2006)

Long ve Zhou (2006), lif çapları farklı, 3 büküm katsayısında ve 3 farklı kumaş sıklığında 38.4/2 tex inceliğindeki iplikler kullanarak kaşmir liflerinden üretilen süprem kumaşlarda boncuklanma eğilimini tahminlemiştir. Buna göre y değeri boncuklanma derecesi; x_1 , ortalama çap (μm); x_2 , çap varyasyonu (%CV); x_3 , ortalama uzunluk (mm); x_4 , uzunluk varyasyonu (%CV); x_5 , 7.5 mm'den kısa liflerin yüzdesi ($\%<7.5\text{mm}$); x_6 , 12.5 mm'den kısa liflerin yüzdesi olmak üzere, hesaplanan regresyon denklemi aşağıdaki eşitlikle verilmektedir.

$$y=0,318.x_1-0,571.x_2-0,842.x_4-0,921.x_5+0,975.x_6-0,435.x_1.x_3$$

Çalışmada iplik bükümü 234 T/m ile 272 T/m arasında olan, kumaş sıklığı 9.7, 10.7 ve 11.2 iplik/inç olan kaşmir örme kumaşların boncuklanma derecesi üzerinde iplik büküm sayısı ve kumaş sıklığının etkisinin az olduğu, kısa lif oranı ve uzunluk varyasyon katsayısının ise önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir.

Uçar ve Ertuğrul (2007), kumaş boncuklanması, tuşesi ve görünümü için kumaş yüzeyindeki havların çok önemli olduğunu ve bu nedenle kumaş üretiminden önce kumaş yüzeyindeki hav değerinin tahminlenmesinin önemli olduğunu belirtmişler. Görüntü analizi yardımıyla belirlenen hav miktarının tahminlenmesi için yapay sinir ağları (YSA) ve regresyon analizi yöntemlerini kullanmışlardır. Ayrıca kumaş yüzeyindeki hav miktarı ile çeşitli iplik ve kumaş özellikleri arasındaki korelasyonu incelemiştir. Çalışmada farklı pamuk iplikleri kullanılarak farklı örme makinelerinde üretilen 43 adet düz örgü kumaş kullanılmıştır. İplik numarası, iplik tüylülüğü, kumaş sıklık faktörü havlanmayı etkileyen parametreler olarak değerlendirilmiştir. İplik numara aralığı 29.5-19.7 tex, iplik tüylülüğü (S3

değeri) 200-2500, sıklık faktörü 11-17 arasında değişen değerlerle tahminleme yapılmıştır. Kumaş yüzeyindeki havların fotoğrafları görüntü işleme tekniğiyle beyaz piksellerin saydırılmasıyla tespit edilmiştir. 20 kumaş ile 5 uzman tarafından subjektif olarak yapılan derecelendirme ile görüntü analizi ile elde edilen hav derecesi arasındaki korelasyon katsayısı 0.90 olarak bulunmuştur.

Çalışmada 43 kumaşın 40 tanesi hem regresyon hem de YSA yöntemleriyle tahminlemede kullanılmış, geri kalan 3 kumaşın değerleri ise sonuçların kontrol edilmesinde kullanılmıştır. Yapılan korelasyon analizinde kumaş hav derecesi ile iplik tüylülüğü arasındaki ilişki önemli olduğundan regresyon ve YSA'da iplik tüylülüğü değerleri kullanılmıştır. Regresyon analizi sonucunda birinci ve ikinci dereceden olmak üzere iki adet lineer regresyon denklemi elde edilmiştir. FF, kumaş yüzeyindeki hav miktarı; YH, iplik tüylülüğü; r, korelasyon katsayısı olmak üzere ;

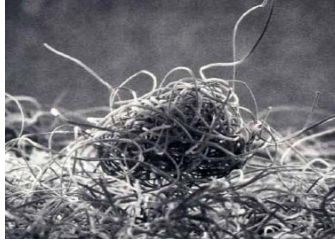
$$FF=0.0001YH + 0.8378 \text{ (r:0.36)}$$

$$FF= -2.10^{-7}(YH)^2 + 0.0008YH + 0.5337 \text{ (r:0.61)}$$
 eşitlikleri elde edilmiştir.

2 katmanlı, 5 nöronlu, log-sigmoid aktivasyon fonksiyonlu, geri yayımlı öğrenme yöntemi kullanılarak oluşturulan yapay sinir ağında 500 iterasyondan sonra hata kareler ortalaması 0.0116 olduğunda öğrenme tamamlanmıştır. Hata kareleri toplamı ve korelasyon katsayıları incelendiğinde en iyi tahminlemenin yapay sinir ağı yöntemiyle gerçekleştiği ancak sonucun beklenildiği gibi çok yüksek olmamasının sebebinin kumaşın üretimi sırasında kontrol edilemeyen iplik sürtünmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

3. KUMAŞ BONCUKLANMA MEKANİZMASI

Boncuklanma giysi yüzeyine bir veya daha fazla sayıda tutunan küçük, karmaşık hale gelmiş lif kümeleriyle karakterize edilen ve giysiye hoş olmayan görünüm veren bir kumaş yüzey hatasıdır. Gevşek liflerin oluşturduğu ve kumaş yüzeyinde görülen lif dolaşıklıkları boncuk olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 3.1: Lif uçlarının dolaşmasıyla kumaş üzerinde boncuk oluşumu (x50)

Çoğu zaman boncuk içerisine çevreden gelen farklı liflerin karışmasıyla boncuk daha belirgin bir görünüm almaktadır. Oluşan boncuğun zemin renginde olması bazen kullanıcıyı rahatsız etmemekte ancak zemin renginden farklı bir renkte boncuk oluşması kullanım yerine bağlı olarak giysiyi çoğu zaman kullanılmaz hale getirmektedir (Sülar, Okur, 2001).

Çoğu kez kumaş yüzey hatası olarak tanımlanan boncuklanma üzerine kişi ve kuruluşlarca yapılan farklı açıklamalar bulunmaktadır. Bu tanımlamalar şu şekilde sıralanabilir:

- The International Fabricare Institute's Education and Consumer Relations Departments'a göre boncuklanma, kumaş yüzeyinde lif veya lif birikintilerinin küçük dolaşıklıklardır ve boncukları

oluşturan lifler, kumaş içerisindeki ipliklere bağlı oldukları için boncuklar kumaş yüzeyine tutunmaktadır.

- Shridharan`a göre boncuklanma, kumaş yüzeyinde oluşan, bazen dışarıdan gelen yabancı maddeleri de içeren küçük lif yumaklarının oluştuğu fiziksel bir olaydır,
- Sivakumar ve Pillay`a göre boncuklanma, sürtünme veya kullanım sırasında kumaş yüzeyinde dolaşık liflerin toplanmasıyla oluşan topaklardır,
- Alston`a göre boncuklanma, sweat-shirtlerin kullanım ve görünümüne etki eden istenmeyen bir olaydır (Ukponmwan ve arkadaşları, 1998).

Kumaşlarda boncuklanma problemi, tekstil materyallerinde yıllar boyunca süren bir problem olmuştur. Boncuk oluşumunda direkt olarak etkileyen dış faktörlerden kaynaklanan sebepler a) bir giysinin giyilmesi sırasında sürtünme nedeniyle oluşan etkileşim kuvvetleri, b) yıkama sırasında oluşan hidrodinamik kuvvetler olarak sıralanırken, direkt olmayan sebepler ise kumaşın kullanım ve yıkanması sırasında iplik içerisindeki liflerin hareketi olarak ifade edilebilmektedir (Hearle, Wilkins, 2006).

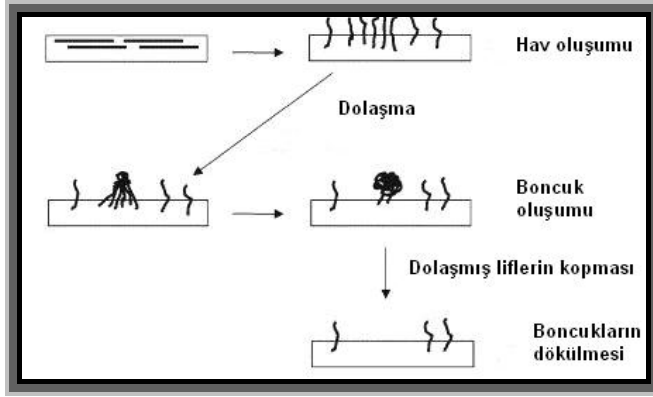
Kumaş yüzeyinde boncuklanmanın genel olarak 4 aşamada gerçekleştiği bilinmektedir. Bu aşamalar şu şekilde özetlenebilir;

a) Eğilme, sürtünme, çekilme gibi etkilerden herhangi biri nedeniyle iplik içindeki liflerden biri veya birkaçının hafifçe kıvrılarak, liflerin iplik yapısından dışarı çıkması,

b) Dışarıya doğru çıkan liflerin etrafının, lif yüzeyinden kopan diğer liflerin uçları ile sarılarak havların karmaşık lif topu oluşturması,

c) Dıştan gelen etkiler nedeniyle dışarıya doğru çıkan lifi saran liflerin birbirine iyice dolaşması ve dışarıya doğru çıkan lifin kendi üzerine doğru bükülerek boncuk şeklini alması,

d) Bağlantı liflerinin kopması nedeniyle boncuğun kumaş yüzeyinden uzaklaşması (Şekil 3.2)



Şekil 3.2: Boncuklanmanın oluşum mekanizması (Hauser,2004)

Kumaş boncuklanma mekanizması üzerine yapılan ilk çalışmalar 1959 yılında **Gintis ve Mead** tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada boncuklanma eğiliminin yüzeyde hav oluşumu, havların dolaşması sonucu boncuk oluşumu ve oluşan boncukların kumaş yüzeyinden uzaklaşması aşamalarının oluşum hızları tarafından belirlendiğini ifade etmişlerdir. Boncuklanma testinin yapıldığı aparata yerleştirilen mikroskop yardımıyla sürtünen kumaş yüzeylerinden çektikleri resimlerle kumaş yüzeyinde hav oluşumu kritik bir değere ulaştığında bunu hızlı bir şekilde boncuk oluşumlarının takip ettiğini ve lifler bükülüp dolandıkça çevre liflerinde

boncuk yapısına dahil olduğunu göstermişlerdir. Sürtünme devam ettikçe, oluşan boncukların yüzeyden uzaklaştığı belirlenmiştir.

Liflerin fiziksel özellikleriyle kumaşın yukarıda ifade edilen davranışı arasındaki ilişkiyi açıklamaya yönelik yürüttükleri çalışmalarda ise lif-lif sürtünmesi ile lifin eğilme rijitliğinin hav oluşumunda önemli bir rol oynadığını saptamışlardır. Kumaş yüzeyinden dışarı çıkan elyafın birbirine dolanma eğiliminin ise lif inceliği, kesit şekli, sertliği ve eğilme rijitliğine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Boncuğun kumaştan ayrılma hızının ise birinci derecede lifin aşınma dayanımı ve mukavemetine bağlı olduğunu göstermişlerdir.

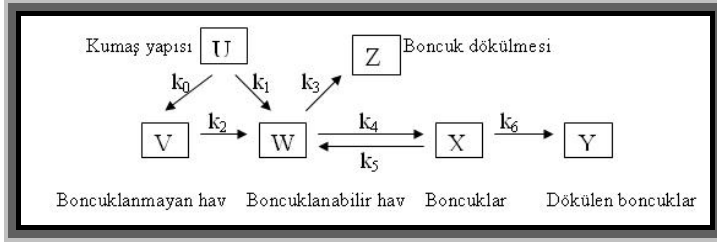
Her bir aşamada farklı liflerin davranışlarını değerlendirmek için bir düzenek oluşturmuşlardır. Oluşturdukları bu düzenekte tek kafalı bir boncuklanma test aparatı stereo mikroskop düzeneğine yerleştirilmiş ve kamera her bir dönüşte bir görüntü alacak şekilde test aparatına uydurulmuştur. Hav oluşumunun tamamen beklenmedik bir şekilde oluştuğu belirlenmiştir. Kumaş yüzeyindeki serbest lif uçları kumaş sürtündüğü ya da aşındırıldığı zaman daha fazla uzamamakta, tam tersine yeni havlar oluşarak gevşek liflerle birlikte bir halka oluşturmaktadır. İplik yapısından bir lif ucunun çıkması için sadece lifler arası sürtünme kuvvetinin yenilmesinin yeterli olmadığı ayrıca liflerin eğilmesi gerektiği belirtilmiştir. Sürtünme kuvveti, liflerin kopma mukavemeti değerini aştığında, lifler kumaş yüzeyine çıkmak yerine kopacaktır. Sürtünme sırasında zayıf liflerin kopması, daha fazla lif ucunun yüzeye çıkarak daha kısa ancak yoğun havlanmanın oluşmasına neden olacaktır. Kumaş yüzeyinde boncukların oluşabilmesi için lif tipine göre hav yüksekliğinin kritik bir hav yüksekliğine gelmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Boncuk oluşumunun 3 aşaması dikkate alındığında kumaş havlanma miktarını arttıran bir özelliğin kumaş boncuklanması üzerine büyük etkisi olduğu belirtilmiştir. Havların dolaşması aşamasında etkili olan lif özelliklerinde yapılan bir modifikasyonun boncuklanmayı çok fazla etkilemediği ancak boncuk dökülme aşamasındaki lif özelliklerinin çok önemli olduğu belirtilmiştir.

Boncuk oluşumunun ilk matematiksel modeli daha sonra B&B modeli olarak bilinen **Brand ve Bohmfalk (1967)** tarafından oluşturulmuştur. Modelde, boncuklanmayan, boncuk oluşturabilen hav ve dökülen boncuklar arasındaki ilişkilere bağlı olarak üç aşama detaylandırılmıştır. Modele göre başlangıçta kumaş (U), yapısına gizlenmiş halka şeklinde ve düz yapıda havlardan oluşmaktadır (V ve W). Kullanım sırasında, halka şeklindeki lif uçları (V) dışarı çıkmakta ve uzun havlar (W) birleşerek boncuk oluşturmaktadır (X) ya da kumaş yüzeyinden sürtünme sırasında yok olmakta ya da birleşmeden kopup uzaklaşmaktadır (Z). Birleşmiş lifler kullanım sırasında, uzun hav şekline (W) dönmekte ya da kumaş yüzeyinden dökülmektedir (Y). Boncuk oluşumu ve boncukların kumaş yüzeyinden ayrılmasını ile reaktif grupların kimyasal reaksiyonlardaki kinetik hareketleri arasındaki benzerliği fark ederek oluşturdukları kinetik model aşağıdaki eşitliklerde verilmektedir. Eşitlikteki büyük harfler, her aşamadaki liflerin ağırlığını (örneğin W , boncuklanabilir havlar aşamasındaki materyalin ağırlığı), t süreyi, k her bir dönüşüm prosesi için hız sabitlerini ifade etmektedir. Son derece kompleks olan bu model, 7 adet hız sabiti içermektedir.

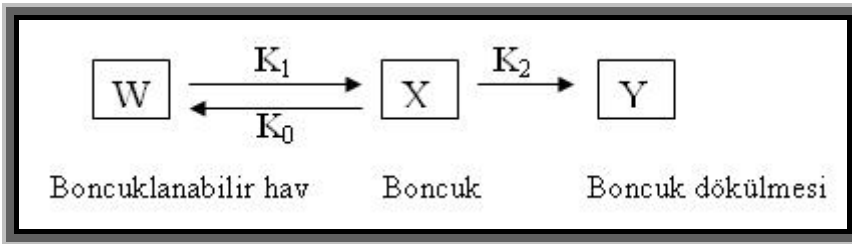
- ❖ $dU/dt = -(k_1 + k_0)U$
- ❖ $dV/dt = k_0U - k_2V$
- ❖ $dW/dt = k_2V + k_5X - (k_3 + k_4)W + k_1U$
- ❖ $dX/dt = k_4W - (k_5 + k_6)X$
- ❖ $dY/dt = k_6X$
- ❖ $dZ/dt = k_3W$

Modeli oluşturan eşitliklerdeki k_0 hız sabiti, kumaş yapısından (U) çıkan lif halkalarının ve kısa havların oluşum hızını; k_1 , kumaş yapısından (U) çıkan boncuklanabilir hav oluşum hızını; k_2 , lif halkaları ve boncuklanmayan havların (V) yapısından çıkan boncuklanabilir hav (W) oluşum hızını; k_3 boncuklanabilir havların (Z) dökülme hızını; k_4 , boncuk oluşturan liflerin (X) bir araya gelme hızını; k_5 , boncukların tekrar hav şekline dönme hızını; k_6 , boncuklanmış liflerin dökülmesiyle boncukların kaybolması hızını ifade etmektedir. U, sonsuz sayıda lif içeren kumaş olmak üzere, k_1U ve k_0U çarpımları, V ve W durumlarına sürekli olarak lif besleyen K_0 ve K_1 sabitleri olarak basitleştirilebilir. Modelde k katsayılarının, kumaşların boncuklanma eğilimlerini belirleyen en önemli parametreler olduğu ve lif kıvrımlılığı, inceliği, mukavemeti gibi lif özellikleri ile iplik ve kumaş özelliklerine bağlı olduğu belirtilmiştir. Katsayıların zamana bağlı lif konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarla belirlenebileceği ifade edilmiştir.



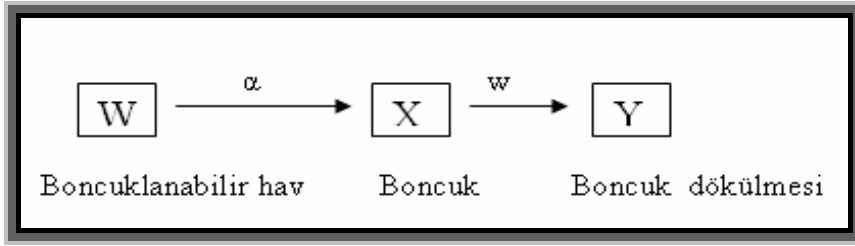
Şekil 3.3: Boncuklanma mekanizması (Brand ve Bohmfalk modeli)

Conti ve Tassinari (1974), Gintis ve Mead'ın çalışmalarından yola çıkarak, boncuk oluşumunun başlamasından önce hızlı bir şekilde havlanmanın oluştuğunu öne sürerek modeli oldukça basitleştirmişlerdir. Bu model, kumaşın boncuklanma eğrisinden kolayca hesaplanabilen, toplam boncuk sayısı, boncuk oluşum hızı, boncuk dökülme hızı olmak üzere 3 sabit içermektedir. Boncuklanma oluşumu gerçekleşmeden, yaklaşık olarak boncuklanmaya neden olabilecek hav sayısını (W) tespit etmeye çalışmışlardır. K_1 parametresi boncuk oluşturacak (X) birbirine girmiş hav oranını, K_2 boncuk dökülme hızını, K_0 birbirine karışmış liflerin çözülmesiyle boncukların ortadan kalkma hızını belirtmektedir.



Şekil 3.4: Boncuklanma mekanizması (Conti ve Tassinari modeli)

Oluşan boncukların tekrar hav şekline dönüşme aşamasını da göz ardı ederek modeli daha da basitleştirmişlerdir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Basitleştirilmiş boncuklanma mekanizması

Basitleştirilmiş modelde, α sabiti boncuk oluşum hızını, w boncuk dökülme hızını belirtmektedir. Boncuklanabilecek havların (W), test sırasında oluşan boncukların toplam sayısı olarak ifade edilebileceği, böylece Brand ve Bohmfalk tarafından da gözlemlendiği gibi hav yoğunluğunun ölçümünde karşılaşılan fiziksel zorlukların ortadan kalkabileceği belirtilmiştir.

Cooke ve Arthur (1981), daha önce geliştirilmiş modellerin uygulanmasında yaşanabilecek zorlukları belirtmişlerdir. Conti ve Tassinari tarafından geliştirilen modelde yer alan W, X, Y, α ve w katsayılarının herhangi bir boncuklanma test metodunun sonuçlarının analiz edilerek hesaplanabileceğini ancak Brand ve Bohmfalk modelinde yer alan k_0, k_1, k_2 katsayılarının ve U, V ve W hav konsantrasyonlarının direkt olarak ölçülmesinin zor olduğunu ifade etmişlerdir.

Bu tür modellerin kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde, modelin performansının iki ayrı kriterine göre değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu kriterler, modelin yapısı ve çözümünün, boncuklanma prosesinde oluşan fiziksel değişimleri anlamaya yardımcı olup olmadığı ve modelin yeni geliştirilen liflerin boncuklanma özelliğinin tahminlenmesinde bir araç olarak kullanıp kullanılmayacağı olarak ifade edilmiştir.

Optik ve elektron mikroskobu aracılığıyla alınan görüntüler yardımıyla kısa elyafli ipliklerden üretilen kumaşların boncuklanma süreci için bir model belirlemişlerdir. Diğer modellere göre çok daha karmaşık olan bu model 17 hız sabiti içermektedir. Ancak özellikle boncukların, boncuklanabilir hav şekline dönüşme hızının (K_{10}) zamanla değişiklik göstermesi ve 17 hız sabiti ile 9 bileşenden oluşan bu karmaşık modelin dinamik olarak modellenmesinin çok zor olması nedeniyle lifler, iplikler ve kumaşlar üzerinde mukavemet ve diğer testlerle kolaylıkla ölçülebilecek parametrelerden oluşan bir model geliştirmek için bilgisayarlı simülasyon tekniğini kullanmışlardır. Tüm kumaş yüzeyindeki boncukların hareketini simüle etmek gerçekçi olmayacağından, tek bir boncuğun oluşumu ve gelişiminin simüle edilmesine karar verilmiştir. Daha sonra da tek boncuğun hareketi tekrarlanarak ve desen matrisi kullanılarak tüm kumaş yüzeyinde oluşan boncuk hareketi tespit edilmiştir. Kumaş yüzeyi 2 boyutlu olmasına rağmen modelin tek boyutlu olması, kumaş yüzeyinde oluşan boncuğun, gerçekte kumaş yüzeyinden uzaklaşması için gerçekleşen hareket sayısı yüzler ya da binler seviyesinde iken modelde onlar ya da yüzler seviyesinde olması modelin daha da geliştirilmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır.

Cooke (1982), tarafından gerçekleştirilen çalışmada taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile kullanılmış giysilerin yüzeyi incelenmiş ve boncuk oluşumundan önce liflerde deformasyonun meydana geldiği tespit edilmiştir. Boncuklanma oluşumunun ilk aşamasında liflerin bir araya gelmesi sırasında liflerde oluşan deformasyonun, kullanım sırasında kumaş üzerindeki normal kuvvetlere, kumaşın yapısındaki liflerin torsiyonel ve eğilme dayanımlarına, nem içeriklerine, sürtünme katsayısına, kumaş dokusuna bağlı olduğu belirtmişlerdir. %100 pamuk, %100 tekstüre naylon,

%67polyester(1.7dtex)-%33 pamuk ve %100 polyester (2.5 dtex) liflerinden üretilmiş kumaşların taramalı elektron mikroskobu ile çekilen fotoğrafları incelendiğinde, oluşan bir boncuk çevresindeki pamuk ve polyester liflerinin önemli ölçüde deformasyona uğradığı belirlenmiştir. Çalışmada taramalı elektron mikroskobu ile sadece çok küçük bir alanda inceleme yapılabildiği için öncelikle boyama tekniği kullanılarak hasar görmüş liflerin belirlenmesi önerilmiştir. Çünkü dispers boyarmaddesinin hasarlı bölgelere daha fazla girebildiği tespit edilmiştir. Boncuk oluşumundan önce meydana gelen lif deformasyonunun boncuklanma evresinde iki şekilde etkisinin olacağı belirtilmiştir. Öncelikle, önemli ölçüde lif kaybının boncuğun büyümesi için gerekli hav yoğunluğunu azaltacağı ve ikincisi, lif kırılmalarının olduğu bölgelerde, zarar görmemiş bölgelere göre liflerin daha düşük eğilme dayanımına sahip olduğu ve bu bölgelerin dönme noktaları olarak davrandığı açıklanmıştır. Liflerin bu eğilme noktaları, hem liflerin birbirine dolaşması hem de boncuğun büyümesi aşamalarını etkilediği ifade edilmiştir.

Cooke (1983), çalışmasının ikinci aşamasında liflerin birbirine dolaşması ve boncuğun büyümesi aşamalarını incelemiştir. Boncuk oluşumu başlangıç mekanizmasının, kumaş yüzeyinin mikro yapısında bir tur gibi çok kısa bir sürede meydana gelmesi nedeniyle gözlenmesinin çok zor olduğu belirtilmiştir ve boncuklanma test aparatına yerleştirilen bir düzenek yardımıyla prosesin yavaşlatılmış görüntüleri elde edilebilmiştir. Boncuk büyüme aşamasının gözlenebilmesi için pamuk-pes karışımı interlok bir örme kumaştan üretilmiş atlet 3 günlük süreyle giyilmiş ve her gün yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Giyilmiş ve yıkanmış 5x6 cm boyutlarında kesilen kumaş numuneleri her biri 1cm² alanı ifade edecek şekilde 5 sıra ve

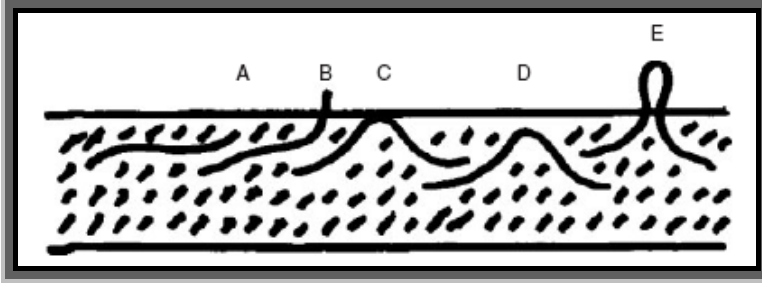
6 sütün şeklinde numaralandırılmıştır. Her bir günlük kullanım periyodunun ardından numuneler mikroskop altında incelenerek hav ve boncuk gelişimi gözlenmiştir. Sonuçlar kumaş yüzeyinde boncukların aniden ve çabuk bir şekilde gelişmediğini ve boncuk başlangıç ve gelişiminin 6 aşamadan oluştuğunu göstermiştir. Buna göre aşamalar şu şekilde sıralanmıştır: (i) yüksek hav yoğunluğuna sahip alanın saptanması (ii) bu alan içerisinde gevşek bir lif karışıklığının oluşması (iii) lif karışıklığının, sıkı bir lif kümesi şekline dönüşmesi (iv) sıkı tutunan liflerin farklı bir boncuk oluşturmak için uzaması (v) boncuğun yer değiştirmesiyle bazı bağlantı liflerinin kıvrılması (vi) geri kalan liflerin kırılması ve boncuğun kaybolması. Yapılan çalışmada 36 günlük giyim denemelerinde sadece 5 boncuktan 2'si 6. aşamaya kadar ulaşabilmiştir. Ancak yıkama işleminin havlanmayı ve boncuk oluşumunu önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca analiz sırasında daha çok yabancı liflerin boncukların kumaş yüzeyinde biriktiği tespit edilmiştir. Lif hasarlarının her şamada tespit edilebilmesi için lekeleme tekniği kullanılmıştır ve (i), (ii) ve (iii) aşamalarında, büyüyen boncuk içerisindeki kırılmaların oldukça az olduğu ancak oluşan boncuk sıkılaştıkça, sıkı tutunan liflerde kırılmaların başladığı, bu deformasyonun hızlı bir şekilde boncuk yapısına doğru ilerlediği belirlenmiştir. Boncuk yapısının sıkılaşmasıyla, bağlantı noktalarının yapının içerisinde sıkıca kilitlendiği ve sürtünme kuvvetlerinin etkisiyle liflerin kendilerini daha fazla düzeltemedikleri için, bağlantı yerlerindeki kuvvetin gittikçe arttığı belirtilmiştir. Boncukların büyümesinde kumaş yapısından çıkan lifler rol oynamaktadır. Yüksek büküm katsayısı ve sıkı kumaş yapılarında liflerin kumaş yüzeyinden çıkmasının düşük ve boncuk büyümesinin kısıtlı olduğu ve ayrıca yüksek mukavemete sahip liflerin

hareketliliğinin az olması nedeniyle kumaş yüzeyinde kalacağı belirtilmiştir. Ayrıca deformasyona uğrayan lif bölgelerinde azalan eğilme modülünün, boncuk yapısı içerisinde liflerin daha küçük eğilme çapında olmasına neden olacağı, dolayısıyla başlangıçta birbirine dolaşan liflerin geniş, düzgün bir kıvrımlılık gösterirken, deformasyona uğrayan liflerin artmasıyla daha sıkı bir yapının oluşacağı ve boncuk morfolojisinin değişeceği belirtilmiştir.

Hearle ve Wilkins (2006), boncuklanmanın mekanik modelini genel hatlarıyla incelemiştir ve boncuklanma simulasyonu için bir sistem oluşturmuştur. Daha önce oluşturulan modellerin hatalarını ortaya çıkararak, liflerin difüzyonu ve kumaş yüzeyinden çekilmesi için daha kapsamlı bir model oluşturmuşlardır. Brand & Bohmfalk tarafından geliştirilen modelin boncuklanmada gerçekleşen mikro mekanik ve mikro dinamik prosesleri göz ardı ettiği, modelde yer alan U,V durumlarının, farklı büyüklük ve yerlerdeki liflerin istatistiksel dağılımının olması gerektiği, modelin çok kısa hav liflerinin varlığında bile boncuk oluşumunu tahminlemesinin doğru olmadığı, dU/dt hızının zamanla değişeceği belirtilip; B&B modelinin terminolojileri kullanılarak yeni bir model geliştirilmiştir. Modelde boncuklanabilir ve boncuklanmayan havlar atılmıştır.

Modelde belirli lif uzunluğu (L) (m), lif çapı (R) (m), lif yoğunluğu (M) (kgm^{-1}) olan liflerden üretilmiş, T (m) kalınlığında, A (m^2) alanında ve alan yoğunluğu C (kgm^{-2}) olan bir kumaş ele alınmıştır. Boncuklanma prosesinde ki her bir aşamada materyal ağırlığı $U(\text{kumaş})$, $V(\text{hav})$, $X(\text{boncuk})$, $Y(\text{düşen boncuk})$, $Z(\text{düşen hav})$ (kg) olarak düşünülmüştür. Hav ve boncukların ağırlığı ihmal edilirse $U=CA$ olacaktır. Başlangıçta kumaş yapısında lif ucu kumaş yapısına gömülü olan lifler, serbest uçlu lifler, yüzeye farklı uzaklıklarda yer alan potansiyel lif halkaları ve hav şeklinde

lif halkaları olmak üzere farklı lif gruplarının yer aldığı açıklanmıştır (Şekil 3.6). Modelde gerçekleştirilen detaylı analiz serbest lif uçları ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 3.6: Kumaş yapısında başlangıç aşamasında yer alan lifler. (A:lif ucu kumaşa gömülü lifler, B: serbest lif ucu, C, D:potansiyel lif halkaları, E:hav şeklindeki lif halkası)

$$\text{Toplam lif sayısı} = \text{Serbest uçlu lif sayısı} = CA/LM$$

$$\text{Serbest uçlu lif konsantrasyonu (sayı/m}^3\text{)} = N_u = U/LMAT = C/LMT \text{ `dir.}$$

İki boyutlu kumaş yüzeyinin (x,y) koordinatlarının δ^2 'lik alanlara bölüdüğü düşünülürse, başlangıç havının L_f uzunluğunda olmak üzere (x,y) hücresinde bulunma olasılığı $P(x,y,L_f)$ dağılımı ile ifade edilebilir.

Kumaşın kullanımı ve yıkanması sırasında, lif uçlarının kumaş yüzeyine doğru hareket edeceği belirtilmiş ve $t(s)$, lif düzensizliğinin başlamasından itibaren geçen süre; $D_u(ms^{-1})$, lif uçlarının yüzeye hareket hızı; $dt = N_u AD_u$ zamana bağlı geçilen yüzey sayısı olmak üzere, t süre sonra hav şekline dönüşen lif sayısı aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir.

$$N_{fizz} = \int_0^t (N_u AD_u) dt = (N_u AD_u) t = CAD_u t / LMT$$

Nu ve Du sabit kalmak üzere zamanla hav yapısına dönüşen ortalama lif uzunluğu $dt=1/2D_u dt$, zamanla kumaş yapısındaki kütle değişimi;

$dU/dt=-1/2(D_u^2/LT)Ut$ (kgs^{-1}) olacaktır. Eşitlikten de anlaşılacağı gibi dU/dt değeri, zamanla yeni hav liflerinin oluşması ve mevcut havların büyümesiyle artacaktır.

Liflerin kumaş yüzeyine doğru hareket hızı, kullanım sırasında liflerde oluşan enerjiyle, sürtünme dayanımı arasındaki oran olmak üzere $dU/dt=-\lambda Ut$ şeklinde basitleştirilmiş ve U_0 başlangıçtaki kumaş ağırlığı olmak üzere $U=U_0(1-1/2\lambda t^2)$ eşitliği elde edilmiştir. Ancak bu eşitliğin sonraki aşamalar için geçerli olamayacağı, difüzyon hızının gevşek tutunmuş liflerin kumaştan ayrılmasıyla birlikte azalacağı belirtilmiştir. Liflerin difüzyonunun, dıştan gelen kuvvet yoğunluğu, kumaş hacimliliği, liflerin kıvrımlılığı ve lif çapının artmasıyla aratacağı; iplik büküm sayısı, sürtünme katsayısı, eğilme direncinin artmasıyla azalacağı belirtilmiştir.

Hav liflerinin uzunluğu arttıkça, serbest lif uçlarının üzerindeki çekme kuvvetleri, havların büyümesine sebep olacaktır. Çekme kuvvetleri, kumaş yüzeyindeki sürtünme ve yıkama sırasındaki mekaniksel etkilerle ortaya çıkmaktadır. Lifleri sürtünmeye karşı kumaş yapısından çıkarmak için gerekli enerjinin dirence oranı olarak ifade edilen çekme kuvveti D_{drag} ve hav uzunluğu L_{fuzz} olmak üzere, liflerin zamanla kumaş yapısından ayrılma hızı $dU_{drag}/dt=-L_{fuzz}(MD_{drag})(kgs^{-1})$ eşitliğiyle hesaplanabilir ve lif kaybı veya hav büyüme hızı hav uzunluğu arttıkça artacaktır.

Modelde hav liflerinin büyümesinin, liflerin yüzeye çıkış hızıyla, çekim kuvvetleri nedeniyle liflerin çıkma hızının toplamına eşit olduğu ($D_{fuzz}=D_u+D_{drag}$) belirtilmiştir. Kumaş kullanıldıkça ve giyildikçe, hav

büyümesinin sabit kalamayacağı, belirli bir uzunluktan sonra, liflerin iplik yapısında sıkışacağı, dolayısıyla D_{fuzz} değerinin 0'a yaklaşacağı belirtilmiştir. Lif kilitlenmesinin, boncuklanmanın sürekli devam ettiği gevşek kumaşlar dışında boncuklanmanın kendini kısıtlayan bir proses olmasına neden olduğu belirtilmiştir. Liflerde zayıf yerler olmadığı sürece, hav liflerinin sadece tekrarlı eğilme ve bükülmelere maruz kaldığı bölgelerde oluşan deformasyon nedeniyle kopabileceği ve havın kumaş yapısından uzaklaşmasının, yeni bir lifin yüzeye çıkmasına neden olacağı belirtilmiştir.

Boncuk oluşum kriterinin, birbirleriyle dolaşabilecek kadar yeterli uzunluktaki iki ya da daha fazla hav şeklindeki lifin bir araya gelmesi olduğu ifade edilmiştir. Başlangıç uzunluğu L_i olan bir lifin t süre sonra hav uzunluğu L_{fuzz} ; t_{Du} , lifin kumaş yüzeyine ulaşması ve hav şekline dönüşmesi için geçen süre olmak üzere, $L_{fuzz} = L_i + D_{fuzz} (t - t_{Du})$ `dir. Boncuk oluşumu için kritik uzunluk L_c , lifin kritik uzunluğa ulaşması için geçen süre t_c olmak üzere $t_c = t_{Du} + (L_c - L_i) / D_{fuzz}$ `dir.

Oluşan boncuğun büyümesinde iki aşama olduğu belirtilmiş ve bunlar aniden kumaşın yapısından çıkan lifin boncuğa tutunması ve kumaş yapısından çıkan lifler nedeniyle oluşan gevşeme sayesinde liflerin yüzeye çıkma direncinin azalması ve kumaş yapısındaki liflerde oluşan hasar nedeniyle lif üzerindeki gerginliğin artışına bağlı olarak belirli bir sürede liflerin yüzeye çıkararak boncuk yapısına girmesidir.

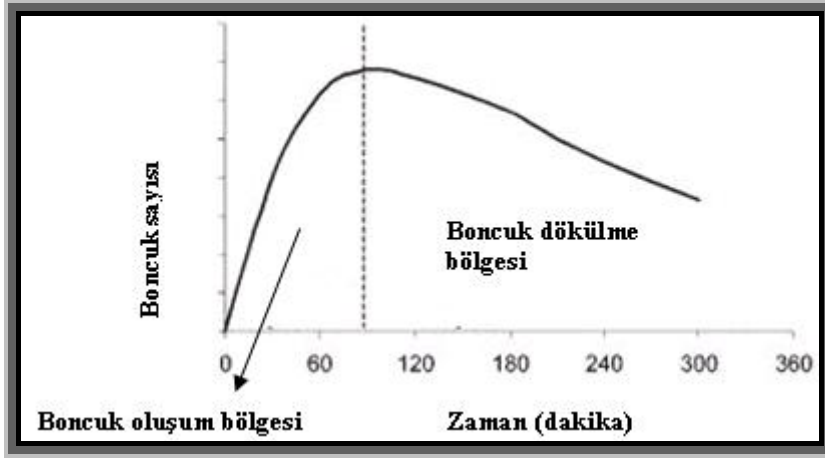
Oluşan boncukların kumaş yüzeyinden ayrılmasıyla ilgili iki görüş öne sürülmüştür. Birinci görüşte, boncuk büyümesinin ilk aşamalarında, iletilen kuvvet, liflerin azalan çekim kuvvetine eşit olana kadar artmaktadır. Boncuk

belirli bir büyüklüğe geldiğinde, dayanım çok hızlı düşecek ve dış kuvvet daha büyük boncuk nedeniyle artacaktır. İletilen kuvvet, kayma direncini yenmek için gerekli seviyeye gelmeden bağlantı noktasında kopma gerçekleşecektir. Diğer görüş ise, liflerin çekme kuvveti, bağlantı lifi kumaşta tamamen kilitlenene kadar arttığında boncuk kopmasının gerçekleştiği şeklindedir.

Çalışmada detaylı bir şekilde açıklanan boncuklanma mekanizmasının yanında, kumaş boncuklanmasının problem yaratmayan bir durum olmasının liflerin, yapısında sıkı bir şekilde tutulduğu, ancak aynı zamanda hacimli ve yumuşak bir kumaş yapısının geliştirilmesiyle mümkün olduğu belirtilmiştir.

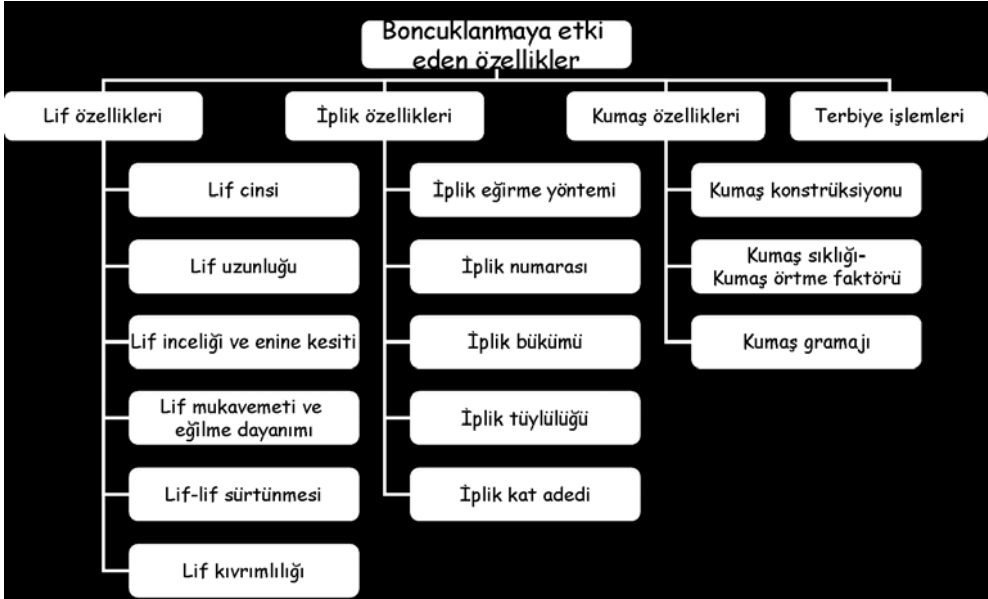
4. KUMAŞ BONCUKLANMA ÖZELLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Boncuklanma, boncuk oluştuğunda ve döküldükçe devam eden dinamik bir süreçtir. Eğer oluşum hızı dökülme oranından fazlaysa, kumaş yüzeyinde boncuk birikmesi görülmektedir. Bir mamulün boncuklanma davranışını karakterize eden en iyi yöntem boncuklanma eğrisidir. Bu eğri standart bir alanda ölçülmüş olan boncukların sayısını veya uygulanan mekanik hareket süresince oluşan boncuklanmanın derecesini göstermektedir.



Şekil 4.1: Boncuklanma eğrisi

Boncuk oluşum hızı; lif uçlarının sayısı, lineer yoğunluk, uzunluk, enine kesit, iplik bükümü ve kumaş konstrüksiyonu gibi çeşitli lif, iplik ve kumaş özelliklerine bağlıdır (Şekil 4.2). Liflerin iplik yüzeyine göç etmesine izin veren herhangi bir kombinasyon da boncuklanma hızını artırmaktadır. Bu bölümde kumaş boncuklanma özelliğini etkileyen lif, iplik ve kumaş özellikleri açıklanacaktır.



Şekil 4.2: Boncuklanmaya etki eden özellikler

4.1 Lif Özelliklerinin Etkisi

Boncuklanma ile ilgili çalışmalar, boncuklanmanın üç farklı aşamada meydana geldiğini göstermiştir. İlk olarak, lifler mekanik etkiler sonucunda yüzeye çıkmakta, daha sonra yüzeye çıkan bu lifler, karışıp birbirine dolaşarak boncuğa benzer bir yapıya dönüşmektedir. Son olarak da oluşan boncuk, kumaş yüzeyinden düşerek ayrılabilir. Verilen bir kumaşta bu basamakların oluşum oranı veya değeri, kumaşın üretilmiş olduğu lifin fiziksel özellikleri ile tespit edilebilmektedir (Ukponmwan, 1998).

Gintis ve Mead (1959) tarafından belirlenen boncuklanmanın 3 temel adımı ve bu adımlara etki eden lif özellikleri Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1: Boncuklanma aşamalarına etki eden lif özellikleri

Aşama	Lif özellikleri
Hav oluşumu	Sürtünme özelliği Sertlik Kopma mukavemeti Aşınma direnci
Havların birbirine dolaşması	Lif şekli İncelik Sertlik Eski haline dönme yeteneği Aşınma direnci Uzama
Boncukların dökülmesi	Kopma mukavemeti Esneme özelliği

Boncuklanmayı etkileyen lif özellikleri, lif tipi, incelik, uzunluk, kopma mukavemeti, uzama, esneme özelliği, eğilme rijitliği ve lif şekli olarak sıralanabilir.

Hav oluşum aşamasında lif-lif sürtünmesi ve eğilme rijitliği önemli rol oynayan lif özellikleridir. Liflerin birbirleri ile karışma eğilimi aşaması lif inceliği, enine kesit şekli ve sertliği ile ilişkili iken boncuk dökülmesi aşamasında aşınma direnci, eğilme rijitliği ve esneme özelliği önemli rol oynamaktadır.

4.1.1 Lif tipi

Bütün doğal, suni ve sentetik liflerin az ya da çok boncuklanma eğilimi vardır. Özellikle yünlü kumaşlarda düşük mukavemet nedeniyle oluşan boncuklar kolayca kopmakta ve kumaş yüzeyinden uzaklaşmaktadır. Oysa naylon gibi sentetik liflerden yapılmış kumaşlarda lifler kopmadan daha yüksek kuvvetlere direnmektedir. Bu nedenle bu tür kumaşlarda boncuk miktarı ve dayanıklılık süresi daha fazladır (Özgül, 2003).

Naylon yüksek mukavemeti, orta düzeydeki lif - lif sürtünmesi ve düşük sertlik özelliği nedeniyle havlanmaya eğilimi olan lifler arasındadır. Yün ve asetat lifleri düşük mukavemetli liflerdir ve bu nedenle lifler dışarı çıkmak yerine kırılırlar ve bunun sonucunda kısa havlar oluşturmaktadır. Viskon liflerinden üretilen kumaşlarda ise orta düzeyde bir eğilim görülmektedir (Ukponmwan, 1998).

Genelde farklı lif karışımlarından yapılmış kumaşlarda lifler arasındaki uyuşmazlık nedeniyle, tek bir lif çeşidinden yapılmış kumaşlara göre daha fazla boncuklanma görülmektedir (Ukponmwan, 1998).

4.1.2 Lif uzunluğu

Uzun lifler, kısa liflere nazaran daha iyi eğrilebilmekte ve kumaş yüzeyinde daha az çıkıntı lif uçları oluşturmaktadır. Ayrıca uzun lifler, iplik yüzeyine göç etmeye karşı daha fazla direnç göstermeleri ve birim alanda çıkıntı oluşturan liflerin sayısının az olması nedeniyle kısa liflere nazaran daha az boncuklanma eğilimindedir.

Karışımlarda lif uzunluğu ve çeşitli lif tiplerinin çapları birbirlerine yakın değerlerde olmalıdır. Değişik lif uzunluklarına ve mukavemet değerlerine sahip liflerin birlikte kullanılması sonucu boncuklanma artmaktadır. Uzun liflerin kumaş yapısından kolayca çıkması durumunda daha büyük boncuklar oluşabilmektedir.

4.1.3 Lif inceliği

İnce liflerden üretilen iplik kesitinde hav oluşturabilecek lif sayısı fazladır. Dolayısıyla ince liflerden üretilen ipliklerden oluşturulan kumaşların boncuklanma eğilimi, kalın liflerden üretilenlere göre daha fazladır. Ayrıca kalın lifler sert oldukları için boncuk oluşumu daha zor

olmaktadır. Karışımlarda kullanılan liflerin inceliği çok önemlidir ve birlikte kullanılan liflerin benzer inceliklerde olması gerekmektedir.

4.1.4 Lif enine kesit şekli

Dairesel kesite sahip, pürüzsüz yüzeyli lifler kolaylıkla kumaş yüzeyine göç edebildiği için boncuklanma eğilimi daha yüksektir. Yıldız kesit gibi düzensiz kesitli ve engebeli lif yüzeyleri boncuklanma oluşumunu azaltmaktadır. Lifin yassılığı arttıkça veya lif üç-beş loplu düzensiz kesite sahip olduğunda; lifin boncuklanma eğilimi azalmaktadır. Pamuk gibi şerit kesite sahip lifler başlangıçta yüksek oranda hav oluşturma eğilimindedirler ve daha sonra bu oran gittikçe azalmaktadır, yuvarlak liflerden üretilmiş kumaşların boncuklanmasına göre daha az boncuklanma meydana gelmektedir. Yuvarlak kesitli liflerle şerit kesitli liflerin havlanma eğilimleri arasındaki fark, eğilme ve sürtünme etkilerine bağlıdır (Ukponmwan, 1998).

4.1.5 Lif mukavemeti ve eğilme direnci

Liflerin mukavemet ve eğilme direnci, boncuklanma özelliklerini etkilemektedir. Gerilme ve eğilme direnci düşük olan liflerden üretilen kumaşlarda oluşan boncuklar kolayca koparak kumaş yüzeyinden uzaklaşmaktadır. Bu nedenle lif mukavemetini azaltarak boncuklanmayı belirli bir oranda kontrol etmek mümkündür. Böylece boncukların kumaş yüzeyinden koparak ayrılma hızı, oluşma hızından fazla olacağından boncuklanma kontrol altına alınmış olmaktadır.

Doğal lifler gibi düşük mukavemetli liflerde boncuklar daha kısa sürede oluşmakta ve koparak kumaş yüzeyinden ayrıldığı için ömrü kısa olmaktadır. Daha mukavemetli sentetik liflerde ise boncuğun oluşması uzun sürmekte ve kopmadan yüksek sürtünme kuvvetlerine direnebilmekte, ayrıca bu liflerin elektrostatik özellikleri, boncukların merkezinde yer

alabilen yabancı maddelerin daha kolay çekilmesini sağlamaktadır (Özdil, 2003).

4.1.6 Lifler arası sürtünme

Bir iplik içerisindeki lif-lif sürtünmesi, liflerin eğilmesi, iplik ve kumaşların fiziksel özelliklerini etkileyen bir özelliktir. Kullanım sırasında meydana gelen aşınma nedeniyle liflerin kumaş yüzeyine çıkmasını etkilemektedir. İplikte liflerin kayma eğilimi, aşındırma etkisi sırasında hav oluşum miktarını belirlemektedir. Yüksek lif-lif sürtünmesi durumunda, daha fazla lif ucu iplik yapısında yer aldığından, havlanma ve boncuklanma eğilimini azalmaktadır (Campos, 2003).

4.1.7 Lif kıvrımlılığı

Lif kıvrımlılığında artış, boncuklanma eğiliminde azalmaya neden olmaktadır.

4.2. İplik Özelliklerinin Etkisi

İplik inceliği, tüylülüğü, büküm sayısı, kat sayısı, eğirme yöntemi gibi çeşitli faktörlerin kumaş boncuklanma eğilimi üzerinde etkisi bulunmaktadır.

4.2.1 İplik numarası

Örgü kumaşlar üzerinde yapılan çalışmalarda genel olarak, iplik incelidikçe büyük boncuk oluşumu azalırken, küçük ve orta büyüklükteki boncuk oluşumunun arttığı belirlenmiştir (Ukponmwan, 1998). Örne kumaşlarda diğer özellikler sabit kaldığında iplik kalınlaştıkça boncuklanma eğilimi azalmakta, incelidikçe artmaktadır. Çünkü ince ipliklerde örülen kumaşlarda daha açık bir ilmek yapısı oluşacağından liflerin hareketi daha kolay olmaktadır (Özdil, 2003).

4.2.2 İplik tüylülüğü

Tüylülüğü az olan ipliklerde daha az boncuklanma görülmektedir. Tüylülüğe neden olan çıkıntılı lifler veya lif halkalarıdır. Dolayısıyla iplik yapısından dışarıya doğru çıkan lif sayısı azaldıkça boncuklanmanın azalması beklenmektedir. Barella tarafından özellikle iplik yapısından çıkan 3mm'den daha uzun liflerin önemli olduğu belirtilmiştir. Naylon ve karışımlarından üretilen kumaşların boncuklanma özelliği üzerine yapılan bir çalışmada da boncukların büyümesinin iplik yapısından çıkan liflerin sayısı yanında çıkan lif uçlarının uzunluklarına da bağlı olduğu belirtilmiştir. Beltran ve arkadaşları (2007) tarafından yapılan bir çalışmada örme kumaşların boncuklanma eğiliminde önemli bir değişikliğin ancak iplik tüylülüğünde büyük bir azalma ya da artış olması durumunda gözlenebileceği belirtilmiştir. İplik tüylülüğünde % 46'lık bir azalmanın bile kumaş boncuklanma özelliğinde sadece yarım derecelik bir iyileşme sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca hav yapısının yani iplik yapısından çıkan liflerin bir ucundan ipliğe tutunma derecesinin boncuk oluşumu üzerinde daha büyük etkisi olduğu belirtilmiştir.

4.2.3 İplik büküm sayısı

İplik büküm sayısı fazla olan ipliklerde lif hareketi engelleneceği için kısa lifler yüzeye çıkamamakta ve boncuklanma eğilimi azalmaktadır. Bununla birlikte bükümün çok fazla arttırılması kumaş tutum ve görünüşünü olumsuz yönde etkileyeceği için büküm belirli bir ölçüde arttırıldığında avantaj sağlamaktadır (Özdil, 2003).

4.2.4 İplik kat adedi

Katlı ipliklerle yapılan deneysel çalışmalar kat adedi arttıkça lif hareketlerinin az olması nedeniyle boncuklanma eğiliminin azaldığını

göstermiştir (Özdil, 2003). Tek katlı ipliklerden yapılmış kumaşların boncuklanma eğilimi, katlı ipliklerden daha fazladır. Bunun nedeni ise tek katlı iplik yüzeyinden çıkan liflerin ikinci kez verilen büküm etkisiyle bir miktar iplik içerisinde tutulmasıdır.

4.2.5 İplik eğirme yöntemi

Kullanılan iplik eğirme yönteminin kumaşların boncuklanması üzerine önemli etkisi bulunmaktadır. Ring, rotor ve hava jetli ipliklerden üretilen örme kumaşlar arasında hava jetli ipliklerden üretilen kumaşların boncuklanma eğiliminin en az olduğu belirlenmiştir. Paralel liflerin oluşturduğu öz liflerinin üzerine liflerin sıkıca sarılması nedeniyle hava jetli ipliklerden üretilen kumaşlarda boncuk oluşum hızı diğerlerine göre daha düşüktür. Ring ipliklerden oluşturulan örme kumaşların rotor ipliklerden üretilenlere göre daha az boncuklanma özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Rotor ipliklerinden üretilen kumaşların en düşük dirence sahip olması, rotor ipliklerinde lif oryantasyonunun zayıf olmasıyla açıklanabilmektedir. Ring iplik eğirme yönteminde iplik eğirme sırasında uzun lifler iplik merkezinde kalırken kısa lifler iplik kenarlarında kalmakta ve bu nedenle boncuklanma eğilimi yükselmektedir (Alston, 1992).

Kompakt ipliklerden üretilen kumaşların boncuklanma eğiliminin, iplik tüylülüğünün daha az olması nedeniyle konvansiyonel ring ipliklerden üretilen kumaşların boncuklanma eğiliminden daha düşük olduğu belirlenmiştir (Özgüney ve arkadaşları, 2003).

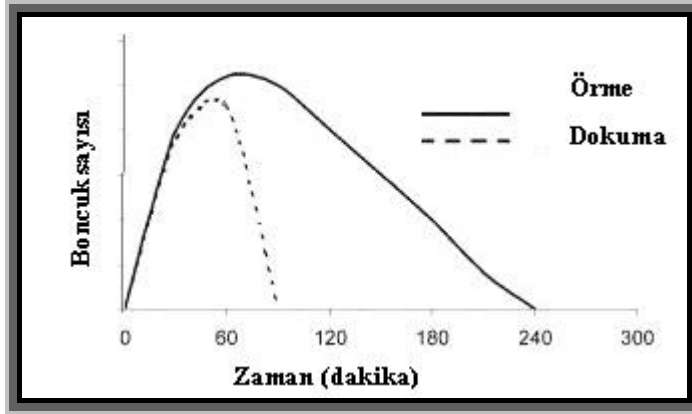
4.3 Kumaş Özelliklerinin Etkisi

Kumaşların boncuklanma özelliklerini etkileyen en önemli kumaş özelliği kumaş yapısı (örme ya da dokuma), kumaş dokusu ya da örgü tipi, kumaş sıklığı ve kumaş gramajıdır.

4.3.1 Kumaş tipi

Örme kumaşlar, dokuma kumaşlara göre daha gevşek yapıdadırlar ve daha düşük bükümlü iplikler kullanılarak üretilmektedirler. Bu nedenle örme kumaşlarda lifler ve iplikler arasında daha büyük boşluklar bulunmaktadır ve liflerin yüzeye göç etmesi daha kolaydır. Dolayısıyla örme kumaşlarda dokuma kumaşlara göre boncuklanma eğilimi daha fazla olmaktadır (Özdil, 2003).

Şekil 4.2`de örme ve dokuma kumaşlarda zamana bağlı boncuklanma eğrisi verilmektedir.



Şekil 4.3: Örme ve dokuma kumaşlarda zamana bağlı boncuklanma eğrisi

4.3.2 Kumaş sıklığı

Gevşek örülmüş veya dokunmuş kumaşlar, liflerin kumaş yüzeyine hareketi kolaylaştığı için kullanım sırasında daha fazla boncuklanma eğilimi göstermektedir. Daha sıkı bir kumaş yapısında oluşan boncukların dökülme eğilimi de daha düşük olmaktadır.

Örme kumaşlarda, belirli orandaki sıklık faktörü ile boncuklanma artmakta, ancak sıklık faktörünün arttırılmasıyla boncuklanma azalmaktadır. Bu artış, gevşek örme kumaşların yüksek kararsızlığı nedeniyle, kumaş içerisindeki ipliklerin serbest hareket etmesi ve bu ipliklerin kumaş yapısına daha gevşek tutunması nedenlerine bağlanabilir. Ancak sıklık faktöründe devam eden artış, kumaş örtücülüğünün artış nedeniyle iplik hareketinin engellenmesiyle boncuklanmanın azalmasını sağlamaktadır (Ukponmwan, 1998).

Dokuma kumaşlarda atkı ve çözgü iplik sıklığı arttıkça, kumaş yapısı sıkılaşıp öncelikle iplik, daha sonra lif hareketleri kısıtlanacağı için boncuklanma eğilimi azalmaktadır (Özdil, 2003).

4.3.3 Kumaş konstrüksiyonu

Kumaş dokusunun boncuklanma özelliği üzerine etkisi bulunmaktadır. Kumaşlarda atlama uzunlukları arttıkça boncuklanma eğilimi artmaktadır. Yüksek bağlantı sayısı ve kısa kesişmeler, kumaş yüzeyinde serbest uçların oluşma olasılığını düşürmekte ve bu nedenle boncuklanma azalmaktadır. Saten dokulu kumaşlardaki uzun bağlantılar, daha fazla miktarda lif yüzeyinin aşınma etkilerine maruz kalmasına neden olmakta boncuklanma artmaktadır.

Kumaş yüzeyindeki iplik atlama sayısının artmasıyla birlikte, sırasıyla bezayağı, dimi, saten yönünde, boncuklanma özelliğinde kötüleşme

meydana gelmektedir. Örgü tipinin kumaşın boncuklanma özelliği üzerinde önemli bir etkisi bulunduğu gözlenmiştir. Ribana ve süprem mamul örme kumaşların boncuklanma değerlerinin, interlok kumaşlara göre daha yüksek olduğu, ribana ve süprem kumaşların boncuklanma değerleri arasındaki farkın ise önemsiz olduğu belirlenmiştir (Özgüney ve arkadaşları, 2003).

4.3.4 Kumaş gramajı

Boncuklanma eğilimi, kullanılan iplik kalınlığı ve kumaş sıklığına bağlı olarak değişen birim kumaş ağırlığının artmasıyla azalmaktadır (Özdil, 2003).

4.4 Terbiye İşlemlerinin Etkisi

Kumaşlara uygulanan kimyasal ve mekanik terbiye işlemlerinin kumaşların boncuklanma özelliği üzerine etkisi bulunmaktadır.

4.4.1 Kimyasal terbiye işlemlerinin etkisi

Yaş işlemler sırasındaki mekanik etkilerin lif hareketi ve hav oluşumu üzerinde etkisi büyüktür. Bazı kuvvetli mekanik hareketler devamlı sürtünme ve liflerin dolanması nedeniyle boncuklanmaya sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra boyama ve bitim işlemleri sırasında kullanılan çeşitli kimyasal maddeler boncuklanmayı olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Genellikle yumuşatıcılar ve kayganlık verici maddeler boncuklanma eğilimini arttırmaktadır. Bunun yanı sıra çekmezlik işleminin, lif hareketlerini engellemesi ve buruşmazlık işleminin lifleri yapıştırması nedeniyle boncuklanma eğilimini azaltıcı etkisi vardır. Polyester, poliamid ve karışımlarına uygulanan boyut stabilitesi sağlamak için yapılan termofiksaj, boncuklanma eğiliminin azalmasına yardımcı olmaktadır.

Yumuşak bir tutum ve dökümlülük kazandırmak için enzimlerle yapılan bio parlatma işlemi kumaşlarda boncuklanma eğilimini azaltmaktadır.

Bunun dışında özellikle kullanım sırasında sıkça yapılan yıkama işleminin hav yoğunluğunu artırarak boncuklanmayı hızlandırdığı tespit edilmiştir (Özdil, 2003).

4.4.2 Mekanik terbiye işlemlerinin etkisi

Kumaş yüzeyindeki havları uzaklaştırmak için pamuklu kumaşlarda genellikle yakma ve yünlü kumaşlarda fırça işlemleri uygulanmaktadır. Yakma işlemi ile kumaş yapısındaki ipliklerden çıkan lif uçları uzaklaştırılarak hav oluşumu ve boncuklanma eğilimi azaltılmaktadır (Özdil, 2003).

5. KUMAŞ BONCUKLANMA ÖZELLİĞİ ÖLÇÜM VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Kumaşların boncuklanma özelliğinin belirlenmesi için geliştirilmiş pek çok standart ve yöntem bulunmaktadır. Kumaşın boncuklanma özelliği açısından kullanım performansının tespit edilmesi için gerçekleştirilen laboratuvar testlerinde, standart test koşullarında değişik cihazlar kullanılarak kumaşlar üzerinde kullanım koşullarını simule eden boncuklar oluşturulmaktadır. Hatta belirli bir kumaşın gerçek kullanımındaki boncuklanmaya karşı direnci kişinin kullanımına ve kullanım şartlarına göre değişiklikler gösterebileceğinden, boncuklanma testlerinin giyim denemeleriyle desteklenmesi ve bazı kumaşların yıkama ve kuru temizleme işlemleri sonrasında da test edilmesi yararlı olmaktadır.

Mevcut test yöntemleri arasından hangisinin kumaş boncuklanma eğilimini ölçmede en uygun olduğuna karar verirken, öncelikle hangi test yönteminden elde edilen değerlerin kullanım sırasındaki gerçek koşulları karşıladığını incelemek gerekmektedir. Test koşulları, kullanıcının kumaşa uyguladığı kuvvetleri mümkün olabildiğince gerçekleştirmelidir. Diğer önemli bir faktör, test sonuçlarının tekrar edilebilir olmasıdır. Günümüzde mevcut çok farklı test cihazı mevcuttur. Bunlar arasındaki temel farklar; sürtünme materyalinin cinsi, sürtünme materyaline karşı kumaşın hareketi, numuneye uygulanan kuvvetin yoğunluğu ve değerlendirme yöntemidir (Biermann, 2001).

Boncuklanma test cihazları örneklerin aşındırılması ve döndürülmesi esasına dayanmaktadır. Boncuklanma özelliğinin ölçümünde en fazla kullanılan test cihazları ve test standartları Çizelge 5.1`de verilmektedir.

Çizelge 5.1: Boncuklanma test standartları

Boncuklanma ölçüm prensibi	Test cihazı	Test standartları
Taklı serbest düşme yöntemi	Random Tumble Boncuklanma (RTPT)	DIN 53867 ASTM D 3512 TS 10258 ISO 12945-3 NF G 07-121 NF G 07-132
Kutulu boncuklanma yöntemi	ICI Pilling Box	BS 5811 ISO 12945-1 TS EN ISO 12945-1 IWS TM 152
Modifiye Martindale yöntemi	Martindale	ASTM D 4970 DIN EN ISO 12945-2 TS EN ISO 12945-2 BS 3424
Fırçalı boncuklanma yöntemi	Brush Pilling Tester	ASTM D 3511-08
Elastomerik yastık taban yöntemi	Elastomerik Pad	ASTM D 3514-05
Basınçlı Martindale yöntemi	Martindale	ASTM D 4970

Çeşitli test cihazlarında kullanım koşulları simule edilerek gerçekleştirilen boncuklanma testi sonrasında değerlendirme, subjektif ve objektif olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Subjektif değerlendirmelerde kesin sonucun sadece uzman kişilerce sağlanabilmesi ve tekrarlanabilirlikte yaşanan problemler, boncuklanmanın derecelendirmesinde objektif metotların gelişimine katkı sağlamıştır. Objektif yöntemler boncukları numaralarına, ağırlıklarına ve boyutlarına göre sınıflandırmaktadır. Belirli tur sonucunda boncukların kesilip tartılması ya da boncuk sayısının belirlenmesi şeklinde gerçekleştirilen yöntemler oldukça fazla zaman gerektirdiğinden günümüzde görüntü analiz yöntemleri objektif değerlendirme için gittikçe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

5.1 Boncuklanma Ölçümünde Kullanılan Test Cihazları

Boncuklanma ölçümünde kullanılan test cihazları, kumaş örneğinin döndürülmesi veya aşındırılması esasına dayanan test cihazları olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir.

5.1.1 Kumaşın döndürülmesine dayanan boncuklanma test cihazları

Kumaşın döndürülmesine dayanan boncuklanma test cihazlarından günümüzde en yaygın olarak kullanılan cihazlar düşey taklalı boncuklanma test cihazı ve kutulu boncuklanma test cihazlarıdır.

5.1.1.1 Düşey taklalı (Random Tumble) boncuklanma test yöntemi ve cihazı

Bu test cihazı Amerika'daki EI du Pont de Nemours&Co laboratuvarlarında geliştirilmiştir. Yöntem, kumaşların boncuk oluşturma eğilimini ve normal kullanım koşulları altındaki havlanma eğilimini belirlemek için hem örme hem de dokuma kumaşlar için kullanılabilmekte, özellikle tişört kumaşlarının boncuklanma testi için tercih edilmektedir. (Ukponmwan,1998).

ASTM standardından yararlanarak hazırlanan ISO 13945-3 standardının yayınlanmasından sonra düşey taklalı boncuklanma test yöntemine talep gittikçe artmıştır. Eski tip cihazlar genellikle hepsi aynı anda çalışan 2 ya da 4 test haznesi içerirken, günümüzde tek ölçüm hazneli cihaz da mevcuttur (Şekil 5.1).

Kumaş numunesi, iç kısmı yumuşak bir sürtünme etkisi sağlayacak şekilde mantarla kaplanmış, yatay silindirik test odacıklarına yerleştirilmektedir. Mantar kaplı yüzeyin içerisinde şiddetli bir çarpma

etkisi yaratmak için farklı standartlara göre farklı sayıda ve yapıda kanat içeren çubuklar bulunmaktadır. Numunenin hem 1200 devir/dakika ile dönen bu çubuklara hem de birbirlerine çarpması şeklinde sağlanan serbest düşme yöntemi ile numuneler rasgele aşındırılmakta ve böylece kumaşlarda boncuklanma meydana gelmektedir.

Serbest hareket, kumaşın kullanımı sırasındaki koşullara yakın koşullar oluşturmaktadır. Giyim denemeleri ile yapılan karşılaştırma testinde korelasyon katsayısı 0.96 olarak belirlenmiştir (Baird, 1956). Diğer test metotları ile kıyaslandığında numuneye uygulanan zorlama düzeyi taklalı boncuklanma test cihazında en yüksek düzeydedir. Ancak numune bazen istemeden kanatların arkasında hareketsiz kalabilmektedir. Bu durumda numunede oluşan boncuklanma etkisi azalmakta ve testin tekrarlanabilirliği azalmaktadır.



Şekil 5.1: Impulse düşey taklalı boncuklanma test cihazı

Deney numuneleri, dokunmuş ve örülmüş kumaşlarda en ve boy doğrultuları ile yaklaşık 45°'lik açı yapan ve bir kenarının uzunluğu 105mm olacak şekilde kare şeklinde 3 adet hazırlanır. Kenar kıvrılması ve saçaklanmayı önlemek için deney numunelerinin kenarlarına 3.2 mm'lik

bant halinde ve kumaşın yüz tarafında olmak üzere seyreltilmiş kauçuk sürülmektedir. Deney numuneleri en az 2 saat bekletilip, kurutulmakta, daha sonra standart atmosfer koşullarında kondüsyonlanmaktadır. Deney hücresinin iç yüzeyine daha önce hiç kullanılmamış mantar silindir astar yerleştirilmektedir. Kullanım sırasında oluşan boncuklara benzer görüntü ve yapının oluşturulabilmesi için her bir bölmeyle birlikte 25 mg kısa elyaflardan oluşan, gri renkli pamuk numunesi, ölçüm haznesine kumaş numuneleriyle birlikte yerleştirilmektedir. 30, 60, 90 dakikalık sürelerde deney gerçekleştirilmekte ve dönüş sırasında cihaza verilen hava akımı deney sırasında kumaşın takılmasını veya sıkışmasını önemli ölçüde azaltmaktadır. Cihazın çalışma süresi boyunca deney hücreleri aralıklarla kontrol edilerek, deney numunesinin hücre içerisinde mil bıçağına takılması veya başka sebeplerle hareketsiz kalması durumunda hava akımı kesilmekte, kapak açılarak numunenin serbest hareket eder hale gelmesi sağlanmaktadır (Özdil, 2003).

Düşey taklalı boncuklanma test cihazında test edilen kumaş numunelerinin değerlendirilmesi standart fotoğraflarla kıyaslama yoluyla yapılmaktadır. Değerlendirme 1, en kötü ve 5, en iyi olacak şekilde, ara değerleri de içererek 1-5 arasındaki derecelendirme ile belirtilmektedir.

Çizelge 5.2: ASTM D - 3512 standardına göre boncuklanmanın değerlendirilmesi

Boncuklanma Derecesi	Açıklama
5	Boncuklanma yok
4	Boncuklanma çok az
3	Orta derecede boncuklanma
2	Boncuklanma fazla
1	Boncuklanma çok fazla

5.1.1.2 Kutulu boncuklanma (ICI Pilling Box) test yöntemi ve cihazı

Bu yöntem dokuma ve örme kumaşların bütün tipleri için uygun olup yalnızca % 100 filamentler için uygun değildir.

Boncuklanma testinin yapıldığı cihazda, içerisi mantar ya da sentetik kauçuk kaplı, yaklaşık olarak 60 devir/dk hızda dönen iki, dört ya da altı kutu bulunmaktadır (Şekil 5.2). Test için gerekli tur sayısı lif ve kumaş cinsine göre değişmektedir. Genel olarak örme kumaşlarda 7000 devir, dokuma kumaşlarda 18000 devir uygulanmaktadır. Yüksek oranda kesik elyaflı polyester içeren kumaşlarda test devri 36000`dir (Özdil, 2003).



Şekil 5.2. ICI pilling box

Kumaş örnekleri atkı ve çözgü yönünde ya da ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönünde, her bir kumaştan minimum ikişer tane olacak şekilde 125x125 mm boyutlarında kesilmekte ve kenarlardan 12 mm içeriden işaretlenmektedir. Numunelerin yüzü içeride kalacak şekilde çevrilmekte ve iki kenarından dikilmektedir. Kumaş numuneleri lastik hortumlar üzerine geçirilmeden önce yüz tarafı dışarıya çevrilmekte test sırasında kayma olmaması için lastik hortum üzerindeki numunelerin iki kenarı bant ile bantlanmaktadır. Numuneler, her bir kutuya hepsi aynı kumaştan olmak üzere 4 adet numune yerleştirilmektedir. Test numuneleri, içi mantarla kaplı

hazne içerisinde sürekli olarak lastik hortum üzerindeki kumaşlara ve kamara iç yüzeyindeki mantarla sürtünmekte ve böylece kumaş yüzeyinde boncuk oluşumu sağlanmaktadır. Boncuklanma derecesi, standart fotoğraflarla karşılaştırılarak değerlendirilmektedir

Çizelge 5.3 BS 5811 standardına göre değerlendirme

Boncuklanma Derecesi	Açıklama	Değerlendirmede dikkat edilmesi gereken önemli hususlar
5	Değişiklik yok	Yüzeyde görünen hiçbir değişim yok
4	Hafif değişiklik	Hafif yüzey tüylenmesi
3	Orta seviyede değişiklik	Numunede orta şiddette havlanma ve/veya tamamen boncuk oluşumu
2	Önemli değişiklik	Belirgin havlanma ve/veya boncuklanma
1	Çok fazla değişiklik	Numuneyi tamamen kaplayan havlanma ve/veya boncuklanma

Kutulu boncuklanma test yönteminde numune sürekli serbest hareket etmektedir ve test sonuçları her zaman tekrarlanabilir düzeydedir. Mantar ve hortum dış yüzeylerindeki değişiklikler test sonuçlarını etkileyebilmektedir. Numuneler üzerinde çok fazla aşınma etkisi sağlanmadığında test sonuçları kullanım sırasındaki koşullarla her zaman uyumlu değildir (Biermann, 2001).

5.1.2 Kumaşın aşındırılmasına dayanan boncuklanma test cihazları

Kumaşın kendi kumaşına ya da başka bir kumaşa sürtülmesine dayanan bu gruptaki boncuklanma test cihazlarından günümüzde en yaygın olarak kullanılan cihazlar başta Martindale cihazı olmak üzere, elastomerik yastık tabanlı boncuklanma test cihazı, fırçalı boncuklanma test cihazı, HATRA boncuklanma test cihazı ve IWS boncuklanma test cihazıdır.

5.1.2.1 Martindale boncuklanma ve aşındırma test cihazı

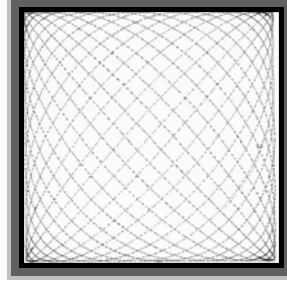
Martindale boncuklanma ve aşındırma test cihazı, dokuma ve örme kumaşlarda, test edilecek numunelerin kendi kumaşına belirli tur sayılarında sürtülmesi ile boncuk oluşumunun gerçekleştiği cihazdır (Şekil 5.3). Bazı durumlarda örneğin döşemelik kumaş testlerinde numune kumaş yünlü aşındırıcı kumaşa sürttürülerek deney gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.3. Martindale boncuklanma test cihazı

Bir kumaş için yapılması gereken deney sayısı 3 olup, deney numunesi, üstte yer alan numune tutucu için bir test numunesi ve bir tanede alttaki boncuklanma tablası için olmak üzere 2 parça 140 mm çapında numuneden oluşmaktadır. Alt numuneler 140 mm çapında kesilerek üzerinde keçe kumaş bulunan alt diske; üst numuneler ise yine keçe yardımıyla desteklenen üst diske yerleştirilmektedir. Numune tutucuların üzerine konulan ağırlıklarla kumaş cinsine göre belirli miktarda basınç uygulanmış olmaktadır. Örme kumaşlar için 155g (2.5 cN/m^2), dokuma ve döşemelik kumaşlar için 415g (6.5 cN/m^2) ağırlık uygulanmaktadır. Üst numunelerin hareketi; dairesel hareketle başlayıp, yavaş yavaş daralan elips şeklinden doğrusal hale gelinceye kadar devam eden ve sonra da ters yönde genişleyen elips şeklindeki hareketle devam eden lissajous hareketidir (Şekil

5.4). Bu değişken yönlü hareket ile numune üzerindeki elyaflar her doğrultuda aşınmaya maruz kalmaktadır.



Şekil 5.4: Lissajous hareketi

Kumaş numunesi 125, 500, 1000, 2000, 5000 ve 7000 turda test edilmekte ve numune, numune tutucudan çıkarılmadan değerlendirilmekte ve sonra tekrar yerine yerleştirilerek bir sonraki aşamanın sonuna kadar deneye devam edilmektedir. Yapılan çalışmalar, test ve kullanım performansı arasında en iyi korelasyonun 7000 turda olduğunu göstermiştir. Ancak 2000 turda kumaş yüzeyinde oluşan boncuklar 7000 tura ulaşana kadar kumaş yüzeyinden uzaklaşabilmektedir. Bu nedenle genellikle 2000 turda boncuklanma testi tamamlanmaktadır (Özdi, 2003).

Boncuklanma derecesine standart fotoğraflarla karşılaştırma yapılmak suretiyle subjektif şekilde karar verilebilmektedir. Fotoğraflı standartlarla karşılaştırmada, EMPA tarafından geliştirilmiştir ve üç adet dokuma, üç adette örme kumaşlar için olmak üzere toplam altı kategoriye ayrılan fotoğraflar kullanılmaktadır. Her alt kategoride dört fotoğraf bulunmakta ve beş dereceli skala kullanılmaktadır.

Çizelge 5.4: Martindale yöntemi ile boncuklanma derecesinin değerlendirilmesi

Boncuklanma Derecesi	Açıklama
5	Hiçbir değişiklik yok
4	Çok az miktarda tüy veya boncuk
3	Orta derecede tüylenme veya boncuk
2	Açıkça görülebilecek miktarda tüylenme veya boncuk
1	Çok yoğun miktarda tüylenme veya boncuk

Diğer test metotları ile kıyaslandığında Martindale aşındırma ve boncuklanma test cihazının tamamıyla farklı olduğu anlaşılmaktadır. Numune üzerindeki zorlamanın yoğunluğu bakımından ICI test cihazına yakındır. Cihazda uygulanan kumaşın kumaşa sürtünmesi giysilerin kolları, pantolonların paçaları gibi kullanım sırasında meydana gelen sürtünme hareketine uymaktadır. Programlanmış hareket ve sabit basınç test sonuçlarına yüksek tekrarlanabilirlik güvencesi sağlamaktadır (Biermann, 2001).

5.1.2.2 Elastomerik yastık tabanlı boncuklanma test cihazı

Deering Millikan Research Corporation'dan bir grup araştırmacı tarafından geliştirilen bu yöntem, ASTM tarafından giysilik kumaşların boncuklanmasında kullanılan bir standart haline gelmiştir.

Bu yöntemde Stoll Quarteremaster Universal Wear Tester cihazı kullanılmakta ve yöntem hem örme hem de dokuma kumaşların her çeşidine uygulanabilmektedir. Kumaş numuneleri yıkandıktan ya da kuru temizleme işlemi yapıldıktan sonra, özel mekanik özelliklere sahip elastomerik bir yüzeyin üzerine yerleştirilmekte ve kumaş numunelerinin bu yüzeye sürtünmesi gerçekleştirilmektedir.

Boncuklanma derecesi 5'ten (boncuklanma yok) 1'e (çok fazla boncuklanma var) kadar derecelendirilmiş standart fotoğraflarla değerlendirilmektedir.

5.1.2.3 Fırçalı boncuklanma test cihazı

Bu yöntem, örme ve dokuma olmak üzere tüm tekstil ürünlerinde kullanılabilir. Laboratuvar test cihazında normal kullanımda kumaş yüzeyinde oluşan boncuk ve tüylenme gibi diğer değişimlerin simülasyonu yapılmaktadır. Öncelikle kumaş yüzeyinde lif uçlarının serbest kalması için test numunesi fırçalanmakta ve daha sonra iki örnek birbirine dairesel biçimde sürtünerek açık uçların boncuk oluşumu sağlanmaktadır (Ukponmwan, 1998).

5.1.2.4 H.A.T.R.A. boncuklanma test cihazı

Bu yöntem, HATRA laboratuvarlarında tasarlanan örme kumaşların boncuklanma özelliğinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Cihaz, özellikle örme kumaşlar test edilirken, kumaşın yerleştirildiği iki dairesel plakadan oluşmaktadır. Bu iki disk ters yönde titreşim hareketi yaparak, kesikli olarak birbirinden uzaklaşmaktadır. Önceden belirlenmiş bir sürtünme sayısından sonra, kumaşın üzerinde oluşan boncuğun ağırlığı, kumaşın boncuklanma özelliklerinde bir ölçüt olarak kullanılabilir (Ukponmwan, 1998).

5.1.2.5 IWS test cihazı

115 mm kenar uzunluğunda küp şeklinde, içi 2.5 mm kalınlığında mantarla astarlanmış sekiz kutudan oluşmaktadır. Her kutunun içerisinde iç çapı 25 mm, dış çapı 35 mm ve uzunluğu 45 mm olan ikişer tane plastik boru bulunmaktadır. Bunlar da test sırasında kumaş yüzeyine sürtünmektedir.

Test numuneleri yüzleri dışa bakacak şekilde 50x50 mm boyutlarında cep şeklinde dikilmektedir. Cebin içerisine 1.5 mm kalınlığında bir plastik parça koyulmakta ve ağzı dikilmektedir. Her test kutusuna bu hazırlanan numunelerden bir tanesi yerleştirilmekte ve kutular 60 devir/dk hızla 4 saat boyunca döndürülmektedir. Test süresi sonunda numunelerin içindeki plastikler çıkarılmakta ve numunelerdeki boncuklanma standart fotoğraflarla karşılaştırılmaktadır (Kahraman, 2006).

5.2 Kumaş Boncuklanma Özelliğinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Standartlar

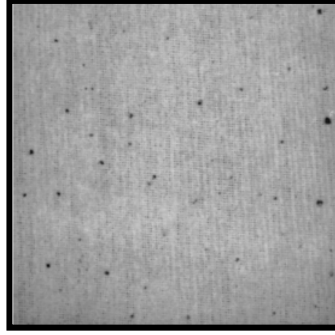
Hemen hemen bütün test metotlarında değerlendirme standartları serbest bırakılmıştır. Bu durumda kumaş yüzeyinin değerlendirilmesi farklı standart fotoğrafları dikkate alınarak yapılmaktadır.

Kumaş test laboratuvarlarında boncuklanma özelliği ölçülen kumaşların değerlendirilmesi için Zweigle KG-741, ASTM D3512, EMPA ve JIS L 1076 gibi birçok standart fotoğraf serileri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Standart fotoğraflar, belirli koşullar altında (aydınlama, yerleşim, skala, kontrast vb.) boncuklanmış numunelere ait fotoğrafların çoğaltılmış çıktılarıdır. Standart görüntülerde iyi bir boncuk-arka plan kontrastı temelde iki çeşittir. Birincisi, boncukları kumaş arka planından ayıran açık-koyu kontrastıdır. Bu kontrast, numunenin yatay ışık altında aydınlatıldığında elde edilen ve aynı zamanda görüntü analizi yönteminde girdi olarak kullanılan ilk görüntüde oluşan kontrasttır. İkinci tip kontrastta, kumaş arka planı yüksek açık-koyu kontrastı şeklinde görülmekte ve boncuklar boncuk(açık)-gölge(koyu) şeklinde bölgesel değişimlerden yararlanarak

ayırt edilebilmektedir. Bu tip bir kontrast, doğru bir görüntü analizi sonucu elde etmek daha zordur.

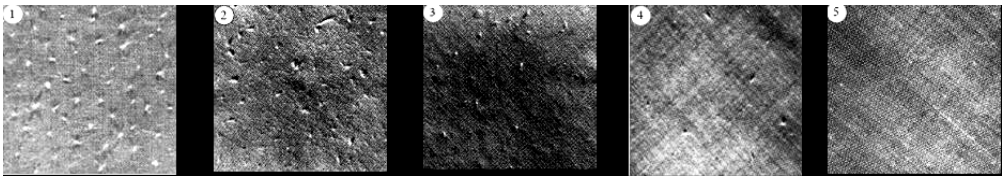
Zweigle standardı, boncuk içermeyen numuneden (derece 1) çok fazla boncuklanma özelliği gösteren numuneye (derece5) göre sıralanan beş fotoğraf içermektedir. Beyaz kumaş yüzeyi üzerinde boncuklar siyah olarak görülmektedir. Beş fotoğrafta da kumaş arka planının yapısı, skalası ve yerleşimi benzerdir. Önden yapılan ışıklandırma nedeniyle fotoğraflarda gölgeler bulunmamaktadır. Fotoğraflarda ortalama ışık şiddeti sabit değildir; bazıları, diğerlerinden daha koyu görünmektedir.



Şekil 5.5: Zweigle KG-741 derece 4

ASTM standardı, Zweigle standardındaki sıralamanın tam tersi şekilde çok boncuklu numuneden (derece 1) boncuksuz numuneye (derece 5) doğru sıralanan beş fotoğraf içermektedir. Fotoğraflarda gri kumaş yüzeyi üzerinde açık renkte boncuklar görülmektedir. Kumaş yüzeyi tüm fotoğraflarda benzerdir, ancak kumaş yapısı ve oryantasyonu aynı değildir. Çözgü ve atkı yönü derece 1'in görüntüsünde yatay ve dikey yönlerde, diğer görüntülerde ise diyagonal şeklindedir. Işıklandırma düzgün olmayıp yatay yöndedir. Fotoğraflarda boncukların kapladığı alanı arttıran gölgeler bulunmaktadır. Derece 1'in ortalama ışık şiddeti diğerlerine göre daha

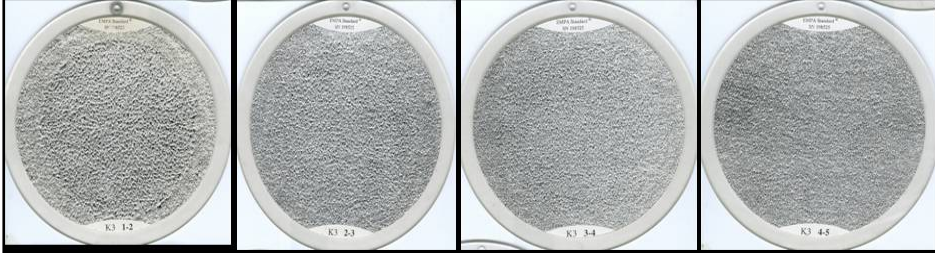
yüksektir. Fotoğraflarda kalın iplikler, hatalı iplikler, kumaş yüzeyindeki kırışıklıklar ve küçük boncuklarla karıştırılabilecek küçük lekeler gibi bazı hatalar bulunmaktadır. ASTM standart fotoğrafları, ASTM D 3511-96, ASTM D 3512-96, ASTM D 3514-96 ve ASTM D 4970-89 standartlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 5.6`da ASTM standart fotoğraf serisi verilmektedir.



Şekil 5.6: ASTM standart fotoğrafları

EMPA (Saint Gall, Switzerland) standardı, örme ve dokuma kumaşlar için olmak üzere, her biri dört görüntüden oluşan üç ayrı kategori ve toplamda 24 fotoğraf içermektedir. Örme (K1, K2, K3) ve dokuma kumaşlar (W1, W2, W3) için iki ayrı gruptaki fotoğraflar, numunelerin değerlendirilmesinde en yakın referansın seçilmesini sağlayan üç kategoriye (düşük, orta ve yüksek iplik yoğunluğu) sahiptir. Ancak her bir gruptaki fotoğrafların çözünürlüğü, Zweigle ve ASTM standart fotoğraflarının çözünürlüğünden daha kötüdür. Bir gruptaki fotoğraflar, çok boncukludan (derece 1-2) orta boncukluya (derece 2-3 ve 3-4) ve çok az boncukluya (derece 4-5) göre sıralanmaktadır. EMPA görüntülerinde kumaş arka planının yapısı genellikle yüksek kontrastta görülmekte ve boncuklar arka planın olağan yapısından farklı olarak yarattıkları bölgesel değişimlerle ayırt edilebilmektedir. Işıklandırma yatay doğrultuda olduğundan arka planda oluşan gölgelerin yanında boncuklar açık renkte görünmektedir. Bu standart, Martindale boncuklanma test aletinde çalışılan numunelerin

değerlendirilmesi için geliştirilmiştir. Şekil 5.7`de EMPA (SN 198525-K3) standart fotoğrafları verilmektedir.



Şekil 5.7:EMPA (SN198525-K3) serisi standart fotoğrafları

JIS L 1076 standardı, farklı test cihazları ile boncuklanma testi yapılan örme ve dokuma kumaş numunelerinin değerlendirilmesi için dört grup fotoğraf içermektedir. 1, 2 ve 3 numaralı gruplar, çok boncuklanmış kumaştan (derece 1) boncuk içermeyene (derece 5) kadar sıralanan beş görüntüden oluşmaktadır. 4. grup ise H (yüksek), M (orta), L (düşük) ve N (yok) harflerine göre sıralanan dört görüntü içermektedir. 1. ve 3. grubun görüntüleri dimi kumaş yapısında, 2. ve 4. grupların fotoğrafları ise örme kumaş görüntülerinden oluşmaktadır. Genelde tüm fotoğraflarda kumaş görüntüsü ile yüksek kontrast vardır. Bu nedenle, boncuklar sadece kumaş üzerinde boncuk (açık renk) – gölge (koyu renk) kombinasyonu oluşturan bölgesel değişikliklerden ayırt edilebilmektedir. Yatay ışıklandırma fotoğraflarda düzgünsüz ışık şiddetine neden olmaktadır (Millan ve arkadaşları, 2001).

6. MATERYAL VE METOD

6.1 Materyal

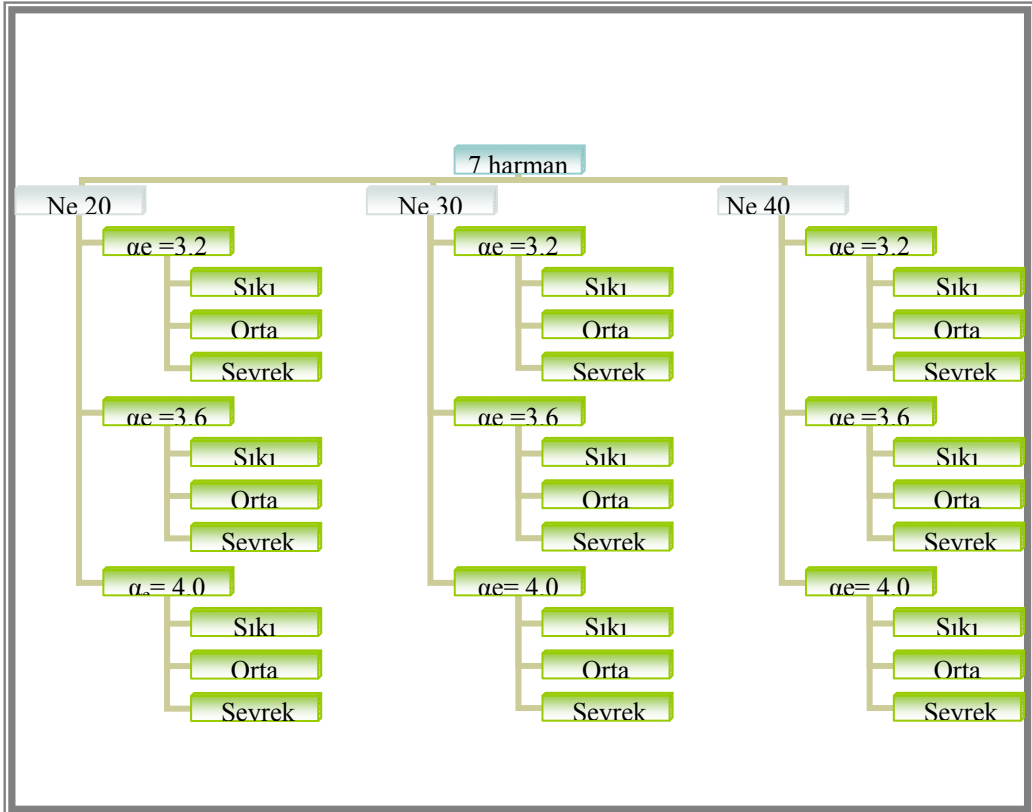
Bu çalışmada kullanılan materyal, Türkiye'nin farklı bölgelerinde bulunan iplik işletmelerinden seçilen pamuk harmanlarından oluşmaktadır. 6 farklı işletmeden 7 farklı harman temin edilmiştir. Çalışmada pamuk lif özelliklerinin, iplik kalitesi ve dolayısıyla kumaş kalitesini belirleyen özelliklerden biri olan boncuklanma özelliği üzerine etkisinin incelenmesi amaçlandığı için seçilen pamuk harmanlarının farklı yöre ve ülke pamuklarını içermesine dikkat edilmiştir. Seçilen hammaddeleri oluşturan harmanlar Ege, Hindistan, Yunanistan ve Mısır gibi farklı yöreler ve ülkelerden temin edilen pamuklardan oluşmaktadırlar. Deney numuneleri fitil ara ürünü olarak temin edilmiş ve deney planına uygun iplikler üretilmiştir. Üretilen ipliklerden 3 farklı kumaş sıklığında interlok örme kumaş üretimi gerçekleştirilmiştir.

6.2 Deneysel Çalışma

Bu çalışmada 6 farklı işletmeden elde edilen 3'ü penye, 4'ü karde olmak üzere 7 ayrı pamuk harmanından üretilmiş fitiller kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan harmanlar için H1, H2, H3, H4, H6 ve H7 şeklinde kodlama yapılmıştır. H3, H5 ve H7 harmanlarına ait fitiller tarama işlemi görmüş penye fitilleri olup, diğerleri ise karde üretim hattından temin edilmiş olan fitillerdir. 1. harman, Hindistan pamuğu; 2., 3., 4. ve 5. harmanlar Ege Bölgesi'nin farklı yöre pamukları; 6. harman Yunanistan pamuğu ve 7. harmanı oluşturan pamuk Mısır pamuğu olup temin edilen fitillerden Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama

Merkezine ait Pamuk İpliği İşletmesi'nde iplik üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu harmanların her birinden Ne 20, Ne 30 ve Ne 40 iplik numarasında ve üç farklı büküm katsayısında ($\alpha_e = 3.2$, $\alpha_e = 3.6$ ve $\alpha_e = 4.0$) 9 farklı tipte iplikler üretilmiştir. Bu deney planına göre toplam 63 çeşit iplik üretilmiş ancak 1 numaralı harmandan üretilen Ne 40 numara ve $\alpha_e = 3.2$ büküm katsayısındaki iplikten harman özellikleri nedeniyle bobinleme yapılamadığı için 62 tip iplikten kumaş üretimi gerçekleştirilmiştir. Bobinlenen ipliklerden, ilmek iplik uzunlukları değiştirilerek 3 farklı sıklıkta interlok örme kumaşlar üretilmiştir. Çizelge 6.1'de hazırlanan deney planı verilmektedir.

Çizelge 6.1: Çalışmada kullanılan deney planı



6.2.1 İpliklerin eğrilmesi

Çalışmada kullanılmak üzere firmalardan temin edilen fitil ara ürünü şeklindeki hammaddeler Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi Pamuk İpliği İşletmesinde bulunan Rieter G30 ring iplik makinesinde eğrilmiştir. Bu makinenin başlıca teknik özellikleri Çizelge 6.2’de verilmektedir. İplik makinesinde çekim sistemine ait özellikler ise Çizelge 6.3’de verilmektedir.

Çizelge 6.2: Çalışmada kullanılan ring iplik makinesinin teknik özellikleri

İğ devri	10.000 dev/dak
Bilezik tipi	Orbit
Bilezik çapı	42 mm
Masura uzunluğu	210 mm
İğ dibi	21 mm
İğler arası mesafe	70 mm

Çizelge 6.3: Çekim sistemi ekartman mesafeleri, apron ve manşon ölçüleri, klips tipleri

Ön ekartman mesafesi	71		
Arka ekartman mesafesi	48		
Alt apron ölçüsü (mm)	39,2 / 30,0 / 1,0		
Üst apron ölçüsü (mm)	72,5 / 30,0 / 1,0		
Manşon sertliği (ön ve arka)	63 Shore		
Klips	Ne 20	Ne 30	Ne 40
	Yeşil	Kırmızı	Siyah

Kullanılan fitiller farklı firmalardan temin edildikleri için fitil numaralarına göre her bir hammaddeye makinede farklı çekim uygulanmıştır. Çizelge 6.4’de 7 farklı harmana ait fitillerin numarası ve makinede uygulanan çekim miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 6.4: Çalışmada kullanılan fitillere uygulanan çekim miktarları

Hammadde	Fital Numarası (Ne)	İplik Numarası (Ne)		
		20	30	40
Harman 1	0,83	25,0	37,6	50,1
Harman 2	1,00	20,8	31,2	41,6
Harman 3	1,00	20,8	31,2	41,6
Harman 4	1,00	20,8	31,2	41,6
Harman 5	1,10	20,8	31,2	41,6
Harman 6	1,03	20,8	31,2	41,6
Harman 7	1,10	20,8	31,2	41,6

* Çekim değerleri hesaplanırken %4 büküm kısılması dikkate alınmıştır

Çalışmada kullanılan kopçalar, bilezikler orbit bilezik olduğu için, SU tipi kopçalardır. Her bir numara için seçilen kopçalara ait bilgiler Çizelge 6.5’de verilmektedir.

Çizelge 6.5: Çalışmada kullanılan kopçaların özellikleri

İplik Numarası (Ne)	ISO No	Dizayn ve bitim işlemi
20	90	SFB 2.8 PM dr Saphir
30	45	SFB 2.8 PM dr Saphir
40	31,5	SFB 2.8 RL dr Saphir

Rieter G30 ring iplik makinesinde üretilen ipliklerin büküm katsayıları ve metredeki ve inçteki büküm sayıları Çizelge 6.6’da verilmektedir.

Çizelge 6.6: Çalışmada üretilen ipliklerin büküm katsayıları ve büküm sayıları

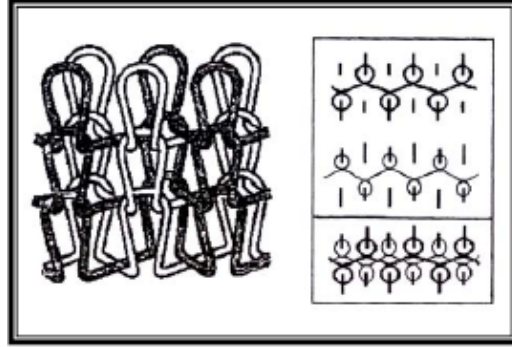
İplik Numarası		Büküm Katsayısı	Büküm Sayısı	
Ne	Nm	$(\alpha_e - \alpha_m)$	T/m	T/m
20	33,8	3,2 - 97	14,3	564
		3,6 - 109,1	16,1	634
		4,0 - 121,6	17,9	705
30	50,7	3,2 - 97	17,6	691
		3,6 - 109,1	19,7	777
		4,0 - 121,6	21,9	864
40	67,6	3,2 - 97	20,3	798
		3,6 - 109,1	22,8	897
		4,0 - 121,6	25,3	998

6.2.2 İpliklerin bobinlenmesi

Rieter G30 ring iplik makinesinde kops halinde üretilen iplikler Schlafhorst marka Autoconer magazinli, yarı otomatik, 9 kapasiteli bobin makinesinde bobinlenmiştir. Üretilen 63 tip iplikten 1. harmana ait Ne 40 iplik numarasında ve $\alpha_e=3,2$ büküm katsayısındaki iplik kopslarından harman özellikleri nedeniyle bobinleme yapılamamıştır.

6.2.3 Kumaşların üretimi

Kumaşlar interlok örgü yapısında, Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Örne İşletmesinde bulunan FOUQUET marka, 36 sistemli, 30 inç çapında, 18 E incelikte, 1680 iğneye sahip, interlok-ribana dönüşümlü, sürgülü jakarlı yuvarlak örme makinesi kullanılarak örülmüştür. Şekil 6.1'de çalışmada kullanılan interlok örgü kumaşın şematik görünümü ve iğne diyagramı verilmektedir.



Şekil 6.1: 1x1 İnterlok örgünün a) şematik görünümü b) iğne diyagramı

Örme kumaşların tamamı üç farklı sıklık değerinde üretilmiştir. Sıklık ayarı, MLT Wesco elektronik iplik besleme ölçüm aparatı kullanılarak ölçülen iplik uzunlukları ve silindir-kapak arasındaki mesafe ayarı ile yapılmıştır. İplik uzunluk ölçüm aparatı kullanılarak, kumaş üretiminde bir sırada harcanan iplik uzunlukları ölçülerek, kumaşlarda iplik numarası ve kumaş sıklığına göre bu uzunluk değerleri sabit tutulmuştur. Örme işlemi sırasında kumaş çekim miktarı ve makine hızı sabit tutulmuştur. Çizelge 6.7'de kumaş üretiminde iplik numaralarına göre yapılan iplik uzunluk ve silindir-kapak ayarları verilmektedir.

Çizelge 6.7: Örme makinesinde yapılan sıklık ayarları

Kumaş sıklığı	İplik Numarası (Ne)	Silindir iğneleri	Kapak iğneleri	İplik uzunluğu (m/sıra)
Sıkı	20	3,2	3	6,45
	30	3,2	3,1	5,84
	40	2	1,2	5,15
Orta	20	5	4	7,13
	30	4,1	4,1	6,51
	40	3,2	3	6,13
Seyrek	20	6	5	7,35
	30	4,2	4,1	6,97
	40	4,2	4	6,69

6.2.4 Lif özelliklerinin belirlenmesi

Çalışmada kullanılan farklı orijinli pamukların lif kalite özellikleri ve iplik eğirme aşamasına kadar pamuğun maruz kaldığı mekanik işlemler nedeniyle liflerin fiziksel özellikleri değişmektedir. Çalışmada ipliklerin üretimi için fitil numuneleri temin edilmiştir. Bu nedenle pamuk liflerinin özelliklerinin ölçümü için fitiller kullanılmıştır.

Pamuk ipliğinin yaklaşık üretim maliyetinin %50-70'ini lif maliyeti oluşturduğundan, pamuk özelliklerinin tespit edilmesi çok önemlidir. 1920'lere kadar pamuk alım satımından sadece subjektif olarak lif özellikleri belirlenirken, 1920'lerin sonuna doğru sorter tarağı ile lif uzunluğu objektif olarak ölçülmeye başlanmıştır. 1940'lı yıllar boyunca liflerin incelik, uzunluk ve mukavemet özelliklerinin ölçümü için çeşitli cihazlar geliştirilmiştir. 1973'de bu cihazları tek bir ölçüm cihazında birleştirmek mümkün olmuş ve HVI (High Volume Instrument) cihazı geliştirilmiştir ve 1991'den beri ABD'de tek balya sistemi denilen ve üretilen tüm balyalara HVI cihazından elde edilen test sonuçlarının işlendiği bir kart verilmesi biçimindeki yöntem kullanılmaya başlanmıştır. 1988'de Shofner'ın USA'de ki Schafner Technologies Firması'nda ki çalışmaları sonucunda pazara sunulan AFIS (Advanced Fiber Information System) cihazı ise başlangıçta neps ölçümü için geliştirilmiş ancak daha sonraki yıllarda cihaza uzunluk, olgunluk, yabancı madde modülleri eklenmiştir.

HVI cihazında demet halindeki liflerin ölçümü ile lif özellikleri hakkında ortalama bir değer elde edilebilmektedir. Detaylı araştırmalar ve prosesin en iyi şekilde kontrol edilebilmesi için gerekli olan liften life

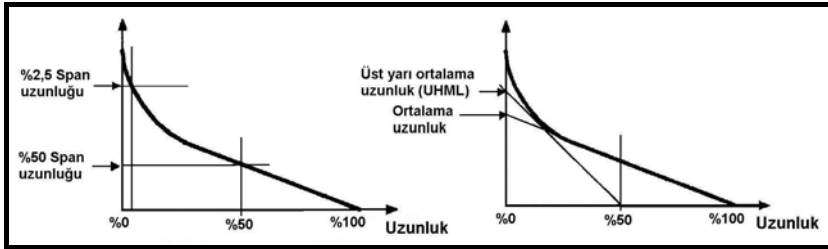
varyasyonlar demet halindeki ölçümlerle elde edilemez. Bu nedenle tek liflerin ölçümünde AFIS cihazı kullanılmaktadır.

6.2.4.1 Demet halinde lif özelliklerinin ölçümü

Demet halindeki liflerin ölçümü yarı otomatik Uster HVI 900 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihaz yardımıyla ölçülen lif özellikleri aşağıda sıralanmaktadır.

Uzunluk: Uzunluk ölçümleri fibrograf ünitesi ile yapılmaktadır. Taraklar tarafından rasgele kısırılan lifler optik olarak taranmakta ve tarak tarafından liflerin tutulduğu başlangıç noktası %100 olacak şekilde tarak tarafından tutulan lif miktarları (%) ile uzunluk değerleri yardımıyla liflere ait fibrogram oluşturulmaktadır.

- **% 50 Span uzunluğu (mm veya inç) :** Tarak tarafından tutulan liflerin %50'sinin uzunluğunu ifade etmektedir.
- **% 2.5 Span uzunluğu (mm veya inç) :** Tarak tarafından tutulan liflerin %2.5'inin uzunluğunu ifade etmektedir.
- **Ortalama uzunluk (ML) (mm veya inç):** Ortalama lif uzunluğudur
- **Üst Yarı Ortalama Uzunluk (UHML) (mm veya inç):** Liflerin en uzun %50'sinin ortalama uzunluğunu göstermektedir.



Şekil 6.2: HVI cihazında ölçülen lif uzunluk özellikleri

Çalışmada UHML ve ML uzunluk değerleri esas alınmıştır. Çizelge 6.8’de UHML uzunluk değerine göre liflerin sınıflandırılması gösterilmektedir.

Çizelge 6.8: UHML değerine göre lif uzunluğunun sınıflandırılması

UHML (inç)	UHML (mm)	Sınıflandırma
0,99’’den kısa	25,1 mm’den kısa	Kısa
0,99-1.10’’	25,1-27,9 mm	Orta
1.11-1.26’’	28,2-32,0 mm	Uzun
1,27’’den uzun	32,0 mm’den uzun	Ekstra uzun

- **Üniformite indeksi (UI) ve Üniformite oranı (UR) (%)**: Liflerin uzunluk üniformitelerini göstermekte ve fibrogramdan hesaplanmaktadır. Üniformite indeksi, ortalama uzunluğun, üst yarı ortalama uzunluğa oranını ifade etmektedir. Düzensizlik oranı ise %50 span uzunluğunun %2,5 span uzunluğuna oranıdır.

$$\text{Üniformite İndeksi} = \frac{(ML)}{(UHML)} * 100$$

$$\text{Üniformite Oranı} = \frac{\%50 \text{span uzunluğu}}{\%2,5 \text{span uzunluğu}} * 100$$

Çizelge 6.9’de pamuk liflerinin lif uzunluk üniformite indeksi ve üniformite oranı açısından sınıflandırılması verilmektedir.

Çizelge 6.9: Uzunluk üniformitesinin ve uzunluk indeksinin sınıflandırılması

	Üniformite Oranı	Üniformite İndeksi
Çok düşük	40’dan az	76’dan az
Düşük	41-43	77-79
Orta	44-46	80-82
Yüksek	47-48	83-85
Çok yüksek	49’dan fazla	86’dan fazla

- **Kısa Lif İndeksi (SFI) (Short Fiber Index) (%)**: ½ inç'ten veya 12,7 mm'den kısa liflerin yüzdesini ifade etmektedir. Çizelge 6.10, kısa lif indeksine göre yapılan sınıflandırmayı göstermektedir.

Çizelge 6.10: Kısa lif indeksine (SFI) göre liflerin sınıflandırılması

Kısa Lif İndeksi (%)	Sınıflandırma
6>	Çok düşük
6-9	Düşük
10-13	Orta
14-18	Yüksek
18<	Çok yüksek

Mukavemet (Strength) (cN/tex) : Lif demetinin kopma kuvvetini göstermektedir. Lif mukavemetinin ölçümleri fibrograf üzerinde uzunluk ölçümleri ile beraber yapılmaktadır.

Uzama (Elongation) (%) : Uzama, demet halindeki liflerin elastikiyet özelliğinin bir ölçüsüdür. Çizelge 6.11'de lif kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerine göre yapılan sınıflandırma görülmektedir.

Çizelge 6.11: Lif kopma mukavemeti ve uzaması değerlerine göre sınıflandırma

Mukavemet (cN/tex)	Uzama (%)	Sınıflandırma
21'den az	5,0'ın altında	çok düşük
22-24	5,0-5,8	düşük
25-27	5,9-6,7	orta
28-30	6,8-7,6	yüksek
30'dan fazla	7,7'den fazla	çok yüksek

İncelik (Microner): Pamuk liflerinin enine kesiti fasulye şeklinde olduğu için inceliğini ölçmek güçtür. Bu nedenle lif inceliği ölçümü pamuk liflerinde hava geçirgenliği yöntemine göre sabit hacimli bir hazne içerisine yerleştirilmiş belirli bir ağırlıktaki lif demeti arasından hava akımı geçirerek yapılmaktadır. Bu sırada liflerin geçirilen havaya karşı gösterdikleri direnç

farklılığından yararlanılarak incelik tespit edilmektedir. Mikroner indeks değeri, 1” uzunluğundaki 1000 adet pamuk lifinin mg cinsinden ağırlığını ifade etmektedir. Çizelge 6.12’de mikroner değerinin sınıflandırılması gösterilmektedir.

Çizelge 6.12: Mikroner değerine göre liflerinin sınıflandırılması

Mikroner	Sınıflandırma
3.0’ın altı	çok ince
3.0-3.6	ince
3.7-4.7	orta
4.8-5.4	kalın
5.5’ın üstü	çok kalın

Parlaklık (Rd) (%):Liflerin yansıtma miktarını gösterir. Yüksek Rd değeri yüksek renk derecesi anlamına gelir. Nickerson/Hunter skalasına göre değerlendirilir.

Sarılık (+b): Pamuk lifleri tarafından yansıtılan ışığın sarılığını ifade etmektedir. Numunenin sarılığı (+b), sarı bir filtre kullanılarak belirlenmekte ve Nickerson/Hunter renk skalasında ifade edilen +b değerine karşılık gelmektedir. Sarılık, pamuğun alette ölçülen renk derecesinin belirlenmesi için yansıma değeri (Rd) ile bağlantılı olarak kullanılmaktadır.

Renk Sınıfı (Color Grade) (C-G): Bir pamuk numunesinin renk derecesi, iki filtreli bir kolorimetrede belirlenmektedir. Rengi ölçülen lif numunesi sabit bir ışık spektrumunda ve sabit enerjili iki lamba ile belirli bir açıda aydınlatılmaktadır. Liflerden yansıyan ışık iki filtreye yönlendirilmekte ve filtrelerden geçen enerji fotoseller aracılığıyla ölçülmektedir. Bu fotosellerden elde edilen değerler CIE sisteminde ki tristimulus değerleridir (Y,Z) ve Nickerson/Hunter renk değerlerine dönüştürülmektedir.

İplik Eğrilebilirlik İndeksi (SCI) (Spinning Consistency Index): Liflerin eğrilebilirliğinin tahmin edilmesi için kullanılan bir değerdir. Regresyon denklemi, SCI'yi hesaplamak için teksel HVI ölçüm sonuçlarının çoğunu kullanmaktadır. Bu indeks, pamuk depolarında kullanılan sınıflandırma sistemini kolaylaştırmak, eğrilecek ipliğin performansının tahmin edilmesini sağlamak için kullanılabilir. Genellikle, daha yüksek indeks, daha fazla iplik mukavemeti ve daha iyi lif eğrilebilmesi demektir.

Çöpel sayısı (Tr Cnt): Çöpel, renk ölçümünün yapıldığı alanda ölçülmektedir. Numune, bölmenin altından ışıklandırılmakta ve siyah ve beyaz CCD kamerası piksellerdeki değişiklikleri analiz etmektedir. Bölmeyi kaplayan tüm parçalar teker teker sayılmakta ve sonuçlar birim yüzey alanındaki çöpel parçaları sayısı olarak ifade edilmektedir.

Çöpel alanı (Tr Area): Çöpel parçasıyla kaplı alan, parçanın sayılmasıyla aynı anda ölçülmektedir. Tek bir parçayla kaplı alan, bölmenin yüzeyinde sayılan diğer parçaların tüm alanlarıyla toplanmaktadır. Sonuç, tüm ölçüm alanına oranı olarak ifade edilmekte ve “% Area” olarak belirtilmektedir.

Çöpel Derecesi (Trash Grade): USDA'a göre döküntü sınıflandırmasını göstermektedir.

6.2.4.2 Tek lif ölçüm prensibine göre lif özelliklerinin ölçümü

Tek liflerin ölçümü Uster Teknoloji firmasının İsviçre'de bulunan laboratuvarında, Uster AFIS PRO 2 (Advanced Fiber Information System) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

AFIS cihazında lifler, tarama segmentleri ile çevrelenmiş çivili silindirler ile tek tek açılmaktadır. Lif açma ünitesi döküntü parçacıklarını

ve büyük tohum kabuğu parçalarını liflerden uzaklaştırmaktadır. Lif açma ünitesinden çıkan lif ve nepsler hava yardımıyla elektro optik sensörlerin bulunduğu ölçüm bölgesine taşınmaktadır. AFIS cihazı farklı modüller halinde çalışmaktadır ve her modülde farklı ölçümler yapılmaktadır.

Lif nepsi, büyüklüğü ve sayısı, tohum kabuğu nepsi, büyüklüğü ve sayısı için NC modülü; lif uzunluğu, kısa elyaf içeriği, lif olgunluğu ve olgun olmayan lif miktarı için LM modülü; çöpel sayısı ve büyüklüğü, toz sayısı ve büyüklüğü için T modülü olmak üzere önemli parametreler üç ayrı modülde ölçülebilmektedir.

AFIS Uzunluk-Olgunluk (L&M), Uzunluk-Çap (L&D) Modülü

AFIS L modülü ile tek liflerin uzunlukları ağırlık ve sayı esasına göre belirlenmektedir. Aynı zamanda kısa lif oranı da hesaplanmaktadır. M modülü lif olgunluğunu ölçerken, D modülü de tek liflerde çap ölçümünü gerçekleştirmektedir. AFIS L modülü ile tek liflerin uzunlukları ağırlık (w) ve sayı esasına (n) göre belirlenmektedir. AFIS, bir pamuk numunesinde ki tüm lifleri teker teker ölçmektedir. Her numunede üç bin lif sayılmakta, böylece sayısal açıdan kesin bir lif uzunluk dağılımı elde edilmektedir. Sayısal dağılım, iplik üretiminde işlemlerin optimize edilmesinde genellikle daha doğru sonuçlar vermektedir. Ağırlık dağılımı, Suter-Webb-Array gibi sorter tarağı metotlarını kullanmaya alışmış işletmelerde kullanılmaktadır. Ayrıca, üst çeyrek uzunluğu pamuk eksperinin belirlediği stapel uzunluğa yakındır. AFIS L&M modülünde aşağıdaki lif özellikleri ölçülebilmektedir:

- **L(n)(w) (mm):** Ortalama lif uzunluğudur.
- **L(n)(w) CV(%):** Lif uzunluk varyasyon katsayısıdır.

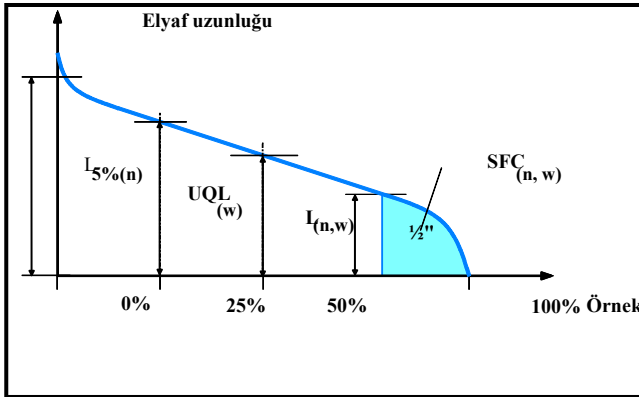
- **SFC(n)(w) (%)**: Bir pamuk numunesinde 0.5 inç ya da 12.7 mm`den daha kısa olan liflerin yüzdesidir. Çizelge 6.13`de kısa lif içeriklerine göre liflerin sınıflandırılması verilmektedir.

Çizelge 6.13: Kısa lif içeriğine (SFC) göre liflerin sınıflandırılması

SFC _n	SFC _w	Sınıflandırma
<18	<5	Çok düşük
19-23	6-8	Düşük
24-28	9-11	Orta
29-33	12-14	Yüksek
>34	>15	Çok yüksek

- **UQL (w) (Upper Quartile Length) (mm)**: Üst çeyrek uzunluğudur ve liflerin %25`i tarafından geçilen uzunluktur.
- **L(n) 5% (mm)**:Liflerin en uzun %5`inin uzunluğudur.
- **L(n) 2.5% (n) (mm)**: Liflerin %2.5`i tarafından geçilen uzunluktur

Şekil 6.3`de, en uzun liflerin sol tarafta ve en kısa liflerin de sağ tarafta gösterildiği, bir lif örneğindeki farklı uzunluktaki lifleri gösteren stapel diyagramı verilmektedir.



Şekil 6.3: AFIS cihazında ölçülen lif uzunluk özellikleri

- **Lif inceliği (Fineness) (mtex):** Lif inceliği, sensörler arasından geçen lifin şeklinin bir algoritma aracılığıyla analiz edilmesiyle optik olarak belirlenmektedir.
- **Olgun olmayan lif içeriği (IFC) (%):** Olgun olmayan lif yüzdesini göstermektedir. Hücre duvarı kalınlığının tüm alana oranı %25'ten daha düşük olan lifler olgun olmayan lif olarak sınıflandırılmaktadır.
- **Olgunluk oranı (Mat Ratio) :** Olgunluk oranı, R değerinin olgun, IFC değerinin olgun olmayan lif yüzdesini ifade ettiği $M = \frac{R - IFC}{200} + 0,7$ eşitliğine göre belirlenmektedir.

Çizelge 6.14, olgunluk, IFC ve incelik değerlerine göre liflerin sınıflandırılmasını göstermektedir.

Çizelge 6.14: AFIS Olgunluk, IFC ve incelik değerlerine göre liflerin sınıflandırılması

Olgunluk	IFC	İncelik	Sınıflandırma
<0,75	<6	<150	Çok düşük
0,76-0,85	6-8	151-160	Düşük
0,86-0,90	9-11	161-170	Orta
0,91-0,95	12-14	171-180	Yüksek
>0,96	>15	>180	Çok yüksek

AFIS Neps Modülü (N modülü)

Elyaf neps, genellikle çok sayıdaki elyafın birbirine dolanması olarak tanımlanmaktadır. Hasat, çırçır ve liflerin iplik işletmesinde açılması ve temizlenmesi işlemleri sırasında pamuk liflerinin mekaniksel işlemlere maruz kalması nedeniyle oluşmaktadır. Tohum kabuğu neps ise üzerinde bazı liflerinde bağlandığı pamuk tohumu parçalarıdır. Daha çok liflerin

tohumlarından ayrıldığı çırçırılama sırasında oluşurlar. AFIS-N modülü ile aşağıdaki lif özellikleri ölçülmektedir:

- **Ağırlık (Weight) (g):** Ölçüm yapılan numunenin ağırlığıdır.
- **Neps büyüklüğü (μm):** Ortalama neps boyutudur.
- **Neps sayısı (Cnt/g):** 1 gram pamukta bulunan neps sayısıdır.
- **Tohum kabuğu neps büyüklüğü (SCN) (μm):** Ortalama tohum kabuğu neps büyüklüğüdür.
- **Tohum kabuğu neps sayısı (SCN) (Cnt/g):** 1 gram pamukta bulunan tohum kabuğu neps sayısıdır.

AFIS Çöpel Modülü (T modülü)

Çöpel, pamuk bitkisinin kendisinden veya pamuk tarlasını kirleten diğer yabancı otlardan gelen parçaları içeren büyük yabancı maddeler için kullanılan genel terimdir. Toz ise bitkiden gelen küçük parçaları tanımlar veya daha basit bir ifadeyle hasat sırasında bitkiye yapışan kirlerdir. Bu modülde materyalin içerdiği toz ve çöpel miktarı ve büyüklükleri ölçülmektedir. AFIS-T modülünde aşağıdaki lif özellikleri ölçülmektedir.

- **Toplam yabancı madde sayısı (Cnt/g):** 1 gram pamukta bulunan tüm yabancı maddelerin sayısıdır.
- **Ortalama yabancı madde büyüklüğü (μm):** Ortalama çöpel büyüklüğüdür.
- **Toz sayısı (Cnt/g):** 1 gram pamukta bulunan büyüklüğü $500 \mu\text{m}$ 'dan az toz sayısıdır

- **Çöpel sayısı (Cnt/g):**1 gram pamukta bulunan büyüklüğü 500 μm 'dan fazla çöpel sayısıdır.
- **Görülebilir yabancı madde oranı (V.F.M.)(%):** Görülen yabancı madde değeri, toz ve çöpel miktarı yanında büyüklüklerini de göz önüne almaktadır. Bu değer, Shirley analyzer gibi gravimetrik ölçüm metotlarına çok iyi uymaktadır.

6.2.5 İplik özelliklerinin belirlenmesi

Çalışmada üretilen ipliklerin aşağıda belirtilen özellikleri ölçülmüştür. İplik numara, büküm ve düzgünlük testleri Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi Fiziksel Tekstil Muayeneleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

6.2.5.1 İplik numarası ölçümleri

İplik numarası ölçümleri USTER TESTER 5 S800 cihazının FA modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihazda DIN 53812'de belirtilen çile yöntemine göre ölçüm yapılmaktadır. 100 metre uzunluğundaki çile hava akımı yardımıyla terazinin (Mettler) bulunduğu FA modülüne iletilmekte ve iplik numarası otomatik olarak hesaplanmaktadır. Üretilen her iplik tipinden 10'ar adet numara ölçümü yapılmıştır.

6.2.5.2 İplik büküm sayısı ölçümleri

İplikler büküm ölçümleri açma-kapama yöntemine göre TS 247 EN ISO 2061 standardına göre yarı otomatik, bilgisayarlı Zweigle D315 iplik büküm ölçme aletinde gerçekleştirilmiştir. 500 mm ölçüm uzunluğunda

gerçekleştirilen büküm ölçümlerinde kullanılan ağırlık değerleri “iplik numarası (tex)/2” formülüne göre hesaplanmıştır. Ne 20 numara iplikler için 15 g, Ne 30 numara iplikler için 7 g ve Ne 40 numara iplikler için 5 g ağırlık kullanılmıştır. Her bir iplik tipinden 10’ar adet ölçüm yapılmıştır.

6.2.5.3 İplik düzgünsüzlük ölçümleri

İplik düzgünsüzlük ölçümleri E.Ü.Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Laboratuvarı’nde bulunan Uster Tester 5 S800 cihazında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 400 m/dk ölçüm hızı ve 2,5 dakika test süresinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.4’de ölçümlerde kullanılan Uster Tester 5 S800 cihazı verilmektedir.



Şekil 6.4: Uster Tester 5 S800 iplik düzgünsüzlük test cihazı

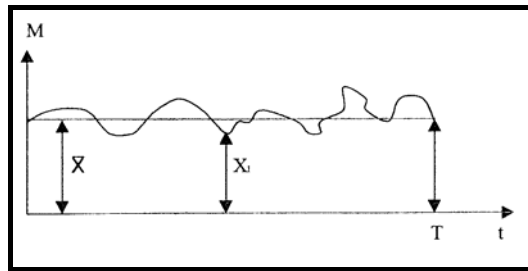
Kapasitif ve optik ölçüm prensibine göre düzgünsüzlük ölçümü yapabilen cihaz farklı ölçüm sensörleri içermektedir. OH sensörü, iplik tüylülüğünün ölçümünde kullanılmakta ve karşılaştırılabilir tüylülük ölçümüne imkan vermektedir. OM sensörü ile iki boyutlu ölçüm yöntemi sayesinde çap varyasyonu, şekil ve yoğunluk ölçümlerinin eşzamanlı

ölçümü yapılabilmektedir. Terbiye işlemlerinde müşteri şikayetlerinin %12'sini iplik çap, yoğunluk ve şekil farklılıkları nedeniyle oluşan renk varyasyonları ve bantlar oluşturmaktadır. Bu tip hatalar iplik kütle varyasyonlarından kaynaklanmaktadır ve OM sensörü ile sağlanan iki boyutlu elektro-optik sensör teknolojisiyle bu özellikler ölçülebilmektedir. OI sensörü, dokuma ve örme proseslerinde önemli bir sorun oluşturan yabancı maddelerin tespit edilmesini sağlayan sensördür. İplikteki çöpel, toz gibi bitkisel maddelerin düzgünlük ölçümü sırasında test edebilmesini sağlamaktadır. FM sensörü ile iplik yapısındaki yabancı elyaflar tespit edilebilmektedir.

Uster Tester 5 S800 cihazı ile ölçülen iplik özellikleri açıklanmıştır:

İplik düzgünlüğü (U_m) (%): Test edilen örneklerin ortalama kütesinden tüm kütle sapmalarını % olarak gösteren değerdir. Değerler 1 cm kesim uzunluğuna göre verilmektedir. Test uzunluğu boyunca tüm kütle varyasyonlarının toplam miktarını göstermektedir. Günümüzde U_m değerinin yerine CV_m değerinin kullanılması önerilmektedir.

İplik düzgünlüğü (CV_m) (%): Kütle varyasyon katsayısıdır. İplik test örneğinin test uzunluğu boyunca 0.8 cm kesim uzunluğu esas alınarak hesaplanan toplam kütle varyasyonu ölçüsüdür.



Şekil 6.5: CV_m değerinin hesaplanması

Şekil 6.5`de gösterildiği gibi t ölçüm süresini, m kütleyi göstermek üzere kütle değişiminin matematiksel ifade aşağıda verilmektedir:

$$CV_m = \frac{S}{\bar{X}} * 100 = \frac{1}{\bar{X}} * \sqrt{\frac{1}{T} * \int_0^T (X_i - \bar{X})^2 dt}$$

Liflerin kütle varyasyonu açısından normal dağılım gösterdiği düşünüldüğünde U_m ile CV_m değerleri arasında $CV_m = 1,25xU_m$ eşitliği geçerlidir.

Sık karşılaşılan hatalar (Imperfections): Seçilen hassasiyet ayarında ince yer, kalın yer ve neps sayılarını göstermektedir. Hassasiyet seviyesinin seçimi, iplikteki hatalı kısımlardaki enine kesit artış veya azalışının seviyesini ifade etmektedir. Kalın veya ince yer hatası, iplikte enine kesitte artış veya azalış önceden belirlenen % değeri aşıldığında sayılmaktadır. İnce yer, kalın yer ve neps hataları için ölçülebilen hassasiyet seviyeleri aşağıda verilmektedir.

- ❖ ince yerler :-%30, -%40, -%50, -%60
- ❖ kalın yerler :+%35, +%50, +%70, +%100
- ❖ neps : +%140, +%200, +%280, +%400.

Çalışmada sık karşılaşılan hataların tespit edilmesinde ince yerler için -%40, -%50; kalın yerler için +%35, +%50; neps için +%200 seviyeleri seçilmiştir.

Yoğunluk (D) (abs) (g/cm³): İpliğin tüm test uzunluğu boyunca ortalama yoğunluğudur. Nominal iplik numarası ile hesaplanmaktadır. İpliğin

sıklığının bir ölçüsüdür. $\frac{m}{l}$ (g/cm) iplik numarası, d, iplik çapı (cm) olmak üzere yoğunluk

$$D = \frac{4}{d^2 \cdot \pi} \cdot \frac{m}{l} \text{ (g/cm}^3\text{) eşitliği ile hesaplanmaktadır.}$$

Şekil: İpliğin test uzunluğu boyunca ortalama iplik yuvarlaklığını gösteren faktördür. İpliğin enine kesitinin kısa ve uzun eksenlerinin birbirine oranını ifade etmektedir.

Çap (2DØ) (mm): İpliğin tüm test uzunluğu boyunca iki boyutlu iplik çapının ortalamasıdır.

CV2D (8mm) (%): 8 mm kesim uzunluğunda iki boyutlu iplik çapı varyasyon katsayısıdır. Özellikle örme kumaşlarda, ipliğin optik düzgünlük açısından kumaşın görünüşünü tahmin etmek amacıyla kullanılmaktadır.

CV2D (0.3 mm) (%): 0.3 mm gerçek ölçüm bölgesi uzunluğunda ölçülen iki boyutlu çapın varyasyon katsayısıdır. İplik boyunca çok kısa varyasyonların bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır.

Çöpel sayısı (Cnt/g): 1 gram iplikte bulunan 500 µm`den büyük çöpel parçalarının sayısıdır.

Toz sayısı (Cnt/g): 1 gram iplikte bulunan 500 µm`den küçük toz parçalarının sayısıdır.

Yabancı madde sayısı (FD/km): 1 km iplikte bulunan renkli yabancı madde sayısıdır. FM sensörü ile bitkisel ve tohum kabuğu parçaları olmak üzere 23 farklı yabancı madde tespit edilerek sayılmaktadır.

6.2.5.4 İplik tüylülük ölçümleri

Tüylülük ölçümleri iplik hataları ve düzgünsüzlük ölçümleri ile birlikte Uster Tester 5 S 800 cihazında gerçekleştirilmiştir.

Uster cihazında tüylülük ölçümü entegre edilmiş OH sensörü ile yapılmaktadır. Bu sensörün alıcısı yalnızca çıkıntı oluşturan liflerden yansıyan ışığı algılamaktadır. İplik gövdesi siyah kalmakta ve ışığı yansıtılmamaktadır. Alıcıdaki ışık yoğunluğu böylece ipliğin tüylülüğü oranında yansıyan ışığı ölçmektedir.

H olarak ifade edilen iplik tüylülüğü 1 cm ölçüm uzunluğu boyunca iplik yüzeyinden dışarıya çıkan liflerin toplam uzunluğudur. Tüylülük değeri ile birlikte "sh" standart sapma değeri, bobin içerisindeki tüylülük varyasyonunu ifade etmektedir. Tüylülük değeri yanında kumaş görünümünün düzgünlüğü açısından bu varyasyonun düşük olması da istenilen bir durumdur.

6.2.6 Kumaş özelliklerinin belirlenmesi

Tüm testler, kumaşlar 24 saat süreyle TS EN ISO 391'e göre kondüsyonlandıktan sonra standart atmosfer koşullarında ($20^{\circ}\text{C}\pm 2$ sıcaklık, $\%65\pm 4$ bağıl nem) nem dengesine getirildikten sonra gerçekleştirilmiştir.

6.2.6.1 Relaksasyon

Örme sırasında kumaşa uygulanan gerilmeler nedeniyle ilmek boyu artmakta, genişliği azalmakta dolayısıyla ilmek şekli değişmektedir. Örme işlemi tamamlanıp kuvvetler ortadan kalktıktan sonra ilmekler doğal şekline dönmeye çalışmaktadır. İlmek şeklindeki bu değişim örme kumaşa da

yansımakta ve kumaşın şekli de değişmektedir. Bu değişime kumaş relaksasyonu adı verilmektedir. 1959 yılında Munden'in tanımladığı kuru ve yaş relaksasyon, Knapton'un 1968 yılında tanımladığı tam relaksasyon gibi çeşitleri vardır (Marmaralı, 2001). Bu çalışmada örme kumaşların kuru relaksasyonu gerçekleştirilmiştir.

Kuru relaksasyon, örme makinesinden alınan kumaşın düz bir yüzey üzerinde ve standart atmosfer şartlarında 48 saat bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Böylece kumaş relakse olmakta ve iç gerilimlerinden kurtulmakta ve boyutları değişmez hale gelmektedir.

Çalışmada interlok örme kumaşların kuru relaksasyonları gerçekleştirildikten sonra aşağıda belirtilen ölçümler yapılmıştır.

Bir sıradaki iplik uzunluğunun ölçümü (L): Örgü kumaşın bir sırasındaki iplik uzunluğunun tespiti için H.A.T.R.A. iplik uzunluğu ölçüm aletine benzer bir düzenek kurulmuştur. Bunun için milimetrik skalası olan 1.5 metre uzunluğunda bir cetvel, duvara dikey doğrultuda yapıştırılmıştır. Bu cetvelin üst kenarına ipliğin bir ucunu sabit tutabilmek için bir çene monte edilmiş ve örgü numunelerinden sökülmüş olan iplik sıralarının bir ucu cetvelin üst kısmındaki çeneye tutturulmuştur. İpliğin diğer ucuna ise iplik kıvrımlarının açılmasına yetecek, fakat ipliğe uzama vermeyecek şekilde 10 g ağırlığında kıskaç takılmıştır. Kıskaçın etkisi altında düzelmiş bir sıra ipliğin uzunluğu cetveldен okunmuştur.

Kumaşlarda 50 ilmek genişliğindeki örgü sırasının iplik uzunluğunu saptamak için 10'ar sıra iplik sökülüp, uzunlukları ölçülmüş ve bu ölçümlerin ortalaması örgü sırası iplik uzunluğu (L) olarak değerlendirilmiştir.

1 inç'deki ilmek sıra sayısının ölçümü (cpi): Örme kumaşta aynı ipliğin meydana getirdiği ve yan yana kumaş eni doğrultusundaki ilmeklerin oluşturdukları diziye "ilmek sırası" denilmektedir. Kumaşların 1 inç'de ki ilmek sıra sayıları büyüteç (loop) yardımıyla 5 tekrarlı ölçülmüştür.

1 inç'deki ilmek çubuk sayısının ölçümü (wpi): Kumaş boyu doğrultusundaki iç içe geçmiş ve aynı iğnenin oluşturduğu ilmekler dizisine "ilmek çubuğu" denilmektedir. Kumaşların 1 inç'de ki ilmek çubuk sayısı büyüteç (loop) yardımıyla 5 tekrarlı ölçülmüştür.

İlmeğin iplik uzunluğu (l): Bir sıradaki ortalama iplik uzunluğu (L), o sırada ön ve arka yüzde bulunan toplam ilmek sayısına bölünerek, bir ilmeğin ortalama iplik uzunluğu (mm) hesaplanmıştır.

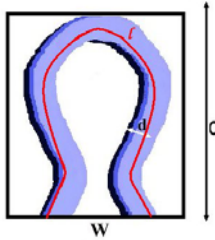
İlmeğin yüksekliği (c): 2.54 değeri bir inç mesafedeki ilmek sıra sayısına bölünerek bir ilmek yüksekliği (c) (mm) hesaplanmıştır.

İlmeğin genişliği (w): 2.54 değeri bir inç mesafedeki ilmek sıra sayısına bölünerek ilmek genişliği (w) hesaplanmıştır.

6.2.6.2 Kumaş örtme faktörünün tayini

Üretilen interlok kumaşlar düz bir yüzey üzerinde ve standart atmosfer şartlarında en az 48 saat bekletilip, kuru relaksasyon yapıldıktan sonra, ilmek iplik uzunluğu, ilmek yüksekliği ve ilmek genişliği hesaplanmıştır. Kumaşın örtme faktörü bir ilmek için iplik alanının ilmek alanına oranıdır. Kumaşların yüzey özellikleri ile ilişkisi olması nedeniyle boncuklanma özelliğinin tahminlenmesinde kumaş parametresi olarak kumaş örtme faktörü dikkate alınmıştır.

l , ilmek iplik uzunluğu; d , iplik çapı; c , ilmek yüksekliği; w , ilmek genişliği olmak üzere, kumaş örtme faktörü aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmıştır.



$$\text{rtmefaktr} = \frac{\text{iplikalanı}}{\text{ilmekalanı}} = \frac{ld}{cxw}$$

şekil 6.6: İlmek yapısı

6.2.6.3 Kumaş gramaj testi

İnterlok kumaşların gramaj değerleri 4'er adet ölüm ortalaması alınarak TS 251 standardına göre belirlenmiştir.

6.2.6.4 Kumaş boncuklanma testi

İnterlok rme kumaşların boncuklanma testi, TS EN ISO 12945 "Kumaşlarda Yüzey Tylenmesi ve Boncuklanma Yatkınlığının Tayini-Bölüm 2: Geliştirilmiş Martindale Metodu"na göre James Heal marka Martindale cihazında gerçekleştirilmiştir. Kumaşların boncuklanması için kumaşın kumaşa 2000 kez lissajous hareketi yapılarak srtldğ test sonunda değerlendirme PillGrade Objektif Boncuk Değerlendirme Sistemi kullanılarak yapılmıştır.

6.2.6.5 Kumaş boncuklanma özelliğinin objektif olarak değerlendirilmesi

Kumaş boncuklanma özelliğinin çeşitli test cihazlarıyla llerek standart fotoğraflarla kıyaslanıp, subjektif olarak değerlendirilmesi çok

kullanılan bir yöntem olmakla birlikte araştırmaya yönelik çalışmalarda sayısal verilerin kullanılmasının gerekliliği nedeniyle boncuklanma özeliğinin değerlendirilmesinde objektif yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla çeşitli görüntü analiz yöntemleri kullanılmıştır. 2003 yılında büyük bir polyester üreticisi, kesikli polyester elyafların boncuklanma direncini geliştirmek amacıyla yaptığı bir proje kapsamında objektif bir boncuklanma ölçüm cihazına ihtiyaç olduğunu belirlemiştir. LineTech isimli bir Amerikan görüntü teknolojisi geliştirme firmasıyla yapılan ortak bir çalışma sonucunda otomatik boncuk değerlendirme sistemi geliştirilmiş ve ticari olarak da SDL-Atlas firması tarafından PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi satışa sunulmuştur.

PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi, kumaş yüzeyinde oluşan boncukları saptayan, ölçen ve sayan üç boyutlu otomatik bir görüntüleme sistemidir. Sistem başlıca, bir yazılım programı, kamera, arka ve n ışık kaynağı, iki ayna, bir besleme masası ve hareketli silindirler içermektedir.



şekil 6.7: PillGrade boncuklanma değerlendirme sistemi

PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi, objektif olarak ve tekrarlanabilir şekilde ASTM ve ISO standartlarına göre 1 ile 5 arasında her türlü renk ve yapıdaki kumaşlarda boncuklanma

derecelendirmesi yapabilmektedir. Değerlendirmede 5 dereceli skala kullanılarak, ana dereceler dışında ara derecelendirme de yapılabilmektedir. 5 saniye içinde kumaş yüzeyindeki boncukların miktarı, boncuk büyüklük histogramı, ortalama boncuk büyüklüğü, boncuk yoğunluğu (boncuk/inç², boncuk/cm²), hav yüksekliği, 1.0-5.0 arasında boncuklanma derecesi belirlenebilmektedir.

Çizelge 6.15`de PillGrade Boncuklanma Değerlendirme Sistemi`nin kullanılabildiği standartlar verilmiştir.

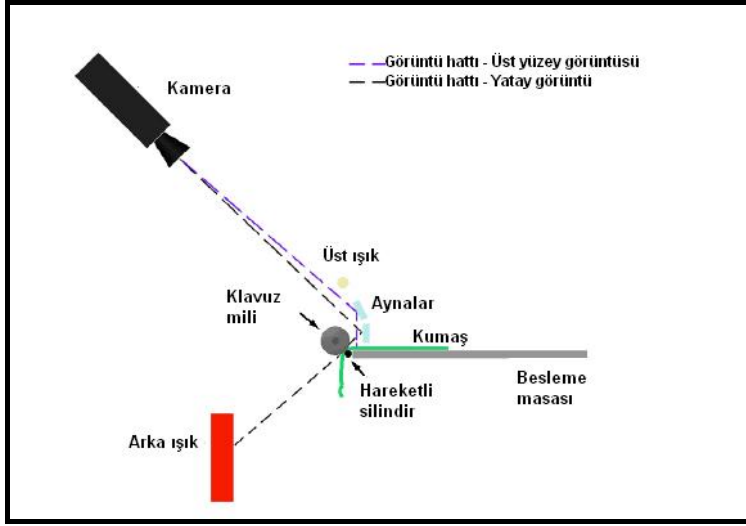
Çizelge 6.15: PillGrade Otomatik Değerlendirme Sistemi kapsamındaki ölçüm yöntemleri

Yöntem	Cihaz	Örnek Büyüklüğü	PillGrade Tarama Alanı
ASTM D 3512	Düşey Taklalı Pilling Cihazı	4.13" x 4.13"	Merkezde 2.0"x2.0"
ASTM D 4970	Martindale	1.5" çap	Merkezde 0.8"x 0.8"
TS EN ISO 12945-1	Pilling Box	113x113 mm	Merkezde 50x50mm
TS EN ISO 12945-2	Martindale	140 mm çap	Merkezde 50x50mm
ICI	ISO 12945 ile aynı	113x113 mm	Merkezde 50x50mm
BS 5811	ISO 12945-1 ile aynı	113x113 mm	Merkezde 50x50mm

Boncuklar, kumaş yüzeyinde lif topları ya da kümeleri şeklinde bulunmaktadır. Boncuklanmanın değerlendirilmesi için boncuk yüksekliklerinin de değerlendirmeye alınması gerektiğinden, 2 boyutlu olarak yüzeyin incelenmesi, gerçek anlamda bir değerlendirme yapabilmek için yetersiz olmaktadır. Ayrıca kumaş yüzeyinde oluşabilecek tüylenme derecesine bağlı olarak, oluşan boncuklar havlar tarafından gizlenebilmekte ya da kumaş üzerindeki desenler ve kumaşın yapısı, yüzeyde oluşan boncukların rahatça görülmesini engelleyebilmekte ve değerlendirme için yanıltıcı bir faktör olabilmektedir. PillGrade otomatik değerlendirme

sistemi, kumaşın döner milin etrafındaki hareketi esnasında, yatay düzleminin taranarak her bir boncuğun yüksekliği ve havlanmanın ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

Şekil 6.8, kumaşın hareketli silindir üzerinden geçerken kameranın çalışma şeklini göstermektedir.

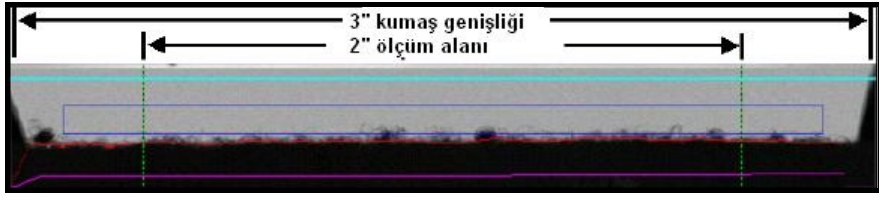


Şekil 6.8: PillGrade Sisteminin şematik gösterimi

PillGrade cihazında bir fotoğraf çekimi değil, bir video kaydı söz konusudur. Kumaş saniyede 25 mm hızla ilerlerken, kumaşın video aracılığı ile saniyede 30 adet fotoğrafı çekilmektedir. Kumaşın 3 boyutlu olarak incelenebilmesi, sisteme entegre edilen aynalar yardımıyla gerçekleşmektedir. Farklı açılarda yerleştirilmiş aynalar kumaşın hem yataydan hem de üst yüzeyinden görüntüsünün aynı anda alınmasını sağlamaktadır.

PillGrade sisteminde ölçüm yapılırken kumaş, besleme masası üzerine yerleştirilmekte ve klavuz silindirlerinin yardımıyla ileri doğru hareket

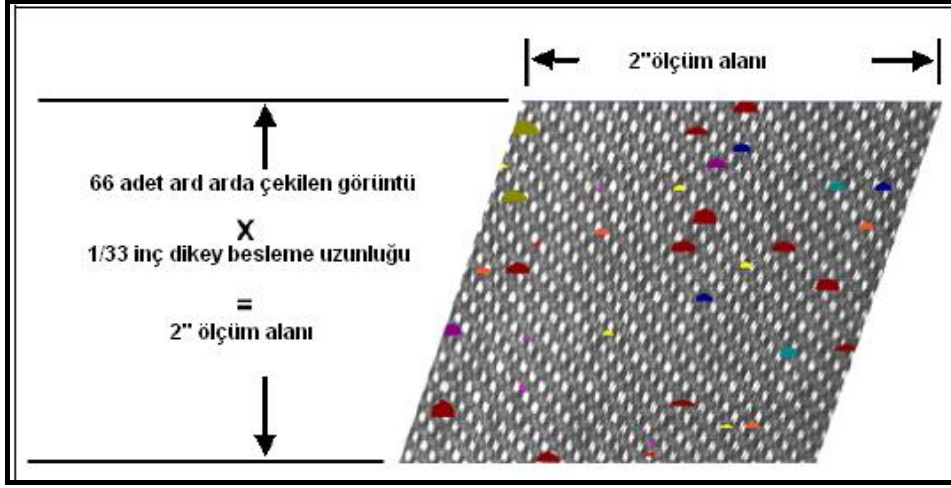
ettirilmektedir. Bu sırada kamera aracılığıyla 3.0 inçlik kumaş kavrama mesafesinde kumaşın arkadan gelen ışığa karşı yatay fotoğrafı çekilerek kumaşın silueti, yani yatay görüntüsü çıkarılmaktadır. Yatay görüntü için izlenen optik yol, kameradan aynaya, aynadan kumaşın enine kesit yatay çizgisine ve arka ışığa şeklindedir. Kumaşın kavrama noktasında kıvrılarak hareket etmesi, arka ışığa karşı kontrastın düzgün bir şekilde oluşmasına olanak sağlamaktadır. Şekil 6.9`da kumaşın yatay çekilen görüntüsü üzerinde farklı renklerle işaretlenmiş bölgeler yer almaktadır. Mavi renkte, dikdörtgen şeklinde gösterilen bölge arka ışık eşik bölgesini, turkuaz ve mor çizgiler, üst ve alt yükseklik sınır çizgilerini, kırmızı çizgi, kumaş yüzeyini ve kesikli çizgiler sağ ve soldan 2 inçlik ölçüm bölgesi sınırlarını göstermektedir.



Şekil 6.9: Arkadan aydınlatılmış kumaşın yatay görüntüsü

Görüntünün algılanması ve ölçüm algoritmaları her bir fotoğraf karesine uygulanmaktadır. Kumaş silindirler üzerinden hareket ederken, her biri 1/33 inçlik besleme uzunluğundaki görüntüyü temsil eden 66 adet görüntü birleştirilerek XY ekranına grafik olarak kumaş görüntüsü aktarılmaktadır. Kumaş yüzeyinin taranmasının ardından, PillGrade, boncukların ölçülmesi için yatay görüntülerin her birini analiz etmekte ve boncuk büyüklüğüne göre yarım daire şeklindeki renkli işaretleyicileri kullanarak boncukların XY koordinatlarını grafik üzerine işaretlemektedir. Ayrıca kamera, üst ışık ve eğimli aynalar yardımıyla kumaş yüzeyini bir

tarayıcı gibi tarayarak görüntülemekte ve böylece kumaşın 3 boyutlu topolojik haritası oluşturulmaktadır.

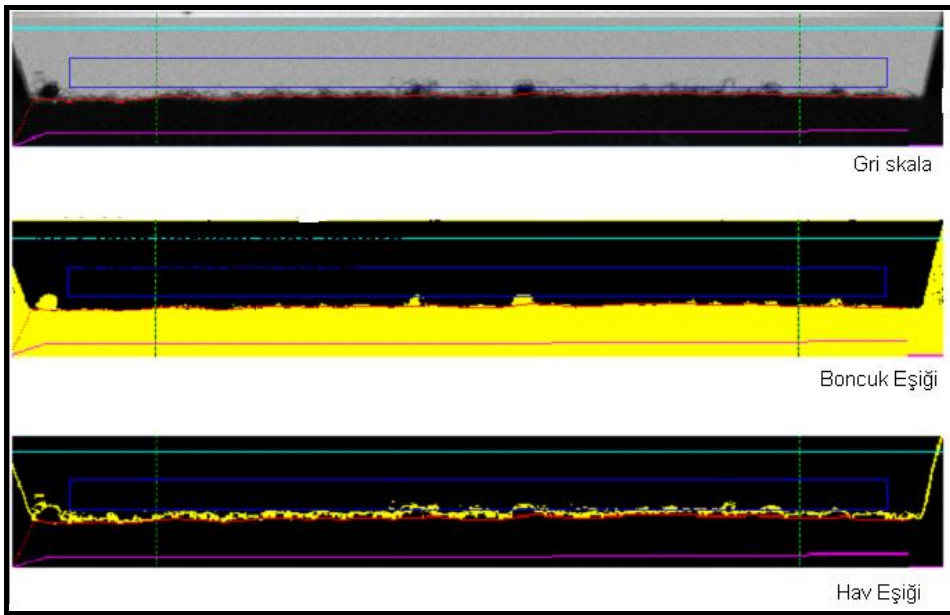


Şekil 6.10: PillGrade tarafından taranmış örnek alanı

PillGrade sistemi, her bir görüntüdeki boncuk ve havların tespit edilmesi ve ölçülmesi için bir seri algoritma uygulamaktadır. Dijital kamera, X ekseninin 3 inçlik kumaş kavrama bölgesini, Z ekseninin kumaş yüksekliğini ifade ettiği 8 bit (0-255) piksellik XZ düzlemini yakalamakta ve kaydetmektedir (Y eksenini, kumaş besleme uzunluğunu ya da bir başka ifadeyle video zamanlama fonksiyonunu ifade etmektedir).

Arka ışık, mercek ve kameranın ışık değeri, arka ışığın eşik bölgesi, ışık ayarı, her zaman yaklaşık kameranın tam duyarlılık seviyesinin %67'sinde olacak şekilde (171/255) ayarlanmaktadır. Bu ışık seviyesi, karartılmış kumaş görüntüsü, boncuklar, tüyler ve arka ışık arasında iyi bir kontrastın oluşmasına olanak sağlamaktadır.

İlk fotoğraf işleme adımı, kumaş yüzey çizgisi için görüntüye eşik değerini uygulamak ve daha sonra boncuk ve tüylerin ayrı ayrı tespit edilmesi için siyah-beyaz eşik değerlerinin uygulanmasıdır. Bu siyah-beyaz eşik değerleri Şekil 6.11`de verilmektedir. Her bir resimdeki kırmızı çizgi, kumaş yüzeyi ayırma çizgilerini göstermektedir. Boncuk ve hav eşik bölgeleri siyah ve sarı renkte gösterilmektedir.



Şekil 6.11: Kumaş yüzey çizgisi, boncuk ve tüylerin siyah-beyaz görüntüsü

Kumaş yüzey çizgisinin, boncukların ve havların tespit edilmesi, 2 inçlik ölçüm alanı içerisinde her piksel sütununun soldan sağa doğru algılanıp, piksel biriminin 1/100`ünde değişen eşik piksel bölgesinin saptanması şeklinde yapılmaktadır. XY koordinatı belirlenen boncuk, XY kumaş görüntüsü üzerine işaretlenmekte ve boncukların büyüklüğü, XZ boyutuna göre tespit edilerek farklı renklerde kodlanmaktadır.

Objektif boncuklanma değerlendirme sistemi otomatik olarak boncuk yoğunluğunu, toplam boncuk sayısını, ağırlıklı boncuk sayısını, ortalama boncuk büyüklüğünü ve boncuklanma derecesini hesaplamaktadır.

- **Toplam boncuk sayısı:** İncelenen alandaki toplam boncuk sayısını ifade etmektedir.
- **Ağırlıklı toplam boncuk sayısı:** Logaritmik bir skala kullanılarak hesaplanmaktadır. Boncuk büyüklükleri göz önünde bulundurularak, çapı 3.9mm`den fazla olan boncukların sayısı 5.0 katsayısıyla, çapı 0.3 mm`den küçük olan boncuk sayısının ise 0.6 katsayısıyla çarpılmaktadır. Kullanılan katsayı, boncukların kapladığı XZ alanına göre aşağıdaki eşitlikle belirlenmektedir.

$$\text{Katsayı} = 8,5587 * (\text{XZ alanı})^{-1,0082}$$

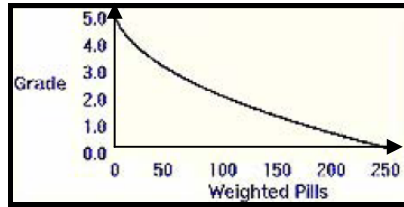
- **Boncuk yoğunluğu (boncuk sayısı/cm²(inç²)):** İncelenen alandaki toplam boncuk sayısının, toplam alana oranıdır.
- **Ağırlıklı boncuk yoğunluğu (ağırlıklı boncuk sayısı/cm²(inç²)):** İncelenen alandaki toplam ağırlıklı boncuk sayısının, toplam alana oranıdır.
- **Hav yüksekliği (mm):** Kumaş hav tabakasının yoğun olan kısmının yüksekliğidir. Yoğun hav tabakasının dışındaki tek lif çıkıntıları ihmal edilerek hesaplanmaktadır.
- **Ortalama boncuk alanı (cm²):** 25.18 cm²`lik ölçüm alanı içerisindeki boncukların kapladığı ortalama alandır.
- **Ortalama boncuk yüksekliği (mm):** Değerlendirilen alandaki boncukların ortalama büyüklüğüdür. Kumaş yüzeyindeki bir boncuk, hav

tabakasının daha üzerinde yer aldığında çok fazla belirgin olacağından, PillGrade her bir boncuğun büyüklüğünü ölçmek için yüksekliğe göre dengelenen boncuk çapını kullanmaktadır. Kumaş havlanma derecesi arttığında, kumaş yüzeyindeki boncuklar havlar tarafından gizlenmekte, bu durumda boncukların saptanması için gerekli eşik değeri hav yüksekliğine göre sistemde otomatik olarak değiştirilmektedir.

- **Boncuklanma derecesi:** Boncuklanma derecesi aşağıdaki formül aracılığıyla hesaplanmakta ve en yoğun boncuklanma derecesi 1, en az boncuklanma derecesi 5 olmak üzere değerlendirilmektedir.

$$\text{Boncuklanma derecesi} = 6 - (1 + 0.75 * (\text{ağırlıklı boncuk sayısı} / \text{in}^2))^{0.45}$$

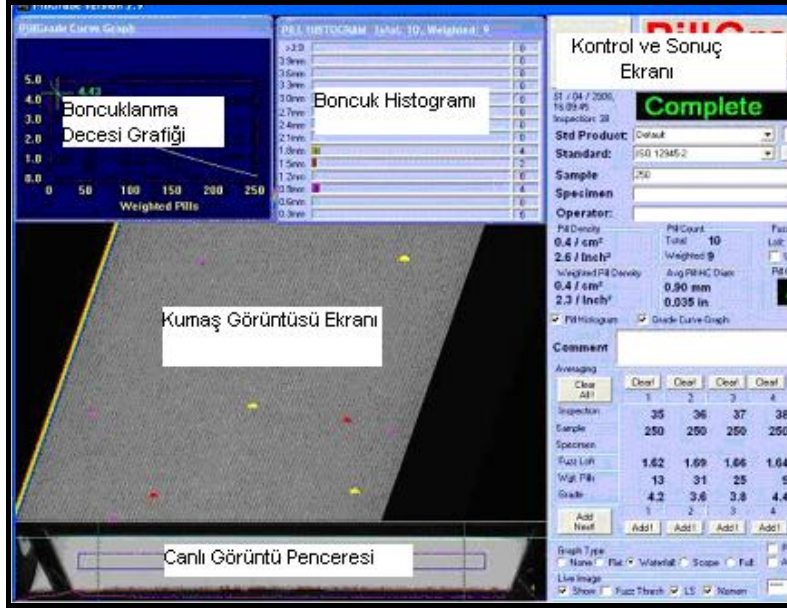
Boncuklanma derecesi ile ağırlıklı boncuk sayısı arasındaki ilişki Şekil 6.12`de verilmektedir.



Şekil 6.12: Boncuklanma derecesi grafiği

- **Histogram:** 0,3 mm ile 3,9 mm arasındaki boncukların büyüklüklerine göre sayılarını gösteren grafikdir.

Şekil 6.13`de PillGrade sistemi ile yapılan değerlendirme sonuçlarının yer aldığı ekran görüntüsü verilmektedir. Ekran, boncuklanma derecesi grafiği, boncuk histogramı, 2 boyutlu kumaş yüzey görüntüsü ekranı ve test edilen kumaşa ait bilgilerin ve sonuçların yer aldığı bölümler olmak üzere 5 kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 6.13: PillGrade Otomatik Boncuklanma Değerlendirme Sistemi ekranı

PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi'nin en önemli avantajlarından birisi, her çeşit tekstil ürününde değerlendirme sonuçlarının objektif ve tekrarlanabilir olmasıdır. Ancak sistem aynı zamanda herhangi bir üründe kullanıcının subjektif olarak yaptığı değerlendirmeye uyacak şekilde boncuklanma derecesi formülünü uyarlama olanağı da sunmaktadır. Boncuklanma derecesini belirleyen eğriyi oluşturan 5 farklı değişkenin katsayıları değiştirilerek sistemin yaptığı değerlendirme subjektif değerlendirmeye göre değiştirilebilmektedir. Sistemde bu amaçla kullanılacak parametreler aşağıda verilmektedir.

Derece çarpanı değişkeni, boncuklanma derecesi grafiğinin eğimini ifade etmektedir. 0.75 olan varsayılan değer maksimum 2.5'a kadar artırılması boncuklanma derecesini düşürmektedir.

Güç değişkeni, grafiğin eğriliğini ifade etmektedir. 0.45 olan varsayılan değer in 1'e doğru arttırılması eğrinin lineer olmasını sağlamakta, boncuklanma derecesini düşürmektedir.

Ağırlıklı boncuk faktörü değişkeni, numunenin değerlendirmesi sırasında istenilen sayıda boncuğun hesaba katılmamasını sağlamaktadır. Örneğin kendinden desenli, havlı yapıdaki kumaşlarda, sistemin, kumaş yapısından kaynaklanan desenleri boncuk olarak değerlendirmemesi için bu değer azaltılarak boncuklanmamış kumaşın 4.9 olarak değerlendirildiği değer tespit edilmektedir. Değer arttırıldıkça, ağırlıklı boncuk sayısı azalmakta, boncuklanma derecesi artmaktadır.

Boncuk saptama eşiği değişkeni, bir boncuğun boncuk olarak sayılması için gerekli, kumaşın sınır çizgisinden itibaren olan yükseklik değeridir. Bu değer arttırılırsa, boncuk saptama hassasiyeti azalmakta ve boncuklanma derecesi artmaktadır.

Hav-boncuk eşik çarpanı, hav yüksekliğine göre eşik değerini otomatik olarak ayarlamaktadır. Kumaş yüzeyinde havlanma arttığında, oluşan boncukların kumaş yapısında gizlendiği ve görünmez olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla havlı kumaşlarda bu değer azaltılarak boncuk saptama hassasiyeti arttırılmaktadır.

Çalışmada, boncuklanma derecesini belirleyen eğriyi oluşturabilmek için öncelikle 27 numune ile subjektif olarak 3 kişi tarafından ön değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme sonuçları kullanılarak, boncuklanma eğrisini oluşturan 5 farklı değişkenin katsayıları düzenlenmiştir. Buna göre çalışmada PillGrade sisteminde kullanılan katsayılar Çizelge 6.16'da verilmektedir.

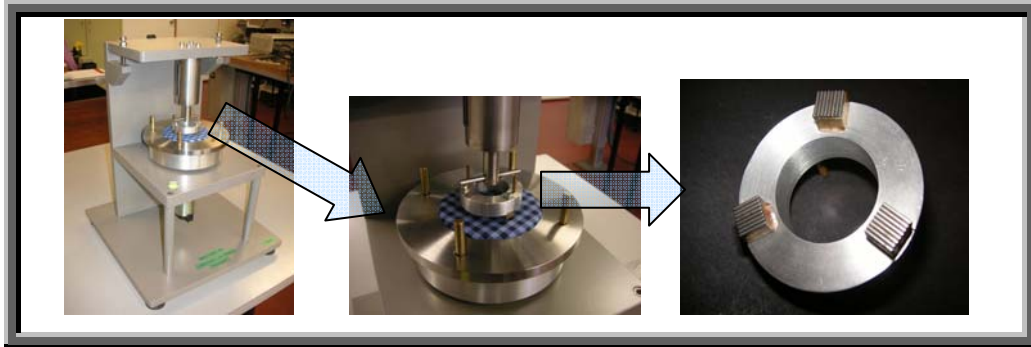
Çizelge 6.16: Boncuklanma derecesi ölçümü için ayarlanan değişkenler

Boncuklanma Derecesi Ölçümü için Ayarlanan Değişkenler				
Derece çarpanı	Güç çarpanı	Ağırlıklı boncuk faktörü	Boncuk saptama eşik değeri	Hav-boncuk eşik çarpanı
0,70	0,45	0	0,75	0,0035

TS EN ISO 12945-2 standardına göre Martindale Aşındırma ve Boncuklanma Testi cihazında yapılan boncuklanma testi 3 tekrarlı gerçekleştirilmiş olup, birbirine sürtünen üst ve alt numunelerle birlikte toplamda her bir kumaştan 6 adet test örneği PillGrade sisteminde ölçülmüş ve ortalamaları sonuç olarak alınmıştır.

6.2.6.6 Kumaş yüzey sürtünme katsayısının ölçülmesi

Kumaş yüzey sürtünme katsayısının ölçümü için Minho Üniversitesi, Portekiz`de geliştirilen Frictorq (Fabric Friction Tester) cihazı kullanılmıştır.



Şekil 6.14: Frictorq kumaş sürtünme katsayısı test cihazı

Cihazda, 1 mm çapında çelik çubuklardan oluşan yaklaşık kare şeklinde, 3.5 kPa`lık bir basınç oluşturan, 3 temas noktası içeren bir kontak sensörü kumaş numunesi üzerine yerleştirilmektedir. Bu kontak sensörü,

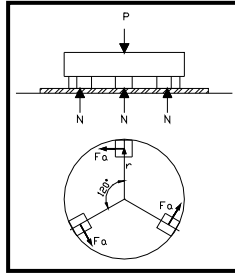
sabit açısıl bir hızda yatay ekseninde döndürülmekte ve oluşan moment ölçülmektedir. F_o , her bir temas noktasındaki sürtünme kuvveti ve r , temas noktasının merkeze olan uzaklığı olmak üzere döndürme momenti aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$T=3.F_o.r \text{ (cNm)}$$

$F_o=\mu.N$ ve $N = P/3$ ve P , dikey kuvvet olmak üzere, sürtünme katsayısı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$\mu = \frac{T}{P.r}$$

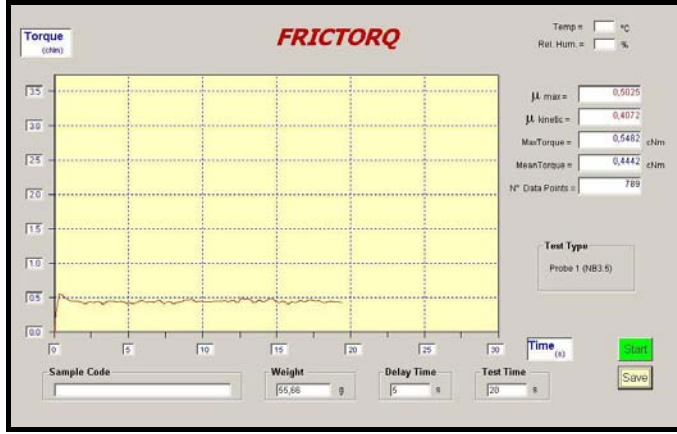
P ve r sabit olmak üzere sürtünme katsayısı döndürme momenti ile orantılıdır.



Şekil 6.15: Frictorq cihazının şematik gösterimi

Ölçüm alanına konulan 13 cm çapında kesilen kumaş numunesinin tam merkezine hizalama plakası yardımıyla kontak sensörü yerleştirilmektedir. Tork sensörü aşağıya indirilerek içerdiği kol yardımıyla kontak sensörünün kumaş üzerinde hareketini sağlamaktadır. 20 saniye boyunca devam eden hareket sırasında kontak sensörün ilk harekete geçtiği andaki döndürme kuvveti aracılığıyla statik sürtünme katsayısı (μ_{max}) ve tüm hareketi boyunca değişen döndürme kuvveti değerleri aracılığıyla hesaplanan kinetik

sürtünme katsayısı değerleri (μ_{kin}) ölçülmektedir. Şekil 6.16'da Frictorq cihazında ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinin değişimine ait elde edilen ölçüm ekranı yer almaktadır.



Şekil 6.16: Frictorq cihazı ölçüm ekranı

6.3 Sonuçların Değerlendirmesinde Kullanılan Metotlar

Kumaş boncuklanma özelliğine etki eden parametrelerin belirlenmesi ve lif, iplik ve kumaş özellikleri ile kumaş boncuklanma özelliği arasındaki ilişkinin tespit edilmesi varyans analizi ve korelasyon analizi ile gerçekleştirilmiştir. Lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla kumaş boncuklanma özelliğinin tahminlenmesi çoklu regresyon analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca özellikle değişik faktörlerin karmaşık ilişkilerinin söz konusu olduğu durumlarda kullanılan ve insan beyninin temel işlem elemanı olan nöronu şekilsel ve işlevsel olarak basit bir şekilde taklit eden yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak da kumaş boncuklanma özelliği tahminlenmiştir.

İstatistiksel analizlerin yapılmasında SPSS 16.0, Statistica 7, Minitab 11 ve MS Excel 2007 programları kullanılmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde yapılan istatistiksel analizler hakkında daha fazla fikir sunabilmek için varyans analizi, korelasyon analizi, regresyon analizi ve yapay sinir ağları hakkında açıklayıcı bilgiler verilmektedir.

6.3.1 Varyans analizi

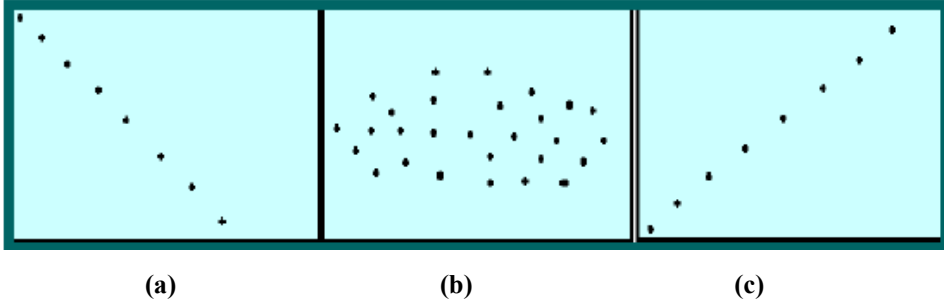
Varyans analiz, kitlelerde normal dağılıma uyan üç ya da daha fazla örneklem arasındaki farklılığın önemli olup olmadığını araştıran ve bu farklılığı meydana getiren sebeplerin kontrolünde kullanılan istatistiksel bir yöntemdir.

Varyans analizi, model denklemlerindeki bağımsız değişken sayısına bağlı olarak sınırlandırılmaktadır. Tek yönlü varyans analizi, bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini araştırmak için kullanılmaktadır. İki yönlü varyans analizi ise iki bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini araştırmak için kullanılmaktadır. Çok-faktörlü varyans analizinde, (MANOVA-Multivariate ANOVA) bir yada daha fazla bağımsız değişkene ait grupların, iki yada daha fazla bağımlı değişkene ilişkin ortalamaları karşılaştırılmakta ve ortalamalar arasındaki farkın belirli bir güven düzeyinde (%95, %99 gibi) anlamlı (önemli) olup olmadığı test edilmektedir. Bu test ile her bir bağımsız değişkene ait gruplar kendi arasında, her bir bağımlı değişkene ilişkin ölçümlere göre ayrı ayrı karşılaştırılmaktadır.

6.3.2 Korelasyon analizi

İki ya da daha çok değişken arasında ilişki olup olmadığını, ilişki varsa yönünü ve gücünü incelemek amacıyla korelasyon analizi

yapılmaktadır. Serpme grafikleri iki değişken arasındaki ilişki hakkında genel bir bilgi edinilmesini sağlamaktadır. Ancak, ilişkinin miktarı konusunda yorum yapabilmek için korelasyon katsayısının hesaplanması gerekmektedir. Korelasyon katsayısı (r), iki değişken arasındaki ilişkinin bir ölçüsüdür ve -1 ve +1 arasında değişim göstermektedir.



Şekil 6.17: Serpme grafikleri (a) $r=-1$ mükemmel negatif ilişki (b) $r= 0$ ilişki yok (c) $r= 1$ mükemmel pozitif ilişki

Şekil 6.17`de verilen serpm grafiklerinde (a) değişkenlerden birisinin artışına bağlı olarak diğerinde azalmanın olduğu doğrusal ilişkiyi, (b) iki değişken arasında ilişki olmadığını, (c) değişkenlerden birisinde ki artışa bağlı olarak diğerinde de artışın olduğu doğrusal ilişkiyi göstermektedir.

Korelasyon katsayısı, örnekten elde edilen verilere göre aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmaktadır.

$$r = \frac{\sum xy - (\sum x)(\sum y) / n}{\sqrt{[\sum x^2 - (\sum x)^2 / n][\sum y^2 - (\sum y)^2 / n]}}$$

Korelasyon katsayısının yorumunu, tam değerler dışında ara değerler için yapmak oldukça güçtür. Ara değerler için katsayı değerlendirirken, örnek gözlem sayısı (n) oldukça önemlidir. Çok fazla gözleme dayanan değerlendirmelerde 0.25'e kadar düşmüş bir korelasyon katsayısı bile anlamlı sayılabilmektedir. Fakat az sayıda, 10-15 gözleme dayanan

değerlendirmelerde korelasyon katsayısının 0.71 üstünde olması beklenir. Ana kütleye göre normal sayılacak kadar bir gözlem sayısı alınarak bakılmış gözlem grupları için genellikle, 0-0.49 arasında ise korelasyon zayıf, 0.5-0.74 arasında ise orta derecede, 0.75-1 arasında ise kuvvetli ilişki vardır denilmektedir.

6.3.3 Regresyon analizi

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, o konu ile ilgili tahminler (estimation) ya da kestirimler (prediction) yapabilmek amacıyla regresyon modeli olarak adlandırılan matematiksel bir model ile karakterize eden bir istatistik analiz tekniğidir. Regresyon, bir bağımlı (açıklanan) değişken, diğeri de bağımsız (açıklayıcı) değişken olarak en az iki değişken arasındaki ortalama ilişkinin matematiksel bir fonksiyon şeklinde ifade edilmesidir. Bu fonksiyona regresyon denklemi adı verilmektedir.

Regresyon analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında bir ilişki var mıdır? Eğer bir ilişki varsa bu ilişkinin gücü nedir? Değişkenler arasında ne tür bir ilişki vardır? Bağımlı değişkene ait ileriye dönük değerleri tahmin etmek mümkün müdür ve nasıl tahmin edilmelidir? Belirli koşulların kontrol edilmesi durumunda özel bir değişken veya değişkenler grubunun diğer değişken veya değişkenler üzerindeki etkisi nedir ve nasıl değişir? gibi sorulara cevap aranmaya çalışılmaktadır.

Bir tek bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon, tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizi de çok değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır.

Genel bir ifadeyle, Y bağımlı değişken, X bağımsız değişken olmak üzere, Y ve X'ler arasındaki bağıntıyı temsil eden doğrusal matematik model aşağıda verilmiş olup, modelde k , denklemdaki bağımsız değişken sayısı, ε , hata terimi, Y'de ki değişkenliğin doğrusal ilişki ile açıklanamayan kısmı olup, ortalaması 0, varyansı σ^2 olan ve normal dağılışa uyan rasgele değişkendir. β_0 ve β_1 katsayıları regresyon katsayıları olup, β_1 katsayısı, bağımsız değişkendeki bir birimlik değişikliğin bağımlı değişkende yapacağı değişim miktarıdır.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \varepsilon_i$$

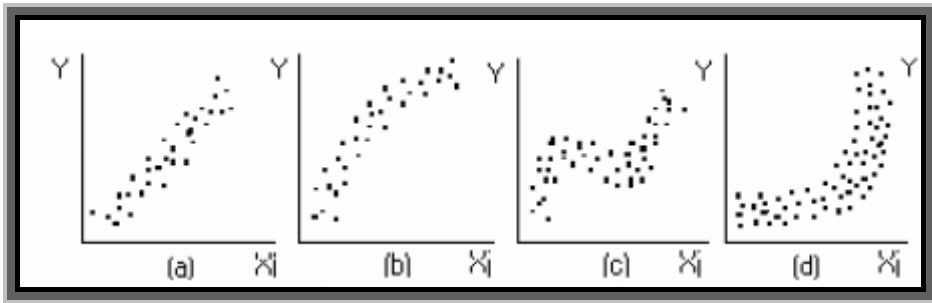
Regresyon denkleminin katsayılarının örnekten elde edilen bilgiler yardımı ile hesaplanmasında, esas itibarıyla, “en küçük kareler” yöntemi kullanılmaktadır. Regresyon denkleminin ilişkin kabullerin yerine gelmesi durumunda, en küçük kareler yöntemi ile hesaplanan katsayılar “en iyi doğrusal ve sistematik hatasız örnek değerleri” niteliğindedirler. “En iyi” ile kastedilen, en küçük kareler yöntemi ile hesaplanacak örnek regresyon denkleminin varyansının, diğer hesaplama yöntemlerine göre bulunacak varyanslar arasında, en küçük olanıdır.

En küçük kareler tekniği kullanılarak bir model uydurulabilmesi için dikkat edilecek önemli hususlar aşağıda verilmektedir.

Regresyon analizi ile uydurulacak modelde yer alacak bağımsız değişkenlerin seçimi çalışmanın ilk adımıdır. Burada dikkat edilecek en önemli hususlar; bağımlı değişkenin (Y) doğru seçilmesi, bağımlı değişken ile bağımsız değişken veya değişkenler (X) arasında doğrusal bir sebep-sonuç ilişkisi bulunması, modele sadece ilgili bağımsız değişkenlerin dahil

edilmesidir. Eğer konu ile ilgili çok fazla sayıda bağımsız değişken varsa bunlardan sadece bağımlı değişkendeki varyasyonun açıklanmasına önemli derecede katkısı olanlar uygun değişken seçimi yöntemleri [geriye eleme (backward elimination), ileri seçim (forward selection, stepwise), mallow'un C_p istatistigi v.b.] kullanılarak seçilmelidir. Çünkü regresyon modelinin mümkün olan en az bağımsız değişken ile en iyi tahmini yapabilecek şekilde uydurulması esastır.

Regresyon analizinde bağımsız değişkenlerin modele ne şekilde gireceği ya da değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade edecek olan modelin hangi model olacağı konusunda başlangıçta bir fikir elde etmek için, gözlem noktalarının koordinat eksenindeki dağılımını gösteren serpmeye diyagramı incelenir. Elde edilen grafikte tipik bazı görünümlere göre Y ile X arasındaki ilişkinin şekli görsel olarak belirlenebilir



Şekil 6.18: Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki biçimleri

Şekil 6.18'de ki (a) grafiği X ile Y arasında $y = a + bX$ şeklinde doğrusal, (b) grafiği $y = a + b \cdot \ln(X)$ şeklinde logaritmik, (c) grafiği $y = a + b_1X + b_2X^2 \dots$ şeklinde polinomial, (d) grafiği ise $y = a \cdot e^{bX}$ şeklinde üstel bir ilişki olduğunu ve uydurulacak modelin bu tip modeller olması gerektiğini ifade eder. Bu nedenle örneğin üstel bir fonksiyon ile ifade

edilebilecek bir veri grubuna doğrusal bir model uydurulmaya çalışılırsa ilişki istatistiksel olarak önemli çıksa dahi geçerliliği olmayacaktır. Bu nedenle bağımsız değişkenlerin denkleme katılabilmelerini sağlamak için bazı dönüşümler yapmak gerekebilir.

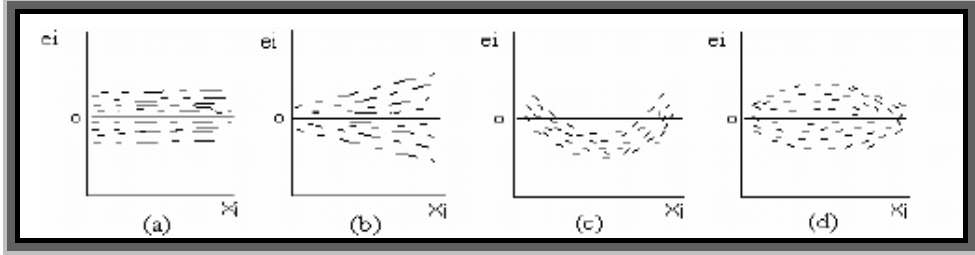
Örnekten hesaplanan regresyon denkleminin verilere uyum düzeyini, dolayısıyla denklemin başarısını ölçmede “belirleme katsayısı (R^2)” denilen bir istatistik kullanılmaktadır. Belirleme katsayısı, regresyon denkleminin başarısını ölçme yanında, denklemin “tahmin gücü”nü de yansıtan bir istatistiktir. Belirtme katsayısı, kullanılan X değişkenlerinin Y'deki toplam varyasyonu açıklayabilme oranını verir ve $0 < R^2 < 1$ dir.

R^2 değeri, örnek büyüklüğünün bir fonksiyonu olduğu için bazı araştırmacılar, R^2 değerinin hesaplanmasında, örnek büyüklüğünün de dikkate alınmasını savunmaktadırlar. Örnek büyüklüğü dikkate alınarak hesaplanan düzeltilmiş R^2_a değeri, her zaman R^2 değerinden küçüktür. Bu iki değer arasındaki fark, n, R^2 ve bağımsız değişken sayısı (k) azalırca, daha da büyümektedir.

Teorik modeli temsil eden regresyon modeli ile açıklanamayan değişkenliğin bir ölçüsü olan kalıntılar (hata terimleri), modelin uygunluğu hakkında daha açıklayıcı bilgiler vermektedir. Basit olarak kalıntı (hata); “gözlenen değer ile tahminlenen değer arasındaki fark” olarak tanımlanmaktadır. $y = Xb + e$ şeklindeki bir modelde kalıntı;

$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad i=1,2,3,\dots,n$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada; e_i =i.kalıntı değerini, y_i =i.gözlenen değeri, \hat{y}_i =i.tahmin değerini göstermektedir. Hata değerleri kullanılarak çizilen bazı grafikler, oluşturulan model hakkında kabaca bazı bilgiler verebilmektedirler. Genellikle kalıntıların bağımsız

değişkenlere, \hat{y}_i değerlerine, eğer gözlemlerin zamandaki sırası biliniyorsa zamana karşı grafikleri model hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 6.19: Hata değerleri ile bağımlı değişken arasında

Oluşturulan model için grafikler çizildiğinde (a)'da ki gibi düz bir band görünümü modelin yeterli olduğunu göstermekte, (b)'deki grafik yapılan varsayımın aksine hata varyansının sabit olmadığını göstermekte ve bu durumda problem, X ve Y'de ya bir transformasyona gitmek veya en küçük kareler yöntemi yerine tartılı en küçük kareler yönteminin uygulamak suretiyle çözülmeye çalışılmaktadır. (c), modelin aslında doğrusal olmayıp modele karesel bir terimin eklenmesi gerektiğini ifade etmekte (d)'de yine varyansın sabit olmadığı ayrıca modelin aslında doğrusal olmayıp modele karesel bir terimin eklenmesi ya da X veya Y değişkeninde bir transformasyonun gerektiğini ifade etmektedir.

Bu çalışmada uygulanan çok değişkenli regresyon analizinde gerçekleştirilen işlemler şu şekilde sıralanabilir:

- ❖ Bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait tanımlayıcı istatistiklerin hesaplanması

- ❖ Her bir X bağımsız değişkeni ile Y değişkeninin serpm diyagramları çizilerek, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesi
- ❖ Modelin belirlenmesi
- ❖ Uygunluk analizi
- ❖ Varyans analizi
- ❖ Regresyon ilişkisinin testi
- ❖ Regresyon katsayılarının belirlenmesi

Çalışmada interlok örme kumaşların boncuklanma özelliklerinin tahminlenebilmesi için PillGrade otomatik pilling değerlendirme sistemi ile ölçülen özellikler bağımlı değişken (Y), lif, iplik ve kumaş özellikleri de bağımsız değişkenler (X_j) olarak seçilmişlerdir.

Lif özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan AFIS PRO 2 cihazı yardımıyla ölçülen bazı lif özellikleri arasında yüksek korelasyon bulunduğundan bazı lif özellikleri denkleme dahil edilmemiştir. İplik özelliklerinden iplik numarası (Ne), iplik büküm sayısı (T/m) yanında USTER TESTER 5 cihazında ölçülen bazı iplik özellikleri regresyon analizinde kullanılmıştır. Kumaş özelliklerinden bağımlı değişkenler ile en yüksek korelasyona sahip örtme faktörü değeri denklemlere dahil edilmiştir.

Regresyon analizleri, Minitab istatistik programı yardımıyla, en iyi regresyon modeli bulma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bağımsız değişkenlerin farklı kombinasyonlarını içeren regresyon denklemleri içerisinde, düzeltilmiş regresyon katsayısı (R^2_{adj}), hata kareler ortalaması (MSE), C-p değerleri göz önünde bulundurularak en uygun model

seçilmiştir. Seçilen modelde yer alan bağımsız değişkenler ile Enter yöntemine göre regresyon denklemleri elde edilmiştir. En küçük kareler tekniği uygulanarak belirlenen regresyon denkleminin istatistiksel olarak önemli olup olmadığını test etmek amacıyla varyans analizi tekniği kullanılmış ve modeldeki katsayıların önem derecesi kontrolleri t testi ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bağımlı değişkenlere ait gerçek ve tahminlenen değerler arasındaki fark ile gerçek değerleri arasındaki değişimi gösteren grafikler çizilerek modelin uygunluğu belirlenmeye çalışılmıştır.

6.3.4 Yapay Sinir Ağları (YSA)

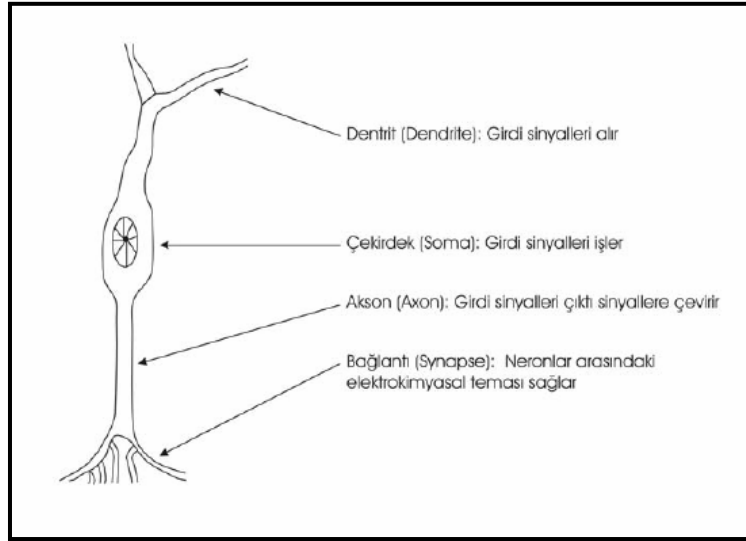
İnsanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanan yapay zekâ, aslında programlanmış bilgisayarlara düşünme yeteneği sağlama girişimidir. Yapay zekâ çalışmaları kapsamında ortaya çıkan ve bir noktada yapay zekâ çalışmalarına destek sağlamakta olan farklı alanlardan bir tanesi de “Yapay Sinir Ağları” teknolojisidir. Dolayısıyla, yapay zekâ alanının bir alt dalını oluşturan YSA teknolojisi öğrenebilen sistemlerin temelini oluşturmaktadır. İnsan beyninin temel işlem elemanı olan nöronu şekilsel ve işlevsel olarak basit bir şekilde taklit eden yapay sinir ağları, bu yolla biyolojik sinir sisteminin basit bir simülasyonu için oluşturulan programlardır (Yurtoğlu, 2005).

Yapay sinir ağları; insan beyninden esinlenerek, öğrenme sürecinin matematiksel olarak modellenmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle ki, bu konu üzerindeki çalışmalar ilk olarak beyni oluşturan biyolojik üniteler olan nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde

uygulanması ile başlamış, daha sonraları bilgisayar sistemlerinin gelişimine de paralel olarak birçok alanda kullanılır hale gelmiştir.

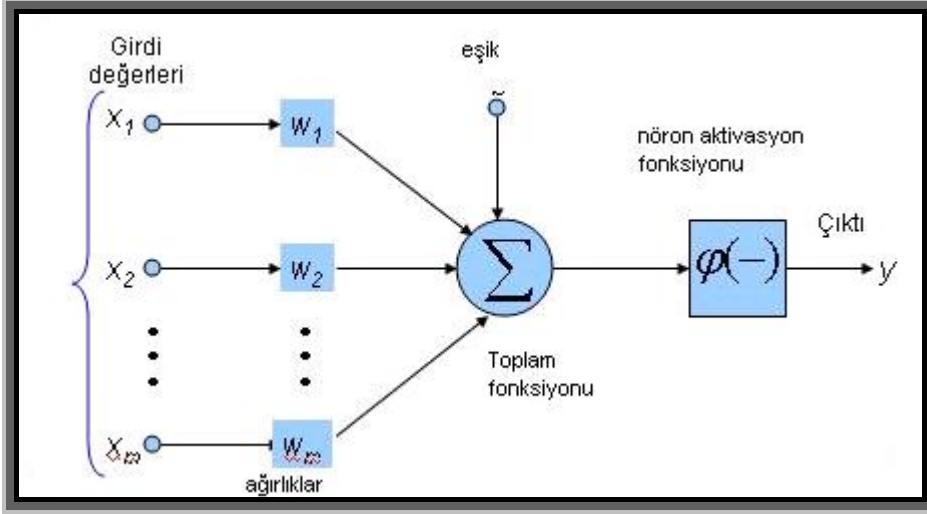
Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik bağlantıların ayarlanması ile olmaktadır. Yani, insanlar doğumlarından itibaren bir yaşayarak öğrenme süreci içerisine girmektedirler. Bu süreç içinde beyin sürekli bir gelişme göstermekte, yaşayıp tecrübe ettikçe sinaptik bağlantılar ayarlanmakta ve hatta yeni bağlantılar oluşmaktadır. Bu sayede öğrenme gerçekleşmektedir. Bu durum YSA için de geçerlidir. Öğrenme, eğitime yoluyla örnekler kullanarak olmakta; başka bir deyişle, gerçekleşme girdi/çıkı verilerinin işlenmesiyle, yani eğitime algoritmasının bu verileri kullanarak bağlantı ağırlıklarını bir yakınsama sağlanana kadar, tekrar tekrar ayarlamasıyla olmaktadır (Yurtoğlu,2005).

Merkezi sinir sisteminin temel işlem elemanı sinir hücreleridir (nöron) ve insan beyninde yaklaşık 10 milyar sinir hücresi olduğu tahmin edilmektedir. Sinir hücresi; hücre gövdesi, dentritler ve aksonlar olmak üzere 3 bileşenden meydana gelmektedir (Şekil 6.20). Dentritler, diğer hücrelerden aldığı bilgileri hücre gövdesine bir ağaç yapısı şeklinde ince yollarla iletmekte, daha uzun bir yol olan aksonlar ise elektriksel darbeler şeklindeki bilgiyi hücreden dışarı taşımaktadır. Aksonların bitimi ince yollara ayrılmaktadır ve bu yollar, diğer hücreler için dentritleri oluşturmaktadır. Akson-dentrit bağlantı elemanı sinaps olarak adlandırılmaktadır. Sinyallerin bir hücreden diğer hücreye sinapslerde iletilmesi karmaşık, elektrokimyasal bir süreçtir. Sinapslerin görevi, alıcı hücrenin elektrik potansiyelini arttırmak ya da azaltmaktır. Bu potansiyel belirli bir eşik değerine ulaştığında aksonlar uyarılmaktadır (Chattopadhyay, Guha, 2004).



Şekil 6.20:Biyolojik Nöronun Genel Yapısı ve İşlevleri (Yurtoğlu, 2005)

Yapay sinir ağlarının temel işlem elemanı olan yapay nöronlar, doğal nöronların dört temel fonksiyonunu simüle etmektedir. Bir yapay nöronun temel yapısı, genel haliyle, Şekil 6.21’de sunulmaktadır. Modelde girdi değerleri, x_i matematiksel sembolü ile gösterilmiştir ve bu gösterimde $i=0,1,2,\dots,n$ değerlerini almaktadır. Bu girdi değerlerin her biri, bir bağlantı ağırlığıyla çarpılmaktadır. Bu ağırlıklar ise w_i ile gösterilmektedir. En basit yapıda, bu çarpımlar toplanmakta ve bir transfer fonksiyonuna gönderilerek sonuç elde edilmektedir. Oluşturulan modellerde değişik toplama fonksiyonları ve transfer fonksiyonları kullanabilmekte ve farklı ağ yapılarında uygulanabilmektedir.



Şekil 6.21: Yapay sinir ağı

Basit bir yapay sinir ağında ilk işlem girdi değerlerin her birinin belirli ağırlık değerleriyle (w_i) çarpılmasıdır. Bir nöron genellikle, aynı anda birçok sayıda girdi almaktadır. Her girdinin kendi nispi ağırlığı vardır ve bu ağırlıklar, biyolojik nöronların değişen sinaptik etkinlikleri ile aynı görevi üstlenmektedir. Her iki durumda da, bazı girdiler diğerlerine göre daha önemli hale gelmektedir. Bu sayede, işlem elemanının bir sinirsel tepki üretmesi işleminde daha fazla etkili olmaktadır. Ayrıca, ağırlıklar girdi sinyalin güçlülüğünü belirleyen adaptif katsayılardır. Yani, girdinin bağlantı gücünün bir ölçüsüdür. Bu bağlantı güçleri, çeşitli eğitim setlerine göre değiştirilebilmektedir (Yurtoğlu, 2005).

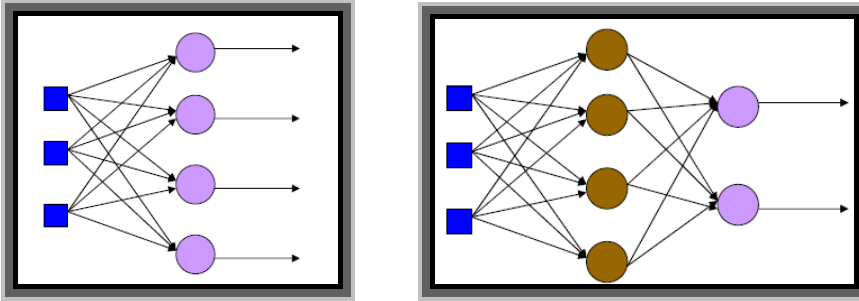
Ağırlıklandırmadan sonra, bu değiştirilmiş girdiler toplama fonksiyonuna gönderilirler. Toplama fonksiyonunda, adından da anlaşılacağı gibi, genelde toplama işlemi yapılmaktadır fakat birçok farklı işlem çeşidi toplama fonksiyonu için kullanılabilir. Toplama fonksiyonu, bu basit

Çarpımlar toplamına ek olarak, minimum, maksimum, mod, çarpım veya çeşitli normalizasyon işlemlerinden birisi olabilir. Bazı toplama fonksiyonları, transfer fonksiyonuna iletmeden önce, sonuçları üzerinde ilave işlemler yaparlar. Bu işlem aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılan işlemdir. Sonraki aşamada toplama fonksiyonunun çıktısı transfer fonksiyonuna gönderilir. Bu fonksiyon, aldığı değer bir algoritma ile gerçek bir çıktıya dönüştürür. Transfer fonksiyonundan çıkan değer işlem elemanının da çıktısıdır (Yurtoğlu, 2005). Çizelge 6.17'de yapay sinir ağlarında kullanılan transfer fonksiyonları sıralanmaktadır.

En basit yapay sinir ağı çıktı ve girdi katmanları olmak üzere iki katmandan oluşurken, girdi ve çıktı katmanları arasına gizli katman olarak adlandırılan katmanların yerleştirilmesiyle çok katmanlı ağlar oluşmaktadır (Chattopadhyay, Guha, 2004). Ağ üzerinde bilgi akışı sürekli ileri doğru ise bu yapıya sahip modeller ileri sürümlü olarak adlandırılmaktadır. Ağ yapısında geri besleme bağlantıları varsa bu tipteki sistemler geri beslemeli olarak adlandırılmaktadır (şekil 6.22).

Çizelge 6.17: Transfer fonksiyonları (Hagan ve arkadaşları,1996)

Fonksiyon Adı	Girdi/Çıktı İlişkisi
Hard Limit	$a=0 \ n<0$ $a=1 \ n\geq 0$
Simetrik Hard Limit	$a=-1 \ n<0$ $a=+1 \ n\geq 0$
Doğrusal	$a=n$
Doymuş Doğrusal	$a=0 \ n<0$ $a=n \ 0\leq n\leq 1$ $a=1 \ n>1$
Simetrik Doymuş Doğrusal	$a=-1 \ n<-1$ $a=n \ -1\leq n\leq 1$ $a=1 \ n>1$
Log-Sigmoid	$a = \frac{1}{1 + e^{-n}}$
Hiperbolik Tanjant Sigmoid	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$
Pozitif Doğrusal	$a=0 \ n<0$ $a=n \ 0\leq n$
Rekabetçi	$a=1$ maksimum n sahip olan nöron $a=0$ diğer bütün nöronlar



Şekil 6.22: a) Tek katmanlı ileri sürümlü b) Çok katmanlı (3-4-2) ileri sürümlü ağ

Yapay sinir ağlarının eğitilmesinde öğreticili, öğreticisiz ve destekleyici öğrenme olmak üzere üç farklı öğrenme mekanizması bulunmaktadır. Öğreticili öğrenmede YSA, kullanıma başlamadan önce eğitilmektedir. Eğitim sırasında hem girdiler, hem de girdiler karşılığında

oluşturulması gereken çıktılar sisteme verilmektedir. Bu sayede olayın girdileri ve çıktıları arasındaki ilişkiler öğrenilmektedir. Eğitim aşaması genelde çok zaman almaktadır. Yapay sinir ağlarının pek çoğunda öğreticili öğrenme yöntemi kullanılmaktadır (örneğin MLP-çok katmanlı algılayıcı ağı). Destekleyici öğrenme yöntemi, her girdi seti için üretilmesi gereken çıktı setini sisteme göstermek yerine, sistemin kendisine gösterilen girdilere karşılık çıktısını üretmesini beklemekte ve üretilen çıktının doğru veya yanlış olduğunu gösteren bir sinyal üretmektedir. Bu sinyal dikkate alınarak, eğitim süreci devam ettirilmektedir. Özellikle sınıflandırma problemlerinde kullanılmaktadır (örneğin LVQ ağı-learning vector quantization-öğrenme vektör nicelendirmesi). Öğreticisiz öğrenme yönteminde ise, sisteme sadece girdi değerleri gösterilmekte ve parametreler arasındaki ilişkileri sistemin kendi kendine öğrenmesi beklenmektedir. Daha çok kümeleme problemlerinde kullanılmaktadır (örneğin SOM ağı-self organizing map-özörgütlemeli harita ağı) (Uğur, 2006).

Oluşturulan ağı eğitilmesi sırasında ağırlıkların ayarlanabilmesi için gerekli adaptif geri beslemeyi sağlayacak çok sayıda değişik eğitime kuralı (algoritma) vardır. En yaygın olan teknik geriye doğru hata beslemesi ya da bilinen ismiyle geri yayılmadır. Öğrenme kuralı olarak genellikle “Delta Kuralı” kullanılmaktadır. Delta kuralı, ağı çıktısı ile istenilen çıktı arasındaki farkın hesaplanması ile başlamaktadır. Öğrenme işlemi süresince, ağ içinde ileri doğru bir bilgi akışı vardır ve tabaka tabaka her işlem elemanının çıktısı hesaplanmaktadır. Çıktı tabakasına ulaşıldığında, bu tabakanın çıktısı ile istenilen çıktı arasındaki fark hesaplanmakta ve bu hata geri yayılma ile önceki tabakalara iletilmektedir. İşlem, girdi tabakasına ulaşılan kadar devam etmekte ve bu noktada yeni bir döngü başlamaktadır.

Geri yayılma algoritmasında, delta kuralı ile bağlantıların, ağırlıklarının ayarlanması için gerekli olan düzeltme miktarı aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$\Delta_p w_{ij} = \eta \delta_{pj} i_{pi}$$

Formülde, $\Delta_p w_{ij}$, i. ve j. nöronlar arasındaki bağlantı için ağırlık düzeltme miktarını, η , öğrenme oranını, δ_{pj} , hata miktarı, i_{pi} , i. girdi değerini ifade etmektedir. Hata miktarı, nöronun çıktı ya da gizli katmanda yer almasına göre farklı şekillerde hesaplanmaktadır (Chattopadhyay, Guha, 2004).

Öğrenme oranı, öğrenme sürecinin hızı ve işlevi açısından çok önemlidir. Çünkü YSA'ların öğrenme gücü ile hızı ters orantılıdır. Basit bir şekilde, bir adımda daha fazla öğrenme, daha düşük bir hız ve dolayısıyla daha fazla zaman anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, bir ağın ne kadar eğitileceği sorusu öğrenme oranına bağlıdır. Öğrenme oranının belirlenmesinde ise ağın karmaşıklık düzeyi, büyüklüğü, mimarisi, kullandığı öğrenme kuralı ve istenilen doğruluk derecesi gibi birçok faktör rol oynar. Öğrenme oranı genellikle (0,1) gibi bir aralık içinde belirlenir. Bu aralıkta, öğrenme oranının küçük değer alması, yavaş bir öğrenme süreci getirecektir. Diğer taraftan ise, öğrenme sürecinin küçük adımlar halinde olması maksimum doğruluk derecesine yakınsamayı getirebilecektir (Yurtoğlu, 2005).

İleri sürümlü bir yapay sinir ağının eğitilmesi için, çeşitli ağ parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Bu parametreler, gizli

katman sayısı, gizli katmandaki nöron sayısı, öğrenme oranı, eğitim döngüsünün sayısı şeklinde sıralanabilir.

Ağ parametrelerinden ilk karar verilecek olan gizli katman sayısıdır. Genellikle tek gizli katman içeren ağların yeterince iyi sonuçlar verdiği, gizli katman sayısında ki artışın diğer ağ parametreleri optimize edildikten sonra sonuçlar üzerinde çok önemli bir iyileşme sağlamadığı belirlenmiştir.

Gizli katmandaki nöron sayısı başlangıçta fazla tutulabilir ve genellikle başlangıç aşamasında nöron sayısı, girdi ya da çıktı katmanındaki maksimum nöron sayısının 2 katından fazla olabilir.

Başlangıç ağırlık değerleri -0,1 ile +0,1 arasında rasgele seçilmektedir.

Öğrenme oranı deneme yanılma yöntemiyle belirlenmektedir. 0,1 başlangıç değerinden başlayarak, 0,001–0,5 aralığında çeşitli değerler denenir ve eğitim verileri için en düşük hata kareler ortalaması değerini veren öğrenme oranı kabul edilebilir.

Ağın öğrenme sürecinin hangi noktada bitirileceğine karar vermek için hata kareler ortalamasının çok küçük bir değere ulaştığı döngüye kadar ağın öğrenme süreci gerçekleştirilir. Bu göre; ε_i , i. iterasyondan sonra eğitim verilerinin hata kareler ortalaması olmak üzere

$$\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{i+5000}}{\varepsilon_i} > 0.1 \text{ olduğu döngüde ağın öğrenmesi sona erdirilir.}$$

Ağın eğitimi, veriler normalleştirildiğinde daha iyi sonuçlar vermektedir. Her bir girdi ve çıktı parametresi -1 ile +1 arasında olacak

şekilde aşağıdaki eşitliğe göre normalleştirilmektedir. x' , normalleştirilmiş

veri, x , orijinal veri olmak üzere, $x' = \left(\frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) \cdot 2 - 1$

Eğitim verileri kullanılarak, ağın bu normalleştirilmiş veriler yardımıyla eğitilmesinin ardından, çıktılar aşağıdaki eşitlikle gerçek değerine dönüştürülebilir.

$$x = \frac{(x' + 1)(x_{\max} - x_{\min})}{2} + x_{\min}$$

Ağın ne kadar başarılı olduğunu belirlemek için ortalama hata (ME), ortalama mutlak hata (MAE), hata kareler ortalaması (MSE), hata kareler toplamı (SSE), ortalama hata kareleri kökü (RMSE) gibi performans fonksiyonları kullanılmaktadır.

Kumaş boncuklanma özelliğinin, lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla objektif olarak tahminlenmesi için oluşturulan yapay sinir ağları modeli oluşturulurken şu işlemler gerçekleştirilmiştir:

- Uygun ağ yapısının seçilmesi
- Uygun öğrenme algoritmasının seçilmesi
- Yapıya uygun giriş, çıkış ve ara katman sayısının belirlenmesi
- Ara katman nöron sayısının belirlenmesi
- Aktivasyon fonksiyonunun belirlenmesi
- Eğitim ve test setlerinin belirlenmesi

7. BULGULAR

7.1 Lif Özelliklerine Ait Bulgular

Çalışmada kullanılan pamuk harmanlarına ait lif testleri, fitilden alınan numunelerle HVI 900 cihazı kullanılarak demet halinde ve AFIS PRO 2 cihazı yardımıyla tek lifler halinde olmak üzere iki ayrı şekilde yapılmıştır. Bu nedenle, lif özelliklerine ait sonuçlar iki ayrı başlık altında sunulacaktır.

7.1.1 Demet halindeki liflerin ölçüm sonuçları

Fitil halindeki pamuklardan alınan liflerde, demet halinde HVI cihazında yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 7.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 7. 1:HVI cihazı ölçüm sonuçları

Lif Özellikleri	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Lif inceliği (Mikroner)	3,95	4,08	4,35	4,30	4,35	4,38	4,53
Mukavemet (cN/tex)	37,08	37,45	39,03	40,23	41,13	38,3	38,5
Ortalama Uzunluk (ML)	29,45	29,45	29,58	30,55	30,43	29,68	28,68
Üniformite İndeksi (%)	85,3	85,3	86,63	87,1	87,45	86,33	86,35
Kısa Lif İndeksi (SFI) (%)	7,8	7,1	5,8	4,7	3,8	6,2	6,9
Kopma Uzaması (%)	4,03	4,55	4,83	4,78	4,9	5,3	5,2
Çile Mukavemeti (CSP)	2391	2386	2379	1892	2417	2348	2387
Renk Sınıfı (CG)	11-3	11-1	11-1	21-4	21-4	21-4	11-1
Parlaklık (%Rd)	80,4	80,6	79,8	78,5	78,63	77,05	82,65
Sarıklık (+b)	9,65	9,55	9,83	9,01	9,9	9,13	9,05
Olgunluk indeksi (%)	87	87	87,8	87,8	87,8	87,5	88
İplik Eğrilebilirlik İndeksi (SCI)	177	177	185	192	196	180	181

Uster Teknoloji Firması tarafından pamuk lifleri incelik açısından, mikroner indeks değeri 3 ve altında ise lifler çok ince, 3 ile 3.9 değerleri arasında ise ince, 4.0 ile 4.9 değerleri arasında ise orta incelikte olarak sınıflanmaktadır. Lif inceliklerine göre tüm harmanların orta incelik sınıfına dahil oldukları görülmektedir.

31 cN/tex değerinin üzerindeki lif mukavemeti değerine sahip lifler, çok sağlam olarak sınıflandırılmaktadır. Bu durumda tüm harmanlar, lif mukavemeti açısından aynı sınıfa dahildir.

Üniformite indeksi; ortalama uzunluğun üst çeyrek uzunluğa ifadesidir. Harmanlara ait lif uzunluk üniformite indeksleri incelendiği tüm harmanların çok yüksek üniformite indeksine sahip oldukları görölmektedir.

Uster Teknoloji Firması tarafından, 12.7 mm`den kısa liflerin oranı %6 ve daha düşük olduğunda, harman kısa lif oranı açısından çok az sınıfına dahil edilmektedir. Bu durumda H3, H4, H5 harmanlarının kısa lif içeriği çok az iken diğer harmanlar kısa lif oranı açısından az sınıfta yer almaktadır.

Çeşitli lif özelliklerinin dahil edilerek hesaplandığı SCI değerinin yüksek olması üretilecek ipliğin daha yüksek mukavemete sahip olacağı ve daha iyi lif eğrilebileceği anlamına gelmektedir. Penye üretim hattından temin edilen 5 ve 3 numaralı harmanların ve karde üretim hattından temin edilen 4 numaralı harmanın iplik eğrilebilirlik indeksleri diğer harmanlara göre yüksek olup, geriye kalan harman değerlerinin birbirine yakın olduğu görölmektedir.

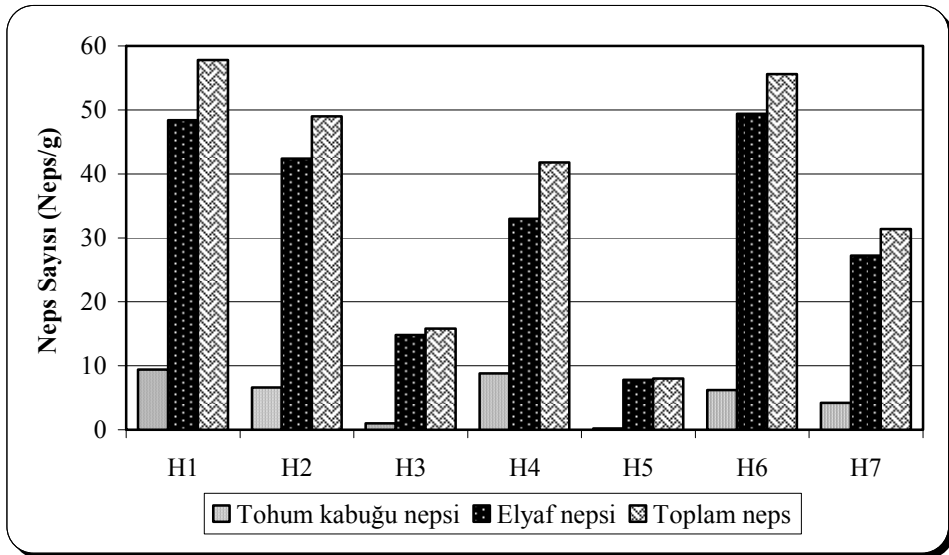
7.1.2 Tek liflerin ölçüm sonuçları

AFIS PRO 2 cihazında yer alan AFIS-N, AFIS L&M ve AFIS-T modüllerinde ölçülen, tek liflere ait ölçüm sonuçları sırasıyla Çizelge 7.2, Çizelge 7.3 ve Çizelge 7.4`de verilmektedir.

Cizelge 7. 2:AFIS-N modülü ölçüm sonuçları

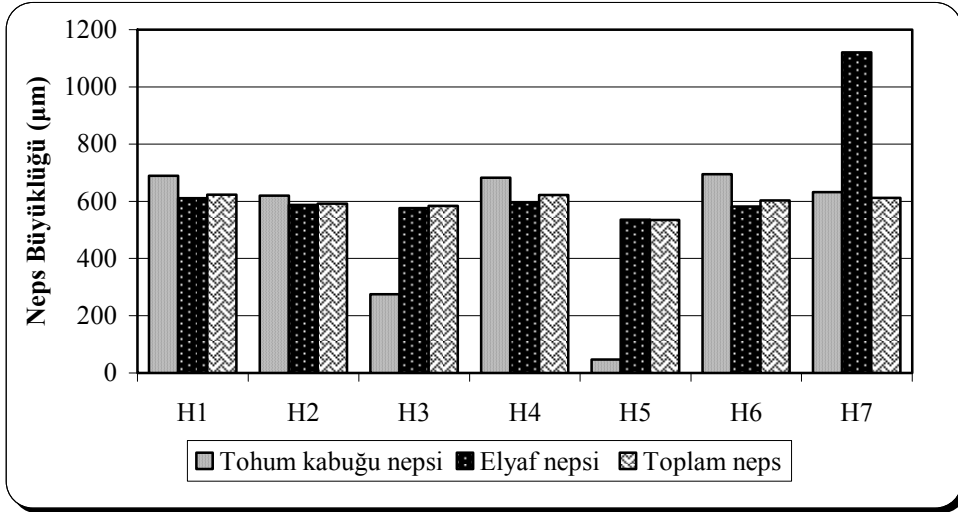
AFIS-N modülü ile ölçülen lif özellikleri	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Toplam neps sayısı (sayı/g)	57,8	49	15,8	41,8	8	55,6	31,4
Ortalama toplam neps büyüklüğü (μm)	622,7	591,6	584,3	621,5	534,1	603,3	612,1
Lif nepsi sayısı (sayı/g)	48,4	42,4	14,8	33	7,8	49,4	27,2
Lif nepsi ortalama büyüklüğü (μm)	611	587,6	575,9	596,3	535,5	581,6	1120,9
Tohum kabuğu neps sayısı (sayı/g)	9,4	6,6	1	8,8	0,2	6,2	4,2
Tohum kabuğu neps sayısı (μm)	688,8	619,8	275	681,7	47,5	694,3	631,8

Şekil 7.1’de harmanlara ait 1 gram pamukta bulunan toplam neps, elyaf neps ve tohum kabuğu neps sayıları verilmektedir. Uster Teknoloji Firması tarafından 1 gramdaki neps sayısı 100 ve altında ise lifler neps içeriği açısından çok az olarak sınıflandırılmaktadır. Bu durumda tüm harmanların lif neps içerikleri açısından çok az sınıfına dahil olduğu görülmektedir.



Şekil 7. 1:Çalışmada kullanılan hammaddelerin 1 gramdaki toplam neps, elyaf neps ve tohum kabuğu sayıları

Şekil 7.2’de harmanlarda bulunan toplam neps, elyaf neps ve tohum kabuğu nepslerinin ortalama büyüklük değerleri verilmektedir.

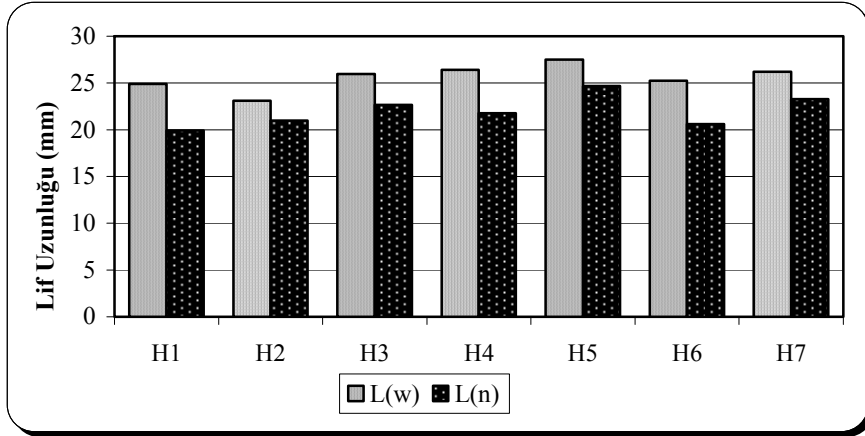


Şekil 7. 2: Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS N modülü ile ölçülen ortalama nepes büyüklükleri

Çizelge 7. 3: AFIS L&M modülü ölçüm sonuçları

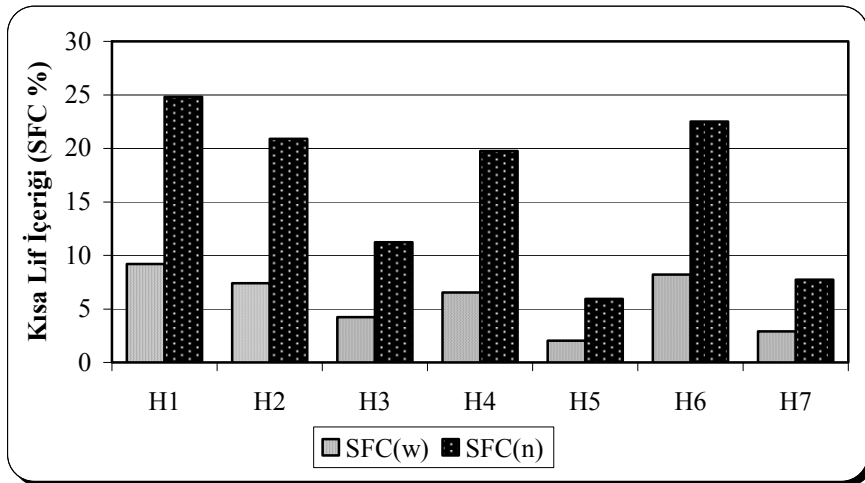
AFIS-L&M modülü ile ölçülen lif özellikleri	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Uzunluk (ağırlıkça) (L_w) (mm)	24,9	23,11	25,96	26,4	27,49	25,26	26,2
L_w (%CV)	38,07	34,84	32,64	33,89	30,2	35,9	31,93
Kısa lif içeriği (ağırlıkça) (SFC _w) %<12.7 mm	9,2	7,41	4,23	6,55	2,04	8,2	2,9
Üst yarı ortalama uzunluğu (ağırlıkça) (UQL _w) (mm)	30,96	30,97	31,23	32,17	32,19	31,17	30,97
Uzunluk (sayıca) (L_n) (mm)	19,93	20,97	22,64	21,77	24,66	20,6	23,26
L_n (%CV)	49,99	46,08	38,42	46,03	33,96	47,58	35,71
Kısa lif içeriği (sayıca) (SFC _n) %<12.7 mm	24,8	20,89	11,23	19,76	5,95	22,51	7,74
%5 L_n (mm)	35,88	35,67	36,21	36,76	37,67	35,69	36,43
İncelik (mtex)	174,8	182,1	193,3	184,4	192,3	187,7	191,7
Olgunluk oranı	0,943	0,959	0,981	0,977	1,005	0,957	1,003
Olgun olmayan lif miktarı (%)	9,87	4,66	4,04	4,55	3,55	4,81	3,68

Şekil 7.3'de harmanlara ait ağırlık ve uzunluk esaslı ortalama lif uzunluğu değerleri verilmektedir.



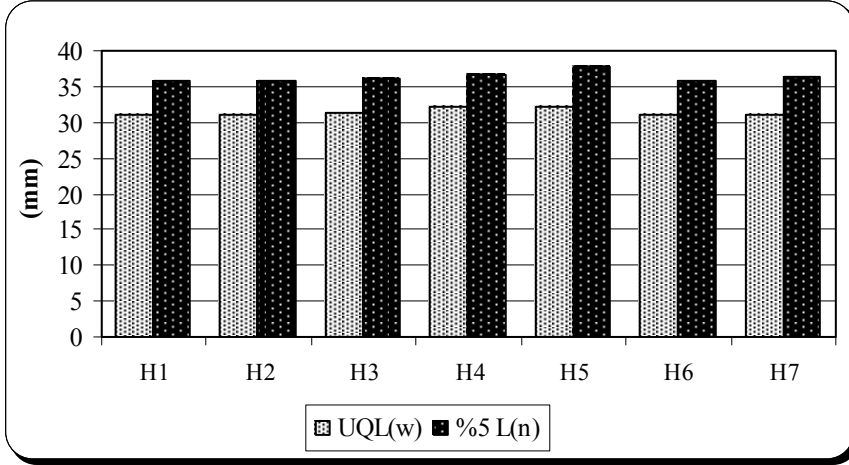
Şekil 7.3: Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS L&M modülü ile ölçülen ağırlık ve uzunluk esaslı lif uzunluğu değerleri

Şekil 7.4'da harmanlara ait ağırlık ve uzunluk esaslı kısa lif içeriği değerleri verilmektedir. En düşük kısa lif miktarlarının penye üretim hattından alınan harmanlarda bulunduğu görülmektedir. H3, H5, H7 penye harmanları kısa lif içeriği açısından çok düşük kategorisinde iken, H4 ve H2 harmanları düşük, H1 ve H6 harmanları da orta kategorisinde yer almaktadır.



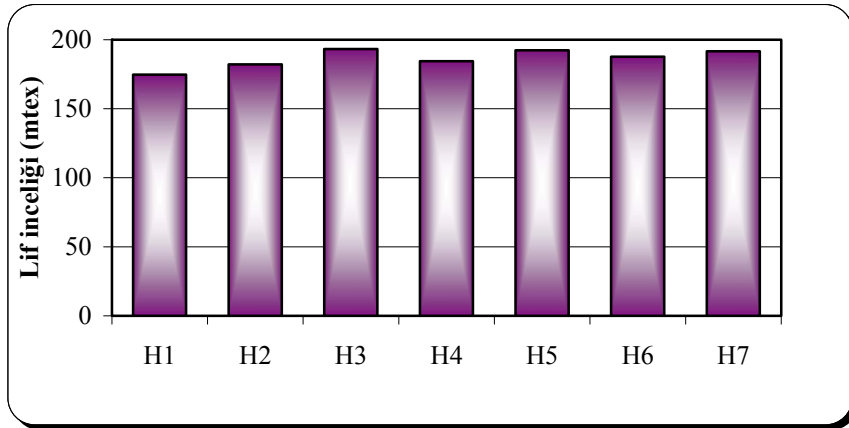
Şekil 7.4: Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS L&M modülü ile ölçülen ağırlık ve uzunluk esaslı kısa lif içeriği değerleri

Şekil 7.5’de harmanlara ait ağırlık esaslı üst çeyrek uzunluk değeri (UQL_w) ve uzunluk esaslı %5 uzunluk değeri verilmektedir.



Şekil 7. 5: Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS L&M modülünde ölçülen ağırlık esaslı üst çeyrek uzunluk ve %5 uzunluk değerleri

Şekil 7.6’da AFIS L&M modülü ile ölçülen harmanlara ait lif inceliği (mtex) değerleri verilmektedir. Tüm harmanların lif inceliği açısından aynı kategoride yer aldığı görülmektedir.



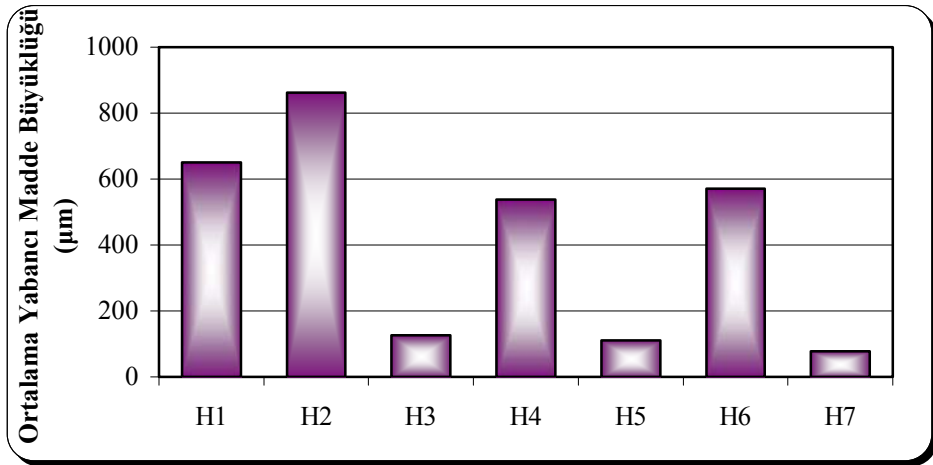
Şekil 7. 6: Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS L&M modülü ile ölçülen lif incelik değerleri

Çizelge 7.4’de AFIS-T modülü ile ölçülen özelliklere ait ortalama değerler verilmektedir.

Çizelge 7.4: AFIS-T modülü ölçüm sonuçları

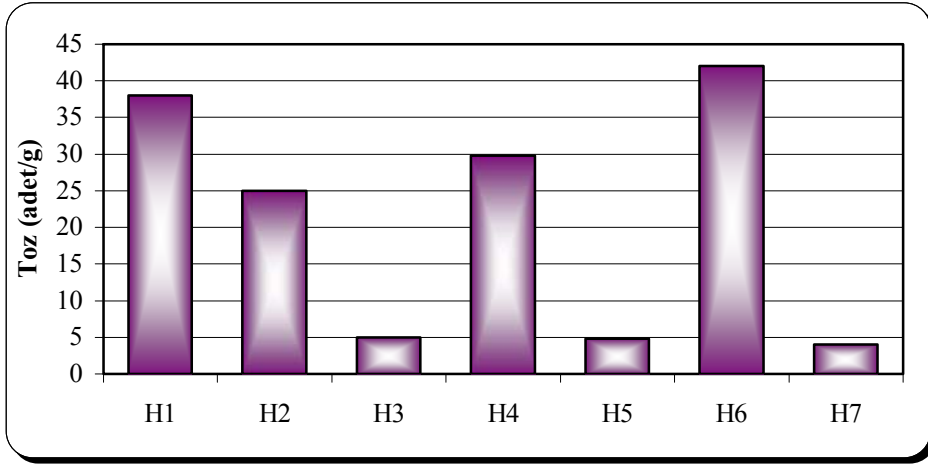
AFIS T modülü ile ölçülen lif özellikleri	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Toplam çöpel sayısı (sayı/g)	40,94	28,4	5,4	33,6	5,2	44,6	4,2
Toplam çöpel büyüklüğü (μm)	217,1	291,9	230,3	245,6	140,3	236,5	110,4
Toz sayısı (sayı/g)	38	25	5	29,8	4,8	42	4
Ortalama toz büyüklüğü (μm)	175,7	212,9	159,8	194,1	214,4	207,8	96,2
Çöpel sayısı (sayı/g)	3	3,4	0,4	3,8	0,4	2,6	0,2
Ortalama çöpel büyüklüğü (μm)	650,8	861,3	126	537,4	110	571,2	78,5
Görünür yabancı madde oranı (V.F.M.) (%)	0,051	0,066	0,004	0,048	0,003	0,061	0,003

Şekil 7.7’de harmanlara ait ortalama yabancı madde büyüklükleri verilmektedir.



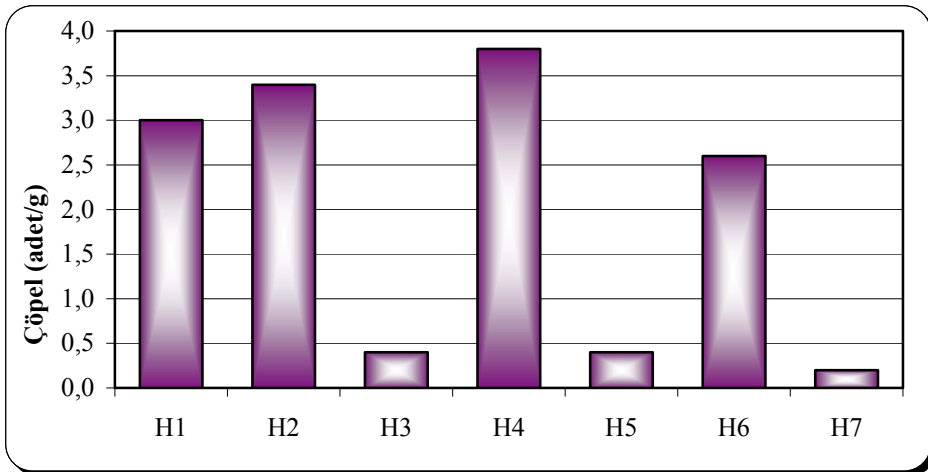
Şekil 7. 7: Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS T modülü ile ölçülen pamuk içinde bulunan yabancı maddelerin ortalama boyutu

Şekil 7.8`de harmanlara ait toz miktarları verilmektedir.

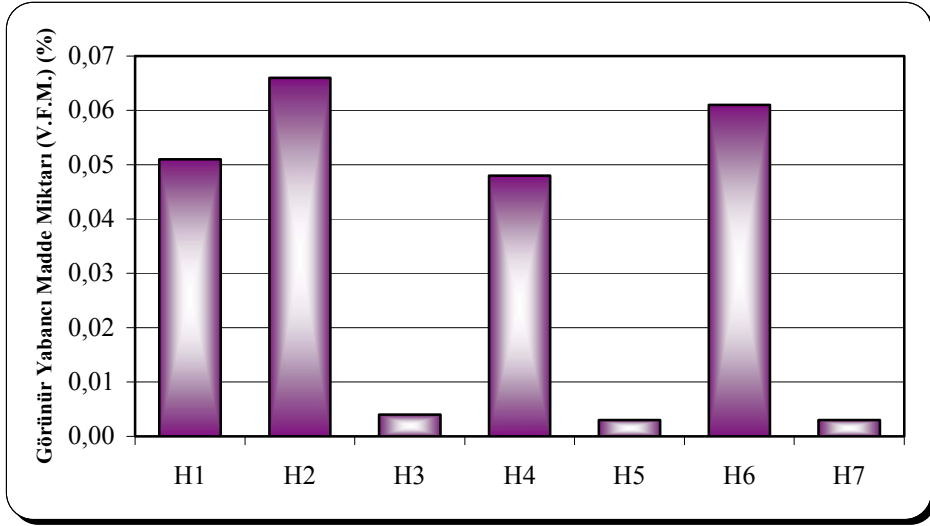


Şekil 7. 8: Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS T modülü ile ölçülen pamuk içindeki toz miktarları

Şekil 7.9`da AFIS T modülü ile ölçülen harmanlara ait çöpel içerikleri, Şekil 7.10`da görünür yabancı madde miktarları verilmektedir.



Şekil 7. 9: Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS T modülü ile ölçülen pamuk içindeki çöpel miktarları



Şekil 7. 10: Çalışmada kullanılan hammaddelerin AFIS-T modülü pamuk içindeki görünür yabancı madde miktarlar

7.2 İplik Özelliklerine Ait Bulgular

Bu bölümde, bobinlenen ipliklerde gerçekleştirilen test sonuçları sunulmaktadır. 7.1.1 ve 7.1.2 bölümlerinde fiziksel özellikleri verilen pamuk harmanları deney planına uygun olarak ring iplik makinesinde eğrilmiş ve 63 farklı tipte iplik üretilmiştir. Üretilen ipliklerin 27 tipi penye, 36 tipi ise karde pamuk ipliğidir. Bobinleme iplik özelliklerinde değişime yol açtığından, bobinlenmiş ipliklere ait özelliklerin, analizlerde kullanılmasına karar verilmiştir. Bu nedenle iplik testleri, iplikler bobinlendikten sonra gerçekleştirilmiştir. 1. harmana ait Ne 40 iplik numarasında ve $\alpha_e=3.2$ büküm katsayısında üretilen iplik koplarından, harman özellikleri nedeniyle bobinleme yapılamadığından bu iplik tipine ait sonuçlar verilememiştir.

7.2.1 İplik numara testi sonuçları

Çalışmada üretilen ipliklerde gerçekleştirilen iplik numara testi sonucunda elde edilen ortalama değerler, ölçüm sonuçlarına ait standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri EK 1’de verilmektedir.

Çizelge 7.5’de üretilen ipliklerin ortalama iplik numaraları verilmektedir. Harmanlara ait ölçülen fitil numaraları birbirine yakın olduğundan, ring iplik makinesinde 1. harman dışındaki tüm harmanlara aynı çekim uygulanmıştır. Ancak uygulamada üretilen iplik numaralarının hedeflenen değerlerden sapma gösterdiği görülmektedir. Özellikle H5 ve H7 harmanlarından üretilen ipliklerin daha ince olduğu görülmektedir. Ancak bu durum tahminleme analizlerinde, ölçülen iplik numarası değerlerinin kullanılması nedeniyle herhangi bir sorun yaratmamıştır.

Çizelge 7. 5: İpliklere ait ortalama numara değerleri

İplik Tipi	İplik Numarası (Ne)						
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Ne 20 $\alpha_e=3,2$	19,8	19,8	20,4	19,0	22,4	19,9	21,2
Ne 20 $\alpha_e=3,6$	19,2	19,5	20,3	18,2	22,1	19,7	21,0
Ne 20 $\alpha_e=4,0$	19,1	19,3	20,0	17,9	22,1	19,6	20,9
Ne 30 $\alpha_e=3,2$	29,9	29,9	30,5	28,2	34,3	30,9	31,7
Ne 30 $\alpha_e=3,6$	29,5	29,4	29,7	28,2	33,7	30,6	31,5
Ne 30 $\alpha_e=4,0$	29,4	28,6	29,9	27,6	33,1	30,2	30,9
Ne 40 $\alpha_e=3,2$		40,2	41,8	39,3	47,2	42,1	42,5
Ne 40 $\alpha_e=3,6$	40,8	39,9	40,8	39,2	45,3	42,1	42,6
Ne 40 $\alpha_e=4,0$	39,9	39,2	40,3	37,6	45,1	40,7	42,0

7.2.2 İplik büküm sayısı ölçüm sonuçları

Çalışmada üretilen ipliklerde gerçekleştirilen büküm ölçümleri sonucunda elde edilen değerler EK 2’de verilmektedir.

Çizelge 7.6`da üretilen ipliklerin ortalama iplik büküm katsayıları (α_e) verilmektedir. Uygulamada hedeflenen iplik numaralarından sapma olması nedeniyle iplik büküm katsayılarının da belirli bir aralıkta değerler aldığı görülmektedir. Ancak analizlerde ölçülen iplik büküm sayılarının kullanılması nedeniyle bu durum herhangi bir sorun yaratmamıştır.

Çizelge 7. 6: İpliklere ait ortalama büküm katsayıları

İplik Tipi	İplik büküm katsayısı (α_e)						
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Ne 20 $\alpha_e=3,2$	3,03	3,27	3,33	3,38	3,73	3,35	3,44
Ne 20 $\alpha_e=3,6$	3,39	3,63	3,77	3,72	4,02	3,73	3,74
Ne 20 $\alpha_e=4,0$	3,54	4,00	4,11	4,02	4,46	4,09	4,25
Ne 30 $\alpha_e=3,2$	3,21	3,36	3,61	3,44	3,72	3,41	3,40
Ne 30 $\alpha_e=3,6$	3,40	3,64	3,62	3,65	3,92	3,64	3,62
Ne 30 $\alpha_e=4,0$	3,63	4,13	4,01	4,21	4,16	4,03	4,29
Ne 40 $\alpha_e=3,2$		3,41	3,63	3,37	3,69	3,68	3,48
Ne 40 $\alpha_e=3,6$	3,39	3,66	3,71	3,71	3,87	3,79	3,66
Ne 40 $\alpha_e=4,0$	3,78	3,99	4,20	4,28	4,45	4,27	3,96

7.2.3 İplik düzgünsüzlük testi sonuçları

Çalışmada üretilen ipliklerde gerçekleştirilen düzgünsüzlük testi sonucunda elde edilen değerler EK 3`de verilmektedir.

7.2.4 İplik tüylülük testi sonuçları

Çalışmada üretilen ipliklerde gerçekleştirilen tüylülük ölçümleri sonucunda elde edilen değerler EK 4`de verilmektedir.

7.3 Kumaş Özelliklerine Ait Bulgular

7 harmandan üretilen 63 tip iplikten 1 numaralı harmana ait Ne 40 numara ve $\alpha_e=3.2$ büküm katsayısında üretilen iplik kopularından harman özellikleri nedeniyle bobinleme yapılamadığı için bu iplik tipinden kumaş

üretilememiştir. Dolayısıyla bu bölümde, 62 tip iplik kullanılarak, 3 farklı sıklıkta (sıkı, orta, seyrek) örülen 186 çeşit interlok örme kumaşta ölçülen özelliklerine ait sonuçlar verilmektedir.

7.3.1 Kumaş relaksasyon testi sonuçları

Örme kumaşların düz bir yüzey üzerinde ve standart atmosfer şartlarında 48 saat bekletilmesiyle gerçekleştirilen kuru relaksasyon sonrasında ölçülen kumaş yapısal özelliklerinden ilmek iplik uzunluğu değerleri (l) Çizelge 7.7'de; ilmek yüksekliği (c), ilmek genişliği (w) değerleri ise EK 5'de verilmektedir. 3 farklı sıklıkta örülen kumaşlarda kumaşların ilmek genişlikleri arasındaki fark, ilmek yükseklikleri arasındaki farka göre daha belirgindir. Kumaş sıklığı azaldıkça sıra ve çubuk genişliği değerleri artmaktadır.

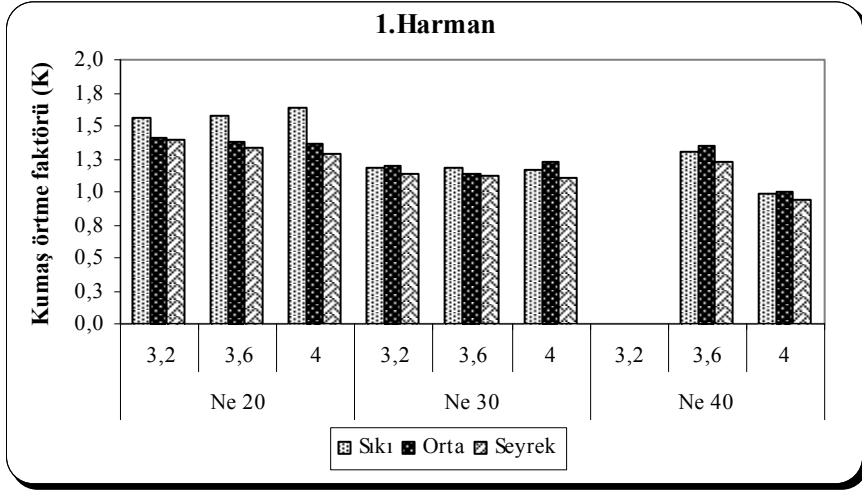
Çizelge 7.7 incelendiğinde, 3 farklı sıklıkta örülen kumaşlarda kumaşların ilmek iplik uzunluklarının 3.044 mm ile 4.492 mm arasında değiştiği görülmektedir. Kumaş sıklığı arttıkça ilmek iplik uzunluğu değerlerinin azaldığı görülmektedir. Kumaş sıklığı en fazla olan kumaşlar ile orta ve seyrek sıklıktaki kumaşların ilmek iplik uzunlukları arasındaki fark daha fazla iken, orta ve seyrek sıklıktaki kumaşlar arasındaki fark, örme makinesinin ayarlarındaki kısıtlama nedeniyle çok fazla değildir. Bu durum orta ve seyrek sıklıktaki kumaşların örtme faktörü değerlerinin de birbirine yakın olmasına neden olmuştur.

Çizelge 7. 7: Kumaşların ilmek iplik uzunluğu (mm) değerleri

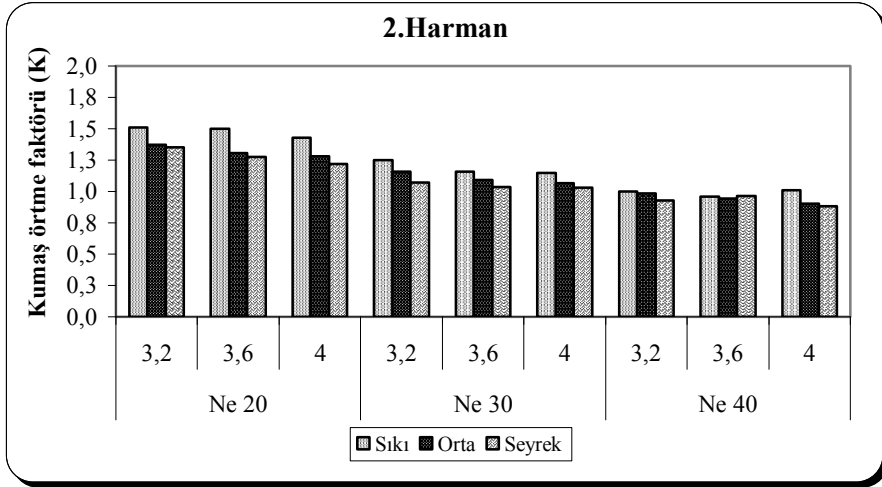
İlmeğin iplik uzunluğu (mm)			Harmanlar						
İplik Numarası (Ne)	İplik Büküm Katsayısı (α_e)	Kumaş Sıklığı	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
20	3,2	Sıkı	3,628	3,688	3,332	3,618	3,544	3,572	3,574
		Orta	4,304	4,280	4,242	4,438	4,322	4,338	4,138
		Seyrek	4,476	4,404	4,358	4,492	4,384	4,356	4,420
	3,6	Sıkı	3,800	3,646	3,360	3,634	3,539	3,570	3,562
		Orta	4,292	4,228	4,230	4,418	4,300	4,284	4,296
		Seyrek	4,372	4,344	4,370	4,488	4,450	4,304	4,398
	4,0	Sıkı	3,930	3,480	3,260	3,568	3,518	3,536	3,582
		Orta	4,286	4,214	4,224	4,240	4,278	4,294	4,266
		Seyrek	4,384	4,314	4,366	4,482	4,372	4,364	4,367
30	3,2	Sıkı	3,672	3,566	3,476	3,528	3,464	3,506	3,474
		Orta	3,888	3,876	3,820	4,000	3,884	3,924	3,926
		Seyrek	4,184	4,134	4,084	4,116	4,172	4,202	4,104
	3,6	Sıkı	3,646	3,544	3,490	3,556	3,450	3,512	3,500
		Orta	3,900	3,824	3,794	4,012	3,914	3,902	3,910
		Seyrek	4,188	4,104	4,082	4,102	4,110	4,118	4,140
	4,0	Sıkı	3,640	3,546	3,466	3,530	3,969	3,496	3,382
		Orta	3,886	3,848	3,832	3,992	3,890	3,920	3,904
		Seyrek	4,116	4,144	4,080	4,156	4,104	4,114	4,132
40	3,2	Sıkı		3,318	3,358	3,044	3,094	3,098	3,052
		Orta		3,556	3,638	3,632	3,642	3,742	3,660
		Seyrek		4,010	3,978	3,998	4,022	4,040	3,992
	3,6	Sıkı	3,332	3,266	3,318	3,098	3,078	3,067	3,050
		Orta	3,868	3,584	3,864	3,648	3,700	3,646	3,666
		Seyrek	3,978	3,936	3,976	4,000	3,998	3,996	3,968
	4,0	Sıkı	3,238	3,316	3,344	3,078	3,096	3,054	3,054
		Orta	3,642	3,546	3,626	3,630	3,652	3,656	3,636
		Seyrek	3,930	3,922	3,958	3,974	3,996	3,938	3,998

7.3.2 Kumaş örtme faktörü sonuçları

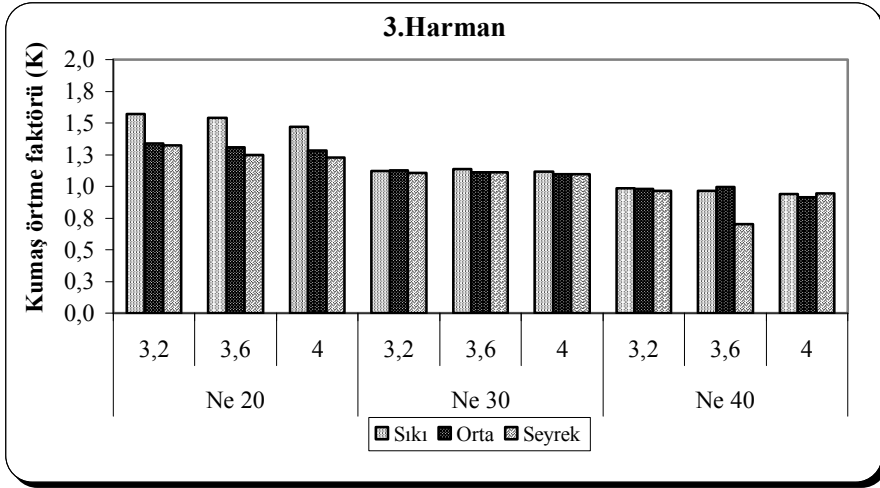
Çalışmada üretilen kumaşların ilmek iplik uzunluğu, ilmek genişliği, ilmek yüksekliği ve iplik çapı değerleri yardımıyla hesaplanan, kumaşların yapısal özellikleri hakkında fikir veren kumaş örtme faktörü değerleri harmanlara göre Şekil 7.11 ile Şekil 7.17 arasında verilmektedir.



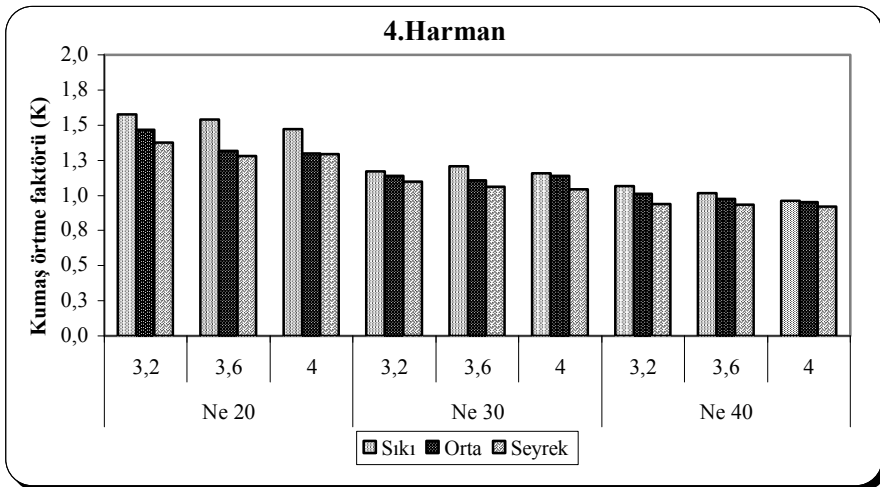
Şekil 7. 11: 1.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri



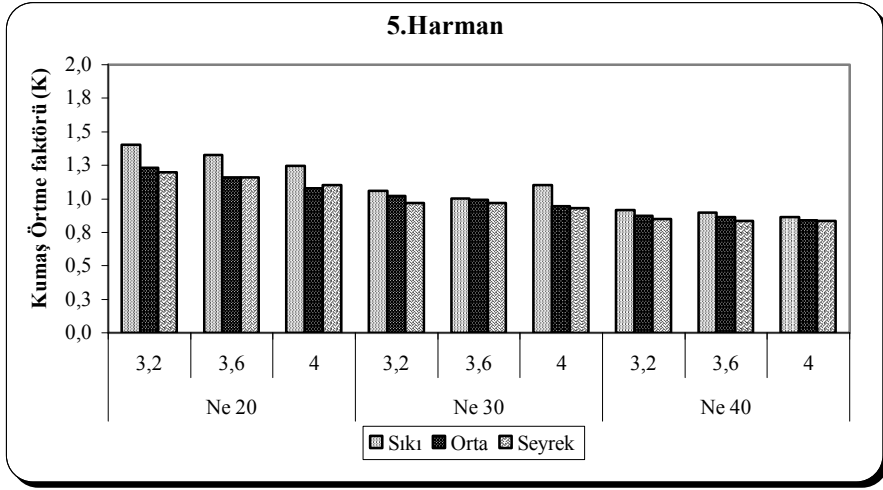
Şekil 7. 12: 2.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri



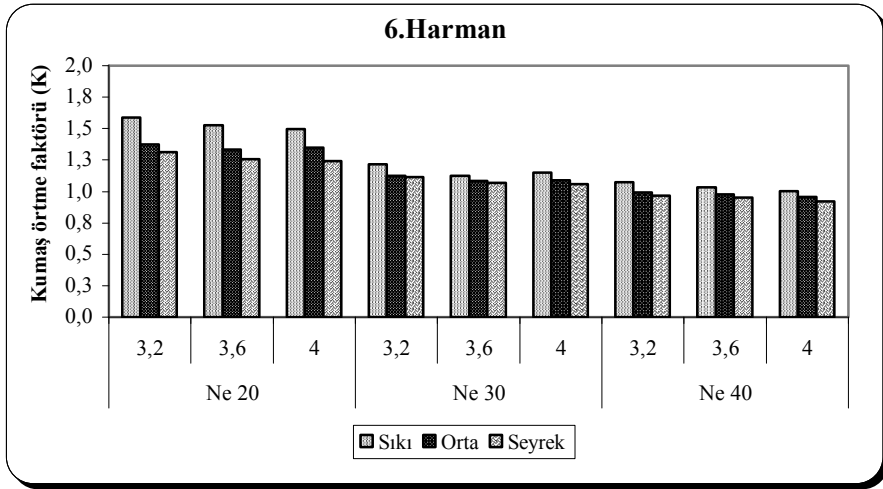
Şekil 7. 13: 3.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri



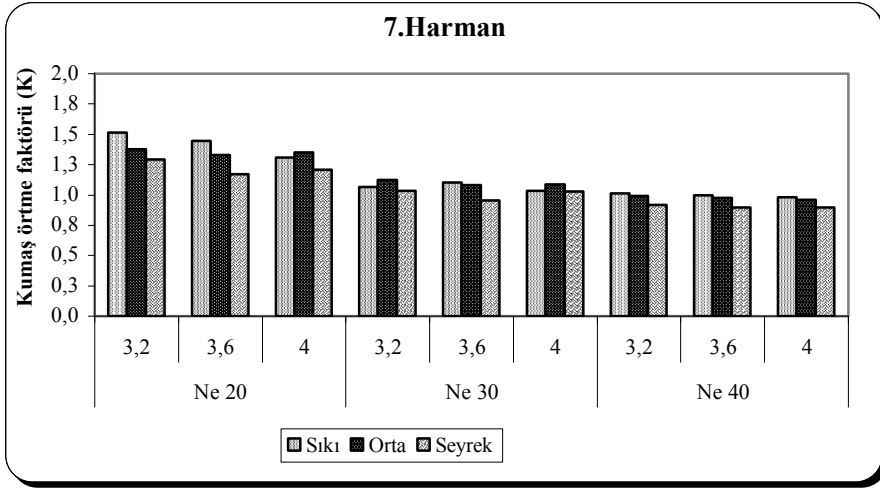
Şekil 7. 14: 4.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri



Şekil 7. 15: 5.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri



Şekil 7. 16: 6.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri



Şekil 7. 17: 7.harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri

7 farklı harmandan üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri incelendiğinde 0.836 ile 1.578 arasında değiştiği görülmektedir.

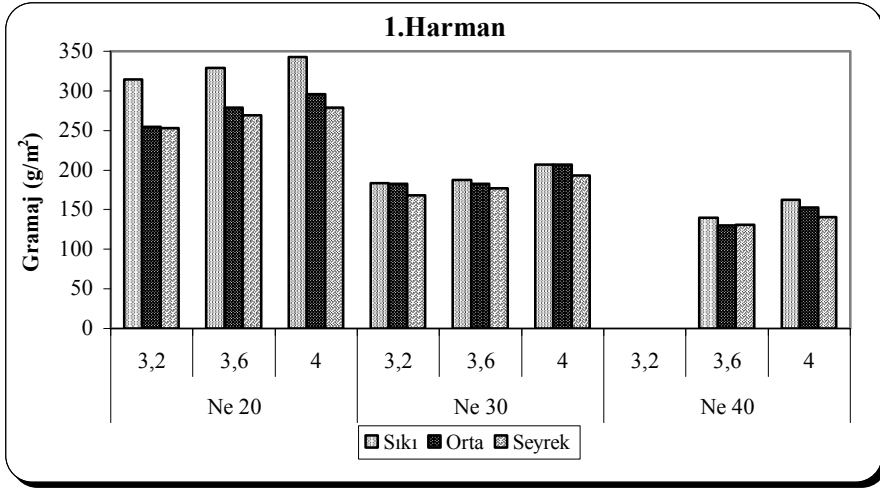
7.3.3 Kumaş gramaj testi sonuçları

Çalışmada üretilen kumaşlara ait gramaj (g/m^2) değerleri Çizelge 7.8 ve her harmandan üretilen kumaşların gramaj değerleri sırasıyla Şekil 7.18, Şekil 7.19, Şekil 7.20, Şekil 7.21, Şekil 7.22, Şekil 7.23 ve Şekil 7.24`de verilmektedir.

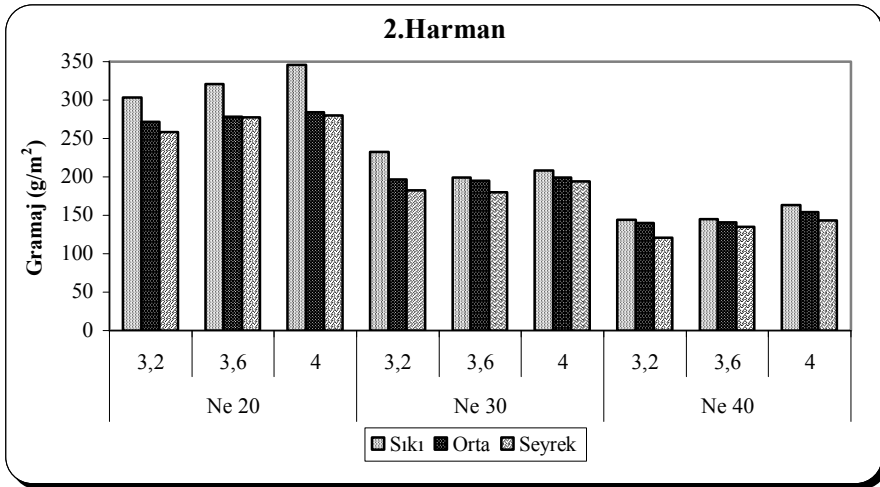
Kumaşlara ait gramaj değerleri incelendiğinde kumaş gramajlarının $137 g/m^2$ ile $348.8 g/m^2$ arasında değiştiği görülmektedir. Tüm harmanlarda iplik incelidikçe kumaş gramaj değerlerinin düştüğü, sıkı ile orta sıklıkta ve seyrek örgü yapısındaki kumaşların gramaj değerleri arasındaki farkın daha belirgin olduğu görülmektedir.

Çizelge 7. 8: Kumaşların gramaj (g/m^2) değerleri

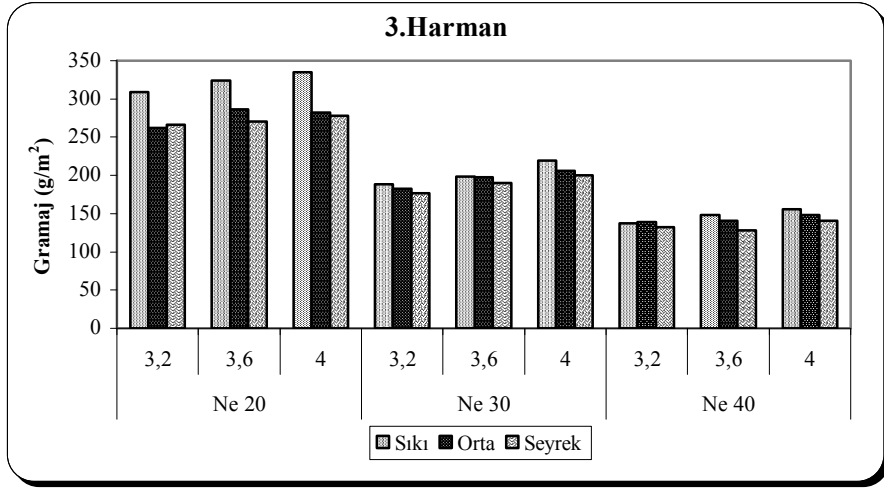
Kumaş Gramajı (g/m^2)			Harmanlar						
İplik Numarası (Ne)	İplik Büküm Katsayısı (α_e)	Kumaş Sıklığı	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
20	3,2	Sıkı	314,3	303,4	308,6	328,8	278,0	310,0	307,5
		Orta	254,3	271,4	261,9	287,0	244,7	265,5	277,8
		Seyrek	252,6	258,0	266,0	271,0	239,9	249,4	271,2
	3,6	Sıkı	329,3	321,1	324,0	329,7	279,4	323,6	320,2
		Orta	278,9	278,7	286,4	293,0	249,7	273,9	282,3
		Seyrek	268,9	277,9	270,3	286,0	246,9	259,2	261,9
	4,0	Sıkı	342,4	345,6	334,9	348,8	272,8	334,5	316,1
		Orta	295,9	284,6	282,5	302,5	253,1	303,4	274,0
		Seyrek	278,7	280,3	278,2	297,7	252,2	272,3	266,0
30	3,2	Sıkı	183,2	232,9	188,4	209,1	175,3	195,9	190,0
		Orta	182,8	196,8	182,5	195,0	164,2	194,3	179,4
		Seyrek	167,8	182,1	176,9	188,0	152,8	176,6	177,3
	3,6	Sıkı	187,5	199,5	198,6	223,4	173,7	195,9	191,4
		Orta	182,3	195,2	197,3	199,5	173,2	189,6	180,0
		Seyrek	176,6	180,3	190,2	198,4	163,5	184,1	180,5
	4,0	Sıkı	207,0	208,6	219,5	236,3	184,0	210,0	212,7
		Orta	207,3	199,3	206,1	210,4	175,0	192,7	201,1
		Seyrek	193,4	193,9	200,0	205,0	174,0	187,3	196,6
40	3,2	Sıkı	144,0	137,0	158,0	125,4	142,0	146,3	
		Orta	140,4	139,0	156,7	119,0	137,2	132,4	
		Seyrek	120,9	132,7	139,5	118,0	131,7	127,7	
	3,6	Sıkı	139,9	145,1	148,3	159,0	133,3	153,7	157,8
		Orta	130,4	141,0	140,4	156,5	126,5	134,7	142,0
		Seyrek	131,3	135,1	128,5	144,9	133,6	135,1	139,9
	4,0	Sıkı	162,1	163,5	155,3	165,8	139,7	163,9	168,5
		Orta	152,6	154,0	148,3	167,6	135,0	145,8	164,4
		Seyrek	140,8	143,1	140,5	148,1	137,0	144,4	146,5



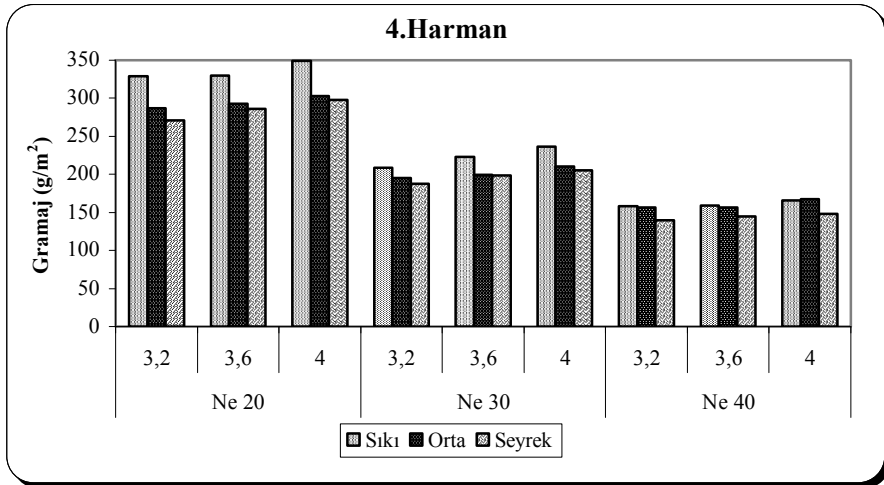
Şekil 7.18: 1. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri



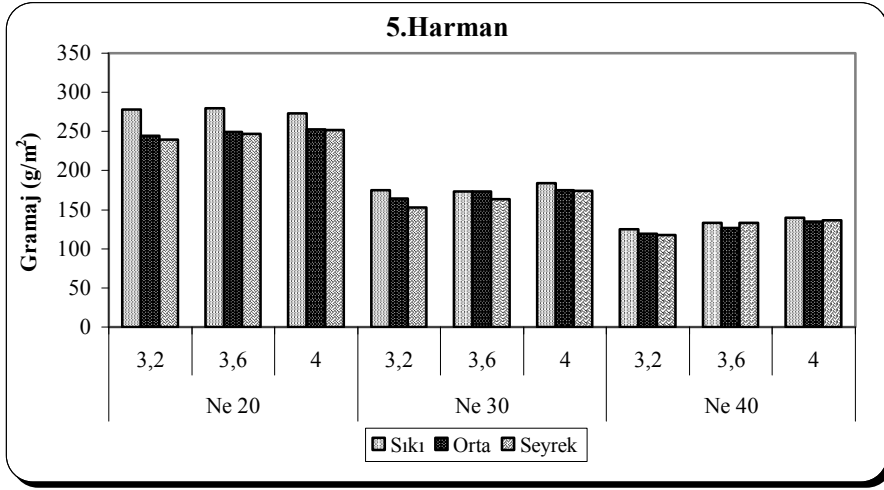
Şekil 7.19: 2. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri



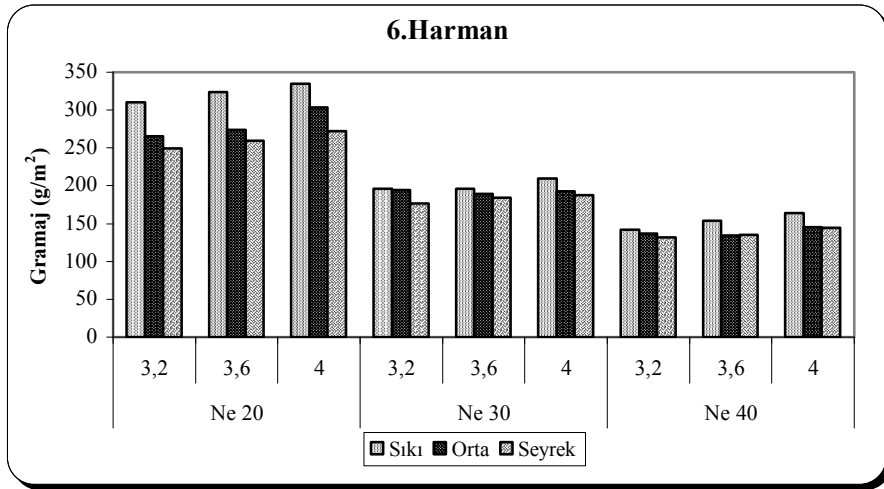
Şekil 7. 20: 3. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri



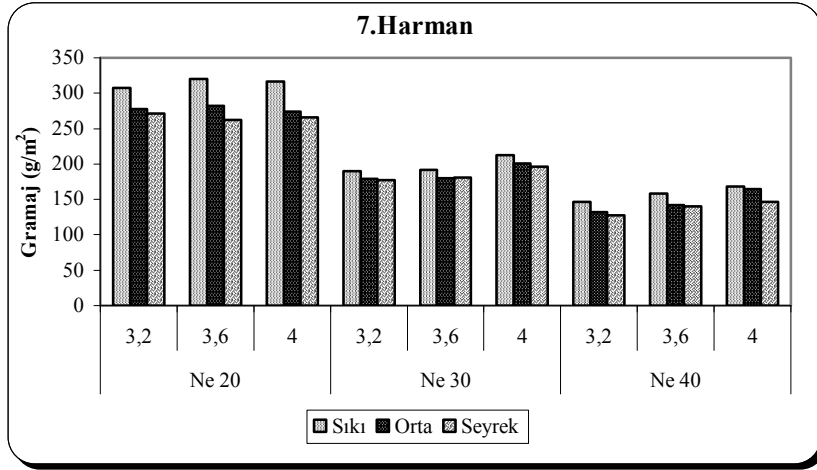
Şekil 7. 21: 4. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri



Şekil 7. 22: 5. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri



Şekil 7. 23: 6. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri



Şekil 7. 24: 7. harmandan üretilen kumaşlara ait gramaj değerleri

7.3.4 Kumaş boncuklanma testi sonuçları

7 farklı harmandan elde edilen 62 tip iplik kullanılarak üretilen 186 interlok örgü yapısındaki kumaşların boncuklanma özelliklerinin subjektif olarak değerlendirilerek kumaşlar arası farklılıkların hassas bir şekilde tespit edilmesi mümkün olamayacağından değerlendirmede objektif bir yöntemin kullanılmasına karar verilmiş ve bu amaçla çalışmada PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi kullanılmıştır.

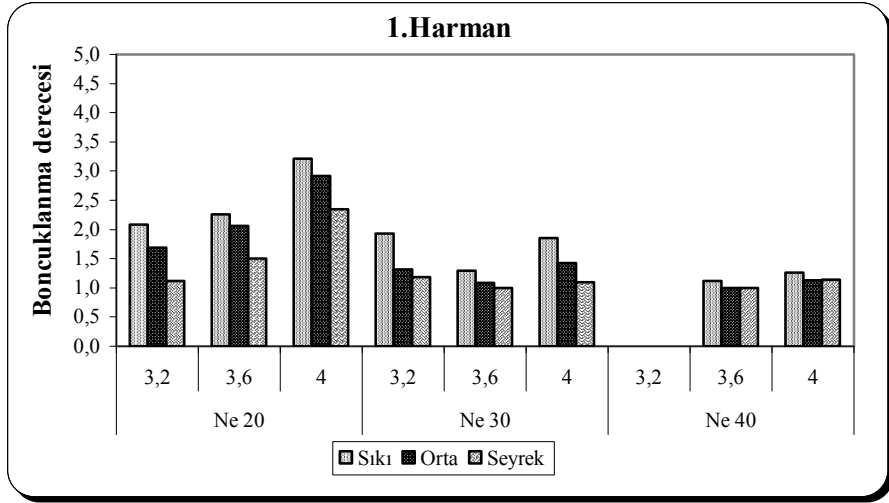
PillGrade sisteminde ölçülen toplam boncuk sayısı, ağırlıklı boncuk sayısı, boncuk alanı, ortalama boncuk yüksekliği, boncuk yoğunluğu, ağırlıklı boncuk yoğunluğu, hav yüksekliği değerleri EK 6`da verilmiştir.

Sistemde ölçülen, kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri ise Çizelge 7.9`da ve harmanlara göre kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri Şekil 7.25 ile Şekil 7.31 arasında verilmektedir.

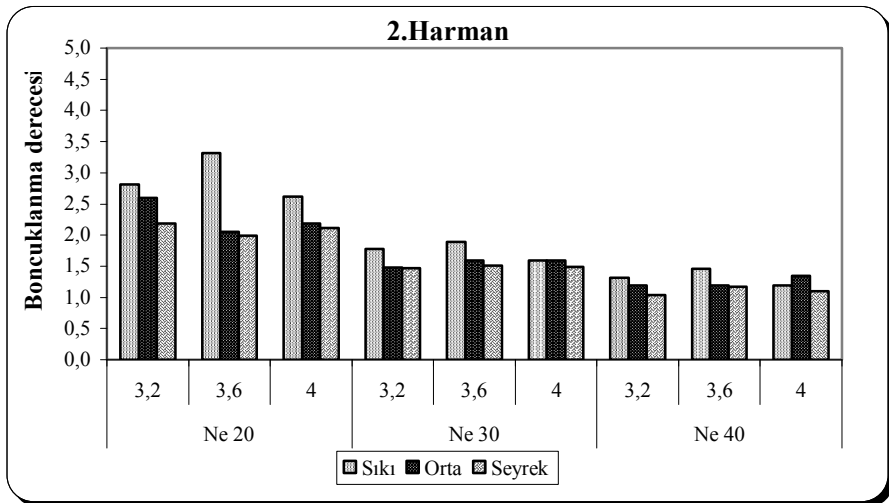
Çizelge 7. 9: Kumaşların boncuklanma derecesi değerleri

<i>Boncuklanma derecesi</i>			<i>Harmanlar</i>						
İplik Numarası (Ne)	İplik Büküm Katsayısı (α_e)	Kumaş Sıklığı	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
20	3,2	Sıkı	2,09	2,82	3,05	3,17	2,86	2,72	2,62
		Orta	1,69	2,60	1,96	1,82	2,13	1,63	1,87
		Seyrek	1,12	2,19	1,80	1,72	2,09	1,42	1,61
	3,6	Sıkı	2,26	3,32	3,55	2,97	3,03	3,09	2,57
		Orta	2,06	2,06	2,14	1,95	1,85	1,58	2,25
		Seyrek	1,50	2,00	1,80	1,89	1,93	1,57	1,69
	4,0	Sıkı	3,21	2,62	3,30	2,76	2,64	3,19	2,98
		Orta	2,91	2,18	1,78	2,23	2,17	1,95	2,18
		Seyrek	2,34	2,12	1,65	2,31	1,97	1,55	1,93
30	3,2	Sıkı	1,93	1,77	1,18	1,66	2,00	1,60	1,67
		Orta	1,32	1,48	1,14	1,21	1,15	1,00	1,21
		Seyrek	1,18	1,46	1,20	1,23	1,08	1,03	1,07
	3,6	Sıkı	1,30	1,89	1,77	1,90	1,57	1,35	1,83
		Orta	1,08	1,59	1,26	1,45	1,16	1,00	1,02
		Seyrek	1,00	1,51	1,22	1,25	1,15	1,07	1,08
	4,0	Sıkı	1,85	1,60	1,64	1,67	1,84	2,21	1,98
		Orta	1,42	1,59	1,60	1,22	1,25	1,19	1,33
		Seyrek	1,09	1,49	1,28	1,23	1,15	1,20	1,25
40	3,2	Sıkı		1,31	1,74	1,66	1,51	1,23	1,09
		Orta		1,19	1,19	1,01	1,08	1,00	1,00
		Seyrek		1,04	1,18	1,00	1,00	1,00	1,00
	3,6	Sıkı	1,12	1,46	1,92	1,07	1,24	1,26	1,49
		Orta	1,00	1,20	1,12	1,08	1,12	1,00	1,00
		Seyrek	1,00	1,18	1,10	1,05	1,03	1,00	1,00
	4,0	Sıkı	1,26	1,20	1,85	1,27	1,24	1,29	1,65
		Orta	1,13	1,35	1,13	1,20	1,00	1,00	1,13
		Seyrek	1,14	1,10	1,11	1,06	1,01	1,00	1,00

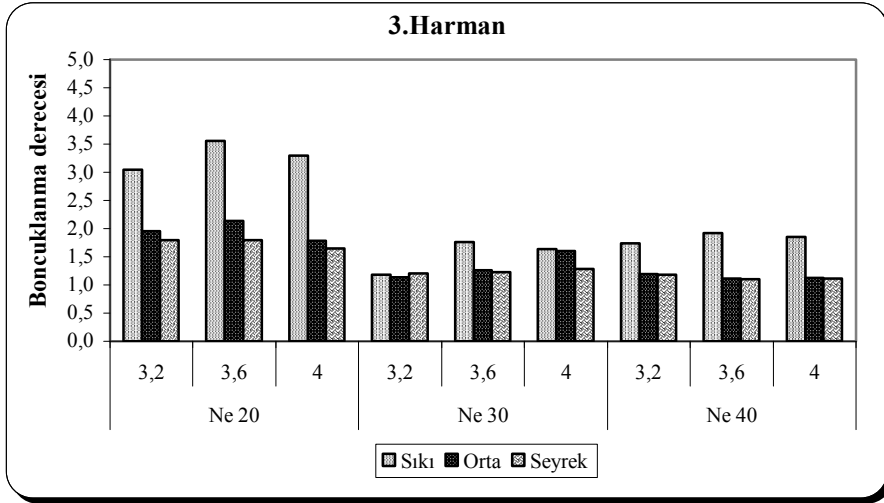
Boncuklanma derecesi: 5 (boncuklanma yok) -1 (çok yoğun tüylenme ve boncuklanma)



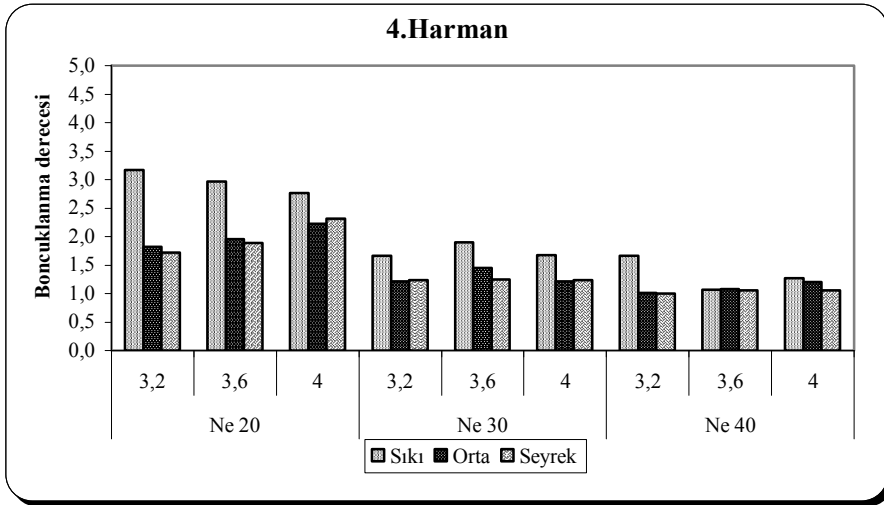
Şekil 7. 25: 1. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri



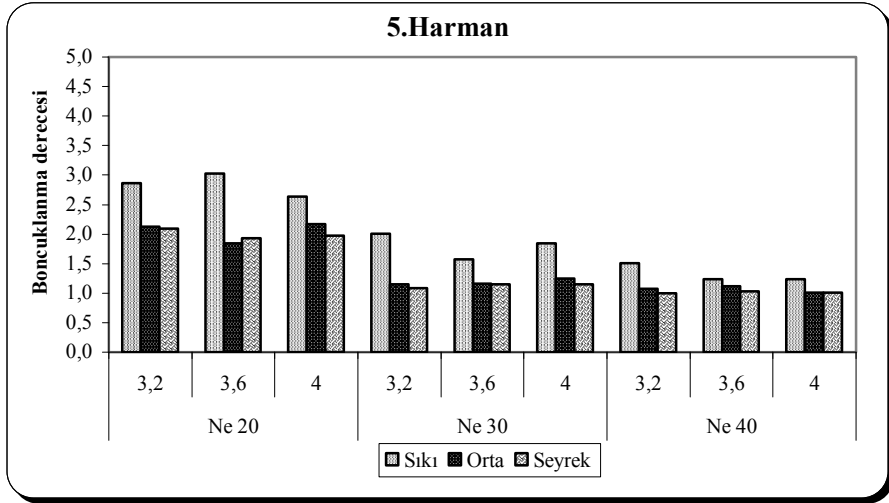
Şekil 7. 26: 2. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri



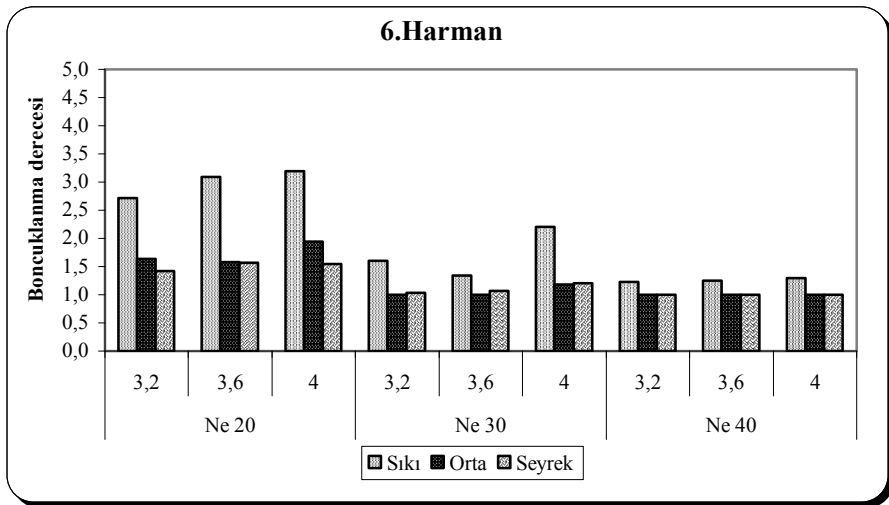
Şekil 7. 27: 3. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri



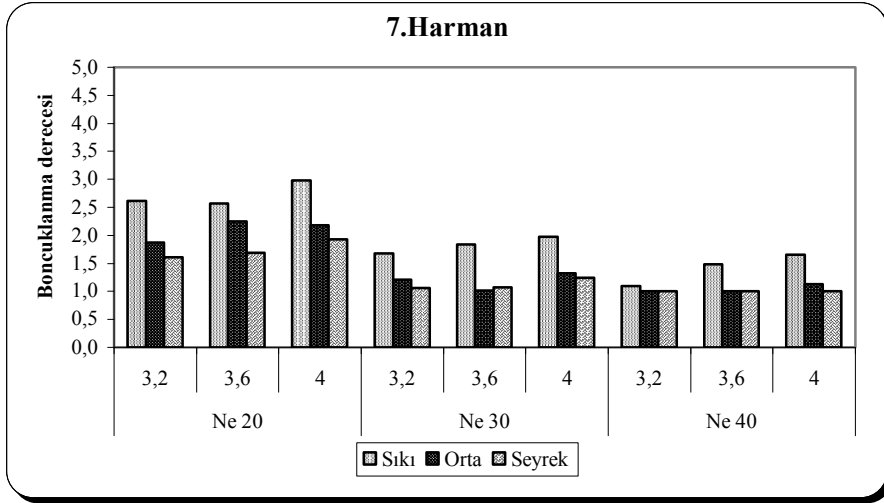
Şekil 7. 28: 4. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri



Şekil 7. 29: 5. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri



Şekil 7. 30: 6. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri



Şekil 7. 31: 7. harmandan üretilen kumaşlara ait boncuklanma derecesi değerleri

7.3.5 Kumaş yüzey sürtünme katsayısına ait ölçüm sonuçları

Kumaşların, Frictorq kumaş yüzey sürtünme katsayısı test cihazında ölçülen kinetik sürtünme katsayısı (μ_{kin}) sonuçları EK 7'de verilmektedir.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, 7. bölümde verilen test sonuçlarına ait analizler gerçekleştirilmiş ve bulunan sonuçlar yorumlanmıştır.

İlk bölümde, öncelikle kumaş boncuklanma özelliğine etki eden lif, iplik, kumaş özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çoklu varyans analizi testi gerçekleştirilmiştir ve varyans analizleri sonucunda elde edilen önemlilik katsayıları çizelgeler halinde sunulmuştur. Ayrıca her bir bağımlı değişken için incelenen faktörlerin güven aralıklarına göre belirlenen alt gruplar çizelgeler halinde verilmiştir. PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sisteminden elde edilen kumaş boncuklanma özellikleri ile lif, iplik ve kumaş özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için gerçekleştirilen korelasyon analizi sonuçlarına ait korelasyon katsayıları sunulmaktadır.

Bu bölümün ikinci kısmında kumaş boncuklanma özelliğinin lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla tahminlenmesi amacıyla regresyon analizleri ve oluşturulan denklemler sunulmaktadır. Bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri görmek amacıyla öncelikle serpm diyagramları oluşturulmuştur. Boncuklanma özellikleri ile tüm lif, iplik ve kumaş özellikleri arasında doğrusal bir ilişki bulunması nedeniyle dönüşüm yapılmadan bağımsız değişkenler analizlerde yer almıştır. Bağımsız değişkenlerin kendi aralarındaki korelasyonları kontrol edilmiştir. Eğer iki bağımsız değişken arasında yüksek korelasyon var ise bağımlı değişken ile yüksek korelasyona sahip olan tercih edilmiştir. “En iyi regresyon modeli bulma (best subsets)” yöntemi ile bağımsız değişkenler ile elde edilebilecek regresyon modelleri tablolar halinde hazırlanmış ve bunlar arasından en uygun model seçilerek, modelde yer alan bağımsız değişkenler ile enter

yöntemi kullanılarak regresyon denklemleri elde edilmiştir. Varyans analizi sonuçları modellerin güvenilirliği açısından önemli bilgiler içermektedir. Bu nedenle tüm eşitliklerin varyans analizi sonuçları çizelge halinde gösterilmiş, ayrıca bağımlı değişkenlerin gerçek ve tahminlenen değerlerini bir arada gösteren grafikler oluşturulmuştur.

Bu bölümün üçüncü kısmında ise kumaş boncuklanma özelliğinin lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla tahminlenmesi amacıyla uygulanan yapay sinir ağları yöntemi ile elde edilen en iyi model sunulmuştur. Ayrıca modelde yer alan bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişken üzerindeki etkilerini göstermek amacıyla gerçekleştirilen hassasiyet analizi sonuçları tablolar halinde verilmiştir. Öğrenme verileri, test verileri ve tüm veriler için hesaplanan tanımlayıcı istatistik değerleri sunulmuştur.

8.1. Kumaş Boncuklanma Özelliğine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi

8.1.1. Varyans analizi yardımıyla boncuklanma özelliğine etki eden faktörlerin incelenmesi

Çoklu varyans analizi yardımıyla, PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sisteminde ölçülen boncuklanma derecesi, toplam boncuk sayısı, ağırlıklı toplam boncuk sayısı, boncuk alanı, ortalama boncuk yüksekliği, hav yüksekliği olmak üzere 6 farklı bağımlı değişken üzerine, kullanılan pamuk harmanlarının, iplik numarasının, iplik bükümü ve kumaş sıklığının ana etkileri yanında ikili etkileşimleri de incelenmiştir. Ayrıca bağımlı değişkenlerin çalışmada incelenen faktörler açısından karşılaştırılması için SNK (Student-Newman-Keuls) çoklu karşılaştırma testi yapılarak alt gruplar belirlenmiştir. %95 güven derecesi ile faktörlerin güven aralıkları dikkate alınarak, incelenen faktörler açısından kumaşların

boncuklanma özellikleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olup olmadığını belirlenmiştir. SNK testi sonucunda aynı grupta yer alan faktörler arasında önemli bir farklılık olmadığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 8.1`de çalışmada incelenen faktörler ile bağımlı değişkenler arasındaki varyans analizine ait $\alpha=0.05$ güven derecesine göre önem katsayıları (p) verilmektedir. 0.05`den küçük önem derecesine sahip faktörlerin incelenen özellik üzerine etkisinin, rasgele bir etki olmadığı, istatistiksel olarak önemli bir değişime neden olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 8. 1: Çalışmada incelenen faktörler ile bağımlı değişkenler arasındaki varyans analizine ait p değerleri

Faktörler	Bağımlı değişkenler					
	BD	TB	ATB	BA	BY	HY
Harman	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*
İplik numarası	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*
İplik bükümü	0,001*	0,028*	0,000*	0,000*	0,000*	0,884
Kumaş sıklığı	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,002*
Harman*İplik bükümü	0,002*	0,084	0,025*	0,055	0,025*	0,001*
Harman*İplik numarası	0,421	0,000*	0,002*	0,001*	0,279	0000*
Harman*Kumaş sıklığı	0,016*	0,002*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*
İplik numarası*Kumaş sıklığı	0,000*	0,000*	0,110	0,019*	0,323	0,000*
Kumaş sıklığı*İplik bükümü	0,931	0,437	0,153	0,159	0,540	0,911
İplik Bükümü*İplik numarası	0,303	0,595	0,969	0,854	0,233	0,346

* $\alpha=0,05$ seviyesi için önemlidir.

BD: boncuklanma derecesi, TB: toplam boncuk sayısı, ATB: ağırlıklı toplam boncuk sayısı, BA: boncuk alanı (cm²), BY: ortalama boncuk yüksekliği (mm), HY: hav yüksekliği (mm)

Yapılan çoklu varyans analizi sonucunda boncuklanma derecesi üzerine, kullanılan pamuk harmanının dolayısıyla pamuk lif özelliklerinin, iplik numarasının, iplik büküm sayısının ve kumaş sıklığının istatistiksel olarak önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca boncuklanma derecesi üzerine faktörlerin ikili etkileşimleri incelendiğinde, iplik büküm katsayısı ve kumaş sıklığındaki değişimin farklı harmanlarda etkisinin değişik olduğu

belirlenmiştir. Her bir kumaş sıklığında ise iplik numarasının etkisinin boncuklanma derecesi üzerine farklı olduğu tespit edilmiştir. İplik numarasının boncuklanma derecesi üzerine etkisi, tüm harmanlarda aynı şekilde olup, iplik inceldikçe, kumaş yapısında liflerin kumaş yüzeyine hareketinin kolaylaşması nedeniyle tüm harmanlarda boncuklanma en fazla Ne 40 numara ipliklerden üretilen interlok kumaşlarda meydana gelmiştir.

Çizelge 8.2`de SNK çoklu karşılaştırma testi sonucunda belirlenen, pamuk harmanı, iplik numarası, iplik büküm sayısı ve kumaş sıklığının boncuklanma derecesi açısından gruplandırılmış değerleri ile önem katsayıları verilmektedir.

Çizelge 8. 2: Boncuklanma derecesi için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları

Boncuklanma Derecesi								
Faktör	Harman							P
Alt Grup	H6	H7	H1	H5	H4	H3	H2	P
1	1,49	1,57	1,58	1,60	1,63			0,073
2		1,57	1,58	1,60	1,63	1,69		0,219
3					1,63	1,69	1,75	0,076
Faktör	İplik Numarası			P	İplik Büküm Sayısı			P
Alt Grup	Ne 20	Ne 30	Ne 40	P	$\alpha_e=3,2$	$\alpha_e=3,6$	$\alpha_e=4,0$	P
1	2,25			1,000	1,58	1,59		0,850
2		1,40		1,000			1,69	1,000
3			1,18	1,000				
Faktör	Kumaş Sıklığı						P	
Alt Grup	Sıkı		Orta		Seyrek		P	
1	2,01						1,000	
2			1,48				1,000	
3					1,36		1,000	

Boncuklanma derecesine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları incelendiğinde, her bir harmandan üretilen kumaşların ortalama boncuklanma derecelerine ait güven aralıkları göz önünde

bulundurulduğunda, boncuklanma derecesi açısından harmanların 3 grup altında toplanabildiği belirlenmiştir. Yunanistan pamuğu olan 6.harmandan üretilen kumaşların boncuklanma derecesi değerleri ile Ege yöresi pamuğu 2. harman ve yine Ege yöresi pamuğu 3. harmandan üretilen kumaşların boncuklanma dereceleri arasındaki fark, Mısır pamuğundan (H7) üretilen kumaşlar ile 2.harmandan üretilen kumaşların boncuklanma derecesi arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir. Diğer harmanların boncuklanma dereceleri arasındaki farklılık ise önemsizdir.

İplik numaralarına göre kumaşların boncuklanma dereceleri incelendiğinde, Ne 20, Ne 30 ve Ne 40 numaralı ipliklerden üretilen kumaşların boncuklanma dereceleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir. İplik kalınlığının artmasıyla birlikte kumaş boncuklanma eğilimi azalmakta, boncuklanma derecesi artmaktadır. İnce ipliklerden üretilen kumaşlarda iplik enine kesitindeki lif sayısının daha az olması nedeniyle liflerin iplik yapısından kumaş yüzeyine çıkarak boncuk oluşturma eğilimi daha fazla olmaktadır.

İplik büküm katsayılarına göre kumaşların boncuklanma derecelerine ait SNK testi sonuçları incelendiğinde, tüm harmanlar göz önünde bulundurulduğunda, $\alpha_e=3,2$ ve $\alpha_e=3,6$ büküm katsayılarında iplik kullanılarak üretilen kumaşların boncuklanma dereceleri arasında istatistiksel bir fark belirlenmediği için aynı grupta yer aldıkları görülmektedir. $\alpha_e=4,0$ büküm katsayısından üretilen kumaşların ortalama boncuklanma derecesi daha yüksek olup, bu durum, liflerin iplik içerisindeki hareketliliği büküm katsayısının artmasıyla kumaş boncuklanma eğiliminin azalmasından kaynaklanmaktadır. Hedeflenen, tüm harmanlarda üretilen ipliklerin aynı büküm katsayısında olması iken gerçekleşen büküm değerleri

incelendiğinde (Çizelge 7.6) özellikle düşük büküm katsayısında ipliklerin hedeflenenin üzerinde büküm katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu durum büküm katsayısının boncuklanma derecesi üzerindeki etkisinin belirgin olarak gözlenmesini engellemiştir.

Kumaş sıklığı açısından interlok örme kumaşların boncuklanma derecelerine ait SNK testi sonuçları incelendiğinde sıkı, orta ve seyrek sıklıkta üretilen kumaşların boncuklanma dereceleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir. İlmek iplik uzunlukları değiştirilerek 3 farklı örtme faktörü değerinde üretilen kumaşlarda birim ilmek yapısında iplik ile kaplı alan arttıkça ilmeklerin yapısından liflerin kumaş yüzeyine çıkarak boncuk oluşturması zorlaşmaktadır.

Çizelge 8.1`den de görüldüğü gibi yapılan çoklu varyans analizi sonucunda toplam boncuk sayısı ve ağırlıklı boncuk sayısı değerleri üzerine, kullanılan pamuk harmanının, iplik numarasının, iplik bükümünün ve kumaş sıklığının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ayrıca toplam boncuk sayısı açısından pamuk harmanına göre iplik numarası ve kumaş sıklığının etkisinin, aynı zamanda kumaş sıklığına göre iplik numarasının etkisinin farklı olduğu, faktörlerin ikili etkileşimleri dikkate alınarak yapılan varyans analizi sonucunda belirlenmiştir. Ağırlıklı boncuk sayısı açısından ise pamuk harmanları ile iplik numarası, iplik büküm katsayısı ve kumaş sıklığı arasındaki ikili etkileşimin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.4`de SNK testi sonucunda pamuk harmanları, iplik numarası, iplik büküm sayısı ve kumaş sıklığının toplam boncuk sayısına ve ağırlıklı toplam boncuk sayısına göre gruplandırılmış değerleri ve önem katsayıları (p) verilmektedir.

Çizelge 8. 3: Toplam boncuk sayısı için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları

Toplam Boncuk Sayısı								
Faktör	<i>Harman</i>							P
AltGrup	H2	H1	H4	H3	H6	H5	H7	P
1	108,55							1,000
2		116,51	118,21	118,67				0,752
3					130,93	131,82		0,768
4							140,25	1,000

Faktör	<i>İplik Numarası</i>				<i>İplik Büküm Sayısı</i>			
AltGrup	Ne 20	Ne 30	Ne 40	P	$\alpha_e=3,2$	$\alpha_e=3,6$	$\alpha_e=4,0$	P
1	90,71			1,000	124,79	125,34	120,95	0,069
2		132,30		1,000				
3			149,24	1,000				

Faktör	<i>Kumaş Sıklığı</i>			P
AltGrup	Sıkı	Orta	Seyrek	P
1	107,58			1,000
2		130,41	133,04	1,000

Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.4 incelendiğinde, toplam ve ağırlıklı boncuk sayısı açısından harmanların 4 gruba ayrıldığı görülmektedir. Ancak toplam ve ağırlıklı boncuk sayılarına göre harmanların dahil oldukları gruplar ve sıralama farklıdır. İplik numarası ve kumaş sıklığına göre toplam ve ağırlıklı boncuk sayıları arasındaki farklılık önemlidir. İplik büküm katsayısı açısından kumaşlarda oluşan toplam boncuk sayıları arasında istatistiksel olarak herhangi bir farklılık yoktur. Ancak ağırlıklı boncuk sayısı açısından boncuklanma derecesi sonuçlarında da olduğu gibi $\alpha_e=3,2$ ve $\alpha_e=3,6$ büküm katsayılarında iplik kullanılarak üretilen kumaşların aynı grupta, $\alpha_e=4,0$ büküm katsayısında üretilen kumaşların ise ayrı bir grup altında toplandığı belirlenmiştir.

Cizelge 8. 4: Ağırlıklı toplam boncuk sayısı için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları

Ağırlıklı Toplam Boncuk Sayısı								
Faktör	<i>Harman</i>							P
AltGrup	H2	H3	H4	H5	H7	H1	H6	
1	147,35	153,02						0,247
2		153,02	161,08					0,101
3			161,08	165,39	167,17	168,87		0,384
4							184,42	1,000

Faktör	<i>İplik Numarası</i>			p	<i>İplik Büküm Sayısı</i>			p
AltGrup	Ne 20	Ne 30	Ne 40		$\alpha_e=3,2$	$\alpha_e=3,6$	$\alpha_e=4,0$	
1	106,68			1,000	168,00	168,08		0,980
2		174,43		1,000			155,57	1,000
3			212,68	1,000				

Faktör	<i>Kumaş Sıklığı</i>			P
AltGrup	Sıkı	Orta	Seyrek	
1	126,91			1,000
2		174,95		1,000
3			189,60	1,000

Toplam boncuk sayısı, incelenen alandaki tüm boncuk sayısını ifade ederken, ağırlıklı boncuk sayısı, boncuk çapları dikkate alınarak boncuk sayılarının, boncuk çaplarına bağlı olarak bir katsayıyla çarpılmasıyla hesaplanan bir değerdir. Boncuklanma derecesi 1 ile 5 arasında değişen bir değer olup, subjektif değerlendirmede genellikle kumaş yüzeyinde oluşan boncukların yoğunluğu göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Ancak kumaş yapısına bağlı olarak boncuk sayısı yanında boncukların büyüklükleri de değişmektedir. Kumaş yüzeyinde oluşan boncuk sayısı az ve büyük iken yapılan değerlendirmede verilen boncuklanma derecesi, boncuk sayısı fazla ancak boncukların küçük olması durumunda yapılan değerlendirme ile aynı olabilmektedir. Bu nedenle ağırlıklı boncuk sayısı ile toplam boncuk sayıları arasındaki fark değerleri yardımıyla kumaşların yüzeyinde oluşan boncukların büyüklükleri hakkında fikir elde etmek

mümkündür. Örneğin toplam boncuk sayısı 100 iken, ağırlıklı boncuk sayısı 90 olduğunda oluşan boncukların küçük, ağırlıklı boncuk sayısı 100 olduğunda oluşan boncukların orta büyüklükte ve ağırlıklı boncuk sayısı 110 olduğunda oluşan boncukların büyük olduğu sonucuna varılmaktadır. İki değer arasındaki farkın fazla olması karşılaştırma yapılırken oluşan boncukların birbirlerine göre büyüklükleri hakkında fikir elde edilmesini sağlamaktadır.

Çizelge 8.5`de harmanlara, iplik numarası, iplik bükümü ve kumaş sıklığına göre toplam ve ağırlıklı boncuk sayıları arasındaki ortalama fark değerlerine ait çoklu karşılaştırma test sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 8.5: Toplam ve ağırlıklı boncuk sayıları arasındaki fark için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları

Ağırlıklı Toplam Boncuk Sayısı-Toplam Boncuk Sayısı								
Faktör	Harman							p
AltGrup	H7	H5	H3	H2	H4	H1	H6	
1	26,907							1,000
2		33,580	34,350	38,800				0,167
3				38,800	42,865			0,159
4						52,363	53,489	0,695

Faktör	İplik Numarası			p	İplik Büküm Sayısı			p
AltGrup	Ne 20	Ne 30	Ne 40		$\alpha_e=3,2$	$\alpha_e=3,6$	$\alpha_e=4,0$	
1	15,964			1,000	43,211	42,741		0,803
2		42,132		1,000			34,622	1,000
3			63,441	1,000				

Faktör	Kumaş Sıklığı			p
AltGrup	Sıkı	Orta	Seyrek	
1	19,332			1,000
2		44,538		1,000
3			56,557	1,000

Kumaşların ağırlıklı boncuk sayısı ile toplam boncuk sayıları arasındaki farkı gösteren Çizelge 8.5 incelendiğinde, farkın en az 7.

harmana ve en yüksek fark değerinin ise 6. harmana ait olduğu görülmektedir. H3, H5 ve H7 pamuk harmanlarından üretilen kumaşlar, tarama işlemi görmüş penye fitilleri kullanılarak üretildiğinden kısa elyaf oranları diğer karde harmanlarına göre oldukça düşüktür. Dolayısıyla tarama işlemi görmüş penye kumaşlarda oluşan boncuk sayıları ile karde kumaşlarda oluşan boncuk sayıları arasında fark belirgin olmasa bile farklılığın, oluşan boncukların yapısından kaynaklandığı söylenebilir. Penye ipliklerden üretilen kumaşlarda kısa elyaf oranının düşük olması nedeniyle daha küçük boncukların oluşacağı sonucuna varılmaktadır.

İplik numarası açısından sonuçlar incelendiğinde ise iplik inceldikçe oluşan boncukların daha büyük olduğu görülmektedir. Ne 20, Ne 30 ve Ne 40 numara ipliklerden üretilen kumaşların örtme faktörü değerleri sırasıyla azalmakta, dolayısıyla liflerin kumaş yüzeyine doğru hareketi kolaylaşmaktadır. Bu nedenle boncuklanma mekanizması açısından boncuk oluşumu ve oluşan boncukların büyümesi aşamaları ince ipliklerden üretilen kumaşlarda daha hızlı gerçekleşmektedir.

İplik büküm katsayı açısından ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki fark incelendiğinde, iplik büküm sayısının azalmasıyla birlikte oluşan boncukların büyüklükleri de artmaktadır. $\alpha_e=3,2$ ve $\alpha_e=3,6$ büküm katsayısına sahip ipliklerden üretilen kumaşlarda oluşan boncukların büyüklüklerinin, $\alpha_e=4,0$ büküm katsayısına sahip kumaşlarda oluşan boncuklara göre daha fazla ve birbirine yakın olduğu söylenebilir.

Kumaş sıklığı açısından oluşan boncuk büyüklükleri incelendiğinde, özellikle kumaş örtme faktörünün yüksek olduğu sıkı kumaşlarda ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki farkın az olması nedeniyle oluşan boncukların büyüklüklerinin oldukça küçük olduğu söylenebilir. Orta ve

seyrek sıklıkta üretilen kumaşlar arasında boncuk büyüklükleri açısından farklılık daha azdır.

PillGrade Objektif Boncuk Değerlendirme Sisteminde ölçülen bir diğer kumaş boncuklanma özelliği boncukların kapladığı ortalama alandır. 25.18 cm^2 lik ölçüm alanı içerisindeki boncukların kapladığı ortalama alan açısından incelenen faktörlerin etkisi Çizelge 8.1`de verilen varyans analizi ile incelenmiştir. Boncuk alanı değerleri, pamuk harmanı, iplik numarası, iplik bükümü ve kumaş sıklığı açısından istatistiksel olarak önemlidir. Ayrıca boncuk alanı açısından pamuk harmanına göre iplik numarası ve kumaş sıklığının etkisinin, aynı zamanda kumaş sıklığına göre iplik numarasının etkisinin farklı olduğu faktörlerin ikili etkileşimleri dikkate alınarak yapılan varyans analizi sonucunda belirlenmiştir.

Çizelge 8.6`da SNK testi sonucunda ortalama boncuk alanına göre pamuk harmanları, iplik numarası, iplik büküm sayısı ve kumaş sıklığı için oluşturulan alt gruplar ve önem katsayıları (p) verilmektedir.

Çizelge 8.6`de görüldüğü gibi, çalışmada kullanılan pamuk harmanları kumaş yüzeyinde oluşan ortalama boncuk alanı açısından 3 gruba ayrılmaktadır. 1. ve 6. harmanlardan üretilen kumaşların ortalama boncuk alanı değerleri ile diğer harmanlardan üretilen kumaşların ortalama boncuk alanı değerleri arasındaki fark önemli iken diğer tüm harmanlar aynı grupta yer almaktadır. Boncuk büyüklükleri hakkında fikir elde etmek amacıyla hesaplanan ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki fark değerleri ile boncuk alanı değerleri açısından yapılan sıralama benzer şekildedir.

İplik numarası açısından yapılan değerlendirmede boncuk alanına göre iplik numaraları arasındaki farklılığın istatistiksel olarak farklı olduğu

belirlenmiştir. İplik incelidikçe boncukların kapladığı ortalama alan artmaktadır.

Çizelge 8. 6: Ortalama boncuk alanı için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları

Boncuk Alanı								
Faktör	Harman							P
Alt Grup	H2	H3	H7	H5	H4	H1	H6	
1	1,42	1,44	1,47	1,47	1,54			0,213
2						1,67		1,000
3							1,82	1,000
Faktör	İplik Numarası			P	İplik Büküm Sayısı			P
Alt Grup	Ne 20	Ne 30	Ne 40		$\alpha_e=3,2$	$\alpha_e=3,6$	$\alpha_e=4,0$	
1	0,9702			1,000	1,5835	1,5925		1,000
2		1,6402		1,000			1,4535	0,804
3			2,0410	1,000				
Faktör	Kumaş Sıklığı						P	
Alt Grup	Sıkı		Orta		Seyrek			
1	1,0979						1,000	
2			1,6690				1,000	
3					1,8606		1,000	

Kumaşlarda oluşan boncukların ortalama alan değerleri açısından kumaşlar, iplik büküm katsayılarına göre 2 gruba ayrılmaktadır. $\alpha_e=3,2$ ve $\alpha_e=3,6$ büküm katsayısına sahip ipliklerden üretilen kumaşlarda oluşan boncukların kapladığı ortalama alan, $\alpha_e=4,0$ büküm katsayısına sahip kumaşlarda oluşan boncukların kapladığı ortalama alana göre daha fazla ve birbirine yakındır. Bu durum ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki farka göre belirlenen boncuk büyüklüklerine ait sonuçlara uymaktadır.

Kumaşların içerdiği boncukların ortalama alan değerleri açısından kumaşlar, sıklıklarına göre 3 grupta toplanmaktadır. Sıkı, orta ve seyrek sıklıktaki kumaşların boncuk alanları istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Seyrek yapıdaki interlok örme kumaşların yapısından liflerin

kumaş yüzeyine çıkararak oluşturdukları boncuğun büyümesi, sıkı yapıdaki kumaşlarda oluşan mekanizmaya göre daha hızlı gerçekleşmektedir.

PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sisteminde ölçülen bir diğer kumaş boncuklanma özelliği oluşan boncukların yapısı hakkında fikir elde edilmesini sağlayan ortalama boncuk yüksekliği değeridir. Çizelge 8.1`de verilen varyans analizi sonuçları incelendiğinde, pamuk harmanı, iplik numarası, iplik bükümü ve kumaş sıklığının boncuk yüksekliğine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca kullanılan pamuğun özelliklerine göre iplik büküm sayısının ve kumaş sıklığının, oluşan boncukların yükseklikleri üzerine etkilerinin farklı olduğu, varyans analizindeki ikili etkileşim testinde belirlenmiştir.

Çizelge 8.7`de SNK testi sonucunda ortalama boncuk yüksekliğine göre pamuk harmanları, iplik numarası, iplik büküm sayısı ve kumaş sıklığı için oluşturulan alt gruplar ve önem katsayıları (p) verilmektedir.

Varyans analizi sonucunda kullanılan pamuk harmanlarının boncuk yüksekliği üzerine etkisi önemli bulunmuştur. Ancak hangi harmanlar arasında farklılık olduğunu belirlemek için gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre pamuk harmanlarının boncuk yüksekliği açısından dört gruba ayrıldığı belirlenmiştir. Harmanların boncuk yüksekliklerine ait sıralaması, toplam ve ağırlıklı boncuk sayısı yardımıyla hesaplanan boncuk büyüklüklerine ait sonuçlara benzemektedir. Buna göre tarama işlemi gören H3, H5 ve H7 harmanlarına ait kumaşların boncuk yükseklikleri diğer harmanlara göre daha azdır. Mısır pamuğundan üretilen penye kumaşların ortalama boncuk yüksekliği en düşük iken, Hindistan pamuğundan üretilen karde kumaşların en yüksektir. Bu durum harman

özelliklerinden özellikle kısa elyaf içeriğindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır.

Çizelge 8. 7: Boncuk yüksekliği için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları

Boncuk Yüksekliği								
Faktör	<i>Harman</i>							P
AltGrup	H7	H5	H3	H4	H2	H6	H1	P
1	1,3104							1,000
2		1,3611	1,3785					0,231
3				1,4333	1,4393	1,4611		0,137
4							1,4921	1,000

Faktör	<i>İplik Numarası</i>			p	<i>İplik Büküm Sayısı</i>			P
AltGrup	Ne 20	Ne 30	Ne 40		$\alpha_e=3,2$	$\alpha_e=3,6$	$\alpha_e=4,0$	
1	1,2870			1,000	1,4247	1,4214		0,733
2		1,4343		1,000			1,3832	1,000
3			1,5122	1,000				

Faktör	<i>Kumaş Sıklığı</i>			P
AltGrup	Sıkı	Orta	Seyrek	
1	1,2903			1,000
2		1,4381		1,000
3			1,5002	1,000

İplik numarası açısından kumaşların boncuk yükseklikleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir. İplik inceldikçe oluşan boncukların ortalama yüksekliğinin arttığı görülmektedir. PillGrade sisteminde boncuk yüksekliği belirlenirken kumaşın başlangıç eşik değeri ortalama hav yüksekliğine göre ayarlanmaktadır. Ne 20 numaralı ipliklerin daha yüksek tüylülüğe sahip olması nedeniyle bu numaradaki ipliklerden üretilen kumaşlarda boncukların yüksekliği, kumaş yüzey çizgisine göre daha düşük olarak algılanmaktadır.

Boncuklanma derecesi, ağırlıklı boncuk sayısı, boncuk alanı değerlerine ait gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarında olduğu gibi boncuk yüksekliği için de iplik büküm katsayısı açısından kumaşları 2

grupta toplamak mümkündür. $\alpha_e=3,2$ ve $\alpha_e=3,6$ büküm katsayısına sahip ipliklerden üretilen kumaşlarda oluşan boncukların ortalama yüksekliği $\alpha_e=4,0$ büküm katsayısına sahip kumaşlarda oluşan boncukların ortalama yüksekliğine göre daha fazla ve birbirine yakındır.

Kumaş sıklığı açısından, 3 farklı sıklıktaki kumaşların boncuk yükseklik değerlerine ait güven aralıkları çakışmadığından farklı gruplarda bulunmaktadır. Özellikle sıkı ve seyrek yapıdaki kumaşların ortalama boncuk yükseklik değerleri arasındaki fark belirgindir.

PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sisteminde ölçülen bir diğer özellik olan hav yüksekliği, kumaş hav tabakasının yoğun olan kısmının yüksekliğidir. Çalışmada incelenen faktörlerin hav yüksekliği üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 8.1`de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, iplik bükümü dışındaki diğer tüm faktörlerin etkisinin istatistik olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca faktörlerin ikili etkileşimleri incelendiğinde pamuk harmanlarında iplik numarası, iplik bükümü ve kumaş sıklığı değişkenlerinin etkisinin farklı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Sıkı, orta ve seyrek yapıdaki kumaşlarda iplik numarasının etkisi de aynı ölçüde değildir. Hav yüksekliği değerleri açısından faktörlerin diğer tüm ikili etkileşimleri istatistiksel olarak önemli değildir.

Çizelge 8.8`de SNK çoklu karşılaştırma testi sonucunda ortalama boncuk yüksekliğine göre pamuk harmanları, iplik numarası, iplik büküm sayısı ve kumaş sıklığı için oluşturulan alt gruplar ve önem katsayıları (p) verilmektedir.

Çizelge 8. 8: Hav yüksekliği için incelenen faktörlere ait SNK testi sonuçları

Hav Yüksekliği								
Faktör	Harman							p
Alt Grup	H1	H2	H3	H6	H4	H7	H5	
1	1,7904							1,000
2		1,9774	1,9778					0,990
3				2,0633	2,0937	2,1322		0,700
4							2,2185	1,000
Faktör	İplik Numarası			p	İplik Büküm Sayısı			p
Alt Grup	Ne 20	Ne 30	Ne 40		$\alpha_e=3,2$	$\alpha_e=3,6$	$\alpha_e=4,0$	
1	1,9163			1,000	2,0357	2,0419	2,0427	0,936
2		2,0995	2,1078	0,682				
Faktör	Kumaş Sıklığı						p	
Alt Grup	Sıkı		Orta		Seyrek			
1	1,9969						1,000	
2			2,0556		2,0679		0,546	

Çoklu karşılaştırma sonuçları incelendiğinde, hav yüksekliği açısından harmanların 4 grup altında toplandığı görülmektedir. Boncuk oluşum aşamaları dikkate alındığında, ilk aşamayı liflerin iplik yapısından kumaş yüzeyine çıkararak hav oluşturma aşaması oluşturmaktadır. Lif özelliklerine bağlı olarak havlanma derecesi ve hav oluşum hızı değişmektedir. 1. harmanda hav yüksekliği en düşük olup, boncuk yüksekliğinin en yüksek olması, test süresinde boncuk oluşum aşamalarından hav oluşumunun diğer harmanlara göre daha hızlı gerçekleştiği ve boncuk oluşum hızının da daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Penye fitili kullanılarak üretilen 5. ve 7. harman kumaşların da ise durumun tam tersi olduğu görülmektedir. Hav yükseklikleri fazla ancak oluşan boncuk yükseklikleri düşüktür. Dolayısıyla bu harmanlarda test süresi sonunda boncuk oluşum aşamalarından havlanma, boncuk oluşumu ve boncuk büyümesinin devam ettiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 8.8 incelendiğinde, hav yükseklik değerlerinin iplik numarası açısından 2 gruba ayrıldığı görülmektedir. Ne 20 numaralı ipliklerden üretilen kumaşların hav yükseklik değerleri, Ne 30 ve Ne 40 numaralı ipliklerden üretilen kumaşların hav yükseklik değerlerine göre daha düşüktür.

Varyans analizi sonucunda olduğu gibi çoklu karşılaştırma testi sonucunda da iplik büküm katsayısı açısından tüm kumaşlar arasında istatistiksel olarak farklılık olmadığı belirlenmiştir.

SNK testi sonucunda hav yüksekliği açısından kumaş sıklığına göre kumaşlar 2 gruba ayrılmaktadır. Orta ve seyrek yapıdaki kumaşların hav yükseklikleri arasında fark yoktur ve sıkı yapıdaki kumaşlara göre ortalama hav yükseklikleri daha yüksektir.

8.1.2. Boncuklanma özelliğine etki eden lif, iplik ve kumaş özelliklerinin incelenmesi

Değişkenler arasında ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan korelasyon analizi ile aynı zamanda değişkenler arasında ilişkinin yönü ve gücü belirlenmektedir.

PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi ile ölçülen kumaş boncuklanma özellikleri ile lif, iplik ve kumaş özellikleri arasındaki ilişkiler ayrı ayrı incelenmiştir. İplik üretim aşamasında ara bir ürün olan fitilden ölçülen lif özellikleri dikkate alınarak, kumaş boncuklanma özellikleri tahminleneceği için korelasyon analizinde sadece AFIS PRO 2 cihazında ölçülen lif özellikleri ele alınmıştır. Çizelge 8.9`da boncuklanma özellikleri ile lif, iplik ve kumaş özellikleri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları verilmektedir.

Çizelge 8. 9: Lif, iplik ve kumaş özellikleri ile boncuklanma özellikleri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

Özellikler		BD	TB	ATB	BA	BY	HY
Lif	L_w	-0.054	0.209	0.060	-0.014	-0.206	0.378
	L_w %CV	-0.021	-0.158	0.049	0.142	0.332	-0.485
	SFC_w	-0.011	-0.187	0.038	0.138	0.353	-0.431
	UQL_w	-0.005	0.032	0.000	-0.032	-0.052	0.360
	L_n	0.009	0.178	-0.032	-0.130	-0.328	0.461
	L_n %CV	-0.010	-0.192	0.034	0.133	0.353	-0.404
	SFC_n	-0.008	-0.194	0.033	0.133	0.354	-0.403
	%5 L_n	-0.007	0.131	-0.007	-0.085	-0.206	0.417
	İncelik (mtex)	-0.010	0.197	0.001	-0.074	-0.306	0.436
	Olgunluk	-0.002	0.203	-0.017	-0.117	-0.335	0.515
	IFC	-0.020	-0.126	0.037	0.100	0.267	-0.493
İplik	CV_m	-0.508	0.390	0.561	0.594	0.663	0.011
	İnce yer (-%40)	-0.493	0.437	0.581	0.599	0.591	0.030
	İnce yer (-%50)	-0.409	0.384	0.520	0.539	0.510	0.016
	Kalın yer (+%35)	-0.458	0.362	0.525	0.559	0.596	-0.025
	Kalın yer (+%50)	-0.426	0.358	0.511	0.542	0.548	-0.036
	Neps (+%200)	-0.456	0.385	0.532	0.558	0.565	-0.012
	Ne	-0.711	0.779	0.757	0.690	0.539	0.416
	Tüylülük (H)	0.436	-0.584	-0.428	-0.340	-0.117	-0.522
	sh	0.229	-0.406	-0.207	-0.110	0.112	-0.460
	T/m	-0.588	0.657	0.604	0.542	0.395	0.467
Kumaş	Gramaj (g/m^2)	0.850	-0.845	-0.839	-0.782	-0.675	-0.445
	Örtme faktörü (K)	0.789	-0.809	-0.755	-0.690	-0.565	-0.556
	Kinematik sürtünme katsayısı (μ_{kin})	-0.507	0.506	0.577	0.588	0.524	0.302
$\alpha=0.01$ önem derecesi için korelasyon katsayıları önemlidir. BD: boncuklanma derecesi, TB: toplam boncuk sayısı, ATB: ağırlıklı toplam boncuk sayısı, BA: boncuk alanı (cm^2), BY: ortalama boncuk yüksekliği (mm), HY: hav yüksekliği (mm)							

Çizelge 8.9 incelendiğinde, kumaş boncuklanma özellikleri ile lif özellikleri arasında istatistiksel olarak çok önemli bir ilişki tespit edilemediği görülmektedir. Sadece toplam boncuk sayısı ve boncuk

yüksekliği değerleri ile bazı lif özellikleri ve hav yüksekliği ile ölçülen tüm lif özellikleri arasında düşük, ancak istatistiksel olarak önemli bir korelasyon vardır.

İplik özellikleri ile kumaş boncuklanma özellikleri arasındaki ilişkinin daha fazla olduğu ve tüylülük ve tüylülük varyasyonunun boncuk yüksekliği ile olan ilişkisi dışında diğer tüm korelasyon katsayılarının istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. İplik özellikleri ile en düşük korelasyon kumaşların hav yüksekliği değerleri ile elde edilmiştir. İplik özellikleri arasında tüm kumaş boncuklanma özellikleri açısından en yüksek korelasyon iplik numarası ile bulunmuştur. İplik numarası arttıkça, yani iplik kalınlaştıkça, kumaşların boncuklanma derecesi azalmakta, oluşan boncukların sayısı, ortalama boncuk alanı ve boncuk yüksekliği artmaktadır. İplik numarasından sonra en yüksek korelasyon iplik büküm sayısı ile elde edilmiştir.

Boncuklanma özellikleri ile en yüksek korelasyon kumaş özelliklerinden gramaj ve örtme faktörü arasındadır. Kumaş gramajı ve örtme faktörü değişkenlerinin, tüm boncuklanma özellikleri ile korelasyonu aynı yönde olup, ilişkinin gücü yüksek ve $\alpha=0.01$ güven derecesi için istatistiksel olarak önemlidir. Bu iki kumaş özelliği arasındaki korelasyon yüksek olduğu için boncuklanma özelliklerinin tahminlenmesinde kumaş yapısal özelliğini daha iyi temsil etmesi nedeniyle kumaş örtme faktörü değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Boncuklanma derecesine bağlı olarak kumaş yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen değişim Frictorq cihazı ile ölçülen kinematik sürtünme katsayısı ile ölçülmüştür. Kumaş boncuklanma özellikleri ile boncuklanmış kumaşın kinematik sürtünme katsayısı arasındaki ilişki incelendiğinde istatistiksel olarak önemli bir

korelasyon katsayısı belirlenmiştir. Boncuklanma derecesi ile negatif bir korelasyon varken, diğer boncuklanma özellikleri ile pozitif yönlü doğrusal bir ilişki vardır. Dolayısıyla yüzeyde oluşan boncukların sayısı ve büyüklüklerinde artış ile yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. En zayıf ilişki kumaş yüzeyindeki hav yüksekliği ile sürtünme katsayısı arasındadır. Bu durum, ölçüm sisteminde yer alan kontak sensörlerinin yüzey alanının geniş olması nedeniyle kumaş yüzeyindeki havları tam olarak algılamamasından kaynaklanabilir.

8.2. Kumaş Boncuklanma Özelliğinin Regresyon Yöntemi İle Tahminlenmesi

Kumaş boncuklanma özelliğinin tahminlenmesi amacıyla gerçekleştirilen regresyon analizlerinde, PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sisteminde ölçülen boncuklanma derecesi, toplam boncuk sayısı, ağırlıklı toplam boncuk sayısı, ortalama boncuk alanı (cm^2), ortalama boncuk yüksekliği (mm), ortalama hav yüksekliği (mm) özelliklerinin her biri bağımlı değişken olarak değerlendirilerek, her bir bağımlı değişken için ayrı regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Regresyon denklemlerinde bağımsız değişken olarak, lif özelliklerinden AFIS PRO 2 cihazında ölçülen ağırlık esaslı uzunluk değerleri (L_w , UQL_w), kısa elyaf oranı (SFC_w), incelik (mtex), olgunluk oranı ve olgun olmayan lif miktarı değerleri alınmıştır. İplik özelliklerinden iplik düzgünsüzlüğü ($\%CV_m$), ince yer ($-\%40$), kalın yer ($+\%35$), neps ($+\%200$), tüylülük (H), tüylülük varyasyonu (sh) olmak üzere USTER TESTER 5 cihazında ölçülen iplik özellikleri yanında, iplik numarası (Ne) ve metredeki büküm sayısı (T/m) değerleri regresyon analizine dahil edilmiştir. AFIS L&M modülünden ölçülen L_n , SFC_n değerleri ağırlık esaslı değerler olan L_w , SFC_w değerleri ile yüksek korelasyon gösterdiğinden modellere dahil edilmemiştir. Kumaş özelliklerinden gramaj ve kumaş örtme faktörü arasındaki korelasyonun yüksek olması nedeniyle oluşturulan regresyon denklemlerinde sadece kumaş örtme faktörü değerleri kullanılmıştır.

Tüm bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler ile ilişkisi doğrusal olduğu için herhangi bir dönüşüm yapılmadan bağımsız değişkenler regresyon analizlerinde kullanılmıştır. Ayrıca birbiri ile korelasyonu yüksek

olan bağımsız değişkenlerden, bağımlı değişken ile yüksek korelasyona sahip olan bağımsız değişkenler regreyon analizinde kullanılmıştır.

Regresyon analizlerinde seçilen bağımsız değişkenler ile oluşturulabilecek olası denklemler çizelgeler halinde verilmektedir. En uygun denklem seçildikten sonra, tüm bağımsız değişkenlerin denkleme yer almasıyla oluşan modele ait varyans analizi, bağımsız değişkenlerin katsayı analizi sonuçları sunulmaktadır. Ayrıca modelin geçerliğinin test edilmesi amacıyla hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler verilmektedir.

8.2.1. Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi

Çizelge 8.10'da, kumaş boncuklanma derecesinin tahminlenmesinde oluşturulabilecek modeller verilmektedir. Ayrıca regresyon analizine dahil edilen lif, iplik ve kumaş özelliklerinin farklı kombinasyonları ile oluşturulabilecek regresyon denklemlerine ait R^2 , R^2_{adj} , hata kareler ortalaması (MSE) ve C-p değerleri de verilmektedir. Minitab istatistik programında gerçekleştirilen en iyi regresyon modelini bulma yönteminde sırasıyla modele giren bağımsız değişken sayısı arttırılmaktadır. Tabloda, regresyon denkleminde her bir bağımsız değişken sayısı için oluşturulabilecek modellerden en iyi tahminleme gücü olan iki model yer almaktadır.

Oluşturulan regresyon modelleri arasından en iyi modelin belirlenmesinde hesaplanan R^2 , R^2_{adj} , hata kareler ortalaması ve C-p değerleri dikkate alınmaktadır. En iyi denklem seçilirken R^2 , R^2_{adj} değerlerinin yüksek ve hata kareler ortalaması değerinin olabildiğince küçük olmasına dikkat edilmektedir. C-p değeri, $C-p=(SSE_p/MSE_m)-(n-2p)$

Çizelge 8.10 incelendiğinde en düşük C-p değerine sahip denklemin dört bağımsız değişkenden oluşan bir model olduğu görülmektedir. Kumaş örtme faktörü, iplik numarası, iplik büküm sayısı ve kısa elyaf oranı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan denklem aşağıda verilmektedir.

$$\text{Boncuklanma derecesi} = - 2,35 - 0,0624 \times \text{Kısa elyaf oranı (SFC}_w) - 0,0186 \times \text{İplik numarası}(Ne) + 0,00174 \times \text{İplik büküm sayısı (T/m)} + 3,07 \times \text{Kumaş örtme faktörü (K)}$$

Regresyon belirleme katsayısının $R^2=\%72.7$ ve düzeltilmiş belirleme katsayısının $R^2_{\text{adj}}=\%72.1$ olduğu denkleme ait varyans analizi Çizelge 8.11’de verilmektedir. $\alpha=0.05$ önem seviyesinde modelin önemli olduğu görülmektedir. Belirleme katsayısı ile düzeltilmiş belirleme katsayısı arasındaki farklılığın çok fazla olmaması nedeniyle modeli oluşturmak için kullanılan gözlem sayısının yeterli olduğu söylenebilir.

Çizelge 8. 11: Boncuklanma derecesinin regresyon denklemine ait varyans analizi

	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	Önemlilik
Regresyon	4	49,860	12,465	120,33	0,000
Artık (hata)	181	18,750	0,104		
Toplam	185	68,610			

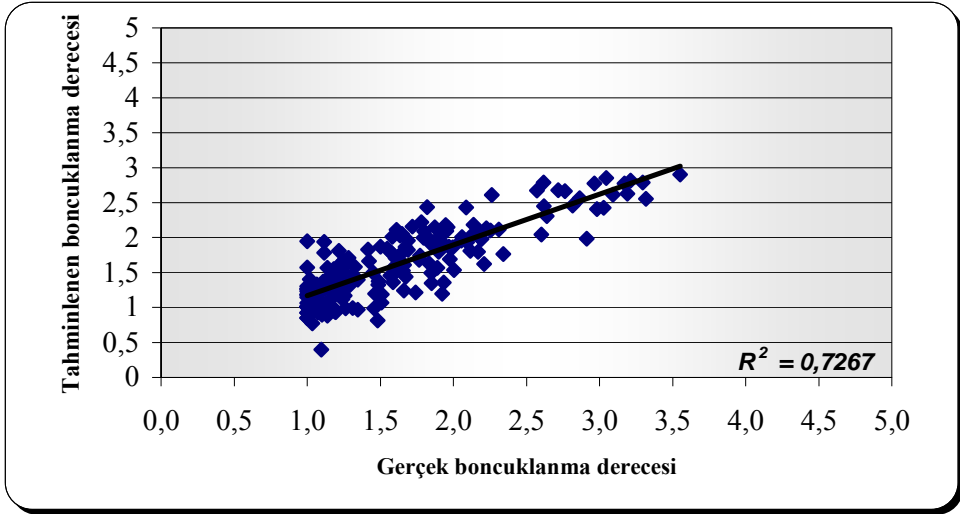
Çizelge 8.12’de boncuklanma derecesinin tahminlenmesi için oluşturulan denklemde yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri ve önem dereceleri verilmektedir.

Çizelge 8.12: Boncuklanma derecesinin regresyon denkleminde yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri

Bağımsız değişken	Katsayı	t	Önemlilik
Sabit	-2,35170	-4,59	0.000
Örtme faktörü (x_1)	3,0737	11,63	0.000
İplik numarası (x_2)	-0,01861	-3,15	0.002
İplik büküm sayısı (x_3)	0,001744	4,91	0.000
Kısa elyaf oranı (x_4)	-0,06239	-6,29	0.000

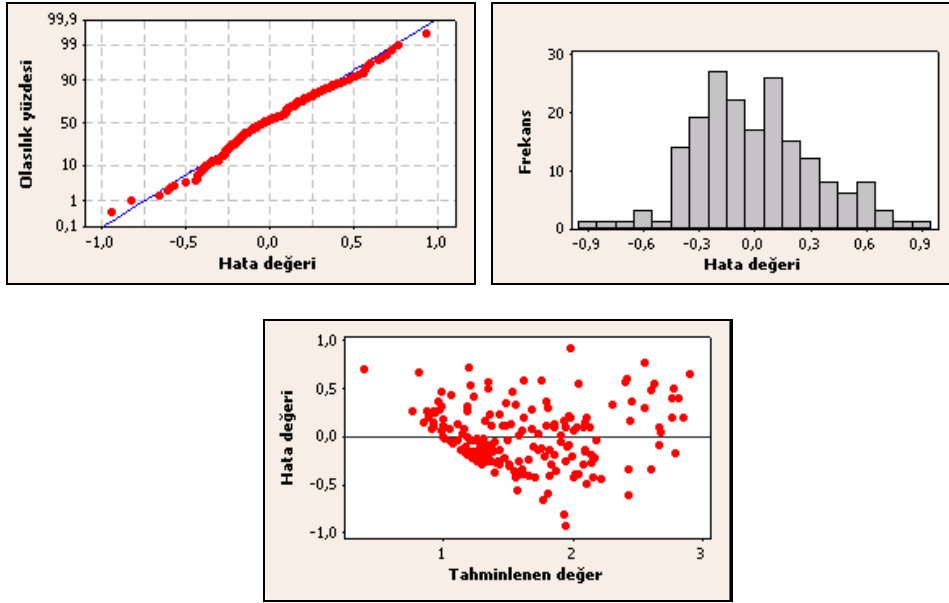
Çizelge 8.12 incelendiğinde, regresyon denkleminde yer alan tüm bağımsız değişkenlerin önemli olduğu görülmektedir. Boncuklanma derecesi ile regresyon denkleminde yer alan tüm bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Denkleminde yer alan katsayılar incelendiğinde kumaş örtme faktörünün artması, ipliğin incilmesi, iplik büküm sayısının artması ve kısa elyaf oranının azalmasıyla boncuklanma derecesinin arttığı, dolayısıyla kumaş boncuklanma eğiliminin azaldığı görülmektedir.

Şekil 8.1'de, oluşturulan regresyon modeli kullanılarak interlok kumaşların tahminlenen boncuklanma derecesi ile gerçek değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik verilmektedir. Gerçek ve tahmin değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.7267 olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. 1: Boncuklanma derecesine ait tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki ilişki

Regresyon modelinin geçerliliğinin test edilmesinde kullanılan bir başka ölçüt ise hata terimi olarak ifade edilen bağımlı değişkenin tahminlenen değerleri ile gerçek değerleri arasındaki fark değerlerinin dağılımının incelenmesidir. Normal olasılık grafikleri çizildiğinde noktalar bir doğru üzerinde olmalıdır. Aynı şekilde hata değerlerinin normal dağılış gösterip göstermediği histogram yardımıyla belirlenebilmektedir. Hata değerleri ile tahminlenen değerlerin de olabildiğince ortalama hata değeri olan 0 değerine göre simetrik bir dağılım göstermesi gerekmektedir. Şekil 8.2`de hata değerlerinin dağılımına ait grafikler yer almaktadır. Hata değerlerinin dağılımının normal dağılışa yakın olması nedeniyle oluşturulan modelin uygun bir model olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 8. 2: Boncuklanma derecesinin tahminlenmesinde hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler

8.2.2. Toplam boncuk sayısının tahminlenmesi

PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sisteminde incelenen ölçüm alanı içerisinde oluşan boncukların sayısını tahminlemek amacıyla oluşturulabilecek regresyon denklemlerine ait R^2 , R^2_{adj} , hata kareler ortalaması (MSE) ve C-p değerleri Çizelge 8.13`de verilmektedir. Toplam boncuk sayısı ile ortalama lif uzunluğu, kısa elyaf oranı, lif inceliği, lif olgunluğu, olgun olmayan lif yüzdesi, iplik numarası, iplik tüylülüğü, iplik büküm sayısı ve kumaş örtme faktörü değerleri arasında çizilen serpm diyagramları sonucunda değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir, dolayısıyla herhangi bir dönüşüm yapılmadan, değişkenler analizlerde yer almıştır.

Çizelge 8. 13: Toplam boncuk sayısının tahminlenmesi için oluşturulabilecek bazı regresyon modelleri

Bağımsız değişken sayısı	R ²	Düz. R ²	C-p	MSE	L(w)	SFC(w)	İncelik (mtex)	Olgunluk (M)	IFC (%)	Ne	Tüylülük (H)	T/m	Örtme faktörü
1	65,6	65,3	93,8	18721									X
1	60,7	60,5	131,6	19,962						X			
2	68,5	68,2	71,4	17,921						X			X
2	66,6	66,2	86,8	18,461					X				X
3	70,5	70,9	57,5	17,394						X		X	X
3	69,2	68,7	68,0	17,775	X					X			X
4	71,5	70,9	51,7	17,149						X	X	X	X
4	71,4	70,8	52,4	17,176	X					X		X	X
5	73,3	72,5	39,5	16,652		X	X	X	X				X
5	72,9	72,1	42,6	16,771	X	X				X		X	X
6	75,0	74,1	28,0	16,164		X	X	X	X				X
6	74,9	74,0	28,7	16,191	X	X				X	X	X	X
7	77,3	76,4	11,6	15,442		X	X	X	X	X		X	X
7	76,0	75,1	21,8	15,871	X	X	X	X	X	X			X
8	77,9	76,9	8,3	15,259	X	X	X	X	X	X		X	X
8	77,6	76,6	11,0	15,376		X	X	X	X	X	X	X	X
9	78,0	76,8	10,0	15,290	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Çizelge 8.13 incelendiğinde en düşük C-p değerine sahip denklemin sekiz bağımsız değişkenden oluşan bir model olduğu görülmektedir. Kumaş yüzeyinde oluşan toplam boncuk sayısı değerleri ile lif özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları diğer boncuklanma özelliklerine göre daha yüksek olduğundan regresyon denkleminde beş farklı lif özelliği bağımsız değişken olarak denkleme bulunmaktadır. Ağırlıkça ortalama lif uzunluğu, ağırlıkça kısa elyaf yüzdesi, lif inceliği, lif olgunluğu, olgun olmayan lif yüzdesi değerleri yanında iplik özelliklerinden iplik numarası ve iplik büküm sayısı

ve kumaş özelliklerinden kumaş örtme faktörü değerlerinin bağımsız değişken olarak yer aldığı denklem aşağıda verilmektedir.

$$\text{Toplam boncuk sayısı} = -2829 - 4,68 \times \text{ortalama lif uzunluğu } (L_w) + 20,2 \times \text{kısa lif yüzdesi } (SFC_w) + 3,95 \times \text{lif inceliği } (mtex) + 2368 \times \text{olgunluk oranı } (M) + 11,4 \times \text{olgun olmayan lif yüzdesi } (IFC\%) + 1,49 \times \text{iplik numarası } (Ne) - 0,0687 \times \text{iplik büküm sayısı } (T/m) - 122 \times \text{kumaş örtme faktörü } (K)$$

Regresyon belirleme katsayısının $R^2 = \%77.9$ ve düzeltilmiş belirleme katsayısının $R^2_{adj} = \%76.9$ olduğu denkleme ait varyans analizi Çizelge 8.14'de verilmektedir. $\alpha = 0.05$ önem seviyesinde modelin önemli olduğu görülmektedir.

Çizelge 8. 14: Toplam boncuk sayısı regresyon denkleminde ait varyans analizi

	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	Önemlilik
Regresyon	8	145578	18197	78,15	0,000
Artık (hata)	177	41214	233		
Toplam	185	186792			

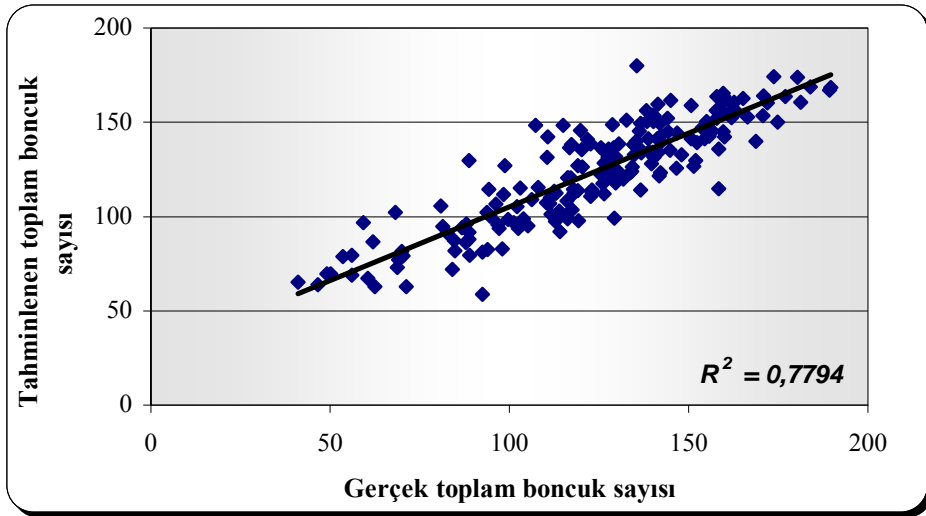
Çizelge 8.15'de boncuklanma derecesinin tahminlenmesi için oluşturulan denklemde yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri ve önem dereceleri verilmektedir.

Çizelge 8.15: Toplam boncuk sayısının regresyon denkleminde yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri

Bağımsız değişken	Katsayı	t	Önemlilik
Sabit	-2828,9	-5,94	0,000
Örtme faktörü (x_1)	-121,83	-9,53	0,000
İplik numarası (x_2)	1,4950	5,14	0,000
İplik büküm sayısı (x_3)	-0,06871	-3,94	0,000
Ortalama lif uzunluğu (x_4)	-4,681	-2,30	0,023
Kısa elyaf oranı (x_5)	20,200	6,59	0,000
Lif inceliği (x_6)	3,9530	5,80	0,000
Olgunluk oranı (x_7)	2368,2	5,84	0,000
Olgun olmayan lif yüzdesi (x_8)	11,356	5,64	0,000

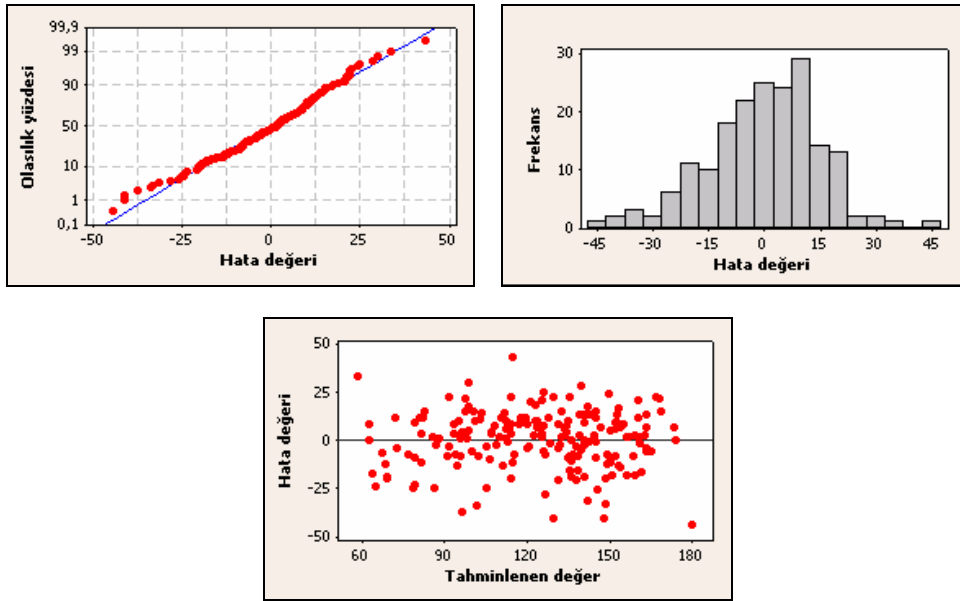
Çizelge 8.15 incelendiğinde, toplam boncuk sayısının tahminlenmesi için belirlenen regresyon denkleminde yer alan tüm bağımsız değişkenlere ait katsayıların istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir. Örtme faktörü arttıkça, yani kumaş sıkılaştıkça, iplik büküm sayısı arttıkça ve ortalama lif uzunluğu arttıkça kumaş yüzeyinde oluşan toplam boncuk sayısı azalmaktadır. İplik numarası arttıkça, yani iplik inceldikçe, kısa lif oranı arttıkça, lif kalınlaştıkça, olgunluk oranı ve olgun olmayan lif miktarı arttıkça oluşan toplam boncuk sayısı artmaktadır.

Şekil 8.3`de, oluşturulan regresyon modeli kullanılarak interlok kumaşlarda oluşan toplam boncuk sayısının tahminlenen ve gerçek değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik verilmektedir. Gerçek ve tahmin değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.7794 olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. 3: Toplam boncuk sayısına ait tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki ilişki

Modelin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki hata değerlerinin dağılımına ait çizilen grafikler Şekil 8.4'de verilmektedir. Normal olasılık grafiklerinin yaklaşık doğrunun üzerinde olması ve hata değerlerine ait histogramın yaklaşık normal dağılış göstermesi nedeniyle modelin uygun bir regresyon denklemi olduğu söylenebilir.



Şekil 8. 4: Toplam boncuk sayısının tahminlenmesinde hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler

8.2.3. Ağırlıklı boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesi

Kumaş boncuklanma özelliğinin subjektif olarak değerlendirilmesinde, genellikle kumaş yüzeyinde oluşan boncukların sayısının yanında büyüklüğü de göz önünde bulundurulsa da genellikle değerlendirmenin boncuk sayısına göre yapıldığı bilinmektedir. 1 ile 5 arasında değişen değerlendirme skalasında görsel olarak az sayıda boncuk içeren ancak

boncuk büyüklüğü fazla olan kumaşlar ile çok sayıda ancak küçük boncuklar içeren kumaşlar aynı boncuklanma derecesi ile ifade edilebilmektedir. PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sisteminde ise ölçülen toplam boncuk sayısı yanında, boncukların büyüklükleri dikkate alınarak hesaplanan ağırlık boncuk sayısı değerleri arasındaki fark, kumaş yüzeyinde oluşan boncukların yapısı hakkında daha iyi fikir vermektedir. Fark değeri arttıkça oluşan boncukların büyük olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle toplam ve ağırlık boncuk sayıları arasındaki fark değerinin, lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla tahminlemesi yapılmıştır.

Çizelge 8.16`da ağırlıklı boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesi için oluşturulabilecek modeller ve modellere ait R^2 , R^2_{adj} , hata kareler ortalaması (MSE) ve C-p değerleri verilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, oluşturulabilecek denklemler arasından en uygun denklemin seçilmesi için belirleme katsayısı, düzeltilmiş belirleme katsayısı, C-p değeri ve hata kareler ortalaması değerleri göz önünde bulundurulmaktadır. Buna göre $R^2=0.643$, $R^2_{adj}=0.631$, C-p değeri 3,4 ve hata kareler ortalaması değeri 18.141 olan, 6 bağımsız değişkenden oluşan model seçilmiştir. Ancak oluşturulan modelde bağımsız değişkenlere ait katsayıların önem dereceleri incelendiğinde regresyon denkleminde yer alan kısa elyaf oranının (SFC_w) katsayısının önemsiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle kısa elyaf oranının yer almadığı, en düşük ikinci C-p değerine sahip, 5 bağımsız değişkenden oluşan denklem en uygun model olarak seçilmiştir.

Çizelge 8. 16: Ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesi için oluşturulabilecek bazı regresyon modelleri

Bağımsız değişken sayısı	R ²	Düz. R ²	C-p	MSE	L(w)	L(w) %CV	SFC(w)	İncelik (mtex)	IFC (%)	CV _m	Ne	Tüylülük (H)	sH	T/m	Örtme faktörü
1	43	42,7	97,8	22,597						X					
1	37,8	37,5	123,3	23,608							X				
2	56,4	55,9	34	19,816						X					X
2	55,8	55,3	36,8	19,949									X		X
3	60,3	59,6	16,9	18,963						X		X			X
3	59,9	59,2	19	19,066						X				X	X
4	62	61,1	10,7	18,613	X	X							X		X
4	61,7	60,9	12	18,678	X	X						X			X
5	63,7	62,7	4,0	18,226	X	X					X	X			X
5	63,7	62,6	4,4	18,247	X		X				X	X			X
6	64,3	63,1	3,4	18,141	X	X			X		X	X			X
6	64,1	62,9	4,4	18,195	X	X	X				X	X			X
7	64,3	62,9	5,2	18,18	X	X			X		X	X	X		X
7	64,3	62,9	5,2	18,184	X	X			X	X	X	X			X
8	64,5	62,8	6,5	18,196	X	X			X	X	X	X	X		X
8	64,4	62,8	6,9	18,216	X	X	X		X		X	X	X		X
9	64,5	62,7	8,1	18,225	X	X			X	X	X	X	X	X	X
9	64,5	62,6	8,4	18,245	X	X	X		X		X	X	X	X	X
10	64,5	62,5	10	18,276	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
10	64,5	62,5	10	18,276	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
11	64,6	62,3	12	18,326	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Bağımlı değişkenin, ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki fark ve bağımsız değişkenlerin, ortalama lif uzunluğu, lif uzunluk varyasyon katsayısı, iplik numarası, iplik tüylülüğü ve kumaş örtme faktörü değerlerinin oluşturduğu regresyon denklemi aşağıda verilmektedir.

Ağırlıklı boncuk sayısı-Toplam boncuk sayısı = - 261 + 4,75xortalama lif uzunluğu (L_w) + 6,13x lif uzunluk varyasyonu ($L_w\%CV$) + 0,942 x iplik numarası (N_e) + 10,8 x iplik tüylülüğü (H)- 116 x kumaş örtme faktörü(K)

Regresyon belirleme katsayısının $R^2=0,637$ ve düzeltilmiş belirleme katsayısının $R^2_{adj}=0,627$ olduğu denkleme ait varyans analizi tablosu Çizelge 8.17’de verilmektedir.

Çizelge 8. 17: Ağırlık ve toplam boncuk sayıları arasındaki farkın tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemin varyans analizi

	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	Önemlilik
Regresyon	5	105082	21016	63,27	0,000
Artık (hata)	180	59791	332		
Toplam	185	164873			

Çizelge 8.17 incelendiğinde, $\alpha=0,05$ önem seviyesinde modelin önemli olduğu görülmektedir. Belirleme katsayısı ile düzeltilmiş belirleme katsayısı arasındaki farklılığın çok fazla olmaması nedeniyle modeli oluşturmak için kullanılan gözlem sayısının yeterli olduğu söylenebilir.

Çizelge 8.18’de denklemi oluşturan bağımsız değişkenlere ait katsayılar ve önem dereceleri verilmektedir.

Çizelge 8.18: Ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki farkın tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denkleme yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri

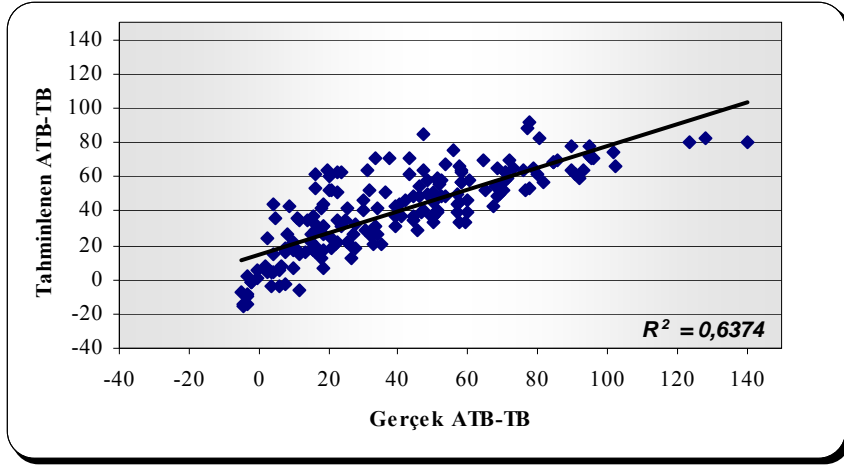
Bağımsız değişken	Katsayı	t	Önemlilik
Sabit	-260,57	-4,50	0,000
Lif ortalama uzunluğu ($L(w)$) (x_1)	4,749	3,33	0,001
Uzunluk varyasyon katsayısı ($L_w\%CV$) (x_2)	6,1307	7,40	0,000
İplik numarası (N_e) (x_3)	0,9422	3,18	0,002
İplik tüylülüğü (H) (x_4)	10,807	5,05	0,000
Kumaş örtme faktörü (x_5)	-115,73	-7,45	0,000

Denkleimde yer alan tüm değişkenlerin katsayılarının önemli olduğu belirlenmiştir. Çalışmada yer alan pamuk lifleri ortalama uzunluk açısından aynı kategoride yer almaktadır. Dolayısıyla lif uzunluğunun boncuk oluşumu üzerindeki etkisi çok belirgin değildir. Ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki fark için oluşturulan regresyon denkleminde ise liflerin ortalama uzunluk değeri ve aynı zaman lif uzunluk varyasyonu arttıkça kumaş yüzeyinde oluşan boncukların büyüklüklerinin arttığđ belirlenmiştir. Bu durum boncuk oluşum aşamaları göz önünde bulundurularak açıklanabilir. Uzun liflerin bir kez kumaş yüzeyine çıkmasıyla birlikte liflerin birbiriyle birleşerek boncuk oluşturması daha kolay olmakta ve oluşan boncukların büyüklüğü de fazla olmaktadır. İplik inceldikçe ve iplik tüylülüğü arttıkça da toplam ve ağırlıklı boncuk sayıları ve aynı zamanda iki değer arasındaki fark artmaktadır. Kumaş örtme faktörü artıkça, yani kumaş sıkılaştıkça toplam ve ağırlıklı boncuk sayılarının ve iki değer arasındaki farkın azaldığđ belirlenmiştir. Bu durumda kumaş yüzeyinde oluşan boncukların büyüklüklerinin daha homojen ve küçük boyutlarda olduğu sonucuna varılabilmektedir.

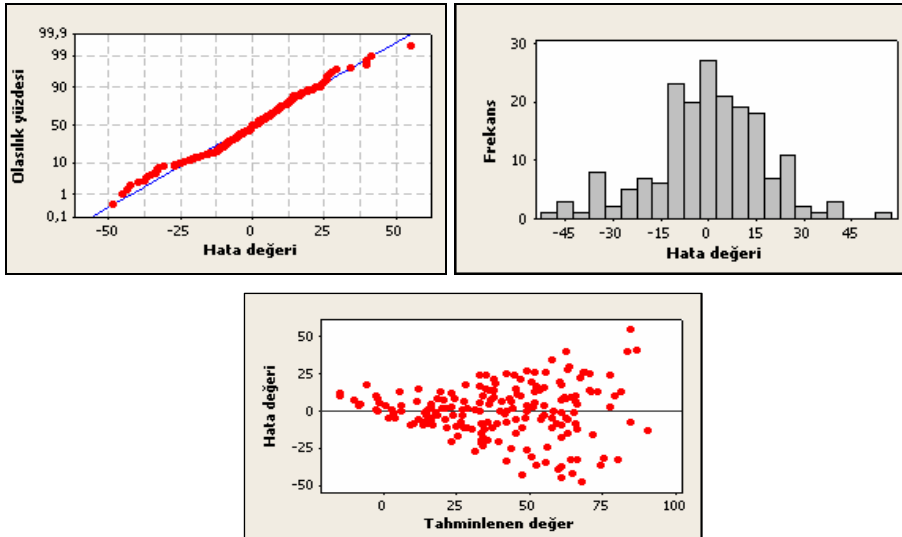
Şekil 8.5`de interlok kumaşların tahminlenen ve gerçek, ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki fark değerlerine ait ilişkiyi gösteren grafik verilmektedir. Gerçek ve tahmin değerleri arasındaki regresyon katsayısı 0.6374 olarak belirlenmiştir.

Modelin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki hata değerlerinin dağılımı incelenmiştir. Şekil 8.6`da hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler verilmektedir. Normal olasılık grafiklerinin yaklaşık doğrunun üzerinde olması ve hata değerlerine ait

histogramın yaklaşık normal dağılış göstermesi nedeniyle modelin uygun bir regresyon denklemi olduğu söylenebilir.



Şekil 8. 5: Ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki farka ait tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki ilişki



Şekil 8. 6: Ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki farkın tahminlenmesinde hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler

Çizelge 8.19 incelendiğinde, en düşük C-p ve hata kareler ortalaması değerine ve en yüksek belirleme katsayısına sahip, kısa elyaf oranı, iplik neps sayısı, iplik numarası, iplik büküm sayısı ve kumaş örtme faktörü olmak üzere 5 bağımsız değişkenden oluşan model en iyi tahminleyici model olarak seçilmiştir. Ancak oluşturulan modelde yer alan bağımsız değişkenlerin katsayıları incelendiğinde iplik neps sayısına ait katsayının istatistiksel olarak önemli olmaması nedeniyle iplik neps sayısı çıkarılarak oluşturulan ikinci en küçük C-p ve hata kareler ortalaması değerine sahip, 4 bağımsız değişkenden oluşan model en iyi model olarak seçilmiştir. Kumaş yüzeyinde oluşan boncukların ortalama alanının tahminlenmesi için oluşturulan model aşağıda verilmektedir.

$$\text{Boncuk alanı (cm}^2\text{)} = 4,63 + 0,0825 \times \text{kısa elyaf oranı (SFC}_w\text{)} + 0,0250 \times \text{iplik numarası (Ne)} - 0,00168 \times \text{iplik büküm sayısı (T/m)} - 2,63 \times \text{kumaş örtme faktörü (K)}$$

Regresyon belirleme katsayısının $R^2 = \%66.6$ ve düzeltilmiş belirleme katsayısının $R^2_{\text{adj}} = \%65.8$ olduğu denkleme ait varyans analizi tablosu Çizelge 8.20`de verilmektedir.

Çizelge 8.20: Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemin varyans analizi

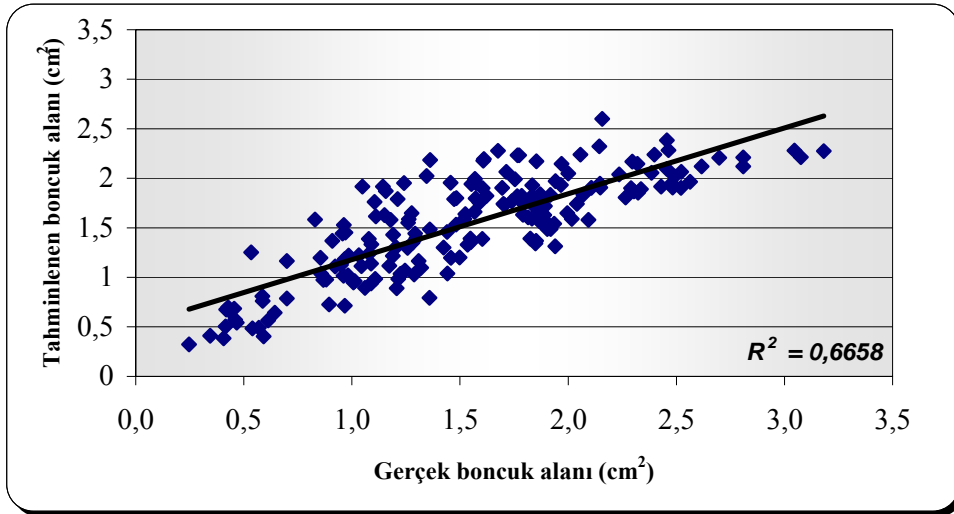
	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	Önemlilik
Regresyon	5	46,041	9,208	89,17	0,000
Artık (hata)	180	23,107	0,123		
Toplam	185	69,147			

Çizelge 8.21`de denkleme oluşturulan bağımsız değişkenlere ait katsayılar ve önem dereceleri verilmektedir. Denkleme yer alan tüm değişkenlerin katsayılarının önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 8.21: Boncuk alanı tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemden yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri

Bağımsız değişken	Katsayı	t	Önemlilik
Sabit	4,6325	7,72	0,000
Kısa elyaf oranı (SFCw) (x_1)	0,08254	7,44	0,000
İplik numarası (Ne) (x_2)	0,025004	3,62	0,000
İplik büküm sayısı (T/m) (x_3)	-0,00168	-4,25	0,000
Kumaş örtme faktörü (x_4)	-2,6261	-8,45	0,000

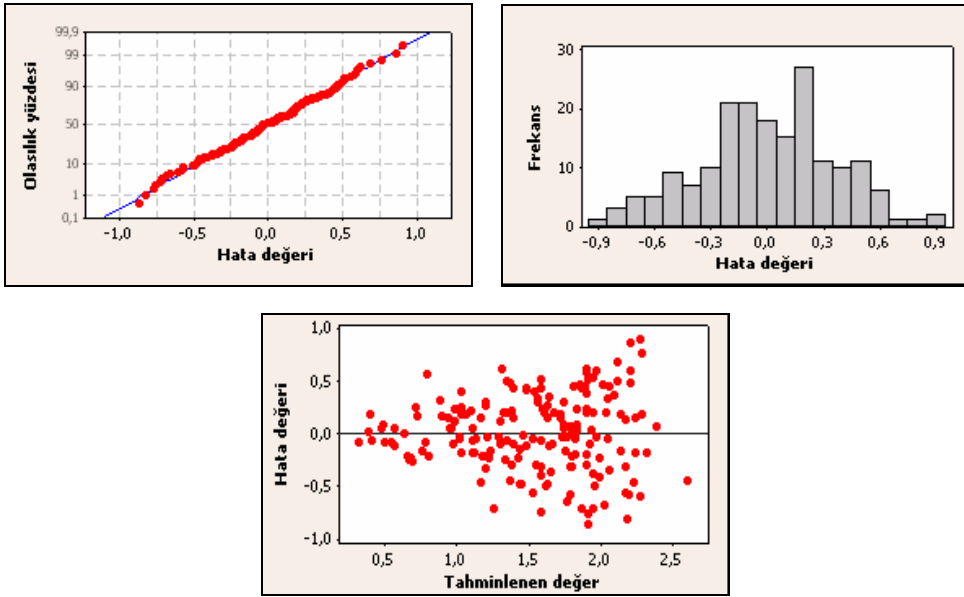
Şekil 8.7'de interlok kumaşların ortalama boncuk alanının tahminlenmesi amacıyla oluşturulan regresyon modeli kullanılarak tahminlenen ortalama boncuk alanı değerleri ile gerçek boncuk alanı değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik verilmektedir. Gerçek ve tahmin değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.6658 olarak belirlenmiştir



Şekil 8. 7: Boncuk alanına ait tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki ilişki

Modelin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki hata değerlerinin dağılımı incelenmiştir. Şekil 8.8'da hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler verilmektedir. Normal olasılık

grafiklerinin yaklaşık doğrunun üzerinde olması ve hata değerlerine ait histogramın yaklaşık normal dağılış göstermesi nedeniyle modelin uygun bir regresyon denklemi olduğu söylenebilir.



Şekil 8. 8: Ortalama boncuk alanının tahminlenmesinde hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler

8.2.5. Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi

PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sisteminde ölçülen bir başka özellik değerlendirmenin yapıldığı alandaki boncukların ortalama büyüklüğüdür. Kumaş yüzeyindeki bir boncuk, hav tabakasının daha üzerinde yer aldığından çok daha belirgin olacağından, PillGrade sisteminde her bir boncuğun büyüklüğünü ölçmek için kumaş yüksekliğe göre dengelenen boncuk çapı değeri kullanılmaktadır. Kumaş havlanma derecesi arttığında, kumaş yüzeyindeki boncuklar havlar tarafından gizlenmekte, bu durumda boncukların saptanması için gerekli eşik değeri hav yüksekliğine

Çizelge 8.22 incelendiğinde, en iyi tahminleme gücü olan modelin 5 bağımsız değişkenden oluşan C-p değeri 4.3 olan model olduğu görülmektedir. Ancak modelde yer alan bağımsız değişkenlerle regresyon denklemi oluşturulduğunda, olgun olmayan lif yüzdesi (%IFC) değerine ait katsayısının istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle sırasıyla en küçük C-p, MSE değerlerine ve en yüksek belirleme katsayısına sahip modellerle denklem oluşturulmuştur. Ancak oluşturulan modellerde bağımsız değişkenlerden istatistiksel olarak önemsiz katsayılara sahip olan değişkenler belirlendiği için ortalama lif uzunluğu, kısa elyaf oranı, iplik tüylülüğü ve kumaş örtme faktörü olmak üzere 4 bağımsız değişkenden oluşan, C-p değeri 5.1 olan model en uygun model olarak belirlenmiştir. Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi için oluşturulan model aşağıda verilmektedir.

$$\text{Ortalama boncuk yüksekliği(mm)} = 1,16 + 0,0214 x \text{ ortalama lif uzunluğu } (L_w) + 0,0344 x \text{ kısa elyaf oranı } (SFC_w) + 0,0648 x \text{ iplik tüylülüğü } (H) - 0,832x \text{ kumaş örtme faktörü } (K)$$

Regresyon belirleme katsayısının $R^2=\%68.9$ ve düzeltilmiş belirleme katsayısının $R^2_{adj}=\%68.2$ olduğu denkleme ait varyans analizi tablosu Çizelge 8.23’de verilmektedir.

Çizelge 8.23: Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemin varyans analizi

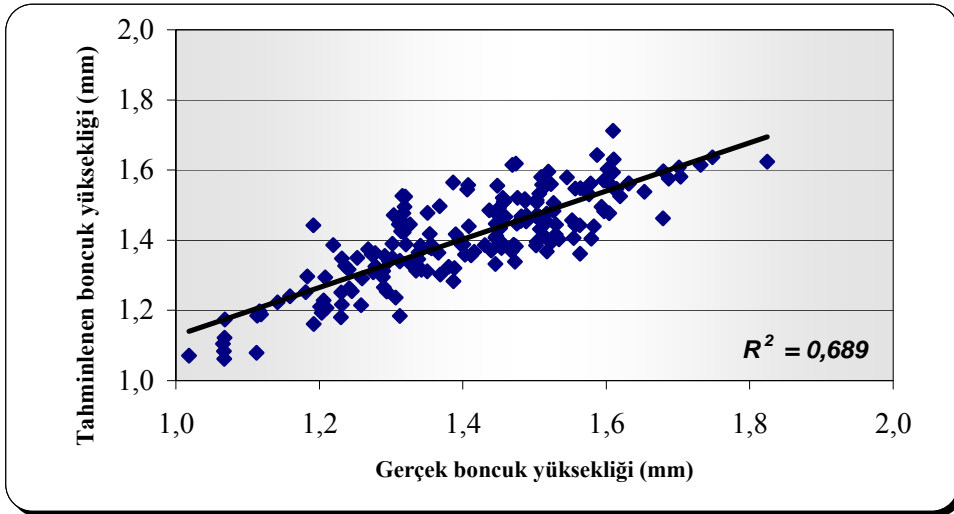
	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	Önemlilik
Regresyon	4	3,10598	0,77650	100,25	0,000
Artık (hata)	181	1,40191	0,00775		
Toplam	185	4,50789			

Çizelge 8.24'de denklemi oluşturan bağımsız değişkenlere ait katsayılar ve önem dereceleri verilmektedir. Denklemde yer alan ortalama lif uzunluğu, kısa elyaf oranı, iplik tüylülüğü ve kumaş örtme faktörü değişkenlerinin katsayılarının önemli olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.24: Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemde yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri

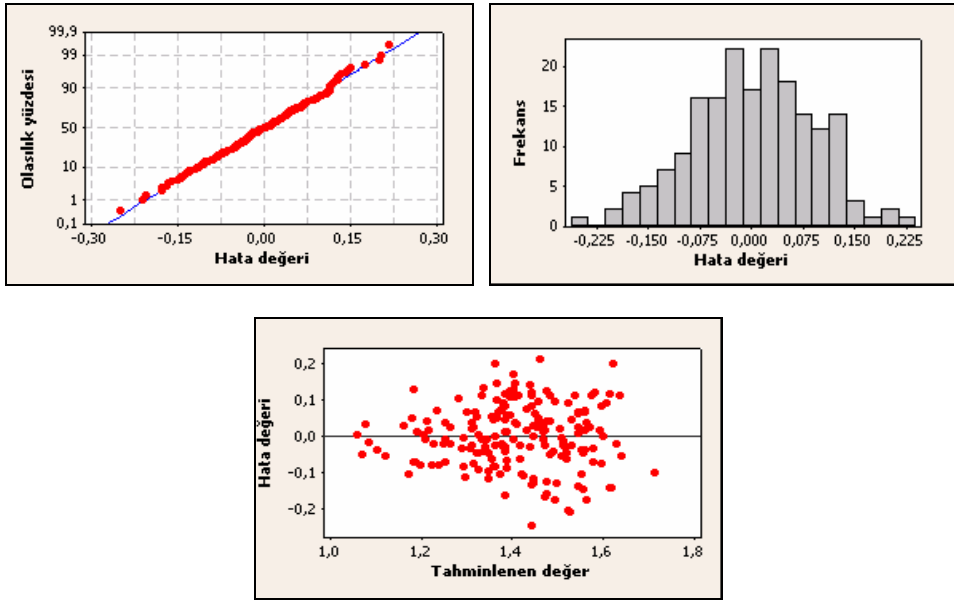
Bağımsız değişken	Katsayı	t	Önemlilik
Sabit	1,1630	5,77	0,000
Ortalama lif uzunluğu (Lw) (x_1)	0,021444	3,03	0,003
Kısa elyaf oranı (SFCw) (x_2)	0,034441	9,01	0,000
İplik tüylülüğü (H) (x_3)	0,06477	6,22	0,000
Kumaş örtme faktörü (x_4)	-0,83221	-16,19	0,000

Şekil 8.9'de interlok kumaşların ortalama boncuk alanının tahminlenmesi amacıyla oluşturulan regresyon modeli kullanılarak tahminlenen ortalama boncuk alanı değerleri ile gerçek boncuk alanı değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik verilmektedir. Gerçek ve tahmin değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.6890 olarak belirlenmiştir



Şekil 8. 9: Boncuk yüksekliğine ait tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki ilişki

Modelin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki hata değerlerinin dağılımı incelenmiştir. Şekil 8.10`da hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler verilmektedir. Normal olasılık grafiklerinin yaklaşık doğrunun üzerinde olması ve hata değerlerine ait histogramın yaklaşık normal dağılış göstermesi nedeniyle modelin uygun bir regresyon denklemi olduğu söylenebilir.



Şekil 8. 10: Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesinde hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler

8.2.6. Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi

PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sisteminde kumaş hav tabakasının yoğun olan kısmının yüksekliği yoğun hav tabakasının dışındaki tek lif çıkıntıları ihmal edilerek hesaplanmaktadır. Kumaş boncuklanması sırasında meydana gelen aşamalar göz önünde bulundurulduğunda, boncuk oluşumu için öncelikle kumaş yüzeyinde hav oluşumunun meydana gelmesi gerektiği bilinmektedir. Özellikle pamuklu kumaşlarda havlanma çok

Hav yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulabilecek denklemler incelendiğinde, en iyi tahminleme gücü olan modelin ortalama uzunluk varyasyonu (L_w %CV), lif olgunluk oranı (M), iplik tüylülüğü (H), iplik tüylülük varyasyonu (sh), iplik numarası (Ne) ve kumaş örtme faktörü (K) değerlerinden oluşan, C-p değeri 4.2 olan model olduğu görülmektedir. Ancak oluşturulan regresyon denkleminde lif uzunluk varyasyonuna ait katsayının önem derecesi istatistiksel olarak önemsiz bulunduğundan, denklem diğer bağımsız değişkenlerle oluşturulmuştur. Bu denklemin de C-p değeri 4.2 olup, ortalama lif varyasyonunun denklemden çıkarılması belirleme katsayısının çok az düşmesine ve hata kareler ortalaması değerinin çok az yükselmesine neden olmuştur. 5 bağımsız değişkenden oluşan regresyon denklemi aşağıda verilmektedir.

$$\text{Hav yüksekliği (mm)} = - 5,45 + 7,61 \times \text{olgunluk oranı (M)} - 0,217 \times \text{iplik tüylülüğü(H)} + 1,33 \times \text{iplik tüylülük varyasyonu (sh)} - 0,00565 \times \text{iplik numarası (Ne)} - 0,535 \times \text{kumaş örtme faktörü(K)}$$

Hav yüksekliğinin tahminlenmesi için oluşturulan regresyon denkleminin belirleme katsayısı $R^2 = \%51.8$ ve düzeltilmiş belirleme katsayısı $R^2_{\text{adj}} = \%50.5$ olup, denkleme ait varyans analizi tablosu Çizelge 8.26'de verilmektedir. Oluşturulan regresyon denkleminin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 8.26: Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemin varyans analizi

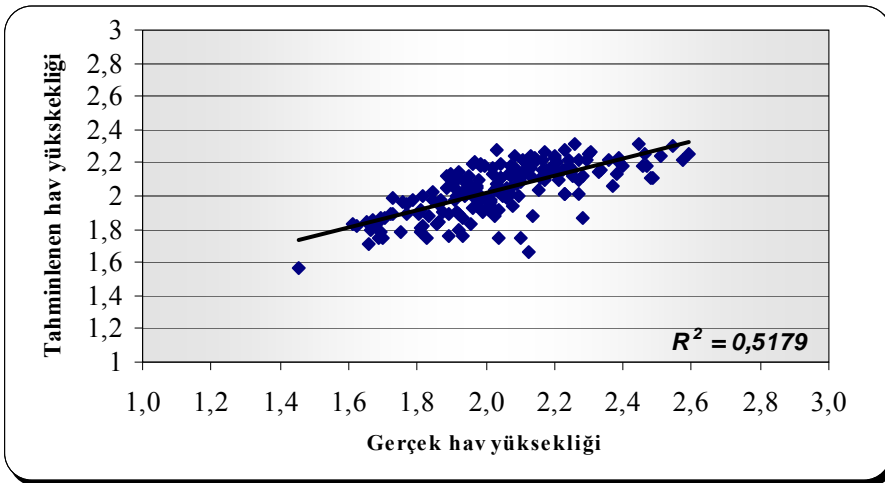
	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	Önemlilik
Regresyon	5	4,36374	0,87275	38,67	0,000
Artık (hata)	180	4,06221	0,02257		
Toplam	185	8,42594			

Çizelge 8.27'de denklemi oluşturan bağımsız değişkenlere ait katsayılar ve önem dereceleri verilmektedir. Denklemde yer alan olgunluk oranı, iplik tüylülüğü, iplik tüylülük varyasyonu ve kumaş örtme faktörü değişkenlerinin katsayılarının önemli olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.27: Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan denklemde yer alan bağımsız değişkenlere ait t değerleri

Bağımsız değişken	Katsayı	t	Önemlilik
Sabit	-5,453	-4,92	0,000
Olgunluk oranı (M) (x_1)	7,6100	7,96	0,003
İplik tüylülüğü (H) (x_2)	-0,21745	-5,38	0,000
İplik tüylülük varyasyonu (sH) (x_3)	1,3305	5,92	0,000
İplik numarası (Ne) (x_4)	-0,005654	-2,26	0,025
Kumaş örtme faktörü (x_5)	-0,5346	-4,27	0,000

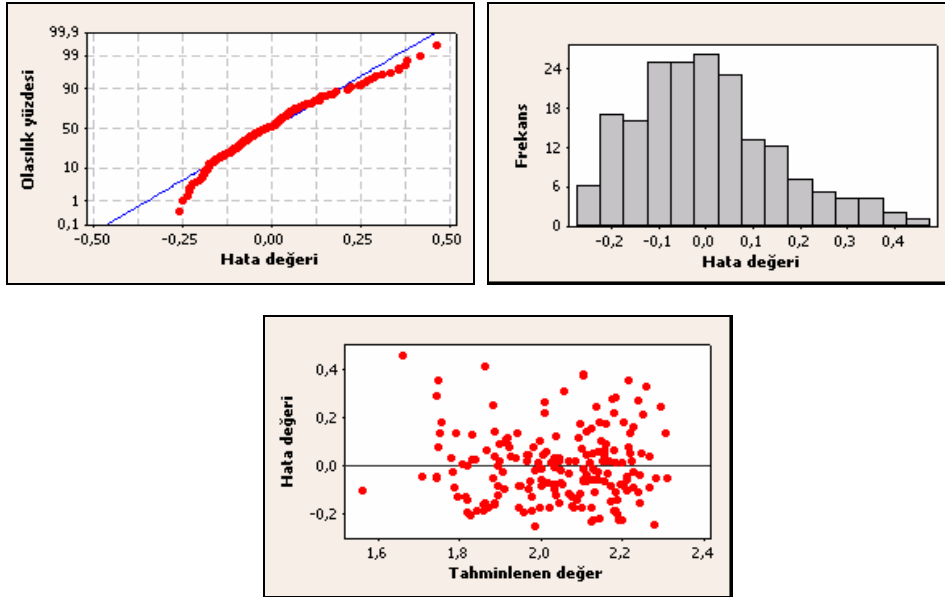
Şekil 8.11'de interlok kumaşların ortalama boncuk alanının tahminlenmesi amacıyla oluşturulan regresyon modeli kullanılarak tahminlenen ortalama hav yüksekliği ile kumaşların gerçek hav yükseklik değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik verilmektedir. Gerçek ve tahmin değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.5179 olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. 11: Hav yüksekliğine ait tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki ilişki

İnterlok kumaşların hav yüksekliklerinin tahminlenmesi için oluşturulan regresyon denklemi, diğer kumaş boncuklanma özelliklerinin tahminlenmesi için geliştirilen modellere göre daha düşük belirleme katsayısına sahiptir. Bu durum kumaş boncuklanma mekanizması göz önünde bulundurularak açıklanabilir. Kumaş yüzeyinde boncuk oluşumu dinamik bir süreç olup, bir yandan kumaş yüzeyinde havlanma oluşmakta bir yandan da oluşan havlar bir araya gelerek boncuk oluşturmakta ve oluşan boncukların büyümesi hatta dökülmesi aşamaları gerçekleşmektedir. Martindale cihazında gerçekleştirilen boncuklanma testinde 2000 tur sonunda oluşan kumaş havlanma derecesinin tahminlenmesi için oluşturulan model, oluşan bir kısım havın boncuk oluşturmaları nedeniyle düşük tahminleme özelliğindedir. Ancak yine de belirlenen modelin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki hata değerlerinin dağılımı incelenmiştir.

Şekil 8.12'de hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler verilmektedir. Modelin tahminleme gücünün düşük olması nedeniyle hata dağılımına ait normal olasılık grafiklerinin doğrudan sapma gösterdiği görülmektedir. Ancak hata değerlerine ait histogramın yaklaşık normal dağılım göstermesi nedeniyle modelin uygun bir regresyon denklemi olduğu söylenebilir.



Şekil 8. 12: Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesinde hata değerlerinin dağılımına ilişkin grafikler

8.3. Kumaş Boncuklanma Özelliğinin Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Tahminlenmesi

Bu bölümde çalışma kapsamında üretilen interlok örgü kumaşların PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi yardımıyla ölçülen boncuklanma özelliklerinin lif, iplik ve kumaş özellikleri aracılığıyla tahminlenmesi amacıyla, yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Yapay sinir ağları yöntemi ile tahminleme, özellikle bağımlı değişken üzerine çok sayıda faktörün etkisinin olduğu fakat bu faktörler ve çıktıları arasında kesin bir ilişkinin belirlenemediği durumlarda kullanılmaktadır. Özellikle kumaş boncuklanmasını etkileyen faktörlerin birbiriyle etkileşimlerinin olması nedeniyle bu yöntemin kullanılmasına karar verilmiştir.

Yapay sinir ağları yöntemi ile tahminleme, Statistica istatistik paket programının “Neural Networks” analiz seçeneği ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizde “Intelligent Program Solver” modülü kullanılarak, en iyi tahminleme gücüne sahip ağ belirlenmiştir. Sinir ağları yönteminde, bağımsız değişkenlere ait veri setinin yanında bağımlı değişkene ait verilerinin değerlendirilmesi nedeniyle danışmanlı ve geri yayımlı öğrenme yöntemi kullanılmıştır. Boncuklanma özelliklerinin tahminlenmesi için ağ üzerinde bilgi akışının sürekli ileri doğru olduğu ileri sürümlü modeller oluşturulmuştur. Öğrenme aşamasının ardından oluşturulan ağın ne derece gerçeği yansıttığını anlamak amacıyla ise test adımı gerçekleştirilmiştir. Buradaki amaç, veri setinin bir bölümünü ile öğrenme sürecinin gerçekleştirilerek ağın oluşturulması ve geriye kalan veri seti ile ağın doğruluğunun ve güvenilirliğinin tespit edilmesidir.

Genel olarak yapay sinir ağıları ile PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi ile elde edilen kumaş boncuklanma özelliklerinin tahminlenmesinde, çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuştur. Bu tip ağ yapısı, genellikle doğrusal olmayan ilişkilerin tahminlenmesinde iyi sonuçlar vermektedir. En iyi korelasyon ve regresyon katsayısına sahip ağın belirlenmesi amacıyla, girdi sayısı, girdi ve gizli katmandaki nöron sayılarının birbirinden farklılık gösterdiği çok fazla sayıda ağ oluşturulmuştur. Ağırlıkların belirlenmesinde kullanılan öğrenme oranı ve momentum katsayıları, yapılan birçok deneme sonucunda optimum olarak 0.01 ve 0.3 olarak seçilmiştir. Girdi ve çıktı katmanlarında transfer (aktivasyon) fonksiyonu olarak doğrusal fonksiyon kullanılırken, ara katmanda hiperbolik fonksiyon kullanılmıştır.

Yapay sinir ağıları yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde, yapılan denemeler sonucunda tahminlenen ve gerçek değerler arasında en yüksek korelasyon ve regresyon değerine sahip, aynı zamanda hata ortalaması sıfıra en yakın, hata standart sapma değeri veri standart sapmasından daha düşük olan ve tahmin değerlerinin standart sapması ile gerçek verilerin standart sapmaları arasındaki oranın 1'in altında ve en düşük olan ağ, her bir boncuklanma özelliği için en iyi tahminleyici model olarak seçilmiştir.

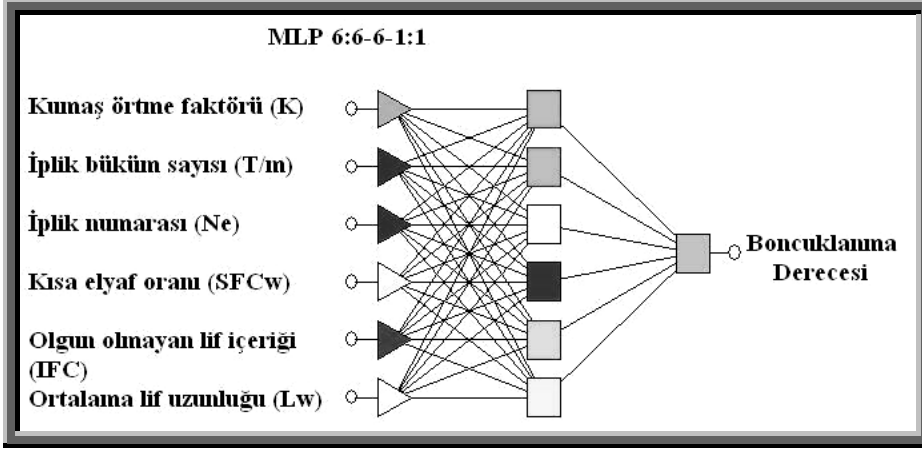
Çalışmada 7 farklı pamuk harmanı, 3 farklı iplik numarası ve 3 farklı büküm katsayısına sahip 63 tip iplikten 3 farklı sıklıkta üretilen 186 tip kumaşa ait boncuklanma özelliği verileri kullanılarak tahminleme yapılmıştır. Her bir boncuklanma özelliğine ait ortalama 186 veri üzerinden gerçekleştirilen analizlerde, rasgele seçilen 140 adet (% 75) veri, öğrenme aşamasında, geriye kalan 46 adet (%25) veri ise test amaçlı kullanılmıştır.

Tahminlemelerde bağımlı değişken olarak boncuklanma derecesi, toplam boncuk sayısı, ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark değeri, ortalama boncuk alanı, ortalama boncuk yüksekliği ve ortalama hav yüksekliği değerleri kullanılmıştır. Bağımsız değişken olarak ise AFIS PRO 2 cihazı ile ölçülen ağırlıkça ortalama uzunluk (L_w), ağırlıkça uzunluk varyasyonu ($L_w\%CV$), ağırlıkça kısa elyaf oranı (SFC_w), lif inceliği (mtex), lif olgunluk oranı değerleri ile iplik özelliklerinden iplik numarası (N_e), metredeki iplik büküm sayısı (T/m), iplik tüylülüğü (H), iplik tüylülük varyasyonu (sh), iplik düzgünsüzlüğü (CV_m) değerleri ve kumaş örtme faktörü kullanılmıştır. AFIS L&M modülünden ölçülen L_n , SFC_n değerleri ağırlık esaslı değerler olan L_w , SFC_w parametreleri ile yüksek korelasyon gösterdiğinden modellere dahil edilmemiştir.

8.3.1. Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi

İnterlok örme kumaşlarda boncuklanma derecesinin tahminlenmesi amacıyla yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizde yapılan denemeler sonucunda tahminlenen ve gerçek değerler arasında en yüksek korelasyon ve regresyon değerine sahip, aynı zamanda hata ortalaması 0'a en yakın, hata standart sapma değeri veri standart sapmasından daha düşük olan ve tahmin değerlerinin standart sapması ile gerçek verilerin standart sapmaları arasındaki oran 1'in altında ve en düşük olan ağ yapısı belirlenmiştir. Seçilen ağ ilk katman girdi katmanı, ikinci katman gizli katman ve üçüncü katman çıktı katmanı olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır. İlk katmandaki nöron sayısı 6 olup, aynı zamanda modelde yer alan bağımsız değişken sayısını ifade etmektedir. Ağın ikinci katmanında 6 nöron ve son katmanı olan çıktı katmanında bir nöron

bulunmaktadır. Elde edilen ağın ifadesi MLP:6:6-6-1:1 şeklindedir. Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi için oluşturulan yapay sinir ağı Şekil 8.13`de verilmektedir.



Şekil 8. 13: Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi için oluşturulan yapay sinir ağı

Basit bir yapay sinir ağında ilk işlem, girdi değerlerin her birinin belirli ağırlık değerleriyle (w_i) çarpılmasıdır. Ağırlıklar girdi sinyalin gücünü belirleyen adaptif katsayılardır, yani girdinin bağlantı gücünün bir ölçüsüdür. Oluşturulan ağda her bir bağımsız değişkenin ağırlıklı çarpım değerleri toplanmakta ve elde edilen sonucun ilgili transfer fonksiyonunda dönüşümü gerçekleştirilmektedir. Ağırlık matrisinde satır ve sütunlarda "a.b" şeklinde ifade edilen rakamlardan ilki katmanı, ikincisi de nöronu ifade etmektedir. Satırlarda yer alan değerler, sütunlarda ifade edilen katmana beslenen girdilere ait ağırlık değerlerini göstermekte, yani sütunlarda yer alan ifadeler, o katmandaki sinir hücresinin çıktısını oluşturmak için kullanılan ağırlık değerlerini ifade etmektedir. Örneğin; ilk sütundaki 1.1-1.6 satırları ile 2.1-2.6 sütunlarındaki değerler, girdi katmanında ki her bir nöronun, yani bağımsız değişkenden gizli katmandaki nöronlara iletilen değerlerin ağırlık değerlerini ifade etmektedir.

Yapay sinir ağırları yöntemi ile tahminleme analizlerinde hassasiyet analizleri yapılabilmektedir. Hassasiyet analizi, ağ elde edildikten sonra ağda yer alan her bir girdinin ağa yaptığı katkıyı ifade etmektedir. Hassasiyet analizinde, hassasiyet oranı ve girdilerin tahminlemeye olan katkısı, girdi ağda olmadığı zaman elde edilen hatanın toplam hataya oranı olarak ifade edilmektedir. Bu durumda, ağda yer alan bağımsız değişkenlerin hassasiyet oranları ne kadar büyükse, ağa yaptıkları katkının o derece çok olduğu anlaşılmaktadır. Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi için oluşturulan modele ait hassasiyet analiz sonuçları Çizelge 8.29'da verilmektedir. Çizelge incelendiğinde, interlok örme kumaşların boncuklanma derecesinin tahminlenmesinde kumaş örtme faktörünün, iplik özelliklerinden iplik numarası ve iplik büküm sayısının etkili olduğu görülmektedir. Lif özelliklerinden sırasıyla kısa elyaf oranı, olgun olmayan lif miktarı ve ağırlıkça ortalama lif uzunluğu değerlerinin kumaş boncuklanma özelliğinin etkilediği görülmektedir. En uygun modellerin seçilmesi sırasında korelasyonu yüksek olan özellikler analizlerde yer alamamış ve diğer iplik ve lif özellikleri ile geliştirilen yeni modellerde hata oranında herhangi bir azalma, korelasyon ve regresyon katsayılarında herhangi bir iyileşme olmadığı için modele dahil edilmemiştir.

Yapay sinir ağırları ile boncuklanma derecesinin tahmin edilmesi için geliştirilen modele katkı sağlayan ilk dört özellik, kumaş örtme faktörü, iplik numarası, iplik büküm sayısı ve kısa elyaf oranı olup, regresyon analizi ile tahminleme sonucunda elde edilen denklemde de yer alan özelliklerdir. Bu durumda her iki yöntemin birbiri ile uyumlu olduğu söylenebilir.

Çizelge 8.29: Boncuklanma derecesinin tahminlenmesinde yer alan girdilere ait hassasiyet analizi

	Kumaş örtme faktörü (K)	İplik numarası (Ne)	İplik büküm sayısı (T/m)	Kısa elyaf oranı SFC(w)	Olgun olmayan lif miktarı (IFC)	Ortalama lif uzunluğu (L _w)
Oran	2,93	2,53	2,48	1,46	1,40	1,36
Sıralama	1	2	3	4	5	6

Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan ağda öğrenme ve test aşamasında kullanılan verilere ait tanımlayıcı istatistikler yanında tüm verilerin birlikte değerlendirilmesi durumunda elde edilen değerler Çizelge 8.30`de verilmektedir.

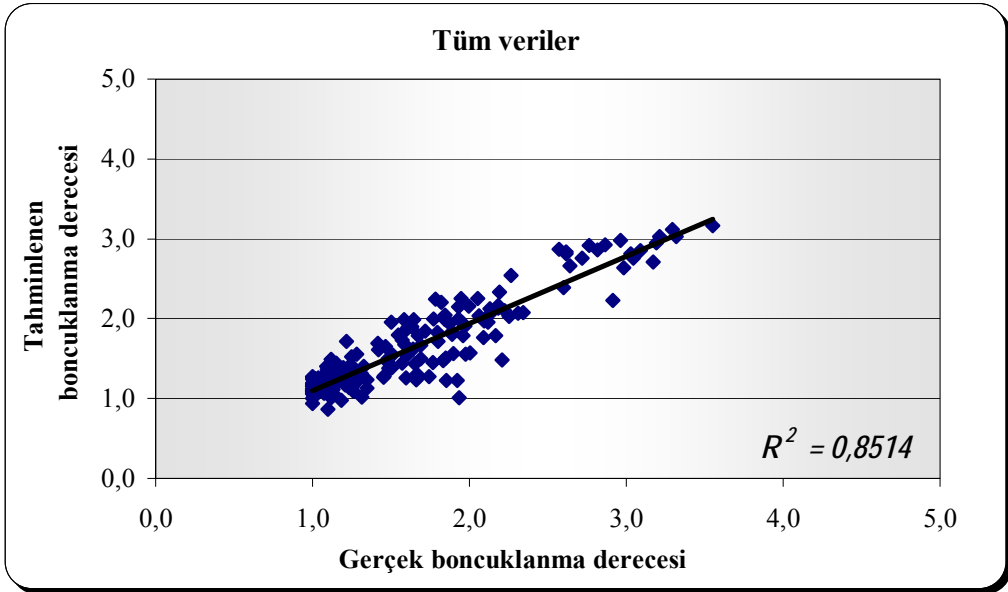
Çizelge 8.30: Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait tanımlayıcı istatistik değerleri

Boncuklanma derecesi	Öğrenme verileri	Test verileri	Tüm veriler
Veri ortalaması (M)	1,60	1,67	1,62
Veri standart sapması (MSD)	0,54	0,60	0,56
Hata ortalaması (ME)	-0,003	-0,019	0,0017
Hata Kareler Ortalaması (MSE)	0,05	0,08	0,05
Hata Kareler Kök Ortalaması (RMSE)	0,22	0,28	0,23
Mutlak Hata Ortalaması (MAE)	0,16	0,24	0,18
Mutlak Hata Yüzde Ortalaması (MAPE)	0,10	0,15	0,11
Standart Sapma Oranı (SD)	0,37	0,42	0,39
Korelasyon katsayısı	0,9296	0,9057	0,9227
Regresyon katsayısı	0,8643	0,8202	0,8514

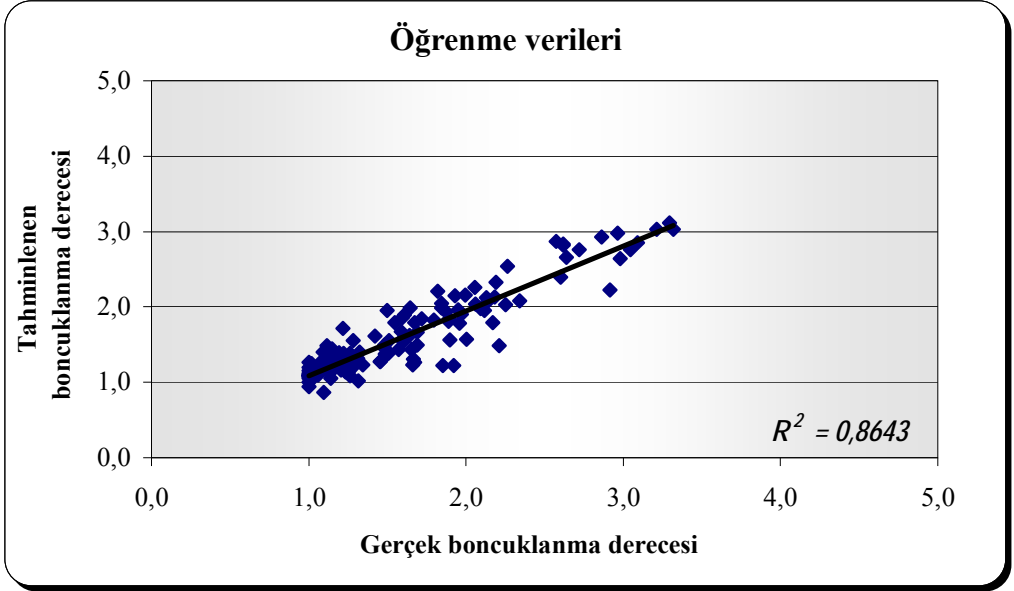
Çizelge 8.30`da verilen, istatistiksel tahminlemeler, tahminleyicinin ne ölçüde başarılı olduğunu belirlemek için hesaplanan bazı istatistiksel değerlerden hata kareler ortalaması, tahminlenen gerçek değerden ne derece sapma olduğunu ifade eden bir tahminleyicidir. Öğrenme, test ve tüm veriler için hata kareler ortalaması değerlerinin düşük olduğu görülmektedir.

Mutlak hata ortalaması, gözlemlenen değerlere yapılan tahminlerin ne kadar yakın olduğunu ifade eden bir belirleyici istatistik değeri olup, değerin sıfıra yaklaşması tahminleme gücünü artırmaktadır. Çizelge 8.30’de verilen bu değerlerin sıfıra yakın olduğu ve korelasyon ve regresyon katsayılarının yüksek olduğu görülmektedir.

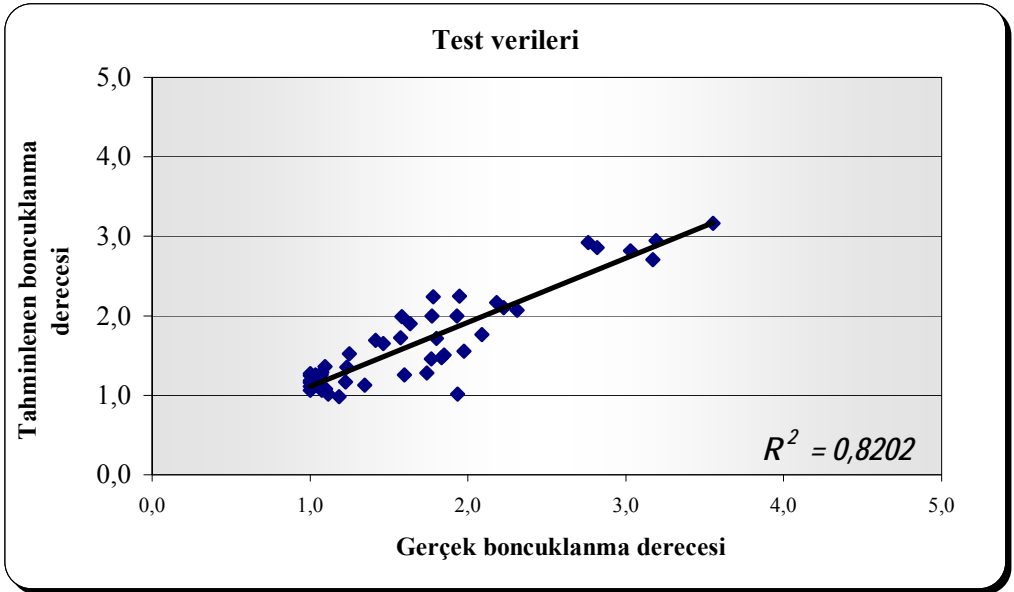
Şekil 8.14, Şekil 8.15 ve Şekil 8.16’de sırasıyla tüm veriler, öğrenme verileri ve test için tahminlenen ve gerçek boncuklanma dereceleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler verilmektedir.



Şekil 8.14: Tüm verilerde tahminlenen ve gerçek boncuklanma derecesi değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8.15: Öğrenme verilerinde tahminlenen ve gerçek boncuklanma derecesi değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8. 16: Test verilerinde tahminlenen ve gerçek boncuklanma derecesi değerleri arasındaki ilişki

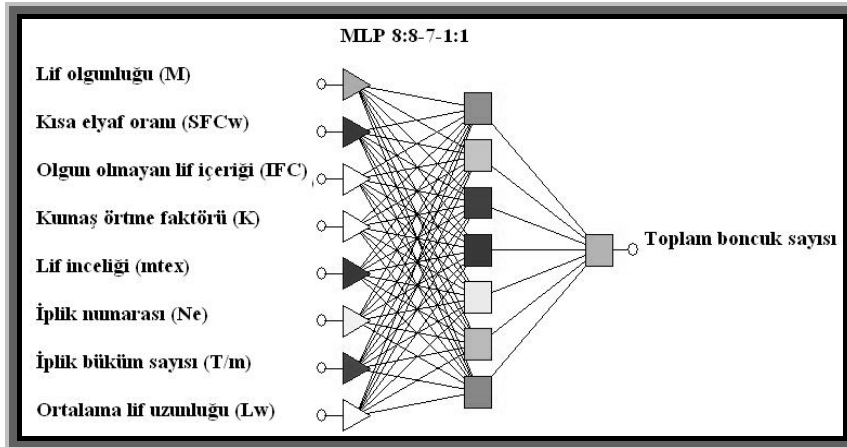
Çalışmada kullanılan tüm interlok kumaşların boncuklanma dereceleri değerleri yardımıyla oluşturulan yapay sinir ağı modeli ile tahminlenen ve gerçek veriler arasındaki regresyon katsayısının %85.14, modelde kullanılan öğrenme veri setinde tahminlenen ve gerçek boncuklanma dereceleri arasındaki regresyon katsayısı %86.43 olarak belirlenmiştir. Öğreticili öğrenme yönteminin kullanıldığı yapay sinir ağı yönteminde oluşturulan modelin rasgele seçilen verilerle denendiği test analizinde belirlenen regresyon katsayısı, öğrenme veri seti ile elde edilen regresyon katsayısına göre daha önemli olup, boncuklanma derecesinin tahminlenmesinde %82.02 olarak belirlenmiştir.

8.3.2. Toplam boncuk sayısının tahminlenmesi

PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sisteminde interlok örme kumaşlarda ölçüm yapılan alan içerisinde oluşan toplam boncuk sayısının, ölçülen lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak tahminlenmesi yapılmıştır. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modelleri kullanılmış olup, girdi ve çıktı katmanlarında transfer fonksiyonu olarak doğrusal fonksiyon kullanılırken, ara katmanda hiperbolik fonksiyon kullanılmıştır. 186 adet ortalama değer üzerinden gerçekleştirilen analizlerde, değerlerin %75'i yani 140 adet ortalama değer öğrenme aşamasında modelin kurulması için, geriye kalan %25'lik 46 değerden oluşan veri grubu ise modelin test edilmesi için kullanılmıştır. Modelde girdi değerleri olarak kullanılan bağımsız değişkenler, lif özelliklerinden ağırlıkça ortalama uzunluk (L_w), ağırlıkça kısa elyaf oranı (SFCw), lif inceliği (mtex), olgunluk oranı, olgun olmayan lif miktarı (IFC) ile iplik özelliklerinden iplik numarası (N_e), metredeki iplik büküm sayısı

(T/m), iplik tüylülüğü (H), iplik tüylülük varyasyonu (sh), iplik düzgünsüzlüğü (CV_m) değerleri ve kumaş örtme faktörüdür.

Pek çok denemenin ardından en uygun ağ seçimi öğrenme ve test verilerine ait istatistiksel değerler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Buna göre seçilen ağ MLP 8:8-7-1:1 yapısında olup, model 3 katmandan oluşmaktadır. İlk girdi katmanında ağa giren bağımsız değişken sayısı kadar yani 8 adet nöron bulunmaktadır. Gizli katmandaki nöron sayısı 7 ve son çıktı katmanındaki nöron sayısı ise 1'dir. Toplam boncuk sayısının tahminlenmesi için oluşturulan yapay sinir ağı Şekil 8.17'de verilmektedir. Toplam boncuk sayısı için oluşturulan yapay sinir ağı, lif olgunluğu (M), kısa elyaf oranı (%SFC_w), olgun olmayan lif içeriği (%IFC), kumaş örtme faktörü (K), lif inceliği (mtex), iplik numarası (Ne), metredeki iplik büküm sayısı (T/m), ortalama lif uzunluğu (L_w) olmak üzere 8 bağımsız değişken içermektedir.



Şekil 8. 17: Toplam boncuk sayısının tahminlenmesi için oluşturulan yapay sinir ağı

Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi için oluşturulan modele ait hassasiyet analiz sonuçları Çizelge 8.31'de verilmektedir. İnterlok örme

kumaşlarda toplam boncuk sayısının tahminlenmesi için yapay sinir ağları yöntemi ile belirlenen model, regresyon analizi yöntemi ile belirlenen denklemde yer alan aynı bağımsız değişkenleri içermektedir. Bu durumda her iki yöntemin birbiri ile uyumlu olduğu söylenebilir. Ancak lif, iplik ve kumaş özellikleri arasında etkileşim olması nedeniyle yapay sinir ağları yöntemi ile yapılan tahminleme gücü regresyon yöntemine göre daha iyidir.

Çizelge 8.31: Toplam boncuk sayısının tahminlenmesinde yer alan girdilere ait hassasiyet analizi

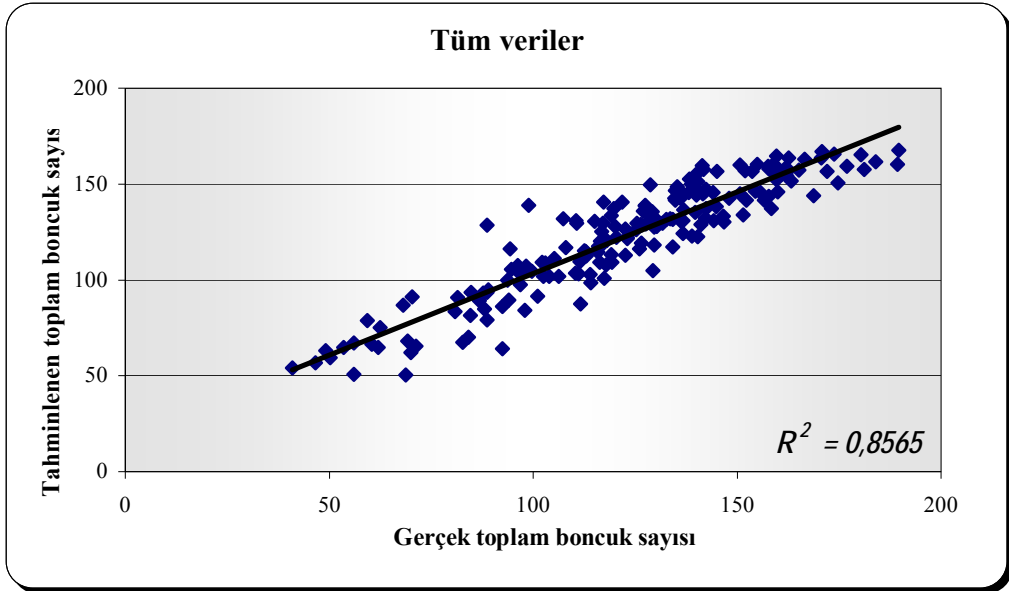
	Lif olgunluğu (M)	Kısa elyaf oranı SFC(w)	Olgun olmayan lif miktarı (IFC)	Kumaş örtme faktörü (K)	Lif inceliği (mtex)	İplik numarası (Ne)	İplik büküm sayısı (T/m)	Ortalama lif uzunluğu (L _w)
Oran	4,53	3,79	2,60	2,53	2,28	1,88	1,86	1,58
Sıralama	1	2	3	4	5	6	7	8

Boncuklanma derecesinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan ağda öğrenme ve test aşamasında kullanılan verilere ait tanımlayıcı istatistikler yanında tüm verilerin birlikte değerlendirilmesi durumunda elde edilen değerler Çizelge 8.32'de verilmektedir

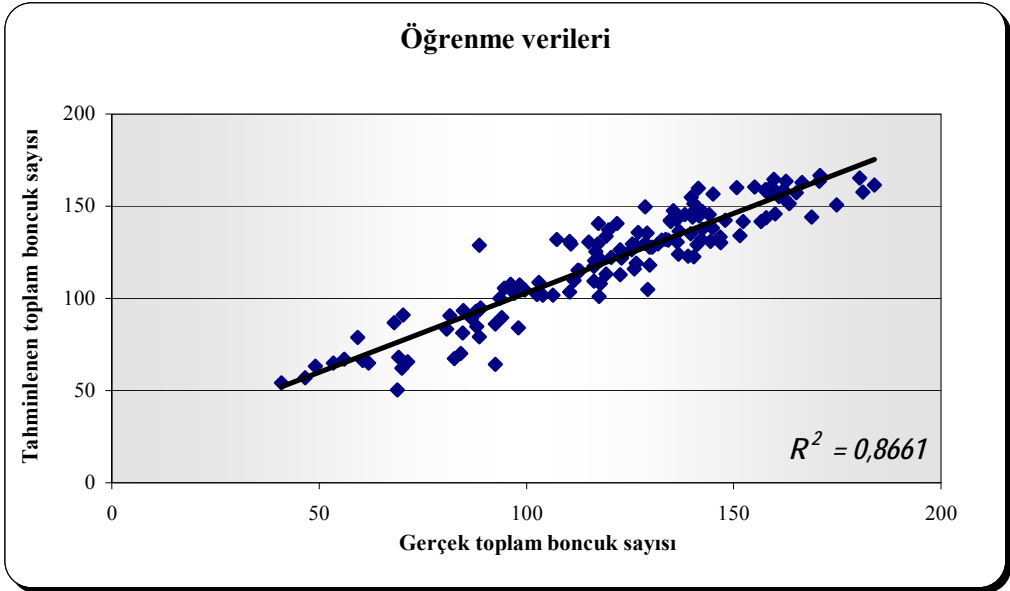
Çizelge 8.32: Toplam boncuk sayısının tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait tanımlayıcı istatistik değerleri

Boncuklanma derecesi	Öğrenme verileri	Test verileri	Tüm veriler
Veri ortalaması (M)	121,72	128,67	123,68
Veri standart sapması (MSD)	29,44	28,02	29,18
Hata ortalaması (ME)	-0,0047	-0,9560	-0,2400
Hata Kareler Ortalaması (MSE)	134,09	175,18	144,25
Hata Kareler Kök Ortalaması (RMSE)	11,58	13,24	12,01
Mutlak Hata Ortalaması (MAE)	9,12	10,61	9,49
Mutlak Hata Yüzde Ortalaması (MAPE)	0,08	0,09	0,08
Standart Sapma Oranı (SD)	0,3659	0,4279	0,3789
Korelasyon katsayısı	0,9307	0,9039	0,9255
Regresyon katsayısı	0,8661	0,8197	0,8565

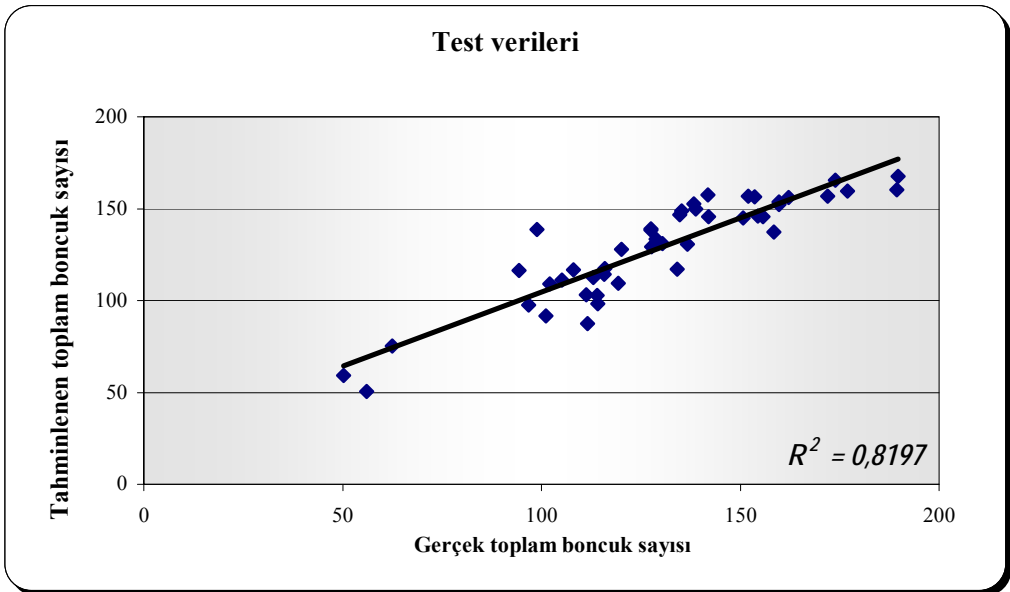
Şekil 8.18, Şekil 8.19 ve Şekil 8.20’de sırasıyla tüm veriler, öğrenme verileri ve test için tahminlenen ve gerçek boncuklanma dereceleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler verilmektedir. Çalışmada kullanılan tüm interlok kumaşlarda oluşan boncukların toplam sayısının tahminlenmesi için oluşturulan yapay sinir ağı modeli ile tahminlenen ve gerçek veriler arasındaki regresyon katsayısının %85.65, modelde kullanılan öğrenme veri setinde tahminlenen ve gerçek boncuklanma dereceleri arasındaki regresyon katsayısı %86.61 olarak belirlenmiştir. Modelin rasgele seçilen verilerle denendiği test analizinde belirlenen regresyon katsayısı öğrenme veri seti ile elde edilen regresyon katsayısına göre daha önemli olup, %81.97 olarak belirlenmiştir.



Şekil 8.18: Tüm verilerde tahminlenen ve gerçek toplam boncuk sayısı değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8.19: Öğrenme verilerinde tahminlenen ve gerçek toplam boncuk sayısı değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8.20: Test verilerinde tahminlenen ve gerçek toplam boncuk sayısı değerleri arasındaki ilişki

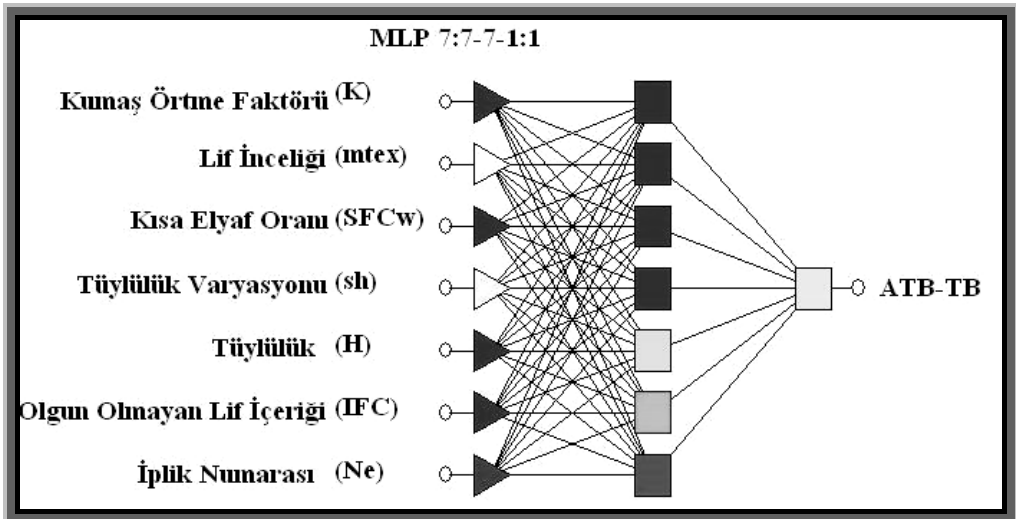
8.3.3. Ağırlıklı boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesi

Kumaş yüzeyinde oluşan boncukların yapısı hakkında fikir elde edebilmek için PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sisteminde ölçülen toplam boncuk sayısı yanında, boncukların büyüklükleri dikkate alınarak hesaplanan ağırlıklı boncuk sayısı değerleri arasındaki fark hesaplanmıştır. Fark değeri arttıkça oluşan kumaş yüzeyinde oluşan boncukların büyüklüğünün fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle toplam ve ağırlık boncuk sayıları arasındaki farkın, lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla yapay sinir ağırları yöntemiyle tahminlenmesi yapılmıştır. Modelde girdi değerleri olarak kullanılan bağımsız değişkenler, lif özelliklerinden ağırlıkça ortalama uzunluk (L_w), ağırlıkça kısa elyaf oranı (SFC_w), lif inceliği ($mtex$), olgunluk oranı, olgun olmayan lif miktarı (IFC) ile iplik özelliklerinden iplik numarası (Ne), metredeki iplik büküm sayısı (T/m), iplik tüylülüğü (H), iplik tüylülük varyasyonu (sh), iplik düzgünsüzlüğü (CV_m) değerleri ve kumaş örtme faktörüdür.

Analizlerde, çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modelleri kullanılmış olup, girdi ve çıktı katmanlarında transfer fonksiyonu olarak doğrusal fonksiyon kullanılırken, ara katmanda hiperbolik fonksiyon kullanılmıştır. 186 adet ortalama değer üzerinden gerçekleştirilen analizlerde, değerlerin %75'i yani 140 adet ortalama değer öğrenme aşamasında modelin kurulması için, geriye kalan %25'lik 46 değerden oluşan veri grubu ise modelin test edilmesi için kullanılmıştır.

Pek çok denemenin ardından en uygun ağ seçimi öğrenme ve test verilerine ait istatistiksel değerler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Buna göre seçilen ağ MLP 7:7-7-1:1 yapısında olup,

model 3 katmandan oluşmaktadır. İlk girdi katmanında ağa giren bağımsız değişken sayısı kadar yani 7 adet nöron bulunmaktadır. Gizli katmandaki nöron sayısı 7 ve son çıktı katmanındaki nöron sayısı ise 1'dir. Ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesi için oluşturulan yapay sinir ağı Şekil 8.21'de verilmektedir. Ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark için oluşturulan yapay sinir ağı, kumaş örtme faktörü (K), lif inceliği (mtex), kısa elyaf oranı (%SFC_w), tüylülük varyasyonu (sh), tüylülük (H), olgun olmayan lif içeriği (%IFC) ve iplik numarası (Ne) olmak üzere 7 bağımsız değişken içermektedir.



Şekil 8.21: Ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark için oluşturulan yapay sinir ağı

Ağa ait her bir katmanda kullanılan eşik değerleri ve bağımsız değişkenlerin ağırlık değerleri Çizelge 8.34'de verilmektedir.

Çizelge 8.34: Ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesi amacıyla oluşturulan ağa ait eşik ve ağırlık değerleri

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	3.1
Eşik	-1,32	-1,24	0,86	-0,42	-0,32	0,89	0,22	0,59
1.1 Kumaş örtme faktörü	-0,64	0,17	0,76	0,92	0,57	0,97	0,22	
1.2 Lif inceliği	-2,11	-1,64	-0,35	-1,00	-1,21	0,01	0,89	
1.3 Kısa elyaf oranı	0,63	0,78	0,95	-0,48	-0,25	-0,58	0,03	
1.4 Tüylülük varyasyonu	-0,09	-0,32	0,41	0,91	-0,04	1,54	-1,02	
1.5 Tüylülük	-0,30	1,11	0,65	-0,20	-0,53	0,08	1,01	
1.6 Olgun olmayan lif içeriği	0,03	-0,02	2,18	0,43	-0,58	0,39	-1,08	
1.7 İplik numarası	2,83	0,47	0,08	1,96	0,73	-2,08	1,43	
2.1								-1,85
2.2								2,11
2.3								-0,86
2.4								1,48
2.5								-0,26
2.6								-0,96
2.7								-1,18

En uygun modelin seçilmesini ardından, modelde yer alan girdilerin önem dereceleri hassasiyet analizi ile incelenmiştir. Çizelge 8.35’de hassasiyet analiz sonuçları yer almaktadır. Ağda yer alan bağımsız değişkenlerin hassasiyet oranları ne kadar büyükse, ağa yaptıkları katkının o derece çok olduğu anlaşılmaktadır. Hassasiyet analizine göre, kumaş yüzeyinde oluşan boncukların yapısal özellikleri hakkında fikir veren ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark değerine en fazla etkileyen özelliğin kumaş örtme faktörü olduğu görülmektedir. Lif inceliği, kısa elyaf oranı ve iplik tüylülük varyasyonu değerlerinin oranları birbirine yakın olup iplik tüylülüğü, olgun olmayan lif miktarı ve iplik numarası şeklinde bir sıralama belirlenmiştir.

Çizelge 8.35: Ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesinde yer alan girdilere ait hassasiyet analizi

	Kumaş örtme faktörü (K)	Lif İnceliği (mtex)	Kısa elyaf oranı (SFC _w)	İplik tüylülük varyasyonu (sh)	İplik tüylülüğü (H)	Olgun olmayan lif miktarı (IFC)	İplik Numarası (Ne)
Oran	4,03	2,52	2,40	2,32	1,84	1,56	1,39
Sıralama	1	2	3	4	5	6	7

Oluşturulan ağ modeline ait öğrenme, test ve tüm tahminleme değerlerine ait tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 8.36’da verilmektedir.

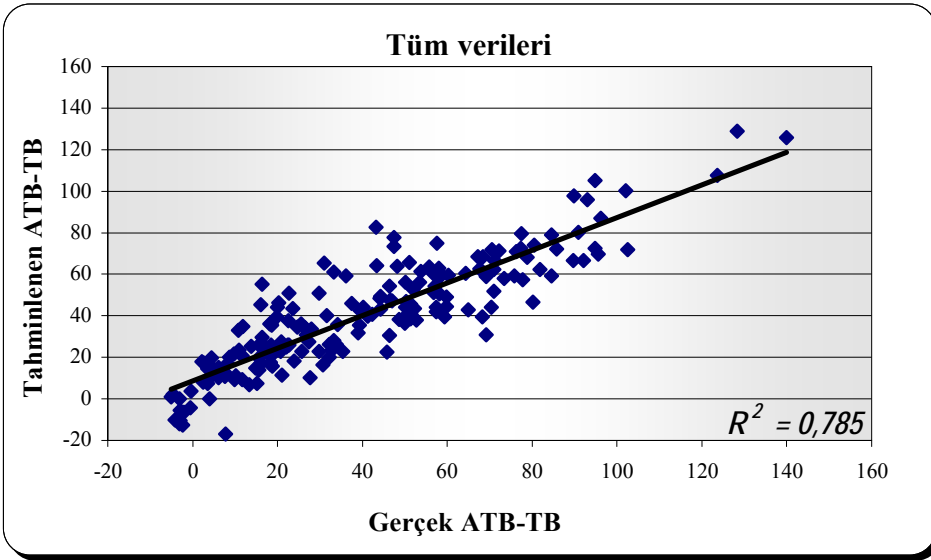
Çizelge 8.36: Ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki farkın tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait tanımlayıcı istatistik değerleri

ATB-TB	Öğrenme verileri	Test verileri	Tüm veriler
Veri ortalaması (M)	39,310	42,676	40,143
Veri standart sapması (MSD)	30,03	28,83	29,77
Hata ortalaması (ME)	0,185	-0,245	0,078
Hata Kareler Ortalaması (MSE)	179,78	223,63	190,63
Hata Kareler Kök Ortalaması (RMSE)	13,41	14,95	13,81
Mutlak Hata Ortalaması (MAE)	10,53	11,05	10,66
Mutlak Hata Yüzde Ortalaması (MAPE)	0,33	0,16	0,29
Standart Sapma Oranı (SD)	0,44645	0,51866	0,46373
Korelasyon katsayısı	0,89485	0,85584	0,88598
Regresyon katsayısı	0,8080	0,7325	0,7850

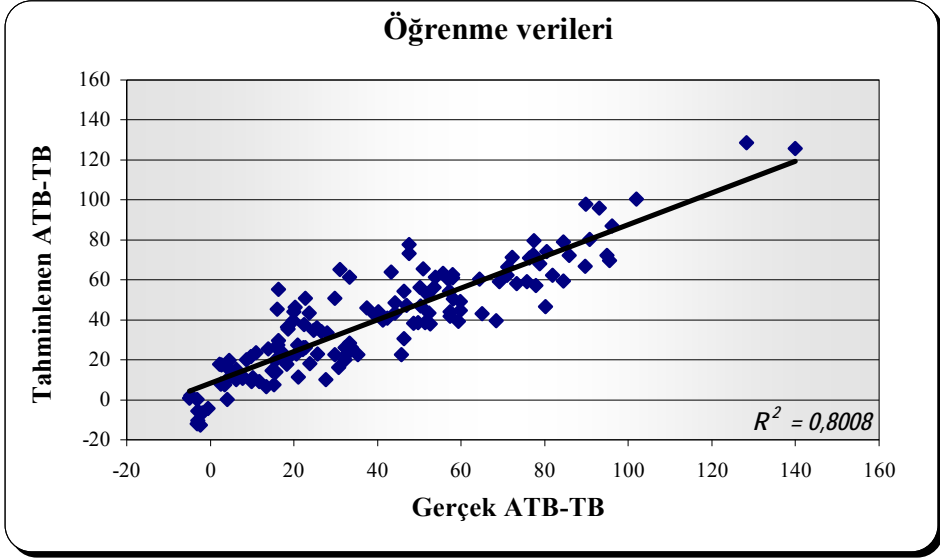
Yapay sinir ağları yöntemi ile belirlenen modelin gerçeği ne derece yansıttığını sına ma amacıyla test edilmesi amacıyla, eldeki veri setinin bir kısmı test verisi olarak ayrılmaktadır. Öğrenme veri setinin kullanılarak model oluşturulmakta ve modelin oluşum aşamasının ardından, geriye kalan ve modelin oluşum aşamasında kullanılmayan diğer verilerle model test edilmektedir. YSA, öğrenebilme özelliğine sahip olduğundan ve sürekli hatayı minimize edecek şekilde çalıştığından öğrenme aşamasında kullanılan verilerle elde edilen tahmini değerler, bağımlı değişkenin gözlemlenen değerlerine büyük bir oranda yakındır. Fakat test aşamasında

yeni veriler denendiğinden, buradan elde edilen istatistiki sonuçlar oldukça önemlidir. Çizelge 8.36 incelendiğinde, test verileri ile elde edilen tahmin değerlerinin öğrenme veri seti ile elde edilen değerlere göre daha kötü olmasına rağmen yine de elde edilen regresyon katsayısı değerinin regreyon analizi ile elde edilen değerden daha iyi olduğu görülmektedir.

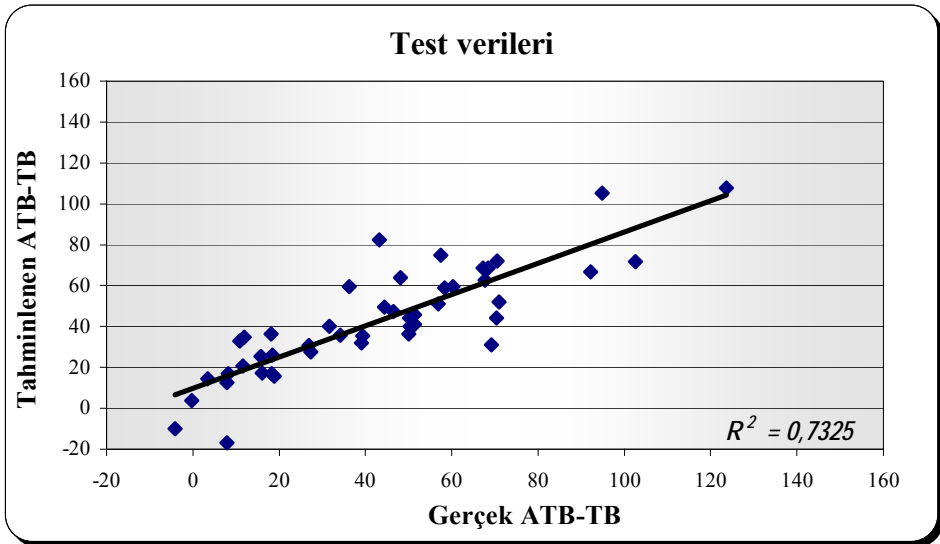
Şekil 8.22, Şekil 8.23 ve Şekil 8.24’de sırasıyla tüm veriler, öğrenme verileri ve test için tahminlenen ve gerçek ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark değerlerine ait serpmne diyagramları ve doğrusal regresyon denkleminde ait regresyon katsayılarını gösteren grafikler verilmektedir.



Şekil 8. 22: Tüm verilerde tahminlenen ve gerçek ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8. 23: Öğrenme verilerinde tahminlenen ve gerçek ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8. 24: Test verilerinde tahminlenen ve gerçek ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark değerleri arasındaki ilişki

Çalışmada kullanılan interlok kumaşların PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi ile ölçülen ağırlıklı toplam boncuk

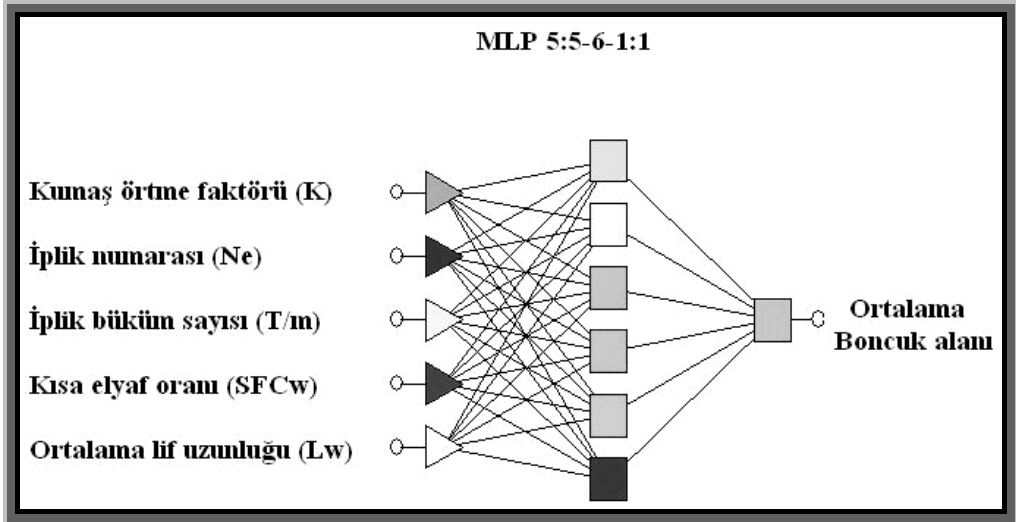
sayısı arası ile toplam boncuk sayısı ile arasındaki fark değerlerinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan yapay sinir ağı modeli ile tüm verilere ait tahminlenen ve gerçek veriler arasındaki regresyon katsayısının %78.5, modelde kullanılan öğrenme veri setinde tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki regresyon katsayısı %80.03 olarak belirlenmiştir. Öğreticili öğrenme yönteminin kullanıldığı yapay sinir ağı yönteminde oluşturulan modelde, rasgele seçilen verilerle gerçekleştirilen test analizinde belirlenen regresyon katsayısı öğrenme veri seti ile elde edilen regresyon katsayısına göre daha önemli olup, bu durumda tahminlenen ve gerçek veriler arasındaki regresyon katsayısı %73.25 olarak belirlenmiştir.

8.3.4. Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi

PillGrade Objektif Boncuk Değerlendirme Sisteminde ölçülen bir başka özellik, 25.18 cm^2 'lik ölçüm alanı içerisinde yer alan boncukların kapladığı ortalama alandır. Ortalama boncuk alanının lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak tahminlenmesi amacıyla kullanılan bağımsız değişkenler, lif özelliklerinden ağırlıkça ortalama uzunluk (L_w), ağırlıkça kısa elyaf oranı (SFC_w), iplik özelliklerinden iplik numarası (N_e), metredeki iplik büküm sayısı (T/m) ve kumaş örtme faktörüdür. Pek çok denemenin ardından en uygun ağ seçimi öğrenme ve test verilerine ait istatistiksel değerler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modelleri kullanılmış olup, girdi ve çıktı katmanlarında transfer fonksiyonu olarak doğrusal fonksiyon kullanılırken, ara katmanda hiperbolik fonksiyon kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan interlok örme kumaşlara ait 186 adet ortalama boncuk alanı değerleri ile gerçekleştirilen

analizlerde, değerlerin %75'i yani 140 adet ortalama değer öğrenme aşamasında modelin kurulması için, geriye kalan %25'lik 46 değerden oluşan veri grubu ise modelin test edilmesi için kullanılmıştır.

Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi için seçilen en uygun model MLP 5:5-6-1:1 yapısındadır. Girdi katmanında kumaş örtme faktörü (K), iplik numarası (Ne), iplik büküm sayısı (T/m), kısa elyaf oranı (SFC_w) ve ortalama lif uzunluğu (L_w) olmak üzere 5 bağımsız değişken yer almakta, gizli katman 6 adet nöron ve çıktı katmanı ise bağımlı değişken olarak ortalama boncuk alanı olmak üzere tek nörondan oluşmaktadır. Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi için geliştirilen modele ait ağ yapısı Şekil 8.25`de verilmektedir.



Şekil 8.25: Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi amacıyla oluşturulan yapay sinir ağı

Ağa ait her bir katmanda kullanılan eşik değerleri ve bağımsız değişkenlerin ağırlık değerleri Çizelge 8.37`de verilmektedir.

Çizelge 8. 37: Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait eşik ve ağırlık değerleri

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	3.1
Eşik	1,07	1,28	0,58	0,01	0,71	-0,22	-0,60
1.1 Kumaş örtme faktörü	0,50	1,34	0,66	0,60	-1,38	-1,27	
1.2 İplik numarası	0,48	-0,24	-0,53	-0,89	0,60	2,29	
1.3 İplik büküm sayısı	0,69	-0,61	0,73	-1,06	-0,23	-0,80	
1.4 Kısa elyaf oranı	0,54	0,98	-0,35	-0,31	-0,18	0,28	
1.5 Ortalama lif uzunluğu	-1,20	0,63	-0,09	0,90	-0,45	-0,01	
2.1							1,08
2.2							-1,32
2.3							0,83
2.4							1,49
2.5							-0,80
2.6							0,70

Ağ modeline ait hassasiyet analiz sonuçları Çizelge 8.38’de verilmektedir. Yapay sinir ağı yöntemi ile gerçekleştirilen tahminleme analizinde yer alan bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişken üzerindeki etkisini sıralaması hakkında fikir veren hassasiyet analizi sonucu incelendiğinde, interlok örme kumaşlarda ortalama boncuk alanının tahminlenmesinde en önemli etkinin kumaş örtme faktörü olduğu görülmektedir. İplik özelliklerinden, iplik numarası ve metredeki iplik büküm sayısı değerleri yaklaşık aynı oranda etki sağlamakta ve sıralamada daha sonra lif özelliklerinden kısa elyaf oranı ve ağırlıkça ortalama lif uzunluğu değişkenleri bulunmaktadır.

Çizelge 8.38: Ortalama boncuk alanının tahminlenmesinde yer alan girdilere ait hassasiyet analizi

	Kumaş örtme faktörü	İplik numarası	İplik büküm sayısı	Kısa elyaf oranı	Ortalama lif uzunluğu
Oran	2,44	1,76	1,72	1,40	1,34
Sıralama	1	2	3	4	5

Oluşturulan ağ modeline ait öğrenme, test ve tüm tahminleme değerlerine ait tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 8.39’da verilmektedir.

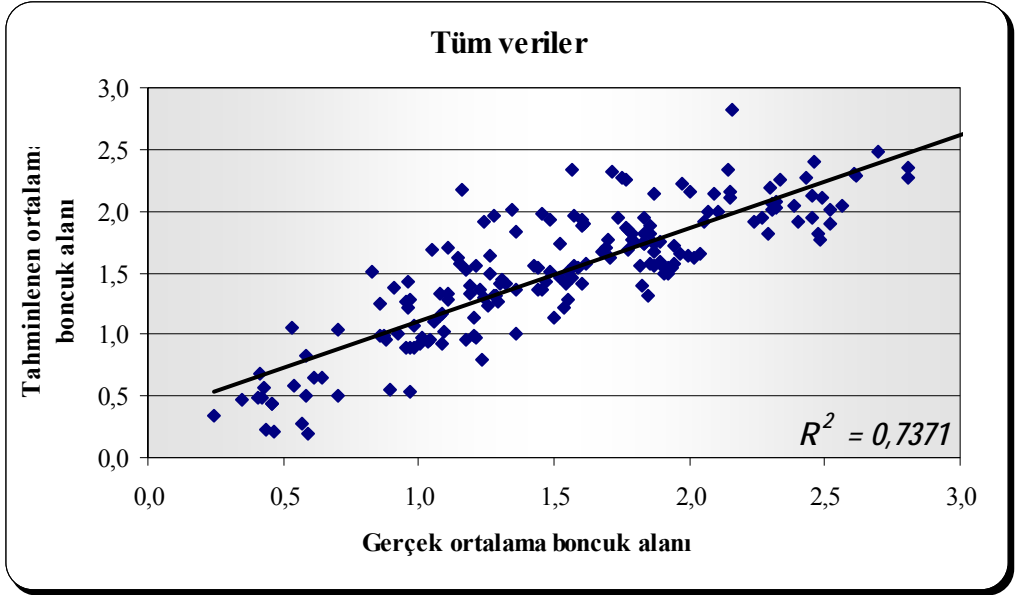
Çizelge 8.39: Ortalama boncuk alanının tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait tanımlayıcı istatistik değerleri

Ortalama Boncuk Alanı	Öğrenme verileri	Test verileri	Tüm veriler
Veri ortalaması (M)	1,55	1,52	1,54
Veri standart sapması (MSD)	0,617	0,617	0,617
Hata ortalaması (ME)	-0,002	-0,007	-0,019
Hata Kareler Ortalaması (MSE)	0,10	0,11	0,10
Hata Kareler Kök Ortalaması (RMSE)	0,31	0,33	0,32
Mutlak Hata Ortalaması (MAE)	0,251	0,243	0,249
Mutlak Hata Yüzde Ortalaması (MAPE)	0,19	0,19	0,19
Standart Sapma Oranı (SD)	0,507	0,524	0,513
Korelasyon katsayısı	0,8622	0,8540	0,8586
Regresyon katsayısı	0,7434	0,7294	0,7371

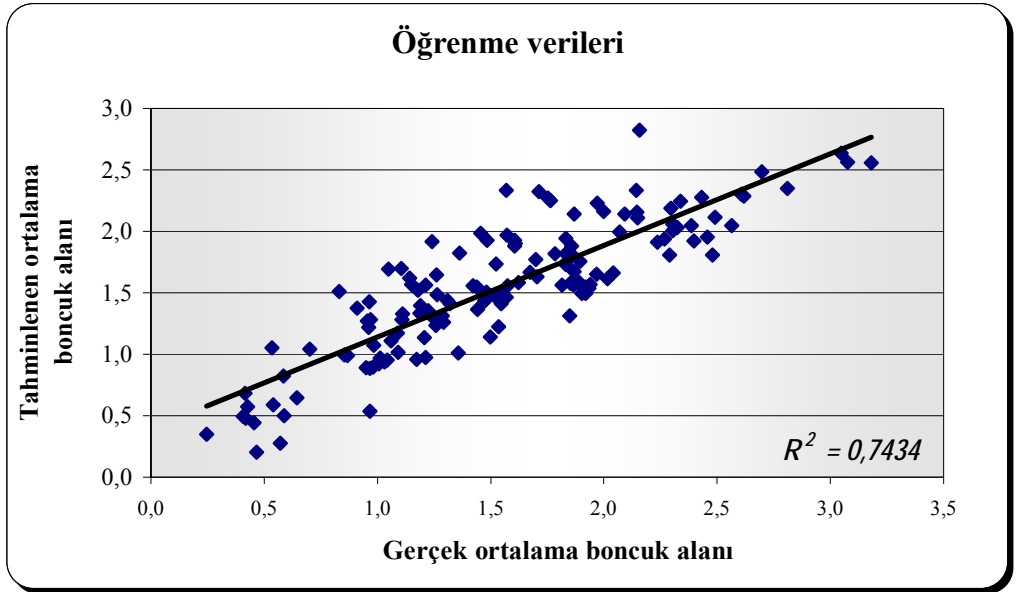
Çizelge 8.39 incelendiğinde, öğrenme, test verileri ve toplam veriler için hata kareler ortalaması değerlerinin küçük olduğu görülmektedir. Mutlak hata ortalaması, gözlemlenen değerlere yapılan tahminlerin ne kadar yakın olduğunu ifade eden bir belirleyici istatistik değeri olup, en düşük mutlak hata ortalamasının test verilerine ait olduğu görülmektedir. Korelasyon ve regresyon katsayıları, boncuklanma derecesinin tahminlenmesi için elde edilen değerlere göre düşük olmakla birlikte yüksek olduğu görülmektedir. Ortalama boncuk alanının regresyon yöntemi ile tahminlenmesinde düzeltilmiş regresyon katsayısı %65.8 olarak

belirlenmiştir. Regresyon denkleminde yer alan bağımsız değişkenler kumaş örtme faktörü,, iplik numarası, iplik büküm sayısı ve kısa elyaf oranı olup, YSA yöntemi ile belirlenen modelle uyumludur. Ancak YSA yöntemi ile daha iyi tahminleme gücü elde edilmiştir.

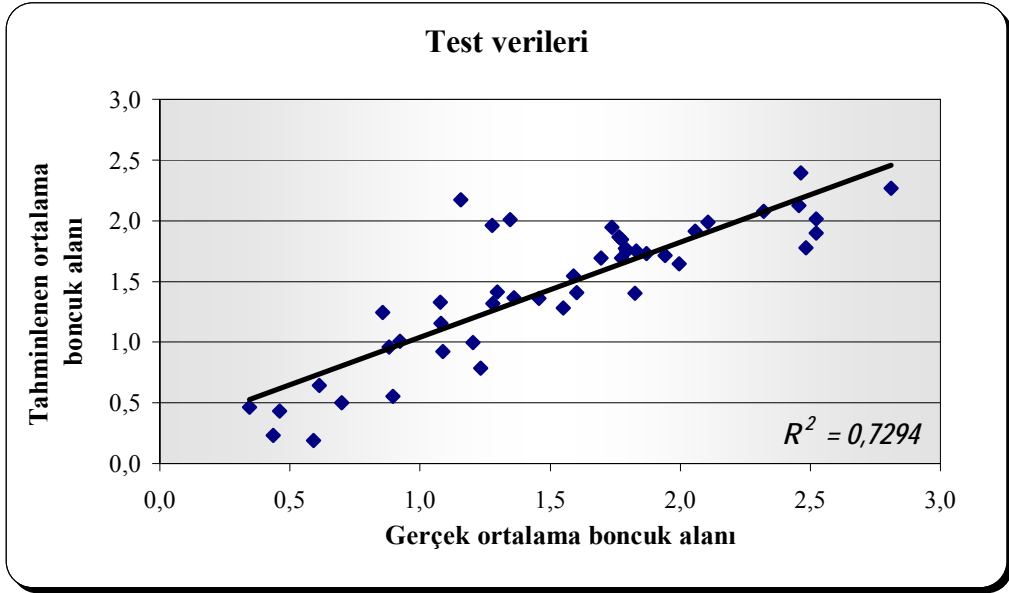
Şekil 8.26, Şekil 8.27 ve Şekil 8.28’de sırasıyla tüm veriler, öğrenme verileri ve test verileri için tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk alanı değerlerine ait serpm diyagramları ve doğrusal regresyon denklemine ait regresyon katsayılarını gösteren grafikler verilmektedir. Çalışmada kullanılan interlok kumaşların PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi ile ölçülen ortalama boncuk alanının tahminlenmesi amacıyla oluşturulan yapay sinir ağı modeli ile tüm verilere ait tahminlenen ve gerçek veriler arasındaki regresyon katsayısı %73.71, modelde kullanılan öğrenme veri setinde tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki regresyon katsayısı %74.34 olarak belirlenmiştir. Test analizinde belirlenen regresyon katsayısı öğrenme veri seti ile elde edilen regresyon katsayısına göre daha önemli olup, bu durumda tahminlenen ve gerçek veriler arasındaki regresyon katsayısı %72.94 olarak belirlenmiştir.



Şekil 8.26: Tüm verilerde tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk alanı değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8.27: Öğrenme verilerinde tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk alanı değerleri arasındaki ilişki

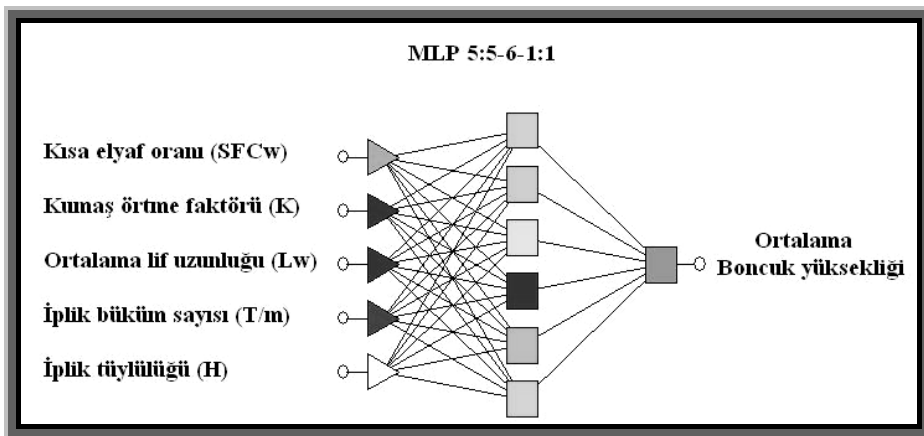


Şekil 8.28: Test verilerinde tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk alanı değerleri arasındaki ilişki

8.3.5. Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi

PillGrade Objektif Boncuk Değerlendirme Sisteminde 25.18 cm²' lik ölçüm alanında kumaş yüzeyinde boncukların saptanması için gerekli eşik değeri hav yüksekliğine göre sistemde otomatik olarak değiştirilmekte ve boncuk yükseklikleri ölçülmektedir. Kumaş yüzeyindeki boncukların ortalama yüksekliğinin lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla tahminlenmesi amacıyla, AFIS PRO 2 cihazı ile ölçülen L_w , SFC_w , Lif inceliği (mtex), lif olgunluk oranı (M) değerleri yanı sıra iplik özelliklerinden iplik numarası (Ne), metredeki iplik büküm sayısı (T/m), iplik tüylülüğü (H) değerleri ile kumaş özelliklerinden kumaş örtme faktörü (K) girdi verileri olarak kullanılmıştır. Modelde kullanılan parametrelerin seçiminde regresyon analizinden elde edilen sonuçlar da göz önünde bulundurulmuştur.

Analizlerde, çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modelleri kullanılmış olup, girdi ve çıktı katmanlarında transfer fonksiyonu olarak doğrusal fonksiyon kullanılırken, ara katmanda hiperbolik fonksiyon kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan interlok örme kumaşlara ait 186 adet ortalama boncuk alanı değerleri ile gerçekleştirilen analizlerde, değerlerin %75'i yani 140 adet ortalama değer öğrenme aşamasında modelin kurulması için, geriye kalan %25'lik 46 değerden oluşan veri grubu ise modelin test edilmesi için kullanılmıştır. Pek çok denemenin ardından en uygun ağ seçimi öğrenme ve test verilerine ait istatistiksel değerler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Seçilen model MLP 5:5-6-1:1 yapısında olup, girdi katmanı kısa elyaf oranı, kumaş örtme faktörü, ortalama lif uzunluğu, iplik büküm sayısı ve iplik tüylülüğü olmak üzere 5 adet nöron içermektedir. Gizli katmandaki nöron sayısı 6, çıktı katmanı ise bağımlı değişken olan ortalama boncuk yüksekliği verilerinden oluşmakta ve 1 nöron içermektedir. İnterlok örme kumaşların yüzeyinde oluşan ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi için seçilen en uygun ağ yapısı Şekil 8.29'da verilmektedir.



Şekil 8.29: Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan yapay sinir ağı

Ağa ait her bir katmanda kullanılan eşik değerleri ve bağımsız değişkenlerin ağırlık değerleri Çizelge 8.40`da verilmektedir.

Çizelge 8. 40: Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait eşik ve ağırlık değerleri

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	3.1
Eşik	0,49	-0,64	-1,13	-0,09	0,64	0,00	0,84
1.1 Kısa elyaf oranı	-0,82	0,87	0,82	0,24	-0,72	-0,52	
1.2 Kumaş örtme faktörü	0,53	-0,75	-0,62	2,48	-0,41	0,76	
1.3 Ortalama lif uzunluğu	0,26	-0,77	-1,55	1,16	0,27	-0,52	
1.4 İplik büküm sayısı	-0,86	-0,42	0,26	-0,72	-0,69	-0,86	
1.5 İplik tüylülüğü	-1,22	-1,07	0,25	-0,01	0,35	0,75	
2.1							-1,04
2.2							1,47
2.3							-1,16
2.4							1,14
2.5							-0,81
2.6							1,02

Ağ modeline ait hassasiyet analiz sonuçları Çizelge 8.41`de verilmektedir. İnterlok örme kumaşlarda ortalama boncuk yüksekliği üzerine etkili olan en önemli özellik kısa elyaf oranı olarak belirlenmiştir. Önem derecelendirilmesinde ikinci sırada kumaş örtme faktörü yer almaktadır. Ortalama lif uzunluğu ve iplik büküm sayısının yaklaşık aynı etkiyi gösterdiği belirlenmiştir. İplik tüylülüğü de ortalama boncuk yüksekliğini etkileyen bir diğer lif özelliğidir. Bu özellikler dışında yer alan lif ve iplik özelliklerinin modele dahil olması herhangi olumlu etki yaratmamaktadır. Dolayısıyla en az girdi değeriyle tahminleme yapabilmek amacıyla etkisi önemli olmayan özellikler analizde yer almamıştır.

Çizelge 8. 41: Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesinde yer alan girdilere ait hassasiyet analizi

	Kısa elyaf oranı (SFCw)	Kumaş örtme faktörü (K)	Ortalama lif uzunluğu (Lw)	İplik büküm sayısı (T/m)	İplik tüylülüğü (H)
Oran	3,33500	2,678261	1,792361	1,755471	1,348128
Sıralama	1	2	3	4	5

Oluşturulan ağ modeline ait öğrenme, test ve tüm tahminleme değerlerine ait tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 8.42’de verilmektedir.

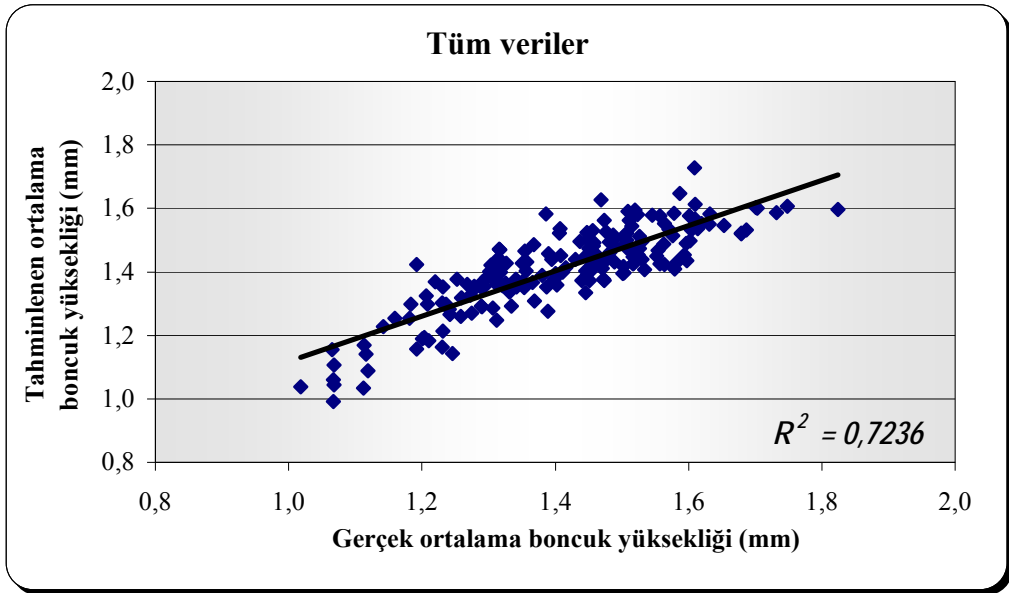
Çizelge 8. 42: Ortalama boncuk yüksekliğinin tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait tanımlayıcı istatistik değerleri

Ortalama Boncuk Yüksekliği	Öğrenme verileri	Test verileri	Tüm veriler
Veri ortalaması (M)	1,413	1,399	1,409
Veri standart sapması (MSD)	0,153	0,165	0,156
Hata ortalaması (ME)	0,000	0,002	0,000
Hata Kareler Ortalaması (MSE)	0,01	0,01	0,01
Hata Kareler Kök Ortalaması (RMSE)	0,08	0,09	0,08
Mutlak Hata Ortalaması (MAE)	0,06	0,08	0,07
Mutlak Hata Yüzde Ortalaması (MAPE)	0,04	0,05	0,05
Standart Sapma Oranı (SD)	0,518	0,546	0,526
Korelasyon katsayısı	0,855199	0,837865	0,850635
Regresyon katsayısı	0,7314	0,7020	0,7236

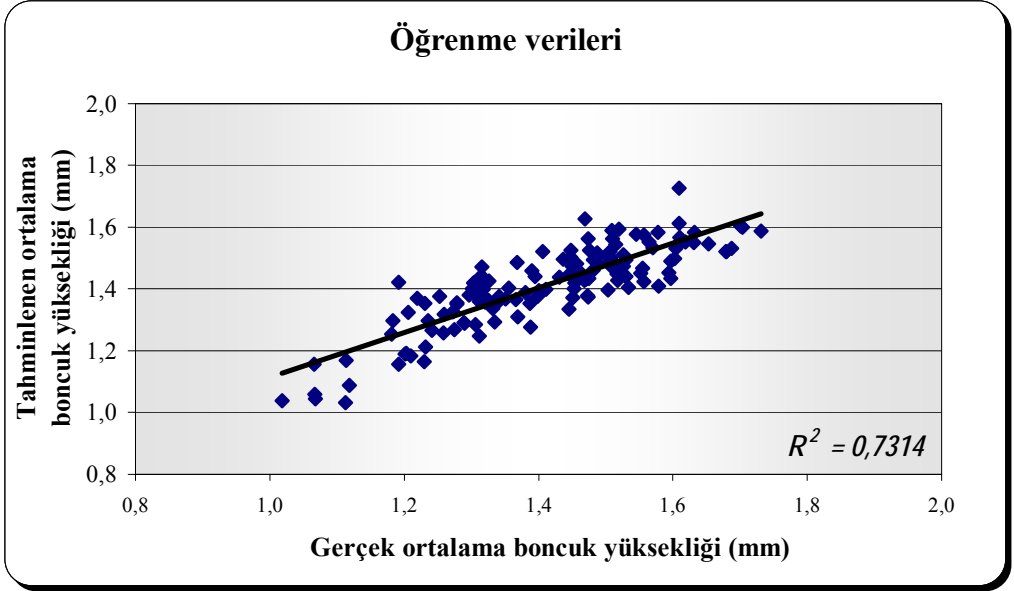
Çizelge 8.42 incelendiğinde, öğrenme, test verileri ve toplam veriler için hata kareler ortalaması değerlerinin küçük olduğu görülmektedir. Mutlak hata ortalaması, gözlemlenen değerlere yapılan tahminlerin ne kadar yakın olduğunu ifade eden bir belirleyici istatistik değeri olup, oldukça düşük değerler elde edilmesi modelin uygunluğunun bir ölçüsü olmaktadır. Korelasyon ve regresyon katsayılarını, kumaş yüzeyinde oluşan boncukların yapısal özelliği hakkında fikir veren boncuk alanının tahminlenmesi için elde edilen değerlere yakın olduğu görülmektedir. Ortalama boncuk

yüksekliğinin regresyon yöntemi ile tahminlenmesinde düzeltilmiş regresyon katsayısı %68.2 olarak belirlenmiştir. Regresyon denkleminde yer alan bağımsız değişkenler kumaş örtme faktörü, iplik tüylülüğü, kısa elyaf oranı ve ağırlıkça ortalama lif uzunluğu olup, YSA yöntemi ile belirlenen modelle uyumludur ancak YSA yöntemi ile elde edilen modelde ayrıca iplik büküm katsayısı da yer almaktadır ve daha iyi tahminleme gücü elde edilmiştir.

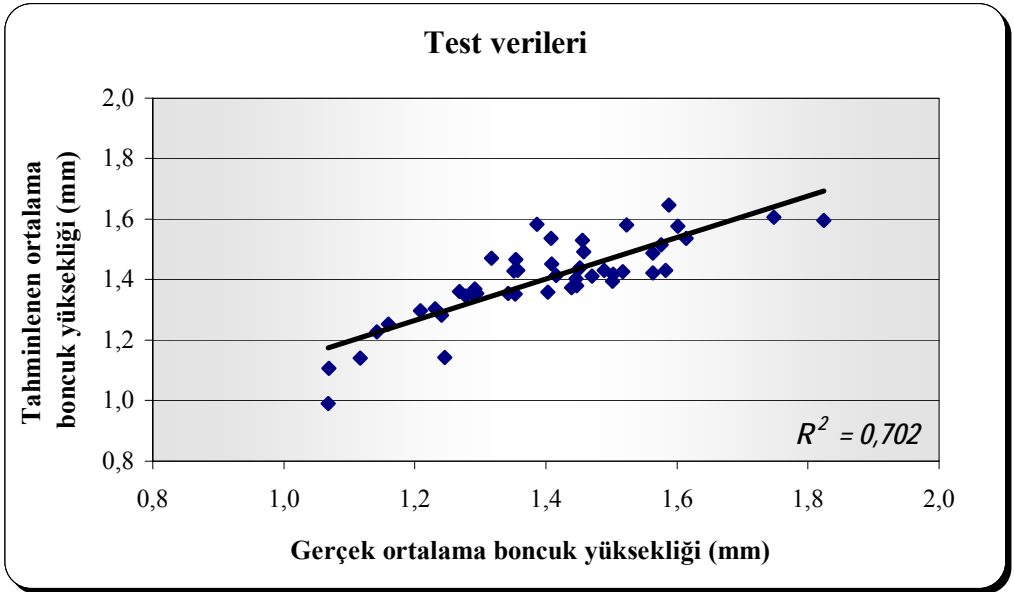
Şekil 8.30, Şekil 8.31 ve Şekil 8.32’de sırasıyla tüm veriler, öğrenme verileri ve test verileri için tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk yüksekliği değerlerine ait serpm diyagramları ve doğrusal regresyon denkleminde ait regresyon katsayılarını gösteren grafikler verilmektedir.



Şekil 8.30: Tüm verilerde tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk yüksekliği değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8.31: Öğrenme verilerinde tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk yüksekliği değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8.32: Test verilerinde tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk yüksekliği değerleri arasındaki ilişki

Çalışmada kullanılan interlok kumaşların PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi ile ölçülen, ortalama boncuk yüksekliklerinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan yapay sinir ağı modeli ile tüm verilere ait tahminlenen ve gerçek veriler arasındaki regresyon katsayısı %72.36, modelde kullanılan öğrenme veri setinde tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki regresyon katsayısı %73.14 olarak belirlenmiştir. Test analizinde belirlenen regresyon katsayısı öğrenme veri seti ile elde edilen regresyon katsayısına göre daha önemli olup, bu durumda tahminlenen ve gerçek veriler arasındaki regresyon katsayısı %70.20 olarak belirlenmiştir.

8.3.6. Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi

PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sisteminde kumaş hav tabakasının yoğun olan kısmının yüksekliği, yoğun hav tabakasının dışındaki tek lif çıkıntıları ihmal edilerek hesaplanmaktadır. Kumaş boncuklanması sırasında meydana gelen aşamalardan ilki olan kumaş yüzeyinde hav oluşumu boncuklanma testi sırasında devam eden dinamik bir olaydır. Oluşan bir kısım hav boncuk şekline dönüşmekte ve bir yandan da yeni havlar kumaş yüzeyine çıkmaktadır. Dolayısıyla hav yüksekliğinin tahminlenmesi kumaşın kullanımı sırasında oluşacak boncuklanma hakkında fikir verebilmektedir. Bu nedenle hav yüksekliğinin lif, iplik ve kumaş özellikleri yardımıyla tahminlenmesi amacıyla yapay sinir ağı yöntemi kullanılmıştır.

Yapay sinir ağı yöntemi ile tahminleme yapılırken, AFIS PRO 2 cihazı ile ölçülen ağırlıkça ortalama lif uzunluğu (L_w), kısa elyaf oranı

(SFC_w), olgunluk oranı (M), olgun olmayan lif yüzdesi (%IFC) değerleri yanında iplik özelliklerinden iplik numarası (Ne), iplik büküm sayısı (T/m), iplik tüylülüğü (H), iplik tüylülük varyasyonu (sh) ve kumaş örtme faktörü değerleri girdi değerleri olarak kullanılmıştır.

Analizlerde çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmıştır. Çalışmada interlok örme kumaşlarda hav yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla, geri yayımlı öğrenme yöntemi kullanılmıştır. Ağırlıkların belirlenmesinde kullanılan öğrenme oranı ve momentum katsayıları sırasıyla 0,01 ve 0,3 olarak seçilmiştir. Girdi ve çıktı katmanlarında transfer fonksiyonu olarak doğrusal fonksiyon, ara katmanda hiperbolik fonksiyon kullanılmıştır. 186 adet ortalama değer üzerinden gerçekleştirilen analizlerde, 140 adet ortalama değer modelin öğrenme aşamasında, geriye kalan 46 adet ortalama değer ise modelin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Yapılan denemeler sonucunda çıktı ve gerçek değerler arasında en yüksek korelasyon ve regresyon değerini veren model en uygun model olarak seçilmiştir. Seçilen model MLP 7:7-6-1:1 şeklinde olup, olgunluk oranı, kısa elyaf oranı, iplik numarası, iplik büküm sayısı, iplik tüylülüğü, olgun olmayan lif içeriği ve kumaş örtme faktörü olmak üzere 7 adet bağımsız değişkenden oluşan girdi katmanı ve 6 adet nörondan oluşan bir gizli katman içermektedir. Çıktı katmanını ise tahminlemesi yapılacak ortalama hav yüksekliği değeri oluşturmaktadır ve dolayısıyla çıktı katmanı bir nöron içermektedir. Oluşturulan yapay sinir ağı Şekil 8.33`de verilmektedir.

Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi amacıyla seçilen modele ait hassasiyet analiz sonuçları Çizelge 8.44’de verilmektedir. İnterlok örme kumaşlarda ortalama hav yüksekliği üzerine etkili olan en önemli özellik liflerin olgunluk oranı olarak belirlenmiştir. Önem derecelendirilmesinde ikinci sırada kısa elyaf oranı yer almaktadır. İplik özelliklerinden iplik numarası, iplik büküm sayısı ve iplik tüylülüğü yaklaşık aynı önem seviyesindedir. İplik özelliklerini, olgun olmayan lif içeriği ve kumaş örtme faktörü izlemektedir. Tahminlemesi yapılan diğer tüm boncuklanma ile ilgili özelliklerden farklı olarak ortalama hav yüksekliğinde kumaş örtme faktörünün en az etki gösterdiği belirlenmiştir. Kumaş yüzeyinin havlanmasında lif özelliklerinin etkisi daha belirgindir.

Çizelge 8.44: Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesinde yer alan girdilere ait hassasiyet analizi

	Olgunluk oranı	Kısa elyaf oranı	İplik numarası	İplik büküm sayısı	İplik tüylülüğü	Olgun olmayan lif içeriği	Kumaş örtme faktörü
Oran	2,55	2,06	1,47	1,46	1,41	1,31	1,21
Sıralama	1	2	3	4	5	6	7

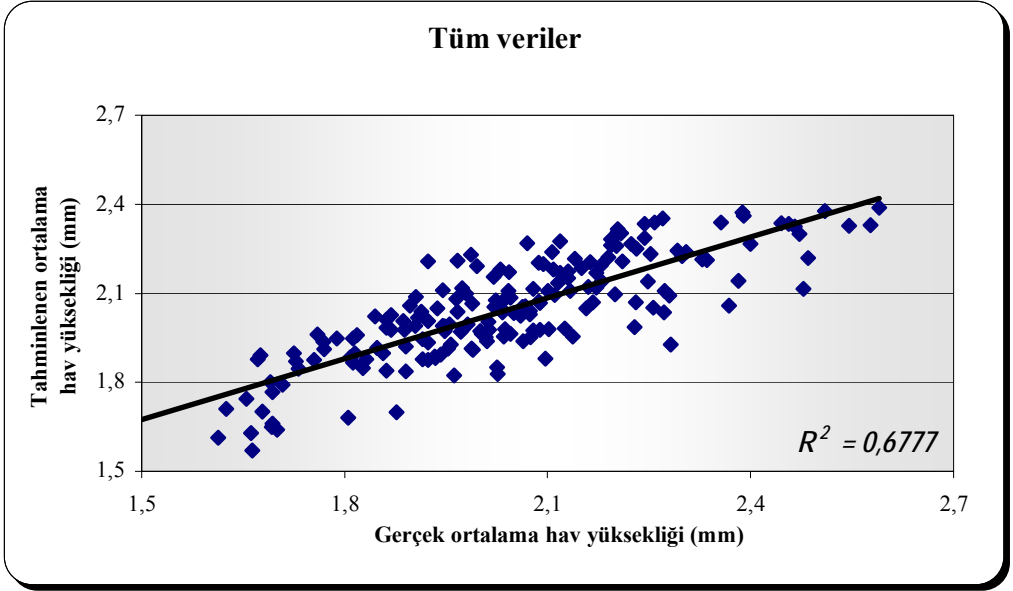
Oluşturulan ağ modeline ait öğrenme, test ve tüm tahminleme değerlerine ait tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 8.45’de verilmektedir. Çizelge 8.45 incelendiğinde, öğrenme, test verileri ve toplam veriler için hata kareler ortalaması değerlerinin küçük olduğu görülmektedir. Mutlak hata ortalaması değerlerinin de düşük olması gözlemlenen değerlere göre yapılan tahminlerin ne kadar yakın olduğunu ifade eden bir belirleyici istatistik değeri olup, oldukça düşük değerler elde edilmesi modelin uygun olduğunu göstermektedir. Korelasyon ve regresyon katsayıları diğer tüm boncuklanma ile ilgili özelliklerin tahminlenmesi sonucu elde edilen

değerlere göre düşüktür. Ancak regresyon yöntemi ile yapılan analizler sonucunda da aynı durum ortaya çıkmıştır. Ortalama hav yüksekliğinin regresyon yöntemi ile tahminlenmesinde düzeltilmiş regresyon katsayısı %50.5 olarak belirlenmiştir. Regresyon denkleminde yer alan bağımsız değişkenler olgunluk oranı, iplik tüylülüğü, iplik tüylülük varyasyonu, iplik numarası ve kumaş örtme faktörü olup, YSA yöntemi ile belirlenen modelle uyumludur. Ancak YSA yöntemi ile elde edilen modelde ayrıca kısa elyaf oranı, olgun olmayan lif içeriği ve iplik büküm katsayısı da yer almaktadır ve daha iyi tahminleme gücü elde edilmiştir.

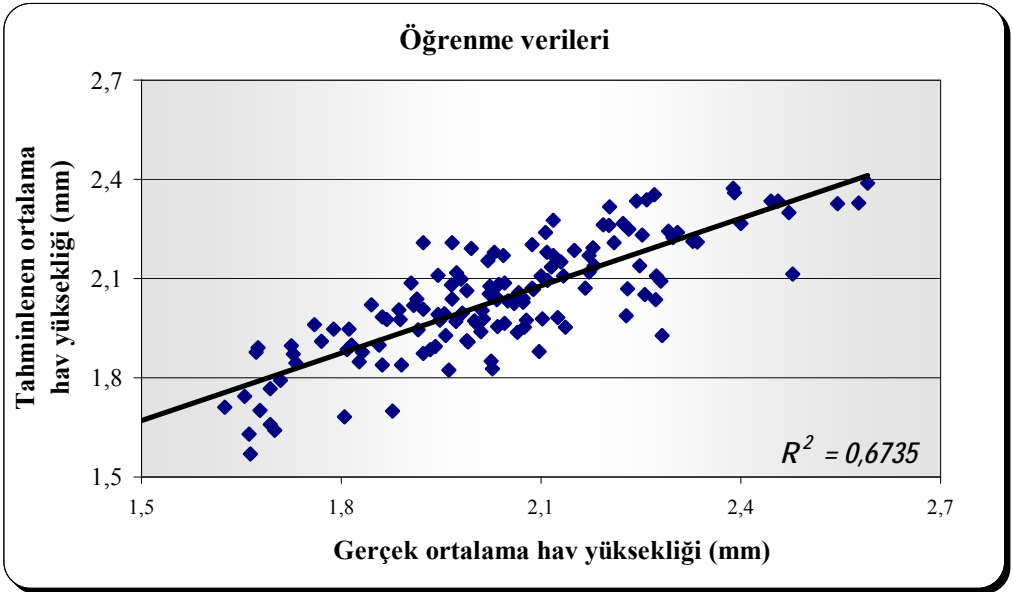
Çizelge 8.45: Ortalama hav yüksekliğinin tahminlenmesi için oluşturulan ağa ait tanımlayıcı istatistik değerleri

Ortalama Hav Yüksekliği	Öğrenme verileri	Test verileri	Tüm veriler
Veri ortalaması (M)	2,037951	2,043990	2,039445
Veri standart sapması (MSD)	0,212926	0,212513	0,2128
Hata ortalaması (ME)	-0,0014	0,0178	0,0033
Hata Kareler Ortalaması (MSE)	0,01	0,01	0,01
Hata Kareler Kök Ortalaması (RMSE)	0,12	0,12	0,12
Mutlak Hata Ortalaması (MAE)	0,10	0,09	0,10
Mutlak Hata Yüzde Ortalaması (MAPE)	0,05	0,05	0,05
Standart Sapma Oranı (SD)	0,571452	0,550830	0,567737
Korelasyon katsayısı	0,820689	0,834691	0,823237
Regresyon katsayısı	0,6735	0,6967	0,6777

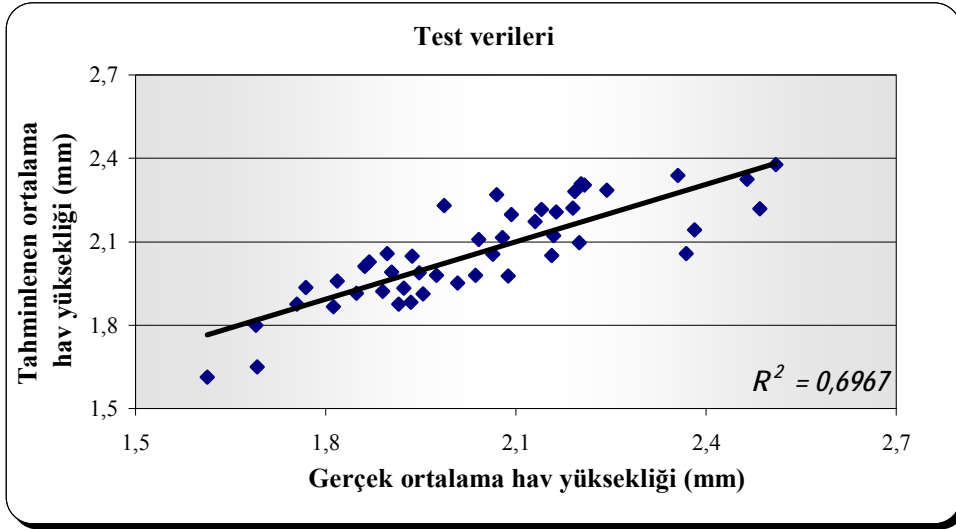
Şekil 8.34, Şekil 8.35 ve Şekil 8.36’da sırasıyla tüm veriler, öğrenme verileri ve test verileri için tahminlenen ve gerçek ortalama boncuk yüksekliği değerlerine ait serpmeye diyagramları ve doğrusal regresyon denkleminde ait regresyon katsayılarını gösteren grafikler verilmektedir.



Şekil 8. 34: Tüm verilerde tahminlenen ve gerçek ortalama hav yüksekliği değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8. 35: Öğrenme verilerinde tahminlenen ve gerçek ortalama hav yüksekliği değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8. 36: Test verilerinde tahminlenen ve gerçek ortalama hav yüksekliği değerleri arasındaki ilişki

Çalışmada kullanılan interlok kumaşların PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi ile ölçülen ortalama hav yüksekliklerinin tahminlenmesi amacıyla oluşturulan yapay sinir ağı modeli ile tüm verilere ait tahminlenen ve gerçek veriler arasındaki regresyon katsayısı %67.77, modelde kullanılan öğrenme veri setinde tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki regresyon katsayısı %67.35 olarak belirlenmiştir. Test analizinde belirlenen regresyon katsayısı öğrenme veri seti ile elde edilen regresyon katsayısına göre daha önemli olup, bu durumda tahminlenen ve gerçek veriler arasındaki regresyon katsayısı %69.67 olarak belirlenmiştir.

9. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

En önemli kumaş kalite problemlerinden birisi olan kumaş boncuklanması, kumaş yüzeyinde oluşan, giysinin kötü görünmesinin yanı sıra, bazen delik oluşumuna kadar giderek giysilerin yıpranması nedeniyle kullanma süresini kısaltan bir kumaş yüzey hatasıdır. Özellikle örme kumaşların esnek ve gevşek yapıları nedeniyle iplik içerisindeki liflerin kumaş yüzeyine hareketi daha kolay olduğundan örme kumaşlar, dokuma kumaşlara göre daha fazla boncuklanma eğilimindedir.

Boncuklanma problemi yıllardır araştırmacıların ilgisini çeken bir konu olmasına rağmen, yapılan çalışmaların daha çok kumaş boncuklanmasını etkileyen faktörlerin belirlenmesi, boncuklanma mekanizması ve son yıllarda da boncuklanmanın subjektif yöntemler yerine objektif olarak değerlendirmesi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir.

Kumaş boncuklanmasını etkileyen faktörler üzerine yapılan çalışmalarda lif cinsi, lif uzunluğu, lif inceliği ve enine kesit şekli, eğilme direnci, lifler arası sürtünme, iplik eğirme yöntemi, iplik numarası, iplik bükümü, iplik tüylülüğü, iplik kat adedi, kumaş sıklığı, kumaş konstrüksiyonu gibi özelliklerin kumaşın boncuklanma eğiliminde rol oynayan önemli özellikler olduğu tespit edilmiştir. İlk olarak 1960`lı yıllarda tartışılmaya başlayan boncuklanma mekanizması ile ilgili olarak günümüze kadar yapılan az sayıdaki çalışmalarla daha detaylı modeller geliştirmiştir.

Tekstil materyallerinin, kumaş boncuklanma özelliğinin de arasında bulunduğu pek çok özelliği, eğitilmiş personel tarafından subjektif değerlendirme ile ölçülmektedir. Ancak subjektif değerlendirmeler çok

deneyimli personel tarafından yapılsa bile sonuçların tekrarlanabilirliği, genellikle düşüktür ve bu durum sonuçların güvenilirliğini azaltmaktadır. Bu kapsamda, dijital görüntü işleme ve analizi, pek çok tekstil prosesi ve tekstil ürün özelliklerinin ölçümü ve kontrolü için hızlı ve güvenilir yöntemlerin geliştirilmesi için yeni olanaklar sunmaktadır. Son yıllarda, kumaş boncuklanma eğiliminin objektif olarak değerlendirilmesi için görüntü analizi yöntemleri üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir.

Kumaş boncuklanma özelliğinin lif, iplik ve kumaş özellikleri aracılığıyla tahminlenmesi üzerine yapılan çalışmaların sayılı ve daha çok yünlü kumaşlarla kısıtlı olduğu belirlenmiştir. Rekabetle birlikte kalitenin ön plana çıktığı günümüzde, özellikle örme kumaşların kullanım kalitesini etkileyen kumaş boncuklanma eğiliminin önceden tahminlenmesi önemlidir. Farklı harmanlar kullanılarak üretilen pamuklu örme kumaşlarda boncuklanma özelliğinin tahminlenmesi üzerine kapsamlı herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında Türkiye`de çok yaygın olarak kullanılan pamuk liflerinden üretilmiş interlok örme kumaşların boncuklanma eğilimlerinin lif, iplik ve kumaş özellikleri aracılığıyla tahminleme analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada farklı yöre pamukları kullanılarak lif özelliklerinin geniş bir aralıkta olması hedeflenmiştir. Bu amaçla üçü penye ring ve dördü karde ring üretim hattından temin edilen, Ege, Yunanistan, Hindistan ve Mısır yöresi pamuklarından üretilmiş fitiller kullanılmıştır. Hammadde temini fitil ara ürünü şeklinde olduğundan, tahminlemelerde kullanılan lif özellikleri fitil halinde ölçülen özelliklerdir. Lif özelliklerinin belirlenmesinde, gelişmiş lif ölçüm cihazlarından HVI 900 ve AFIS PRO 2 cihazları kullanılmıştır. Günümüzde genel olarak iplik üretim öncesinde lif

özelliklerinin belirlenmesi amacıyla HVI cihazı tercih edilirken, prosesin kontrolünde ara ürünlerin özelliklerinin ölçülmesinde yaygın olarak AFIS cihazı kullanılmaktadır. Bu nedenle, tahminleme analizlerinde, iplik üretim aşamasının ara ürünlerinin ölçümünde kullanılan, tek liflerde ölçüm prensibine göre çalışan AFIS PRO 2 cihazında ölçülen özellikler kullanılmıştır.

İplik özellikleri, iplik numarası ve iplik büküm sayısına önemli ölçüde bağlıdır. Bu nedenle çalışmanın deney planı, farklı büküm katsayıları ve iplik numaralarını kapsayacak şekilde planlanmıştır. Her bir harmandan Ne 20, Ne 30 ve Ne 40 iplik numaralarında ve $\alpha_e=3.2$, $\alpha_e=3.6$ ve $\alpha_e=4.0$ büküm katsayılarında 9 tip iplik üretilmiştir. Çalışmada, çalışma koşulları ve makine ayarlarının iplik özelliklerini önemli derecede etkilediği dikkate alınarak, ipliklerin aynı çalışma koşullarında ve makine ayarlarında üretilmesine özen gösterilmiştir.

Çalışmada kumaş konstrüksiyonu olarak daha dengeli ve düzgün bir yüzey oluşturması nedeniyle interlok örgü yapısı tercih edilmiştir. Her bir iplik tipinden kumaş üretimi sırasında ilmek iplik uzunlukları değiştirilerek, sıkı, orta ve seyrek yapıda olmak üzere 3 farklı sıklıkta olmak üzere toplam 186 çeşit kumaş üretilmiştir. Üretilen kumaşların gramajı, ilmek iplik uzunlukları, ilmek sıra ve ilmek çubuk genişlikleri gibi yapısal özellikleri belirlenerek kumaş örtme faktörü değerleri hesaplanmıştır. Hem kumaş gramajı hem de kumaş örtme faktörünün kumaş boncuklanma özellikleri ile arasında önemli bir ilişki olmasına rağmen, analizlerde kumaşın yapısal özellikleri dikkate alınarak hesaplanan kumaş örtme faktörü kullanılmıştır.

Kumaşların boncuklanma testleri, kullanım koşullarını en iyi simule eden test cihazı olan Martindale aşındırma ve boncuklanma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında boncuklanma eğilimleri ölçülen tüm kumaşların değerlendirilmesinin subjektif olarak gerçekleştirilmesi, doğru ve güvenilir sonuçların elde edilebilmesi için uygun olmayacağından objektif bir yöntemle değerlendirme tercih edilmiş ve bu amaçla SDL Atlas firmasına ait görüntü analizi prensibiyle değerlendirme yapan PillGrade Objektif Boncuklanma Değerlendirme Sistemi kullanılmıştır.

Bu bölümde çalışma kapsamında elde edilen bulgular yardımıyla gerçekleştirilen analizler ayrı ayrı özetlenerek sunulmaktadır.

Varyans ve korelasyon analizlerine ait sonuçların değerlendirilmesi;

İnterlok örme kumaşların **boncuklanma derecesi** açısından, harmanların ortalama boncuklanma derecesi değerleri birbirine oldukça yakındır ve seçilen harmanlar üç kategoride toplanmıştır. Korelasyon analizinde lif özellikleri ile boncuklanma derecesi arasında önemli bir ilişki belirlenmemiştir. Bu durumun seçilen harmanların her ne kadar farklı yöre pamuklarını içermesine dikkat edildiye de lif özelliklerinin çok fazla değişim göstermemesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

İplik numarasının etkisi boncuklanma derecesi açısından belirgindir. İplik kalınlığının artmasıyla birlikte kumaş boncuklanma eğiliminin azaldığı ve boncuklanma derecesinin iyileştiği görülmektedir. Sırasıyla Ne 20, Ne 30 ve Ne 40 iplik numaralarında üretilen interlok örme kumaşların örtme faktörü değerleri azalmaktadır Dolayısıyla ince ipliklerden üretilen kumaşlarda daha açık bir ilmek yapısı olduğundan liflerin hareketi kolaylaşmakta ve boncuk oluşumu hızlanmaktadır. İplik büküm sayısının

artmasıyla boncuklanma eğiliminin azaldığı belirlenmiştir. İplik büküm sayısının artmasıyla, liflerin iplik eksenine ile yaptığı açı artmakta ve liflerin iplik yapısından çıkarak, boncuk oluşumu için kumaş yüzeyine ulaşması zorlaşmaktadır. Çalışmada seçilen büküm değerleri uygulamada birbirine yaklaştığı için özellikle $\alpha_e=3.2$ ve $\alpha_e=3.6$ büküm katsayılarındaki ipliklerden üretilen kumaşların boncuklanma dereceleri arasında fark çok belirgin değildir. İplik özellikleri arasında, boncuklanma derecesi ile en yüksek korelasyona sahip özellikler iplik numarası (-0.711) ve iplik büküm sayısı (-0.588) olarak belirlenmiştir. İplik tüylülüğü ve iplik tüylülük varyasyonu ile boncuklanma derecesi arasındaki korelasyon katsayısı diğer iplik özelliklerine göre daha düşüktür. Bu durum Beltran ve arkadaşları (2007) tarafından yapılan çalışmada tarafından da desteklenmektedir. Bu çalışmada örme kumaşların boncuklanma eğilimlerinde önemli bir değişikliğin, ancak iplik tüylülüğünde önemli bir değişim olması durumunda gözlenebileceği belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan ipliklerin tüylülük değerleri, 4.75 ile 9.39 arasında değişmektedir, fakat iplik numaralarına göre değişim miktarı belirli sınırlar arasındadır. Dolayısıyla çalışmada iplik tüylülüğünün, boncuklanma özelliği üzerine etkisi çok belirgin olarak belirlenmemiştir.

Kumaş özelliklerinden örtme faktörü ve kumaş gramajı ile boncuklanma derecesi arasındaki korelasyon katsayısı en yüksektir (0.789). Kumaş özelliklerinin, iplik özelliklerine göre boncuk oluşumunu daha fazla etkilediği belirlenmiştir. Beltran ve arkadaşları (2006b) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı istatistiksel yöntemler kullanılarak, %100 yünlü kumaşlarda boncuklanmayı etkileyen özellikler sıralanmıştır. Benzer şekilde çalışmada kumaş örtme faktörünün etkisi, diğer tüm lif ve iplik

özelliklerine göre çok daha belirgin bulunmuştur. Ayrıca kumaş örtme faktörü arttıkça, lif özelliklerinin boncuklanma performansı üzerine etkisinin ortadan kalktığı belirtilmiştir. Cooke (1983) tarafından boncukların büyümesinde kumaş yapısından çıkan liflerin rol oynadığı, yüksek büküm katsayısı ve sıkı kumaş yapılarında liflerin kumaş yüzeyinden çıkmasının zor ve boncuk büyümesinin kısıtlı olduğu belirtilmiştir. Hearle ve Wilkins (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, boncuk oluşum aşamalarından ilki olan liflerin yüzeye doğru hareketinin, dıştan gelen kuvvet yoğunluğu, kumaş hacimliliği, liflerin kıvrımlılığı ve lif çapının artmasıyla artacağı; iplik büküm sayısı, sürtünme katsayısı, eğilme direncinin artmasıyla azalacağı belirtilmiştir. Bu durumda iplik büküm sayısı ve kumaş örtme faktörünün boncuklanma derecesi üzerine belirlenen etkisinin önceki çalışmalarla aynı doğrultuda olduğu söylenebilir.

İnterlok örme kumaşların **toplam boncuk sayısı ve ağırlıklı toplam boncuk sayıları** açısından sonuçlar değerlendirildiğinde harmanların 4 alt gruba ayrıldığı görülmektedir. Ancak toplam boncuk sayısı açısından harmanların sıralaması, boncuk büyüklükleri dikkate alınarak, boncuk sayılarının bir katsayıyla çarpılmasıyla hesaplanan ağırlıklı toplam boncuk sayısı açısından aynı değildir. Bu durum, lif özelliklerine bağlı olarak, her bir harmanın üretildiği kumaşlarda oluşan boncukların farklı büyüklüklerde olmasından kaynaklanmaktadır. Kumaş yüzeyinde oluşan toplam boncuk sayısı ile lif özellikleri arasında düşük ancak istatistiksel olarak önemli korelasyon belirlenmiştir. İplik inceldikçe ve kumaş sıklığı azaldıkça oluşan boncukların toplam sayısı artmaktadır. İplik büküm sayısı arttıkça oluşan boncuk sayısı azalmaktadır, ancak çoklu karşılaştırma testinde kumaşlar arasındaki fark önemsiz bulunmuştur. Ağırlıklı toplam boncuk sayısı

açısından ise $\alpha_e=3.2$ ve $\alpha_e=3.6$ büküm katsayılarındaki ipliklerden üretilen kumaşların boncuklanma dereceleri arasındaki fark önemsizdir. Bu durumda $\alpha_e=4.0$ iplik büküm katsayısına sahip ipliklerden üretilen interlok kumaşlarda daha az ve küçük boncukların oluştuğu söylenebilir.

Kumaşların boncuklanma özelliğinin değerlendirilmesinde sadece boncuklanma derecelerine göre yapılan bir değerlendirme çoğu zaman yeterli değildir. Çünkü fazla sayıda küçük boncuk içeren kumaşların boncuklanma dereceleri ile az sayıda büyük boncuk içeren kumaşların boncuklanma dereceleri aynı değerde olabilmektedir. Ancak iki farklı durumda kumaşların görsel olarak görünüşleri aynı değildir. Amirbayat ve Alagha (1994) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, toplam boncuk alanı ve boncukların toplam sayısı değerleri ile subjektif değerlendirme sonuçlarının çok düşük bir korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum subjektif değerlendirmede, daha büyük ancak az sayıdaki boncuğun, daha fazla ancak daha küçük sayıdaki boncuğa göre daha kötü bir değerlendirme yapılmasından kaynaklandığı vurgulanmıştır. Bu nedenle, kumaş yüzeyinde oluşan boncukların yapısal olarak da değerlendirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda yapılan bazı çalışmaların, boncuklanma derecesinin, görüntü analizi ile ölçülen boncuk sayısı, boncuk alanı ve boncuk yoğunluğu değerleri yardımıyla hesaplanması üzerine yoğunlaştığı belirlenmiştir. Bu amaçla çalışmada, PillGrade sisteminde ölçülen **ortalama boncuk yüksekliği, ortalama boncuk alanı ve ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki fark değerleri** incelenmiştir. Penye harmanlarından üretilen kumaşların ortalama boncuk büyüklüklerinin, karde harmanlarından üretilen kumaşların içerdiği boncuklara göre daha küçük olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla tarama işlemi görmüş penye ipliklerden üretilen kumaşlarda

oluşan boncuk sayıları ile karde ipliklerden üretilen kumaşlarda oluşan boncuk sayıları arasında fark belirgin olmasa bile farklılığın oluşan boncukların yapısından kaynaklandığı söylenebilir. Bu durum penye ipliklerinde kullanılan pamuk liflerinin kısa elyaf oranının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. İplik numarası ve kumaş sıklığı açısından iplik inceldikçe ve kumaşın örtme faktörü azaldıkça oluşan boncukların yükseklik ve alan değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

İnterlok örme kumaşların PillGrade sisteminde ölçülen *hav yükseklikleri* açısından harmanlar dört gruba ayrılmıştır. Ölçülen diğer tüm boncuklanma özelliklerinden farklı olarak hav yükseklik değerleri ile tüm lif özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları yüksek ve istatistiksel olarak önemlidir. Boncuk oluşum aşamalarından ilki, kumaşı oluşturan iplik yapısından liflerin yüzeye doğru hareket ederek hav oluşturmaktır. Boncuklanma testi sırasında oluşan havların büyük bir kısmı boncuk oluşturduğu için kumaş yüzeyindeki havların ortalama yüksekliği ile belirlenen korelasyon katsayıları, diğer özelliklere göre düşük çıkmıştır. Çalışmada iplik özelliklerinden iplik numarası, iplik büküm sayısı, iplik tüylülüğü özellikleri ile hav yüksekliği değerleri arasında korelasyon önemli bulunmuştur. Kumaşların hav yükseklik değerleri ile boncuk yapıları bir arada değerlendirildiğinde, dinamik bir proses olan kumaş boncuklanma özelliğinin hangi aşamalarının gerçekleştiği hakkında fikir elde edilebilir. Örneğin bazı harmanlarda hav yüksekliği düşük iken boncuk yüksekliğinin yüksek olması, boncuk oluşumunun hızlı gerçekleştiğini ifade edebilmektedir. Tam tersine test sonunda hav yüksekliği yüksek ve oluşan ortalama boncuk yüksekliği değeri düşük ise, boncuk oluşumunun ilk

aşamalarının devam ettiği ve boncuk büyüme aşamasının başladığı şeklinde yorum yapılabilir.

Çalışmada ölçülen bir başka kumaş özelliği Frictorq cihazı ile ölçülen kinematik sürtünme katsayısı olup, boncuklanma derecesine bağlı olarak kumaşın yüzey pürüzlülüğü ile ilişki korelasyon analizi ile incelenmiştir. Boncuklanma derecesi ile kumaş kinematik sürtünme katsayısı arasında negatif bir korelasyon var iken, PillGrade sistemi ile ölçülen diğer boncuklanma özellikleri ile pozitif yönlü doğrusal bir ilişki belirlenmiştir. Bu durumda özellikle kumaşların boncuklanma özelliklerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda boncuklanmış kumaşların yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinin değerlendirme için bir alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre genel bir değerlendirme yapıldığında, kumaş boncuklanma özelliğinin belirlenmesinde, yaygın olarak kullanılan, boncuklanmış kumaş yüzeylerinin standart fotoğraflarla kıyaslanması şeklinde gerçekleştirilen subjektif değerlendirme ile kumaşların sadece boncuklanma derecesi belirlenmektedir, ancak sadece boncuklanma derecesi ile kumaş boncuklanma özelliği hakkında yeterli ve güvenilir sonuçların elde edilemeyeceği belirlenmiştir. Sadece boncuklanma derecesi ile ifade edilen kumaş boncuklanma özelliği, kumaş yüzeyinde oluşan boncukların yapısı hakkında fikir vermemekte ve yapılan değerlendirmenin eksik olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle kumaşların boncuklanma özellikleri değerlendirilirken, boncuklanma derecesi yanında boncukların ortalama alanı, ortalama boncuk yüksekliği ve hav yüksekliği değerlerinin birlikte değerlendirilmesi çok daha yeterli ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

Regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemine ait sonuçların değerlendirilmesi;

İnterlok örme kumaşların PillGrade sistemi ile ölçülen boncuklanma derecesi, toplam boncuk sayısı, ağırlıklı ve toplam boncuk sayısı arasındaki fark, ortalama boncuk alanı, ortalama boncuk yüksekliği ve ortalama hav yüksekliği değerlerinin her biri için tahminleme yapılmıştır. Çalışmada boncuklanma özelliklerinin tahminlenmesi amacıyla çok değerkenli regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılmıştır. Bu nedenle her iki yöntem ile yapılan analizler karşılaştırılmalı olarak bu bölümde sunulmaktadır.

Serpme diyagramlarıyla her bir lif, iplik ve kumaş özelliğinin ilgili bağımlı değerşken ile ilişkisi incelenerek özellikler analizlere dahil edilmiştir. Çalışmada lif özellikleri fitil numunelerinde yapılan ölçümlerle belirlendiğinden, iplik üretim aşamalarının ara ürün özelliklerinin ölçülmesinde kullanılan AFIS PRO 2 cihazında ölçülen özellikler bağımsız değerşken olarak analizlerde kullanılmıştır. Literatürde lif mukavemetinin kumaş boncuklanma özelliği üzerine etkisinin önemli olduğu belirtilmektedir. Ancak materyal olarak sadece pamuk lifleri kullanıldığından ve lif mukavemet değerleri arasında çok önemli bir fark olmadığından HVI cihazında ölçülen lif mukavemeti analizlere dahil edilmemiştir. Regresyon analizlerinde boncuklanma özellikleri ile bağımsız değerşken olarak seçilen lif, iplik ve kumaş özellikleri arasında doğrusal bir ilişki olması nedeniyle bağımsız değerşkenlerde herhangi bir dönüşüm yapılmadan analizler gerçekleştirilmiştir. Tahminlemede olabildiğince en az girdi değerleriyle en yüksek tahminleme gücüne sahip denklem ya da modelin

belirlenmesi hedeflenmektedir. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağları kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde toplam veri setinin %75`lik kısmı öğrenme verisi olarak kullanılmış, geri kalan %25`lik veri seti ise test verisi olarak kullanılmıştır. Öğrenme verileri ve test verileri için ayrı ayrı tanımlayıcı istatistik değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca regresyon yöntemi ile kıyaslama yapabilmek amacıyla oluşturulan modelde tüm veriler kullanılarak hesaplanan tahmin değerlerinin veri standart sapması, tahminlenen ve gerçek değerler arasındaki hata değerlerinin ortalaması, hata kareler ortalaması, mutlak hata ortalaması, mutlak hata yüzde ortalaması ve regresyon katsayısı olmak üzere tanımlayıcı istatistik değerleri belirlenmiştir. Bütün analizlerde ağırlıkların belirlenmesinde kullanılan öğrenme oranı ve momentum katsayıları yapılan denemeler sonucunda sırasıyla 0.01 ve 0.3 olarak seçilmiştir. Girdi ve çıktı katmanlarında transfer fonksiyonu olarak doğrusal, ara katmanda hiperbolik fonksiyon kullanılmıştır.

Yapay sinir ağları kullanılarak gerçekleştirilen pek çok çalışmada, bu yöntemin dezavantajının tahminlemelerde kullanılan özelliklerin değer aralıkları dışında, oluşturulan modelin beklenildiği kadar iyi sonuçlar vermemesi olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle çalışmada belirlenen modellerin geçerli olduğu, regresyon denklemleri ve YSA modellerinde yer alan lif, iplik ve kumaş özelliklerine ait değer aralıkları Çizelge 9.1`de verilmektedir.

Çizelge 9. 1: Regresyon ve YSA yöntemlerinde yer alan bağımsız değişkenlerin veri aralıkları

Regresyon denklemleri ve YSA modellerinde yer alan bağımsız değişkenler	Minimum değer	Maksimum değer
<i>Lif Özellikleri</i>		
Ağırlıkça ortalama lif uzunluğu (L_w)	23,11	27,49
Ağırlıkça ortalama lif uzunluk varyasyon katsayısı (L_w %CV)	30,20	38,07
Kısa elyaf oranı (SFC_w %)	2,04	9,20
Lif inceliği (mtex)	174,8	193,3
Olgunluk oranı (M)	0,943	1,005
Olgun olmayan lif içeriği (IFC %)	3,55	9,87
<i>İplik Özellikleri</i>		
İplik numarası (Ne)	17,9	47,2
İplik büküm sayısı (T/m)	533,2	1107,6
İplik tüylülüğü (H)	4,75	9,39
İplik tüylülük varyasyonu (sh)	1,35	2,20
<i>Kumaş Özellikleri</i>		
Örtme faktörü (K)	0.836	1.578

İnterlok örme kumaşların PillGrade sistemi ile ölçülen boncuklanma derecesi, toplam boncuk sayısı, ağırlıklı ve toplam boncuk sayısı arasındaki fark, ortalama boncuk alanı, ortalama boncuk yüksekliği ve ortalama hav yüksekliği değerlerinin tahminlenmesi için kullanılan çoklu regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemlerinin tahminleme güçlerini karşılaştırmak için her bir bağımlı değişkene ait tanımlayıcı istatistik değerleri Çizelge 9.2`de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 9.2: Tahminlenen kumaş boncuklanma özelliklerinin YSA ve regresyon yöntemleri ile tahminlenmesine ait tanımlayıcı istatistikler

Tahminlenen Kumaş Boncuklanma Özelliği	Tanımlayıcı istatistikler	Yapay sinir ağı (MLP)			Regresyon (MLR)
		Öğrenme verileri	Test verileri	Tüm veriler	
Boncuklanma derecesi	Veri Standart Sapması	0,54	0,60	0,56	0,52
	Hata Ortalaması	-0,003	-0,019	0,002	0,00
	Hata Kareler Ortalaması	0,05	0,08	0,05	0,10
	Mutlak Hata Ortalaması	0,16	0,24	0,18	0,25
	Mutlak Hata Yüzde Ortalaması	0,10	0,15	0,11	0,17
	Regresyon katsayısı	0,8643	0,8202	0,8514	0,7267
Toplam Boncuk Sayısı	Veri standart sapması	29,44	28,02	29,18	28,05
	Hata ortalaması	-0,005	-0,956	-0,240	0,000
	Hata Kareler Ortalaması	134,09	175,18	144,25	221,58
	Mutlak Hata Ortalaması	9,12	10,61	9,49	11,65
	Mutlak Hata Yüzde Ortalaması	0,08	0,09	0,08	0,11
	Regresyon katsayısı	0,8661	0,8197	0,8565	0,7794
Ağırlıklı toplam boncuk sayısı- Toplam boncuk sayısı	Veri standart sapması	30,03	28,83	29,77	23,83
	Hata ortalaması	0,185	-0,245	0,078	0,000
	Hata Kareler Ortalaması	179,78	223,63	190,63	321,46
	Mutlak Hata Ortalaması	10,53	11,05	10,66	13,80
	Mutlak Hata Yüzde Ortalaması	0,33	0,16	0,29	0,42
	Regresyon katsayısı	0,8080	0,7325	0,7850	0,6374
Ortalama boncuk alanı	Veri standart sapması	0,617	0,617	0,617	0,50
	Hata ortalaması	-0,002	-0,007	-0,019	0,000
	Hata Kareler Ortalaması	0,10	0,11	0,10	0,13
	Mutlak Hata Ortalaması	0,251	0,243	0,249	0,28
	Mutlak Hata Yüzde Ortalaması	0,19	0,19	0,19	0,21
	Regresyon katsayısı	0,7434	0,7294	0,7371	0,6658
Ortalama boncuk yüksekliği	Veri standart sapması	0,153	0,165	0,156	0,13
	Hata ortalaması	0,000	0,002	0,000	0,000
	Hata Kareler Ortalaması	0,01	0,01	0,01	0,01
	Mutlak Hata Ortalaması	0,06	0,08	0,07	0,07
	Mutlak Hata Yüzde Ortalaması	0,04	0,05	0,05	0,05
	Regresyon katsayısı	0,7314	0,7020	0,7236	0,6890
Ortalama hav yüksekliği	Veri standart sapması	0,213	0,213	0,213	0,15
	Hata ortalaması	-0,001	0,017	0,003	0,000
	Hata Kareler Ortalaması	0,01	0,01	0,01	0,02

	Mutlak Hata Ortalaması	0,10	0,09	0,10	0,12
	Mutlak Hata Yüzde Ortalaması	0,05	0,05	0,05	0,06
	Regresyon katsayısı	0,6735	0,6967	0,6777	0,5179

Tanımlayıcı istatistik değerleri incelendiğinde her bir bağımlı değişken için, yapay sinir ağları yöntemi ile elde edilen model ile yapılan tahminlemeye ait hata değerlerinin ortalamasının daha düşük olduğu görülmektedir. Her iki yönteme ait regresyon katsayıları da göz önünde bulundurulduğunda, yapay sinir ağları yönteminin tahminleme gücünün daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak yine de boncuklanma ile ilgili özelliklerin tahminlenmesinde nispeten düşük regresyon katsayılarına sahip modellerin belirlenmesinin, boncuklanmanın dinamik bir özellik olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kumaş boncuklanması, test süresi boyunca farklı aşamaların bir arada meydana geldiği bir prosestir. Özellikle pamuklu kumaşlarda bir yandan kumaş yüzeyinde yoğun bir şekilde havlanma oluşurken, bir yandan da oluşan havlar boncuk oluşturmakta ve hatta oluşan boncukların bir kısmı dökülme aşamasına kadar ulaşmaktadır. Bu durum boncuklanma özelliğinin tahminlemesi ile elde edilebilecek modellerin ve denklemlerin tahminleme gücünü sınırlandırmaktadır.

Her bir özellik için regresyon analizi ve yapay sinir ağları (YSA) ile belirlenen denklem ve modeller aşağıda karşılaştırmakta ve sonuçlar açıklanmaktadır.

İnterlok kumaşların **boncuklanma derecesi** için oluşturulan regresyon denklemi, kumaş örtme faktörü, iplik numarası, iplik büküm sayısı ve kısa elyaf oranı değerlerini içerirken, YSA yöntemi ile belirlenen model bu özellikler yanında olgun olmayan lif miktarı ve ortalama lif uzunluğu

değerlerini de içermektedir. Oluşturulan yapay sinir ağında yer alan girdilerin, tahminlemeye katkısını ifade eden hassasiyet analizlerinde boncuklanma derecesini etkileyen özelliklerin sırasıyla kumaş örtme faktörü, iplik büküm sayısı, iplik numarası, kısa elyaf oranı, olgun olmayan lif içeriği ve ortalama lif uzunluğunun olduğu belirlenmiştir. Modelin ilk dört girdisi aynı zamanda regresyon denkleminde yer alan bağımsız değişkenlerden oluşmaktadır. Regresyon denklemine göre, kısa elyaf oranı arttıkça ve iplik inceldikçe kumaşların boncuklanma eğilimi artarken, iplik büküm sayısı ve kumaş örtme faktörünün artmasıyla birlikte boncuklanma eğiliminde azalma meydana gelmektedir. Beltran ve arkadaşları (2006) tarafından gerçekleştirilen benzer bir çalışma, %100 yünlü 1x1 rib ve süprem örme kumaşlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tahminlemede yer alan bağımsız değişkenlerin boncuklanma derecesi ile lineer olmayan ilişkisi nedeniyle yapay sinir ağları yöntemi ($R^2=0.881$) ile yapılan tahminlemeye göre çoklu regresyon analizinde daha düşük bir regresyon katsayısı ($R^2=0.571$) belirlenmiştir. Çalışmada boncuk oluşumu üzerine en etkili özelliğin kumaş örtme faktörü olduğu belirlenmiştir. Diğer önemli özellikler ise iplik numarası, ince yer sayısı, lif uzunluğu ve iplik bükümü olarak sıralanmıştır. Orta derecede etkili özellikler lif çapı, iplik tüylülüğü olarak sıralanmıştır. Boncuklanma üzerine en az etkili özellikler ise lif kıvrımlılığı, lif çapı ve uzunluk dağılımı ve 30 mm`den kısa liflerin yüzdesi olarak belirlenmiştir. Önemli olmayan lif özellikleri modelden çıkarılarak yeniden yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuş ancak yeni modellerin hata payının arttığı ve tahminleme hassasiyetinin azaldığı gözlenmiştir.

İnterlok kumaşlarda boncuklanma testi sonucunda oluşan **toplam boncuk sayısı** için oluşturulan regresyon denklemi ve aynı zamanda YSA

modeli 8 değişikenden oluşmaktadır. Lif özellikleri ile toplam boncuk sayısı arasındaki korelasyonun düşük ancak istatistiksel olarak önemli olması nedeniyle de AFIS PRO 2 cihazında ölçülen beş lif özelliği her iki yöntemde de yer almıştır. Lif olgunluğu, kısa elyaf oranı, olgun olmayan lif miktarı, ortalama lif uzunluğu, lif inceliği, iplik numarası, iplik büküm sayısı, kumaş örtme faktörü değerleri girdi değerleri olarak denklemde ve YSA modelinde bulunmaktadır. Regresyon denkleminde bağımsız değişkenlere ait katsayılar incelendiğinde, ortalama lif uzunluğu, iplik büküm sayısı, kumaş örtme faktörü arttıkça oluşan boncukların toplam sayısının azaldığı; kısa elyaf oranı, lif inceliği, olgun olmayan lif miktarı, lif olgunluğu arttıkça ve iplik inceldikçe ise toplam boncuk sayısının arttığı belirlenmiştir.

İnterlok kumaşlarda oluşan boncukların yapısı hakkında daha iyi fikir veren ***ağırlıklı toplam boncuk sayısı ile toplam boncuk sayısı arasındaki fark*** için oluşturulan regresyon denklemi, ortalama lif uzunluğu, ortalama lif uzunluk varyasyon katsayısı, iplik numarası, iplik tüylülüğü ve kumaş örtme faktörü değerlerinden oluşmaktadır. YSA modeli ise, lif inceliği, kısa elyaf oranı, iplik tüylülüğü, iplik tüylülük varyasyonu, olgun olmayan lif miktarı, iplik numarası ve kumaş örtme faktörü olmak üzere 7 girdi değerinden oluşmaktadır. Regresyon denkleminin daha fazla sayıda girdi içeren YSA modeline göre tahminleme gücü oldukça düşük çıkmıştır. Regresyon denkleminde bağımsız değişkenlere ait katsayılar incelendiğinde ortalama lif uzunluğu ve uzunluk varyasyonu, iplik numarası ve iplik tüylülüğü arttıkça, kumaş örtme faktörü azaldıkça oluşan ağırlıklı ve toplam boncuk sayıları arasındaki farkın arttığı, yani boncuk büyüme aşamasının daha hızlı olduğu belirlenmiştir.

İnterlok kumaşlarda **ortalama boncuk alanı** için oluşturulan regresyon denklemi, boncuklanma derecesi için oluşturulan denkleme benzer şekilde kısa elyaf oranı, iplik numarası, iplik büküm sayısı ve kumaş örtme faktörü olmak üzere dört bağımsız değişken içermektedir. YSA yöntemi ile elde edilen model ise bu değişkenler yanında ortalama lif uzunluğunun da dahil olduğu beş girdi değerinden oluşmaktadır. Regresyon denkleminin katsayılarına göre, iplik büküm sayısı ve kumaş örtme faktörünün artmasıyla, liflerin kumaş yüzeyine doğru hareketleri zorlaştığı için oluşan boncukların ortalama alanı azalmakta; kısa elyaf oranının ve iplik numarasının artmasıyla, yani ipliğin incelmesiyle ortalama boncuk alanı artmaktadır. İnce ipliklerde tüylülük az olduğundan oluşan boncuklar havlar tarafından gizlenmemekte ve dolayısıyla PillGrade sistemi ile boncukların sistemde belirgin olarak ölçülmesi kolaylaşmaktadır. Subjektif değerlendirmede de aynı şekilde ince ipliklerden üretilen kumaşlarda oluşan boncukların kumaş yüzeyinde daha belirgin olarak fark edildiği belirlenmiştir.

İnterlok kumaşlarda **ortalama boncuk yüksekliği** için oluşturulan regresyon denklemi, ortalama lif uzunluğu, kısa elyaf oranı, iplik tüylülüğü ve kumaş örtme faktörü olmak üzere dört değişkenden oluşmaktadır. YSA analizi ile elde edilen model ise bu özelliklerin yanında iplik büküm sayısını da içermektedir. Regresyon denklemine göre ortalama lif uzunluğu, kısa elyaf oranı, iplik tüylülüğü arttıkça ve kumaş örtme faktörü azaldıkça oluşan boncukların ortalama yükseklikleri artmaktadır.

İnterlok kumaşlarda ortalama **hav yüksekliği** için oluşturulan regresyon denklemi ve YSA modeli, diğer boncuklanma özelliklerine göre en düşük tahminleme gücüne sahiptir. Bu durum boncuklanma testi

sırasında kumaş yüzeyinde oluşan havların test sonunda bir kısmının boncuk oluşturmaya başlaması, bir kısmının boncuk yapısına dönüşmesi ve hatta bir kısmının dökülmesinden kaynaklanabilir. Regresyon denklemi lif olgunluk oranı, iplik tüylülüğü, iplik tüylülük varyasyonu, iplik numarası ve kumaş örtme faktörü olmak üzere 5 bağımsız değişken içerirken, YSA modeli bu özellikler yanında kısa elyaf içeriği, olgun olmayan lif miktarı, iplik büküm sayısı özellikleri de dahil olmak üzere 7 girdi değişkeni içermektedir. Uçar ve Boyraz (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada farklı pamuk iplikleri kullanılarak farklı örme makinelerinde üretilen 43 adet düz örgü kumaş kullanılmıştır. İplik numarası, iplik tüylülüğü, kumaş sıklık faktörünün havlanmayı etkileyen özellikler olduğu belirlenmiştir. Çalışmada kumaş havlanma derecesinin tahminlenmesi için regresyon ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılmıştır. Sadece iplik tüylülüğünün girdi değeri kullanıldığı regresyon denklemi ile elde edilen tahmin ve gerçek değerler arasındaki korelasyon 0.42, yapay sinir ağları modeli ile korelasyon 0.88 olarak belirlenmiştir.

Tahminlenen tüm boncuklanma özelliklerine ait regresyon denklemleri ve yapay sinir ağı modellerinde kumaş örtme faktörü bağımsız değişken olarak bulunmaktadır. Bu nedenle literatürde de belirtildiği gibi yapılan çalışma sonucunda boncuklanmayı etkileyen en önemli özellik kumaş örtme faktörü olarak belirlenmiştir. Lif özelliklerinden kısa elyaf oranının diğer lif özelliklerine göre daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır. İplik özelliklerinden ise iplik numarası ve iplik büküm sayısının interlok örme kumaşların boncuklanma özelliği üzerine önemli etkisi bulunmuştur.

Pamuk lifinin doğal bir elyaf olması, lif özelliklerinin boncuklanma üzerine etkisinin kontrollü bir şekilde incelenmesini zorlaştırmaktadır.

Ayrıca pamuk liflerinden üretilen kumaşlarda boncuklanma mekanizmasının son aşamasına kadar ulaşılabilen, dolayısıyla oluşan boncukların bir kısmı dökülebilmektedir. Bu durum pamuklu örme kumaşların boncuklanma özelliğinin tahminlenmesinde belirlenen denklem ya da modellerin tahminleme gücünü sınırlandırmaktadır. Bu nedenle bundan sonra yapılacak çalışmalarda özellikle sentetik ya da rejenere selüloz liflerinden üretilen kumaşlarda boncuklanma özelliğinin tahminlenmesinin daha uygun olacağı düşünülmektedir. Ayrıca ileride gerçekleştirilecek çalışmalarda, bu çalışma kapsamının diğer örme kumaş tiplerini kapsayacak şekilde ve lif, iplik ve kumaş özelliklerine ait veri grubunun daha uç değerleri içerecek şekilde genişletilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alston P.**, 1992, Effect of Yarn Spinning System on Pill Resistance of Polyester/Cotton Knit Fabrics, *Textile Research Journal*, 62 (2), 105-108
- Amirbayat J., Alagha M.J.**, 1994, The Objective Assesment of Fabric Pilling Part II: Experimental Work, *Journal of Textile Institute*, Vol.85, No.3, pp. 397-401
- Baird E.M., Legere L.C., Stanley H.E.**,1956, Random Tumble Pilling Tester, *Textile Research Journal*, 26, pp.731-735
- Behera B.K., Mohan M.T.E.**, 2005, Objective Measurement of Pilling By Image Processing Technique, *International Journal of Clothing Science and Tecnology*, Vol.17, No.5, pp.279-291
- Behera B.K., Mishra R.**, 2006, Objective Measurement of Fabric Appearance Using Digital Image Processing, *Journal of The Textile Institue*,Vol.97, No.2, pp.147-153
- Beltran R., Wang L., Wang X.**, 2005, Predicting the Pilling Propensity of Fabrics through Artificial Neural Network Modeling, *Textile Research Journal*, 75(7), pp.557-561
- Beltran R., Wang L., Wang X.**, 2006a, Predicting the Pilling Tendency of Wool Knits, *Journal of Textile Institute*, Vol.97, No.2, pp.129-136
- Beltran R., Wang L., Wang X.**, 2006b, Measuring the Influence of Fibre-to-Fabric Properties on the Pilling of Wool Fabrics, *Journal of Textile Institute*, Vol.97, No.3, pp.197-204
- Beltran R., Wang L., Wang X.**, 2007, A Controlled Experiment on Yarn Hairiness and Fabric Pilling, *Textile Research Journal*, Vol.77(3), pp.179-183
- Biermann I.**, 2001, Pilling Tendency of Textiles-Special Features of Measurement and Assessment, *Melliand*, Vol.4, pp.E83-E84
- Brand R.H., Bohmfalk B.M.**, 1967, A Mathematical Model of Pilling Mechanisms 1, *Textile Research Journal*, Vol.37, pp.467-476
- Bueno M.A, Durand B., Renner M.**, 2000, Optical Characterization of the State of the Fabric, *Optical Engineering*, 39(6), pp.1697-1703

- Campos R., Bechtold T., Rohrer C.,** 2003, Fiber Friction in Yarn – A Fundamental Property of Fibers, *Textile Research Journal*, 73(8), pp.721-726
- Chattopadhyay R., Guha A.,** 2004, Artificial Neural Networks Applications to Textiles, *Textile Progress*, Vol.35, No.1, pp.3-13
- Chen X., Huang X.B.,** 2004, Evaluation Fabric Pilling with Light-Projected Image Analysis, *Textile Research Journal*, 74(11), pp.977-981
- Conti W., Tassinari E.,** 1974, A Simplified Kinetic Model for the Mechanism of Pilling, *Journal of Textile Institute*, 65, pp.119-125
- Cooke W. D., Arthur D.F.,** 1981, Simulation Model of The Pilling Process, *Journal of The Textile Institute*. No:3, pp.111-120
- Cooke W. D.,** 1982, The Influence of Fibre Fatigue on The Pilling Cycle: Part I: Fuzz Fatigue, *Journal of The Textile Institute*, No.1, pp.13-19
- Cooke W. D.,** 1983, The Influence of Fibre Fatigue on The Pilling Cycle: Part II: Fibre Entanglement and Pill Growth, *Journal of The Textile Institute*, Vol. 74, No.3, pp.101-108
- Dupont teknik bülteni** (Understanding the Science of Pilling: The Untold Story - <http://home.comcast.net/~roadska/alta.pdf>)
- Gintis D., Mead J. E.,**1959, The Mechanism of Pilling, *Textile Research Journal*, Vol. 29, pp.578-585
- Hauser P.,** 2004, *Chemical Finishing of Textiles*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp.129 – 132
- Hearle J.W.S., Wilkins A.H.,** 2006, Mechanistic modeling of pilling. Part I: Detailing of mechanisms, *Journal of Textile Institute*, Vol.97, No.4, pp.359-368
- Hearle J.W.S., Wilkins A.H.,** 2006, Mechanistic modeling of pilling. Part II: Individual-Fibre Computational Model, *Journal of Textile Institute*, Vol.97, No.4, pp.369-376
- Hsi C.H, Bresee R.R., Annis P.A.,** 2000, Characterizing Fuzz on Fabrics Using Image Analysis, *Textile Research Journal*, 70 (10), pp.859-865
- Jensen K.L., Carstensen J.M.,** 2002, Fuzz and Pills Evaluated on Knitted Textiles by Image Analysis, *Textile Research Journal*, 72 (1), pp.34-38

- Jackson T., Keyes N.M., Haris P., Holden J.B.,** 2005, A Preliminary Report: Fuzz and Pilling Surface Changes on Cotton Fabrics Measured By Linetech Industries' Image Analysis System, Beltwide Cotton Conferences, New Orleans, Louisiana - January 4 - 7, 2005, pp.2219-2228
- Kahraman B.,** 2006, Örne Kumaşlarda Boncuklanma Nedenlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kang T.J., Cho D.H., Kim S.M.,** 2004, Objective Evaluation of Fabric Pilling Using Stereovision, Textile Research Journal, 74(11), pp.1013-1017
- Kim S.C., Kang T. J.,** 2005a, Fabric Surface Roughness Evaluation Using Wavelet-Fractal Method: Part II: Fabric Pilling Evaluation, Textile Research Journal, 75(11), pp.761-770
- Kim S.C.,Kang T. J.,** 2005b, Image Analysis of Standard Pilling Photographs Using Wavelet Reconstruction, Textile Research Journal, 75 (12), pp.801-811
- Kim S.C.,Kang T. J.,** 2005c, Automatic Evaluation of Fabric Pilling Using a 3-D Non-contact Scanning System, IMTC 2005 Instrumentation and Measurement Technology Conference, Ottawa, Canada, pp.628-632
- Konda A., Xin L.C., Takadera M., Okoshi Y., Toriumi K.,** 1990, Evaluation of Pilling by Computer Image Analysis, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol. 36, No.3, pp.96-107
- Latifi M., Kim H.S., Pourdeyhimi B.,** 2001, Characterizing Fabric Pilling Due to Fabric-to-Fabric Abrasion, Textile Research Journal, 71(7), pp. 640-644
- Long L., Zhou W.** 2006, Analysis on the Pilling Factors of Cashmere Knitted Fabrics, Fibers and Polymers, Vol.7, No.2, pp.213-216
- Marmarah A.,** 2004, Atkı Örmeciliğine Giriş, E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, Yayın No:9, ISBN No:975-483-448-2, pp.1-5
- Millan M.S., Abril H.C.,** 2001, Image Analysis of Standard Pilling Series, Optical Engineering, Vol.40, No.7, pp.1281-1286

- Özgül, N.**, 2003, Kumaşlarda Fiziksel Kalite Kontrol Yöntemleri, E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, Yayın No:21, ISBN No:975-483-579-9, pp.90-104
- Özgüney A.T., Taşkın C., Dönmez S., Özerdem A., Gürkan P., Özçelik G., Baykaldı B.**, 2004, Kompakt ve Konvansiyonel Ring İpliklerden Dokunan ve Örülen Kumaşların Boya-Baskı İşlemleri Öncesi ve Sonrası Özelliklerinin Karşılaştırılması, Tübitak TAM 2003-04 projesi, p.110
- Palmer S., Wang X.**, 2003, Objective Classification of Fabric Pilling Based on The Two dimensional Discrete Wavelet Transform, Textile Research Journal, 73(8), pp.713-720
- Palmer S., Wang X.**, 2004, Evaluating the Robustness of Objective Pilling Classification with the Two Dimensional Discrete Wavelet Transform, Textile Research Journal, 74 (2), pp.140-145
- PillGrade Automated 3D Pilling & Fuzz Grading System Operating Manual**, SDL Atlas, LineTech Industries
- Rangulam R.B.**, Amirbayat J., Porat I., 1993, The Objective Assesment of Fabric Pilling Part I: Methodology, Journal of Textile Institute, Vol.84, No.2, pp.221-226
- Sirikasemlert A., Tao X.**, 2000, Objective Evaluation of Textural Changes in Knitted Fabrics by Laser Triangulation, 70 (12), pp.1076-1087
- Sülar V., Okur A.**, 2001, Kumaşlarda Aşınma ve Eskime, Tekstil Maraton, Sayı:4, 37-39
- Ukponmwan J.O, Mukhopadhyay A., Chatterjee K.N.**, 1998, Pilling, The Textile Enstitute, 28(3), pp.16-42
- Uçar N., Boyraz P.**, 2005, Measurement of Fuzz Fibers on Fabric Surface Using Image Analysis Methods, Fiber And Polymers, Vol.6, No.1, pp.79-81
- Uçar N., Ertuğrul S.**, 2007, Prediction of Fuzz Fibers on Fabric Surface by Using Neural Network and Regression Analysis, Fibres &Textiles in Eastern Europe, Vol.15, No.2(61), pp.58-61
- Uğur A.**, 2006, Yapay sinir Ağları Ders Notları
- Yurtoglu H.**, 2005, Yapay Sinir Ağları Metodolojisi İle Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği,

Uzmanlık Tezi, Ekonomik Modeller Ve Stratejik Araştırmalar Genel M¼d¼rl¼g¼, Yayın No: DPT:2683

Zhang J., Wang X., Palmer S., 2007a, Objective Grading of Fabric Pilling with Wavelet Texture Analysis, *Textile Research Journal*, 77(11), pp.871-879

Zhang J., Wang X., Palmer S., 2007b Objective Pilling Evaluation of Wool Fabrics, *Textile Research Journal*, 77(12), pp.929-936

Xin B., Hu J., Yan H., 2002, Objective Evaluation of Fabric Pilling Using Image Analysis Techiques, *Textile Research Journal*, 72(12), pp.1057-1064

Xu B., 1997, Instrumental Evaluation of Fabric Pilling, *Journal of Textile Institute*, 88, pp.488-500

EKLER

EK 1: İplik Numarası Test Sonuçları

Hammadde Numarası	İplik Numarası (Ne)	İplik Büküm Katsayısı (α_e)	Ortalama İplik Numarası (Ne)	Standart Sapma	%CV	
H1	20	3,2	19,8	0,53	2,65	
		3,6	19,2	0,36	1,89	
		4,0	19,1	0,31	1,65	
	30	3,2	29,9	0,57	1,89	
		3,6	29,5	0,24	0,83	
		4,0	29,4	0,45	1,53	
	40	3,2				
		3,6	40,8	0,50	1,23	
		4,0	39,9	0,46	1,15	
H2	20	3,2	19,8	0,26	1,31	
		3,6	19,5	0,21	1,09	
		4,0	19,3	0,52	2,71	
	30	3,2	29,9	0,31	0,45	
		3,6	29,4	0,19	0,65	
		4,0	28,6	0,40	1,39	
	40	3,2	40,2	0,48	1,20	
		3,6	39,9	0,39	0,99	
		4,0	39,2	0,62	1,58	
H3	20	3,2	20,4	0,31	1,51	
		3,6	20,3	0,18	0,87	
		4,0	20,0	0,23	1,15	
	30	3,2	30,5	0,78	2,57	
		3,6	29,7	0,59	1,99	
		4,0	29,9	0,51	1,71	
	40	3,2	41,8	0,64	1,52	
		3,6	40,8	1,05	2,57	
		4,0	40,3	1,04	2,57	
H4	20	3,2	19,0	0,20	1,04	
		3,6	18,2	0,18	0,98	
		4,0	17,9	0,17	0,96	

EK 1: İplik Numarası Test Sonuçları (devam)

Ham madde Numarası	İplik Numarası (Ne)	İplik Büküm Katsayısı (α_c)	Ortalama İplik Numarası (Ne)	Standart Sapma	%CV	
H4	30	3,2	28,2	0,45	1,59	
		3,6	28,2	0,59	2,08	
		4,0	27,6	0,42	1,52	
	40	3,2	39,3	0,45	1,16	
		3,6	39,2	0,60	1,54	
		4,0	37,6	0,57	1,52	
H5	20	3,2	22,4	0,47	2,12	
		3,6	22,1	0,23	1,05	
		4,0	22,1	0,11	0,50	
	30	3,2	34,3	0,00	0,00	
		3,6	33,7	0,36	1,07	
		4,0	33,1	0,29	0,88	
	40	3,2	47,2	0,86	1,82	
		3,6	45,3	0,54	1,19	
		4,0	45,1	0,46	1,02	
	H6	20	3,2	19,9	0,33	1,68
			3,6	19,7	0,30	1,54
			4,0	19,6	0,51	2,61
30		3,2	30,9	0,44	1,43	
		3,6	30,6	0,81	2,64	
		4,0	30,2	0,53	1,74	
40		3,2	42,1	0,87	2,08	
		3,6	42,1	0,62	1,48	
		4,0	40,7	0,95	2,32	
H7		20	3,2	21,2	0,24	1,12
			3,6	21,0	0,57	2,72
			4,0	20,9	0,10	0,46
	30	3,2	31,7	0,09	0,28	
		3,6	31,5	0,59	1,87	
		4,0	30,9	0,47	1,53	
	40	3,2	42,5	0,62	1,45	
		3,6	42,6	0,83	1,95	
		4,0	42,0	0,77	1,83	

EK 2: İplik Büküm Sayısı Ölçüm Sonuçları

Hammadde Numarası	İplik No (Ne)	Büküm katsayısı (α_c)	T/m	T/'	Standart Sapma	%CV
H1	20	3,2	533,16	13,54	33,88	6,35
		3,6	596,22	15,14	36,11	6,06
		4,0	622,62	15,81	29,44	4,73
	30	3,2	993,06	17,60	29,05	4,19
		3,6	733,27	18,63	26,51	3,62
		4,0	783,19	19,89	27,14	3,47
	40	3,2				
		3,6	844,24	21,44	30,94	3,66
		4,0	939,87	23,87	47,35	5,04
H2	20	3,2	574,70	14,60	35,31	6,14
		3,6	639,31	16,24	35,93	5,62
		4,0	704,71	17,90	41,87	5,94
	30	3,2	725,42	18,43	26,03	3,59
		3,6	784,63	19,93	24,89	3,17
		4,0	890,45	22,62	31,12	3,49
	40	3,2	847,65	21,53	20,09	2,37
		3,6	911,33	23,15	12,01	1,32
		4,0	993,43	25,23	28,69	2,89
H3	20	3,2	585,52	14,87	18,73	3,20
		3,6	664,26	16,87	24,92	3,75
		4,0	723,90	18,39	24,06	3,32
	30	3,2	740,46	18,81	20,48	2,77
		3,6	781,69	19,85	20,01	2,56
		4,0	865,20	21,98	26,66	3,08
	40	3,2	902,31	22,92	33,22	3,68
		3,6	922,68	23,44	20,76	2,25
		4,0	1045,60	26,56	58,40	5,59
H4	20	3,2	594,31	15,10	21,69	3,65
		3,6	654,87	16,63	22,08	3,37
		4,0	707,98	17,98	25,94	3,66

EK 2: İplik Büküm Sayısı Ölçüm Sonuçları (devam)

Hammadde	İplik No (Ne)	Büküm katsayısı (α_e)	T/m	T/''	Standart Sapma	%CV
H4	30	3,2	742,28	18,85	21,03	2,83
		3,6	787,41	20,00	24,58	3,12
		4,0	908,57	23,08	23,27	2,56
	40	3,2	837,88	21,28	36,41	4,35
		3,6	922,95	23,44	20,33	2,20
		4,0	1064,55	27,04	44,89	4,22
H5	20	3,2	655,60	16,65	14,56	2,22
		3,6	707,15	17,96	17,87	2,53
		4,0	784,58	19,93	35,87	4,57
	30	3,2	802,47	20,38	25,26	3,15
		3,6	846,50	21,50	23,77	2,81
		4,0	957,97	24,33	35,37	3,69
	40	3,2	918,03	23,32	22,20	2,42
		3,6	962,93	24,46	25,76	2,68
		4,0	1107,59	28,13	36,18	3,27
H6	20	3,2	589,96	14,98	20,06	3,40
		3,6	657,23	16,69	27,85	4,24
		4,0	719,88	18,28	12,50	1,74
	30	3,2	736,47	18,71	21,84	2,97
		3,6	785,25	19,95	25,62	3,26
		4,0	869,59	22,09	29,16	3,35
	40	3,2	915,01	23,24	40,27	4,40
		3,6	943,08	23,95	27,86	2,95
		4,0	1063,29	27,01	46,12	4,34
H7	20	3,2	605,35	15,38	11,06	1,83
		3,6	658,70	16,73	23,85	3,62
		4,0	748,31	19,01	31,88	4,26
	30	3,2	734,37	18,65	23,66	3,22
		3,6	781,83	19,86	28,97	3,71
		4,0	925,51	23,51	45,36	4,90
	40	3,2	866,22	22,00	20,17	2,33
		3,6	911,77	23,16	17,83	1,96
		4,0	1046,57	26,58	42,07	4,02

EK 3: İplik Düzgünsüzlük Testi Sonuçları

Ham madde No	İplik No (Ne)	Büküm Katsayısı (α_c)	CV _m (%)	İnce Yer Sayısı/km (-%40)	İnce Yer Sayısı/km (-%50)	KalınYer Sayısı/km (+%35)	KalınYer Sayısı/km (+%50)	Neps Sayısı/km (+%200)
H1	20	3,2	13,51	25,7	0,2	340,2	32,7	55,8
		3,6	13,19	34,0	0,9	364,8	41,0	74,8
		4,0	13,59	68,3	1,1	495,7	57,4	100,1
	30	3,2	15,30	266,7	10,7	990,5	161,0	318,2
		3,6	15,41	287,5	9,5	1033,0	177,7	345,2
		4,0	15,62	298,3	14,8	1099,3	200,2	406,7
	40	3,2						
		3,6	16,96	683,0	58,8	1571,0	349,8	720,0
		4,0	16,79	590,2	44,8	1503,5	349,0	719,2
H2	20	3,2	12,93	39,2	1,2	291,3	26,8	50,8
		3,6	12,68	34,0	0,5	311,2	24,5	46,3
		4,0	12,82	57,3	4,0	332,0	28,2	53,2
	30	3,2	14,31	179,7	5,3	724,5	94,7	219,5
		3,6	14,48	220,3	7,5	763,8	98,5	244,5
		4,0	14,46	171,5	7,8	707,7	98,5	226,3
	40	3,2	15,69	468,0	28,0	1099,7	195,3	501,8
		3,6	15,52	423,5	27,2	1027,3	167,7	448,5
		4,0	16,05	522,7	32,3	1234,7	233,3	536,5
H3	20	3,2	11,19	6,3	0,3	76,0	5,0	8,2
		3,6	10,88	6,2	0,3	55,0	3,0	5,8
		4,0	10,74	7,2	0,0	63,7	3,7	7,2
	30	3,2	12,32	50,0	0,8	192,3	12,7	21,2
		3,6	12,10	38,7	0,2	181,7	10,7	25,8
		4,0	12,53	51,0	3,3	253,5	17,8	51,3
	40	3,2	13,38	167,7	6,8	330,5	25,2	72,5
		3,6	13,29	139,7	5,8	332,7	25,3	71,8
		4,0	13,52	183,8	7,7	380,8	34,3	83,8
H4	20	3,2	12,79	17,8	0,5	237,7	20,5	49,2
		3,6	12,13	9,3	0,0	272,3	23,7	43,3
		4,0	12,34	14,0	0,7	288,3	26,5	48,8

EK 3: İplik Düzgünsüzlük Testi Sonuçları (devam)

Ham madde No	İplik No (Ne)	Büküm katsayısı (α_c)	CV _m (%)	İnce Yer Sayısı/km (-%40)	İnce Yer Sayısı/km (-%50)	KalınYer Sayısı/km (+%35)	KalınYer Sayısı/km (+%50)	Neps Sayısı/km (+%200)
H4	30	3,2	14,38	133,5	4,3	770,5	111,0	260,2
		3,6	14,39	139,3	10,3	782,7	113,7	276,3
		4,0	14,30	113,5	3,0	772,8	112,8	276,7
	40	3,2	15,90	424,0	24,0	1164,5	216,3	571,0
		3,6	15,71	350,0	15,7	1096,7	209,2	512,5
		4,0	15,41	299,0	22,8	1067,3	203,3	520,5
H5	20	3,2	11,34	10,3	0,5	66,8	5,3	7,2
		3,6	11,02	8,7	0,0	52,3	2,8	5,5
		4,0	11,05	13,0	0,0	75,8	4,3	5,0
	30	3,2	12,55	67,8	2,2	212,7	15,2	20,3
		3,6	12,63	76,7	0,5	229,7	14,0	16,3
		4,0	12,35	59,5	1,0	185,7	10,7	17,0
	40	3,2	13,52	172,0	6,3	337,2	25,5	60,3
		3,6	13,51	168,5	8,7	365,3	31,7	38,0
		4,0	13,44	165,7	5,7	323,2	23,3	35,0
H6	20	3,2	12,96	23,7	0,2	348,7	32,5	39,0
		3,6	13,25	37,5	0,5	400,2	36,7	50,0
		4,0	12,91	32,5	1,8	342,2	32,8	46,7
	30	3,2	15,82	340,7	16,8	1192,2	209,3	346,0
		3,6	15,63	315,8	18,0	1115,0	196,3	334,0
		4,0	15,77	323,7	14,2	1221,7	238,7	374,3
	40	3,2	17,27	744,0	71,0	1714,5	399,8	752,3
		3,6	17,44	797,8	76,0	1797,5	435,8	807,8
		4,0	16,95	670,8	48,2	1653,0	382,8	800,7
H7	20	3,2	10,21	3,5	0,0	36,3	2,2	10,0
		3,6	10,19	3,0	0,0	47,2	2,3	10,2
		4,0	10,06	2,5	0,2	40,5	4,2	14,7
	30	3,2	11,69	23,7	0,2	163,8	11,5	52,7
		3,6	11,97	34,3	5,3	193,7	15,0	62,3
		4,0	11,80	23,5	0,0	193,7	14,0	66,0
	40	3,2	12,78	76,5	1,5	315,8	28,7	116,0
		3,6	12,72	75,3	2,2	316,5	26,7	112,8
		4,0	12,57	66,2	2,2	265,7	29,8	116,5

EK 3: İplik Düzgünsüzlük Testi Sonuçları (devam)

Ham madde No	İplik No (Ne)	Büküm Katsayısı (α_c)	D (g/cm^3)	CV2D (8mm) (%)	Sekil	2DØ (mm)	CV2D (0.3mm) (%)	Çöpel	Toz	FD	
H1	20	3,2	0,320	11,447	0,79	0,344	15,463	0,15	20,1	1,17	
		3,6	0,374	11,444	0,82	0,324	15,459	0,28	20,5	5,38	
		4,0	0,419	11,460	0,81	0,307	15,514	0,21	21,9	8,14	
	30	3,2	0,330	13,253	0,81	0,277	17,600	0,22	20,1	1,67	
		3,6	0,372	13,350	0,81	0,262	17,793	0,23	19,9	1,50	
		4,0	0,417	13,387	0,83	0,249	17,823	0,25	22,9	2,33	
	40	3,2									
		3,6	0,350	14,50	0,802	0,229	19,46	0,18	17,93	1,5	
		4,0	0,427	14,425	0,83	0,210	19,248	0,12	21,0	3,33	
H2	20	3,2	0,345	11,567	0,81	0,332	15,635	0,23	23,2	4,5	
		3,6	0,402	11,142	0,82	0,310	15,075	0,28	24,9	6,2	
		4,0	0,432	11,215	0,83	0,299	15,208	0,32	24,0	5,2	
	30	3,2	0,358	12,623	0,82	0,265	16,795	0,18	24,2	4,8	
		3,6	0,402	12,617	0,82	0,253	16,942	0,23	26,3	6,8	
		4,0	0,455	12,270	0,84	0,241	16,542	0,28	28,5	9,7	
	40	3,2	0,355	13,642	0,82	0,230	18,15	0,15	21,2	6,2	
		3,6	0,388	13,405	0,82	0,220	18,075	0,18	22,33	4,8	
		4,0	0,465	13,683	0,83	0,203	18,427	0,22	21,92	8	
H3	20	3,2	0,382	10,237	0,81	0,311	12,675	0,00	3,1	0,5	
		3,6	0,435	9,325	0,84	0,292	12,383	0,00	3,5	0,7	
		4,0	0,482	8,960	0,85	0,279	11,902	0,02	3,7	1,0	
	30	3,2	0,397	10,237	0,83	0,249	13,310	0,02	3,3	1,0	
		3,6	0,443	10,108	0,84	0,239	13,253	0,00	3,7	0,8	
		4,0	0,502	10,120	0,85	0,223	13,367	0,33	3,5	1,5	
	40	3,2	0,372	10,782	0,82	0,220	14,272	0,17	3,0	1,0	
		3,6	0,423	10,770	0,83	0,209	14,448	0,05	3,2	0,7	
		4,0	0,503	10,775	0,85	0,193	14,425	0,50	3,1	1	
H4	20	3,2	0,367	10,865	0,82	0,328	15,123	0,15	27,0	4,83	
		3,6	0,437	10,818	0,83	0,308	14,888	0,18	26,0	6,50	
		4,0	0,483	10,770	0,84	0,295	14,778	0,23	27,9	10,67	

EK 3: İplik Düzgünsüzlük Testi Sonuçları (devam)

Ham madde No	İplik No (Ne)	Büküm katsayısı (α_c)	D (g/cm^3)	CV2D (8mm) (%)	Sekil	2DØ (mm)	CV2D (0.3mm) (%)	Çöpel	Toz	FD
H4	30	3,2	0,412	12,372	0,82	0,255	16,603	0,25	29,7	9,33
		3,6	0,447	12,400	0,83	0,245	16,703	0,20	29,7	11,83
		4,0	0,492	12,242	0,85	0,235	16,597	0,20	30,6	15,67
	40	3,2	0,388	13,302	0,82	0,222	17,96	0,12	24,8	9,67
		3,6	0,430	13,265	0,83	0,211	17,760	0,27	29,1	15,83
		4,0	0,512	12,882	0,84	0,198	17,525	0,22	29,5	14,67
H5	20	3,2	0,387	9,778	0,83	0,295	12,645	0,00	1,5	0,17
		3,6	0,453	9,538	0,84	0,274	12,250	0,02	1,7	0,33
		4,0	0,510	9,315	0,85	0,258	11,975	0,00	1,7	0,50
	30	3,2	0,413	10,733	0,84	0,231	13,342	0,02	1,8	0,33
		3,6	0,463	10,722	0,84	0,219	13,390	0,02	1,7	0,67
		4,0	0,520	10,217	0,85	0,209	12,832	0,02	1,7	0,67
	40	3,2	0,390	10,763	0,81	0,203	14,023	0,00	1,3	0,67
		3,6	0,468	11,138	0,83	0,189	13,990	0,00	1,7	0,17
		4,0	0,533	10,903	0,85	0,177	13,673	0,00	2,0	1,33
H6	20	3,2	0,353	11,918	0,81	0,328	15,737	0,22	21,3	3,50
		3,6	0,400	12,073	0,83	0,309	15,948	0,30	22,9	5,50
		4,0	0,442	11,572	0,84	0,295	15,365	0,27	24,7	8,83
	30	3,2	0,352	13,718	0,82	0,263	17,943	0,27	19,5	6,17
		3,6	0,410	13,537	0,83	0,246	17,728	0,27	22,8	7,33
		4,0	0,442	13,463	0,84	0,237	17,630	0,32	25,4	6,17
	40	3,2	0,357	14,265	0,81	0,224	18,792	0,25	19,8	5,50
		3,6	0,383	14,578	0,82	0,217	19,115	0,17	21,4	6,00
		4,0	0,453	14,167	0,84	0,201	18,798	0,22	24,3	8,67
H7	20	3,2	0,38	9,42	0,84	0,30	12,435	0,00	3,4	0,3
		3,6	0,45	9,29	0,84	0,28	12,132	0,00	4,0	0,2
		4,0	0,51	8,88	0,86	0,27	11,670	0,00	4,5	2,0
	30	3,2	0,42	10,37	0,83	0,24	13,313	0,03	3,9	0,3
		3,6	0,45	10,55	0,84	0,23	13,478	0,03	4,6	0,5
		4,0	0,53	9,90	0,86	0,21	12,837	0,02	5,0	1,3
	40	3,2	0,40	10,87	0,83	0,21	14,030	0,02	4,1	1,5
		3,6	0,45	10,80	0,84	0,20	13,992	0,02	4,0	0,8
		4,0	0,53	10,32	0,86	0,19	13,513	0,00	4,8	1,3

EK 4: İplik Tüylülük Testi Sonuçları

Hammadde Numarası	İplik No (Ne)	Büküm Katsayısı (α_c)	Tüylülük (H)	Tüylülük varyasyonu (sh)
H1	20	3,2	9,39	2,20
		3,6	8,55	2,14
		4,0	7,76	1,88
	30	3,2	8,15	2,01
		3,6	7,65	1,96
		4,0	6,90	1,80
	40	3,2		
		3,6	7,31	1,933
		4,0	6,42	1,81
H2	20	3,2	9,16	2,12
		3,6	8,02	1,96
		4,0	7,57	1,87
	30	3,2	7,64	1,92
		3,6	7,22	1,86
		4,0	6,49	1,70
	40	3,2	7,19	1,87
		3,6	6,95	1,84
		4,0	6,09	1,73
H3	20	3,2	8,42	1,98
		3,6	7,54	1,74
		4,0	6,79	1,62
	30	3,2	6,98	1,67
		3,6	6,62	1,62
		4,0	5,98	1,59
	40	3,2	6,70	1,66
		3,6	6,68	1,66
		4,0	5,64	1,53
H4	20	3,2	9,25	2,12
		3,6	7,81	1,86
		4,0	7,15	1,76

EK 4: İplik Tüylülük Testi Sonuçları (devam)

Ham madde Numarası	İplik No (Ne)	Büküm Katsayısı (α_c)	Tüylülük (H)	Tüylülük varyasyonu (sh)	
H4	30	3,2	7,18	1,89	
		3,6	6,73	1,80	
		4,0	6,14	1,67	
	40	3,2	7,03	1,86	
		3,6	6,22	1,72	
		4,0	5,52	1,60	
H5	20	3,2	8,18	1,87	
		3,6	7,04	1,67	
		4,0	6,22	1,54	
	30	3,2	6,44	1,60	
		3,6	5,98	1,55	
		4,0	5,37	1,44	
	40	3,2	6,39	1,65	
		3,6	5,41	1,48	
		4,0	4,91	1,42	
	H6	20	3,2	8,69	2,19
			3,6	7,83	2,02
			4,0	7,05	1,81
30		3,2	7,75	2,05	
		3,6	6,90	1,92	
		4,0	6,35	1,82	
40		3,2	7,00	1,94	
		3,6	6,62	1,90	
		4,0	5,79	1,72	
H7		20	3,2	8,00	1,81
			3,6	6,80	1,65
			4,0	6,00	1,51
	30	3,2	6,40	1,62	
		3,6	6,00	1,55	
		4,0	5,10	1,41	
	40	3,2	5,90	1,53	
		3,6	5,40	1,48	
		4,0	4,70	1,35	

EK 5: Kumaş ilmek yüksekliği (c) ve ilmek genişliği (w) değerleri

İplik Numarası-Bükümü Ne (α_c)	Kumaş Sıklığı	İlmeğin Özelliği	Harmanlar						
			H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
20 (3.2)	Sıkı	c	0,788	0,806	0,701	0,800	0,770	0,770	0,819
		w	1,016	1,006	0,941	0,941	0,968	0,958	0,876
	Orta	c	1,058	1,058	0,966	1,016	1,058	1,058	1,081
		w	0,996	0,97	0,986	0,977	0,977	0,977	0,891
	Seyrek	c	1,104	1,116	1,058	1,116	1,104	1,104	1,104
		w	0,996	0,968	0,968	0,958	0,977	0,986	0,941
20 (3.6)	Sıkı	c	0,776	0,742	0,696	0,758	0,776	0,753	0,819
		w	1,006	1,016	0,915	0,958	0,941	0,958	0,847
	Orta	c	1,070	1,047	0,986	1,016	1,058	1,026	1,058
		w	0,941	0,958	0,958	1,016	0,958	0,968	0,907
	Seyrek	c	1,104	1,081	1,058	1,104	1,104	1,081	1,104
		w	0,958	0,977	0,968	0,977	0,950	0,977	0,958
20 (4.0)	Sıkı	c	0,977	0,731	0,660	0,747	0,758	0,726	0,747
		w	0,758	0,996	0,941	0,958	0,932	0,958	0,977
	Orta	c	1,058	1,047	0,977	0,986	1,026	0,950	0,986
		w	0,915	0,941	0,941	0,977	0,996	0,986	0,958
	Seyrek	c	1,081	1,081	1,026	1,058	1,047	1,081	1,006
		w	0,968	0,977	0,968	0,968	0,977	0,958	0,958
30 (3.2)	Sıkı	c	0,941	0,794	0,800	0,764	0,847	0,770	0,794
		w	0,915	0,950	0,968	1,006	0,891	0,986	0,977
	Orta	c	0,977	0,932	0,891	0,907	0,915	0,941	1,016
		w	0,924	0,950	0,950	0,986	0,958	0,977	0,899
	Seyrek	c	1,104	1,092	0,986	1,016	0,958	0,977	0,941
		w	0,924	0,932	0,932	0,941	1,037	1,016	1,006
30 (3.6)	Sıkı	c	0,907	0,847	0,840	0,776	0,800	0,770	0,747
		w	0,891	0,915	0,876	0,932	0,941	0,996	0,977
	Orta	c	1,016	0,986	0,891	0,907	0,891	0,950	1,016
		w	0,883	0,899	0,915	0,977	0,968	0,932	0,861
	Seyrek	c	1,104	1,058	0,941	1,026	0,932	0,941	1,058
		w	0,891	0,950	0,932	0,924	0,996	1,006	0,941
30 (4.0)	Sıkı	c	0,884	0,833	0,868	0,813	0,788	0,753	0,726
		w	0,876	0,891	0,800	0,883	0,958	0,958	0,968
	Orta	c	0,986	0,941	0,854	0,868	0,907	0,907	0,941
		w	0,800	0,924	0,915	0,950	0,950	0,941	0,891
	Seyrek	c	1,047	1,047	0,915	0,977	0,907	0,915	0,986
		w	0,883	0,924	0,907	0,958	1,016	1,006	0,876

EK 5: Kumaş ilmek yüksekliği (c) ve ilmek genişliği (w) değerleri (devam)

İplik Numarası-Bükümü Ne (ae)	Kumaş Sıklığı	İlme Özelliği	Harmanlar						
			H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
40 (3.2)	Sıkı	c		0,788	0,819	0,731	0,726	0,686	0,647
		w		0,968	0,915	0,868	0,941	0,941	0,977
	Orta	c		0,932	0,950	0,833	0,899	0,924	0,941
		w		0,891	0,861	0,958	0,941	0,915	0,847
	Seyrek	c		1,016	0,840	1,081	1,069	1,006	0,977
		w		0,977	1,081	0,876	0,899	0,932	0,932
40 (3.6)	Sıkı	c	0,847	0,833	0,794	0,747	0,686	0,691	0,608
		w	0,891	0,899	0,907	0,861	0,941	0,932	0,996
	Orta	c	0,977	0,924	0,958	0,794	0,876	0,907	0,968
		w	0,861	0,907	0,847	0,996	0,924	0,891	0,788
	Seyrek	c	1,047	1,104	1,047	1,058	0,958	0,950	0,941
		w	0,907	0,813	1,129	0,854	0,941	0,958	0,932
40 (4.0)	Sıkı	c	0,758	0,840	0,776	0,715	0,668	0,608	0,574
		w	0,915	0,794	0,883	0,883	0,950	1,006	1,006
	Orta	c	0,907	0,924	0,907	0,794	0,876	0,899	0,977
		w	0,840	0,861	0,840	0,950	0,876	0,854	0,742
	Seyrek	c	0,996	1,058	1,006	1,016	0,915	0,941	0,977
		w	0,876	0,854	0,800	0,840	0,924	0,915	0,847

EK 6: Kumaş Boncuklanma Testi Sonuçları

Kumaş			PillGrade objektif boncuk değerlendirme sisteminden elde edilen boncuklanma sonuçları						
Harman	İplik Numarası-Bükümü Ne (α_e)	Kumaş Sıklığı	TB	ATB	BA	BY	BD	ABD	HY
1. HARMAN	20 (3.2)	Sıkı	89,00	112,83	1,06	1,38	22,82	28,92	2,13
		Orta	99,67	146,00	1,42	1,52	25,53	37,40	2,04
		Seyrek	129,33	198,50	1,94	1,55	33,13	50,85	2,10
	20 (3.6)	Sıkı	84,17	100,17	0,90	1,29	21,57	25,67	1,93
		Orta	88,00	113,50	1,08	1,39	22,55	29,08	1,67
		Seyrek	111,67	154,00	1,55	1,49	29,68	41,26	1,83
	20 (4.0)	Sıkı	46,67	50,67	0,47	1,19	11,97	12,97	1,46
		Orta	59,33	63,83	0,53	1,22	16,87	16,37	1,66
		Seyrek	80,83	99,33	0,96	1,33	21,60	27,20	1,70
	30 (3.2)	Sıkı	88,67	122,00	1,16	1,51	22,72	31,27	1,63
		Orta	126,50	190,83	1,87	1,56	32,42	48,87	1,68
		Seyrek	126,33	182,00	1,75	1,52	32,33	46,62	1,66
	30 (3.6)	Sıkı	120,40	188,80	1,86	1,62	30,84	48,38	1,69
		Orta	140,33	212,50	2,11	1,58	35,95	54,47	1,81
		Seyrek	139,00	233,83	2,56	1,70	36,18	61,10	1,88
	30 (4.0)	Sıkı	134,17	182,33	1,71	1,44	34,37	46,73	1,61
		Orta	126,00	162,17	1,52	1,41	89,88	41,57	1,66
		Seyrek	129,67	208,50	2,29	1,65	33,22	53,40	1,69
	40 (3.2)	Sıkı							
		Orta							
		Seyrek							
	40 (3.6)	Sıkı	141,83	212,33	2,09	1,55	36,32	54,40	1,81
		Orta	158,33	234,67	2,31	1,56	40,58	60,13	1,89
		Seyrek	152,00	254,50	2,61	1,68	38,95	65,20	1,82
40 (4.0)	Sıkı	144,17	191,67	1,77	1,47	36,95	49,10	1,79	
	Orta	142,00	222,50	2,30	1,61	36,40	57,00	2,01	
	Seyrek	138,17	215,50	2,14	1,59	35,42	55,22	1,82	

TB: toplam boncuk sayısı, ATB: ağırlıklı toplam boncuk sayısı, BA: boncuk alanı (cm^2),
 BY: ortalama boncuk yüksekliği (mm), BD: boncuk yoğunluğu ($/\text{inç}^2$),
 ABD: ağırlıklı boncuk yoğunluğu ($/\text{inç}^2$), HY: hav yüksekliği (mm)

EK 6: Kumaş Boncuklanma Testi Sonuçları (devam)

Kumaş			PillGrade objektif boncuk değerlendirme sisteminden elde edilen boncuklanma sonuçları						
Harman	İplik Numarası-Bükümü Ne (α_e)	Kumaş Sıklığı	TB	ATB	BA	BY	BD	ABD	HY
2. HARMAN	20 (3.2)	Sıkı	62,50	68,67	0,59	1,23	16,00	17,62	1,83
		Orta	70,33	80,00	0,70	1,28	18,00	20,50	1,68
		Seyrek	84,83	105,50	0,99	1,35	21,72	27,05	1,86
	20 (3.6)	Sıkı	92,50	104,17	0,97	1,31	23,70	26,68	1,92
		Orta	94,00	112,50	1,03	1,34	24,07	28,82	1,77
		Seyrek	87,83	120,67	1,20	1,44	22,50	30,92	1,81
	20 (4.0)	Sıkı	71,33	79,00	0,70	1,26	18,28	20,23	1,81
		Orta	92,50	104,17	0,97	1,31	23,70	26,68	1,92
		Seyrek	88,67	111,33	1,09	1,40	22,70	28,52	2,04
	30 (3.2)	Sıkı	104,00	134,67	1,36	1,42	26,65	34,52	1,89
		Orta	120,17	167,67	1,68	1,47	30,80	42,95	1,97
		Seyrek	116,33	165,00	1,57	1,50	29,82	42,27	1,97
	30 (3.6)	Sıkı	102,17	124,50	1,11	1,35	26,17	31,88	1,98
		Orta	112,50	146,67	1,47	1,45	28,82	37,57	1,91
		Seyrek	116,50	160,67	1,55	1,46	29,85	41,17	2,02
	30 (4.0)	Sıkı	119,33	146,67	1,29	1,36	30,57	37,58	2,01
		Orta	116,00	157,20	1,57	1,45	29,72	40,28	2,01
		Seyrek	118,00	165,00	1,59	1,52	30,23	42,28	2,06
	40 (3.2)	Sıkı	116,83	175,00	1,61	1,56	29,92	44,82	2,23
		Orta	122,67	196,00	2,06	1,63	31,43	50,20	1,95
		Seyrek	136,33	232,50	2,46	1,70	34,93	59,57	1,89
	40 (3.6)	Sıkı	125,50	156,50	1,36	1,39	32,13	40,10	2,16
		Orta	130,50	188,00	1,77	1,51	33,42	48,15	2,06
		Seyrek	127,67	185,67	1,85	1,52	32,73	47,58	1,94
40 (4.0)	Sıkı	130,33	183,00	1,70	1,51	33,38	46,88	2,37	
	Orta	129,17	172,33	1,61	1,45	33,08	44,13	2,05	
	Seyrek	142,33	235,33	2,40	1,69	36,45	60,30	2,28	

TB: toplam boncuk sayısı, ATB: ağırlıklı toplam boncuk sayısı, BA: boncuk alanı (cm²),
 BY: ortalama boncuk yüksekliği (mm), BD: boncuk yoğunluğu(/inç²),
 ABD: ağırlıklı boncuk yoğunluğu (/inç²), HY: hav yüksekliği (mm)

EK 6: Kumaş Boncuklanma Testi Sonuçları (devam)

Kumaş			PillGrade objektif boncuk değerlendirme sisteminden elde edilen boncuklanma sonuçları						
Harman	İplik Numarası-Bükümü Ne (α_e)	Kumaş Sıklığı	TB	ATB	BA	BY	BD	ABD	HY
3. HARMAN	20 (3.2)	Sıkı	60,50	57,33	0,41	1,07	15,50	14,70	1,71
		Orta	105,20	120,80	1,11	1,29	26,96	30,94	1,73
		Seyrek	112,83	135,00	1,23	1,35	28,92	34,58	2,10
	20 (3.6)	Sıkı	41,00	36,83	0,25	1,02	10,52	9,43	1,69
		Orta	97,08	115,33	1,09	1,29	29,13	29,56	1,93
		Seyrek	115,83	142,33	1,32	1,34	29,68	36,47	1,99
	20 (4.0)	Sıkı	50,17	47,17	0,35	1,07	12,85	12,10	1,69
		Orta	114,17	132,50	1,21	1,31	29,25	33,95	2,03
		Seyrek	116,33	143,17	1,44	1,39	29,80	36,68	2,03
	30 (3.2)	Sıkı	151,50	195,83	1,90	1,43	38,80	50,17	2,08
		Orta	146,67	197,00	1,94	1,47	37,58	50,47	1,97
		Seyrek	139,67	196,83	2,02	1,52	35,82	50,42	1,86
	30 (3.6)	Sıkı	117,17	135,83	1,19	1,30	30,00	34,80	1,76
		Orta	142,17	192,33	1,90	1,47	36,42	49,27	2,01
		Seyrek	133,67	191,00	1,92	1,52	34,23	48,93	1,87
	30 (4.0)	Sıkı	129,67	148,50	1,28	1,28	33,22	38,03	2,09
		Orta	128,60	145,80	1,30	1,30	32,96	37,34	1,90
		Seyrek	131,75	177,50	1,83	1,47	33,75	45,48	1,95
	40 (3.2)	Sıkı	115,00	135,00	1,14	1,35	29,47	34,62	2,05
		Orta	136,67	216,83	1,97	1,60	35,00	55,55	2,27
		Seyrek	132,67	203,67	1,94	1,59	34,00	52,20	2,07
	40 (3.6)	Sıkı	107,33	123,67	1,05	1,32	27,52	31,68	2,04
		Orta	146,83	199,17	1,92	1,50	37,62	51,02	2,23
		Seyrek	135,50	213,00	2,16	1,61	34,68	54,58	2,13
	40 (4.0)	Sıkı	110,67	126,67	1,11	1,32	28,35	32,43	1,95
		Orta	144,33	196,33	1,79	1,48	36,97	50,32	2,17
		Seyrek	141,17	206,17	2,04	1,56	36,15	52,82	2,10

TB: toplam boncuk sayısı, ATB: ağırlıklı toplam boncuk sayısı, BA: boncuk alanı (cm^2),
 BY: ortalama boncuk yüksekliği (mm), BD: boncuk yoğunluğu(/inç²),
 ABD: ağırlıklı boncuk yoğunluğu (/inç²), HY: hav yüksekliği (mm)

EK 6: Kumaş Boncuklanma Testi Sonuçları (devam)

Kumaş			PillGrade objektif boncuk değerlendirme sisteminden elde edilen boncuklanma sonuçları						
Harman	İplik Numarası-Bükümü Ne (α_c)	Kumaş Sıklığı	TB	ATB	BA	BY	BD	ABD	HY
4. HARMAN	20 (3.2)	Sıkı	49,17	51,33	0,42	1,16	12,60	13,15	1,86
		Orta	98,00	133,33	1,36	1,45	25,10	34,15	1,92
		Seyrek	102,50	135,75	1,29	1,45	26,28	34,80	1,77
	20 (3.6)	Sıkı	56,00	62,17	0,54	1,23	14,33	15,93	1,96
		Orta	96,83	122,50	1,25	1,37	24,80	31,40	1,86
		Seyrek	94,67	128,50	1,31	1,45	24,25	32,93	1,87
	20 (4.0)	Sıkı	68,83	72,33	0,61	1,20	17,62	18,53	2,14
		Orta	86,83	103,33	0,96	1,33	22,23	26,45	1,91
		Seyrek	81,50	97,25	0,86	1,31	20,85	24,93	1,85
	30 (3.2)	Sıkı	125,33	143,50	1,26	1,31	32,10	36,77	1,92
		Orta	134,20	191,60	1,79	1,49	34,40	49,08	2,25
		Seyrek	127,50	184,33	1,83	1,53	32,65	47,23	2,19
	30 (3.6)	Sıkı	108,00	124,17	1,08	1,32	27,67	31,83	2,09
		Orta	119,17	159,33	1,53	1,46	30,52	40,83	2,22
		Seyrek	134,83	188,33	1,74	1,50	34,55	48,25	2,47
	30 (4.0)	Sıkı	126,50	145,00	1,26	1,30	32,43	37,12	2,21
		Orta	123,00	182,33	1,85	1,58	31,50	46,72	2,49
		Seyrek	127,50	184,33	1,83	1,53	32,65	47,23	2,19
	40 (3.2)	Sıkı	119,83	142,33	1,24	1,32	30,70	36,47	2,11
		Orta	157,83	242,33	2,46	1,60	40,42	62,10	2,18
		Seyrek	159,67	249,50	2,46	1,61	40,92	63,93	1,97
	40 (3.6)	Sıkı	156,67	208,00	1,83	1,46	40,13	53,28	2,33
		Orta	140,20	216,00	2,24	1,61	35,94	55,32	2,19
		Seyrek	163,33	247,83	2,32	1,55	41,85	63,50	1,99
40 (4.0)	Sıkı	135,33	193,33	1,77	1,49	34,68	49,53	2,40	
	Orta	138,83	189,83	1,83	1,48	35,58	48,63	2,07	
	Seyrek	159,67	250,50	2,52	1,61	40,92	64,17	2,12	

TB: toplam boncuk sayısı, ATB: ağırlıklı toplam boncuk sayısı, BA: boncuk alanı (cm²),
 BY: ortalama boncuk yüksekliği (mm), BD: boncuk yoğunluğu(/inç²),
 ABD: ağırlıklı boncuk yoğunluğu (/inç²), HY: hav yüksekliği (mm)

EK 6: Kumaş Boncuklanma Testi Sonuçları (devam)

Kumaş			PillGrade objektif boncuk değerlendirme sisteminden elde edilen boncuklanma sonuçları						
Harman	İplik Numarası-Bükümü Ne (α_e)	Kumaş Sıklığı	TB	ATB	BA	BY	BD	ABD	HY
5. HARMAN	20 (3.2)	Sıkı	70,00	67,00	0,46	1,11	17,92	17,16	1,85
		Orta	93,67	108,83	0,98	1,33	24,00	27,87	2,07
		Seyrek	96,17	111,00	0,92	1,29	24,65	28,45	2,02
	20 (3.6)	Sıkı	62,00	60,00	0,42	1,07	15,88	15,37	1,98
		Orta	110,40	131,40	1,17	1,33	28,28	33,68	2,20
		Seyrek	111,20	121,40	1,04	1,29	28,48	31,12	2,11
	20 (4.0)	Sıkı	82,67	80,33	0,59	1,12	21,15	20,60	2,05
		Orta	98,33	106,00	0,86	1,24	25,17	27,17	1,97
		Seyrek	106,33	119,67	1,09	1,28	27,25	30,65	1,99
	30 (3.2)	Sıkı	110,50	124,33	0,96	1,27	28,32	31,85	2,20
		Orta	158,40	209,80	1,89	1,45	40,60	53,74	2,46
		Seyrek	160,00	210,20	1,83	1,45	40,98	53,86	2,39
	30 (3.6)	Sıkı	136,83	147,67	1,18	1,27	35,07	37,83	2,27
		Orta	144,83	194,83	1,82	1,47	37,10	49,90	2,39
		Seyrek	134,67	194,50	1,87	1,53	34,52	49,83	2,51
	30 (4.0)	Sıkı	119,17	127,00	0,95	1,25	30,55	32,53	2,34
		Orta	148,00	172,67	1,48	1,34	37,92	44,25	2,20
		Seyrek	141,67	191,33	1,87	1,50	36,32	49,02	2,47
	40 (3.2)	Sıkı	141,50	165,17	1,35	1,30	36,27	42,33	2,13
		Orta	159,67	213,50	1,97	1,46	40,90	54,70	2,17
		Seyrek	189,67	285,17	2,81	1,58	48,60	73,07	2,03
	40 (3.6)	Sıkı	157,67	178,00	1,46	1,31	40,38	45,62	2,30
		Orta	162,67	221,00	2,00	1,48	41,67	56,62	2,31
		Seyrek	170,83	263,00	2,62	1,60	43,77	67,40	2,23
	40 (4.0)	Sıkı	155,00	177,67	1,48	1,32	39,70	45,50	2,55
		Orta	166,50	244,33	2,32	1,58	42,65	62,58	2,45
		Seyrek	170,67	239,83	2,30	1,53	43,73	61,43	2,26

TB: toplam boncuk sayısı, ATB: ağırlıklı toplam boncuk sayısı, BA: boncuk alanı (cm^2),
 BY: ortalama boncuk yüksekliği (mm), BD: boncuk yoğunluğu(/ inç^2),
 ABD: ağırlıklı boncuk yoğunluğu (/inç²), HY: hav yüksekliği (mm)

EK 6: Kumaş Boncuklanma Testi Sonuçları (devam)

Kumaş			PillGrade objektif boncuk değerlendirme sisteminden elde edilen boncuklanma sonuçları						
Harman	İplik Numarası-Bükümü Ne (α_c)	Kumaş Sıklığı	TB	ATB	BA	BY	BD	ABD	HY
6. HARMAN	20 (3.2)	Sıkı	69,17	75,67	0,64	1,21	17,73	19,38	1,73
		Orta	114,00	142,00	1,46	1,39	29,20	36,38	1,99
		Seyrek	122,60	174,00	1,85	1,51	31,40	44,58	2,06
	20 (3.6)	Sıkı	56,00	55,67	0,46	1,14	14,35	14,25	1,73
		Orta	117,50	149,75	1,50	1,40	30,10	38,38	2,00
		Seyrek	113,00	152,50	1,55	1,48	28,95	39,10	1,96
	20 (4.0)	Sıkı	53,50	53,00	0,44	1,12	13,70	13,58	1,76
		Orta	101,17	128,83	1,23	1,39	25,93	33,00	2,28
		Seyrek	111,50	150,50	1,54	1,45	28,58	38,57	2,00
	30 (3.2)	Sıkı	127,00	147,83	1,28	1,32	32,53	37,90	2,03
		Orta	168,83	239,83	2,34	1,51	43,25	61,45	2,27
		Seyrek	150,67	240,33	2,43	1,63	38,60	61,58	2,48
	30 (3.6)	Sıkı	136,17	167,83	1,57	1,37	34,88	43,00	2,04
		Orta	154,50	214,83	2,15	1,51	39,58	55,03	2,12
		Seyrek	142,33	213,50	2,15	1,57	36,43	54,68	2,38
	30 (4.0)	Sıkı	98,83	103,00	0,83	1,19	25,33	26,38	1,91
		Orta	140,00	190,33	1,79	1,45	35,87	48,77	2,16
		Seyrek	134,83	181,17	1,76	1,49	34,53	46,43	2,18
	40 (3.2)	Sıkı	138,33	175,83	1,57	1,41	35,43	45,03	2,03
		Orta	172,00	295,60	3,08	1,73	44,06	75,74	2,26
		Seyrek	157,83	286,17	3,05	1,75	40,43	73,32	2,07
	40 (3.6)	Sıkı	139,83	183,17	1,71	1,41	35,83	46,93	1,90
		Orta	181,17	276,00	2,70	1,60	46,42	70,68	2,09
		Seyrek	159,83	299,83	3,18	1,82	40,95	76,82	2,09
40 (4.0)	Sıkı	153,67	173,50	1,61	1,32	39,37	44,47	1,98	
	Orta	162,00	247,83	2,49	1,60	41,50	63,47	2,13	
	Seyrek	158,83	260,83	2,81	1,68	40,70	66,80	2,08	

TB: toplam boncuk sayısı, ATB: ağırlıklı toplam boncuk sayısı, BA: boncuk alanı (cm^2),
 BY: ortalama boncuk yüksekliği (mm), BD: boncuk yoğunluğu(/inç²),
 ABD: ağırlıklı boncuk yoğunluğu (/inç²), HY: hav yüksekliği (mm)

EK 6: Kumaş Boncuklanma Testi Sonuçları (devam)

Kumaş			PillGrade objektif boncuk değerlendirme sisteminden elde edilen boncuklanma sonuçları						
Harman	İplik Numarası-Bükümü Ne (α_e)	Kumaş Sıklığı	TB	ATB	BA	BY	BD	ABD	HY
7. HARMAN	20 (3.2)	Sıkı	84,67	81,50	0,59	1,11	21,68	20,88	1,96
		Orta	123,00	127,33	1,01	1,18	31,50	32,62	1,92
		Seyrek	136,67	144,50	1,21	1,24	35,02	37,03	2,08
	20 (3.6)	Sıkı	88,67	84,00	0,57	1,07	22,70	21,53	1,94
		Orta	94,33	104,17	0,88	1,23	24,15	26,68	1,92
		Seyrek	128,83	139,83	1,19	1,26	33,02	35,82	2,17
	20 (4.0)	Sıkı	68,17	63,17	0,43	1,07	17,47	16,17	1,95
		Orta	103,00	105,50	0,87	1,20	26,38	27,03	1,89
		Seyrek	117,83	121,33	1,01	1,21	30,18	31,08	1,95
	30 (3.2)	Sıkı	128,67	140,50	1,15	1,25	32,97	36,00	2,21
		Orta	161,00	190,83	1,70	1,36	41,23	48,87	2,24
		Seyrek	162,17	208,67	1,87	1,45	41,57	53,45	2,58
	30 (3.6)	Sıkı	121,83	130,00	0,97	1,21	31,20	33,28	2,24
		Orta	174,80	219,00	2,00	1,41	44,80	56,10	2,36
		Seyrek	150,75	218,00	2,07	1,53	38,60	55,85	2,59
	30 (4.0)	Sıkı	117,33	120,00	0,91	1,18	30,05	30,73	2,11
		Orta	155,67	172,00	1,44	1,28	39,87	44,05	2,20
		Seyrek	152,33	184,50	1,60	1,37	39,02	47,27	2,29
	40 (3.2)	Sıkı	165,17	195,00	1,62	1,34	42,32	49,97	2,25
		Orta	184,00	254,33	2,48	1,52	47,13	65,17	2,02
		Seyrek	173,83	255,67	2,52	1,56	44,53	65,52	2,12
	40 (3.6)	Sıkı	145,00	153,67	1,21	1,23	37,12	39,37	2,04
		Orta	189,33	257,67	2,48	1,50	48,50	66,03	2,15
		Seyrek	180,33	248,00	2,39	1,51	46,20	63,55	2,09
40 (4.0)	Sıkı	140,33	156,00	1,26	1,24	35,97	39,95	2,00	
	Orta	162,17	201,50	1,89	1,40	41,52	51,63	2,16	
	Seyrek	177,00	236,80	2,27	1,47	45,34	60,66	2,14	

TB: toplam boncuk sayısı, ATB: ağırlıklı toplam boncuk sayısı, BA: boncuk alanı (cm^2),
 BY: ortalama boncuk yüksekliği (mm), BD: boncuk yoğunluğu(/ inç^2),
 ABD: ağırlıklı boncuk yoğunluğu (/inç²), HY: hav yüksekliği (mm)

EK 7: Kumaş sürtünme katsayısı (μ_{kin}) sonuçları

Sürtünme katsayısı (μ_{kin})			Harmanlar						
İplik Numarası (Ne)	İplik Büküm Katsayısı (α_e)	Kumaş Sıklığı	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
20	3.2	Sıkı	0,39570	0,40895	0,38948	0,40240	0,42522	0,42603	0,41837
		Orta	0,40212	0,41758	0,41233	0,42533	0,43108	0,44603	0,41943
		Seyrek	0,41055	0,41866	0,41237	0,42167	0,43173	0,43978	0,42558
	3.6	Sıkı	0,40510	0,39623	0,38617	0,39755	0,41838	0,40705	0,40162
		Orta	0,40840	0,41407	0,40735	0,41118	0,41900	0,42360	0,40502
		Seyrek	0,40664	0,41586	0,41072	0,41813	0,42122	0,42365	0,41042
	4.0	Sıkı	0,40130	0,41038	0,38883	0,39288	0,40582	0,40245	0,39528
		Orta	0,40467	0,41794	0,39622	0,40493	0,42382	0,41322	0,41213
		Seyrek	0,40606	0,41512	0,40320	0,41207	0,42385	0,41862	0,41765
30	3.2	Sıkı	0,40758	0,40600	0,42030	0,39860	0,41878	0,42082	0,41842
		Orta	0,40618	0,42748	0,43563	0,42985	0,42462	0,43192	0,42497
		Seyrek	0,41972	0,42840	0,43725	0,42294	0,45388	0,44602	0,43180
	3.6	Sıkı	0,40850	0,40615	0,41532	0,40053	0,41562	0,41705	0,41768
		Orta	0,40742	0,42792	0,42960	0,42065	0,43833	0,43277	0,43105
		Seyrek	0,42515	0,42914	0,43723	0,42087	0,46842	0,43448	0,45437
	4.0	Sıkı	0,39973	0,40175	0,39343	0,41365	0,40808	0,40490	0,41385
		Orta	0,40322	0,40633	0,42828	0,40370	0,43213	0,42443	0,43112
		Seyrek	0,41377	0,41772	0,42925	0,41598	0,44645	0,42475	0,46155
40	3.2	Sıkı		0,41505	0,43702	0,39618	0,40007	0,40543	0,40158
		Orta		0,43498	0,44853	0,41930	0,43862	0,42912	0,42865
		Seyrek		0,43842	0,45702	0,44222	0,46048	0,45118	0,46205
	3.6	Sıkı	0,40673	0,41307	0,42073	0,39895	0,38215	0,40490	0,40647
		Orta	0,41938	0,41978	0,43377	0,41922	0,42155	0,44778	0,43577
		Seyrek	0,43267	0,42818	0,44856	0,43950	0,46863	0,45853	0,44663
	4.0	Sıkı	0,40070	0,40480	0,41315	0,38957	0,37655	0,40708	0,39343
		Orta	0,41270	0,41702	0,42068	0,40908	0,40265	0,42292	0,41790
		Seyrek	0,41537	0,42182	0,44557	0,43330	0,43187	0,45497	0,46700

ÖZGEÇMİŞ

29.10.1979 yılında Alaşehir-Manisa`da dünyaya gelen Gonca ÖZÇELİK, 1997 yılında Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nü kazanarak yüksek öğrenimine başlamıştır. Tekstil Mühendisliği eğitimini 2001 yılında bölüm üçüncüsü olarak başarı ile tamamlayarak mezun olmuş ve aynı yıl güz yarıyılında açılan yüksek lisans sınavını kazanarak, mezun olduğu E.Ü. Tekstil Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2004 yılında “Elyaf Nepsinin İplik Nepsi Üzerine Etkisinin İncelenmesi ve Türkiye`deki Bazı İşletmelerde Deneysel Çalışma” konulu tezi ile yüksek mühendis unvanını kazanmıştır. Aynı yıl doktora eğitimine başlamıştır. 2001 Ekim ayından itibaren Ege Üniversitesi Emel Akın Meslek Yüksek Okulu`nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.