

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KUMAŞLARIN GEÇİRGENLİK ÖZELLİKLERİ
İLE YAPISAL VE GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ
ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Raziye Befru TURAN

Ocak, 2012
İZMİR

KUMAŞLARIN GEÇİRGENLİK ÖZELLİKLERİ İLE YAPISAL VE GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Raziye Befru TURAN

Ocak, 2012

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

RAZİYE BEFRU TURAN tarafından PROF. DR. AYŞE OKUR yönetiminde hazırlanan “KUMAŞLARIN GEÇİRGENLİK ÖZELLİKLERİ İLE YAPISAL VE GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



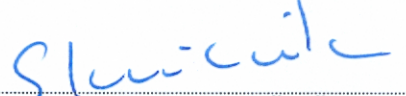
Prof. Dr. Ayşe OKUR

Yönetici



Prof. Dr. Arif KURBAK

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Doç. Dr. Serhan KÜÇÜKA

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Prof. Dr. Merih SARIİŞİK

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Binnaz MERİÇ KAPLANGİRAY

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam süresince bilgisi ve fikirleri ile beni sürekli yönlendiren, her konuda ilgisini esirgemedi beni destekleyen, akademik hayatım boyunca iş disiplini ve prensiplerini sürekli örnek alacağım danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayşe Okur'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme toplantılarında katkıları ile çalışmamı destekleyen tez izleme komitesi üyelerim Sayın Prof. Dr. Arif Kurbak'a ve Sayın Doç. Dr. Serhan Küçüka'ya teşekkür ederim. Akademik çalışmalarına ilk başladığım günden itibaren bilgi ve deneyimleriyle bana katkıda bulunan, değerli fikirlerine her zaman danıştığım hocam Sayın Prof. Dr. Güngör Başer'e teşekkür ederim.

Kumaşların enine kesit görüntülerinin elde edilmesi için gerçekleştirilen uzun ve meşakkatli çalışma aşamasında laboratuvarlarının kapılarını bana sonuna kadar açan, fikirleriyle katkı sağlayan Ege Üniversitesi Biyoloji Bölümü öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Remziye Deveci'ye ve kesit alma işlemleri sırasındaki yardımlarından dolayı Yük. Biyolog Merve Açık'la teşekkür ederim. Kumaşların yüzeysel görüntüleri alınırken laboratuvar imkanlarından yararlanmamı sağlayan Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Osman Candan'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, deneysel çalışmalar sırasındaki yardımlarından dolayı Araş. Gör. Gonca Balcı Kılıç'a ve tekstil teknikeri Özlem Ergün'e teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca sürekli fikir alışverişinde bulunduğum sevgili arkadaşım Araş. Gör. Dr. Bekir Yıldırım'a, ayrıca manevi desteklerinden dolayı sevgili arkadaşım Araş. Gör. Dr. Ayşe Bedeloğlu'na ve Sayın Öğr. Gör. Dr. Vildan Sular'a teşekkür ederim.

Son olarak, başta annem Birgül Turan ve babam Dr. Rifat Turan olmak üzere hayatımın her anında sürekli yanımda olan canım aileme sevgileri, güvenleri ve her konudaki destekleri için teşekkür ederim.

Raziye Befru Turan

KUMAŞLARIN GEÇİRGENLİK ÖZELLİKLERİ İLE YAPISAL VE GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

ÖZ

Kumaşın geçirgenlik özelliği farklı alanlarda kullanılan tekstil yapılarının beklenen bir performans özelliğidir. Kumaşın geçirgenlik özellikleri başta kumaşın yapısal özelliklerinin oluşturduğu gözenek özellikleri olmak üzere çevresel faktörlerin ve akışkan maddenin özelliklerinin bir fonksiyonu olarak oluşur. Bu nedenle belli bir kullanım alanı için ürün tasarlarken kumaşın gözenek yapısını belirleyen yapısal faktörler en uygun şekilde seçilmelidir. Bu çalışmada giyimden teknik tekstillere birçok kullanım alanına sahip dokuma kumaşların geçirgenlik özellikleri ile yapısal özellikleri arasındaki ilişkiler aynı numara çözgü ve atkı iplikleriyle üretilmiş farklı örgü tiplerine ve sıklıklara sahip bir grup test kumaşından elde edilen verilerin de yardımıyla incelenmiştir.

Çalışmada kumaşın gözenek özellikleri öncelikle iplikler arası gözenek bölgeleri ve lifler arası gözenek bölgeleri olmak üzere iki bölgeye ayrılarak incelenmiştir. İplikler arası gözenek özelliklerini tanımlamak amacıyla sıklık, iplik numarası, kumaş kalınlığı gibi yapısal özelliklerden yararlanarak iki boyutlu (2-D) ve üç boyutlu (3-D) birim gözenek hücre modelleri ile 3-D örgü birim modelleri teorik olarak tanımlanmıştır. Ayrıca elde edilen düzlemsel ve enine kesit kumaş görüntülerinden görüntü analizi yöntemiyle gözenek özellikleri belirlenmiştir. İplikler arası gözenek özelliklerinin kumaşın yapısal özellikleri ve geçirgenlik özellikleri ile ilişkisi incelenerek farklı kumaş yapıları için aradaki ilişkiyi en iyi tanımlayan yaklaşım analiz edilmiştir. İplik içi gözenek özellikleri ise hem enine kesit görüntülerinden ölçülerek tanımlanmış, hem iplik ve lif özelliklerine kullanılarak farklı yaklaşımlara göre teorik olarak tanımlanmış, hem de hızlı ve objektif bir yöntem olan görüntü analizi yöntemi ile belirlenmiştir. Her iki bölge için kumaşın yapısal ve geometrik özelliklerinin belirlediği gözenek özellikleri farklı yaklaşımlara göre tanımlandıktan sonra, elde edilen gözenek özellikleri akış

eşitliklerinde kullanılarak kumaşın hem düzleme dik yönde hem de düzlemsel yönde gerçekleşen geçirgenlik sonuçları teorik olarak tahminlenmiştir. Sonuç olarak, 2-D yaklaşımlardan elde edilen sonuçların farklı örgü yapıları arasındaki farkı ortaya koymada yetersiz olduğu; geçirgenlik özellikleri gözenek parametreleri ile tahminlenirken kumaşın 3-D yapısının her zaman dikkate alınması gerektiği bulunmuştur.

Anahtar sözcükler: geçirgenlik, gözeneklilik, gözenek boyutu, görüntü analizi yöntemi

RELATIONSHIPS BETWEEN PERMEABILITY PROPERTIES AND STRUCTURAL-GEOMETRICAL PROPERTIES OF FABRICS

ABSTRACT

The permeability properties of fabric are an expected performance property of textile structures used in different areas. The permeability properties of fabric occurs as a function of environmental properties, primarily pore properties formed by the structural properties of the fabric, and the properties of fluid. Therefore, the structural factors that determine the pore structure of the fabric should be chosen in the most suitable way while designing a product for a specific usage area. In this study, the relations between the permeability and structural properties of woven fabrics, which have a wide usage area such as clothing and technical textiles, are examined by the help of the data obtained from a group of test fabrics which is produced by warp and weft threads of the same count and which has different weave types and settings.

In the study, permeability properties of the fabric are examined primarily by dividing into two regions, namely the inter-yarn pore regions and the inter-fiber pore regions. In order to define the inter-yarn pore properties, two-dimensional (2-D) and three-dimensional (3-D) unit pore cell models and 3-D weave unit models are defined theoretically by using structural properties such as setting, yarn count, fabric thickness. In addition, the pore properties are determined from the obtained surface and cross-sectional fabric images by image analysis method. The approach, which best defines the relation in-between for different fabric structures, is analyzed by examining the relation between the inter-yarn pore properties and the structural and permeability properties of the fabric. The intra-yarn pore properties are defined theoretically both by being measured from the cross-sectional images and by using fiber and yarn properties, and are determined by image analysis method, which is both fast and objective. After the pore properties determined by the structural and geometrical properties of the fabric are defined for both pore regions by different approaches, permeability results occurring as both through and in-plane directions

are theoretically estimated by using the obtained pore properties in the flow equations. Consequently, it was found that the results of 2-D approaches were insufficient to exhibit the differences of fabrics having different weave types and the 3-D structure of the fabric should always be taken into consideration during predicting the permeability by using pore parameters.

Keywords: permeability, porosity, pore size, image analysis method

İÇİNDEKİLER

Sayfa

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Giriş.....	1
1.2 Geçirgenlikle ilgili tanımlar	3
1.2.1 Hava geçirgenliği	3
1.2.2 Sıvı geçirgenliği	4
1.2.2.1 Islanma	4
1.2.2.2 Islanabilirlik	7
1.2.2.3 Su geçirmezlik.....	7
1.2.2.4 Emme	7
1.2.2.5 Emicilik.....	8
1.2.3 Su buharı geçirgenliği	8
1.2.4 Nefes alabilirlik.....	9
1.3 Akış denklemleri	9
1.3.1 Laminar, türbülanslı akışlar ve Reynolds sayısı	10
1.3.2 Poiseuille eşitliği	12
1.3.3 Darcy denklemi	13
1.3.4 Kozeny ve Kozeny-Carman eşitlikleri	15
1.3.5 Kapiller akış teorisi	15
1.3.6 Brinkman ve Stokes eşitlikleri	18
1.3.7 Gebart eşitlikleri.....	19
1.4 Kumaşın geçirgenlik özelliklerini etkileyen faktörler.....	19
1.4.1 Çevre faktörü.....	22
1.4.2 Akışkanın özellikleri	22

1.4.3 Kumaşın gözenek özellikleri.....	22
1.4.3.1 Dokuma kumaşların yapısal özellikleri.....	25
1.4.3.1.1 Hammadde özellikleri	25
1.4.3.1.2 İplik özellikleri.....	26
1.4.3.1.3 Örgü tipi	26
1.4.3.1.4 Sıklık	26
1.4.3.1.5 3-D kumaş geometrisi	26
1.4.3.1.6 Kumaş kalınlığı	27
1.4.3.1.7 Kumaş konstrüksiyonu.....	27
1.4.3.1.8 Kumaşın metre kare ağırlığı.....	27
1.4.3.1.9 Kumaşın gördüğü bitim işlemleri	27
1.5 Önceki çalışmalar.....	28
1.5.1 Kumaş geometrisi modelleri	29
1.5.1.1 Dimi örgülerle ilgili model çalışmaları	35
1.5.1.2 Kumaş içindeki iplik çapının modellenmesiyle ilgili çalışmalar	39
1.5.2 Kumaşın geçirgenlik ve gözenek özelliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen teorik çalışmalar	41
1.5.3 Kumaşın geçirgenlik ve gözenek özelliklerin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmalar.....	71
1.6 Çalışmanın amacı	101

BÖLÜM İKİ - GELİŞTİRİLEN TEORİK MODELLER 106

2.1 İplikler arası gözenek özelliklerinin belirlenmesi.....	106
2.1.1 Birim gözenek hücre modelleri.....	106
2.1.1.1 İki boyutlu (2-D) düzlemsel birim gözenek hücre modeli	106
2.1.1.1.1 Dairesel iplik çapı varsayımı.....	106
2.1.1.1.2 Eliptik iplik çapı varsayımı	108
2.1.1.2 İki boyutlu (2-D) enine kesit birim gözenek hücre modeli	109
2.1.1.3 Üç boyutlu (3-D) birim gözenek hücre modeli	112
2.1.1.3.1 Dairesel iplik çapı varsayımı.....	112
2.1.1.3.2 Eliptik iplik çapı varsayımı	114

2.1.1.4 Birim hücre modellerinden kumaşın gözenek özelliklerin elde edilmesi	115
2.1.2 Örgü birimi modelleri	116
2.1.2.1 Spline eğrileri	116
2.1.2.1.1 Spline eğrilerinin temel prensibi.	118
2.1.2.1.2 B-Spline eğrilerinin özellikleri.....	120
2.1.2.1.3 “B-Spline” eğrilerinin matematiksel eşitliği	122
2.1.2.2 Dimi örgü modelleri.....	124
2.1.2.2.1 B-spline yönteminin uygulanması.....	137
2.1.2.3 Bezayağı örgü modeli	140
2.1.2.4 Hacimsel gözeneklilik ve ortalama gözenek yarıçapı parametrelerinin hesaplanması	142
2.2 İplik içi (lifler arası) gözenek özelliklerinin belirlenmesi.....	143
2.2.1 İplik içi gözenekliliğin belirlenmesi.....	144
2.2.1.1 Teorik yaklaşımlar	144
2.2.1.2 Yarı-teorik yaklaşımlar	145
2.2.2 Lifler arası teorik gözenek boyutu	146
2.2.2.1 İpliğe dik yönde gerçekleşen akış için eşdeğer gözenek boyutları ..	146
2.2.2.2 İplik boyunca gerçekleşen akış için lifler arası birim gözenek hücre modeli.....	147
2.3 Geçirgenlik özelliklerinin tahminlenmesi	150
2.3.1 Düzleme dik yönde gerçekleşen akışın tahminlenmesi	151
2.3.2 Düzlemsel akışın tahminlenmesi	153
2.3.2.1 İplikler arası bölgede gerçekleşen kapiller akış	155
2.3.2.2 İplik içinde gerçekleşen kapiller akış.....	157
BÖLÜM ÜÇ - MATERYAL VE METOT.....	159
3.1 Materyal	159
3.2 Metot	160
3.2.1 Kumaşın yapısal özelliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen testler	160
3.2.1.1 Birim kumaş ağırlığı	160

3.2.1.3 Kumaş sıklığı	160
3.2.1.4 Kumaş kalınlığı	161
3.2.1.5 Hava geçirgenliği testi.....	161
3.2.1.6 Dikey emme testi	161
3.2.2 Kullanılan bilgisayar programları	162
3.2.2.1 Adobe® Photoshop® CS3	162
3.2.2.2 MATLAB®	162
3.2.2.3 Microsoft® Visual Basic 6.0.....	162
3.2.2.4 Autodesk® 3ds Max®	162
3.2.2.5 MINITAB® Release 14	163
3.2.3 Kumaş görüntülerinin elde edilmesi	163
3.2.3.1 Kumaşın yüzey görüntülerinin elde edilmesi.....	164
3.2.3.2 Kumaşın enine kesit görüntülerinin elde edilmesi için yapılan çalışmalar	165
3.2.4 Kumaşın yapısal parametrelerinin belirlenmesi.....	172
3.2.4.1 Yüzey görüntüleri üzerinden yapılan ölçümler.....	173
3.2.4.2 Enine kesit görüntüleri üzerinden yapılan ölçümler	175
3.2.4.2.1 Adobe® Photoshop® CS3 ölçümleri.....	1785
3.2.4.2.2 Stereo Investigator® ölçümleri	178
3.2.4.3 Kumaş içindeki iplik çapının teorik olarak belirlenmesi: dairesel ve eliptik enine kesit yaklaşımları	181
3.2.5 Kumaşın gözenek özelliklerinin görüntü analizi yöntemi ile belirlenmesi	182
3.2.5.1 Yüzey görüntülerinden iplikler arası gözenek özelliklerinin belirlenmesi	183
3.2.5.2 Enine kesit görüntülerinden iplik içi gözenekliliğin belirlenmesi ...	187
3.2.5.3 Enine kesit görüntülerinden birim gözenek hücre gözenekliliğinin belirlenmesi	189

BÖLÜM DÖRT - BULGULAR VE TARTIŞMA..... 191

4.1 Kumaşın yapısal özellikleri ile ilgili sonuçlar.....	191
--	-----

4.1.1 Teorik sonuçlar	191
4.1.2 Deneysel sonuçlar	192
4.1.2.1 Yüzey görüntüleri üzerinden yapılan ölçümlerin sonuçları	192
4.1.2.2 Enine kesit görüntüleri üzerinden yapılan ölçümlerin sonuçları.....	195
4.1.2.2.1 Adobe® Photoshop® CS3 ölçüm sonuçları.....	196
4.1.2.2.2 Stereo Investigator® ölçüm sonuçları.....	201
4.1.2.3 İplik çapı ve iplik açıklığı parametrelerinin kumaş içindeki değişiminin incelenmesi.....	211
4.2 B-spline eğrisi sonuçları.....	222
4.2.1 3-D kumaş simülasyonlarının elde edilmesi	224
4.3 Geçirgenlik test sonuçları ve modellerden elde edilen gözenek özellikleri... 227	
4.3.1 Hava geçirgenliği test sonuçlarının kumaşın yapısal özellikleri ile ilişkisi	227
4.3.2 Dikey emme testi sonuçlarının kumaşın yapısal özellikleri ile ilişkisi ...	228
4.3.3 İplikler arası gözenek özellikleri.....	231
4.3.3.1 Teorik modellerden ve görüntü analizi yönteminden elde edilen gözeneklilik sonuçları	232
4.3.3.2 Teorik modellerden ve görüntü analizi yönteminden elde edilen gözenek boyutu sonuçları.....	242
4.3.4 İplik içi gözenek özellikleri.....	246
4.3.4.1 Teorik, yarı-teorik ve görüntü analizi gözeneklilik sonuçları.....	246
4.3.4.2 Lifler arası teorik gözenek çapı.....	248
4.4 Tahmini geçirgenlik sonuçları	251
4.4.1 Düzleme dik yönde gerçekleşen geçirgenlik (Hava geçirgenliği)	251
4.4.1.1 İplikler arası bölge sonuçları.....	251
4.4.1.2 İplik içinde düzleme dik doğrultuda gerçekleşen akış sonuçları	257
4.4.1.3 Kumaş düzlemine dik yönde gerçekleşen toplam akış	257
4.4.2 Düzlemsel akışın tahminlenmesi	264

BÖLÜM BEŞ - SONUÇ VE ÖNERİLER..... 281

5.1 Sonuçların değerlendirilmesi	281
--	-----

5.1.1 Yapısal özellikler	281
5.1.2 Farklı yaklaşımlarla elde edilen gözenek özellikleri ile geçirgenlik sonuçlarının değerlendirilmesi	283
5.1.2.1 Geometrik modeller ve görüntü analizi yöntemi	283
5.1.2.2 Tahmini geçirgenlik sonuçları.....	285
5.2 Öneriler	287
KAYNAKLAR	289
EKLER.....	303
EK 1- TERMİNOLOJİ	303
EK 2- GÖRÜNTÜ ANALİZİ YÖNTEMİ.....	315
EK 3- VARYANS ANALİZİ SONUÇLARI	324
EK 4- YAYIN LİSTESİ.....	382

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Giriş

Kumaşlar farklı yapısal parametrelerin belirli koşullarda bir araya gelmesiyle oluşan karmaşık yapılardır. Kumaşı oluşturan hammadde ve iplik özellikleri ile kumaş tipi, örgü tipi, sıklık gibi kumaş özellikleri kumaşın estetik özelliklerini etkilediği gibi fiziksel özelliklerini de belirler. Kumaşın sahip olduğu yapısal özellikler belli bir kullanım alanındaki mekanik özellikler, duyuşal özellikler, geçirgenlik ve iletkenlik özellikleri gibi fiziksel özelliklerini belirler. Bu nedenle kullanım yerine uygun fonksiyonel bir ürün tasarlanırken ve/veya üretilirken kumaşın yapısal özelliklerinin o alandaki performans özelliklerine etkilerinin önceden bilinmesi gerekmektedir. İstenen performansa sahip bir ürünün henüz tasarım aşamasındayken belirlenmesi, hem tasarımcılar hem üreticiler için zaman ve maliyet açısından oldukça önemlidir. Özellikle kullanım sırasında geçirgenlik performansının çok büyük önem taşıdığı fonksiyonel giysiler ve tekstiller gibi katma değeri yüksek olan teknik tekstillerde, performans özelliğinin önceden tahminlenmesi ürün geliştirme çalışmalarının önemli basamaklarından biri olmalıdır.

Kumaşın hava, su, su buharı gibi geçirgenlik özellikleri başta dış giyim olmak üzere farklı uygulama alanlarında kullanılan teknik tekstillerde istenen bir performans özelliğidir. Kumaşın hava, su buharı geçirgenliği performansı giysi konforu açısından özellikle spor giysiler, özel iş giysileri, askeri kıyafetler, yağmurluklar, dış çevre koşullarına karşı koruyucu giysiler gibi fonksiyonel giysilerde önemlidir. Giysi konforuyla ilgili olan çalışmalar günümüzde hala güncelliğini korumakta, özellikle istenen konfor özelliklerine sahip ürün geliştirme amaçlı çalışmalar hızla devam etmektedir. Paraşüt, hava yastığı, rüzgardan koruyucu dış giysiler gibi fonksiyonel tekstillerde ise beklenen performansın sağlanması için kumaşın belirli bir hava geçirgenliği özelliğine sahip olması gereklidir. Bu uygulama alanlarına ek olarak kimyasal ve biyolojik koruma giysilerinde; çadır, branda gibi yapılarda; filtrasyonda kullanılan tekstil yapılarında; endüstriyel taşıma bantlarında

(örneğin kağıt üretimi) ve jeotekstiller gibi teknik tekstillerde sıvı geçirgenlik özellikleri tekstil malzemesinin performansını belirlediğinden kontrol edilmesi gereken önemli bir geçirgenlik özelliğidir. Kumaşın geçirgenlik özellikleri ayrıca ön terbiye, boyama, bitim işlemleri, kurutma gibi üretim aşamalarında da üretimin ve son ürünün performansını belirlemektedir. Kumaşların geçirgenlik özellikleri son yıllarda uygulama ve araştırma alanı artan tekstil yapılı kompozit malzemelerin üretim aşamasında da reçinenin kumaş içindeki transfer mekanizmasını değiştirmekte ve kompozitin performansını etkilemektedir. Dolayısıyla, tüm bu kullanım alanları ve işlem adımlarında beklenen performansı sağlayabilmek için geçirgenlik mekanizmasının ve buna etki eden faktörlerin doğru bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir.

Kumaşların hava, su ve su buharı geçirgenlik özellikleri başta kumaşın yapısal parametrelerine bağlı olarak değişen kumaş gözenekliliği olmak üzere, sıcaklık, basınç farklılıkları gibi dış ortam koşullarından ve kumaş içinden geçen maddenin özelliklerinden etkilenmektedir. İstenen geçirgenlik özelliklerine sahip bir kumaş tasarlanırken çevresel koşullar (sıcaklık, basınç, nem) ve kumaş içinden geçen akışkanın özellikleri (viskozite, yüzey gerilimi) tanımlanarak geçirgenlik özelliğini etkileyen yapısal parametreler doğru bir şekilde belirlenmelidir. Kumaş yapıları dokuma, örme ve dokusuz yüzeyler (nonwoven) olmak üzere üç ana grupta incelenmektedir. Bu çalışmada dokuma kumaşların geçirgenlik özelliklerinin ve bu özelliklere etki eden yapısal ve geometrik özelliklerin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı parametrelerin bir araya gelmesi ile oluşan dokuma kumaşlar homojen olmayan karmaşık bir yapıya sahiptir. Kumaş yapısı birçok farklı faktörün değişik kombinasyonlarla bir araya gelmesiyle oluştuğundan ve ayrıca iplik numarası, kumaş sıklığı, örgü tipi gibi temel kumaş özelliklerinin belirlediği kumaş gözenekliliği, kalınlığı, gramajı gibi kumaşın geçirgenlik özelliklerini doğrudan etkileyen yapısal özelliklerin birbirleriyle de etkileşim halinde olmasından dolayı geçirgenlik özellikleri ve yapısal özellikler arasındaki ilişkiler her zaman lineer değildir. Bu yüzden bir parametrenin etkisini, diğerini değiştirmeden incelemek zordur ve kumaşın yapısal özellikleri ile geçirgenlik performansı arasındaki ilişki oldukça karmaşıktır. Tüm bu faktörlerin etkisinin belli bir düzen içinde bir arada incelenmesi

öncelikle yapısal faktörlerin geometrik özelliklere etkisinin incelendiği, daha sonra geometrik özelliklerin geçirgenlik özelliklerine etkisinin analiz edildiği ve son olarak da yapısal faktörlerin geçirgenlik özelliklerine etkisinin değerlendirildiği sistematik bir çalışma gerektirmektedir. Bu amaçla bu çalışmada dokuma kumaşların yapısal, geometrik ve geçirgenlik özellikleri arasındaki ilişkiler gerçekleştirilen deneysel ve teorik çalışmalarla incelenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmayla ilgili ayrıntılı bilgilere geçmeden önce bu bölümde öncelikle geçirgenlik mekanizmasının daha iyi kavranabilmesi amacıyla akışkan transferi ile ilgili tanımlar verilmiş ve akış davranışları ile literatürde çokça kullanılan akış eşitlikleri açıklanmıştır. Daha sonra geçirgenlik mekanizmasına etki eden faktörler gruplandırılmış ve kumaş geometrisi ve geçirgenlik ile ilgili literatür özetlenmiştir.

1.2 Geçirgenlikle ilgili tanımlar

Bu bölümde kumaşın geçirgenlik mekanizması ile ilgili terimler kısaca açıklanmıştır.

1.2.1 Hava geçirgenliği

Hava geçirgenliği (air permeability) kumaşın iki yüzeyi arasından dik geçen hava akış miktarıdır. TSE (1996) hava geçirgenliğini “deney alanı, basınç düşmesi ve zaman gibi şartları belirlenmiş bir deney parçasından düşey yönde geçen havanın hızı” olarak tanımlamıştır. Hava geçirgenliği ölçümleri belirli bir kumaş alanında standart basınç farklılıkları oluşturarak yapılmaktadır. Teknik bir tanımla, manometrede 10 mm’lik bir yükseklik farkına neden olacak basınçta 100 mm²’lik bir alandan bir saniyede geçen hava hacminin mm olarak ifadesidir. SI birimiyle cm³/s/cm², mm/s olarak ifade edilen hava geçirgenliği giysi konforunu etkilemektedir. Hava geçirgenliği kavramı tekstil endüstrisinde kumaşın karakterini, özellikle de ürünün fonksiyonel performansını açıklarken teknik bir bilgi olarak çok sık kullanılmaktadır. Hava geçirgenliği yerine *hava direnci* kavramı da kullanılmaktadır.

Tekstil malzemelerinin hava geçirgenlikleri ve kumaş özellikleri arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için yapılan pek çok deneysel çalışmada ölçümler, materyalin iki yüzeyi arasındaki akış miktarını belirlemeye yarayan hava geçirgenliği test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hava geçirgenliği test cihazlarında genellikle Schifer ve Boyland (1942) tarafından geliştirilen hava geçirgenliği ölçerindeki temel prensip benimsenmiştir. Hava geçirgenliği test cihazı kullanılarak farklı kumaş yapıları için basınç değişimi ile akış miktarı arasındaki ilişki incelendiğinde ortaya çıkan farklılıklar kumaş yapı parametrelerinin hava geçirgenliğine etkisinin gözlemlenmesine yardımcı olmaktadır.

1.2.2 Sıvı geçirgenliği

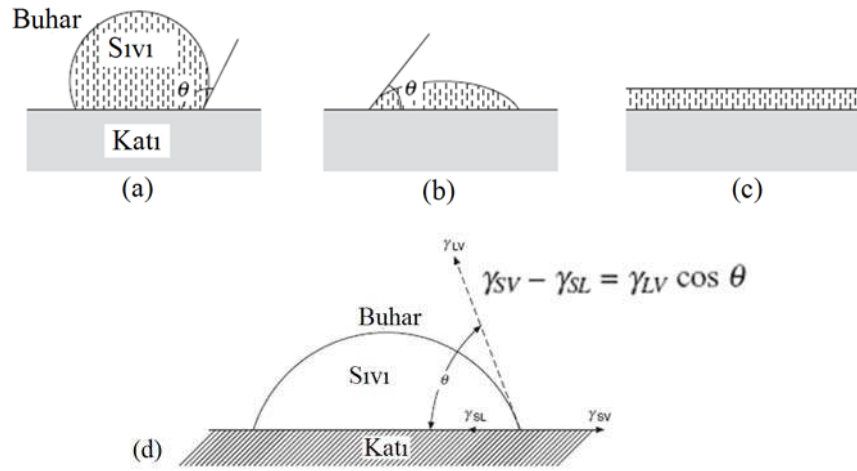
Malzeme içinde gerçekleşen sıvı transferi hareketi karmaşık bir mekanizmadır. Sıvı geçirgenliği özelliklerinin (liquid permeability) anlaşılması için öncelikle ıslanma (wetting), ıslanabilirlik (wettability), su geçirmezlik (waterproof), emme (wicking), emicilik (absorbency) gibi kavramların tanımlanması gerekmektedir.

1.2.2.1 Islanma

Katı bir yüzeyin ıslanması katının belli koşullarda belli bir sıvı ile olan temasının sonucu oluşan durum olarak anlaşılır. Islanma katı-hava ara yüzünün katı-sıvı ara yüzüyle yer değişimi olarak düşünülebilir. Islanma aynı zamanda emme işleminden önce sıvı ve malzeme arasındaki etkileşimi açıklamaktadır.

Bir katının bir sıvı tarafından ıslatılması veya ıslatılmaması temas açısına bağlıdır. Sıvının düzgün homojen bir yüzeyde oluşturduğu yapı olan temas açısı katının yüzey gerilimi ile ilişkilidir. Katının kimyasal ve fiziksel yapısı katının yüzey enerjisini etkilemektedir. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi küçük bir sıvı damlası düz bir katı yüzey üzerine yerleştirildiğinde belirgin iki durum gözlenebilir. Bunlar; sıvının belirli bir temas açısı ile katıyı kısmi ıslatma durumu veya sıfır temas açısı ile tam ıslatma durumudur. Islatma açısı olarak da adlandırılan temas açısı, temas doğruları boyunca herhangi bir noktada sıvının yüzeyine tanjant düzlemi ve katının yüzeyine tanjant

düzlemi arasındaki açıyı içerir. Temas açısının kosinüsü, genelde materyalin ıslanabilirliğini göstermek için kullanılan parametredir. Temas açısı sıfıra yaklaştığında ıslanabilirlik maksimum düzeydedir. Sıvı ve yüzey arasındaki temas açısı büyük ise bu suyun yüzeyden akacağı anlamına gelir, küçük temas açısı ise suyun materyali ıslatacağı anlamına gelir (Patnaik ve ark., 2006). Bu konu ile ilgili çalışmalar yüksek enerjiye sahip yüzeylerin küçük temas açısı oluşturarak daha iyi ıslanabildiğini göstermiştir.

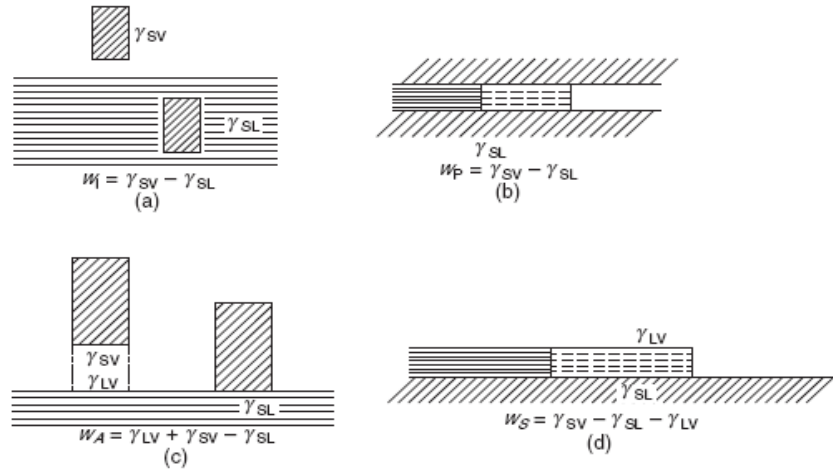


Şekil 1.1 Düzgün bir yüzeye damlatılmış sıvının denge durumu: a, b. Kısmi ıslanma, c. Tam ıslanma, d. denge halinde kuvvetlerin durumu (γ farklı ara yüz gerilimleri, θ temas açısı) (Patnaik ve ark., 2006)

Katı bir yüzey üzerinde duran ve bir açı oluşturan bir damla sıvının üç kuvveti dengeleyerek denge halinde durduğu düşünülür. Bu kuvvetler; katı-sıvı arasındaki ara yüzey gerilimi (γ_{SL}) ile katı-buhar (γ_{SV}) ve sıvı-buhar arasındaki ara yüzey gerilimleridir (γ_{LV}). Katının yüzey gerilimi sıvının yayılmasını tercih etmekte, fakat buna katı-sıvı ara yüz gerilimi tarafından ve katı yüzey düzleminde sıvının yüzey gerilimi faktörü tarafından karşı konulmaktadır. Islanma sırasında katı-sıvı sınırları arasında denge durumundaki kuvvetler genel olarak Young-Dupre eşitliği (Eşitlik 1.1) ile açıklanmaktadır. Bir sıvının katıyı tamamen ıslatması için veya bir katının sıvı içine batması için katı yüzeylerin sıvının serbest yüzey enerjisini yenecek yeterli yüzey enerjisine sahip olması gerekmektedir.

$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cos \theta \quad (1.1)$$

Tekstillerin ıslanma mekanizması batma (immersion), kapiller emme (capillary soption), adezyon (adhesion) ve yayılma (spreading) olmak üzere birkaç temele dayanmaktadır (Şekil 1.2). *Batma* veya *kapiller emme* sırasında katı-hava ara yüzü kaybolmakta ve katı-sıvı ara yüzü görülmektedir. *Adezyon*, temastaki iki yüzey arasındaki çekimdir. Katı yüzeyinin yapısına bağlı olan adezyon işi (W_A) katı ve sıvı arasındaki net çekimi belirlemektedir. *Yayılma* en az iki moleküler tabakada bir katı üzerinde sıvının akışıdır. Yayılma sırasında katı-sıvı ve sıvı-hava ara yüzleri artmakta, katı-hava ara yüzleri azalmaktadır (Patnaik ve ark., 2006).



Şekil 1.2 İslanma mekanizması: a. katının sıvı içinde batması, b. kapiller emme, c. sıvı ve katı arasındaki adezyon, d. sıvının katı üzerinde yayılması (Patnaik ve ark., 2006).

Kumaşın ıslanma mekanizması iki yönde gerçekleşir. Bunlar, kumaş düzlemindeki akış ve kumaş düzlemine dik yönde yani kumaşın içine doğru gerçekleşen akıştır. İplik ve dokuma, örme, nonwoven kumaşlar gibi lifli toplulukların anizotropik özelliklerinden dolayı, bu iki yönde gerçekleşen akış mekanizması kumaşın ya da akışkanın özelliklerindeki değişimlerden farklı etkilenir. Kumaşların ıslanma davranışları yüzey pürüzlülüğü gibi kumaş özelliklerinden dolayı karmaşık bir mekanizmadır. Ancak lifli yapının ıslanma özellikleri, materyalin

boyama, baskı, bitim, kaplama gibi üretim işlemleri sırasındaki yeteneğini ve kullanım sırasındaki performans özelliklerini etkileyeceğinden kontrol edilmelidir.

1.2.2.2 Islanabilirlik

Bir sıvı ve özel tabaka arasındaki ıslanma davranışı temelde sıvının yüzey enerjisi (gerilimi) ile tabakanın yüzey enerjisi arasındaki ilişkiye bağlıdır. Islanabilirlik (wettability) bir yüzeyin belli bir sıvı ile etkileşime girme potansiyelidir.

1.2.2.3 Su geçirmezlik

AATCC kumaşın su direnci (water resistance) kavramını su tarafından ıslanmaya ve suyun içeri girmesine karşı koyma yeteneği olarak, su iticiliği (water repellency) ise lifin, ipliğin veya kumaşın ıslanmaya karşı koyma karakteri olarak tanımlamaktadır (Hu, Li, ve Yeung, 2006). Dış giysiliklerde özellikle askeri üniformalarda, yağmurluklarda su geçirmezlik (waterproof) özelliğinin olması istenmektedir.

1.2.2.4 Emme

Sıvının iplik veya kumaş gibi lifli bir ortamda transferi dış kuvvetler veya kapiller kuvvetlerle sağlanmaktadır. Gözenekli bir sistemde sıvının kapiller kuvvetlerle gerçekleşen transferi *emme* (wicking) olarak adlandırılmaktadır. Islanma kapiller kuvvetlere sebep olduğundan emme kapiller sistemlerde ıslanmanın sonucu olarak değerlendirilmektedir. Sıvı, lifler arasındaki kapiller boşluklarda (gözeneklerde) lif topluluğunu ıslattıktan sonra, oluşan kapiller kuvvetler sıvıyı kapiller boşluklara doğru iletmekte ve emme olayı gerçekleşmektedir. Islanma kapiller sistemde katı-hava ara yüzünün katı-sıvı ara yüzüyle kendi kendine olan yer değişimi olarak düşünülebilir. Dışarıdan bir müdahale olmaksızın kendi kendine gerçekleşen bu durum için serbest enerji kazanılmalı ve giriş işi pozitif olmalıdır. Bu da katı-hava ara yüz enerjisinin (γ_{SV}) katı-sıvı ara yüz enerjisini (γ_{SL}) geçtiği durumda gerçekleşmektedir. Emme sırasında gerçekleşen önemli değişim katı-sıvı ara

yüzünün artışı ve katı-hava ara yüzünün azalmasıdır. Sıvı-hava ara yüzünde ise önemli bir değişim olmamaktadır (Patnaik ve ark., 2006,).

Tekstil yapılarında emme yoluyla sıvı transferi ürünün üretim işlemleri ve son kullanım özelliklerini etkileyen önemli bir özelliktir. Birçok ıslak işlem gören lifli materyalde daha iyi performansta ürünler için homojen yayılma ve sıvının gözeneklerden içeri girişi gerekmektedir. Örneğin, tekstillerin boyama gibi ıslanma işlemlerinde kapilleriteyi anlamak önemlidir. Tekstil yapılarında gerçekleşen sıvı transferi davranışını inceleyen çalışmalarda bu mekanizmanın sıvı özellikleri (viskozite ve yüzey gerilimi), sıvı-lif ilişkisi, dış koşullar ve lifli sistemin gözenek yapısı gibi birçok değişkenden etkilendiği gözlenmiştir. Islanma ve emme mekanizması ile ilgili detaylı bilgiler sıvı filtrasyonu, kumaş boyama, kurutma ve bitim işlemleri, hijyenik ürünler, medikal kumaşlar, konfor özelliklerinin ön planda olduğu özel giysiler gibi farklı kullanım alanlarında uygun materyaller geliştirmek açısından önemlidir.

1.2.2.5 Emicilik

Emicilik (absorbency) ASTM D 123-01 tarafından bir materyalin diğerini içine alması veya soğurması prosesi olarak tanımlanmaktadır. AATCC test yöntemi 79-2000 emiciliği özel bir kullanım için kumaşın uygunluğuna karar veren önemli bir faktör olarak tanımlanmaktadır (Hu, Li, ve Yeung, 2006). Emicilik bir materyalin bir sıvıyı içine alma; gözeneklerinde ve yarıklarından tutma eğilimidir. Kumaşın nem alma yeteneğini de etkileyen emicilik; cilt konforu, statik yapı, su iticilik gibi farklı birçok performans özelliğini belirleyen önemli bir özelliktir.

1.2.3 Su buharı geçirgenliği

Bir materyalin su buharı geçirgenliği (water vapor transfer) giysi sistemlerinin termofizyolojik giyim konforunu değerlendirmede veya teknik uygulamalarda kullanılan tekstil materyallerinin performans karakterlerine karar vermede önemli rol oynamaktadır (Hu, Li, ve Yeung, 2006). Kumaşın su buharı geçirgenliği özellikle

aktif spor giysilerinde vücudun ısı dengesinin ve konforunun sağlanması için önemli fiziksel özelliklerinden biridir.

Kumaşta nem transfer özellikleri nem-yönetim (moisture-management) özellikleri olarak tanımlanmaktadır. Üstün nem yönetimi özelliklerine sahip kumaşlar spor giyim, iş giysileri, üniformalarda kullanılmaktadır. Bu kumaşların hızlı kurumaması ve üstün nefes alabilirlik yeteneğine sahip olarak nemi ciltten etkili olarak uzaklaştırması istenmektedir.

1.2.4 Nefes alabilirlik

Nefes alabilirlik (breatability) kumaşın havalandırılmasını ifade etmektedir. Konfor açısından ele alındığında fonksiyonel nefes alabilir kumaşta, vücut tarafından üretilen su buharının kumaş içinden kolaylıkla çevreye difüze olması istenmektedir. Terleme vücudu soğutan temel mekanizmalardan biri olduğu için, eğer su buharı dış ortama gidemezse giysi içindeki mikro klimanın bağıl nemini arttıracaktır. Bu artış ıslaklık ve yapışkanlık algılarına neden olarak soğuk hissetme algısını etkilemektedir. Bu yüzden su buharı veya sıvı nem geçişi materyalin hava geçirgenliği ve giyim sırasındaki termal konfor algılarıyla yakından ilgilidir. Eğer kumaş hava geçirgense, bu su buharı ve sıvı nemin kumaşın iç yüzeyinden dış yüzeyine geçebileceği ve çevreye buharlaşacağı anlamına gelmektedir.

1.3 Akış denklemleri

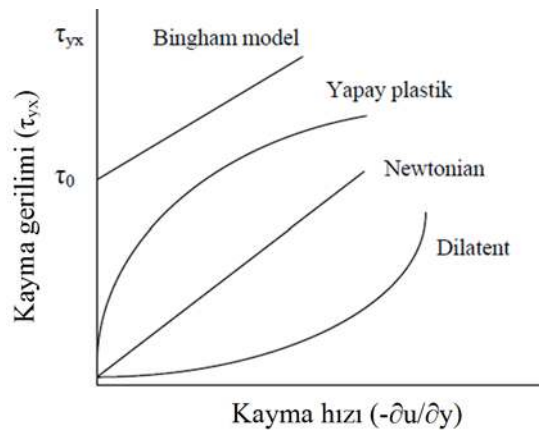
Kullanım alanları göz önüne alındığında hava geçirgenliği kavramında kumaşın iki yüzeyi arasındaki akış hareketi daha çok etkiliyken, sıvı geçirgenliğinde kumaş düzlemine dik yöndeki akış kadar düzlemsel akış da etkilidir. Özellikle sıvı transferinde ve yayılmasında kapiller kuvvetler etkin ve önemlidir. Lifli materyalin homojen olmayan yapısından dolayı gözenekli ortamın akışkan transfer davranışı zor bir problem haline gelir. Kumaşın geçirgenlik davranışları hem üretim sırasında hem de kullanım sırasında tekstil materyalinin performansını belirlediğinden bu alanda hem teorik hem deneysel birçok araştırma yapılmış; deneysel yöntemler, teorik

modeller ve yaklaşımlar geliştirilmiştir. Yapılan nümerik çalışmalarda kumaşlarda geçirgenlik teorik olarak belirlenirken farklı araştırmacılar tarafından önerilen akışkan denklemleri kullanılmıştır. Genelde teorik modeller Poiseuille (1840), Darcy (1846), Kozeny (1927) eşitliklerinin gözenekli ortama göre modifiye edilmesiyle oluşturulmuş veya geçirgenliği hesaplamak için gözenek boyut dağılımını kullanan kapiller teoriye dayandırılmıştır. Bu bölümde geçirgenliğin teorik olarak tahminlenmesi için gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılan akışla ilgili tanımlar ve eşitlikler hakkında bilgiler verilmiştir.

1.3.1 Laminar, türbülanslı akışlar ve Reynolds sayısı

Bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direncin ölçüsüne *viskozite* denir. Eşitlik 1.2 Newton'un viskozite yasası olarak bilinmekte ve bu yasaya uygun davranan akışkanlar “Newtonian” akışkanlar olarak adlandırılmaktadır. Eşitlikte μ akışkanın dinamik viskozitesi, τ_{yx} kayma gerilimi, $-\partial u/\partial y$ kayma hızını ifade etmekte ve bu yasaya uymayan akışkanlar “Non-Newtonian” akışkanlar olarak adlandırılmaktadır (Dunn,1999). Şekil 1.3’de Newton yasasına uyan ve uymayan akışkan davranışları grafikte gösterilmiştir.

$$\tau_{yx} = -\mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1.2)$$



Şekil 1.3 Newton yasasına uyan ve uymayan akışkan davranışları (King, 2003)

Bazı akışlar oldukça çalkantılıyken bazıları düzgün ve düzenlidir. Akışkanın paralel katmanlar halinde aktığı, çok yüksek hızlı olmayan akışlara *laminar akış* veya *düzgün akış* denmektedir. Bu akış Newton yasasına uymaktadır. Yüksek derecede düzensiz akışkan hareketi ise genellikle yüksek hızlarda meydana gelmekte ve *türbülanslı akış* olarak adlandırılmaktadır. Bu akış Newton yasasına uymamaktadır.

Bir borudaki akış incelendiğinde akışkan hareketinin, düşük hızlarda düzgün bir biçimde olduğu, fakat hız belli bir değerin üzerine çıkarıldığında ise çalkantılı hale döndüğü görülmektedir. İlk durumdaki akışın laminar olduğu, ikinci durumda ise türbülanslı olduğu söylenebilir. Laminar akıştan türbülanslı akışa geçiş aniden oluşmamaktadır. Akış tamamen türbülanslı olmadan önce akışın laminar ve türbülanslı akış arasında değiştiği bazı bölgeler de oluşmaktadır. 1880’lerde Reynolds borularda ilerleyen akışkanların laminar akıştan türbülanslı akışa geçişinin koşullarını incelemiş ve sıvı bir sistem içerisinde geçerken oluşan sürtünmelerin etkisiyle basınçta düşmenin olduğunu, bu basınç kaybının ise belli bir noktadan sonra hızlandığını saptamıştır. Laminar akıştan türbülanslı akışa geçişin geometriye, yüzey pürüzlülüğüne, akış hızına, yüzey sıcaklığına ve akışkan türüne de bağlı olduğu belirtilmiştir. Reynolds akışkanın atalet kuvvetlerinin viskozite kuvvetlere oranını içeren boyutsuz bir sayı tanımlamıştır. Reynolds sayısı (Re) olarak adlandırılan bu sayı en genel ifade ile borunun çapına (d, cm), akışkanın hızına (v, m/s), akışkanın yoğunluğuna (ρ , kg/m³) ve akışkanın dinamik viskozitesine (μ , Pa.s) bağlı olarak Eşitlik 1.3 ile hesaplanmaktadır. Eşitlikte μ/ρ oranı akışkanın kinematik viskozitesini (ν , m²/s) tanımlamaktadır.

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{v d}{\nu} = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskozite kuvvetleri}} \quad (1.3)$$

Reynolds sayısı laminar akış ve türbülanslı akış gibi değişik akış rejimlerini nitelemek için kullanılmaktadır. Laminar akışın viskoz kuvvetlerin baskın olduğu ve sabit akış hareketiyle karakterize edilen düşük Reynolds sayılarında meydana geldiği, türbülanslı akışın ise atalet kuvvetlerinin baskın olduğu ve rastgele dalgalanmalar yaratan yüksek Reynolds sayılarında gerçekleştiği belirtilmektedir.

Genel olarak Re sayısı 2000'den küçük ise laminar akışın, büyük ise türbülanslı akışın dikkate alınması önerilmektedir.

Dokuma kumaşlar gibi gözenekli sistemlerde ise akışkan transferi sırasında akışkan bir miktar enerjisini akışkan-kumaş arasındaki sürtünme kuvvetlerini yenmek için kullanılırken geri kalan enerjiyi atalet kuvvetlerini yenmek için kullanmaktadır. Buna bağlı olarak gözenek boyutları azaldığında, sürtünme artmaktadır. Laminar veya türbülanslı akış katsayısı (λ) ve akış rejimine ($0 \leq n \leq 1$) bağlı olarak sürtünme katsayısı (f) ve Re arasındaki ilişki Eşitlik 1.4'deki gibi tanımlanmıştır. Akış tamamen laminar olduğunda ($n=1$; $\lambda = 64$) sürtünme katsayısı Re'nin bir fonksiyonu olarak değerlendirilirken, türbülanslı akış durumunda ($n=0$) sürtünme Re'den bağımsızdır. Kumaş yapılarında gözeneklerin yüzey özelliklerinden de etkilenen sıvı akışı mekanizmasında $Re > 200$ olduğunda sürtünme katsayısının Re'den bağımsız olacağı belirtilmiştir (Kulichenco ve Langenhove, 1992).

$$f = \lambda Re^{-n} \quad (1.4)$$

1.3.2 Poiseuille eşitliği

Bir akışkanın aerodinamik akışında viskozite kuvvetlerin üstesinden gelmek için tüm uygun enerjilerin kullanıldığı durum ince bir kapiller içinde sıvının çok yavaş hareketi ile ilgili Poiseuille eşitliğiyle açıklanmıştır (Goodings, 1964). Hagen-Poiseuille yasası adıyla da bilinen Poiseuille kanunu viskoz bir akışkanın, sabit kesit alanına sahip silindirik bir tüp içindeki laminar akışını tanımlamaktadır. Eğer akış miktarı (Q , m³/s) aerodinamik ve sabitse kumaş içindeki akış basıncı (P) ile orantılı olarak ifade edilmektedir. Bu durum Poiseuille tarafından Eşitlik 1.5 ile açıklanmıştır. Bu eşitlikte K sayısı gözenekli ortamın yarı çapı, uzunluğu, gözenek sayısı, gözenek kanalın şekli (k) gibi özelliklere ve havanın viskozitesine bağlı bir sabittir. Poiseuille eşitliği Stokes eşitliği ile modifiye edilerek Eşitlik 1.6'da gösterildiği gibi daha ayrıntılı olarak ifade edilmiştir. Bu eşitlikte basınç değişimi (ΔP) tüpün uzunluğu (L , cm), hacimsel akış miktarı ($Q = dV/dt$), tüpün çapı (d) veya yarıçapı (r), akışkanın dinamik viskozitesi (μ) ile tanımlanmıştır. Buna göre bilinen

bir basınçta kumaş içinden geçen hava akış miktarı Poiseuille eşitliğinden türetilen akış eşitliği ile hesaplanabilir.

$$Q = K\Delta P = \frac{r^2 A \varepsilon}{k\mu L} \Delta P \quad (1.5)$$

$$\Delta P = \frac{8\mu L Q}{\pi r^4} = \frac{128\mu L Q}{\pi d^4} \quad (1.6)$$

Farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda kumaş yapısı birbirine paralel tüplerden oluşmuş bir yapı olarak kabul edilerek kumaş içinden gerçekleşen akış Poiseuille eşitlikleri modifiye edilerek modellenmiştir. Kumaş sistemi için modifiye edilen eşitlikte (Eşitlik 1.6) d parametresi gözenek kesitinin hidrolik çapını, L parametresi gözenek uzunluğunu ya da gözenek sisteminin kalınlığını ifade etmektedir.

1.3.3 Darcy denklemi

Darcy modeli (1856) izotropik gözenekli ortam içinde gerçekleşen sıvı akışı ile ilgili yapılmış ilk çalışmadır. Darcy kuralı gözenekli ortam içinde gerçekleşen laminar ve durgun akışı, basınç değişimi ve gözenekli ortamın gerçek geçirgenliği cinsinden açıklayan deneysel bir formüldür (Pan ve Zhong, 2006). Darcy akış hızı (v , m/s) için Eşitlik 1.7'yi önermiştir.

$$v = -\frac{K}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x} = -\frac{K}{\mu} \Delta P \quad (1.7)$$

Darcy'nin kuralına göre akış hızı (v) basınç değişimi (ΔP), sıvının viskozitesi (μ) ve gözenekli ortamın özelliğini belirten geçirgenlik tensörünün (K) bir fonksiyonudur. Darcy kuralı basınç değişimi ve ortalama hızın ilişkisini gözenekli ortamın özelliğine bağlı olarak yansıtmaktadır. Darcy kuralı toplam atmosfer basıncı değişimi altında kütle transferini açıklamak için kullanılabilir. Darcy eşitliği akışın gerçekleştiği kanal içindeki sürtünmeye de bağlı olarak Eşitlik 1.8 ile tanımlanmıştır (Kulichenko ve Langenhove, 1992). Akışın gerçekleştiği ortamın çapı (d) gözenegin

hidrolik çapı (d_h) olarak kabul edilmiştir. Gözeneğin ıslanmış alanının (A) ıslanmış çevresine (S) oranı olarak tanımlanan gözeneğin hidrolik yarıçapı (r_h) ile hidrolik çapı (d_h) arasındaki ilişki Eşitlik 1.9’da verilmiştir.

$$\Delta P = f \frac{L \rho v^2}{2d} = \frac{32L \rho v^2}{Re d_h} \quad (1.8)$$

$$r_h = \frac{A}{S} ; \quad d_h = 4r_h \quad (1.9)$$

Birçok farklı parametrenin bir araya gelerek oluşturduğu 3-D kumaş yapıları karmaşık, gözenekli ortamlardır. Lifli materyallerin gözenek boyutu genellikle küçük olduğundan tanımlanması oldukça zor olan bu yapının geçirgenliğinin belirlenmesi için birçok çalışmada kumaş içinde gerçekleşen akış Darcy kuralı ile açıklanmıştır. Kumaş gözenekleri içinde gerçekleşen akış hızı genelde laminar akış olduğundan ($f=64/Re$) gözenek içindeki hava akış hızı Eşitlik 1.10’daki gibi ifade edilebilir. Eşitlikte gözeneğin uzunluğu kumaş kalınlığı (t) olarak tanımlanmıştır.

$$v = \left(\frac{d_h^2}{32\mu t} \right) \Delta P \quad (1.10)$$

Sonuç olarak belli bir gözenek sayısı (m) ve gözenek enine kesit alanına (A) sahip gözenekli ortam içinde gerçekleşen akış miktarı (Q) Darcy ve Poiseuille eşitliklerine göre Eşitlik 1.11 ve Eşitlik 1.12 kullanılarak elde edilebilir (Kulichenco, 2005, Xu ve Wang, 2005).

$$Q = mAv \quad (1.11)$$

$$Q = m\pi \frac{d_h^4}{128\mu t} 10^{-6} \Delta P \quad (1.12)$$

1.3.4 Kozeny ve Kozeny-Carman eşitlikleri

İzotropik gözenekli yapı için Darcy'nin kuralından farklı olarak Kozeny (1927) çalışmasında akış eşitliğinde yer alan gözenekli yapıya ait parametreyi (K) geliştirerek matematiksel olarak ifade etmiştir. Kozeny (1927) gözenekli ortamı belirli uzunlukta farklı enine kesitlere sahip bir grup tüpten oluşmuş bir yapı olarak modellemiş, böylece geçirgenliği hidrolik çap cinsinden tanımlamıştır. Kozeny (1927) ve Carman (1937) tarafından geçirgenlik parametresi (K), lif hacim oranı (v_f) ve deneysel olarak bulunan Kozeny katsayısı (k) kullanılarak Eşitlik 1.13'deki gibi ifade edilmiştir (Pan ve Zhong, 2006).

$$K = k \frac{(1 - v_f)^3}{v_f} \quad (1.13)$$

Gözenekli ortam akışını anlamaya yönelik daha sonraki önemli gelişme Carman tarafından gerçekleştirilen ve bugün Kozeny-Carman eşitliği olarak bilinen çalışmadır. Carman, bu eşitliğin deneysel sonuçlarla Kozeny'nin eşitliğinden daha çok uyum gösterdiğini iddia etmiştir. Kozeny-Carman eşitliği geçirgenliği tanımlamak için izotropik ortamda etkili bir model olan kapiller akışı kullanmaktadır. Eşitlik 1.14'te geçirgenlik değeri (B) gözeneklilik (ε), Kozeny katsayısı (K_0), katı maddenin birim hücresi başına sıvı ile maruz kalan özgül yüzeyi (S_0) ile tanımlanmıştır (Dunn, 1999). Kozeny-Carman eşitliği toplam gözeneklilik, lif-boşluk arayüz alanı ve eğrilik (tortuosity) kullanarak gözenekli materyal için ortalama geçirgenliği vermektedir.

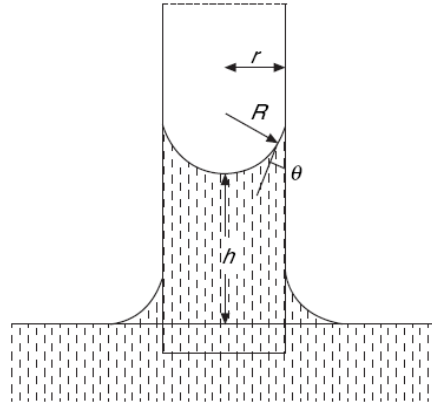
$$B = \frac{\varepsilon^3}{K_0 S_0^2 (1 - \varepsilon)^2} = \frac{\varepsilon^3}{5 S_0^2 (1 - \varepsilon)^2} \quad (1.14)$$

1.3.5 Kapiller akış teorisi

Kapiller hareket ya da kapilarite sıvının kendi yüzey veya ara yüzey kuvvetlerinin etkisi altında makroskobik hareketi veya akışı olarak tanımlanabilir. Basit bir

kapiller tüpte en basit emme işlemi sırasında sıvı kapillerin duvarını ıslattığında Şekil 1.4’de görüldüğü gibi yüzey geriliminden dolayı sıvının üst tarafında bir eğri (menüsküs) oluşur ve sıvının yüzey gerilimi eğimli sıvı-buhar ara yüzü etrafında bir basınç farklılığına (ΔP_c) sebep olur. Basınç farklılığı sonucunda kapillerde sıvının ani akışı gerçekleşir. Young (1773-1829) ve Laplace’tan (1749-1827) bağımsız olarak 1805 yılında küresel bir yüzeyin basınç farklılığı için değer çıkarılmıştır ve bu değer Young-Laplace eşitliği olarak adlandırılarak sunulmuştur (Pan ve Zhong, 2006). Kapiller basınç (ΔP_c) kapiller yarıçap (r) ve sıvı-buhar ara yüzey gerilimi (γ_{LV}) ile ilişkili olarak Eşitlik 1.15’de tanımlanmıştır. Kapiller basınç kapiller yarıçapla ters orantılıdır. Kapiller duvar tamamen sıvı ile ıslanabilir olduğunda $\cos\theta=1$ olur. Pozitif bir kapiller basınç için θ değerleri 0° ile 90° arasında olmalıdır.

$$\Delta P_c = 2\gamma_{LV} \cos\theta / r \quad (1.15)$$



Şekil 1.4 Kapiller içinde gerçekleşen emme olayı (Pan ve Zhong, 2006)

Washburn (1921) kapiller akış dinamiğiyle ilgili çalışmasında kılcalların çok küçük olduğunu ve bu nedenle akış sırasında Poiseuille eşitliklerinin geçerli olacağını kabul etmiştir. Buna göre belli bir zamanda (dt) herhangi bir enine kesite sahip kapilleri ıslatan sıvının hacmi (dV) Eşitlik 1.16’da tanımlanmıştır. Eşitlikteki toplam basınç (ΣP) sıvıya kapiller boyunca kuvvet uygulatan toplam etkin basınçtır ve dış basınç (P_e), hidrostatik basınç (P_h) ve kapiller basıncın (P_c) toplamı olarak tanımlanmaktadır (Eşitlik 1.17). Klasik Lucas -Washburn eşitliğinde ise belli bir

yarıçapa sahip (r) dikey bir kapillerden aşağı veya yukarı doğru hareket eden sıvının hızı (dh/dt) Eşitlik 1.18'de tanımlanmıştır (Pan ve Zhong, 2006).

$$dV = \frac{\pi r^4 \sum P}{8\mu L} dt \quad (1.16)$$

$$\sum P = P_e + P_h + P_c \quad (1.17)$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{r\gamma \cos \theta}{4\mu h} \quad (1.18)$$

Lifler arası bölgelerdeki geçirgenlik mekanizması kapiller basınçlarla ilgilidir. Bu nedenle kapiller teorisinin ayrıntılı olarak analiz edilmesi gerekmektedir. İplik, kumaş gibi tekstil ürünlerinde lifler tarafından oluşturulan gözenek kanalları silindirik, birbirine paralel düzenli kapiller yapılar oluşturmaz. Kapiller boyut ve şekilleri iplik içinde yer alan liflerin şekilleri, boyutları, iplik ve kumaş özelliklerine bağlı olarak değişir; bu nedenle de kumaş içinde gerçekleşen kapiller mekanizma daha karmaşıktır. Çalışmalarda kumaşlarda gerçekleşen kapiller emme mekanizmasını modellemek amacıyla, lif topluluklarından oluşan kumaş genelde bir grup paralel kapillerden oluşmuş sistem olarak düşünülmüştür. Lifli topluluk gibi homojen olmayan kapiller sistemde sıvının hareketi düzensiz kapiller boşlukların farklı boyutlara sahip olmasından dolayı da sürekli değildir ve ıslanma kapiller sistemde küçük sıçramalarla ilerler. İplik ve kumaşlardaki kapiller boşluklar düzenli olmadığından kapiller emmeyi inceleyen çalışmalarda kumaş yapısıyla ilişkili olarak etkin kapiller yarıçap (r_e) tanımlanmıştır (Perwuelz ve ark., 2000, Benltoufa ve ark., 2008, Mhetre ve Parachuru, 2010). Sıvı kumaş, iplik gibi düzgün olmayan tekstil malzemelerinde yüzeyin gözenekleri ve kıvrımları boyunca yayılmaktadır. Emme davranışının devam etmesi için gereken kuvvet gözeneklerin geometrisine, sıvının yüzey gerilimine ve katı-gaz ve katı-sıvı ara yüzlerinin serbest enerjilerine bağlıdır. Aynı zamanda kumaşın veya ipliğin kapiller boyutları ve sıvının viskozitesi de emme mekanizmasını etkiler.

1.3.6 Brinkman ve Stokes eşitlikleri

Brinkman (1947) eşitliği daha gerçekçi bir gözenekli ortam için genelleştirilmiş Darcy kuralına dayanan akış ilişkisini tanımlamaktadır. Eşitlik 1.19’da süreklilik eşitliği ile düşünülerek basınç (P), akışkan hızı (v), viskozite (μ) ve ipliğin geçirgenlik tensörü (K_{tow}) ile tanımlanmıştır (Ngo ve Tama 2001, Belov ve ark., 2004). Eşitlikteki Laplace operatörü akışın sonlu bir gözenekli ortamda modellenmesini sağlar. İplik içi bölgedeki akış Brinkman eşitliği kullanılarak modellenmiştir.

$$\mu \nabla^2 \langle v \rangle - \mu K_{tow}^{-1} \langle v \rangle = \frac{1}{\rho_0} \nabla P \quad (1.19)$$

Navier-Stokes eşitliği (Eşitlik 1.20) ise akışın laminar gerçekleştiğini, giriş etkilerinin ihmal edildiğini kabul eden süreklilik ve Stokes eşitlikleriyle modellenmiştir.

$$\rho \nabla v + \mu \nabla^2 v = \frac{1}{\rho_0} \nabla P \quad (1.20)$$

Lattice Bozman yöntemi (LBM) akışkan akış simülasyonu için geliştirilmiş bir bilgisayarlı akış dinamiği (CFD) yöntemidir. Yöntem kompleks geometrilere, çok boyutlu gözenekli ortamlarda gerçekleşen akışı nümerik hesaplamalarla modellemektedir. Yöntem ile yöne bağlı geçirgenlik bulunabilir. LBM mikroskobik modeller ve mezoskopik kinetik eşitliklere dayanmaktadır. Yöntem akışkanı basitleştirilmiş ve uygun kurallara göre bir kafes üzerinde hareket eden ve etkileşen bir grup akışkan parçacıkları olarak düşünerek karmaşık akışkan akışının modellenmesine yardımcı olmaktadır. Homojen olmayan tekstil yapılarında LBM yöntemi kullanarak eşzamanlı olarak iplikler arasında gerçekleşen akış Navier-Stokes; iplik içi akış Brinkman eşitliklerine göre çözümlenebilmektedir (Belov ve ark., 2004).

1.3.7 Gebart eşitlikleri

Gebart (1992) iplik içinde tek yönlü yerleşmiş filamentlere paralel ve dik yöndeki akışlar için 2-D simülasyonlar oluşturmuştur. Gebart tarafından elde edilen geçirgenlik eşitlikleri liflerin hem quadratik hem hegzagonal yerleşimleri için tanımlanmıştır. Gebart'ın filamentlere paralel yöndeki (K_{II}) ve dik yöndeki (K_I) akış için önerdiği geçirgenlik eşitlikleri sırasıyla Eşitlik 1.21 ve Eşitlik 1.22'de verilmiştir. Eşitliklerde R lif çapıdır. Lif hacim oranı (V_f) ile C_1 ve c sabitleri ise quadratik ve hegzagonal modellere bağlı olarak tanımlanmışlardır. Gebart eşitlikleri literatürde çokça kullanılmakta ve deneysel sonuçlara uygun tahminler vermektedir. Ancak model filamentlerin ideal bir yerleşime sahip olduğunu kabul ettiğinden tam olarak gerçekçi sonuçlar vermemektedir (Ngo ve Tama, 2001).

$$K_{II} = \frac{8R^2}{c} \frac{(1 - V_f)^3}{V_f^2} \quad (1.21)$$

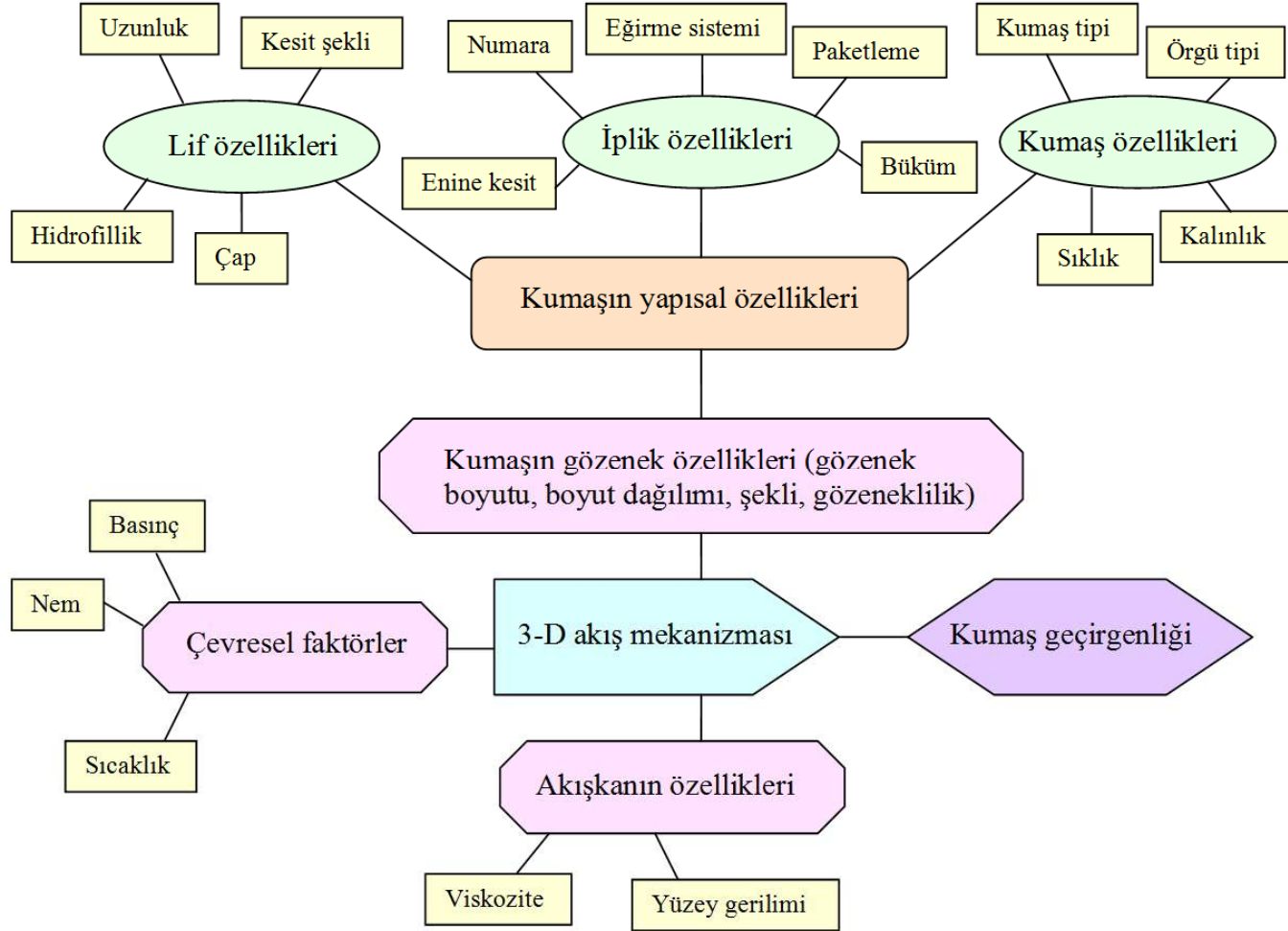
$$K_I = C_1 \left(\sqrt{\frac{V_{f \max}}{V_f^2}} - 1 \right)^{5/2} R^2 \quad (1.22)$$

1.4 Kumaşın geçirgenlik özelliklerini etkileyen faktörler

Akış eşitliklerinde tanımlandığı gibi bir malzeme içinden gerçekleşen akış hızı, akışkanın viskozitesi, akış sırasında gerçekleşen basınç farklılığı ve kapiller boyutları gibi malzeme özelliklerinin bir fonksiyonudur. Kumaşın hava, su, su buharı geçirgenlik özelliklerinin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi için bu özellikleri etkileyen faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir.

Kumaş içinden gerçekleşen akış sonucu ortaya çıkan ve “*kumaş geçirgenliği*” olarak adlandırılan performans özelliği, başta kumaşın gözenek özellikleri olmak üzere çevresel faktörlerin ve kumaş içinden geçen akışkan maddenin özelliklerinin bir fonksiyonudur. Kullanım yerine göre maruz kalacağı koşullar bilinen (çevresel faktörler ve akışkan madde özellikleri) bir kumaşın geçirgenlik performansının

kontrolü, kumaşın yapısal özelliklerinin belirlediği gözenek özelliklerinin kontrol edilmesi ile sağlanabilir. Bu açıdan kumaşın geçirgenlik özelliği ile yapısal özellikleri arasındaki ilişkileri incelerken öncelikle kumaşın gözenek özelliklerini belirleyen her bir yapısal faktörün tanımlanması gerekmektedir. Şekil 1.5'te kumaş geçirgenliğine etki eden faktörler kendi aralarında sınıflandırılarak gösterilmiştir.



Şekil 1.5 Kumaş geçirgenliğini etkileyen faktörler

1.4.1 Çevre faktörü

Sıcaklık, nem, rüzgar hızı, basınç gibi çevresel faktörler belli bir alanda kullanılan tekstil materyalinin geçirgenlik davranışını etkilemektedir. Ayrıca, kumaşın geçirgenlik özellikleri çevresel faktörlerin değişmesinden etkilenerek dinamik bir yapı göstermektedir. Bu nedenle kullanım yerine uygun ürün tasarlarırken kumaşın maruz kalacağı çevresel faktörler de göz önünde bulundurularak kumaşın yapısal özellikleri belirlenmelidir.

1.4.2 Akışkanın özellikleri

Kullanım yerine göre kumaştan farklı geçirgenlik özellikleri beklenebilir. Örneğin hava veya sıvı filtrasyonunda kullanılan tekstillerin maruz kalacağı şartlar farklıdır. Kullanım alanı göz önünde bulundurularak kumaşın geçirgenlik özellikleri genel olarak hava, sıvı, su buharı ve ısı olmak üzere gruplara ayrılabilir. Kumaşın içinden geçen akışkan maddenin geçiş mekanizması viskozite, yüzey gerilimi gibi akışkan özelliklerine bağlı olarak farklı davranış gösterebilir. Örneğin havanın viskozitesi 1.78×10^{-5} Pa.s, suyun viskozitesi 8.90×10^{-4} Pa.s'dir.

1.4.3 Kumaşın gözenek özellikleri

Geçirgenlik birim kumaş alanında gerçekleşen akışkan akış miktarı olarak tanımlanan bir değerdir. Basınç farklılığının bir fonksiyonu olarak ifade edilen geçirgenlik özelliği ile kumaşın gözenek özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. Kumaş içinde gerçekleşen akış mekanizması gözeneklerin şekil, boyut, boyut dağılımı, eğrilik (tortuosity) gibi özelliklerinden etkilenen karmaşık bir olaydır. Bu nedenle geçirgenliği tahminlemek amacıyla akışla ilgili modeller kullanılırken öncelikle gözenek özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Hammadde, iplik ve kumaş özellikleri akışkanın içinden geçeceği kumaşın gözeneklerinin üç boyutlu (3-D) yapısını, dolayısıyla da kumaşın geçirgenlik özelliklerini belirlemektedir. Ancak gerek karmaşık kumaş yapısından, gerekse deformasyonlardan ve üniform olmayan yapısal özelliklerinden dolayı gözenek özelliklerinin tahminlenmesi zordur. Kumaşın

yapısal özellikleri, gözenek özellikleri ve geçirgenlik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi geçirgenlik probleminin tanımlanması için gereklidir.

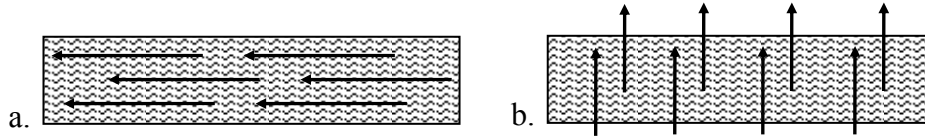
Kumaşın gözenek özellikleri;

- *Gözenek şekli*
- *Gözenek boyutu*
- *Gözenek boyut dağılımı*
- *Gözeneklilik*
- *Gözeneğin kıvrımlılığı ya da eğriliği (tortuosity)*

olarak tanımlanabilir. *Gözenek şekli* gözeneğin iki boyutlu veya üç boyutlu uzaydaki geometrik şeklini ifade eder. Gözenek şekli çalışmalarda genellikle 2-D modeller için dairesel, 3-D modeller için dairesel silindir olarak tanımlanmıştır. *Gözenek boyutu* akış eşitliklerinde malzemenin özelliğini tanımlayan ve geçirgenliği etkileyen önemli bir parametredir. Geometrik modellerde gözenek boyutu genellikle daire veya silindir olarak kabul edilen gözeneğin çapı olarak tanımlanmıştır. *Gözenek boyut dağılımı* aslında kumaşın homojen olmayan yapısından dolayı oluşan bir özelliktir. Kumaşı oluşturan ipliklerin çapları ve sıklıkları kumaş içinde değişim göstermektedir, dolayısıyla bu özelliklerden etkilenen gözeneklerin boyutu ve şekli de değişim göstermektedir. *Gözeneklilik* özelliği ise alansal olarak toplam iplik alanının toplam alana oranı veya hacimsel olarak toplam iplik hacminin toplam hacme oranı olarak tanımlanmaktadır. Gözeneklilik kumaşın gözenekli yapısı hakkında genel bir bilgi vermektedir. Kumaş geçirgenliği ile kumaş yapısı arasındaki ilişkiyi inceleyen birçok çalışmada belirleyici bir özellik olarak kullanılmıştır. Ancak, geçirgenlik ve gözeneklilik arasında basit bir ilişki yoktur, çünkü akış miktarı geçirici kanalların şekli, genişliği, eğriliğine kuvvetli derecede bağlıdır. *Gözeneğin kıvrımlılığı* ise gözenek uzunluğunca olan gözenek şeklini tanımlar. Gözeneğin izlediği yolla ilgili olan bu özellik, özellikle filtrasyon ve ayrıştırma işlemlerinde performansı etkileyen önemli bir özelliktir. Bu genel tanımlar dışında gözenek enine kesit alanı, gözenek yoğunluğu, eşdeğer gözenek çapı, minimum maksimum gözenek çapı, gözenek hacmi, açık alan oranı gibi parametreler de gözenek özelliklerini tanımlamak için kullanılmaktadır.

Burleigh ve ark. (1949) tarafından akışı belirleyen toplam gözeneklilik “*etkin gözeneklilik*” olarak adlandırılmış ve etkin gözenekliliğin üç bileşenden oluştuğu belirtilmiştir. Bunlar; *lif içi*, *lifler arası (iplik içi)* ve *iplikler arası* gözenekliliktir. Kumaşın farklı bölgelerinde oluşan tüm gözenek özellikleri incelemek amacıyla bu sınıflandırmayı lif içi, iplik içi ve iplikler arası gözenek özellikleri açısından değerlendirmek daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Lif içi gözeneklilik genel olarak çalışmalarda ihmal edilerek akıştan sorumlu toplam gözeneklilik iplikler ve lifler arası gözeneklerin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Dokuma ve örme kumaşlarda iplik kesişmeleri sonucu iplikler arasında oluşan boş bölgeler iplikler arası gözenekler olarak adlandırılmaktadır. Bunlar kumaş içindeki diğer gözenek yapılarına göre daha büyük boyutta gözeneklerdir. Bunun dışında dokuma ve örme kumaşlarda iplik içi bölgelerde, dokusuz yüzey kumaşlarda ise kumaşın bütününde lifler arası gözenek bölgeleri bulunmaktadır. İplik içi, lifler arası gözenekler daha küçük boyutta gözeneklerden oluşmaktadır.

Sıvılar kumaş içinde düzleme paralel yönde geçtiği gibi dik yönde de yer değiştirir. Kumaş düzlemine paralel akıştan sorumlu olan gözenekliliğe düzlemsel (in-plane) gözeneklilik, dik yönüne ise düzlem içindeki (through-plane, out-of-plane) gözeneklilik denir (Şekil 1.6). Farklı yapılarda olan tekstiller, tekstili oluşturan katmanlarda düzlemsel ve dik yönlerde farklı gözenek yapıları göstermektedir. Birçok uygulama alanında tekstillerin performansı düzlemsel ve düzleme dik geçirgenliğin bağlı değerleriyle değerlendirilirler. Normal kumaş yapısı düşündüğümüzde iki yöndeki geçirgenlik hem iplikler arasındaki hem de iplik içindeki lifler arası boşlukların toplam etkisiyle belirlenecektir. Ancak kapiller sistemdeki akışı göz önünde bulundurursak düzlem boyunca olan geçirgenlik daha çok liflerin iplik içinde belli bir düzende yerleşmelerinden etkilenir. Bu durumda düzlemsel ve düzleme dik yönde gerçekleşen akışı etkileyen faktörler ayrı ayrı değerlendirilmelidir.



Şekil 1.6 a. Düzlemsel akış, b. Düzleme dik yönde akış

1.4.3.1 Dokuma kumaşların yapısal özellikleri

Lif içi, lifler arası, iplikler arası bölgelerdeki gözenek özellikleri kumaşın yapısal özelliklerinin birer fonksiyonudur. Geçirgenliği belirli değişkenlerin bir fonksiyonu olan $f(\text{gözenek özellikleri, çevresel faktörler, akışkan özellikleri})$ ifadesiyle; gözenekliliği ise kumaşın yapısal parametrelerine bağlı bir g fonksiyon ile; $g(\text{kumaş tipi, örgü tipi, iplik numarası, iplik enine kesit şekli, lif tipi, sıklık, vs...})$ şeklinde matematiksel olarak tanımlayabiliriz. Gözenek özelliklerine etki eden yapısal faktörlerin tanımlanması geçirgenlikle ilişkilerinin incelenmesi ve geçirgenliğin tahminlenmesi açısından önemlidir. İplikler arası ve iplik içinde lifler arası gözeneklerde etkili olan bu parametreler gözeneklerin boyutlarını, şeklini, kumaştaki dağılımlarını ve gözenekler arasındaki sürekliliği (bağlantıları) belirlemektedir. Kumaşın yapısal parametrelerinin uygun şekilde bir araya getirilmesi farklı uygulama alanlarında kumaştan beklenen geçirgenlik performansının gerçekleşmesini sağlar.

Dokuma, örme ve dokusuz yüzey kumaşların yapısal özellikleri; kumaş ve gözenek geometrileri; dolayısıyla da geçirgenlik özellikleri birbirinden farklıdır. Aşağıda dokuma kumaşların gözenek özelliklerini etkileyen yapısal faktörler özetlenmiştir.

1.4.3.1.1 Hammaddede özellikleri. Liflerin kimyasal ve fiziksel özellikleri kumaşın gözenek özelliklerini etkilemektedir. Örneğin; lifin hidrofiliği şişmesi sonucu lifin özelliklerini dolayısıyla da kumaştaki tüm gözenek bölgelerinin yapısını değiştireceğinden ıslak çevre koşullarında ürünün geçirgenlik özellikleri değişebilmektedir. Lif inceliği, lif enine kesit şekli, lifin yüzey özellikleri, ortalama lif uzunluğu gibi hammaddenin fiziksel özellikleri ise lifler arasındaki boş bölgelerin

gözenek özelliklerini belirlemektedir. Özellikle multifilament ve kesikli liflerden üretilmiş ipliklerde lifin fiziksel özellikleri iplik içi gözenek özelliklerini tanımlayan yapıtaşlarıdır.

1.4.3.1.2 İplik özellikleri. Farklı iplik eğirme sistemlerinde üretilmiş ipliklerin yapısal özellikleri farklılıklar göstermektedir. Kumaşı oluşturan ipliklerin monofilament, multifilament ya da kesikli liflerden üretilmesi, iplik numarası, bükümü, iplik kat sayısı, kesitteki lif sayısı (paketleme oranı), iplik tüylülüğü gibi özellikler kumaşın iplikler arası ve lifler arası gözenek özelliklerini etkileyecektir. Özellikle iplik enine kesit şekli ve boyutu iplikler arası gözenek özelliklerinde etkilidir. Ancak gerek iplik yapısındaki düzgünsüzlükler, gerekse üretim ve kullanım sırasında maruz kaldığı kuvvetlerden iplik özellikleri uzunluğu boyunca homojen bir yapı göstermez. Bu nedenle bu özelliklerin gerçeğe en yakın şekilde modellenmesi hem gözeneklilik hem de performans özelliklerinin belirlenmesi açısından önemlidir. İplik içi gözenek özellikleri ise iplik boyutu, şekli, liflerin iplik içindeki oryantasyonu, bükümün de etkilediği paketleme oranı gibi özelliklerle belirlenir ve kumaş içinden gerçekleşen akış mekanizmasında rol oynar.

1.4.3.1.3 Örgü tipi. Dokuma kumaş yapıları ipliklerin örgü tipi olarak adlandırılan belli düzenlerde bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Farklı örgü tipleri kumaş yüzeyinde farklı görüntüler oluşturduğu gibi, ipliklerin yaptığı farklı kesişmeler gözeneklerin 3-D geometrik şekillerini ve boyutlarını belirler.

1.4.3.1.4 Sıklık. Kumaş yapısında bulunan ipliklerin yoğunluğunu tanımlayan sıklık, ipliklerin birbirlerine göre uzaklığının değerlendirilmesinde kullanılır. Sıklık örgü tipi, iplik numarası gibi diğer yapı parametreleri ile birlikte kumaşın 3-D geometrisini tanımlar. Kumaşın gevşek veya sıkı bir yapıya sahip olması özellikle gözenek boyutu gibi gözenek özelliklerini ve akışa karşı direnci etkiler.

1.4.3.1.5 3-D kumaş geometrisi. Örgü tipi, iplik numarası, sıklık özellikleri ipliğin kumaş içinde izlediği yolu belirleyerek 3-D kumaşın geometrisini oluşturur. 3-D iplik ve kumaş geometrisi de kumaşın gözenek geometrisini tanımlar. Aynı zamanda

akışın gerçekleşeceği gözenek bölgelerinde akışkanın temas edeceği ve dirençle karşılaşacağı toplam yüzey alanını etkileyen önemli parametrelerden biri de toplam iplik hacmini belirleyen kumaşın 3-D geometrisidir.

1.4.3.1.6 Kumaş kalınlığı. Kumaş geometrisinin bir sonucu olarak kumaş kalınlığı oluşur. Kumaş kalınlığı özellikle iplikler arası gözeneklerde gözenek uzunluğunu tanımlar, ayrıca ipliğin kıvrım oranı dolayısıyla da gözenegin eğikliğiyle de ilişkilidir. Kumaş kalınlığı özellikle nonwoven kumaşlarda lif çapının yanında en önemli kumaş parametresidir.

1.4.3.1.7 Kumaş konstrüksiyonu. Tek katlı, çok katlı, takviyeli kumaş yapılarının, ayrıca halılar, kadifeler gibi özel kumaşların 3-D geometrik özellikleri farklıdır.

1.4.3.1.8 Kumaşın metre kare ağırlığı. Kumaş gramajı kumaşı tanımlayan önemli yapısal parametrelerinden biridir. Diğer bağımsız değişkenler (iplik numarası, örgü tipi, hammadde) ve bağımlı değişkenler (örneğin sıklık) kumaş gramajını belirler.

1.4.3.1.9 Kumaşın gördüğü bitim işlemleri. Kumaşa uygulanan bitim işlemleri kumaş içinden geçen akışkanın geçeceği yolları değiştireceğinden, geçirgenlik özelliklerini etkiler. Aynı zamanda özel kullanım alanları için kumaşa uygulanan kaplama, membran, laminant gibi malzeme özellikleri kumaşın gözenek özelliklerini etkiler. Ayrıca kumaşın yüzey özellikleri de geçirgenlik özelliklerinde etkilidir. Örneğin kumaş yüzey pürüzlülüğü kumaşın ıslanma davranışını etkiler.

Gözenekliliği belirlemek için kullanılan deneysel yöntemler optik yöntemler ve sıvı giriş, emme, hava akış özelliklerine dayanan yöntemlerdir. Bu yöntemlerde analiz sırasında gerçek kumaşlar kullanılarak gözenek ve geçirgenlik özellikleri tanımlanır. Geometrik yöntemlerde ise ideal kumaş geometrisine dayanarak belirli kumaş parametrelerine bağlı gözenek özellikleri belirlenir. Kumaşlar rijit ve homojen bir yapıya sahip olmadığından ve kumaşı oluşturan yapısal parametreler birbirlerini de etkilediği için tekstil problemlerinin çözümü oldukça karmaşıktır. Kumaşların performans özellikleri tahminlenirken tüm bu faktörlerin bir arada değerlendirilmesi

oldukça zor olduğundan yapılan çalışmaların çoğu belirli kabullere dayanmaktadır. Kumaşın yapısal parametreleri, gözenek özellikleri ve geçirgenlik özellikleri arasındaki ilişkilerin deneysel ve/veya teorik olarak analiz edildiği çalışmalar önceki çalışmalar bölümünde özetlenmiştir.

1.5 Önceki çalışmalar

Geçirgenlik özellikleri tekstil materyallerin üretim aşamalarında ve kullanımları sırasında beklenen performans özellikleri arasındadır. Tekstil malzemesinin ıslanma, sıvı transferi, su tutma, hava direnci gibi farklı davranışları hem araştırmalarda hem de ürün ve proses geliştirme aşamalarında dikkat edilmesi gereken özelliklerdir. Yıkama, boyama, bitim işlemleri gibi üretim işlemlerinde ıslanma ve emme özellikleri tekstil ürününün kalite özelliklerini etkiler. Son yıllarda farklı uygulama alanlarında kullanılan kompozit malzemelerin üretiminde de tekstil yapısının geçirgenlik özelliği lifin reçine tarafından ıslatılmasını etkilediği, lif ile boşluklar arasına reçine girişini belirlediği ve buna bağlı olarak oluşan kompozitin performans özelliklerini etkilediği için kontrol edilmesi gereken bir özelliktir. Ayrıca kullanım özellikleri düşünüldüğünde lifli yapının ıslanma, sıvı tutma, emme gibi davranışları spor giysiler, hijyenik ürünler, medikal ürünler, geotekstiller, filtrasyon tekstilleri gibi bir çok farklı alanda ürünlerden beklenen performans özelliklerini belirleyen kritik özelliklerdir. Özellikle giysi konforu açısından değerlendirildiğinde günümüzde birçok ticari uygulamada özel tasarlanmış kumaşlar popüler hale gelmiş, vücutta oluşan terin birikimini önlemeye ve azaltmaya yönelik ikiye yüzü dokuma, atkı veya çözgü örme kumaşlar geliştirilerek aktif spor giysileri, çalışma kıyafetleri gibi alanlarda kullanımları artmıştır.

Kumaşın hava, su, su buharı geçirgenlik özelliklerinin mekanizması belirlenirken öncelikle herhangi bir kumaş yapısı için transferin gerçekleştiği ortamın özelliklerinin doğru bir şekilde tanımlanması gereklidir. Çalışmalarda gözenekli ortamın tanımlanması, geçirgenliğe etkili yapısal parametrelerin belirlenmesi ve geçirgenliğin tahminlenmesi için farklı yöntemler kullanılmıştır. Yapılan literatür çalışmasında kumaşların geçirgenlik özellikleri ile ilgili çalışmalar ele alırken bunlar

iki grupta incelenmiştir. İlk grup çalışmalarda farklı akış eşitlikleri tekstil malzemesi için modifiye edilerek geçirgenlik özellikleri nümerik yöntemlerle tahminlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak akış eşitliklerinde kullanılacak gözenek parametreleri kumaşın yapısal özelliklerine bağlı olarak oluşan kumaş geometrisi modellenerek belirlenmiş, elde edilen veriler farklı test cihazlarından elde edilen deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak yorumlanmıştır. İkinci grup çalışmaları ise genel olarak tekstil malzemesinin yapısal özelliklerinin ve çevresel faktörlerin kumaşın geçirgenlik özelliklerine etkilerini deneysel yöntemlerle belirleyen ve sonuçları istatistiksel olarak analiz eden çalışmalar oluşturmuştur. Geçirgenlik özelliklerini kumaşın yapısal parametrelerine ve kumaş geometrisine bağlı olarak tanımlarken kumaşın 2-D ve 3-D geometrik modellerinin kullanılması özellikle son yıllarda bilgisayarlı tasarım uygulamalarının artmasıyla daha çok önem kazanmıştır. Geçirgenliği teorik olarak tahminlemek için, kumaş geometrisini ve gözeneklilik parametresini gerçek kumaş özelliklerine en yakın şekilde tanımlamak deneysel sonuçlarla uyumu sağlamak açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle öncelikle kumaş geometrisi ile ilgili temel yaklaşımlar ve çalışmalar hakkında bilgi verilecek, daha sonra geçirgenlikle ilgili teorik ve deneysel çalışmalar anlatılacaktır.

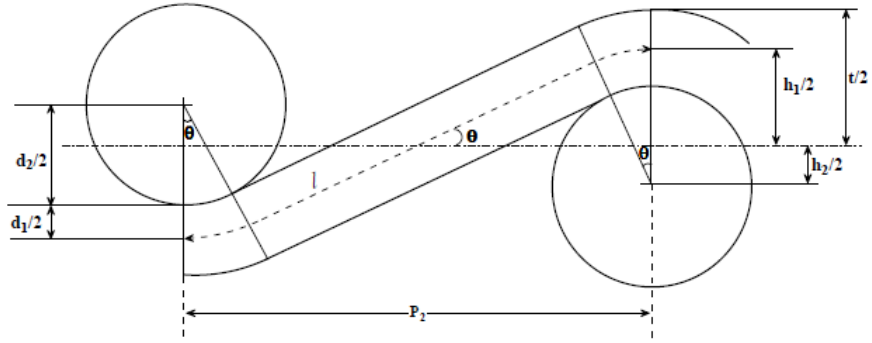
1.5.1 Kumaş geometrisi modelleri

Dokuma kumaşların geometrik özelliklerinin tanımlanması kumaşların performans özelliklerinin kumaşın yapısal parametrelerine bağlı olarak tahminlenmesi açısından çok önemlidir. Özellikle tasarım aşamasında ürün performans özelliğini önceden tahmin edebilmek için kumaşın mümkün olduğu kadar gerçek kumaşlara yakın şekilde modellenmesi gerekmektedir. Kumaşın modellenmesi için enerji dengesini içeren mekanik modeller ve kumaş parametrelerinin kullanıldığı geometrik modeller vardır (Smith M & Chen X, 2008) Geometrik modellerin tercih edilme sebepleri; mekanik modellerle karşılaştırıldığında matematiksel çözümlemesinin daha kolay olması, mekanik modellerle birleştirilerek mekanik modellerin çözümlenmesine yardımcı olması ve özellikle bilgisayar destekli tasarımlarda tasarımcıya geometrik yapıyı oluşturma, kontrol etme, düzeltme imkanı sağlamasıdır. Belirli yapısal özelliklere bağlı olarak

oluşan dokuma kumaş yapılarının modellenmesi ile ilgili çalışmalar Pierce'den (1937) başlayarak günümüze kadar gelmiştir. Gerçekleştirilen bu modeller kumaşların geometrik özelliklerini tanımladığı ve gösterdiği gibi performans özelliklerinin tahminlenmesinde de kullanılmaktadır.

Tekstil problemlerini Poiseuille, Darcy ve Kozeny-Carman gibi akış modelleri ile çözmenin dezavantajı bu denklemlerin basitleştirilmiş bir geometriyle kısıtlanmasıdır. Kumaşı oluşturan iplikler ya da lifler tek yönlü, ideal olarak yerleşmiş kabul edilir. Ancak dokuma, örme ve nonwoven kumaş yapıları kompleks geometrilere sahiplerdir ve analitik olarak çözümlemeleri zordur. Bu durum birçok araştırmacıyı geometrik karmaşıklığı nümerik modellemeyle çözmeye yöneltmiştir. Nümerik hesaplama belli bir geometrik bölge etrafında basınç düşüşü uygulamaya ve yaklaşık akış eşitliklerini basınç ve hız alanlarından çözmeye dayanır. Bu yaklaşım için gerçekçi kumaş modellerinin analiz edilmesini gerektirir, dolayısıyla elde edilen sonuçlar modellenen geometriye bağlıdır. Dokuma kumaşların geçirgenlik performansının değerlendirilmesinde kumaş geometrisi ile ilgili modeller kullanıldığından bu bölümde öncelikle kumaşın geometrik modellenmesi ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Dokuma kumaşları tanımlarken en çok kullanılan ve temel olarak alınan 2-D (iki boyutlu) geometrik model Peirce tarafından 1937'de bezayağı örgülü dokuma kumaş geometrisini tanımlamak için önerilen ideal kumaş geometrisi modelidir. Pierce modeli basitleştirmek için iplikleri dairesel enine kesitli, sıkıştırılamaz ve sonsuz ölçüde kolay eğilebilir cisimler olarak kabul etmiştir. İpliklerin rijitliğinin ihmal edildiği bu kabule dayanarak Pierce geometrisine göre iplik hareketi dairesel yaylar ve düz çizgilerden oluşmuştur. Şekil 1.7'de Peirce'in geometrik modeli gösterilmektedir. Peirce modeli örgü açısı (θ), iplik çapı (d), kumaş kalınlığı (t), iki iplik arasındaki uzaklık (p), kıvrımsız iplik uzunluğu (l) ve kıvrım oranı (c) arasındaki ilişkileri açıklamıştır. Bu model tam olarak gerçeği yansıtmamakla birlikte kumaş yapısı ile kumaş parametreleri arasındaki ilişkiyi basit bir şekilde analiz etmek açısından kolaylık sağlamıştır ve günümüzde de birçok araştırmada temel olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.7 Pierce'in geometrik kumaş modeli (Pierce, 1937)

Pierce'in dokuma kumaş geometrisinde karşıt ipliklerin birbirlerine değme koşulu iplik genişliği (h), d ve t parametreleri ile Eşitlik 1.23 ve Eşitlik 1.24'de tanımlanmıştır. Eşitliklerde 1 alt indisi çözgü, 2 alt indisi atkı ipliğini tanımlamak için kullanılmıştır. Şekil 1.7'de gösterilen temel parametreler Pierce tarafından Eşitlik 1.25, Eşitlik 1.26 ve Eşitlik 1.27 ile tanımlanmıştır. Pierce (1937) θ açısı çok küçük olduğunda h , p ve c arasındaki ilişkiyi basitleştirilmiş kumaş geometrisi eşitliği (Eşitlik 1.28) ile tanımlamıştır.

$$t = h_1 + d_1 = h_2 + d_2 \quad (1.23)$$

$$h_1 + h_2 = d_1 + d_2 = D \quad (1.24)$$

$$p_{1,2} = (l_{2,1} - D\theta_{2,1})\cos\theta_{2,1} + D\sin\theta_{2,1} \quad (1.25)$$

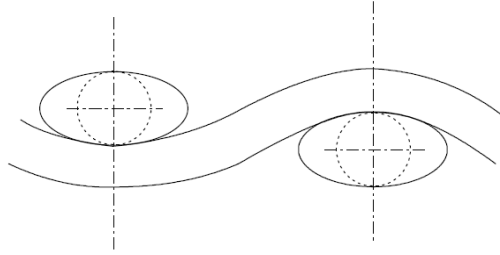
$$h_{1,2} = (l_{1,2} - D\theta_{1,2})\sin\theta_{1,2} + D(1 - \cos\theta_{1,2}) \quad (1.26)$$

$$c_{1,2} = \left[\frac{l_{1,2}}{p_{1,2}} \right] - 1 \quad (1.27)$$

$$\frac{h_{1,2}}{p_{2,1}} = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{l_{1,2}}{p_{2,1}}} - 1 = \frac{4}{3} \sqrt{c_{1,2}} \quad (1.28)$$

Pierce'in kumaş geometrisi pratik olarak kullanılabilmekteyse de, ipliklerin kumaş içindeki enine kesitleri maruz kaldıkları kuvvetlerden dolayı dairesel değildir.

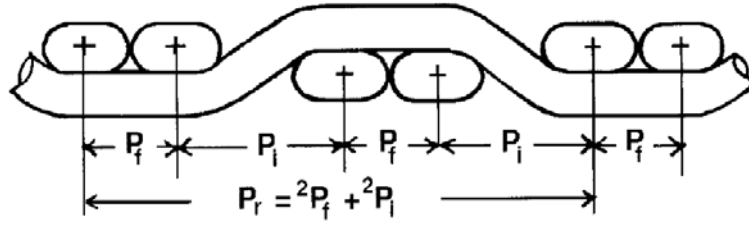
Bu eksikliği gidermek için Pierce (1937) Şekil 1.8’de görülen iplik enine kesitinin elips şeklinde olduğu varsayımına dayanan ikinci bir model geliştirmiştir. Pierce pratik bir yaklaşım olarak elips biçimi yerine kesit alanı ipliğin dairesel kesit alanına eşit olan bir elipsin küçük eksenine eşit çaplı bir eşdeğer dairesel kesit içeren ve aynı formüllerin uygulanabileceği bir seçenek sunmuştur.



Şekil 1.8 Pierce eliptik enine kesitli kumaş modeli (Pierce, 1937)

Pierce’in modeli daha sonra Kemp (1958) tarafından iplik yassılmasını dikkate alan bir kumaş geometrisi oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. Kemp (1958) yassılmış iplik kesitini bir koşu pisti biçiminde tanımlamıştır. Kemp’in öngördüğü iplik kesit biçimi iki yarım daire ile arada kalan bir dikdörtgenden oluşmaktadır. Hamilton (1964) Kemp’in koşu pisti iplik geometrisini bezayağı dışındaki diğer örgü yapılarına da uygulayarak genelleştirmiş bir kumaş geometrisi modeli geliştirmiştir (Şekil 1.9). Kesişme bölümündeki iplik açıklığı (p_i), örgü birimindeki kesişme sayısı (n_i), atlama sayısı (n_f), örgü biriminin uzunluğu, yani raporun kumaştaki genişliği (p_r) ve atlama bölümü iplik açıklığı (p_f) kullanılarak Hamilton (1964) tarafından Eşitlik 1.29’da tanımlanmıştır. Dolayısıyla p_f aralıkları belli ise p_i belli olacaktır ve Pierce geometrisi kolaylıkla uygulanabilecektir. Hamilton (1964) çalışmasında ayrıca farklı sıklıklar için p_f ve p_i ilişkilerini iplik boyutlarına dayanarak açıklamıştır.

$$p_i = \frac{p_r - \sum_{f=1}^{n_f} p_f}{n_i} \quad (1.29)$$



Şekil 1.9. 2/2 dimi kumaş için kumaş geometrisi (Hamilton, 1964)

Olofson (1964) çalışmasında, dokuma kumaşların mekanik özelliklerini de açıklayan bir model geliştirmeyi amaçlamıştır. Olofson, Peirce'in (1937) geometrik modelinin yararlı olduğunu ancak mekanik özellikleri geometrik özelliklerle değerlendirirken yeterli olmadığını belirtmiştir. Bunun nedenleri öncelikle geometrik hesaplamalarda temel olan etkin iplik çapının hesaplamalardan çok farklı olabileceği ve bunun hesaplanmasının güçlüğüdür. Ayrıca dairesel olarak kabul edilen iplik kesitinin yassılmalardan dolayı temel geometrik hesaplamalarda hataya neden olması, iplik eğilme rijitliğinin ihmal edilmiş olması ve bezayağı yerine daha karmaşık örgülerde modelin yetersiz kalması da diğer sorunlar olarak belirtilmiştir. Olofson (1964), ipliklerin kumaş içindeki şeklinin kumaşa etkiyen dış kuvvetlerle kumaş içerisindeki reaksiyon kuvvetlerinin bir fonksiyonu olduğunu düşünerek kumaşın geometrik ve mekanik özelliklerini açıklayan bir model ortaya koymuş, iplik eğilme momentlerini hesaplayarak iplik yolunu dairesel yaylardan oluşmuş şekilde modellemiştir.

Kawabata, Niwa, ve Kawai (1973a, 1973b) bezayağı kumaşta iplik merkez eksenini kesişme noktalarında birbirleri ile birleşen düz çizgiler ile modelleyerek kumaşın iki eksenli ve tek eksenli uzama problemini çözümlemişlerdir. Çalışmalarında ipliklerin tam elastik olduğu kabul edilmiş ve ayrıca ipliğin yanıl kuvvetler altında sıkışabilme durumu da teoride düşünülerek ipliğin yassılma özelliklerinin kumaşın uzama özelliklerinde büyük etkiye sahip olduğu belirtilmiştir.

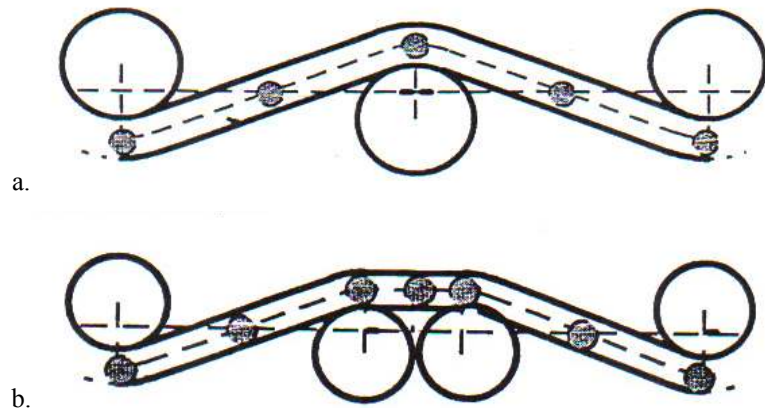
Lord ve Mohamed (1974) iplik hareketini sinüs eğrileri ile modellemişlerdir. Bezayağı olmayan dokumalar için, genellikle iplik atlamalarının düz bir yol aldığı kabul edilmiştir.

Kumaşın üç boyutlu yapısını tanımlamak amacıyla Kefee ve ark (1992) öncelikle katı modelleme tekniklerini kullanarak 3-D iplik yapısı oluşturmuş ve daha sonra Pierce geometrisini analiz ederek ipliklerin kesişimlerini modellemişlerdir.

Adanur ve Liao (1998) iplik orta eksenini üç boyutlu uzayda tanımlamak için teğet, normal, binormal ve konum vektörlerini tanımlayarak diferansiyel geometri ile çözümlenmiştir. İpliğin orta eksenini diferansiyellenebilir ve türevi nedeniyle sürekli. Orta eksen eğrisine üzerinde herhangi bir noktadan geçen ve bu eğriye dik olan düzlem iplik enine kesitini tanımlayan kapalı bir eğri ile modellenmiştir. Sonuç olarak bu iki 2-D eğri (iplik enine kesiti kapalı eğrisi ve iplik orta eksen eğrisi) birleştirilerek kumaş içindeki iplik geometrisi 3-D olarak tanımlanmış ve 3-D kumaş simülasyonları yapılmıştır.

Kumaşların geometrik yapılarını 3-D olarak modellerken tercih edilen yöntemlerden biri de özellikle bilgisayar destekli gemi, uçak, otomobil tasarımlarında kullanılan B-spline eğrileridir. Lin ve Newton (1999) çalışmalarında iplikleri kumaş içinde etki eden kuvvetler ile hareket eden dairesel, sürekli rijit silindir olarak kabul ederek ipliğin izlediği yolu tanımlamak için kuvvetlerin etki ettiği noktaları kontrol noktaları olarak belirlemişlerdir. Buna göre kontrol noktaları atkı ve çözgü ipliklerinin yer değiştirdiği noktalarda (birbirinin içinden geçtiği) ve iki komşu geçen ipliğin orta noktasında tanımlanmıştır (Şekil 1.10). Çalışmada kumaş geometrisi için temel parametreler Pierce'in geometrik modeli kullanılarak belirtilmiştir. Sonuç olarak, üçüncü dereceden bir polinom eğrisi olan kübik B-spline eğrileri iplik merkez ekseninin karmaşık geometrisini modellemek için dairesel yaylar gibi basit geometrik modellerden daha gerçekçi sonuçlar verebildiği

gösterilmiştir. B-spline eğrileri yöntemi farklı araştırmacılar tarafından atkı örme (Demiröz, 1998; Demiröz ve Dias, 2000), çözgü örme (Göktepe, 2000), 2/2 dimi dokuma (Turan, 2007; Turan ve Başer 2010) kumaş yapılarının modellenmesinde kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu modelleme yöntemi ayrıca kumaşın geçirgenlik gibi performans özelliklerini tahminlerken kullanılan paket programlarda eşzamanlı olarak kumaşın geometrik yapısını tanımlamak ve göstermek amacıyla kullanılmaktadır (Jiang ve Chen, 2005; Jiang ve Chen, 2006; Nazarboland, Chen, Hearle, Lydon, ve Moss, 2008; Smith ve Chen, 2008).

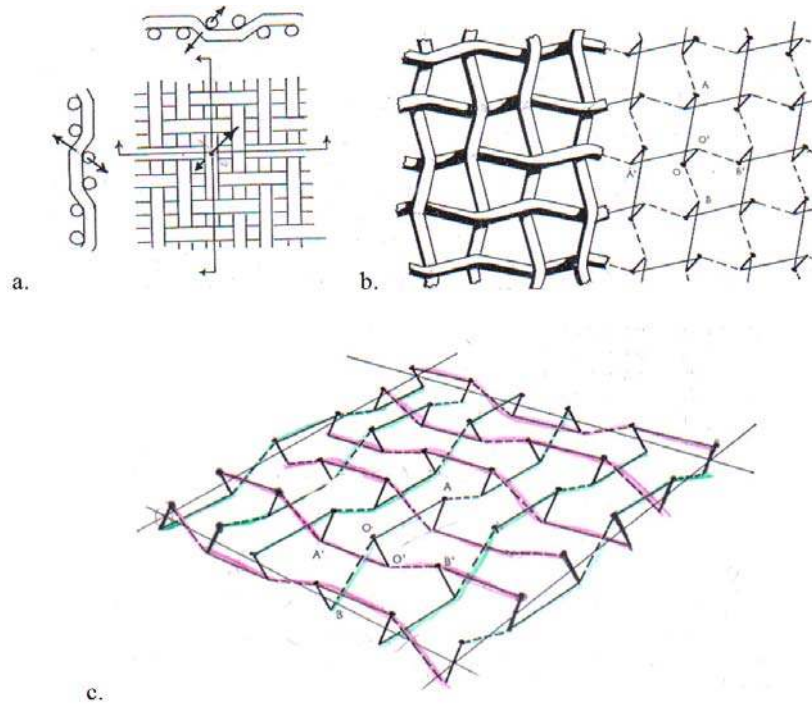


Şekil 1.10 a. Bezayağı örgü için kontrol noktaları, b. İpliğin birden çok iplik üzerinden geçtiği örgü yapısı için kontrol noktaları (Lin, Newton, 1999)

1.5.1.1 Dimi örgülerle ilgili model çalışmaları

Dimi örgüler farklı uzunlukta atkı ve çözgü atlamalarının kumaşa göre çapraz yönde yan yana dizilmeleri ile oluşan kumaş yapılarıdır. Kumaş yüzeyinde diyagonal çizgiler oluşturan atlamalar bu yönde kumaşın esnekliğini artırır. Ağır gramajlı ve sağlam kumaşların yapımında kullanılan dimi örgüler, özellikle giysilik kumaşlar olmak üzere çadır, branda, taşıyıcı bez vs. gibi pek çok teknik tekstil alanında da kullanılmaktadır. Bu örgülerin karakteristik özelliği atkı ve çözgü atlamalarının düz bir doğru boyunca hareket etmemesi ve birbirleriyle açı yapmasıdır. Dimi örgülü kumaş yapılarında ipliklerin eğikliklerine dikkat çeken ilk çalışma Iyer ve Snowden (1964) tarafından yapılmıştır. Iyer ve Snowden (1964), 2/2 dimi örgünün

geometrisini esnek ve sürtünmesiz ipliklerden yapılan ideal bir kumaş ve bu kumaştan geliştirilmiş basit bir modeli referans alarak geliştirmişlerdir. Şekil 1.11 a'da ipliklerin birbirlerine uyguladıkları kuvvetler, Şekil 1.11 b'de ise bu kuvvetler sonucu oluşan 2-D kumaş yapısı gösterilmektedir. Şekil 1.11 b'de görüldüğü gibi 2/2 dimi örgülü ideal kumaşta her bir ipliğin diğer iplikle temas ettiği yer hariç düz bir yol izlediği kabul edilmiştir. Şekil 1.11 c'de kumaşı oluşturan atkı ve çözgü iplik merkez eksenlerinin 3-D geometrisi modellenmiştir.



a. Çözgü ve atkı iplikleri arasındaki kuvvetler, b. İdeal kumaş modeli,
c. Merkez iplik eksenlerinin 3-D modeli

Şekil 1.11 kumaşı oluşturan atkı ve çözgü iplik merkez eksenlerinin 3-D geometrisi(Iyer ve ark. 1964)

Iyer ve Snowden (1964) çalışmalarının deneysel kısmında eğikliğinin dimi kumaşların karakteristik özelliği olduğu, tüm kumaşlarda eğikliğinin dimi çizgisi yönünde eğilim gösterdiği, dengesiz yapının sıklıkla azaldığı sonuçlarına varmıştır. Ayrıca deneysel inceleme sonucunda eğer kumaş sürtünmesiz ve esnek ipliklerden dokunursa ve kare sıklık uygulanırsa düşük veya orta sıklık için eğimin 5° olduğu,

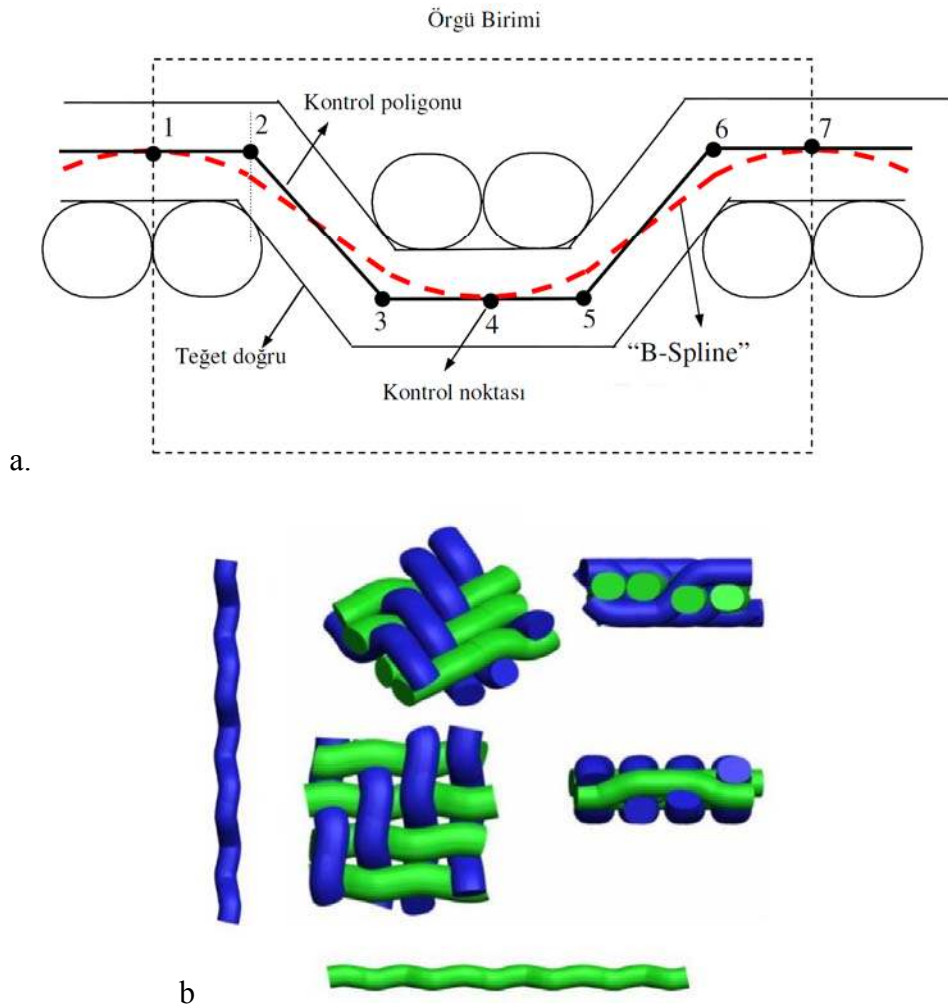
sık kumaşlar için bu değerin daha az olduğu belirlenmiştir. Gerçek kumaşlardaki eğiklik derecesi modelde ön görülenden daha düşük bulunmuştur.

Konopasek ve Shanahan (1975) iplikleri sıkıştırılmaz yapılar olarak kabul ederek, Kawabata ve Niwa (1979) ise iplikleri esnek, sıkıştırılabilir yapılar olarak kabul ederek bezayağına uyguladıkları modeli 2/2 dimi kumaşlara uygulamış ve 2/2 dimi kumaşlar için mekanik modeller tanımlamışlardır. Her iki çalışmada da Iyer ve Snowden (1964) tarafından tanımlanan eğiklik etkisini dikkate almışlardır. Dimi kumaşları modellemek için eğiklik özelliğinin dikkate alındığı model çalışmaları daha gerçekçi bir yaklaşım vermektedir. Ancak Adanur ve Liao'nun (1998) diferansiyel geometri kullanarak oluşturduğu veya Lin ve Newton'nun (1999) B-spline eğrileri ile modellediği dimi kumaşlarda eğiklik etkisi ihmal edilmiştir.

Alamdar-Yazdi (2004) dokuma kumaşların eğiklikleri ile ilgili yaptığı çalışmada dokuz farklı örgü yapısına sahip kumaşın dokuma sonrası relaksasyonda şekillerindeki değişimleri incelemiştir. Sonuç olarak dimi yapılı kumaşların dimi yönünde eğildiğini ve eğriliğin miktarının atlama uzunluğu ve iplikler arasındaki boş alanla (örtme oranı) ilişkili olduğunu bulmuştur. Uzun atlama ve yüksek sayıdaki boş alan (düşük örtme oranı) atlamalara hareket için serbestlik vermekte ve sonuç olarak yüksek eğiklik oluşmaktadır. Buna göre uzun atlamalara sahip 3/3 sağ ve sol dimilerin en düşük örtme oranı ile en yüksek eğikliğe sahip olduğu gözlenmiştir. Buna karşın balıksırtı örgülerde atlamalar birbirine zıt yönlerde olduğundan denge durumunun olduğu belirtilmiştir. Başka bir çalışmasında Alamdar-Yazdi (2005) tezgahta dikdörtgen şekilde işaretlenen dimi örgülü kumaşların 48 saatlik bir relaksasyon sonrası şekillerindeki değişimini incelemiş ve deformasyonun kumaş yapısı ile ilişkili olduğunu saptamıştır. Dimi örgülü kumaşlar dimi çizgisi yönünde eğilmektedirler. Kuvvetlerin de etkisi ile atlama yapan iplik parçası düz bir yol izlemektense açı yaparak ilerlemektedir. Eğiklik derecesi ve yönünün dimi türü ve atlama uzunluğu ile ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Turan (2007) çalışmasında bir grup 2/2 dimi kumaşın çözgü ve atkı ipliklerinin dimi çizgisi yönünde yaptıkları eğiklik açılarını belirdikten sonra iplik merkez

ekseninin 3-D hareketini eğikliği dikkate alarak modellemiş ve oluşturulan doğrusal model üzerinde kontrol noktalarını tanımladıktan sonra B-spline yöntemi uygulayarak iplik merkez eğrisini tanımlamıştır (Şekil 1.12). Çalışmada iplik enine kesit eğrisinin koşu pisti olduğu kabul edilmiştir. Model sonuçları ile gerçek kumaşların deneysel sonuçları karşılaştırıldığında aralarındaki ilişkinin önemli olduğu görülmüştür. Çalışmada 3-D kumaş simülasyonlarını düzgün bir şekilde oluşturmak için kullanılan eğiklik açıları ölçülen eğiklik açılarından daha büyük seçilmiştir. Bunun nedeni gerçek kumaşlarda iplik deformasyonlarından dolayı iplikler yassılırken modelde iplik hareketi boyunca belli bir enine kesitte olan ipliklerin temas noktalarında iç içe geçmesini engellemek, ipliğe boş alan yaratabilmek olarak yorumlanmıştır (Turan ve Başer, 2010).



Şekil 1.12 a. 2/2 dimi örgünün y'z' düzleminde gösterilen kontrol noktaları, b. 2/2 dimi kumaş simülasyonu (Turan, 2007)

1.5.1.2 Kumaş içindeki iplik çapının modellenmesiyle ilgili çalışmalar

İpliğin sahip olduğu kapiller özellik kumaşın toplam geçirgenliğinde etkili olduğundan iplik özelliklerinin doğru olarak tanımlanması 3-D geometrik modelin gerçeği yansıtmayı açısından önemlidir. Kumaş geometrisi iki ve üç boyutlu olarak modellenirken, ipliğin kesit şekli için dairesel, eliptik, koşu pisti, mercek kesitli iplik modelleri kullanılmıştır. Genel olarak tüm bu modellerde kumaş içindeki iplik, belli boyutlara ve şekle sahip homojen bir yapı olarak kabul edilmiş, ipliğin izlediği yol boyunca sahip olduğu değişim ihmal edilmiştir. Ancak örgü tipi, kumaş sıklığı, iplik kalınlığı gibi kumaşı oluşturan yapısal faktörlerin ve üretim parametrelerinin birbiriyle etkileşimi sonucunda, kumaş içinde belli bir yol izleyen ipliğin enine kesit özellikleri değişmektedir. Kumaşların modellenmesiyle ilgili en belirgin sorun kumaş içindeki iplik kesitinin deformasyonu ile ilgili sorundur. Olofson'un (1964) da belirttiği gibi geometrik hesaplamalarda iplik çapı temel özelliklerdendir. Peirce'in (1937) ideal iplik geometrisinde tanımladığı dairesel, değişmez iplik yapısı basitleştirilmiş bir kumaş modeli önerse de gerçekçi bir kumaş modeli sağlamaz ve yapısal özellikleri belirlerken hataya neden olur. Bu hata kaynağı aslında yine Peirce'in eliptik çap yaklaşımından başlayarak farklı araştırmacılar tarafından düzeltilmeye çalışılmıştır. Pierce birçok kumaşta iplikteki deformasyonun ihmal edilemeyecek kadar fazla olduğunu ve deneysel yöntemlerle belirlenmesi gerektiğini, iplik yassılmasının özellikle örtme probleminde önemli olduğunu belirtmiştir (Peirce, 1937). Kawabata ve ark. (1973) çalışmalarında kumaşın uzama probleminin ipliklerin temas noktalarındaki yassılma davranışlarından etkilendiğini belirtmiştir. R. Milašius ve V. Milašius (2002) tarafından taranan kumaş görüntüleri üzerinde ipliğin projeksiyon çapı ölçülerek değişimin sıklık, örgü tipi, dokuma teknolojisi gibi faktörlerden etkilendiği ve düzgünsüzlüğün kumaşın hava geçirgenliği gibi pek çok performans özelliğinde etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Jiang ve Chen (2005, 2006) çalışmalarında iplik merkez eğrisini ve ipliğin izlediği yol boyunca değişen enine kesit şeklini ve boyutunu B-spline eğrileri ile tanımlayarak ideal iplik modellerinden daha gerçekçi bir model oluşturarak 3-D kumaş görüntüleri elde etmişlerdir. İpliğin yaptığı hareket boyunca enine kesit şeklinin değişimine dayanan bu model

çalışmasının ileride uygulanacak daha gerçekçi model çalışmalarında kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Yılmaz, F. Göktepe, Ö. Göktepe, ve Kremenakova (2007) tarafından yapılan çalışmada kompakt ipliklerin enine kesitlerindeki lif dağılımı ve bunların paketleme yoğunluğu değerleri farklı kompakt eğirme sistemleri ile üretilmiş kompakt ipliklerin içyapılarını daha iyi anlamak için yapılmıştır. İpliğin mekanik özellikleri sadece lifin fiziksel özelliklerine değil aynı zamanda liflerin iplik enine kesitindeki lif yerleşimiyle belirlenen iplik yapısıyla da belirlenir. Paketleme yoğunluğu analizi için iplik enine kesitinin görüntüleri alınarak mikroskopta incelenmiş ve iplik merkezinden yüzeyine doğru paketleme yoğunluğunun azaldığı, iplik boyunca paketlemenin üniform olmadığı gözlemlenmiştir.

Gong, Ozgen, ve Soleimani (2009) PES ve pamuk bezayağı dokuma kumaşın enine kesit görüntülerini inceleyerek iplik enine kesitini eliptik eğri ve 5. dereceden 2 polinom eğrisi ile modellemiş ve gerçek iplik kesitine uygun yöntemin eliptik eğrilerle sağlanabileceği sonucuna varmışlardır. Çalışmada geometrik model ve orijinal görüntüler arasındaki değişim gösterilmiş ve ardışık enine kesit görüntüleri kullanılarak bezayağı örgü yapılı kumaşta ipliğin izlediği yol boyunca değişen iplik çapı için 3-D iplik modeli elde edilmiştir. Lif tipi, iplik lineer yoğunluğu (tex), büküm faktörü ve çözgü- atkı örtme faktörleri olmak üzere beş faktörün iplik enine kesit şeklinin değişimine etkisi, bu faktörler kontrollü olarak değiştirilerek, test edilmiştir. Anova varyans analizi yapıldığında elipsin yerleştirilmesinde hatayı etkileyen tek kontrol faktörünün iplik lineer yoğunluğu olduğu gözlenmiştir. Bezayağı dokuma kumaş içindeki iplik çap değişimini dikkate alan bir diğer çalışmada iplik enine kesit şekli elips kabul edilerek büyük ve küçük çap boyutlarına ipliğin lineer yoğunluğu, büküm katsayısı, çözgü ve atkı sıklıklarının etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, iplik yoğunluğu, büküm katsayısı ve atkı örtme faktörünün büyük çapa etkisi pamuklu ve bezayağı kumaşlarda önemli bulunmuştur. Ancak çözgü örtme faktörü etkili değildir. İplik küçük çapında ise tüm bu faktörler etkilidir, ayrıca kesişme bölgesi ile karşılaştırıldığında ipliğin küçük çapının atlama bölgesinde arttığı gözlenmiştir (Ozgen ve Gong, 2010). Ozgen ve Gong'un (2011)

bir diğ er ç alışmasında eliptik iplik enine kesit modeline dayanarak ipliğ in bezayağ ı kumaş içinde yapt ığ ı hareket boyunca yassılma oranı hesaplanmış ve değ işen iplik yassılma oranı için kumaş parametrelerine dayalı istatistiksel analizler gerç ekleştirilerek genel bir formül geliştirilmiştir. Yassılma oranı formülüne en ç ok etki eden kumaş parametreleri büküm faktörü ve iplik lineer yoğunluğ u olarak bulunmuştur.

Alamdar-Yazdi ve Heppler (2011) 54 adet farklı özelliklere sahip bezayağ ı kumaşın ç ap değ işimlerini ham kumaş halinde ve relaksasyon sonrasında görüntü işleme teknikleri kullanarak incelemişlerdir. Yapılan ölçümler ve karşılaştırmalar iplik kesitinin kumaş içinde farklı beş şekle sahip olduğ unu göstermiştir. Bunlar; dairesel, eliptik, simetrik mercek (amigdaloyidal), simetrik olmayan mercek ve keskin simetrik olmayan mercek şekilleridir. Deneysel sonuç lar yü ksel sıklıktaki ve yü ksek büküme sahip iplikler dairesel enine kesite sahipken, sıklığ ı az kumaşlarda ve az bükümlü ipliklerde ipliğ in daha ç ok yassılarak keskin asimetric veya asimetric mercek şekillerle sonuç landığ ını göstermiştir.

1.5.2 Kumaşın geç irgenlik ve gözenek özelliklerinin belirlenmesi için gerç ekleştirilen teorik ç alışmalar

Genelde teorik modeller Poiseuille (1840), Darcy (1846), Kozeny (1927) eşitliklerinin gözenekli ortama göre modifiye edilmesiyle oluşturulmuş veya geç irgenliğ i hesaplamak için gözenek boyut dağ ılımını kullanan kapiller teoriye dayandırılmıştır. Rainard (1946) kumaşın hava geç irgenliğ i ile gözenekliliğ i arasındaki ilişkiyi laminar (dü zğ ün) akış koşullarında inceleyerek farklı kumaşların geç irgenliklerini hem standart test cihazında hem de düşük basınç değ işimleri için tasarlad ığ ı aparatta ölç müştür. Bu ç alışmada deney sonuç larından elde edilen veriler Poiseulli eşitliğ inden türetilen denklemd e kullanılarak hava akış miktarı ile basınç değ işikliğ i arasındaki ilişki elde edilmiş ve denklemlerdeki sabitlerin kumaş özellikleri ile ilişkili olduğ u gözlenmiştir. Rainard (1947) daha sonraki ç alışmasında deneysel parametrelere ç ok bağ lı olmayan, daha teknik bir eşitlik elde etmeyi amaçlamış tır. Elde edilen eşitlik açıklıkların yarıçapının veya açıklıkların sayısının

arttıkça eğimin sifira yaklaşacağını ve hava akışının yaklaşık olarak Poisseuille kuralı ile açıklanacağını belirtmiştir. Deneylerde Schiefer ve Boyland (1946) tarafından tasarlanan hava geçirgenliği test cihazı kullanılarak hava akışı basınç değişiminin bir fonksiyonu olarak gözlenmiştir. Çalışmada tek kat kot kumaş ile farklı hammaddelerden yapılmış bezayağı ve dimi dokuma yapılarında kumaşlar tek ve çok katlı olarak test edilmiş ve kumaşın tek katlı veya çok katlı oluşunun hava geçirgenliği üzerine etkisi incelenmiştir. Kumaşların akış miktarı ve basınç değişimi arasındaki ilişki incelendiğinde tek katmanda büyük deliklerin daha fazla hava hacmi taşıdığı, diğer taraftan her bir katın eklenmesiyle ortalama yarıçapın azalarak eğimin eklenen katmanlarla daha büyük değerler aldığı gözlenmiştir. Rainard kumaş içindeki hava akışında gazın hareketinin hem kinetik enerji değişimlerini hem de viskozite etkilerini içerdiğini belirtmiştir.

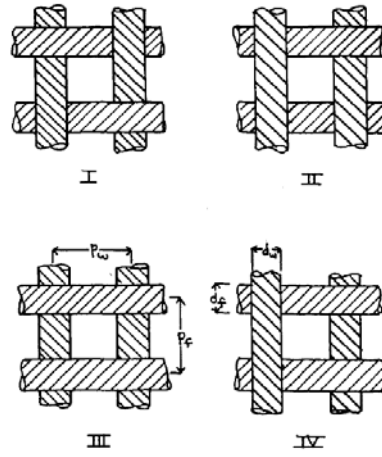
Kumaş içinden gerçekleşen akış sırasında oluşan kinetik enerji değişimleri yapının geçirgenlik özelliklerini değerlendirmek açısından önemlidir. Reynolds (1900) tarafından, gözenekli ortamda basınç düşüşünün eş zamanlı kinetik ve viskoz enerji kayıpları ile ilgili olduğu bulunmuştur. Bu durum birçok araştırmacı tarafından gözenekli ortam veya kumaş gibi özel yapılar için modifiye edilerek geliştirilmiştir. Kumaşların geçirgenliklerinin araştırıldığı birçok çalışmada akış boyutsuz bir sayı olan Reynolds sayısı ile ilişkilendirilerek değerlendirilmiştir.

Robertson (1950) çalışmasının ilk aşamasında dokuma kumaşların hava geçirgenliği problemini basit bir yaklaşımla çözmek amacıyla metal tellerden oluşturulmuş bir dokuma yapısını incelemiş ve bu ortamın gözenekliliğini araştırmıştır. Bunun için gözenekler düze gibi düşünülerek, Bernolli eşitliğinden yararlanarak hız, kumaş açık alanı ve basınç farklılığı arasındaki ilişkiden hacimsel akış miktarını belirlemiştir. Çalışmada kumaşın hava geçirgenliği ile ilgili veriler Reynold sayısı, ortamın açık alanına bağlı hacimsel akış miktarı ve hıza bağlı deşarj (boşalma) katsayısı (discharge coefficient, Cd) arasındaki ilişkiyle incelenmiştir. Tel dokuma yapılarının sıklığı ve tel boyutu mikroskopta ölçülmüş ve geçirgenlikleri Schiefer test cihazı ile basınç farklılıklarının fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Farklı dokuma yapılarının gözenekliliği ile ilgili veriler boyutsuz iki değişken olan Re ve

Cd'nin birbirlerine göre ilişkisi incelenerek belirlenmiştir. Deşarj katsayısı ve Reynold sayısı eşitliklerinin havanın kumaş içinde iplikler arası gözeneklerden geçtiği varsayımına dayandığı; yani ipliğin içinden hava geçişi olmadığı belirtilmiştir. Geçirgenlik farklı dokuma yapıları için basınç değişiminin bir fonksiyonu olarak belirlendiğinde, özellikle düşük Reynold sayılarında, deşarj katsayısı ve Reynold sayısı verileri arasında iyi bir korelasyon gözlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında Robertson (1950) kumaşın yapısal özelliklerinin gözenekliliği nasıl etkilediğinin araştırmak amacıyla 45 kumaşın geçirgenlik özelliklerini incelemiştir. Cd ve Re katsayılarının eşitlikleri kumaş içindeki tüm havanın iplikler arası gözeneklerden geçtiği temeline dayanmaktadır. Bu kabulün seyrek kumaşlar için yaklaşık olarak doğru olduğu ancak sık kumaşlarda iplik içinden de belirli oranlarda hava akışı gerçekleşeceği belirtilmiştir. Çalışmada açık alan ve sıklık değerleri mikroskopta ölçülerek etkin iplik çapı hesaplanmış, ayrıca kumaşların gözenekliliği ile ilgili Schiefer test cihazı ile geçirgenlik testi yapılarak elde edilen bu verilerle Cd katsayısı ve Re sayısı hesaplanmıştır. Böylece her bir kumaş tipi için boyutsuz formda deneysel gözeneklilik verileri elde edilmiştir. Hava geçirgenliği test cihazından elde edilen verilerden Cd ve Re hesaplandığında yüksek oranda açık alana sahip olan kumaşın belli bir Reynold sayısında daha küçük açık alana sahip kumaşlara göre daha düşük deşarj katsayısı gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, bilinen bir örgü tipi, iplik numarası ve doku için büküm etkisinin kumaş gözenekliliği üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Pamuklu kumaşlarda bükümün etkisi incelendiğinde büküm artışı ile gözenekliliğin arttığı bulunmuştur. Haşılın lifleri bir arada tutma özelliğinden dolayı haşıllı ipliklerin iplikler arası daha yüksek gözeneklilik göstermesinin beklendiği belirtilmiştir. İplikler arası gözeneklerin sayısının ve boyutunun örgü tipine bağlı olarak değişmesinden ve örgü tipinin etkin iplik çapına etkisinden dolayı gözenekliliğin örgü tipinden etkilendiği belirtilmiştir.

Backer (1951) iplikleri esnek, uzatılamayan, dairesel silindirler olarak kabul ederek kumaşı modellemiş ve bu geometri ile kumaş içinde gerçekleşen hava akışı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışmada öncelikle iplik kesişme biçimleri Şekil 1.13'de gösterildiği gibi sınıflandırılarak her tip kesişme birimi için minimum yatay

gözenek alanı hesaplanmış ve daha sonra hesaplanan minimum gözenek alanının hem seyrek hem de sık dokuma kumaşların hava geçirgenliği ile ilişkisi araştırılmıştır. Ayrıca gözenek bölgesine ait alanların hesabını güçleştiren iplik yassılması, ipliğin suda şişmesi gibi özellikler de incelenmiş, lifler arası aralıkların önemi araştırılmıştır. Araştırmada farklı kesişme tiplerine sahip dokuma kumaş yapılarının sıklıkları, izdüşüm gözenek alanları, minimum gözenek alanları ve hava geçirgenlikleri belirlenmiştir. Aynı iplikler ve sıklıklar kullanılsa da gözenek hacminin ipliklerin kesişme şekline bağlı olarak önemli derecede değişebileceği gözlenmiştir. Çalışma sonucunda bezayağı örgülü kumaşların gaz geçişine aynı iplik numarası ve sıklıkta dokunmuş diğer örgülerden daha fazla direnç gösterdiği, daha büyük açık alana sahip uzun atlamalı dimi veya saten örgülerin ise maksimum geçirgenlik gösterdiği bulunmuştur. Kumaşın minimum gözenekliliğinin kumaşta maksimum sıklık uygulandığında gerçekleştiği kabul edilir. Yapılan çalışmalarda maksimum sıklık durumunda iplik içindeki lifler arasındaki açıklıkların da kumaşın hava geçirgenliğine katkı sağladığı, bu nedenle sık kumaşlarda kumaşın izdüşüm alanı ile hava geçirgenliği arasındaki ilişkinin zayıf olduğu sonucu çıkarılmıştır. Farklı kesişme tiplerine sahip dokuma kumaş yapılarının hava geçirgenliği ve izdüşüm alanları ile minimum gözenek alanları arasındaki ilişki incelendiğinde gözenek alanının artışı ile materyalin hava geçirgenliğinin arttığı belirlenmiştir. Backer (1951) genel olarak iplikler arasındaki açıklıkların kumaş hava akışında etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda ayrıca, iplik yassılmasının hava akışını azaltan bir faktör olduğu vurgulanmıştır. İplik yassılması, iplik yoğunluğunda artış ile lifler arası boşluklarda azalma hava akışını azaltan faktörlerdir. Düşük bükümde iplikler belli bir kumaş için en çok yassılmaya sahiptir, yüksek bükümlü ipliklerde ise yassılma daha azdır. Lifler arasındaki gözenekleri tanımlamak amacıyla iplik içindeki paketleme durumu göz önünde bulundurulduğunda, iplik yoğunluğundaki artış ile lifler arası boşlukların azalmasının hava akışını azalttığı belirlenmiştir.



Şekil 1.13 Dört kesişim tipi
(Backer, 1951)

Dokuma ve örme kumaşlarda örgü tipi ipliklerin kumaş içinde izledikleri yola bağlı olarak değişiklikler gösterir. Dokuma kumaşlarda kumaş geometrisi atkı ve çözgü ipliklerinin yaptığı kesişmelerle farklı şekillerde oluşur. Farklı dokuma tiplerinin gözenek dağılımı arasında önemli bir fark vardır. Kumaşın gözenekliliği başta örgü yapısı olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. Penner ve Robertson (1951) aynı sıklığa ve izdüşüm açık alanına sahip bezayağı, saten ve dimi dokuma kumaşları incelemiş ve kumaşların aynı Reynold sayısında farklı deşarj katsayıları gösterdiğini bulmuşlardır. Çalışmada Backer (1951) tarafından önerilen farklı kesişme tipleri kumaş geometrisini tanımlamak için kullanılmış, ancak bu gözenek tiplerinin etkin gözenek alanları aynı olmadığından geometrik olarak benzer açıklıklar gibi davranmadığı ve gözenek alanının Re 'nin artmasıyla azaldığı belirtilmiştir. Yüksek Re değerlerinde gözenekliliği belirleyen en önemli faktörün akışkanın geçişine olanak sağlayan etkin alan olduğu bulunmuştur.

Robertson'nun (1950) çalışmasında olduğu gibi Hoerner (1952) da çalışmasında geçirimsiz yapıtaşlarından oluşmuş ideal bir kumaş yapısı sağlamak için metal teller kullanarak bu yapıların içinde gerçekleşen gaz akışını Re ile incelemiştir. Metal yapılarda gözenekliliği belirlemek için boyutları tanımlamak ve ölçmek daha kolaydır. Ortamdaki gözenek yapısı homojen kabul edilerek iplikler daha düzgün, geçirimsiz yapılar olarak düşünülmüştür. Genel olarak havanın geçirgen bir malzemeden akışından kaynaklanan basınç farklılığı dinamik kuvvetlerden (akışın

elementlerin arkasından ayrılması ve ilgili basınç düşüşleri) olduğu gibi viskoz kuvvetlerden (hava partikülleri ve yüzey veya elemanın yüzeyi arasındaki sürtünme) kaynaklanır. Hoerner (1952) genel olarak kumaş içinde gerçekleşen hava akışının dar gözeneklerde düşük hızlarda gerçekleşen viskoz akış olarak düşünülebileceğini belirterek kumaş geçirgenliğini tanımlamak için Hagen-Poiseuille eşitliğini kullanmış ve çok düşük Re ile sonuçlandığını bulmuştur. Paraşüt olarak kullanılan kumaşlarda Re'nın dinamik değerden düşük olduğu, bu nedenle bu tür kumaşlarda viskoz veya sürtünme kuvvetlerinin düşünülmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada önceki çalışmalardan farklı olarak materyal içinde gerçekleşen akış aerodinamiğin dinamik özelliği açısından incelenmiş, materyal çevresindeki sürtünme kayıpları mevcut deneysel veriler ile istatistiksel analizden bulunmuştur. Hoerner (1952) basınç farkı ile paketleme yoğunluğu arasındaki ilişkiden, herhangi bir materyalin geometrik gözenekliliğini aerodinamik geçirgenliği ölçerek tahmin etmenin mümkün olabileceğini, ayrıca yapılan incelemelerde metal dokuma yapılarla benzer boyutlara sahip kumaşların benzer aerodinamik özellikler gösterdiğini belirtmiştir.

Paraşüt kumaşlarında, hava filtrasyon tekstillerinde, otomobil hava yastıklarında, özel alanlarda kullanılan giysi sistemlerinde optimum performans için belli bir gözeneklilik yapısı istenir. Goglia, LaVier, ve Brown (1955) paraşüt kumaş içinden gerçekleşen akışı basınç değişiminin atalet ve viskoz etkilerin toplamıyla orantılı olduğunu kabul ederek modellemişlerdir. Çalışmada kumaş parametrelerinin (etkin gözenek çapı, düzlem gözenekliliği, kumaş kalınlığı ve lifin yüzey pürüzlülüğü) birer fonksiyonu olan viskozite katsayısı ve atalet katsayısından kumaş içindeki akış geometrisini tanımlayan bir uzunluk parametresi elde edilerek bu uzunluk parametresiyle geçirgenlik özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Kumaştaki gözeneklerin boyutu ve şekli tanımlanamadığından gözenek içinden hava akışının belli çap ve uzunlukta bir silindir içindeki hava akışı düşünülerek hidrodinamik teori ışığında incelenebileceği belirtilmiştir. Farklı kumaşların basınç değişimi ve hava akışı arasındaki ilişki hava geçirgenliği test cihazıyla test edildiğinde sonuçların materyal tipine göre değiştiği gözlenmiştir. Kumaş içindeki akış şeklinin değişen boyutta gözeneklerin varlığını gösterdiği belirtilmiştir. Farklı yöntemlerle elde edilen

ap değerleri hesaplanan gözeneklilik verilerinde fark yarattığından iplik çapını belirlerken doğru yöntemin seçilmesi önemlidir. Çalışmada özellikle az gözenekli kumaşlarda iplik çapının ölçümündeki hatanın gözeneklilik ve etkin çap hesaplamalarında büyük hataya neden olacağı bulunmuştur.

Kumaş kalınlığı boyunca gözeneklerin şekli, boyutu ve dağılımı kumaşın bir yüzeyinden diğer yüzeyine madde geçişini etkilemektedir. Filtrasyon tekstilleri gibi yapılar da toz, pigment gibi farklı materyallerin hava akışıyla en etkin şekilde uzaklaştırılması için tasarlanan filtre malzemesinin kalınlık, yoğunluk gibi özelliklerinin kontrol edilmesi ve düzenlenmesi yapının hava geçirgenliğinin belirlenmesi ile sağlanmaktadır. Davis (1958) alışmasında farklı özelliklere sahip yn ve sentetik lifli dokusuz yüzey kumaşların hava geçirgenliği özelliklerini incelemiştir. Çalışmada belirli bir kalınlıkta farklı yoğunluk gruplarının hava geçirgenliğine etkisi incelendiğinde kalınlık arttıa hava geçirgenliğinin yoğunluktaki birim değişiminin azaldığı gözlenmiştir. Yoğunluk azaldıka akış miktarı artmaktadır. Hava geçirgenliği, kalınlık ve yoğunluk ilişkisi arasında ters orantılı olduğu belirtilmiştir. Bu ilişki Darcy kuralıyla ilişkili olarak modifiye edildiğinde filtre ortamının basıncı düşüşünün filtre elemanının geometrik yapısına, filtre edilen materyalin sıvı viskozitesine ve filtre elemanının enine kesit alanıyla belirlenen yüzeysel hava hızına bağlı olduğu gözlenmiştir. Nonwoven kumaşlarda gözenek yapısını lifler arasındaki boşluklar oluşturduğundan bu kumaşlarda lif çapı kumaşın yoğunluğunu etkileyen önemli bir parametre olarak ele alınmaktadır. Davis (1958) alışmasında diğer tüm faktörler eşit olduğunda akış miktarının lif çapıyla orantılı olarak arttığını bulmuş ve lif çapı ortalamasının düşük olmasının hava geçirgenliğinin azalmasında etkili olduğunu belirtmiştir. Çalışmada ayrıca lif çapının enine kesit şeklinin de hava akışına etkisi olduğu; asetat, viskoz gibi liflerin yüzeylerindeki oyuklardan dolayı yzeeye yakın yerlerde farklı bir türbülans oluştuğu, bu durumun yüksek basıncı aralığında düşük Reynold sayıları ile sonuçlanabileceği vurgulanmıştır.

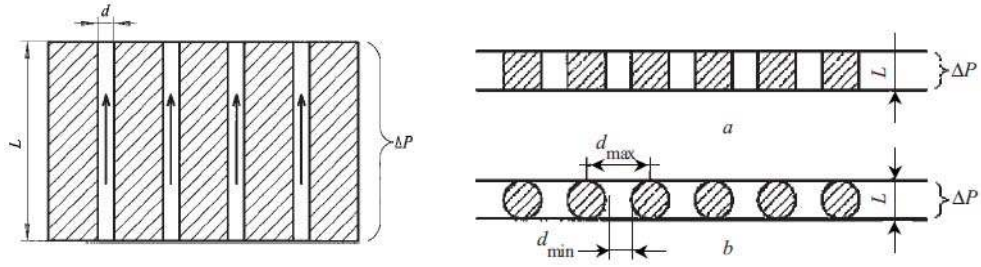
Goodings (1964) alışmasında bir grup kumaş örneğini test ederek hava akışının yaklaşık olarak Poisseuille eşitliği ile açıklanacağını belirtmiş, kumaştaki gözeneğin

çapını kumaşın iki yüzeyi arasındaki hava basınç farklılığı ölçümlerinden bularak hava akışını basınç değişiminin bir fonksiyonu olarak çözümlemiştir. Test edilen kumaşlar içinde paraşüt kumaşı da olmak üzere farklı örgü yapılarında ve sıklıklarda kumaşlardır. Çalışmalarda kumaş içinden geçen hava akışını tanımlamak için Poiseulle eşitliğinden türetilmiş kinetik enerji değişimi ile tüpün içinden aerodinamik sıvı akışını tanımlayan Hagenbach eşitliği kullanılmıştır. İpliklerin kesişmesiyle kumaşta birbiri ardınca sıralanan iplikler arası boş alanların şekli ve boyutunun, ipliklerin sıklığı ve ipliğin paketlenme derecesine göre farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir. Farklı kumaş yapılarının hava geçirgenliği sonuçları arasındaki farkın, kumaşın bariyer etkisiyle oluşan enerji kayıplarından olduğu düşünülmüştür. Bu durum katlı kumaşlar için incelendiğinde, katmanlar arasında geçiş gerçekleşirken havanın bir diğer katmana çarpmasıyla kinetik enerjinin kaybolduğu, bu nedenle çok katlı bir kumaşın geçirgenliğinin benzer gözenek yapısına sahip daha kalın yapıda bir kumaşa benzer olarak düşünülemeyeceği sonucuna varılmıştır.

Brekel ve Jong (1989) çalışmalarında gözenekli ortam için Kozeny modeli ve sürüklenme modelini inceleyerek hesaplamalarında hem iplikler arası hem de iplik içi bölgelerde sıvı akışını tahminlemişlerdir. Kumaşta iplikler arası ve iplik içi gözenekler paralel bölgeler olarak düşünülmüş ve buna göre hem iplikler arasındaki hem de iplik içindeki iletim için geçirgenlik katsayısı süreklilik eşitliğinden ve lokal gözeneklilikten hesaplanmıştır. Araştırmada havlu, merserize pamuklu çarşaf ve poliester kumaşın geçirgenlik katsayıları geçirgenlik test cihazında ölçülmüştür. İplik içinde akışın olası farklılıklarını incelemek için iki tip poliester iplik kullanılmıştır. Kozeny-Carman eşitliği özellikle kumaş gözenekliliği ve iplik çapıyla ilişkilidir. Pamuklu kumaşlarda lifin şişmesi akış direncini belirlemiştir. PES kumaşlar daha düzgün silindirik ipliklerden oluştuğundan daha homojen bir yapıya sahiplerdir ve deneysel sonuçlar ile daha iyi uyum göstermişlerdir.

Kulichenco ve Langenhove (1992) gözenekli aerodinamik ortamın hava geçirgenliğini tahminlemek için kumaşı paralel kapiller bir sistem olarak modellemiş (Şekil 1.14) ve laminar akış özellikleri, Poiseuille, Stokes ve Weisbach-Darcy eşitliklerini bir arada düşünerek gözenek sistemi içindeki toplam akışın filtrasyon

miktarı için basınç farklılığı, akışkan viskozitesi, hidrolik gözenek çapı, gözenek uzunluğu ve gözenekliliğe bağlı bir eşitlik tanımlamışlardır. Aerodinamik hesaplamaları gerçekleştirmek için bu eşitlikte yer alan lifler arası gözeneklerin boyutları ve bunların eşdeğer hidrolik çaplarını doğru olarak belirlemek önemlidir. Kulichenco (2005) daha sonraki çalışmasında kumaşta lifler arası gözenekliliği belirlerken ve hidrolik çapı hesaplarırken en uygun veriyi seçmek için üç yöntemden elde edilen iplik çapı verilerini karşılaştırmış ve elde ettiği iplik parametrelerini daha önce tanımladıkları akış eşitliğinde kullanarak farklı kumaş yapılarının geçirgenliğini tahminlemiştir. Birinci yöntemde d iplik çapı $d = 0.0357 \sqrt{\frac{T}{p_n}}$ eşitliği ile bulunmuştur. Eşitlikte T lineer yoğunluğu, p_n hacimsel yoğunluğu tanımlamaktadır. İkinci yöntemde kumaştan çıkarılan ipliğin çapı mikroskopta ölçülmüştür. Üçüncü yöntem olan projeksiyon yönteminde ise kumaş taramalı elektron mikroskobunda taranarak çap elde edilmiştir. Çalışmada 14 farklı kumaş yapısının gözenek özellikleri olan gözeneklilik verisi (R_s) ve hidrolik gözenek çapı (d_h) üç yöntemden elde edilen değerlere göre hesaplanmıştır. Yöntem 1’de bulunan R_s ve d_h değerleri diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında arada büyük bir fark gözlenmiştir. Bu yöntemde ipliklerin kumaş yapısı içinde enine kesit şekillerini koruduğu düşünülmüş, aynı zamanda iplik için ortalama bir yoğunluk değeri kullanılmıştır; bu da hata oranını arttırmıştır. Yöntem 2’de bulunan R_s ve d_h değerleri gerçeğe daha yakın sonuçlar vermiştir. Aradaki küçük hatanın iplik kumaştan çıkarıldıktan sonra şeklinin değişmesinden ve iplik çapının farklı düzlemlerde ölçülmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Aynı zamanda ipliklerin yassılma etkisi düşünülmendiğinden küçük hatalar olabilmektedir. Yöntem 3’de ise ipliklerin kumaş düzlemi içindeki yassılmaları göz önüne alınmıştır. Gözenekleri örten iplik liflerinin akışa önemli bir direnci olmadığından R_s değeri gerçek değerden biraz daha düşük bulunmuştur. Sonuç olarak, hava geçirgenliği sonuçları ve yapı özellikleri arasındaki ilişki istatistiksel yöntemlerle incelendiğinde, deneysel verilere en yakın sonuçların akış eşitliğinde kumaş görüntüsü üzerinden ölçülen çap verilerinin kullanılmasıyla elde edildiği bulunmuştur. Kulichenco (2005) bunun nedenini ölçülen çap değerinin kumaş düzlemi içindeki yassılmaları içermesi olarak belirtmiştir.

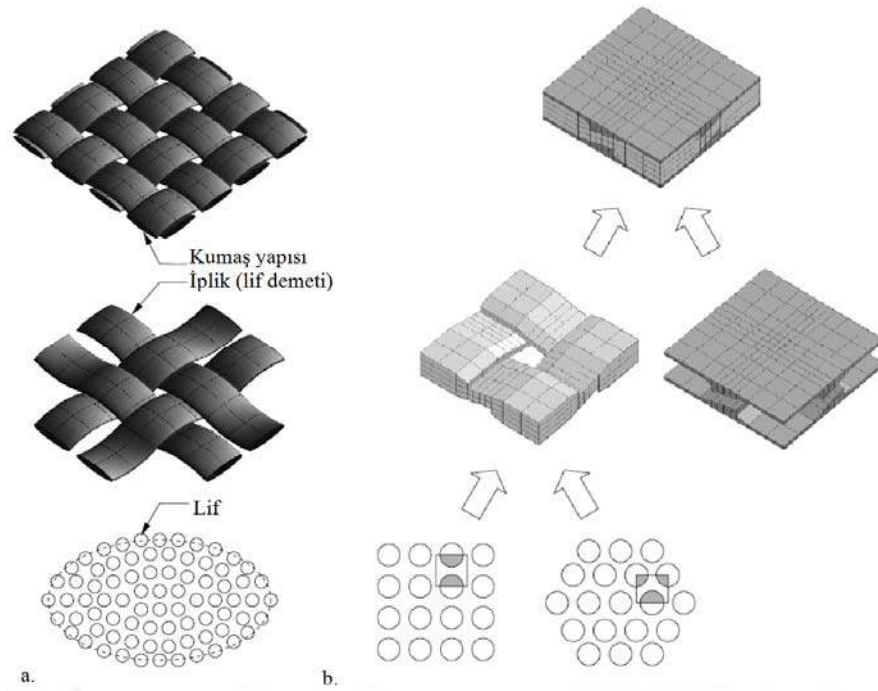


Şekil 1.14. Birbirine paralel kapiller yapılardan oluşan ideal gözenek modeli

Ariadurai ve Potluri (1999) çalışmalarında jeotekstil dokuma kumaşlarda sıvı akışını tahminleyen teorik model tanımlarken kumaşın özel geometrik yapısını dikkate almışlardır. Oluşturulan geometrik model daha sonra laboratuvar testleriyle karşılaştırılmıştır. Daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi dokuma kumaşın geçirgenliğinde iplik içi ve iplikler arası olmak üzere iki tip gözeneklilik sıvının toplam akışında rol oynamaktadır. Çalışmada jeotekstillerin hidrolik yayılımı hacimsel akış miktarı ile tanımlanmış ve kumaş içinde laminar akış bölgesinde iplik topluluklarında gerçekleşen sıvı akışı yaklaşık olarak Darcy kuralı ile açıklanmıştır. Hem iplikler arası hem de filamentler arası kılcallarda geliştirilen sıvı akış modeli hidrolik yarıçap teorisine dayanan geometrik bir model ile birlikte değerlendirilerek oluşturulmuştur. Geometrik kumaş modelinde ipliklerin Kemp'in koşu pisti enine kesit geometrisine sahip kabul edilerek hidrolik yarıçap ve gözeneklilik hesaplanmıştır. İplik içi gözeneklilik ve hidrolik yarıçap verileri de iplik ve lif parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır. Ariadurai ve Potluri (1999) kumaş geometrisini dikkate alarak iplikler arası ve iplik içi bölgelerde bir grup jeotekstil dokuma kumaşın geçirgenlik değerlerini hesaplamış ve daha önce geliştirilmiş teorilerle karşılaştırıldığında yeni geliştirilen modelin deneysel sonuçlarla daha yakın ilişki gösterdiğini belirtmişlerdir.

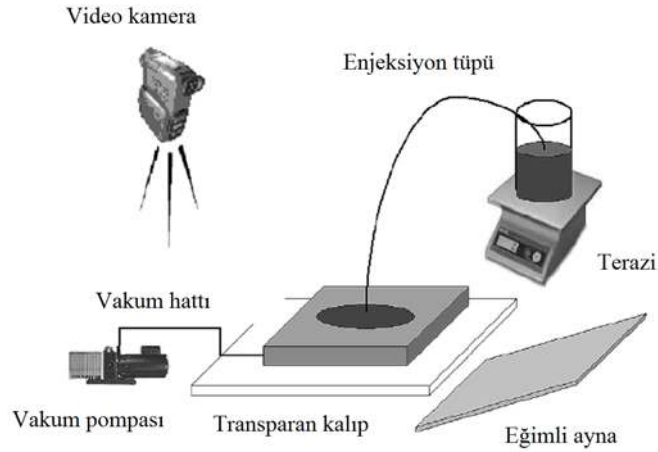
Son yıllarda bilgisayar destekli tasarım sistemlerinin de (CAD, CAM) gelişimiyle 3-D model çalışmaları artmıştır. Oluşturulan 3-D kumaş modelleri kumaşların geçirgenlik özellikleri gibi son kullanım özelliklerini tahminlemek amacıyla geliştirilen bilgisayarlı akış dinamiği (CFD) tekniklerine dayanan yazılımlarla birlikte kullanılarak kumaşın geometrik özelliklere de bağlı olan geçirgenlik modelleri oluşturulmuştur. Lue ve ark. (1996) çalışmalarında bir CFD yazılımı olan

içinden reçinenin akışını açıklamak için Darcy kuralı kullanılmıştır. Mikro yapıların geçirgenliğini belirlemek için yapılan önceki çalışmalardan farklı olarak, son yıllardaki çalışmalar makro ve mikro birim hücrenin yapısını birlikte göz önünde bulunduran daha gerçekçi üç boyutlu kumaş yapılarına dayanmaktadır (Şekil 1.16). Çalışmada iki düzey mikro yapı kabul edilmiş ve etkin geçirgenliğin tahmini değerleri öncelikle tek lifi geçirgen olmayan bölümde bir katı gibi kabul etmeye dayanmış; daha sonra bu sonuçlar makro-mikro yapıdaki birim hücrenin 3-D gösterimine uygulanmıştır. Çalışmanın deneysel kısmında PET-61 dokuma kumaş kompozitinin birim hücresi tanımlanarak sonlu elemanlar yöntemine göre çözülen basınç ve hız alanlarının bileşke sonuçlarından PET-61 birim hücresinin etkin geçirgenlik değerleri tahmin edilmiştir. Bu değerler önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında sonuçlar genel olarak olumlu bulunmuştur. Aradaki farkın birim hücrenin mikro yapı boyutlarının saptanmasındaki hatadan, hegzagonal paketlenme kabulünden veya lif demeti içinde Gebart geçirgenlik eşitliğinin kullanımından kaynaklanabileceği sonuçlarına varılmıştır.



Tekstil takviyesinin geçirgenliğini belirlemede en uygun yol deneysel çalışma olmasına rağmen, deneysel çalışma zaman ve deneyin hazırlanması açısından zorluklar içermektedir. Aynı zamanda tekstil yapılarının üniform olmamalarından, ölçüm hatalarından ve yapının değişmesinden dolayı deneysel çalışmaların bazı dezavantajları vardır. Bu yüzden geçirgenliğin teorik olarak belirlenmesi ile ilgili farklı çalışmalar yapılmıştır. Kumaş geometrisi modellenirken araştırmacılar bu karmaşık yapının basitleştirilmesi amacıyla anizotropik yapının izotropik olarak düşünülmesi gibi bazı yaklaşımlar geliştirmişler ve akış eşitliklerini bu homojen yapılara uygun olarak çözümlemişlerdir. Ancak bu modeller birçok gerçek lif takviyesine, takviyelerin gerçek yapısının çok karmaşık olmasından dolayı uygulanamamaktadır. Lif toplulukları arasındaki makro gözenekler ve lif toplulukları içindeki mikro gözenekler tarafından oluşturulan yapı fractal yapı varlığını desteklediğinden Yu ve Lee (2001) tarafından kompozit üretiminde kullanılan kumaş yapısının geçirgenliğine karar vermede fraktal teori ve teknik kullanmanın uygun olabileceği düşünülmüştür. Çalışmada düzlemsel geçirgenlik için fraktal model analitik olarak türetilmiştir. Bu model kompozit malzemedeki kumaşın en basit yapısını gösteren birim hücre modeline dayanmaktadır. Birim hücre içinden toplam hacimsel akış, tek tek tüm gözenek kanalları içindeki toplam akıştır. Çalışmada tek bir gözenek içinden gerçekleşen akış Hagen-Poiseulle eşitliği modifiye edilerek hesaplanmıştır. Fraktal model farklı kumaş yapılarına uygulanarak deneysel ve basitleştirilmiş analiz verileri ile karşılaştırıldığında aralarında yakın ilişki bulunmuştur. Fraktal geometrinin kullanıldığı bir diğer çalışmada Shi ve Yuan (2011) iplikte gerçekleşen kapiller yükselmeyi incelemek amacıyla iplik içi gözeneklerin fraktal yapısını tanımlayarak Hagen-Poiseulle eşitliğine dayanan matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Sıvının iplik içindeki emme yüksekliği emme zamanına bağlı olarak yapısal parametrelerin, sıvının yüzey geriliminin ve sıvı ile lif temas açısının bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Modelin uygunluğu farklı bükümlere sahip bir grup poliester ipliğin emme testleri yapılarak test edilmiş ve teorik model ile deneysel sonuçların birbirini desteklediği gözlenmiştir. Çalışma sonucunda maksimum kapiller yükselmenin maksimum gözenek boyutu ile ters orantılı olduğu; eğrilik ve gözenek alanı fraktal boyutları arasındaki fark azaldıkça kapiller yükselmenin arttığı bulunmuştur.

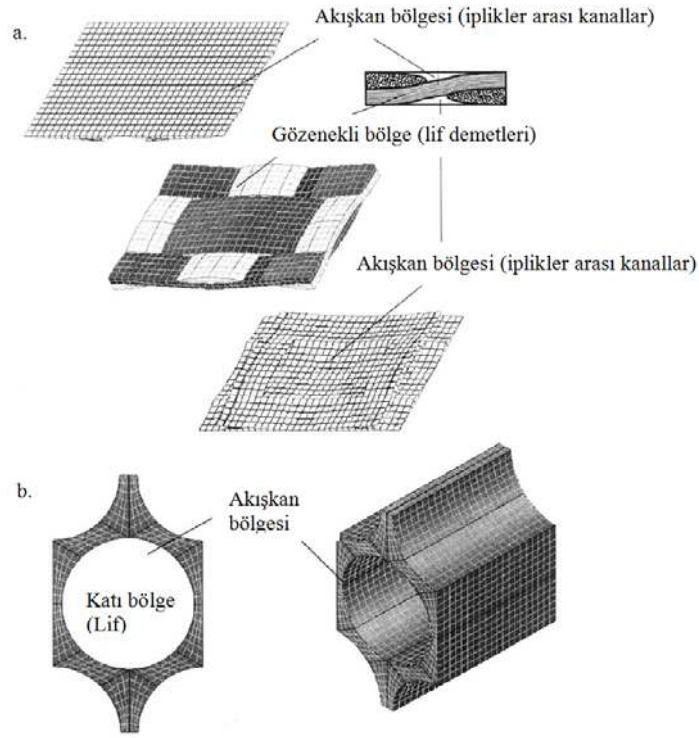
Genel olarak lifli materyallerin geçirgenliği nümerik olarak süreklilik eşitliği ve Darcy kuralı kullanılarak simüle edilmektedir. Bu tahminlemenin güvenilirliği deneysel olarak bulunan geçirgenlik verisinin doğruluğuna büyük ölçüde bağlıdır. Geçirgenlik verisinin bulunması için farklı araştırmacılar tarafından bazı deneysel yöntemler geliştirilmiştir. Nedanov ve Advani (2002) radyal akış deneylerinde akışın ilerleme şeklini elipsoit olarak alan araştırmacılardan farklı olarak, akış ilerleme şeklini koordinat sisteminde gerekli dönüşümleri yaparak küresel yüzey olarak modellemiştir. Daha sonra hem düzlemsel hem de düzleme dik yöndeki geçirgenlik tensörlerinin elde edilmesi için Şekil 1.17’de gösterilen deney düzeneğini hazırlayarak sıvı akışını deney süresi boyunca kaydetmişlerdir. Böylece üst yüzeydeki akış şekli ve boyutu ile kumaştaki sıvı miktarı geçen zamana bağlı olarak kontrol edilebilmiştir. Video görüntülerinden bulunan deneysel veriler akış eşitliklerinde kullanılmıştır. Çalışmada deneysel verilerle karşılaştırıldığında Darcy kuralına dayanan matematik modelin küresel yüzey (3-D) akış yaklaşımını yeterli derecede açıkladığı bulunmuştur. Bu çalışma üç yöndeki geçirgenlik tensörünü göz önünde bulundurduğundan önemlidir.



Şekil 1.17 Düzlemsel ve düzleme dik akış özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan deney düzeneği (Nedanov ve Advani, 2002)

Kompozit materyallerde kullanılan tek yönlü dokuma veya örme kumaş yapıları üç belirgin uzunluk ölçeği ile karakterize edilmektedir. Bunlar kompozit bölümünün

boyutunu ifade eden makro skala, lif demetinin boyutuyla ilgili orta (meso) skala ve demet içindeki liflerin boyutunu ifade eden mikro skaladır. Bir diğer çalışmalarında Nedanov ve Advani (2002) kompozit üretiminde kullanılan lif takviyelerinin tahmini geçirgenliği için farklı bir yöntem olarak homojenleştirme yöntemini kullanmayı amaçlamışlardır. Homojenleştirme metodunun prensibi, gerçek heterojen ortamı aynı ortalama makroskopik davranışa sahip eşdeğer homojen ortamla değiştirmektir. Bu çalışmada metodu heterojen olan gerçek geometri modelinde uygulamak ve ilgili hücre problemlerini nümerik olarak çözerek eşdeğer homojen ortamın makro boyuttaki geçirgenliğine karar vermek amaçlanmıştır. İlgili eşitliklerin türetilmesinde bezayağı dokuma kumaş modelinden yararlanılmış, ancak eşitliklerin yaklaşık olarak periyodik yapıya sahip lifli herhangi bir ortama uygulanabileceği belirtilmiştir. Aynı zamanda bu yöntemle ortamın çift gözenekliliğini tanıtan yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Kalıp doldurma sırasında reçine hem demetler arası kanallar içinden hem de lif demeti içindeki gözenekler içinden akmasına rağmen Nedanov ve Advani (2002) öncelikle lif demetlerini geçirgen olamayan katılar olarak modellemiş daha sonra çift gözenek modelinde demetlerin geçirgenliklerini dikkate almışlardır. Mikroskopik seviyede sıvı akışı Stokes akış ile açıklanmıştır. Tüm nümerik hesaplamalar CFD paket programı FIDAP kullanılarak yapılmıştır, metodun uygulanması kompozit üretiminde kullanılan dokuma lif geometrisini modelleyen periyodik bir hücre üzerinde gösterilmiştir. Cam elyaftan üretilen bezayağı kumaşın lif demeti enine kesiti eliptik olarak modellenmiştir. Demette liflerin paketlenmesi hegzagonal kabul edilmiştir. Homojenleştirme yöntemi geçirgenlik tahmini için içinde bir grup analitik ve nümerik yöntemlerin yer aldığı iki aşamalı güçlü bir tekniktir. Öncelikle mikro seviye geometriden (lif çapı, paketlenme) lif demetinin geçirgenliği hesaplanmış, daha sonra kumaşın etkin geçirgenliğine orta seviyedeki kumaş parametrelerinin (lif demetinin şekli, boyutu, konfigürasyonu, farklı katmanların yerleşimi) etkileri de düşünülerek karar verilmiştir. Deneysel sonuçlarla model sonuçları karşılaştırıldığında aralarında ilişki gözlenmiştir.



Şekil 1.18 a. İplikler arası bölgelerde, b. Lifler arası bölgelerde katı ve akışkan bölgelerin meshleri (Nedanov ve Advani, 2002)

Nonwoven kumaşlar geniş bir kullanım alanına sahip olduğundan bunların geçirgenlik gibi özelliklerini tahminlemek önemlidir. Gözenekli ortamda gerçekleşen akış düşünüldüğünde ortamın boşluklarının şekli, yerleşimi, boyut dağılımı gibi özellikleri önemlidir. Nonwoven kumaşlarda kanalların şekli, genişliği ve etkin kanal uzunluğunun örnek kalınlığına oranı ile tanımlanan eğriliği (tortuosity) geçirgenliği önemli ölçüde etkiler. Mohammadi ve Banks-Lee (2002) çalışmalarında yüksek ısıdan koruyucu, düşük termal iletkenliğe sahip cam ve seramik liflerden yapılmış çok katlı nonwoven kumaşların hava geçirgenliklerini yüksek basınç farklılığında deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Çalışmada deneysel veriler Kozeny teorisine göre elde edilen teorik model ile karşılaştırılmıştır. Teorik geçirgenliği belirlemek için lif çapı ve yoğunluğu için ağırlıklı ortalamalar belirlenerek modifiye edilmiş Kozeny eşitliği kullanılmıştır. Deneyler için Frazier hava geçirgenliği ölçeri kullanılmıştır. Kumaş konstrüksiyonları cam ve seramik katmanların sayısı değiştirilerek ve örnekler yapılırken makinadaki iğneleme sistemi değiştirilerek çeşitlendirilmiş, böylece materyal içinde gerçekleşen sıvı akışı modelinin genişletilmesinde liflerin geometrik düzensizlikleri ve sapma dikkate alınmıştır. Tüm

koşullarda deneysel sonuçlar teorik sonuçlardan %40-60 daha fazla bulunmuştur. Bu farklılığın seramik nonwoven katmanlarındaki ince noktalarla ilgili olduğu düşünülmüştür. Bu noktalar hava akışına izin vererek ölçülen hava geçirgenliğini arttırmıştır. Deneysel sonuçlar teorik sonuçlardan büyük olmasına rağmen, istatistiksel modeller deneysel sonuçların teorik geçirgenlik için iyi bir tahminleyici olduğunu ortaya koymuştur.

Tung, Shiau, Chuang, Li, ve Lu (2002) çalışmalarında multifilament filtre kumaşı olarak modellenmiş üç temel dokuma içinden sıvı akışını Fluent yazılımı kullanarak araştırmışlardır. Backer (1951) tarafından tanımlanan gözenek tiplerinin 3-D geometrisi kullanılarak bunlar içinde gerçekleşen akış çözümlenmiştir. Çalışmada monofilament, multifilament ve kesikli liften yapılmış iplikler olmak üzere üç iplik tipi kullanılarak tek ve çok lifli ipliklerin etkisi tartışılmış ve bezayağı, dimi ve saten yapılar olmak üzere üç tip dokuma kumaş yapısının geçirgenlik davranışları incelenmiştir. İplikler arasındaki fiziksel farklılıkların bunlarla dokunan kumaşların filtrasyon karakterleri üzerine önemli etkisi vardır. Filtre kumaşlarının farklı dokuma desenlerinin karmaşık geometrilerinden ve iplik tiplerinden dolayı, dokuma filtre kumaş içinden sıvı akışıyla ilgili karşılaşılan temel zorluk kumaşı oluşturan liflerin ve ipliklerin çok kıvrımlı geometrisidir. Çalışmada akış alanı yaklaşık sınır koşulları ile sistemin momentum denge eşitlikleri ve süreklilik eşitliğini çözerek bulunmuştur. Bu çalışmada, iplik türünün, gözenek yapısının, örgü deseninin ve yukarı akış hız koşullarının multifilament kumaş gözeneğinde akış desenine ve multifilament filtre kumaşın akış direncine etkileri incelenmiştir. Sayısal çözümlemenin sonucu açıklıklardaki akış şekli ve akış direnci bulunmuştur. Çalışma sonuçlarına göre; kumaştaki ipliğin geçirgenliği azaldıkça, örneğin sıkı bükülmüşse, belli bir işlem basıncı altında filtre akışında bir azalma gerçekleşmiştir. Bunun nedeni iplik bükümü arttıkça sıvı akışı için uygun alanın azalması olarak belirtilmiştir. Ayrıca, akış miktarında artış basınç düşüşünde artışla sonuçlanmıştır. Sık dokunan filtre kumaşlarda, iplik içinden gerçekleşen akış baskınken, gevşek dokumalarda özellikle iplikler fazla bükülmüşse genellikle akışın ipliklerin etrafında gerçekleşeceği gözlenmiştir. Aynı iplik numarasına sahip bezayağı kumaş en fazla akış direnci

verirken uzun atlamalara sahip 4/1 saten dokumanın maksimum geçirgenliğe sahip olduğu gözlenmiştir. Bu eğilim monofilament filtre kumaşlarla tutarlılık göstermiştir.

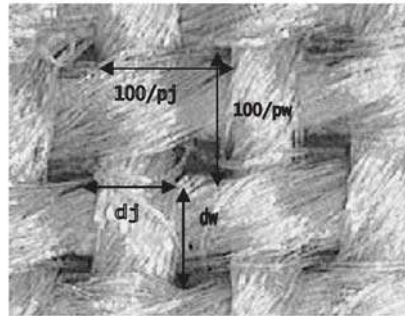
Gooijer, Warmoeskerken, ve Wassink (2003a) çalışmalarında tekstil materyalinin akış direnci ile geometrisi arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Dokuma kumaşların akış direncini belirlemek için Backer'ın (1951) tanımladığı gözenek tiplerini dikkate alan bir model geliştirmiş ve elde edilen sonuçları deneysel çalışma ile sınamışlardır. Bu modelin sık kumaşlar için de kullanılır olması amaçlanmıştır. Ancak, yaklaşım gözeneklerdeki akışın kumaş düzlemine dik olmadığı durumunu ihmal etmiştir. Çalışmada gözenek izdüşümleri kullanılarak kumaşla ilgili parametreler belirlenmiş ve C_d ile Re ilişkileri bulunmuştur. Çalışmanın deneysel bölümünde PES ve PA liflerinden dokunmuş dört monofilament kumaş kullanılmıştır. Kumaşların görüntüleri alınarak bu görüntülerden kumaşların sıklığı ve bağlantı şekilleri belirlenmiştir. Kumaşların akış direnci akış hızının bir fonksiyonu olarak tekstil materyali üzerine düşen basınç ölçülerek karar verilmiştir. Gooijer ve ark. (2003b) çalışmalarının diğer aşamasında daha önce monofilament kumaşlara uyguladıkları modeli multifilament kumaşlara uygulamışlardır. Multifilament kumaşlarda sıvı akışı hem iplik içi hem de iplikler arası bölgelerinde gerçekleşmektedir. Daha önceki çalışmalarda araştırmacılar bu iki bölgedeki akışı karşılaştırmak için Carman-Kozeny modelini kullanmışlar ve lifler arasındaki akışın ihmal edilebileceği sonucuna varmışlardır. Bundan dolayı bu çalışmada monofilament kumaşlar için kullanılan modelin aynısı multifilament kumaşların akış direnci için uygulanmıştır. Araştırmada modelin uygunluğuna karar vermek için PET liflerinden yapılmış dört adet multifilament kumaş test edilmiştir. Mikroskopta elde edilen görüntüler kullanılarak iplik çaplarına ve kumaş sıklıklarına karar verilmiştir. Ancak monofilament kumaşların iplik çapları ile karşılaştırıldığında multifilament ipliklerin deformasyonundan dolayı kumaşın projeksiyon görüntüsünde görülen çapın gerçek çap olmadığı belirlenmiştir. Multifilament iplikler, kumaş düzlemindeki çapın bu düzleme dik olan çaptan daha geniş olması şeklinde deforme olmuşlardır. Buna göre, akış yönü kumaş düzlemine dik kabul edildiğinden, kumaş düzlemindeki çap akış direncine karar veren çap olarak kabul edilmiştir. Multifilament iplikler içinden akışı modellemede, deformasyondan dolayı iplikler sonsuz silindirler olarak

tanımlanamamıştır. Normal multifilament dokumaların laminar akış bölgesinde akış direncinin monofilament kumaşlardaki gibi modellenebileceği belirtilmiştir. Ancak, bu modeli sıvı akışı ile deforme olmuş kumaşın akış direncini tahminlemek için kullanmak sapmalar ile sonuçlanmıştır. Model homojen olmayan kumaşların akış direncini tahminleyememiştir, çünkü bağlanma çeşidinin sonucu olarak bazı gözenekler çok büyük, bazıları çok küçük olduğundan tüm gözeneklerin akış direncini aynı şekilde etkilediği kabulünün artık geçersiz olduğu belirtilmiştir.

Lifler arası gözenekleri karakterize etmek için çok sıklıkla kullanılan “*gözeneklilik*” lifler arası boşluklarda bulunan hava veya sıvının bağıl miktarlarını açıklamaktadır. Fakat gözeneklilik lif grubu karakterini açıklamak için yeterli bir parametre değildir. Gözeneklilik yanında hava boşluklarının gözenek boyutu ve gözenek şekli; örneğin lifler arası delik boyutları, yarıklar ve kanallar gözenek özelliklerini tanımlamak için önemli parametrelerdir. Neckar ve Ibrahim (2003) yaptıkları teorik çalışmada lif topluluğundaki lifler arası gözenekliliği tanımlamışlardır. Temel düşünce lifler arası gözenekliliği hayali sınırlar ile çevrelenmiş bölgelerde incelemektir. Hayali gözenek sınırları tanımlayarak gözenekler için alternatif teorik tanımlamalar bulmak olasıdır. Böylece örneğin paketleme yoğunluğu, eşdeğer gözenek çapı, gözenek uzunluğu ve diğer değişkenler gibi temel geometrik tekstil yapı özellikleri türetilir. Teorik model kullanarak lifler arası boşlukları hesaplayarak gözenek boyutu özelliklerine karar vermek mantıklıdır. Çalışmada gözenek adı verilen küçük tüpler ve kanallar formunda bazı uygun sınırlar üretmek için hava boşlukları hayali veya sanal sınırlara bölünmüştür. Paketleme yoğunluğu lif topluluğu yoğunluğu ile lif yoğunluğu arasındaki orandır ve bu deneysel olarak veya liflerin toplam enine kesit alanı ile lif grubunun toplam enine kesit alanı arasındaki orandan bulunmuştur.

Gözeneklilik tekstil materyalini tanımlayan ve onun bazı önemli fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen önemli bir özelliktir. Örneğin; lifli bir materyalde gözenek boyut dağılımı, özellikle iplik içi gözenekler, nem emmeyi, termal yalıtımı, filtrasyon özelliklerini, ıslanabilirliği ve dokunsal özellikleri etkiler. Bu nedenle eğer gözeneklilik bilinirse veya tahmin edilirse ipliğin farklı özellikleri de tahminlenebilir.

Xu ve Wang (2005) çalışmalarında iplikler ve lifler arası gözenekliliğin kumaşın geçirgenliği üzerine etkisini incelemişlerdir. İplikler arası boşluklar ile kumaş yapısı arasındaki ilişkiyi kurmak için Hagen-Poiseuille formülünü kullanmışlardır. Deneysel çalışmada 28 adet kumaşın geçirgenlik özellikleri incelenmiştir. İplik çapları mikroskopla kumaş görüntüleri elde edilerek ölçülmüştür (Şekil 1.19). Kumaş geçirgenliği hava geçirgenliği test cihazı ile ölçülmüştür. Test edilen kumaş geçirgenliği ile iplikler arası gözenekliliği göz önünde bulundurarak hesaplanan geçirgenlik bazı kumaşlar hariç iyi bir korelasyon göstermiştir. Kumaşlarda çıkan hatanın üç nedenden kaynaklandığı düşünülmüştür. Bunlardan birincisi kumaş yapısında iplikler arası boşlukların yanında lifler arası boşlukların da varlığıdır. Bu, kumaş geçirgenliğini arttırmaktadır. İkinci neden iplikler arası boşlukların enine kesitinin sabit boru benzeri bir yapı olarak kabul edilmesinden kaynaklanan hatadır. Üçüncü bir neden ise gerçekte gözenek boyutunun dağılımı geniş bir aralığa sahip olmasına rağmen çalışmada uniform dağılıma sahip olduğunun kabul edilmesidir. Tüm bu sebepler göz önünde bulundurularak kumaş geçirgenliği için lifler arası boşlukların ve yapılan kabullerden kaynaklanan hata faktörünün yer aldığı bir çözümleme yapılmıştır. İplikler arası gözeneklilik, birim alan ağırlığı, toplam örtme faktörü, ortalama atlama uzunluğu, çözgü ve atkı ipliğinin büküm katsayısı, lif çapı gibi her bir değişkenin kumaş geçirgenliğine etkisi istatistiksel olarak stepwise regresyon yöntemiyle bulunarak kumaş geçirgenliği için matematiksel bir ifade elde edilmiştir. Sonuç olarak kumaş geçirgenliğine karar vermede önemli iki faktörün iplikler arası gözeneklilik ve toplam örtme faktörü olduğu bulunmuştur.



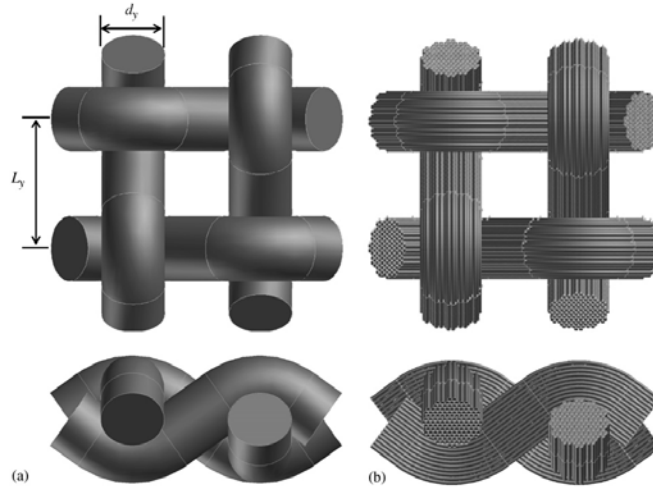
Şekil 1.19 Kumaş görüntüsü üzerinde gerçekleştirilen ölçümler (Xu ve Wang, 2005)

Bir başka model çalışmada Belov ve ark. (2004) geçirgenlik tensörünü Lattice Boltzmann yöntemi ile belirlemişlerdir. Bu yöntem iplikler arası akış için Navier-Stokes eşitliğini, iplik içinde lifler arası akış için Brinkman eşitliğini kullanmaktadır. Çalışmada WiseTex adlı yazılımda kumaşın 3-D geometrisi oluşturulduktan sonra birim hücre için kafes (latice) noktaları tanımlanmıştır. x ve y düzlemsel koordinatları, z kumaş kalınlığı yönündeki koordinatı tanımlamaktadır. Kafes noktaları tanımlandıktan sonra bu noktaların iplik içinde olup olmadığı belirlenerek buna göre akış için kullanılacak akış modeli belirlenmiştir. Eğer nokta iplik içindeyse iki durum söz konusudur. Bunların birincisi ipliğin geçirimsiz bir katı olarak kabul edildiği ve partikülün bu noktaya girmesinin engellendiği durum; diğeri ise ipliğin gözenekli kabul edildiği ve bu noktada akışın Brinkman eşitliği ile modellendiği durumdur. Modelde çözümlerler sınır koşulları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Belov ve ark. (2004) WiseTex programında iplik enine kesiti, iplik gözenekliliği ve lif hacim oranını değiştirerek birkaç farklı bezayağı birim hücre modeli oluşturmuş ve bunların düzlemsel akış ve geçirgenlik hesaplamalarını yapmışlardır. Farklı kumaş parametreleri geçirgenlik davranışını etkilemektedir. Katman sayısının geçirgenliğe etkisini incelemek amacıyla PVC kaplı cam ipliklerden yapılmış beş katlı panama dokuma kumaşın geçirgenliğini ölçmüş ve deney sonuçlarını bilgisayarda oluşturulan modelle karşılaştırmışlardır. Katmanların üst üste yerleşmesinin geçirgenlik sonucu açısından önemli olduğu, sonuçların tek katlı bir kumaş sonuçlarına benzemediği, ayrıca katmanların yerleşimi kontrol edilemediğinden geçirgenlik ölçümlerinde deney sayısını arttırmak gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan LBM (Lattice Boltzmann Method) yönteminin dezavantajları ise sayısal hesaplamalarının fazlalığı ve sürenin uzun sürmesi olarak belirtilmiştir.

Verleye ve ark (2005) çalışmalarında Nast3DGP adlı bir CFD yazılımı kullanarak WiseTex'de oluşturulmuş kumaş modellerinin geçirgenlik sonuçlarını tahminlemiş ve akış simülasyonları gerçekleştirmişlerdir. Akış, Navier-Stokes ve Brinkman eşitlikleri ile çözülmüştür. Yöntem önce paralel sıralanmış silindirlere uygulanarak hesaplanan geçirgenlik teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar geçirimsiz dizilimler için sonlu fark Navier-Stokes metodu ile bulunan sonuçların doğru

olduğunu göstermiştir. İplik içindeki akışı içeren Brinkman eşitliğinin tahminleri, geçirgen dizilim teori eksiklikleri için kabul edilebilir bir yakınlık göstermiştir.

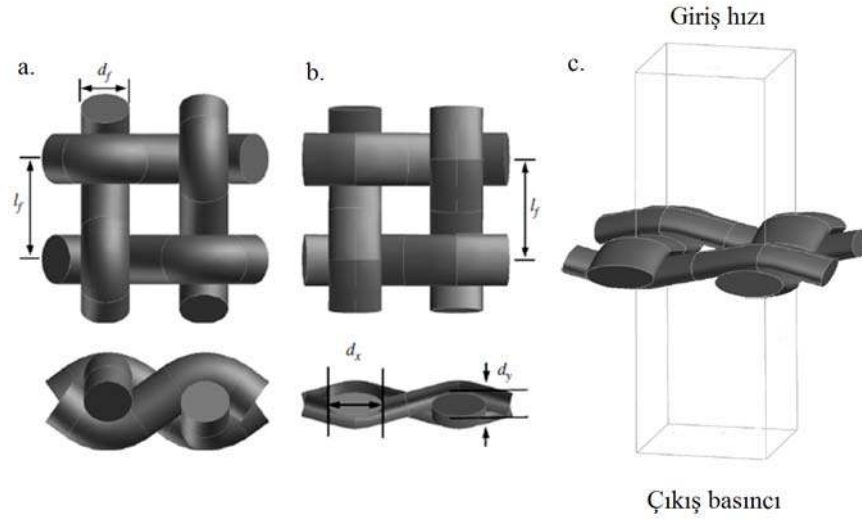
Multifilament kumaşların geçirgenlik modeli için geleneksel yaklaşım kumaşların atkı ve çözgülerinin kalın monofilament yapıda olduğunu kabul ederek, akış eşitliklerini böyle geçirimsiz ipliklerden oluşmuş kumaş yapılarına göre çözümlenmektedir. Wang, Mazé, Tafreshi, ve Pourdeyhimi (2006) çalışmalarında bu yaklaşımdan farklı olarak öncelikle filamentleri altıgen şeklinde düzenleyerek multifilament iplik yapısı oluşturmuşlar, daha sonra kumaş geçirgenliğini hesaplamak için multifilament ipliklerden oluşan ideal bir 3-D dokuma kumaş geometrisi tanımlamışlardır (Şekil 1.20). Böylece kumaş içindeki akış alanı iplikler arası boş alanlar ve iplik içindeki boş alanlar olmak üzere ayrı ayrı hesaplanan iki alana bölünmüştür. Çalışmada Fluent CFD (Computational Fluid Dynamic) yazılımı kullanarak bir grup multifilament dokuma kumaş içindeki akış alanı çözülmüş ve sonuçlar Gebart modeli sonuçları ile karşılaştırıldığında %10 daha yüksek geçirgenlik değerleri bulunmuştur.



Şekil 1.20 Monofilament ve multifilament kumaşın birim hücre modelleri (Wang ve ark., 2006)

Geçirgenlikle ilgili teorik modellerde ipliklerin dairesel enine kesite sahip oldukları kabul edilmiştir. Ancak dokuma kumaşlar ipliklerin birbirlerini itmelerine

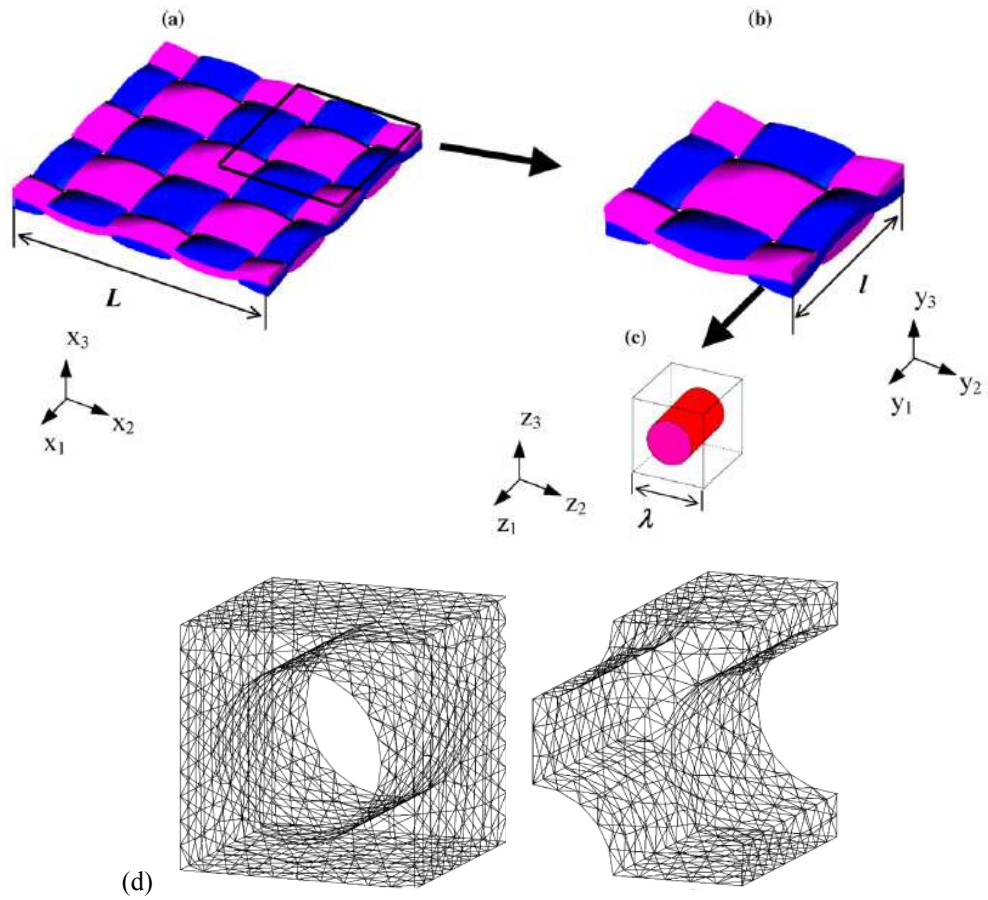
ve şekillerinde deformasyon oluşmasına neden olan gerilim altındadır. Wang ve ark. (2007) diğer çalışmalarında bu durumu göz önüne alarak eliptik enine kesite sahip liflerden oluşmuş monofilament kumaşların hava geçirgenliğini C_d ve Re katsayıları arasındaki ilişkiyi çözümleyerek modellemeyi amaçlamışlardır (Şekil 1.21). Eliptik enine kesitte sahip bir monofilament dokuma kumaş büyük ve küçük çaplar ile filamentler arası mesafe ile tanımlanmıştır. Çalışmada filamentlerin en/boy oranının basınç düşüşüne etkisi incelendiğinde filamentlerin şeklinin hava akış şeklinde ve kumaştaki basınç düşüşünde etkili olduğu gözlenmiştir. CFD sonuçları bu kumaşlarda C_d katsayısının Re sayısı ile logaritmik ilişkiye sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 1.21 a. Dairesel, b. Eliptik enine kesitli monofilament kumaş birim hücresi, c. Akış için sınır koşulları belirtilen simülasyon alanı (Wang ve ark., 2007)

Homojenleştirme metodu son yıllarda yapının topolojisini optimize ederek fiziksel özelliklerini tahmin etmede kullanılan bir yöntemdir. Song ve Youn (2006) çalışmalarında homojenleştirme metodu kullanarak bezayağı dokuma kumaş için geçirgenlik tensörünü kontrol hacmi sonlu elemanlar yöntemine (CVFEM) dayanarak hesaplamışlardır (Şekil 1.22). Birim hücrede lif demetleri, yani iplikler arası bölgede akış süreklilik ve Stokes eşitlikleriyle kontrol edilmiştir. İplik geçirgen, gözenekli bir ortam olarak davranması gerektiğinden, iplik içinde akış Brinkman eşitliği kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada bezayağı dokuma kumaşın düzlemsel

geçirgenliğini ölçmek için radyal akış deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak nümerik ve deneysel geçirgenlik arasındaki uyumsuzluk oranı küçük bulunmuştur. Tahmin edilen geçirgenlik değerlerinin deneysel sonuçlardan farklı olmasının sebepleri birim hücrenin basitleştirilmiş yapısı ve kumaş katmanının yerleşme etkisinin ihmal edilmiş olması olarak belirtilmiştir. Ancak akış simülasyonuna dayanan yöntemle karşılaştırıldığında çok kompleks kumaşların etkin geçirgenlik tensörü hesaplamasında homojenleştirme metodunun etkin bir yöntem olduğu gözlenmiştir.



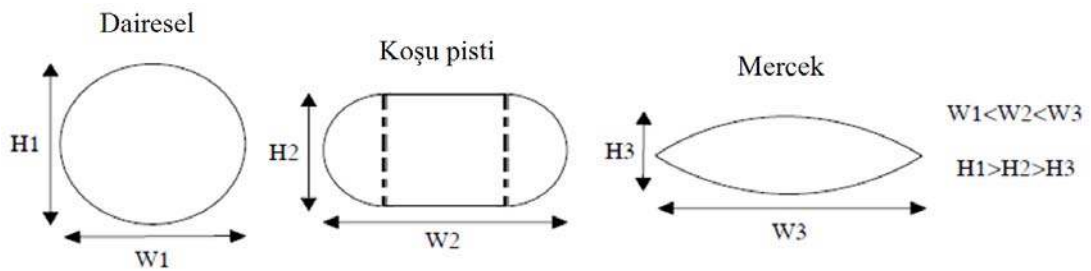
Şekil 1.22 homojenleştirme yönteminin diyagramı: a. Bezayağı dokuma kumaşın makro yapısı, b. Örgü birimi makro yapısı, c.mikro birim hücre (iplik), d. mikro birim hücrenin kare ve hegzogonal sonlu elemanlar meshi (Song ve Youn, 2006)

Wong ve ark. (2006) çalışmalarında farklı kumaş tiplerini tanımlayan, iplik şeklindeki değişimleri, gözenekli lif demeti ve çok katlı yapıda yerleşme gibi faktörleri tanımlayabilen genel basit bir model ortaya koymayı amaçlayarak

geçirgenliği tanımlamak için ortalama grid (Grid average) ve akış alanı (Stream Surface) olmak üzere iki yaklaşım tanımlamışlardır. Bu iki yaklaşım geleneksel bir üç-boyutlu nümerik analize alternatif olarak geliştirilmiştir. Çalışmada tekstil modeli Texgen adı verilen geometrik model geliştirme programında nümerik yaklaşıma dayalı olarak oluşturulmuştur. Kumaş alanından geçen akışı çözmek için CFD analiz yazılımı kullanılmıştır. Geçirgenlik Darcy kuralı kullanılarak basınç alanlarından hesaplanmıştır. Grid ve CFD kullanılarak hesaplanan x yönündeki akış için geçirgenlik değerleri karşılaştırıldığında tahmini basınç alanlarının çok yakın olduğu gözlenmiştir. CFD çözümü için elemanlara ayırma (meshleme) zamanı uzunken ortalama grid yaklaşımında süre kısadır ve yöntem daha basittir. Çalışma sonucunda CFD hesaplamasıyla daha doğru tahminler beklenmesine rağmen, pratikte herhangi bir tekstil için geçirgenliği doğru ve hızlı olarak tahmin etmek için basitleştirilmiş modeller kullanmanın da yararlı olabileceği belirtilmiştir.

Nazarboland, Chen, Hearle, Lydon, ve Moss (2007) çalışmalarında partikül şeklinin filtrasyon sonucuna etkisini incelemek ve derecelendirmek amacıyla teorik analize dayanan bir bilgisayar simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Yazılım 3-D dokuma kumaş modelleri oluşturmak için bir arayüz içermektedir ve akışkanın hareketini nümerik olarak belirlemek için CFD aracı kullanılmıştır. Çalışmada benzer filtrasyon sistemlerinin farklı parçacık şekilleri için davranışını modellemek amacıyla farklı boyut ve şekillerde parçacıklar sisteme uygulanarak yakalama-yerleştirme mekanizması temeline dayanan bir kuvvet modeli çözümlenmiştir. Parçacık üstündeki kuvvetler sürüklenme, ağırlık, batmazlık, sürtünme ve normal kuvvetleridir. 3-D dokuma yapısı dokuma, iplik ve kumaş yapısal parametrelerine bağlı olarak Peirce (1937) yaklaşımına B-spline yöntemi uygulayarak tanımlanmış, üç farklı enine kesitte iplik ile filtre ortamını oluşturan tekstil yapısı modellenmiştir. Akışkan akışı laminar ve turbilans akış olarak sınıflanmış ve kütle ve momentum korunumuna dayanan bir grup eşitlikle açıklanmıştır. Dokuma kumaş içinde gerçekleşen akış için CFD yazılımı kullanılmış, böylece Backer (1951) tarafından önerilen ve kumaşta iplikler arası gözenekleri akışın çoğunun gerçekleştiği bir delik veya düze topluluğu olarak gösteren yaklaşımdan farklı olarak, gözeneklerin boyut ve şekli sayısal olarak analiz edilerek akış çözümlenmiştir. Kullanılan özel CFD

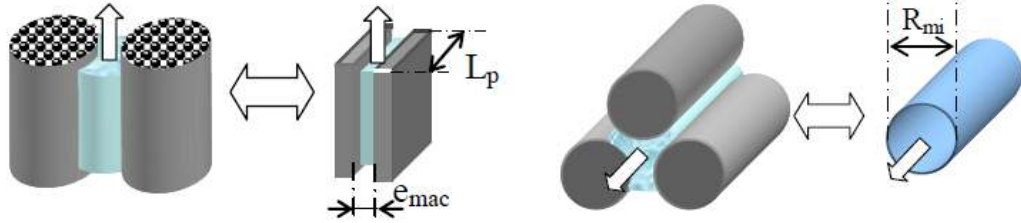
yazılımı Fluent, bir hacim meshi veya gridi oluşturmak için akışkan alanını küçük hücrelere bölen bir yazılımdır, yazılımda Navier-Stokes eşitlikleri ile kontrol edilen akış hareket eşitliklerini çözmek için tekrarlanan yöntemler uygulanmıştır. Çalışmada farklı parçacık şekilleri için toplam filtre hacmi, filtre kek gözenekliliği, filtre kek kalınlığı, kuru filtre kek kütlesi gibi filtrasyon karakterlerinin değişen parçacık yapısı ve paketlenmeden dolayı aynı olmadığı gösterilmiş, parçacık şeklinin filtrasyon karakterini ve filtre kek düzeninin geçici davranışını etkileyen önemli bir parametre olduğu ortaya çıkmıştır. Nazarboland ve ark. (2008) diğer çalışmalarında aynı yazılımı kullanarak iplik lineer yoğunluğu, kumaş yoğunluğu, kıvrım oranı ve ipliğin enine kesit şekli (Şekil 1.23) gibi kumaş parametrelerinin değişiminin etkilerini sayısal olarak araştırmış ve her bir özelliğin kumaş geometrisini ve akışkanın akış davranışını etkilediğini ortaya koymuşlardır. İplik lineer yoğunluğunun değişimi paketleme yoğunluğu ile aynıysa genelde iplik kalınlığını değiştirmiş ve artan lineer yoğunluk gözenek alanını azaltarak akışa direnci arttırmıştır. Kumaş yoğunluğundaki artış, etkin gözenek alanını azaltarak akışı etkilemiştir. Kumaş yoğunluğundaki artış gözenek alanını sadece x yönünde etkilerken iplik yoğunluğundaki değişim gözenek derinliğini de etkilemiştir. Kıvrım oranının artışı hem iplik uzunluğunu hem de gözenek derinliğini etkilemiş ve akışa direnci arttırmıştır. İplik şeklindeki değişim ise ipliğin boyutlarını değiştirdiğinden gözenek özelliklerini etkilemiştir. Dairesel kesitten koşu pisti kesitine ve mercek şekline doğru gözenek hem genişlik hem derinlik boyutu azalmış, basınç düşüşü ise artmıştır. Mercek şekli daha eğri olduğundan akışkan akış direncini azaltmıştır. Koşu pistinde ise daha düz olan yüzey akışkan hızını azaltmıştır. Bu sonuçlar etkin alandaki değişimlerin akışkanın akış hareketini doğrudan etkilediği sonucunu çıkarmıştır.



Şekil 1.23 Farklı iplik enine kesit şekilleri: daireesel, koşu pisti, mercek (Nazarboland ve ark. ,2008)

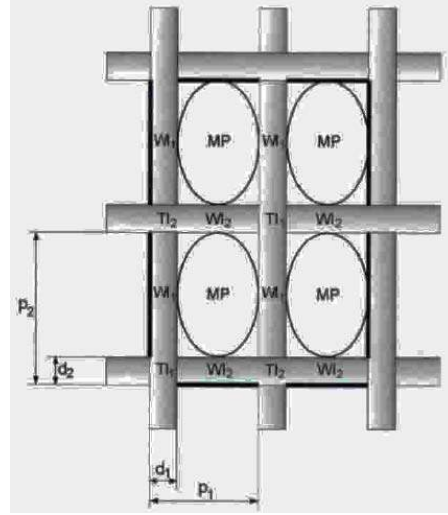
Benltoufa, Fayala, BenNasrallah (2008) çalışmalarında gözenekleri makro (iplikler arası) ve mikro (lifler arası) olmak üzere iki bölgede incelemiş ve kapiller akışı her iki kanal modeli için geliştirmişlerdir. Makro gözeneklilik ilmek geometrisine bağlı kumaş parametrelerinden, mikro gözeneklilik ise lif ve iplik parametrelerinden hesaplanmıştır. Modelin uygunluğu farklı yapısal özelliklere sahip pamuklu düz örme kumaşlar için test edilmiştir. Kapiller ilerlemeyi açıklamak için kullanılan eşdeğer geometri kumaş ve iplik boyutlarında aynı değildir. Kumaş içinde iplikler arası kapiller ilerleme birbirine paralel belli bir aralıktaki iki düzlem olarak modellenmiş (Şekil 1.24 a), iplik içinde ise lifler arası ilerleme R çaplı kapiller bir tüp içinden gerçekleşen akış şeklinde modellenmiştir (Şekil 1.24 b). Buna göre çalışmada silindirik şekle sahip iplik içinde lifler hegzagonal yerleşmiş olarak modellenmiş ve aralarındaki mesafe eşit kabul edilerek lif alanı ve yerleşim ilişkisinden kapiller tüp çapı elde edilmiştir. Genellikle Washburn kuralı ile açıklanan kapiller akış ortalama gözenek çapı ve eğrilğine (tortuosity) bağlı olarak değişmektedir. Eğrilik ilmek yapısı ile ilişkili olarak gerçek yarım ilmek uzunluğu ile ilmek boyu arasındaki oranı olarak tanımlanmıştır. Kumaş parametrelerine bağlı olarak gözenek çapı, gözeneklilik ve eğrilik parametreleri tanımlandıktan sonra mikro gözenekler için Washburn, makro gözenekler için Poiseuille eşitlikleri ile denge durumundaki yükselme ölçüleri teorik olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada farklı kalınlık ve sıklıkta düz örme kumaşlara emme testi uygulanmış ve kapiller yükselme kamera ile çekim yapılarak periyodik olarak gözlenmiş, denge konumuna gelene kadar ölçüm devam etmiştir. Deneylerden sıvının başlangıçta makro kanallardan kısa sürede emildiği, daha sonra akışın maksimum yüksekliğe ulaşmasında mikro kanalların sorumlu olduğu, fakat bunu daha yavaş bir difüzyon ile gerçekleştirdiği bulunmuştur. Zaman geçtikçe denge durumuna gelene kadar sıvının ilerlemesi azalmaktadır. Teorik sonuçlar karşılaştırıldığında mikro ve makro dereceleri arasında gözenek boyutları ve denge yüksekliği açısından çok fark olduğu gözlenmiştir. Gerçek ipliklerde ise gözenekliliği tanımlamak ipliğin düzgünsüz yapısından dolayı daha zordur. Örneğin stapel ipliklerde lifler arası kapiller bölgeler lif göçünden dolayı düzgün olmayabilir, iplik çapı, büküm, hammadde, ipliğin

gördüğü bitim işlemleri gibi farklı parametrelerin de hareketi etkileyeceği belirtilmiştir.



Şekil 1.24 a. İplikler arası kapiller ilerleme (makro kanallar), b. Lifler arası kapiller ilerleme (mikro kanallar) (Benltoufa ve ark., 2008)

Dubrovski (2009) çalışmasında dokuma kumaşlarda iplikler arası oluşan makro gözenekliliği iplik kalınlığı, kumaş sıklığı ve örgü faktörü parametrelerine bağlı olarak tahminlemek amacıyla deneysel bir model sunmuştur. Modelde gözenek enine kesiti elips olarak kabul edilmiş ve kumaş parametrelerine bağlı olarak gözenek alanı, eşdeğer gözenek çapı, gözenek yoğunluğu, örtme faktörüne bağlı gözenek açık alanı gibi özellikler hesaplanmıştır (Şekil 1.25). Aynı zamanda kumaşların gözenek boyutları kumaş görüntüleri üzerinden ölçülmüştür. Çalışmada istatistiksel bir analiz yöntemi olan faktör analizi yöntemi kullanılarak makro gözenek özellikleri tahminlenmiştir. Deneysel, matematiksel ve istatistiksel yöntem sonuçları karşılaştırıldığında matematiksel yöntemin deneysel sonuçlarla daha yakın ilişki gösterdiği gözlenmiştir. İplik yoğunluğu, sıklık ve örgü faktörlerinin gözenekliliği tahminlerken önemli parametreler olduğu ancak, yine de tek başlarına yeterli olmadıkları vurgulanmıştır.



Şekil 1.25 Dokuma kumaşın ideal eliptik gözenek yapısı modeli (Dubrovski, 2009)

Ogulata ve Mavruz (2010) düz örme kumaşların gözenekliliğini kumaşın iplik numarası, kumaş kalınlığı, ilmek genişliği ve yüksekliği, ilmek iplik uzunluğu, iplik ve lif yoğunluğu parametreleri ile geometrik olarak belirlenmesini ve bu model kullanılarak Darcy akış eşitlikleriyle hava geçirgenliğinin tahminlenmesini amaçlamışlardır. Teorik ve deneysel hava geçirgenliği sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla iki farklı iplik üretim sistemiyle (ring ve kompakt) üçer farklı numarada üretilmiş ipliklerden üçer farklı sıklık değerinde 18 adet pamuklu düz örme kumaş üretilmiştir. İplik görüntüleri incelendiğinde iplik numarası (kalınlığı) azaldığında tüylülüğün de genelde azaldığı gözlenmiştir. Kumaş görüntülerinde ise ince ring ve kompakt ipliklerle üretilmiş kumaşlarda gözeneklerdeki deformasyonlardan dolayı özellikle seyrek kumaşlarda yüksek derecede düzgünsüzlük gözlenmiştir. Kompakt ipliklerle örülmüş kumaşlar bu ipliğin yapısından dolayı daha düz, az tüylüdür ve bu ipliklerle üretilmiş kumaşlar yüksek hava geçirgenliği göstermişlerdir. Ancak, kompakt ve ring iplikler arasındaki fark önemli bulunmamıştır. Teorik hesaplamaları kolaylaştırmak için ilmek ideal ipliklerden oluşmuş yapı olarak kabul edilmiştir, fakat kumaş boyunca gözenek boyut dağılımı çok değişkendir. Çalışmada ipliğin katı bir malzeme gibi olmamasından dolayı kumaşın gözenekliliğini gözenek boyutundan tahminlemenin zor olduğu vurgulanmış ve teorik akış sonuçlarında gerçeğe daha yakın değerler elde etmek için geometrik modelden hesaplanan gözenek çapı değeri %15 arttırılarak hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmada geçirgenlik ve gözeneklilik

arasındaki ilişkinin önemli olduğu gözlenmiştir. Bir önceki çalışmaya paralel olarak gözenek boyutunun da geometrik modelde kullanılan iplik kalınlığı, ilmek iplik uzunluğu, sıklık gibi kumaş parametreleriyle ilişkili olduğu belirtilmiştir.

B. Das, A. Das, Kothari, ve Fanguero (2011a) çalışmalarının ilk bölümünde dikey emme sırasında iplik içinde gerçekleşen akışı matematiksel olarak modellemişlerdir. Bu amaçla öncelikle ipliğin dikey emme davranışına etki edecek parametrelere bağlı (lif temas açısı, iplik içindeki lif sayısı, lif çapı, lif enine kesit şekli, iplik çapı ve büküm derecesi) bir iplik modeli oluşturmuşlardır. İplik modelinde tüm liflerin aynı boyutlarda olduğu, iplik içinde hegzagonal yerleştiği, enine kesit şekillerinin dairesel olduğu ve birbirleriyle eşit mesafede bulunduğu kabul edilmiş, tüylülük, kapillerdeki süreksizlik gibi faktörler ihmal edilmiştir. Daha sonra ise iplik modelden elde ettikleri parametrelere bağlı olarak Laplace ve Hagen-Poiseuille eşitlikleri ile kapiller akışı hesaplamışlardır. Teorik model çalışmasını kontrol etmek amacıyla poliester ve polipropilen multifilament ipliklerin emme testleri gerçekleştirilmiştir. Lif kesiti, büküm, lif çapı gibi parametrelerin etkisini incelemek amacıyla farklı özelliklere sahip test grupları oluşturulmuş ve sonuç olarak deneysel sonuçlarla teorik sonuçların birbiriyle çok yakın ilişkili olduğu gözlenmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlara göre, daha ince lifler daha fazla emme sağlamış, iplik bükümündeki artış emme yeteneğini azaltırken lif şekil faktöründeki artış emmeyi arttırmıştır. Teorik sonuçların deneysel sonuçlardan biraz daha büyük bulunmasının ideal paketleme kabulünden kaynaklandığı belirtilmiştir. Das ve ark. (2011b) çalışmalarının ikinci bölümünde ise bezayağı dokuma kumaşın dikey emme davranışını tahminlemek için geliştirdikleri iplik modeline dayanan matematiksel bir model geliştirmeyi amaçlamışlardır. Kumaşta akışı belirlemek amacıyla kumaş içinde yer alan iplik geometrisinin kıvrımdan dolayı zikzak şeklinde hareket ettiği kabul edilmiş ve kıvrımlı iplik kapiller kanalında gerçekleşecek akış, eğimli bir tüp içinde gerçekleşen akış gibi modellenmiştir. Tüpün eğiminin ipliğin kıvrım açısına eşit olacağı kabul edilerek iplik özellikleri, kıvrım, iplik açıklıkları girdileri ile emme yüksekliği teorik olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Pierce kumaş geometrisine göre de iplik geometrisi tanımlanarak emme yüksekliği hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada karşıt durumdaki ipliğin dikey emme davranışına etkisini gözlemlemek amacıyla bir

grup test kumaşında sadece çözgü ipliklerini bir arada tutarak bağlantıyı sağlayacak birkaç atkı ipliği bırakılıp geri kalan atkı iplikleri çıkartılarak yani kesişim iplikleri olmadan test gerçekleştirilmiş ve test sonucunda bu örnekler ile normal kumaşlar arasında alınan sıvı miktarı arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Diğer taraftan normal kumaşlarda emme sırasında sıvının dikey ipliklerden karşıt durumdaki ipliklere geçmesinden dolayı oluşan emme yüksekliği daha azdır. Teorik yaklaşımlar (eğimli tüp yaklaşımı, Pierce geometrisi) ile deneysel yöntemlerden elde edilen emme yükseklikleri arasındaki fark önemli bulunmamıştır. Deneysel ve teorik sonuçlar başlangıç emme miktarının iplikte kumaştan daha çok olduğunu göstermiştir. Fakat deney sonucunda denge durumundaki emme yüksekliğinin kumaşta iplikten daha çok olduğu gözlenmiş ve bu durum kumaşlarda atkı ipliklerinin emme sırasında depo görevi görerek çözgü ipliklerinde sıvı sağlamaya devam etmesi olarak yorumlanmıştır.

1.5.3 Kumaşın geçirgenlik ve gözenek özelliklerin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmalar

Kumaşın gözenekliliğinin belirlenmesi için birkaç ölçüm yöntemi vardır. Çalışmalarda kumaşların gözenek özellikleri mikroskopik incelemelerle, hava geçirgenliği testiyle veya malzeme içine sıvı girişi davranışının incelendiği emme testi gibi farklı test yöntemleriyle analiz edilmiş ve geçirgenlik özellikleriyle gözenek özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Ayrıca, kumaş parametrelerinin yanında çevresel etkilerin de geçirgenlik performansına etkisini incelemek amacıyla farklı çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Kumaş geometrisi, hammadde ve iplik özelliklerine bağlı olarak oluşan kumaş içindeki toplam boş hacim kumaşın geçirgenlik özelliklerini doğrudan etkiler. Kumaş gözenekliliği boş hacmin toplam kumaş hacmine oranıyla ilişkilendirilirken, deneysel bir değer olan geçirgenlik ise genellikle birim kumaş alanında gerçekleşen sıvı ya da gaz akış miktarı olarak tanımlanmaktadır. Geçirgenlik basınç farklılığının bir fonksiyonudur. Akış miktarı geçirici kanalların şekline, genişliğine, eğriliğine kuvvetli derecede bağlı olduğundan geçirgenlik ve gözeneklilik arasındaki ilişki basit

değildir. Burleigh, Wakeham, Honold, ve Skau (1949) gözenekliliği lif içi, lifler arası (iplik içi) ve iplikler arası gözeneklilik olmak üzere üç bileşene sahip olarak tanımlamış ve yapılan deneysel çalışma sonucunda akıştan sorumlu etkin gözenekliliğin çoğunlukla iplikler arası ve lifler arası bileşenlerin bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada farklı yapıların gözenek boyut dağılımına karar vermek için Ritter ve Drake tarafından açıklanan civa alma metodu kullanılmıştır. Malzemenin gözenek boyutu ve boyut dağılımını belirlemek için literatürde çokça kullanılan yöntemlerden biri olan civa gözenek ölçeri yönteminin esas bir çok materyal için ıslatmama özelliğine sahip olan civanın uygulanan basınç ile gözenekler içine girmesini sağlamaya dayanır. İşlem sırasında civa önce büyük gözenekleri doldurur, küçük gözenekler ise ancak yeteri kadar basınç uygulanınca civayı içine alır. Yöntem sonucu elde edilen gözenek boyutu dağılım fonksiyonu, basınç artışı ile materyalin gözenekleri içine giren civa hacmi ile ilişkilidir. Civa alma yöntemiyle gözenek boyut dağılımı elde edilirken en önemli hata kaynağı gözenek enine kesitinin dairesel kabul edilmesidir. Ayrıca, kumaş basınca maruz kaldığında gözenek sisteminin sıvı ile doldurulmadan önce kısmen çökme durumu da söz konusudur. Çalışmada kumaşlara farklı işlemler uygulanarak ikili kumaş grupları oluşturulmuş ve bunlar arasında gözenek boyut dağılımlarının ilişkisi mersevizasyon işlemi görüp görmemelerine, pamuk olgunluğuna ve artan atkı sıklığının etkisini göre karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kumaşın gözenek boyutunun yaklaşık 0,2 mikron ile 20 mikron arasında değiştiği ve iplikler ve lifler arası toplam gözenekliliğin lif inceliği, şekli, örgü tipi, sıklık, iplik bükümü gibi değişken yapı özelliklerine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Wakeham ve Spicer (1949) üç kumaş grubu oluşturarak bunların gözenek yarıçap dağılımını civa alma yöntemiyle test etmeyi amaçlamışlardır. Birinci grup kumaşların hepsi farklı örgü tipine sahip, aynı ipliklerden dokunmuş kumaşlardır. İkinci grup 2/1 dimi kumaşlar aynı iplik numarası ve sıklıklara sahiptir, aradaki fark bu kumaşlarda kullanılan pamuk hammaddesinin olgunluk derecesidir. Üçüncü grubu ise farklı sıklık ve ağırlıklarda, suya dayanıklı olarak tasarlanmış Oxford kumaşlar oluşturmaktadır. Kumaşlar için gözenek dağılımları belirlendiğinde kumaş örgüsünün, sıklığının ve lif içeriğinin karakteristik bazı farklılıklar gösterdiği

gözlenmiştir. Farklı dokuma tiplerinin gözenek dağılımı arasındaki fark önemli bulunmuştur. Oxford ve bezayağı dokumaların saten veya dimi kumaşlara göre daha küçük gözenek hacmiyle birlikte daha küçük gözeneklere sahip oldukları gözlenmiştir. Daha küçük gözenekler daha düşük hava geçirgenliğinden sorumludur. Çalışmada aynı zamanda neme maruz kaldığında hidrofil özellikteki liflerin şiştiği ve bu kumaşlarda bir ölçüde suyun ve diğer ıslatma sıvılarının geçişinin azaldığı gözlenmiştir.

Hsieh (1995) çalışmasında ıslanma ve kapiller teorilerinin lifli materyallerin davranışlarındaki etkisini analiz etmiş, ayrıca lif özelliklerinin kumaşın ıslanması ve sıvının kumaşta taşınması özelliklerine etkisini incelemiştir. Yapılan deney sonuçları tek bir lif çeşidi içeren herhangi bir kumaşın yüzey ıslanma özelliğinin kumaşı oluşturan tek lifin ıslanma özelliğine benzer olduğunu göstermiştir. Çalışmada benzer dokuda, ağırlıkta ve kalınlıkta %100 pamuk ve poliester kumaşların lif yüzey özelliklerinin ve kumaş gözenek yapısının sıvı transferine ve sıvı tutma yeteneğine katkısı açıklanmıştır. Sıvı transferinden sorumlu gözenek alanını bulmak için civa gözenek ölçeri yönteminden yararlanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucu pamuklu kumaşların, pamuk liflerinin iyi ıslanma özelliğinden ve düzensiz şekillerinden dolayı poliester kumaşlardan dört kat daha fazla su tutma özelliğine sahip olduğu görülmüştür.

Abel, Willis, ve Lange (1999) çalışmasında civa gözenek ölçeri yönteminin çimento esaslı malzemeler gibi malzemelerde gözenek boyut dağılımını belirlemek için kolay, çabuk dolaylı bir teknik olmasına rağmen düzensiz gözenek geometrisine sahip materyallere uygulandığında bazı sınırlamaları olduğunu vurgulamışlardır. Cihazın geniş bir aralıkta gözenek boyutunu ölçebildiği (0.005-10 μm , adsorpsiyon tekniklerinde ise ölçüm aralığı 0.03 mikrondan küçüktür); ancak malzeme içine artan basınçla civa doldurma prensibine dayanan yöntemin gözenek ölçümü için en basit işlem gibi görünmesine rağmen esnek tekstil yapıları için uygun olmadığı belirtilmiştir.

Nagy ve Vas (2005) çalışmalarında farklı enine kesitlere sahip liflerden oluşmuş beş farklı PES ipliğin iplik içi gözenekliliğini belirlemek amacıyla indirekt bir yöntem olan civa gözenek ölçerini kullanarak hem iplik içi hem de lif içi gözenekleri detaylı olarak incelemişlerdir. Ayrıca, ölçümlerden elde edilen dağılım fonksiyonunun iplikler arası, iplik içi, lif içi bölgeleri gibi farklı gözenek bölgeleriyle ilişkisinin yorumlanması amaçlanmıştır. Uygulanan basınç ve civanın girdiği gözenek boyutu arasındaki ilişki Washburn eşitliği ile verilmiştir. Çalışmada aynı lineer yoğunluğa sahip fakat dairesel, oval vs. gibi farklı enine kesitlerde PES liflerinden oluşmuş iplikler test edilmiştir. Sonuç olarak iplik içi gözenek boyutunun farklı lif enine kesit şekillerinde farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir. Araştırmacılar, Abel ve ark. (1999) çalışmasının aksine civa gözenek ölçerin iplik gözenekliğini ölçmede kullanılabileceğini ve yüksek basınca rağmen makul sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir.

Jena ve Gupta (2000a) tarafından yapılan çalışmada düzleme dik yöndeki gözenek yapısı gibi düzlemsel gözenekliliği de doğru olarak ölçmek için ekipman tasarlanmış ve iki gözeneklilik arasındaki fark gözlemlenmiştir. Deneyde tekstil örneği bir sıvıyla ıslatılmış, daha sonra örnek test cihazına yerleştirilmiş ve sıvıyı gözeneklerin dışına itmek için örneğin bir tarafındaki gaz basıncı arttırılmıştır. Örnekteki en büyük gözenek en küçük basınçta boşalmakta ve gaz akışı başlamaktadır. Basınç artışıyla küçük gözeneklerde de boşalma ve akış miktarı artmaktadır. En büyük gözenek hacmi, ortalama akış gözenek boyutu, gözenek boyut dağılımı, sıvı geçirgenliği, gaz geçirgenliği ve gözenek yüzey alanı bulmak için akış miktarı ve basınç değişimi arasındaki ilişki kullanılmaktadır. Gaz ulaşılabilir herhangi bir yol izlediğinden gözenek çapı bu yolun bir fonksiyonudur ve gazın akışı için gerekli basınç yol boyunca gözenekğin en sıkışık (dar) bölümündeki çap ile belirlenmektedir (Şekil 1.26). Kapiller akış gözenek ölçeri olarak adlandırılan bu yöntemde gözenek çapını belirlemek için Young-Laplace eşitliği kullanılmıştır. Buradan elde edilen verilerle ortalama gözenek çapı, en büyük gözenek çapı ve akış dağılımı hesaplanmıştır (Jena ve Gupta, 2000b). Jena ve Gupta (2000a) bir grup tekstil üzerinde yaptıkları deneylerde düzlemsel ve düzleme dik gözenek çaplarının özellikle kaplamalı ve kompozit tekstillerde farklı olduğunu ve bu farkın önemli

olduğunu bulmuşlar, aradaki farkın tabaka düzlemine paralel olan liflerden kaynaklandığını düşünmüşlerdir.



Şekil 1.26 Farklı gözenek çaplarına sahip gözenek boyunca yer alan en küçük çap (Jena ve Gupta, 2000,a)

Berkalp (2006) çalışmasında PET ve pamuklu farklı spunlaced dokusuz yüzey kumaşların üretimlerinde kullanılan özgül enerjinin kumaş kalınlığı, ağırlığı, ve gözenekliliği gibi yapısal özellikler ile geçirgenlik özellikleri arasındaki ilişkileri incelemiştir. Kumaşların hava geçirgenliği hava geçirgenliği test cihazında ölçülmüş, gözenek boyutu ise özellikle membran filtrelerde gözenekliliği ölçmek için kullanılan sıvı çıkarma yöntemi ile çalışan bir cihaz ile belirlenmiştir. Deneyler sonucunda pamuklu kumaşlarda özgül enerji ile kumaş kalınlığı arasında negatif bir korelasyon bulunmuş, PET kumaşlarda ise önemli bir fark gözlenmemiştir. Pamuklu kumaşlarda özgül enerji artınca hava geçirgenliği azalmıştır; ayrıca özgül enerjinin artışı kalınlık ve gözenekliliği azaltmıştır. Bu durumun iki lifin yapısal farklılıklarından kaynaklandığı belirtilmiştir; pamuk lifleri eğilme, deformasyon gibi davranışlardan dolayı enerji artınca daha sıkı, az gözenekli ve kağıt benzeri yapılar oluşturmuştur. Çalışmada hava geçirgenliği ile gözenekliliği arasındaki ilişki bulunmuş, gözenek boyutu artınca hava geçirgenliğinin arttığı belirtilmiştir.

Dokuma, örme ve dokusuz yüzey kumaşlarda gözeneklilik parametrelerini belirlemek amacıyla D. Jaksic ve N. Jaksic (2007) sıvıyı ıslak kumaşın gözeneklerinden uygulanan hava basıncı ile dışarı çıkaran bir yöntem tanımlamışlardır. Gözeneklerin içinde bulunan sıvıyı kumaş dışına çıkartma işleminde, hidrolik çap önemlidir. Belli bir hidrolik çapa sahip gözenekten sıvıyı çıkarmak için hidrolik gözenek çapı ile ters orantılı olan ani bir hava basıncı değeri uygulanmalıdır. Hava hacim hızı düz tekstil kumaşının gözeneklilik değerine ve kumaşın iki yüzeyi arasındaki hava basınç farklılığına bağlıdır. Yüksek gözeneklilik

kumaş içinden yüksek hava hızı anlamına gelmektedir. Kuru ve ıslak örneklerin içinden geçen hava hacim hızının hava basıncı fonksiyonu olarak ölçümlerinden hesaplanmasıyla gözeneklerin hidrolik çapı, gözeneklerin dağılımı, açık alan ve hidrolik gözenek sayısı gibi gözeneklilik parametreleri hesaplanabilir. Yöntemi test etmek için dört farklı dokuma kumaş kullanılmış ve kumaşların ortalama gözeneklerinin ölçülen hidrolik çapları 18-200 μm aralığında bulunmuştur. Sonuçlar mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir.

Kumaşların düzlemsel veya düzleme dik yönde gerçekleşen emme davranışlarını incelemek amacıyla farklı araştırmacılar tarafından ayrıca dikey emme testleri, radyal emme testleri gibi testler uygulanmıştır. Hollies, Kaessinger ve Bogaty (1956) tarafından yapılan çalışmada karışım kumaşların su alma özelliklerindeki farklılıklarının nedenlerini araştırmak amacıyla suyun lif gruplarında hareketi, lif özellikleri ve iplik yapısı açısından analiz edilmiştir. Çalışmada birkaç deneysel karışım yapının düşey su çekme davranışı ipliğin bir ucuna %0.05lik mavi boya çözeltisi damlatılarak mikroskobik olarak incelenmiştir. Sıvının ilerleme pozisyonu zamanın fonksiyonu olarak değerlendirilmiştir. Numara, lif sayısı, lif numarası ve büküm gibi iplik yapı özelliklerinin hepsinin su transfer miktarını lifler arası kapiller boşlukların boyutunu kontrol ettiği dereceye kadar etkilediği; geniş kapillerlerde genelde yüksek su alma oranları gözlemlendiği belirtilmiştir. İplikler ve lifler üzerinde temas açısı ölçümleri sonucu iplik içindeki su hareketinin suyun iplik üzerinde görülen ileri temas açısı ile doğrudan, lifin yüzey özellikleri ile ise dolaylı olarak ilişkili olduğu gözlenmiştir. Farklı liflerden yapılmış ipliklerin yüzey pürüzlülüğü farklılık göstermiştir. Kapiller sürekliliğe karar vermek için karışımlardaki lif kıvrımı ve yüzey pürüzlülüğünün önemli faktörler olduğu belirtilmiştir.

Ito ve Muraoka (1993) çalışmalarında, bir lif demeti boyunca gerçekleşen sıvı transfer davranışını değerlendirmek için yüksek duyarlılıkta elektriksel bir kapasitans (direnç) tekniği ile çalışan bir ölçme cihazı geliştirmişlerdir. Cihaz kullanılarak, naylon, PET ve rayon lifleri boyunca sıvı suyun transfer (ilerleme) davranışı değerlendirilmiştir. Çalışmada, su transferinin gerçekleşmesi için gerekli minimum lif sayısını kritik lif sayısı olarak belirlemişlerdir. Lif sayısı düştükçe su transferinin

durduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre emme mekanizmasının gerçekleşmesi için kritik bir lif sayısı gerektiği ve bu sayının lif tipine göre farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca lif toplulukları içinde etkin kapiller etki yaratmak için, özellikle de eğer lif sayısı az ise, lifleri bükme gerektiği belirtilmiştir.

Crow ve Osczevski (1998) kumaşın sıvı suyun emmesini ölçmek için farklı örme ve dokuma yapılarından oluşan kumaşlar üzerinde denemeler yapmışlardır. Araştırmada tabakadan tabakaya geçişin belirlenmesi için her bir kumaştan iki örnek tartılarak örneklerden biri su ile ıslatılmıştır. Daha sonra iki kumaş üst üste konup üstüne ağırlık yerleştirilmiş ve örnekler belirli aralıklarla tartılmıştır. Bu işlem sistem kararlı hale gelene kadar devam etmiştir. Çalışmada kumaşın aldığı sıvı su miktarının toplam kapiller hacmine eşit olduğu, bunun da genelde kumaş kalınlığı ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Kumaştaki atkı ipliği sayısı azalıkça su miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu, kumaşta lifler arası boşlukların önemini göstermektedir. Islak bir kumaşta ikinci katmana su geçmeden önce ulaşılması gereken eşik su miktarı olduğu bulunmuştur; bu miktar kumaştan kumaşa değişmektedir. Katmandan katmana emilimin, gözenek boyutlarına ve hacimlerine bağlı olduğu belirtilmiştir. Kumaş içindeki eşdeğer miktarlardaki suyun kumaş üzerinde serbest duran su damlasından daha çabuk buharlaştığı gözlenmiştir. Bu, suyun kumaşta iplikler boyunca yayılarak buharlaşabileceği daha geniş bir yüzey alanına sahip olması anlamına gelmektedir.

Kapiller akışı ölçmek için en basit yöntemler ya bir katıyı sıvı banyosuna dik yönde batırmak ya da katı yüzeyine sıvı damlatarak davranışını gözlemlemektir. Perwuelz, Mondon, ve Caze (2000), renkli bir sıvının iplikte kapiller yükselmesi sırasında alınan CCD görüntülerinin temeline dayanan bir teknik kullanarak poliester, poliamid ve cam liflerinden yapılmış multifilament ipliklerde kapiller akışı incelemişlerdir. Genel olarak lifli bir yapının kapiller akışı, sıvının yükseklik değişimini belli bir yarıçapa sahip bir kapillerde zamanın bir fonksiyonu olarak ifade eden Washburn kuralıyla hesaplanır. Gözenek boyutunun kompleks şekli ve heterojenliğinden dolayı çalışmada aynı kapiller kinetiği veren silindirik kapiller yarıçapı olarak tanımlanan eşdeğer gözenek yarıçapı belirleme yoluna gidilmiştir.

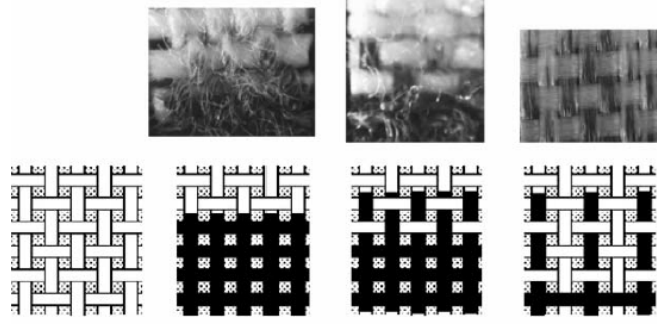
Perwuelz ve ark (2000) farklı multifilament ipliklerin kapiller akış davranışlarını gözlemlemek amacıyla bir aparat geliştirmiş ve görüntü analizi yönteminden yararlanmıştır. Deneylerde kurudan yaşıya geçişin ani olmadığı gözlemlenmiştir. Sıvının bu kademeli yükselişini filamentlerin heterojenliği ve lifler arası boşlukların değişen geometrileri olmak üzere iki faktörün etkilediği düşünülmüştür. Dolayısıyla çalışmada kullanılan ipliklerin heterojenliğine bağlı olarak kapiller katsayı dağılımları ve değerleri farklılıklar göstermiştir.

Hong ve Kim (2007), çalışmalarında yaz giysilerinde çokça kullanılan farklı örgü yapılarında pamuk ve pamuk-PES karışımı örme kumaşların konfor özelliklerini etkileyen dikey emme davranışlarını incelemişlerdir. Dikey emme davranışını modellemek ve analiz etmek için kontrollü basınç uygulayarak gerçekleşen sıvı transferini ağırlık olarak ölçen test sisteminde (Gravimetric Absorbancy Testing System=GATS) test hücrelerini dikey olacak şekilde modifiye ederek yeni bir deneysel yöntem geliştirmişlerdir. Dikey emme testi sonunda denge durumundaki maksimum kapiller yükselme ölçülerek kapiller basınç hesaplanmıştır. Bu çalışmada emicilik modeli doymuş akış mekanizmasına göre limitsiz durum içinde geliştirilmiştir. Modelde değişkenler kumaş geçirgenliği, kumaş kapiller basıncı ve kumaş kalınlığı olarak düşünülmüştür. Ayrıca lif yapısıyla ilgili bir özellik olan yüzey ıslanma gerilimi konfor özelliklerinde etkilidir; örneğin, yüksek yüzey ıslanma geriliminin uzun bir zaman periyodunda yüksek kapiller yükselmeye neden olduğu belirtilmiştir. Gözenekli kumaşta ortalama gözenek boyutu akışkan transfer olayını ve materyalin yüzey ıslanma gerilimini karakterize etmek için kullanılabilir. Geçirgenliği hesaplamak için denge durumunda akış miktarı ölçülmüştür. İnterlok %100 PES kumaşın geçirgenliği en fazladır, bunu interlok pamuk-PES kumaş, balpeteği pamuk-PES ve interlok %100 pamuk kumaş izlemiştir. PES yapısı içine sıvı almadığından akışkan transferi sırasında lifler arası açıklık azalmamaktadır. PES kumaşlarda kalınlık ne kadar yüksekse gözenek boyutu ve geçirgenliğin o kadar yüksek olduğu bulunmuştur. İnterlok PES kumaşın kalınlığı balpeteği kumaştan fazla olduğundan geçirgenliği daha fazla bulunmuştur. Pamuk lifleri ise sıvı ile şiştiğinden lifler arası boşluk azalmaktadır. Bu nedenle interlok pamuk kumaşın gözenekliliği ve geçirgenliği PES-pamuk interlok kumaştan daha düşük bulunmuştur. Dört kumaşın

gözenek boyutu karşılaştırıldığında PES interlok kumaşın en yüksek, pamuk interlok kumaşın en az gözenek boyutuna sahip olduğu ve geçirgenlik için de benzer sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Laplace eşitliğine göre kapiller basınç ortalama gözenek boyutu ile ters orantılı olduğundan %100 pamuk interlok kumaşın kapiller basıncı en fazla, %100 PES kumaşınki en düşük bulunmuştur. Yani, materyal yüksek yüzey gerilimine sahip olsa bile, yapının hacimliliği (büyük gözenek boyutu) kapiller basıncın düşük olmasına sebep olmaktadır. Çalışmada yerçekimi etkisinin de emme davranışında etkili olduğu, bu özellik düşünülerek elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla yüksek ilişki gösterdiği belirtilmiştir. Sonuç olarak, en yüksek yüzey ıslanma gerilimine sahip %100 pamuklu interlok kumaş en yüksek kapiller basınç ve dolayısı ile emme periyodu boyunca en fazla yükselme göstererek en fazla miktarda sıvı emmiştir. Pamuk-PES karışımında PES oranı arttıkça kapiller basınç azalmakta ve geçirgenlik artmaktadır.

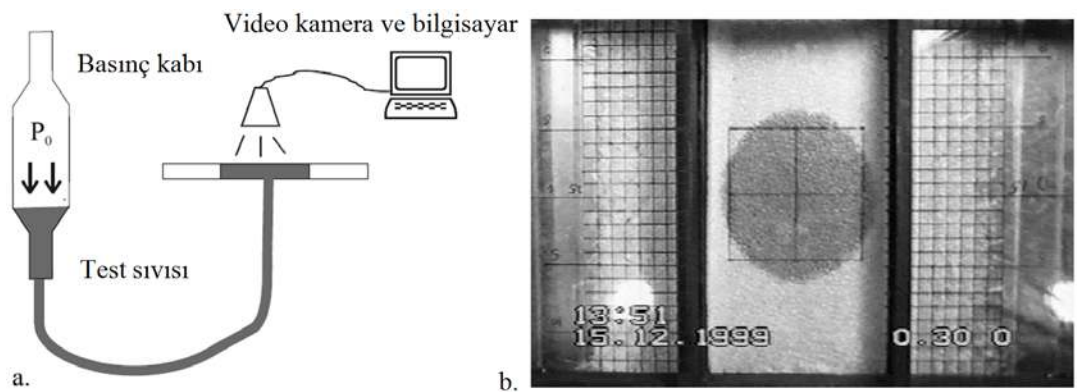
İplik ve kumaş içinde sıvı akışını nicel olarak analiz etmek için doğrudan gözlemlemek, kamera ve görüntü analizi yöntemlerinin kullanılması, sıvıya duyarlı sensörlerin kullanımı ve kuvvet denge durumunun kullanıldığı farklı yöntemler vardır. Tekstil yapısının sıvı emme davranışı sıvı ilerleme yüksekliğini ölçerek veya zamanın bir fonksiyonu olarak emilen su ağırlığını ölçerek belirlenir. Bu iki değerlendirme yöntemi tekstilin kullanım alanına göre öneme sahiptir. Emme prosesi aynı zamanda gözeneklilik, gözeneklerin boyutu ve boyut dağılımı hakkında bilgi almak için de kullanılmaktadır. Birçok emme çalışmasında tekstil yapısı basit kapiller kanallar olarak düşünülmüştür, ancak tekstil yapıları yarıçapı ve uzunluğu değişen ve birbirleriyle kompleks olarak bağlanan farklı kapiller kanallardan oluşurlar. Kumaş bir sıvıya batırıldığında, sıvı önce dikey ipliklerin içinden emilmeye başlar. Hareket eden sıvı enine ipliklerle karşılaştığında dikey iplikler içindeki sıvının bir kısmı enine ipliklere transfer olur. Sıvının transfer miktarı kapillerin ve gözeneklerin yapısına, iki ipliğin fiziksel ve kimyasal parametrelerine ve katı-sıvı temasının durumuna bağlı olarak belirlenir. Mhetre ve Parachuru (2010) iplik numarası, iplik yerleşimi ve iplik tipi açısından farklılıklara sahip bir grup pamuk ve poliester kumaş için dikey emme deneyleri gerçekleştirerek sıvının yükselişini zamanın bir fonksiyonu olarak ölçmüş ve görüntü analizi yöntemiyle de

kumaşın yapısal özelliklerinin emme davranışına ve migrasyon olayına etkisini incelemişlerdir. Geçmiş çalışmalarda dikkate alınmamış olan sıvının migrasyon olayı, emme katsayısındaki kazanç ve denge halindeki emme yüksekliği zamana bağlı ölçülerek araştırılmıştır. Deneysel çalışmada yerçekimi ve buharlaşma etkilerini minimuma indirmek için kısa kumaş örnekleri kullanılmış ve pigment boyar maddeye daldırılan kumaş şeritlerinde akışın ilerleyişi video kamera kullanılarak kaydedilmiştir. Her kumaş için atkı ve çözgü yönünde deneyler yapılmıştır. Kaydedilen videolar video-düzenleme yazılımı kullanarak fotoğraf karesine çevrilmiş (her saniye için bir görüntü) ve her bir görüntü gri skala görüntüye çevrildikten sonra Matlab programında yazılan kod ile emme yüksekliği 60 saniyelik bir zaman periyodunda zamanın fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Deneylerde ayrıca kumaş içinden çıkarılan iplikler için de emme testleri gerçekleştirilmiştir. Kumaş içinden çıkartılan ipliğin kıvrımını açmak için 10 gramlık bir yük kullanılmış ve 10 kumaş 10 iplik ölçümü gerçekleştirilerek ortalama ve standart sapma sonuçları belirlenmiştir. Kumaşların deney sonuçlarına göre hammadde, iplik kalınlığı, iplik bükümü gibi farklı parametrelerin akışın ilerleme şeklinde etkili olduğu gözlenmiştir. Örneğin; kalın iplikler daha düşük büküm değerlerine sahip olduklarından yüksek emme miktarı göstermişlerdir, düşük büküm değerleri ipliğin daha açık bir yapıya sahip olmasını sağladığından etkin kapiller yarıçapı da daha fazladır. En yüksek emme katsayısı bükümsüz PET atkı filamentinde gözlenmiştir; haşılanmış PET kumaşlarda ise birçok kapiller haşıl maddesi ile dolduğundan çözgü iplikleri en düşük emme katsayısı ve denge emme yüksekliği göstermişlerdir. Birçok kumaş tek iplik sonuçlarından daha yüksek emme miktarı göstermiştir. Emme oranları yüksek olan ipliklerden oluşan kumaşların emme oranları yüksektir, ayrıca kumaş içindeki iplikler arası boşlukların kumaş emme davranışında büyük etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Tüm bu parametrelerin belirlediği sıvının ilerleme şekilleri Şekil 1.27’de gösterilen üç gruba ayrılmıştır.



Şekil 1.27 Farklı kumaş örneklerinde emme testi sonucu oluşan sıvı hareket şekilleri, Mhetre ve Parachuru (2010)

Tekstil yapısı kadar tekstilin içinden geçen maddenin özellikleri de geçirgenlik sonuçları açısından önemlidir. Luo ve ark. (2001) çalışmalarında farklı test sıvılarının geçirgenlik üzerine etkilerini radyal akış denemeleri yaparak incelemiştir (Şekil 1.28). Yüzey gerilimlerinin farkından dolayı iki test sıvısı lif ıslatmaları açısından farklı davranışlar göstermesine rağmen, geçirgenlik ölçümünde oluşturdukları farkın dokuma ve örme kumaşların deneysel sonuçları karşılaştırıldığında önemli olmadığı bulunmuştur. Bunun nedeninin deneylerde karşılaşılan düşük kapiller basınç olduğu düşünülmüştür. Deneylerde düşük lif yoğunluğuna sahip kumaşlarda iki sıvının geçirgenliği arasında fark yokken, yüksek lif oranına sahip kumaşlarda yüzey gerilimi daha az olan sıvının geçirgenliği biraz daha fazla çıkmıştır.



Şekil 1.28 a. Geçirgenlik ölçeri sistemi, b. Örnek üzerinde akışın ilerlemesi (Luo ve ark., 2001)

Kumaşların düzlemsel geçirgenlik değerlerini belirlemek için radyal akış deneyleri araştırmalarda çokça kullanılmaktadır. Yöntem belli bir enjeksiyon basıncı

için akış şekli elipsinin temel eksenlerinin zamanın bir fonksiyonu olarak ölçümüne dayanmaktadır. Endruweit ve Ermanni (2004) çalışmalarında farklı cam lifli dokuma kumaşların geçirgenlik temel eksenlerinin oryantasyonunu lif açısının fonksiyonu olarak deneysel çalışma ile belirlemişlerdir. Deneysel çalışmada deforme olmuş kumaşlarda sıvı enjeksiyonu ile iki boyutlu radyal akış denemeleri gerçekleştirilmiş, akışın düzlemde oluşturduğu elipsin eksenleri zamanın fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Deneyler farklı örgü yapılarında, gramajlarda, farklı kat sayılarında ve gözeneklilikte dokuma yapılara uygulanmış ve akışın ilerleme şeklinin ipliklerin boyutlarına önemli ölçüde bağlı olduğu belirtilmiştir. Lif demetleri ne kadar kalınsa, akış şeklinin eksenleri arasındaki fark büyümekte ve kumaşta da fark büyük olmaktadır. Örneğin saten dokuma kumaş için, akış ilerleme şekli genel olarak eliptik şekle çok uygundur çünkü deneylerde kullanılan kumaş ince ipliklerden oluşmuştur ve bu bağış olarak homojen gözeneklilik ve geçirgenlik dağılımı vermektedir. Diğer taraftan ağır gramajda olan dimi kumaş kalın ipliklerden oluşmaktadır, dolayısıyla fazla homojen olmayan gözeneklilik ve geçirgenlik dağılımı göstermektedir, bu nedenle de gerçek akış şekli elipsten sapma göstermiştir. Bir diğer çalışmalarında Endruweit ve ark. (2006) cam ve karbon liflerinden yapılmış farklı dokuma yapılarına sahip beş kumaşın geometrik parametrelerinin ölçülen geçirgenlik değişimlerine etkisini araştırmışlardır. Kumaşlar geometrik olarak yüzeysel yoğunluk, lif topluluğunun ortalama düzlemsel kalınlığı, lif topluluğunun açıklığı, lif toplulukları arasındaki açının standart sapması ile karakterize edilir. Bezayağı dokuma kumaşın iplik çapı, iplik açıklığı değerleri dijital görüntü üzerinden analiz edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda penetrasyon akışı sırasında tüm akış şekillerinin yaklaşık eliptik olduğu gözlemlenmiştir. Deneylerde kullanılan kumaşların farklı geometrik yapıları ve yoğunlukları geçirgenlik özelliklerinde farklılıklar yaratmaktadır. Kumaşta lif-boşluk dağılımı ne kadar homojen olursa daha düşük lokal geçirgenlik değişimi olur ve elipse daha çok benzer bir akış şekli oluşur. Lif toplulukları arasında büyük boşluklar bulunan dokuma kumaşlar için yerleşme etkisi geçirgenlik değişimini önemli ölçüde etkilemiştir. Katman sayısı hem homojenliği hem de geçirgenliği azaltarak geçirgenliği etkilemiştir. Bu yüzden örneğin giysi sistemlerini veya çok katlı yapıları düşünürken geçirgenlik özelliğinin

katların yapısından ve yerleşiminden etkileneceğini göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

Kumaşın yüzey görüntülerinin kullanılarak görüntü analizi yöntemi ile kumaşın yapısal özelliklerinin belirlenmesi son yıllarda öne çıkan bir yöntemdir. Bu yöntemle karmaşık olan üç boyutlu kumaş yapısı kumaşın iki boyutlu görüntüleri üzerinden incelenerek kumaşın yapısal özellikleri hakkında bilgi edinilir. Bu yöntem dokuma, örme kumaşlarda iplikler arası gözenekliliğin tahminlenmesi ve gözeneklilik, geçirgenlik ve yapısal özelliklerin birbirleriyle ilişkilerinin saptanması amacıyla farklı araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Görüntü analizi ile gözeneklilik verisinin elde edilmesinin avantajı kumaşın 2-D yapısı hakkında karmaşık işlemlere girmeden basit ve hızlı bir şekilde bilgi edinme olanağı sağlamasıdır. Yöntem, aynı zamanda nonwoven kumaşlarda gözeneklilik, gözenek çapı, gözenek boyut dağılımı gibi özellikleri tanımlamak için de kullanılmıştır.

Militky, Travnickova, ve Bajzik (1999) gözeneklilik tahmini için kumaşın ışık geçirgenliği ile hava geçirgenliği arasındaki ilişkiyi incelemiş, ayrıca elde edilen sonuçları yapı parametreleri ve idealleştirilmiş kumaş geometrisi hesaplamalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Çalışmada yün ve yün-poliester, yün-poliamid, yün-viskoz karışımlarından oluşan 40 farklı dokuma kumaşın gözenekliliği ışık geçirgenliği, hava geçirgenliği ve hacimsel gözeneklilik (PHW), yoğunluk gözenekliliği (PWR), örtme faktörüne bağlı gözeneklilik (PGW) olmak üzere üç hesaplamadan elde edilen sonuçlar arasındaki ilişki regresyona analizi ile incelenmiştir. Kumaşın ışık geçirgenliği bir görüntü analizi yazılımı olan LUCIA sistemiyle ölçülmüştür. Regresyon analizi sonuçları incelendiğinde en yakın ilişkinin hava geçirgenliği ile ışık geçirgenliği arasında olduğu gözlemlenmiş, görüntü analizi yönteminin hava geçirgenliğinin yaklaşık tahmini için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Gözenek boyut dağılımı (PSD) dokusuz yüzey endüstrisinde yapısal özelliklerin fonksiyonel özelliklere etkisini göstermek için çok kullanılmaktadır. Örneğin jeotekstillerin filtrasyon performansı PSD özelliği ile kontrol edilmektedir. Dokusuz yüzey jeotekstillerde PSD belirlemek için görüntü analizi yöntemi çokça

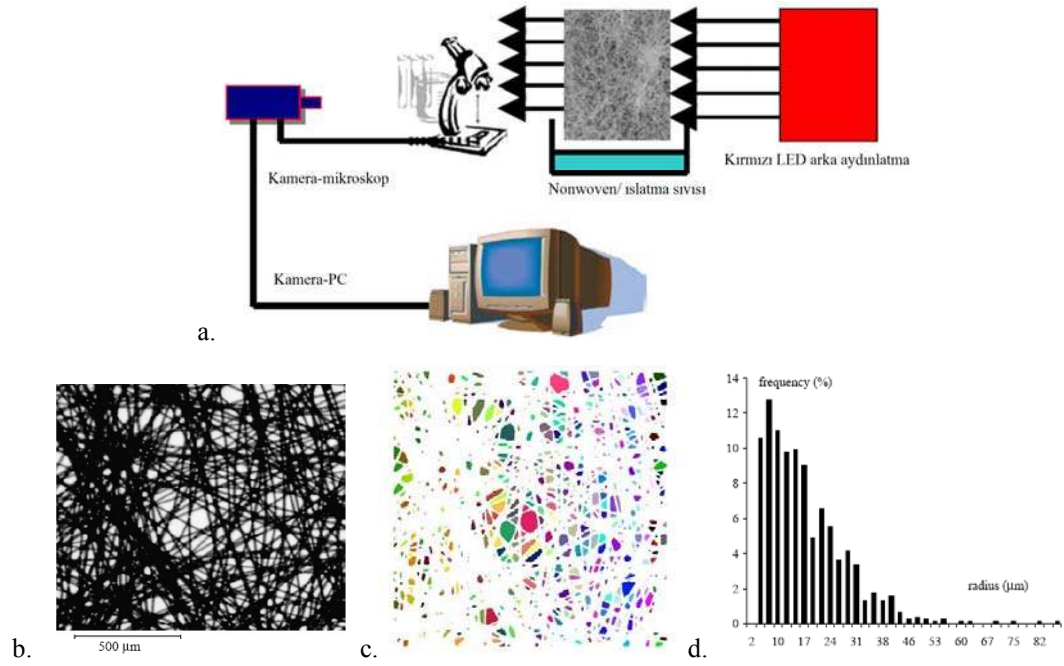
kullanılmaktadır. Var olan birçok görüntü analizi yöntemi jeotekstillerin düzlemsel görüntüsünü kullanan iki boyutlu (2-D) bir yaklaşıma dayanmakta ve farklı gözenek boyutları elle sayılmaktadır. Bu yaklaşımla bulunan PSD eğrisi düz bir yüzeyden elde edilmekte ve jeotekstilin kalınlığı boyunca olan gözenek açıklık boyutlarının değişimini içermemektedir. Aydılek, Oguz, ve Erdil (2002) çalışmalarında kumaşın kalınlığı yönündeki gözenek açıklıklarının da belirlenmesi amacıyla görüntüye dayalı yeni bir PSD tanımlama yöntemi geliştirilmişlerdir. Bu yöntemde jeotekstilin üç boyutlu (3-D) yapısını incelemek için düzlemsel ve enine kesit görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada filtrasyon uygulamalarında kullanılan 20 farklı dokusuz yüzey jeotekstil için epoxy reçine içinde örnekler hazırlanmış, örneklerin düzlemsel ve enine kesit görüntüleri optik ışık mikroskobu ile alınmış ve en uygun eşik değerleri belirlenerek görüntüler işlenmiştir. Çalışmada görüntü analizi ile belirlenmiş gözenek boyutları üreticinin verdiği sonuçlar, laboratuvar testleri ve analitik eşitliklerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve enine kesit görüntülerinin 3-D gözenek yapısını tanımlamak için gerekli ve yeterli bilgiyi sağlayabileceği, bu nedenle enine kesit görüntülerinin jeotekstilin gözenek yapısını temsil edeceği sonucuna varılmıştır.

Ramaswamy ve ark. (2004) lifli yapıların gözenekliliğini belirlemek için X-ray mikro işlemcili tomografi (X- μ CT) yöntemini kullanarak elde edilen dijital verilerden kumaşın üç boyutlu geometrisini tanımlamışlardır. Görüntü analizi teknikleriyle elde edilen görüntüler gri skala değerleriyle elde edilmiştir. Çalışmanın amacı buradan elde edilen gözeneklilik ile ilgili bilgilerle materyallerin geçirgenlik özelliklerinin en doğru şekilde tahminlenmesini sağlamaktır. Yapısal parametreler klasik civa ölçüm yöntemi ve optik mikroskobik ölçüm yöntemiyle elde edilen sonuçlarla uyum göstermiştir.

Çay ve ark. (2004) farklı sıklıklarda bir grup pamuk bezayağı dokuma kumaşın gözenekliliğini tahmin etmek amacıyla görüntü analizi tekniğini kullanmışlardır. Kumaşların görüntüleri sabit bir ışık altında mikroskop ile alınmış, işlenen görüntülerde parlaklık derecesi hesaplanarak gözeneklilik için tahmini bir değer elde

edilmiştir. Seyrek kumaşların ışık geçirgenliği daha büyük gözenek boyutlarından dolayı daha sıkı olanlardan daha yüksek çıkmıştır. Birim alanda iplik bağlantı noktalarının azlığından dolayı daha çok deforme olan seyrek kumaşların gözenek dağılımının daha büyük değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Daha stabil yapıda olan sık kumaşlarda ise gözenek boyut dağılımı kumaş tipleri arasında önemli derecede değişmemektedir. Buna göre sık kumaşların gözeneklilik indeksi için görüntü analizi yönteminin daha gerçekçi sonuçlar vereceği belirtilmiştir. Çalışmada kumaşın sıklık indeksi ve parlaklık yüzdesi arasında ilişki olduğu, birim alandaki toplam çözgü ve atkı sayısı arttıkça hava geçirgenliğinin azaldığı gözlenmiştir. Sık kumaşlar için hava akışına direnç daha fazla bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre kumaşın hava geçirgenliği ve parlaklığı arasında lineer bir ilişki bulunmuştur.

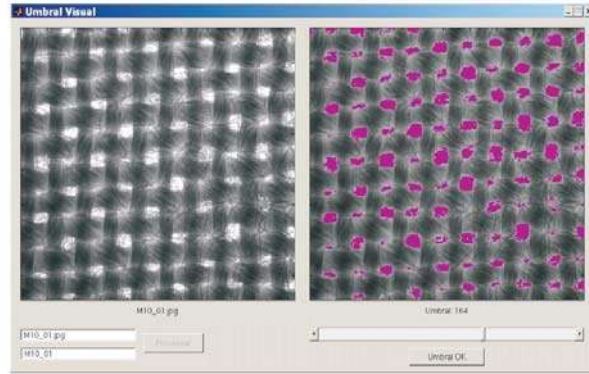
Gözenek boyut dağılımı (PSD) verisi teorik uygulamalar ve özel uygulamalarda dokusuz yüzeylerin hidrodinamik özelliklerini incelemek ve beklenen fonksiyonel özelliklerini elde etmek için kullanılmaktadır. Dimassi, Koehl, Zeng, ve Peruwelz (2008) çalışmalarında sıvı transferini dokusuz yüzey kumaşların gözenek geometrisi ve şekillerini ihmal etmeden incelemek için dokusuz yüzey kumaşların hidrolik özelliklerinin tahmin edilmesine yardımcı olacak online bir takip sistemi tasarlamışlardır (Şekil 1.29, a). Kullanılan test sistemi mikroskop, saniyede 24 görüntü olan dijital bir kamera ve üniform bir ışıklandırma sisteminden oluşmuştur. Dokusuz yüzeyin hidrodinamik özelliklerini gözlemlemek için kumaşın sıvıyı alma süresince kayıt yapılmıştır. Aynı zamanda görüntü analizi tekniği ile PSD ve gözenek geometrisi dağılımını belirlemek için örneğin gri seviyedeki görüntüsü Otsu yöntemi ile siyah beyaz görüntüye çevrilmiş ve daha sonra görüntüde farklı boyutlardaki gözenekler etiketlenerek eşdeğer yarıçapla ilgili geniş bir aralıkta gözenek dağılımı grafiği elde edilmiştir (Şekil 1.29). Çalışma dokusuz yüzeyin gözenek yapısını modellemeyi, hidrolik parametreleri elde etmeyi ve dokusuz yüzeyde sıvı transferini modellemeyi sağlamıştır.



Şekil 1.29 a. Görüntüleme sistemi, b. Binary görüntü, c. Etiketlenmiş gözenekler, d. Gözenek dağılım grafiği (Dimassi ve ark., 2008)

İplikler tarafından örtülen alanın toplam alana oranı şeklinde tanımlanan örtme faktörü (CF), kumaşın kullanım performansını etkileyen önemli yapı parametrelerinden biridir. Tàpias, Ralló, Escofet, Algaba, ve Riva (2010) çalışmalarında görüntü işleme yöntemi kullanarak kumaşın örtme faktörünü objektif bir ölçümle otomatik olarak elde etmeyi amaçlamışlardır. Deneysel çalışmada iplik numarası, sıklığı ve lif tipi bilinen 81 adet bezayağı dokuma kumaş kullanılmıştır. Görüntü analizi yönteminde öncelikle orijinal görüntüler mümkün olan en büyük boyutta olmak üzere tam sayıda atkı ve çözgü ipliği içerecek şekilde kesilmiş (crop), daha sonra siyah beyaz görüntüye çevrilerek CF değeri belirlenmiştir. Siyah beyaz görüntüye çevirirken life yakın bölgelerin yanlış sınıflandırılmasını engellemek için Otsu's yönteminde hafif bir modifikasyon uygulanmıştır. Görüntü analizi ile elde edilen CF değerleri bir grup gözlemcinin bilgisayarda etkileşimli olarak karar verdiği interaktif görsel yöntem (Şekil 1.30) sonuçları ile karşılaştırıldığında aralarındaki ilişki önemli bulunmuştur (%94,71). CF ile kumaş özellikleri arasındaki ilişki ANOVA ile incelenmiş; iplik numarası artınca CF'nin arttığı, lif tipinin CF değerini etkilediği, atkı sıklığı değişiminin CF değerinde önemli değişim yaratmadığı belirlenmiştir. Bir başka çalışmalarında Tàpias ve ark. (2011) dokuma kumaşlarda

atkı ve çözgü ipliklerinin ortalama iplik çaplarını görüntü analizi yöntemi ile atkı ve çözgü ipliklerinin örtme faktörleri ve tekrarlarını belirleyerek hesaplamış ve sonuçları doğrudan ölçülen iplik çap değerleri ile karşılaştırmışlardır. Örtme faktörlerinin hesaplanması için kullanılan son siyah beyaz görüntüde kumaş içindeki tüylülüğü gidermek için kapama (closing) fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil 1.30 Kullanıcı etkileşimli sistem (Tâpias ve ark. ,2010)

Farklı iplik üretim sistemleri ile üretilmiş ipliklerin kumaşın geçirgenlik davranışına etkileri Kullman, Graham, ve Ruppenicker (1981) tarafından incelenmiştir. Çalışmada, aynı çözgü ipliklerine fakat farklı atkı ipliklerine sahip bezayağı ve saten dokuma kumaşlar üreterek iplik yapısı, iplik bükümü, iplik kıvrım oranı ve filamentlerin paketleme oranı gibi faktörlerin ham ve yıkanmış kumaşların hava geçirgenliklerine etkilerini incelemiştir. Atkı iplikleri ring eğirme, open-end eğirme, bükümlü kompozit iplik (twisted-core wrapped yarn), kaplamalı iplik (coverspun), bükümsüz iplik olmak üzere altı farklı sistemde üretilmiştir. Farklı üretim sistemleri ile üretilen ipliklerin yapısal özelliklerinin birbirinden farklı olduğu bilinmektedir. Çalışmada kumaşların hava geçirgenliklerinin iplik tipine göre farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir. Bükümsüz iplik ile üretilmiş kumaş en düşük hava geçirgenliğini; bükümlü kompozit iplik ile üretilmiş kumaş ise en yüksek hava geçirgenliğini göstermiştir. Bu durumun iplik yapısının yoğunluğundan kaynaklandığı, bükümsüz iplik kumaşta daha çok yayılırken, bükümlü kompozit ipliğin daha rijit bir yapı göstererek iplikler arası gözenekliliği arttırdığı sonucu çıkarılmıştır. Çalışma sonucunda hava geçirgenliğinin iplik özellikleri yanında

kumaş yapısından da etkilendiği bulunmuştur. Saten kumaşlarda iplikler hava basıncıyla bezayağı kumaşlara göre daha çok uzayabildiği, bu nedenle saten örgü tipinin iplik yapısına bezayağından daha çok duyarlılık gösterdiği ve sonuç olarak da örgü tipinin kumaşın hava geçirgenliği üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir.

Yıkama gibi işlemlerin kumaşın yapısal ve geçirgenlik özelliklerini özellikle belli bir tekrar sonrasında değiştirebileceği düşünülmektedir. Harper ve Ruppenicker (1987) yıkamanın kumaşının hava geçirgenliğine etkisini incelemek amacıyla bir grup kumaşı test etmiştir. Pamuk-PES karışımı iplikle üretilmiş ve atkıda pamuk-PES özlü iplik, çözgüde PES filament ile üretilmiş ve %100 pamuklu üç farklı dokuma kumaş farklı yıkama prosesleri ile 4, 25 ve 50 kez yıkandıktan sonra her gruba hava geçirgenliği testi uygulanmış ve özellikle 50 yıkama sonrası karışım kumaşların hava geçirgenliğinin arttığı gözlenmiştir. Bu kumaşlar arasında en düşük hava geçirgenliğine sahip olan ve örtme faktörü en çok olan kumaş özlü iplik ile üretilmiş kumaş olarak bulunmuştur.

Okur (1993) çalışmasında örgü tipi, iplik numarası ve atkı sıklığındaki değişimlerin kumaş hava geçirgenliğinde istatistiksel açıdan önemli farklılıklar yarattığını belirtmiştir. Sıklık ve iplik numarası verilerini aynı anda içeren örtme faktörü belirlenerek kumaşın metre kare ağırlığı, kalınlığı, örgü tipinin yanında örtme faktörünün de hava geçirgenliğine etkisi istatistiksel analizde göz önünde bulundurulmuştur. Bağımlı değişken olan hava geçirgenliği ile bağımsız değişkenler olan kumaşın yapısal parametreleri arasındaki ilişki stepwise yöntemi kullanılarak elde edilen regresyon denklemiyle tanımlanmıştır. Elde edilen regresyon denkleminde hava geçirgenliğindeki değişimin %88'i kumaşın metre kare ağırlığı, örgü tipini belirleyen atlama uzunluğu ve örtme faktöründeki değişimle açıklanmıştır.

Örme kumaşların geçirgenlik özellikleri de dokuma kumaşlar gibi lif, iplik ve kumaş parametreleriyle belirlenen karmaşık bir mekanizmadır. Karagüzel (2004) örme kumaşta iplikler arası gözenek boyutu ve hacmini çubuk ve sıra sayısı, iplik boyutu, ilmek yoğunluğu, kalınlık gibi kumaş parametrelerinden tahminlemek için

ilmeğin birim hücre geometrisine dayanan bir model geliştirmiştir. Model geliştirilirken ilmeklerin eliptik enine kesite sahip, sabit çaplı, deformasyonların ihmal edildiği ideal ipliklerden oluştuğu kabul edilmiş, iplik içi gözenekler ihmal edilmiştir. Gözenek çapı, ilmek parametreleri ve kumaşın toplam hacmi arasındaki ilişkiden hesaplanmıştır. Çalışmada aynı iplik numarasına sahip farklı sıra sayılarında yapılmış sekiz örme kumaşın gözenekliliği ve gözeneklerin hava geçirgenliği ve emme davranışlarına etkileri incelenmiştir. Gözenek hacmi, boyutu ve dağılımı gözeneklilik modeli, görüntü analizi yöntemi ve kapiller akış teorisine göre çalışan sıvı çıkarma sistemi (Capillary Flow Porometer) kullanarak belirlenmiştir. Çalışmada sıra sayısı ve yıkamanın ilmek yoğunluğu, ilmek iplik uzunluğu, kumaş kalınlığı ve gözenek boyutundaki etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yıkama ile gözenekler küçülmekte, hava geçirgenliği ve termal direnç azalmakta ve kumaş sertleşmektedir. Gözenek boyutu sıra yoğunluğu arttıkça ve yıkamayla ilmek yoğunluğu arttıkça azalmaktadır. Yıkanmış kumaşların emme davranışı incelendiğinde; sıra yoğunluğunun artmasıyla gözenek azalmakta ve emme miktarı azalmaktadır. Sonuçlar gözenek boyutu ve yıkama işleminin emme özelliği, termal yalıtım ve duyuşal özellikler gibi konforla ilgili parametreleri etkilediğini göstermektedir (Karagüzel, 2004, Kılınç ve ark. ,2005).

Mavruz ve Ogulata (2009) çalışmalarında % 100 pamuklu düz örme, ribana ve interlok örme kumaşların hava geçirgenliği değerleri ve bu değerlere etki ettiği düşünülen faktörlerin tespit edilmesiyle, hava geçirgenliği değerlerinin bilinen fiziksel özelliklerden tahmin edilmesini sağlayacak eşitlikler elde etmişlerdir. Deneylerde kullanılan kumaşlar üç farklı iplik numarası (Ne30, Ne40 ve Ne50), üç farklı örgü ve üç farklı sıklık kombinasyonundan üretilmiş 27 adet örme kumaştır. Çalışmada gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonucunda iplik numarası ve ilmek iplik uzunluğu değerlerinin artmasıyla hava geçirgenliği değeri artarken, kumaş kalınlığı ve ilmek sıklığı değerlerinin artmasıyla hava geçirgenliği değerinin azaldığı gözlenmiştir. Örgü yapıları arasındaki fark incelendiğinde daha ince yapıdaki düz örme kumaşların en yüksek hava geçirgenliği değerlerine sahip olduğu, bunu daha kalın olan ribana ve interlok kumaşların izlediği bulunmuştur. İplik kalınlığı, ilmek iplik uzunluğu, kumaş kalınlığı ve sıklık parametreleri gözenek yapısını

belirlediğinden bu özelliklerin değişimi hava geçişini etkilemektedir. Mavruz ve Ogulata (2010) bir diğer çalışmalarında düz örme kumaşların kuru ve yaş relaksasyon sonrası kumaş parametrelerini (ilmek yoğunluğu, birim uzunluktaki sıra ve çubuk sayısı, sertlik faktörü) belirleyerek bunların hava geçirgenliği sonuçları ile ilişkilerini istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Yaş relaksasyondan sonra kumaşların sıklığının, ağırlığının ve kalınlığının arttığı fakat hava geçirgenliğinin azaldığı gözlenmiştir. Yaş relaksasyon sırasında kumaş mekanik ve ısı enerjisi yardımı ile minimum enerji seviyesine ulaşmakta ve tüm bu faktörler kumaşın kalınlığının, ağırlığının, cm'deki sıra ve çubuk sayısının artmasına neden olmaktadır. Relaksasyon sonucunda kumaş kalınlığında ve ağırlığındaki artış havanın geçeceği gözeneklerde azalmaya neden olduğundan geçirgenlik azalmaktadır. Genel olarak yıkanmış kumaş parametreleri ile olan korelasyonlar daha yüksek gözlenmiş, en yüksek korelasyon ise kumaş kalınlığı ve hava geçirgenliği arasında bulunmuştur. Ogulata ve Mezarcioz (2011) ayrıca hava geçirgenliğini etkileyen iplik ve kumaş özelliklerini optimize etmek amacıyla Taguchi deney tasarımı yöntemine göre belirlenmiş dokuz kumaşı üretmiş ve test etmişlerdir. Sonuç olarak ANOVA varyans analizi yöntemi de kullanılarak en yüksek hava geçirgenliğini sağlayan kumaş konfigürasyonu belirlenmiştir.

Yatagai (1994) rayon ve poliester kumaşların kirlenme sonrası davranışlarını incelemiş, ayrıca sonuçları karşılaştırmak amacıyla rejenere selüloz ve PES filmler kullanmıştır. Kumaş yapıları genel olarak kumaşın sıvı almasında önemli bir rol oynamasına rağmen, çalışmada kumaş ve film yüzeylerin geometrik yapıları dikkate alınmamış, kumaşların su emiciliği ile yüzey ıslanabilirliği arasındaki ilişki düz yüzey üzerinden belirlenmiştir. Çalışmada kumaşa veya filme bağlanan kir, yağ yada yüzey aktif maddelerin kumaşın yüzey geriliminde farklılıklara sebep olacağından tekstil yapısının su emme özelliklerini ve ıslanabilirliğini etkileyeceği bulunmuştur.

Hava yastığı kumaşları tasarlarken hava geçirgenliğinin kontrolü çok önemlidir. Partridge ve Mukhopadhyay (1998) otomobil hava yastığı kumaşlarından havayı yüksek basınçta geçiren yeni bir dinamik hava geçirgenliği test cihazı tasarlayarak kumaşların hava geçirgenliği davranışını araştırmayı amaçlamışlardır. Dinamik hava

geçirgenliği test cihazının amacı, 100 kPa'lık yüksek basınçta hava yastığı şişmesini simüle etmek ve kumaş hava geçirgenliği için gerçekçi bir ölçüm sağlamaktır. Geliştirilen cihaz test periyodu süresinde kumaşın içinden geçen ani havanın davranışını yüksek ve düşük sıcaklıklarda kaydetmekte ve hava hızındaki değişimi zamanın fonksiyonu olarak bilgisayarda çizmektedir. Değişik kumaşlar la gerçekleştirilen testler sonucunda kumaş örtme faktörü ve hava geçirgenliği arasındaki ilişkinin hem dinamik hem statik makinalarda benzer olduğu bulunmuştur. Yüksek ve düşük basınçlarda geçirgenlik sonuçları arasındaki ilişkiler incelendiğinde hava basıncı ve kumaş hava geçirgenliği arasında lineer olmayan bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Yüksek örtme faktörüne sahip kumaşta sık yapı ve küçük gözenek boyutu havanın geçişini engellemektedir. Liflerin ıslanmasının hava geçirgenliğine etkisinin uygulanan basınç farklılıklarında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Belkacemi ve Broadbent (1999) farklı lif tipine sahip nonwoven ve dokuma kumaşların içinden geçen hava akışını farklı basınç değişimlerinde kuru ve yaş örnekler için incelediklerinde küçük basınç farklılığında (örn. 12.5 Pa) kumaş kanalları içindeki düşük hava hızının sıvı damlacıklarını lif yüzeyinden ve içinden uzaklaştırmak için yetersiz olduğunu, bu nedenle bu basınç farklılığında gözenek hacmi ve hava geçirgenliğinin azaldığını gözlemişlerdir. Yüksek basınç farklılığında (55 kPa) sadece yün kumaşlar için azalan akış miktarı bulunmuştur. Diğer kumaşlar için ise 55 kPa'da hava hızı artarak lif yüzeyinde su damlacıkları oluşturmuş, bu nedenle küçük basınç farklılığının uygulandığı standart geçirgenlik testiyle karşılaştırıldığında yüksek basınç farklılığında kumaşın ıslanmasının hava akış miktarında çok önemli olmadığı sonucu çıkarılmıştır.

Pamuk, yün, ipek, naylon gibi hidroskopik liflerin yüksek nemde şişmesi kumaş yapısında değişiklikler oluşturur ve bu durum ölçülen hava geçirgenliğini önemli ölçüde etkiler. Gibson, Rivin, Kendrick, ve Schreuder-Gibson (1999) kimyasal koruyucu giysi sisteminde kullanılan tekstil materyalinin neme bağlı hava geçirgenliğini etkileyen yapısal faktörlerin anlaşılmasını sağlamak için gaz akış özelliklerini Darcy akış direnci ile belirleyen dinamik bir cihaz geliştirmişlerdir. Lifli materyallerin akış özellikleri ile ilgilenen birçok çalışmada durgun hal özellikleri ile

ilgilenilmiştir. Bu çalışmada çevresel koşulların ve giysi ile deri arasındaki mikroklimanın sürekli değiştiği koruyucu giysiler gibi uygulamalarda tekstil katmanının dinamik davranışının önemli olduğu vurgulanmış; dokuma, nonwoven ve elektrospun yapılar olmak üzere farklı kumaş tipleri test edilerek gözenek geometrisi ve lif boyutu, şekli, dağılımı gibi yapısal özelliklerin gaz akışıyla ilişkisi incelenmiştir. Pamuk ve yün kumaşlar lif şişmesinden dolayı geçirgenlikte büyük oranda değişim gösterirler. Çalışmanın deneysel kısmında sık kumaşlarda iplikler arası az boşluk olduğundan liflerin şişmesinin iplik içindeki gözenekliliği çok etkilediği, daha az sık kumaşlarda iplikler arası boşluklar daha büyük olduğundan gaz akışına daha az direnç olduğu çünkü lifin şişmesinden daha az etkilendiği belirtilmiştir. Alışılmıştan farklı olarak naylon kumaşlarda yüksek nemde akış direnci azalmıştır. Bunun nedeni naylon liflerin diğer pek çok lifin yaptığı gibi radyal doğrultudan daha çok eksenel şişmesi, bu sebeple kumaş gözeneklerinin kapanmak yerine açılması olarak yorumlanmıştır. Pamuklu kumaş lif yapısı değiştiğinde ve su buharı emiliminden dolayı kumaş ısısı yükseldiğinde durmadan artan basınç düşüşü göstermektedir. Naylon kumaş daha az ısınmakta ve daha az basınç düşüşü göstermektedir. Yüksek yüzey alanlarından dolayı elektrospun materyaller kimyasal koruyucu giysilerde emme kinetiğini arttırdıklarından dokuma kumaşların kompleks yapılarından kaynaklanan zorluğun izotropik nonwoven kumaşlar kullanılarak elimine edilebileceği düşünülmüştür.

Olšauskienė ve Milašius (2003a) iplik enine kesit şeklini lens formunda kabul ederek kumaş gözenekliliğinin hava geçirgenliğine etkisini incelemişlerdir. Deneylerde multifilament PES ipliklerden dokunan farklı atkı ve çözgü sıklıklarında bezayağı kumaşlar üretildikleri iplik tiplerine göre üç gruba ayrılmıştır. Bu üç grup kumaşın hava geçirgenliği ve bağıl gözenek alanı arasındaki ilişki ayrı ayrı ve birlikte incelendiğinde tüm PES kumaşların hava geçirgenliği ile ilişkisinin benzer olduğu gözlenmiştir. Her üç grupta benzer lineer yoğunluğa (iplik numarasına) sahip ipliklerde iplik yapısı yani bükümlü olup olmaması yada katlı olup olmaması bir fark yaratmamaktadır, hava geçirgenliği ve bağıl gözenek alanı ilişkisi benzerdir. Bağıl gözenek alanı arttıkça hava geçirgenliği artmaktadır ve aralarındaki ilişki ikinci dereceden bir denklemle açıklanmıştır. Hava geçirgenliğinin aynı zamanda sertlik

faktörü olarak tanımlanan örtme faktörüne de bağlı olduğu belirtilmiştir. Her üç grup kumaş için hava geçirgenliği ve sertlik faktörü arasındaki ilişki incelendiğinde yüksek sertlik faktörüne sahip kumaşta daha düşük hava geçişi olduğu gözlenmiştir. Aradaki ilişki ikinci derece denklemle verilebilir ancak korelasyonları farklılık göstermiştir. Yani her PES kumaş için hava geçirgenliği kumaş sertlik faktörü bağlantısını eşit şekilde sağlayamamaktadır ve bu durum iplik yapısındaki farklılıklarla açıklanmıştır. Olšauskienė ve Milašius (2003b) çalışmalarında kumaşların hava geçirgenliğini değerlendirirken kumaş yapısal özelliklerini tek bir bütünleştirilmiş faktörle analiz etmek amacıyla bütünleştirilmiş sertlik faktörünü kullanmışlardır. Bu faktör örgü faktörü, iplik yoğunluğu, sıklık, lif yoğunluğu parametrelerine bağlı olarak türetilmiştir. Çalışmanın amacı bütünleştirilmiş sertlik faktörü ile hava geçirgenliği tasarımı olanaklarını araştırmak ve farklı sertlik faktörlerini hava geçirgenliği açısından karşılaştırmaktır. Bu amaçla öncelikle 8 farklı örgü tipi kullanılarak sıklık ve hava geçirgenliği arasındaki ilişki incelenmiştir. Atkı sıklığı arttıkça hava geçirgenliğinin azaldığı gözlenmiştir. Deneyler sonucunda hava geçirgenliği atkı sıklığı ve örgü faktörüne bağlı olmasına rağmen her örgü için sabit sertlik faktörüne göre atkı sıklığı hesaplandığında, farklı örgü tipleri için aynı hava geçirgenliğini sağlamanın mümkün olduğu belirlenmiştir. Bu durumda sertlik faktörü sabitken örgü faktörü ve sıklığın hava geçirgenliğine etkisi çok azdır. Sonuç olarak, kumaş sertlik faktörüne göre hava geçirgenliğine uygun kumaş tasarlamının mümkün olduğu belirtilmiştir.

Xie (2004) çalışmasında bir grup bezayağı dokuma kumaşın gözenek boyutunu ve gözenek boyut dağılımını (PSD) hem geometrik model hem de istatistiksel model kullanarak modellemiştir. İplikler arası gözenek boyutunu belirleyen yapısal parametrelerin iplik çapı, iplik yerleşimi, ipliğin birim hücredeki uzunluğu ve kumaş kalınlığı gibi değişkenler olduğunu belirtmiş, iki boyutlu (2-D) ve üç boyutlu (3-D) gözenek çaplarını bu parametreleri kullanarak hesaplamıştır. Çalışmada iplik enine kesitinin eliptik olduğunu kabul etmiştir. Ayrıca 2-D gözenek boyut dağılımını belirlemek amacıyla kumaş görüntüleri alınarak bu görüntüler üzerinden rastgele gözenekler seçilmiş ve iplik çapı ile açıklıkları ölçülmüştür. Gözenekler gruplara ayrılarak sayıları belirlendikten sonra bunların dağılışı grafikleri çizilmiştir. Görüntü

analizinden yararlanarak bulunan ve yapısal parametrelere bağlı analitik çözümler elde edilen 2D gözenek boyutu sonuçları karşılaştırıldığında ikisi arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı bulunmuştur. Gözenek boyut dağılımını belirlemek için kullanılan istatistiksel yöntem ise iplik çapı ve yerleşimindeki değişime bağlı olarak oluşturulan lineer kombinasyon teorisine dayanmaktadır. Çalışmanın deneysel kısmında kumaşların gözenek boyut dağılımları sıvı çıkarma prensibi ile çalışan bir cihaz ile test edilmiştir. Görüntü analizi ve sıvı gözenek ölçerden elde edilen ortalama gözenek boyutlarının değeri birbirleriyle ilişkili bulunmuştur. Ayrıca 3-D PSD yapısının 2-D PSD ve kalınlıkla ilişkili olduğu gözlemlenmiş, 2-D PSD'nin belli bir katsayı ile çarpılarak doğrudan 3-D PSD'na çevrilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bir başka çalışmada çift katlı örme kumaşlarda hammadde ve kumaş yapısının hava ve su buharı geçirgenlikleri gibi biyofiziksel özelliklere etkisi Halgas, Danych, Wiecek, ve Kowalski (2006) tarafından incelenmiştir. Farklı hammaddelerden yapılmış çift katlı örme kumaşların yüzey gözenekliliği görüntü analizi ile belirlenip, hava ve buhar geçirgenlikleri standartlara uygun olarak test edildiğinde, kumaş kalınlığı ve hava geçirgenliği arasında lineer bir ilişki bulunmuştur. Yüzey gözenekliliğinin hava geçirgenliğini kumaş kalınlığından daha çok etkilediği gözlenmiştir. Ayrıca kullanılan hammaddenin görüntü analizi ile elde edilen kumaş yüzey gözenekliliğini etkilediği belirlenmiştir. Örneğin, elastan kullanılan kumaşlarda gözenek yüzey alanı daha az, iki katlı PES örgülerde ise gözenek alanı fazla bulunmuştur.

Lee ve Obendorf (2007) çalışmalarında ziraat çalışanlarının koruyucu giysilerinde elektrospun nano lifli katmanın pestisid sıvısının girmesine karşı bariyer olma potansiyelini incelemişlerdir. Bunun için elektrospun poliüretan lif katmanının spunbonded nonwoven kumaş üzerine kaplandığı çok katlı kumaş sistemleri geliştirilmiş ve katlı kumaş sistemleri için bariyer performansı farklı derecelerde elektrospun katmanın alan yoğunluğu üç farklı pestisid karışımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Elektrospun katmanın hava geçirgenliğine ve su transferine olan etkileri termal konfor performansının göstergeleri olarak belirlenmiştir. Elektrospun

katmanlarının gözenek boyutuna etkisini belirlemek için gözenek boyut dağılımı ölçülmüştür. Artan elektrospun katman alan yoğunluğu ile hava geçirgenliği azalmıştır. Elektrospun nano lif kaplı sistemin su buharı transferinde ise önemli bir değişim gözlenmemiştir. Gözenek boyut dağılımı gözenek boyutunun elektrospun katmanın yoğunluğu ile kontrol edilebileceğini göstermiştir. Buna göre, koruyucu giysinin koruma performansının lif katmanının yoğunluğuna bağlı olarak tasarlanabileceği belirtilmiştir.

Coşkuntuna, Fowler, ve Warner (2007) tarafından yapılan çalışmada anizotropik emme özelliklerine sahip iki farklı yapı tasarlanmış ve bu iki yapı için süreklilik ve Darcy eşitliklerinin kullanıldığı emme modelleri geliştirilerek farklı sistemlerin akış özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Tasarlanan ilk sistemde birbirine paralel filamentler kullanılarak tek eksenli düzlemsel bir oryantasyon sağlanmış, böylece sıvıyı mümkün olduğunca hızlı bir şekilde düzlemsel yönde transfer edecek, diğer yönde ise minimum emme gerçekleştirecek bir yapı oluşturulmuştur. Böyle bir yapının kullanım alanlarına örnek olarak vücudun oluşturduğu teri emen spor giysi astarları veya kompozit üretiminde reçine emilimini sağlayan takviye elemanları verilmiştir. İkinci tasarım yüzey düzleminde minimum emme özelliğine, düzleme dik doğrultuda ise daha iyi emme özelliğine sahip bir sistem olarak tasarlanmıştır. Bu tasarımda lif denyesi, katman sayısı, lif yoğunluğu ve orta katmandaki floklanmış lif katmanı arasındaki etkileşim dik yöndeki akışı etkilemiştir. Bu tip yapılar sıvının bir katmandan diğer katmana taşınması gereken ped gibi ürünlerde kullanılabilir. Sonuç olarak, sistemlerin geçirgenliklerinin liflerin boyutu, yoğunluğu ve yerleşimine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Anandjiwala ve Boguslavsky (2008) farklı makina değişkenleri kullanılarak üretilen nonwoven kumaşların hava geçirgenliği, mekanik özellikleri, gözenek boyut dağılımı ve filtrasyon etkinliğini araştırmıştır. Hammadde olarak keten lif atıkları kullanılmıştır, böylece daha ucuz ürünler elde etme olanakları araştırılmıştır. Hava geçirgenliğindeki değişim kumaş yoğunluğu ve gözenek boyut dağılımıyla açıklanmıştır. Gerilme dayanımı, lif yerleşim dağılımı ve çok katlı kumaşlarda katmanlar arasındaki bağlantı araştırılmıştır. Filtrasyon etkinliği, kir alma kapasitesi

ve basınç düşüşü gibi filtrasyon özellikleri incelenmiştir. Dahası, kalandırlamanın gözenek boyutuna ve filtrasyon özelliklerine etkisi filtrelerin performansına ince ayarını kontrol etmek için değerlendirilmiştir. Sonuçlar kalandırlama işlemiyle filtrasyon özelliklerinin geliştiğini göstermiştir.

Tekstil materyallerin geçirgenlik özellikleri dış çevre koşullarından etkilenmektedir. Ortam sıcaklığı, bağıl nemi, basıncı gibi koşullar malzemenin performansını etkilemektedir. Buna göre kullanım yerine uygun ürün tasarlarırken dış çevre koşullarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Spor ve aktif giysiler çok farklı çevresel koşullarda kullanıldığından özellikle giysinin konfor özelliklerine sıcaklık, nem gibi çevre koşullarının etkisinin belirlenmesi amacıyla giysilerdeki su buharı geçirgenliği özelliğinin incelendiği pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Farnmworth, Lotens, ve Wittgen (1990) çalışmalarında farklı bağıl nem (RH) koşullarında tekstillerin su buharı direncini ölçmek için yeni bir yöntem tanımlamışlardır. Bu yöntem diğer tüm koşullar sabit tutulurken ıslak ve kuru yüzeyler arasında hava boşluğunda yer alan kumaş örneğinin pozisyonunun değiştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Kumaşlardaki su buharı direnci cihazın su kaybı miktarı ve suyun sıcaklığı ile belirlenmektedir. Çalışmada farklı tip kumaşların su buharı dirençleri incelenmiştir. Kullanılan deney düzeneğinde örnek, su buharı geçiren fakat sıvı su ve hava akımını geçirmeyen iki kat membran arasına yerleştirilmektedir. Örneğin bir yüzeyi kuru hava akımı ile temastayken diğer yüzeyi sıvı su havuzu ile temastadır. Cihazdaki su kütlesi kayıp miktarından tüm sistemin direnci belirlenebilir. Bağıl nem, örneğin sudan uzaklığına ve örneğin direncine bağlıdır. Aynı zamanda çok dirençli bir örnek için örneğin iki tarafındaki nemlilik önemli derecede farklıdır. Birçok giysi uygulamasında kişi terlerken çevre sıcaklığı azaldığında veya giysi üzerine yağmur yağdığında muhtemelen yüksek bir RH değerine yaklaşılır. Diğer taraftan eğer kişi sıcak kuru koşullarda minimum terliyorsa düşük bir ortalama RH değerine yaklaşılır. Bu çalışma bağıl nem ile geçirgenlikteki değişim arasındaki ilişkinin önemini göstermektedir.

Osczevski (1996), Bartels ve Umbach (2002) ve Fukazawa, Kawamura, Tochiara, ve Tamura (2003) tarafından yapılan çalışmalarda soğuk hava

giysilerinde kullanılan kumaş yapılarının geçirgenlik özellikleri bu hava koşullarındaki sıcaklık, basınç, bağıl nem gibi etkiler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Osczevski (1996) soğuk hava koşullarında bir giysi katmanının içinden su buharının dış katmandan iç katmana difüzyonunu simüle etmek için bir düzenek tasarlamış ve -24 °C' ye kadar olan sıcaklıkta hidrofil filmin su buharı difüzyon direncini ölçmüştür. Çalışmada gerçekleştirilen deneyler doğrudan buz ile temas eden bir kumaş örneğinin durumunu simüle etmeye çalışmaktadır. Çalışmada film içinden kütle transferi ölçülmüş ve sıcaklık değişimi ile su buharı difüzyon direnci arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan deneyler hidrofil kumaşta donma derecesinin altında su buhar difüzyon direncinde artma olacağını göstermiştir. Sıcaklık azalmasının neden olduğu difüzyon direncindeki artış materyali düşük bir ortalama bağıl neme maruz bırakır ve difüzyon direncini artırır. Azalan sıcaklıkla örneklerin geçirgenliği üssel olarak azalmaktadır. Bu değişim sıcaklık ve bağıl nemin birleşik etkisini göstermektedir.

Bartels ve Umbach (2002) tarafından yapılan çalışmada suya dayanıklı tekstillerin giyen kişiler üzerindeki fizyolojik etkileri farklı sıcaklıklarda (20°, 0°, +20°) araştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı, malzemeler arasındaki su buhar transfer özelliklerinin sıcaklığa bağımlı olup olmadığını belirlemektir. Çalışmada giysi tarafından alınan nem ve buharlaşan terin üretilen tere oranı giysi sistemlerinin fizyolojik fonksiyonundaki farklılıkları belirlemek için kullanılmıştır. Tüm sıcaklıklarda, geçirimsiz giysi sisteminde biriken nem nefes alabilen tüm sistemlerdeki nemden fazla bulunmuştur. Giyside biriken nem miktarı ısı yalıtımını düşüreceğinden özellikle düşük sıcaklıklarda bu durum vücudun soğumasına neden olmakta ve nemin birikmesi giyen kişinin sağlığı açısından zararlı olabilmektedir. Sonuç olarak su buharı geçirgen giysiler ter transferini daha iyi sağladığından ve nem birikimini önlediğinden soğuktan daha iyi koruma sağlamaktadırlar.

Fukazawa ve ark (2003) çalışmalarında yüksek yerlerdeki su buhar geçirgenlik ölçümü için yeni bir düzenek geliştirmişlerdir. Deneyde 0, 3000, 6000 ve 8500 m olmak üzere dört yükseklik koşulunu simüle etmek için çevresel basıncı kontrol etmek amacıyla klima çemberine bir vakum kazanı yerleştirilmiş ve yüksekliğe bağlı

olarak sıcaklık ve basınç kombinasyonları belirlenmiştir. Deneyin amacı, simüle edilen yüksekliklerde bir PES kumaşın su buharı geçirgenlik direncine sıcaklık ve basınç kombinasyonlarının etkisini incelemektir. Sonuçlar su buharı direncinin yükseklik artışıyla azalacağını göstermiştir. Düşük sıcaklıklarda azalan buhar difüzyon direncinden ve düşük doygun buhar konsantrasyonundan dolayı yüksek doruklarda yoğunlaşma artmakta, sonuçta giysi ıslak kalmaktadır. Bu koşul sadece konforsuzluğa değil aynı zamanda hipotermia olasılığına neden olmaktadır, çünkü sıvı durumundaki su yüksek iletkenliktedir ve giysideki termal direnç azalmaktadır. Bir başka çalışmada Rossi, Gross, ve May (2004) tarafından insan kolunun termofizyolojik davranışını simüle eden terleyen bir kol kullanılarak farklı sıcaklık derecelerinde farklı dört-katmanlı kumaş yapılarında katmanlardaki su buharı transferi ve nem birikimi analiz edilmiştir. Soğuk havalarda insan vücudu tarafından üretilen nem katmanlar içinde kısmen yoğunlaşmaktadır. Örneklerin geçirgenliğinin ve bunların yoğunlaşma oranlarının dış ortamın klimasına ve dış katmanların hidrofiliğine güçlü bir şekilde bağlı olduğu belirlenmiştir.

Huang ve Qian (2007) su buharı geçirgenliğini doğru bir şekilde, kısa bir zaman periyodunda ölçmek için yeni bir cihaz geliştirmişlerdir. Bir silindir ve bir akış hücresinden oluşan sistemde örneğin üst yüzeyinden alt yüzeyine su buharı transferi gerçekleştirilmekte ve akış hücresinin bağlı nemi boru sonundaki nemölçer ile ölçülerek kaydedilmektedir. Nitrojen akış miktarı da kontrol altında gerçekleşmekte ve nitrojen akımının sıcaklığı da ölçülerek kaydedilmektedir. Su buharı difüzyonu su buharı moleküllerinin yüksek konsantrasyonlu bir bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye hareket ettiği işlem olarak tanımlanmaktadır. Su buharı difüzyon direnci ise su buhar geçişinin tersidir. Su buharı geçişi ve su buharı difüzyon direnci Ficks kuralı ile açıklanmaktadır. Bu çalışmada test örneği olarak farklı nefes alabilir kumaşlar kullanılmıştır. Kumaş kombinasyonları tekstil kumaşlarına lamine edilmiş düşük, orta ve yüksek su buharı geçirgenliğine sahip membranlardan oluşmaktadır. Aynı zamanda pamuk/poliester karışımı örme bir kumaş da test edilmiştir. Bu yeni test metodundan elde edilen sonuçlar terleyen sıcak levha ve ASTM E96 ters çevrilmiş kap test yöntemiyle uyum göstermektedir.

Huang ve Chen (2010) çalışmalarında dört farklı test kumaşı için 120 farklı çevresel koşul oluşturarak kumaşın su buharı transferine sıcaklık, bağıl nem ve rüzgar hızı gibi çevresel faktörlerin etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak dört kumaş tipinin su buharı transfer direncinin sıcaklık ile çok az değiştiği; düşük rüzgar hızının yüksek direnç yarattığı, bağıl nemin ise kumaşın membran yapısına da bağlı olarak transferi etkilediği bulunmuştur. Bağıl nem arttığında hidrofil membranlı ve hibrid lamine kaplı kumaşlar düşük direnç gösterirken, mikro gözenekli membran yapısına sahip kumaş ile normal kumaşta su buharı transfer direnci bir miktar artmıştır.

Wang ve ark. (2007) çalışmalarında farklı katmanlarda farklı fonksiyonel kumaşlardan oluşan aynı yapıdaki iki giysi sistemiyle giyim denemeleri yapmışlardır. Amaç nem yönetimi özelliği bulunan giysi sisteminin (moisture management) termal fonksiyon ve konfor performansı üzerine etkisini açıklamaktır. Yaklaşık olarak aynı özelliklere sahip (yaş, boy, kilo) 11 sağlıklı erkek öğrenci giysi denemelerinde kullanılmıştır. Deneyler -15° C de bir odada gerçekleştirilmiş, denekler bir koşu bandında belli bir prosedüre bağlı olarak yürütülmüştür. Deney süresince deneklerin kalp atışı her 5 saniyede, kan basıncı her 10 dakikada, farklı bölgelerde vücut sıcaklığı her 2 saniyede ölçülmüştür. Her bir katmanın sıcaklık ölçümü için ve bağıl nem ölçümü için giysi içinde sensörler kullanılmıştır. Giysi yapısı tasarımının farklı katmanlarda sıcaklık ve nem dağılımlarına etkisini açıklamak için istatistiksel analiz yapılmıştır. Deneysel sonuçlar giysi sisteminin kumaş özelliklerinin nem ve ısı dağılımı ve giysinin konforunu önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermiştir. Böylece eğer sistematik olarak tasarlanırsa, koruyucu giysinin performansı yüksek oranda geliştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Tekstil kumaşlarının ve giysilerin nem transfer özelliklerini değerlendirmek için bir grup test yöntemi geliştirilmiştir. Ancak, bu testlerin teknikleri ve test koşulları çok farklı olduğu için, bu testlerden elde edilen sonuçlar tam olarak karşılaştırılamamaktadır. Bu nedenle bu test yöntemlerinden elde edilen sonuçlar arasındaki ilişki ve farklılıkların araştırılması gerekmektedir. Kar ve Yu (2007) çalışmalarında dört tipik test yönteminden elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Bu test yöntemleri; nem iletim yöntemi (Model CS-141), ASTM

E96 kap yöntemi, terleyen sıcak levha metodu (ISO11092) ve terleyen manken yöntemleridir. Farklı kategoride kumaşlar için su buharı dirençlerinin oranları arasındaki ilişki genelde farklı olduğundan, araştırmacılar bu çalışmada fonksiyonel T-shirt kumaş tiplerinin hava geçirgenliğini araştırmışlardır. Test yöntemlerinde elde edilen sonuçların birimleri birbirinden farklıdır. Test koşulları birbirinden farklı olduğu için farklı test yöntemlerinde değerlerin birbirinden farklı çıkması normaldir. Yapılan bu çalışmada test edilen kumaş örnekleri için elde edilen sonuçlar için farklı test yöntemleri arasındaki ilişki lineer regresyon denklemleri ile kurularak incelenmiştir. Kumaş özelliklerindeki farklılıklardan dolayı regresyon denklemlerinde bazı kumaşlarda sapmalar gözlenmiştir.

Geçirgenliği doğrudan etkileyen gözeneklilik özellikleri rastgele olduğundan araştırmacılar geçirgenlikle ilgili modelleri geliştirirken daha homojen yapı kabulleri yapmaya yönelmişlerdir. Bunun dışında bazı araştırmacılar gözenek karakteristiğini ve geçirgenlik özelliklerini akış modellerinden bağımsız olarak bilinen kumaş parametreleriyle tahminlemek için istatistiksel yöntemler, görüntü analizi ve yapay sinir ağları (ANN) gibi yeni yöntemler kullanmışlardır. Kumaş gibi belli bir sistemin çıktılarının (örneğin geçirgenlik performansı) tahminlenmesini sağlayan ANN modelleri tasarım deneylerinde etkili ve hızlı bir yaklaşım olarak kullanılabilmektedir. Girdi ve çıktı arasındaki lineer veya nonlineer ilişkileri gösterme yeteneğine sahip ANN'nin en büyük avantajı aynı anda birçok parametrenin sonuca etkisinin incelenebilmesidir. Brasquet ve Cloirec (2000) rayon ve aktif karbon liflerinden yapılmış farklı dokuma yapılarına sahip 20 tip kumaş için hava ve su basınç düşüşlerini saptamışlardır. Çalışmanın amacı, kumaş yapısı ve lif tipi gibi önemli kumaş parametrelerinin kumaşın dinamik davranışındaki etkilerini göstermektir. Deneysel veriler öncelikle Ergun, Carman'ın boyutsuz modeli ve Comiti-Renaud modelleri gibi klasik modellerde kullanılmış daha sonra istatistiksel bir araç olan yapay sinir ağları modelinde kullanılmıştır. Tokarska (2004) çalışmasında dokuma kumaşların geçirgenlik özelliklerini yapay sinir ağları modelleme yöntemi kullanarak incelemiştir. Bu çalışmada kumaş yoğunluğu, çözgü ve atkı ipliklerinin bükümü gibi yapısal özelliklerle hava geçirgenliği arasındaki ilişki bir sistem geliştirilerek modellenmiştir. Sistem sonuçları deneysel sonuçlarla

karşılaştırılarak test edilmiştir. Çay, Vassiliadis, Rangoussi, ve Tarakçıoğlu (2007) tarafından yapılan çalışmada kumaşın vakumlu kurutma sırasındaki davranışını tahminleyerek üretim planlamasını optimize etmek amacıyla kumaşın hava geçirgenliğini tasarım aşamasında tahminleyen bir ANN modeli geliştirilmiştir. Çalışmada çözgü sıklığı, atkı sıklığı ve kumaşın gramajı geçirgenlik tahmini için girdi olarak kullanılan kumaş parametreleri olarak seçilmiş, kumaşların hava geçirgenlikleri sabit basınç düşüşü altında hava geçirgenliği ölçeri kullanılarak ölçülmüş ve tahminlenen değerler arasında önemli bir ilişki bulunmuştur. Deneysel sonuçlar ANN modeliyle tahminlenen hava geçirgenliğinin vakumlu kurutma sırasında kumaşın performansını tahminlemek için anlamlı olduğunu göstermiştir

Tüm bu deneysel ve teorik çalışmalarda geçirgenlik fonksiyonunu etkileyen farklı değişkenlerin etkisi incelenmiştir. Kumaşın geçirgenlik mekanizmasında viskozite, yüzey gerilimi gibi akışkan madde özellikleri; sıcaklık, nem, basınç gibi çevresel faktörler ile akışın gerçekleştiği tekstil yapısını oluşturan lifin, ipliğin ve kumaşın tüm fiziksel ve kimyasal özellikleri belirli bir etkiye sahiptir. Geçirgenliği etkileyen kumaş yapısı ile ilgili parametreler genel olarak kumaş tipi (dokuma, örme, nonwoven), örgü yapısı, kumaş sıklığı, yoğunluğu, kalınlığı, gözenekliliği, kumaş kat sayısı ve kumaşa uygulanan bitim işlemleri olarak sıralanabilir. İplik yapısı düşünüldüğünde ise iplik üretim yöntemi, iplik bükümü, tüylülüğü, iplik yapısındaki liflerin sürekli veya kesikli olması, lif inceliği, enine kesiti ve liflerin paketlenmesi geçirgenlik için önemli parametrelerdir.

1.6 Çalışmanın amacı

Geçirgenlik özelliği filtrasyondan spor giysilere, paraşüt kumaşlarından jeotekstillere pek çok farklı alanlarda kullanılan kumaşlardan beklenen bir performans özelliğidir. Geçirgenlik ayrıca boyama, kurutma gibi üretim işlemlerinde ve son yıllarda kullanımları artan kompozit malzemelerin üretim aşamalarında ürün özelliklerini etkileyen önemli bir özelliktir. Bu nedenle özellikle katma değeri yüksek olan teknik uygulama alanlarında kullanılan kumaşların geçirgenlik özelliklerinin

henüz tasarım ve geliştirme aşamalarında tahminlenmesi ve kontrol edilmesi zaman ve maliyet açılarından önemlidir.

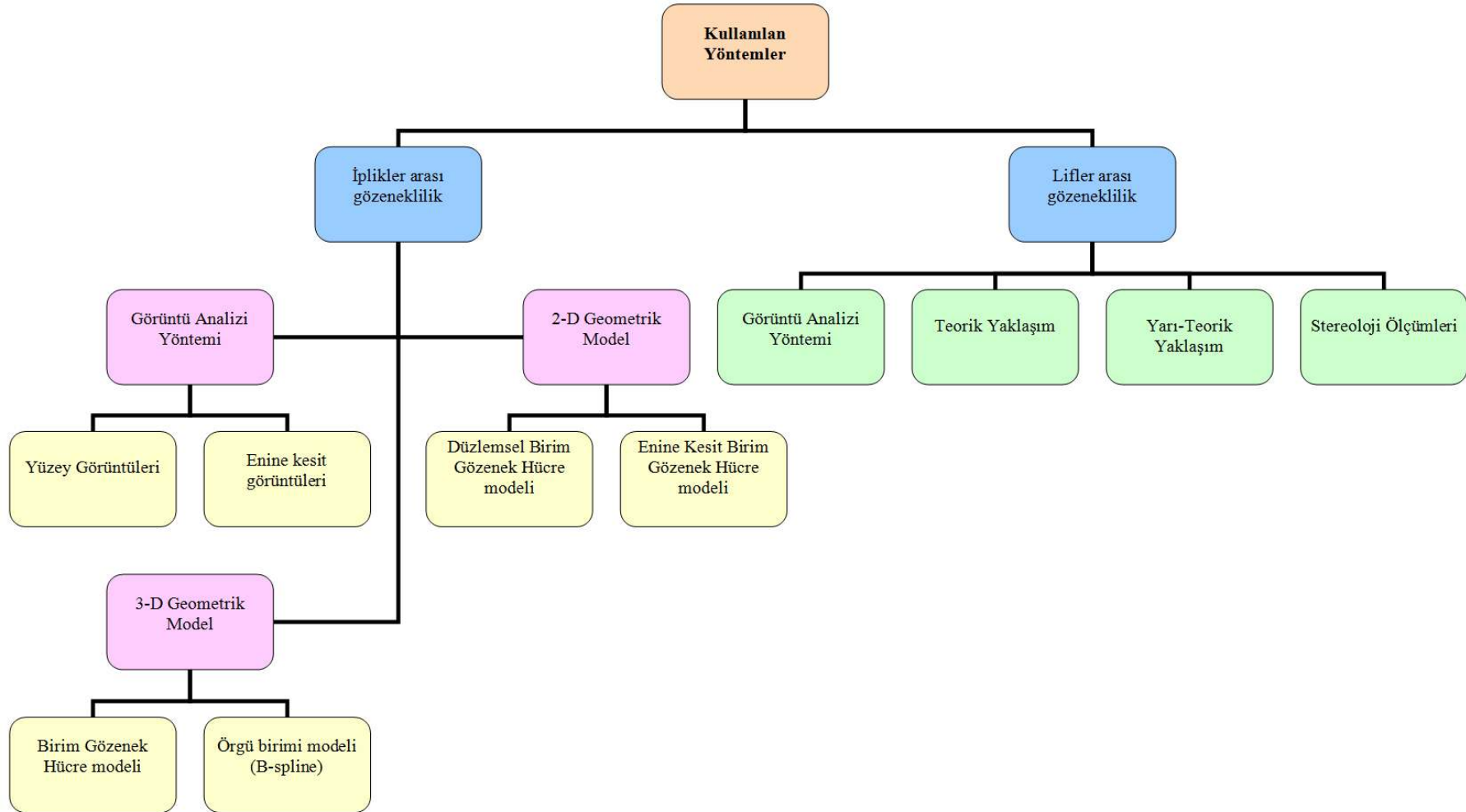
Kumaşın geçirgenlik özelliklerinin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi için öncelikle geçirgenlik davranışlarını etkileyen faktörler belirlenmelidir. İstenen geçirgenlik özelliklerine sahip yapı, etkili faktörlerin en doğru şekilde tanımlanması ile tasarlanabilir. Kumaşın geçirgenlik özelliklerini etkileyen faktörler başta kumaşın yapısal parametrelerinin etkisiyle oluşan kumaşın gözenek özellikleri olmak üzere, çevresel faktörler (sıcaklık, nem, rüzgar hızı, basınç vs.) ve kumaş içinden geçen akışkanın özellikleri (viskozite, yüzey gerilimi vs.) olarak sınıflandırılabilir (Şekil 1.5). Kullanım alanı belli olan bir kumaşı tasarlamak için öncelikle çevresel koşullar ve kumaş içinden geçen madde özellikleri tanımlanmalı, daha sonra istenen geçirgenlik özelliklerine sahip kumaş yapısını elde etmek amacıyla geçirgenlik özelliğini etkileyen yapısal parametreler belirlenerek bu parametreler kontrollü bir şekilde bir araya getirilmelidir.

Hammadde, iplik özellikleri, kumaş tipi, örgü yapısı, kumaş kalınlığı gibi faktörler kumaşın fiziksel, kimyasal, mekanik, duyuşal ve geçirgenlik özelliklerini etkileyen parametrelerdir. Farklı yapısal parametrelerin belirli koşullarda bir araya gelmesiyle oluşan dokuma kumaşlar üç boyutlu (3-D) karmaşık yapılardır. 3-D bu yapı gerek lif ve iplik özelliklerinin homojen olmamasından, gerekse sıklık, kumaş kalınlığı gibi kumaş özelliklerinin kumaş boyunca değişim göstermesinden dolayı daha karmaşık bir hal almaktadır. Bu nedenlerle 3-D karmaşık kumaş yapısı içinde gerçekleşen akış hareketi sonucu oluşan kumaşın geçirgenlik özelliklerinin belirlenmesi de basit bir işlem değildir. Bu karmaşık mekanizma akışın gerçekleştiği gözeneklerin gözenek şekli, boyutu, boyut dağılımı, sürekliliği, uzunluğu ve kumaşın gözenekliliği gibi gözenek özelliklerinden etkilenir. Kumaşın gözenek özellikleri ise yapısal parametrelerin bir araya gelmesiyle oluşur. Sonuç olarak, yapısal parametreler gözenek özelliklerini, gözenek özellikleri de geçirgenlik özelliklerini belirler. Dolayısıyla belli kullanım alanına sahip bir kumaşın geçirgenlik özelliğinin tahminlenebilmesi için kumaş gözenekliliğinin kumaşın yapısal özellikleri kontrol edilerek tanımlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada dokuma kumaşların yapısal özelliklerinin kumaşın gözenek özelliklerine ve geçirgenlik özelliklerine etkilerinin ayrı ayrı analiz edilmesi ve gözenek özellikleri ile geçirgenlik özellikleri arasındaki ilişkilerin tanımlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle Bölüm 2'deki teorik model çalışmaları gerçekleştirilerek gözenek özellikleri kumaşın yapısal parametrelerine bağlı olarak geometrik modeller ile tanımlanmıştır. Teorik çalışmada kumaşın gözenek özellikleri iplikler arası gözenek bölgeleri ve iplik içi (lifler arası) gözenek bölgeleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İplikler arası gözenek özelliklerini belirlemek amacıyla 2-D, 3-D *birim gözenek hücresi modelleri* oluşturulmuş; ayrıca B-spline yöntemi kullanılarak 3-D *örgü birimi modelleri* elde edilmiştir. Geometrik model çalışmasında iplikler geçirimsiz, dairesel veya eliptik enine kesitli monofilament yapılar olarak kabul edilmiştir. İplik içi gözenek özelliklerinin belirlenmesi için ise lif ve iplik özelliklerine bağlı olarak 2-D teorik model çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca düzleme dik doğrultuda ve düzlemsel yönde gerçekleşen akışın teorik olarak tahminlenmesi için Darcy, Poiseuille ve Lucas-Washburn eşitlikleri iplikler arası ve iplik içi bölgeler için modifiye edilmiş; modellerde tanımlanan gözenek parametrelerine bağlı olarak teorik akış eşitlikleri tanımlanmıştır. Bölüm 3'te iplikler arası ve iplik içi gözenek özelliklerinin ayrıca görüntü analizi yöntemi ile belirlenmesi için kumaşın yüzeysel ve enine kesit görüntüleri elde edilerek bu görüntülere görüntü işleme prosesleri uygulanmıştır. Çalışmanın deneysel aşamasında farklı örgü tiplerinde ve sıklıklarda üretilmiş bir grup kumaşın hava geçirgenliği ve dikey emme testleri gerçekleştirilmiş ve kumaşların iplik çapı, iplik açıklıkları gibi yapısal parametreleri ölçülerek bu parametrelerin değişim aralıkları tanımlanmıştır. Deneysel çalışmada ayrıca iplik içi gözenekliliği belirlemek amacıyla elde edilen enine kesit görüntülerinden iplik boyutları, iplik ve lif alanları Stereoloji programı kullanılarak ölçülmüştür. Bölüm 4'te öncelikle 3-D kumaş geometrisini tanımlamak için kullanılan en önemli parametreler olan iplik boyut ve şekil özelliklerinin ölçüm sonuçları teorik çap sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiş; sıklık ve örgü tipi gibi yapısal parametrelerin kumaş içindeki iplik çapı değişimine etkisi analiz edilmiştir. Kumaşın toplam gözenekliliğini değerlendirirken önemli bir parametre olan iplik içi gözenekliliğin etkisini belirlemek

için geliştirilen teorik ve yarı-teorik yaklaşımlar, görüntü analizi yöntemi ve Stereo Investigator® ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmış ve iplik içi gözeneklilik tanımlanmıştır. Son olarak teorik modellerden ve görüntü analizi yönteminden elde edilen iplikler arası gözenek özellikleri sonuçlarının yapısal parametreler ve deneysel geçirgenlik sonuçlarıyla ilişkileri istatistiksel olarak incelenmiş ve farklı yaklaşımlarla elde edilen gözenek verileri akış eşitliklerinde kullanılarak geçirgenlik özellikleri tahminlenmiştir. Elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılarak kumaşın gözeneklilik ve geçirgenlik özelliklerini belirlemek için en uygun yaklaşım belirlenmiştir. Yapılan tüm bu ayrıntılı çalışmalarla dokuma kumaşın yapısal özelliklerinin ve 3-D geometrik özelliklerinin kumaşın geçirgenlik performansına etkisi, kumaşın gözenek özelliklerinin kumaş görüntüleriyle ayrıntılı olarak incelenmesi ve yapısal parametrelere bağlı olarak modellenmesi ile elde edilmiştir.

Şekil 1.31’de kumaşın gözenek özelliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen çalışmalar özetlenmiştir.



Şekil 1.31 Kumaşın gözenekliliğinin belirlenmesi için kullanılan yöntemler

BÖLÜM İKİ

GELİŞTİRİLEN TEORİK MODELLER

2.1 İplikler arası gözenek özelliklerinin belirlenmesi

Dokuma kumaşlar çözgü ve atkı ipliklerinin birbirleriyle farklı kesişmeler yaparak bir araya gelmeleriyle oluşurlar. İpliklerin yaptıkları bu kesişmeler sonucu iplikler arası bölgelerde “iplikler arası gözenekler” olarak adlandırılan boş bölgeler oluşmaktadır. Bu çalışmanın ilk aşamasında, öncelikle kumaşın gözenekli yapısını basitleştirerek sadece iplikler arası gözenek özelliklerini belirlemek amacıyla kumaşlar geçirimsiz, monofilament ipliklerden oluşmuş yapılar olarak kabul edilmiştir. Daha sonra, monofilament ipliklerden oluşmuş kumaşlarda iplikler arası gözenek özelliklerini tanımlamak amacıyla birim hücre gözenek modelleri ve örgü birimi modelleri olmak üzere iki farklı teorik model çalışması gerçekleştirilmiştir.

2.1.1 Birim gözenek hücre modelleri

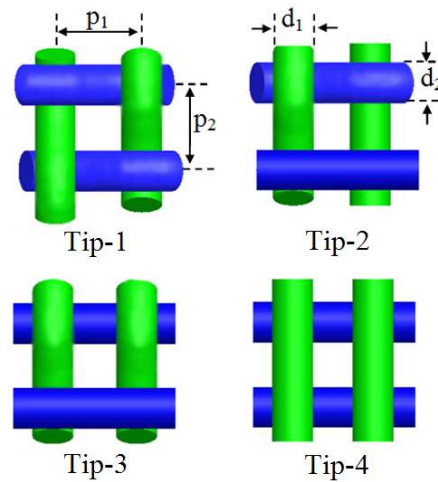
Birim gözenek hücre yapısı kesişme şekline ve kumaş parametrelerine bağlı olarak iki boyutlu (2-D) ve üç boyutlu (3-D) olarak modellenmiştir. Oluşturulan 2-D ve 3-D birim gözenek hücre modellerinin gözeneklilik ve gözenek boyutu gibi özellikleri iplik enine kesitinin hem dairesel hem de eliptik olduğunu kabul eden yaklaşımlara göre ayrı ayrı belirlenmiştir. Ayrıca deneysel verilerden elde edilen iplik çapının %95 güven aralığı kullanılarak 2-D ve 3-D birim gözenek hücre modellerinin gözenek boyut dağılımı da tahminlenmiştir.

2.1.1.1 İki boyutlu (2-D) düzlemsel birim gözenek hücre modeli

2.1.1.1.1 Dairesel iplik çapı varsayımı. Birim gözenek hücresi iki çözgü ve iki atkı ipliğinin birbiriyle kesişmesi sonucu oluşmaktadır. Backer (1951) tarafından ipliklerin farklı kesişimleri ile oluşan 4 tip birim gözenek hücresi 2-D olarak Şekil 2.1’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır. 2-D birim gözenek hücresinin yapısal

özellikleri iplik çapı, iplik tüylülüğü ve kumaş sıklığı gibi kumaşın yapısal özellikleri ile ilgilidir. Birim gözenek hücrelerinin 2-D geometrik özellikleri kesişim şeklinin kumaş düzlemi üzerindeki izdüşümü incelenerek elde edilir. 2-D birim gözenek hücre modeli çözgü ve atkı ipliği çapları ile iplikler arası açıklık parametrelerine bağlı olarak oluşturulmuştur. Çalışmada, öncelikle birim gözenek hücrelerini oluşturan ipliklerin dairesel kesitli monofilament yapıda iplikler olduğu kabul edilmiştir. Böylece karmaşık olan kumaş yapısı basitleştirilerek, birim gözenek hücrelerinde sadece iplikler arası bölgelerdeki gözenek özelliklerinin teorik olarak incelenmesi sağlanmıştır. İplikler arası gözenek parametreleri belirlenirken hem Ashenhurst'un (1884) önerdiği eşitliğe göre hesaplanan teorik dairesel iplik çapı verisi hem de düzlemsel kumaş fotoğrafları üzerinden Photoshop CS3 programı ile ölçülen iplik çaplarının deneysel sonuçları kullanılmıştır. Eşitlik 2.1 Ashenhurst yaklaşımına göre iplik eğirme sistemi katsayısı (ring pamuk ipliği için $K=8,3$) ve metrik numara sistemine (N) bağlı olarak hesaplanan teorik dairesel iplik çapını (d_{yt}) göstermektedir. İplik açıklıkları verisi olarak da hem kumaş sıklığıyla ilişkili olan ($p_1=1/S_2$, $p_2=1/S_1$) teorik veriler hem de ölçüm sonucu elde edilen deneysel veriler kullanılarak birim gözenek hücre parametreleri teorik ve deneysel verilerden belirlenmiştir.

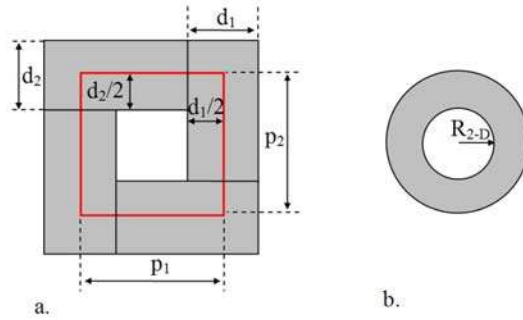
$$d_{yt} = \frac{1}{K\sqrt{N}} \quad (2.1)$$



Şekil 2. 1 2-D birim gözenek hücresi tipleri

Şekil 2.2.a'da kırmızı çerçeve içinde yer alan 2-D birim gözenek hücresinin gözenekliliği, toplam boş alanın birim hücrenin toplam alanına oranından hesaplanmıştır. *Alansal gözeneklilik (PA)* olarak adlandırılan bu değer Eşitlik 2.2 ile tanımlanmıştır. Eşitlik 2.2'de d dairesel iplik çapını, p iplikler arası açıklığı, 1 ve 2 alt indisleri ise sırasıyla çözgü ve atkı ipliklerini göstermektedir. Hesaplamalarda hem teorik hem de deneysel olarak tanımlanan d ve p parametreleri kullanılmıştır. Tip-1, Tip-2, Tip-3, Tip-4 gözenek tiplerinin kumaş düzlemine izdüşümleri aynı olduğundan tüm tiplerin 2-D birim gözenek hücresi alansal gözenekliliği kumaş parametrelerine bağlı olarak Eşitlik 2.2 ile hesaplanmıştır.

$$PA(\%) = \frac{(p_1 - d_1)(p_2 - d_2)}{p_1 p_2} \times 100 \quad (2.2)$$



Şekil 2.2 a. 2-D birim gözenek hücresi modeli,
b. Eşdeğer alanlı 2-D dairesel gözenek

2-D birim gözenek hücresi modelinden hesaplanan bir diğer gözenek parametresi gözenek yarıçapı ile tanımlanan gözenek boyutudur. Şekil 2.2 b'de gösterilen dairesel kesitli birim gözenek hücresinin alanı izdüşümü dikdörtgen olarak elde edilen birim kesişim hücresinin alanına eşdeğer kabul edilerek ortalama gözenek yarı çapı (R_{2-D}) teorik olarak Eşitlik 2.3 ile hesaplanmıştır.

$$R_{2-D} = \sqrt{(p_1 - d_1)(p_2 - d_2) / \pi} \quad (2.3)$$

2.1.1.1.2 Eliptik iplik çapı varsayımı. Kumaşların enine kesit görüntüsü incelendiğinde ipliklerin enine kesit şeklinin iplik hareketi boyunca dairesel ve elips

şekillerinde değiştiği gözlenmiştir. Buna göre birim gözenek hücrelerinin gözenek özellikleri hesaplanırken iplik enine kesiti için ayrıca eliptik çap yaklaşımı ile çözümleme yapılmıştır. Elipsin büyük (a) ve küçük çap (b) değerleri, teorik çapı Ashenhurst (1884) teorisine göre hesaplanan dairesel kesitli ipliğin çevresinin elipsin çevresine eşit kabul edilmesiyle hesaplanmıştır (Eşitlik 2.4). a ve b değerleri arasındaki oran ipliğin yassılma oranı ($e=b/a$) olarak adlandırılmaktadır. 2-D birim gözenek hücre modelinde iplik izdüşümlerin kapladığı alanın elips kesitli ipliğin büyük çapı (a) ile ilişkili olduğu kabul edilerek alansal gözeneklilik ve gözenek yarıçapı parametreleri sırasıyla Eşitlik 2.5 ve Eşitlik 2.6 ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar hem teorik olarak hesaplanan elips boyutları hem de deneysel ölçümler sonucu elde edilen elips boyutları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

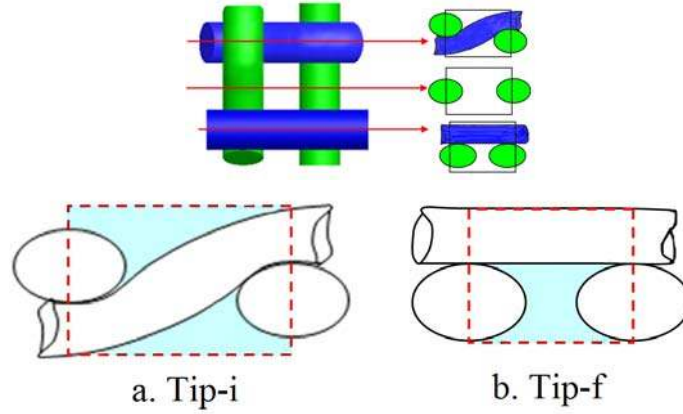
$$a = \frac{2d_{yt}}{(1+e)} ; b = ae ; \quad (2.4)$$

$$PA(\%) = \frac{(p_1 - a_1)(p_2 - a_2)}{p_1 p_2} \times 100 \quad (2.5)$$

$$R_{2-D} = \sqrt{(p_1 - a_1)(p_2 - a_2) / \pi} \quad (2.6)$$

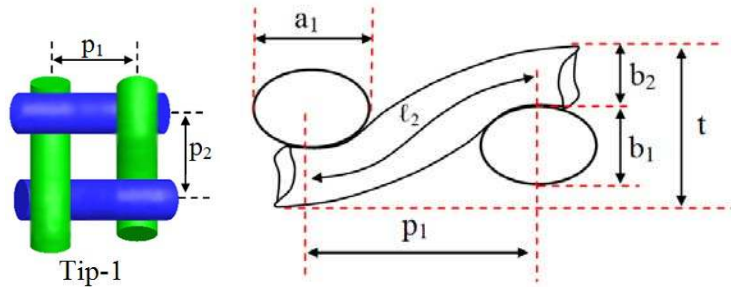
2.1.1.2 İki boyutlu (2-D) enine kesit birim gözenek hücre modeli

Kumaşın gözenek özelliklerini belirlemek amacıyla düzlemsel 2-D birim gözenek hücre modellerine ek olarak, her bir birim gözenek tipinin (Tip-1, Tip-2, Tip-3, Tip-4) hem atkı hem çözgü yönlerinde 2-D enine kesit geometrileri incelenmiştir. Şekil 2.3'de görülen 2-D enine kesit birim gözenek hücre modelleri kesişme bölgesinde Tip-i, atlama bölgesinde Tip-f olarak adlandırılmıştır. Enine kesit birim gözenek hücrelerinin 2-D geometrileri Pierce kumaş geometrisine uygun olarak oluşturulmuştur. Kumaş düzlemini xy düzlemi olarak kabul edersek, çözgü ve atkı yönlerindeki kesit gözenek özellikleri xz ve yz düzlemleri üzerinde incelenmiştir. 2-D enine kesit birim gözenek hücre modelinin gözenek özellikleri dairesel ve eliptik iplik çapı varsayımları için elde edilmiştir.



Şekil 2.3 Enine kesit birim gözenek hücre modelleri; a. Kesişim birimi, b. Atlama birimi

Tip-1 birim gözenek hücre modelinde enine kesit birim hücresi atkı ve çözgü yönlerinde (xy ve yz düzlemlerinde) kesişme bölgelerinden yani Tip-i enine kesit birim gözenek hücrelerinden oluşmaktadır (Şekil 2.4). Tip-1 birim gözenek hücresinin xz ve yz kesit düzlemlerinde gözenekliliği eliptik çap yaklaşımı için sırasıyla Eşitlik 2.7 ve Eşitlik 2.8 ile tanımlanmıştır. Eşitliklerde ℓ_1 ve ℓ_2 sırasıyla birim gözenek hücresi içinde yer alan çözgü ve atkı ipliklerinin kıvrımsız uzunlukları, t kumaş kalınlığıdır.



Şekil 2.4 Tip-1 birim göznek hücresinin enine kesit göznek hücresi modeli (Tip-i)

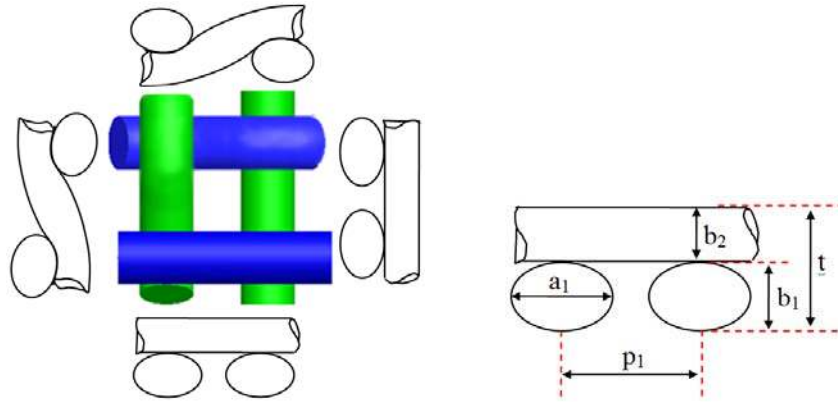
$$PA_{(Tip-i)xz} = \frac{(p_1 t) - \left(\pi \frac{a_1}{2} \frac{b_1}{2}\right) - (b_2 \ell_2)}{p_1 t} \quad (2.7)$$

$$PA_{(Tip-i)yz} = \frac{(p_2 t) - (\pi \frac{a_2}{2} \frac{b_2}{2}) - (b_1 \ell_1)}{p_2 t} \quad (2.8)$$

Tip-2 birim gözenek hücre modeli atkı ve çözgü yönünde hem atlama hem kesişme birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 2.5). Çözgü ve atkı yönlerindeki kesişme birimi için enine kesit birim gözenek hücresi (Tip-i) yukarıdaki eşitliklerle tanımlanmıştır. Çözgü ve atkı yönlerindeki atlama birimi için enine kesit birim gözenek hücresi (Tip-f) sırasıyla Eşitlik 2.9 ve Eşitlik 2.10 ile hesaplanmıştır.

$$PA_{(Tip-f)xz} = \frac{(p_1 t) - (\pi \frac{a_1}{2} \frac{b_1}{2}) - (b_2 p_1)}{p_1 t} \quad (2.9)$$

$$PA_{(Tip-f)yz} = \frac{(p_2 t) - (\pi \frac{a_2}{2} \frac{b_2}{2}) - (b_1 p_2)}{p_2 t} \quad (2.10)$$



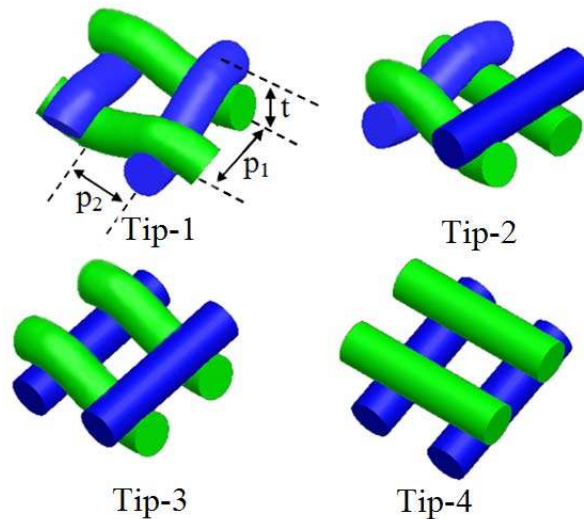
Şekil 2.5 Tip-2 birim gözenek hücresinin enine kesit gözenek hücresi tipleri (Tip-i, Tip-f)

Tip-3 birim gözenek hücresi atkı ve çözgü yönünde Tip-f enine kesit birimlerinden, Tip 4 Birim hücresi ise çözgü yönünde Tip-i, atkı yönünde Tip-f enine kesit birimlerinden oluşmaktadır. Buna göre her birim hücre için enine kesit birim gözenek tipi dağılımı göz önünde bulundurularak birim gözenek hücresinin enine kesitin gözenekliliği ortalama olarak hesaplanmıştır. Daha sonra her örgü tipi için

örgü tipindeki birim gözenek hücresi dağılımı göz önünde bulundurularak kumaşın ortalama gözenekliliği hesaplanmıştır.

2.1.1.3 Üç boyutlu (3-D) birim gözenek hücre modeli

Akış, kumaş içinde üç boyutta gerçekleşen karmaşık bir mekanizmadır. Bu nedenle akış mekanizmasını tahminlerken 3-D gözenek modelleri ile çalışmanın daha gerçekçi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Çalışmada kumaşın kalınlığı (t) da dikkate alınarak, 3-D birim gözenek hücre modelleri çözü ve atkı ipliklerinin kesişme tiplerine bağlı olarak oluşturulmuştur (Şekil 2.6). 3-D birim gözenek hücreleri, boyutları t , p_1 ve p_2 olan ve çözü ve atkı ipliklerinin merkez ekseninden geçen bir dikdörtgen prizma içine yerleşmiş olarak modellenmiştir. Daha sonra, iplikler sırasıyla dairesel ve eliptik enine kesitte monofilament yapılar olarak kabul edilerek her iki iplik kesiti varsayımı için Pierce geometrisine göre dikdörtgen prizma içinde ipliğin kapladığı hacim hesaplanmıştır. 2-D düzlemsel modelden farklı olarak 3-D birim gözenek hücresinin gözenek özellikleri sadece iplik çapı ve iplikler arası açıklık parametrelerinden değil, aynı zamanda iplikler arası gözenek yapısını oluşturan tüm ipliklerin iplik geometrisine göre de belirlenmektedir.



Şekil 2.6 3-D birim gözenek hücresi tipleri

2.1.1.3.1 Dairesel iplik çapı varsayımı. 3-D birim gözenek hücresinin toplam hacmi (V_T) boyutları iplik açıklıkları (p_1 , p_2) ve kumaş kalınlığı (t) ile tanımlanan

prizma hacmine eşittir. Birim gözenek hücresi içindeki toplam iplik hacmi (V_Y) iplik çapı, iplik açıklıkları ve gözenek hücresi içindeki iplik uzunluklarına bağlı olarak hesaplanır. Eşitlik 2.12’de Tip-1 gözenek hücresi için hesaplanan toplam iplik hacmi verilmiştir. Bu yaklaşıma göre prizma içindeki iplik hacminin prizma hacmine oranı *paketleme oranını* (ϕ), boş hacmin prizma hacmine oranı ise *iplikler arası hacimsel gözeneklilik* (PV) olarak adlandırılır. Şekil 2.6’da gösterilen her bir 3-D birim gözenek hücresi tipi için dairesel iplik çapı ve Pierce yaklaşımına göre hesaplanan hacimsel gözeneklilik eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

$$\text{Toplam Hacim}(V_T) = p_1 p_2 t \quad (2.11)$$

$$\text{Toplam İplik Hacmi}(V_{Y/Tip-1}) = \frac{\pi}{4} (d_1^2 \ell_1 + d_2^2 \ell_2) \quad (2.12)$$

$$\text{Paketleme Oranı}(\phi, \%) = \frac{V_Y}{V_T} \times 100 \quad (2.13)$$

$$\text{Gözeneklilik}(PV, \%) = \frac{V_T - V_Y}{V_T} \times 100 \quad (2.14)$$

$$PV_{Tip-1}(\%) = \frac{p_1 p_2 t - \frac{\pi}{4} (d_1^2 \ell_1 + d_2^2 \ell_2)}{p_1 p_2 t} \times 100 \quad (2.15)$$

$$PV_{Tip-2}(\%) = \frac{p_1 p_2 t - \frac{\pi}{8} [(d_1^2 (\ell_1 + p_2) + d_2^2 (\ell_2 + p_1))]}{p_1 p_2 t} \times 100 \quad (2.16)$$

$$PV_{Tip-3}(\%) = \frac{p_1 p_2 t - \frac{\pi}{4} (d_1^2 \ell_1 + d_2^2 p_1)}{p_1 p_2 t} \times 100 \quad (2.17)$$

$$PV_{Tip-4}(\%) = \frac{p_1 p_2 t - \frac{\pi}{4} (d_1^2 p_2 + d_2^2 p_1)}{p_1 p_2 t} \times 100 \quad (2.18)$$

3-D birim gözenek hücre modeli için gözenek yarıçapı birim gözenek hücresi (prizma) içinde yer alan gözenek hacmi R_{3-D} gözenek yarıçapına sahip bir silindirin hacmine eşit kabul edilerek hesaplanmıştır. Tip-1, Tip-2, Tip-3 ve Tip-4 3-D birim

gözenek hücresi modelleri için gözenek yarıçapı eşitlikleri sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$R_{3-D/Tip-1} = \sqrt{\frac{p_1 p_2}{\pi} - \frac{1}{4t} (d_1^2 \ell_1 + d_2^2 \ell_2)} \quad (2.19)$$

$$R_{3-D/Tip-2} = \sqrt{\frac{p_1 p_2}{\pi} - \frac{d_1^2 (\ell_1 + p_2)}{8t} - \frac{d_2^2 (\ell_2 + p_1)}{8t}} \quad (2.20)$$

$$R_{3-D/Tip-3} = \sqrt{\frac{p_1 p_2}{\pi} - \frac{1}{4t} (d_1^2 \ell_1 + d_2^2 p_1)} \quad (2.21)$$

$$R_{3-D/Tip-4} = \sqrt{\frac{p_1 p_2}{\pi} - \frac{1}{4t} (d_1^2 p_2 + d_2^2 p_1)} \quad (2.22)$$

2-D düzlemsel birim gözenek modellerinde olduğu gibi 3-D modellerde de gözeneklilik ve gözenek yarıçapı hem teorik dairesel iplik çapı (d_{yt}) hem deneysel ölçüm sonuçlarına göre hesaplanmıştır.

2.1.1.3.2 Eliptik iplik çapı varsayımı. 3-D birim gözenek hücrelerinin gözenek özellikleri ayrıca iplik çapı elips kabul edilerek hesaplanmıştır. Buna göre, üç boyutlu Tip-1, Tip-2, Tip-3 ve Tip-4 birim gözenek hücrelerinin gözeneklilikleri Pierce geometrisine göre sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$PV_{Tip-1}(\%) = \frac{p_1 p_2 t - (\pi \frac{a_2 b_2}{4} \ell_2) - (\pi \frac{a_1 b_1}{4} \ell_1)}{p_1 p_2 t} \times 100 \quad (2.23)$$

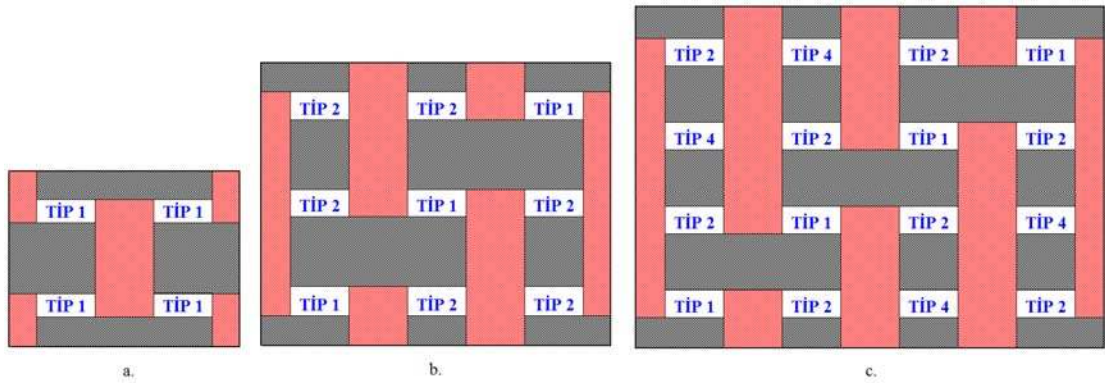
$$PV_{Tip-2}(\%) = \frac{p_1 p_2 t - (\pi \frac{a_2 b_2}{8} (p_1 + \ell_2)) - (\pi \frac{a_1 b_1}{8} (p_2 + \ell_1))}{p_1 p_2 t} \times 100 \quad (2.24)$$

$$PV_{Tip-3}(\%) = \frac{p_1 p_2 t - (\pi \frac{a_2 b_2}{4} p_1) - (\pi \frac{a_1 b_1}{4} \ell_1)}{p_1 p_2 t} \times 100 \quad (2.25)$$

$$PV_{Tip-4}(\%) = \frac{p_1 p_2 t - (\pi \frac{a_2 b_2}{4} p_1) - (\pi \frac{a_1 b_1}{4} p_2)}{p_1 p_2 t} \times 100 \quad (2.26)$$

2.1.1.4 Birim hücre modellerinden kumaşın gözenek özelliklerin elde edilmesi

Birim hücre modelinden hesaplanan gözeneklilik özellikleri belli bir örgü tipi için tanımlanırken örgü birim hücresinde yer alan gözenek birim hücre tiplerinin dağılımı göz önünde bulundurularak kumaşın gözenekliliği tanımlanmıştır. Buna göre, sadece Tip-1 gözenek birim hücresinden oluşan bezayağı örgünün gözeneklilik verileri birim hücre ile aynıyken, farklı tip birim hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşan 2/1 dimi ve 3/1 dimi kumaşların gözenek özellikleri birim gözenek hücrelerinin dağılımına göre belirlenmektedir. Şekil 2.7 örgü birimindeki birim gözenek hücre dağılımlarını göstermektedir. Çalışmada 2-D ve 3-D birim gözenek hücre modellerinin hem dairesel hem de eliptik çap yaklaşımına göre iplikler arası gözenek özellikleri hesaplandıktan sonra kumaşın örgü birimi içindeki birim gözenek hücresi dağılımı dikkate alınarak kumaşın ortalama alansal gözenekliliği (PA), ortalama hacimsel gözenekliliği (PV) ve ortalama gözenek yarıçapları (R_{2-D} , R_{3-D}) hesaplanmıştır.



Şekil 2.7 Örgü birimi birim gözenek tipi dağılımları: a. Bezayağı, b. 2/1 Dimi, c. 3/1 Dimi

$$PV_{Bezayağı} = PV_{Tip-1} \quad (2.27)$$

$$PV_{2/1 Dimi} = \frac{3PV_{Tip-1} + 6PV_{Tip-2}}{9} \quad (2.28)$$

$$PV_{3/1 Dimi} = \frac{4PV_{Tip-1} + 8PV_{Tip-2} + 4PV_{Tip-4}}{16} \quad (2.29)$$

2.1.2 Örgü birimi modelleri

Çalışmada kumaşın iplik çapı, kumaş sıklığı gibi kumaş parametreleri yanında örgü tipine bağlı olarak oluşan iplik geometrisinin kumaşın 3-D gözenek ve geçirgenlik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla örgü birimi modelleri oluşturulmuştur. Böylece, örgü birimindeki gözenek özellikleri birimlere ayrılmadan bir bütün olarak değerlendirilmiş ve ipliğin 3-D uzayda yaptığı harekete bağlı olarak 3-D kumaş yapısı elde edilmiştir. Örgü birim modelleri oluşturulurken ipliklerin kumaş içindeki yassılamaları dikkate alınmış ve iplikler elips enine kesitli, geçirimsiz monofilament yapılar olarak kabul edilerek iplikler arası gözenek özellikleri incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan bezayağı ve dimi kumaşların 3-D geometrik modelleri oluşturulurken öncelikle iplik merkez ekseninin kumaş içinde atlama ve kesişme bölgelerinde yaptığı hareket bir dikdörtgenler prizması içinde doğrusal olarak modellenmiştir. Daha sonra, kumaşın yapısal parametrelerine bağlı olarak çözümlenen doğrusal model, iplik merkez eksenini B-spline eğrileri ile elde etmek için kullanılarak 3-D iplik geometrisi modellenmiştir.

2.1.2.1 Spline eğrileri

Bilgisayar grafiklerinde bir nesnenin gösterimi genel olarak çizgilerin, eğrilerin ve yüzeylerin kombinasyonları ile tanımlanır. Bir noktanın gösterimi basit bir koordinat üçlüsü (x_1, y_1, z_1) ile yapılırken, bir çizgi oluşturmak için çizginin uç noktalarının koordinatları olan (x_1, y_1, z_1) ve (x_2, y_2, z_2) noktalarının bilinmesi gereklidir. Eğriler ve yüzeyler ise daha karmaşık matematiksel gösterimler ile tanımlanırlar (Roger, 2001). Eğri elde etmek için kullanılan matematiksel yöntemler şöyle gruplanabilir:

a) Polinomlar

- İnterpolasyon polinomları (Lagrange, Newton, Hermite vs.)
- Yaklaşık temsil polinomları (En küçük kareler, ortagonal vs.)

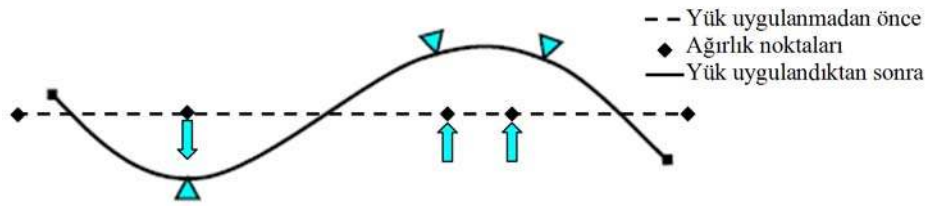
b) Spline (Tiriz) eğrileri

- İnterpolasyon spline eğrileri (Kübik spline eğrileri vs)
- Kontrol poligonu teknikleri (Bezier, B-Spline, NURBS eğrileri) (Sarıöz, 2006)

Polinom kullanılarak elde edilen eğrinin şekli ve özellikleri eğrilik derecesine bağlıdır. Örneğin n sayıda kıvrıma (salınıma) sahip bir eğri tanımlamak için $n+1$ derecedeki bir polinom tanımlanır. Polinomun derecesindeki artış noktalara daha yakın bir eğri oluşmasını sağlamakla birlikte, eğrinin daha az kontrollü olmasına neden olmaktadır. Polinom eğrilerin dezavantajları; polinom derecesindeki küçük değişimlerin eğrinin şeklinde büyük değişimlere neden olması, polinomların doğrusal kısımlı eğrilerin temsilinde başarısız olması ve polinom eğrilerinin global eğri olmaları, yani eğrinin herhangi bir noktasında yapılan değişikliğin tüm eğriyi etkilemesidir. Bilgisayar destekli tasarımlarda eğrilerden beklenen üç özellik; C^2 sürekliliği, interpolasyon (ara değer ekleme) ve lokal kontrol olanağı sağlaması, yani bir kontrol noktasının yapılan değişiminin eğriyi sadece o bölgede etkilemesidir. Bilgisayar destekli tasarımda polinom eğrileri bu özellikleri tam olarak karşılayamadığından spline eğrileri ön plana çıkmıştır (Turan, 2007).

Spline eğrilerinin en büyük avantajı polinomlar gibi global eğri olmamalarıdır. Spline eğrilerinde, polinomlardaki gibi tek bir matematiksel ifade yerine, eğriyi kontrol noktaları arasında farklı matematiksel ifadelerle temsil etme yoluna gidilmiştir. Bir spline herhangi bir grup fonksiyonun uç uca eklenmesinden meydana getirilebilir. Dolayısıyla eğrinin herhangi bir noktasında yapılan değişiklik, eğriyi sadece değişiklik yapılan bölgede lokal olarak etkileyecektir (Sarıöz, 2006). Spline eğrilerinin sağladığı bu avantajla modeldeki sadece hatalı nokta değiştirilerek, eğrinin özelliklerinin bu değişiklikten etkilenmemesi sağlanabilir. Ayrıca eğrinin pek çok matematiksel ifadelerin birleşmesi ile oluşması eğriye fazladan esneklik kazandırmaktadır. Spline eğrileri bu özellikleriyle, son yıllarda bilgisayar destekli gemi, uçak, otomobil dizaynı alanlarında başta olmak üzere tekstilde dokuma ve örme kumaş yapılarının modellenmesinde en çok tercih edilen yöntem olmuştur.

2.1.2.1.1 Spline eğrilerinin temel prensibi. Spline fiziksel olarak belirli noktalarından düzgün bir eğri geçen metal, plastik veya tahtadan yapılmış ince elastik bir kiriş olarak düşünülebilir. Eğrinin takip etmesi istenen noktalarda kiriş ağırlıklarla sabitlenerek bu noktalardan geçen düzgün ve esnek bir eğrinin oluşması sağlanır. Eğrinin düzgünlüğü temel olarak kirişin yapıldığı malzemenin özelliklerine ve ağırlıkların konumlarına bağlıdır. Herhangi bir yük uygulanmadığı zaman kiriş (spline) doğrusalken, ağırlıklarla istenilen konuma getirilen kiriş Şekil 2.8’de gösterildiği gibi eğrisel bir şekil alır (Sarıöz, 2006).



Şekil 2.8 Spline'nın yük uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonraki durumu

Ağırlık ve spline sistemi, mesnetlenmiş ince elastik bir kiriş olarak düşünülerek fiziksel spline'ın kiriş boyunca eğilme momenti basit destekli kirişin elastik davranışını açıklayan Euler denkleminden bulunabilir (Eşitlik 2.30). Eşitlikte kirişin eğrilik yarıçapı ($R(x)$) kiriş boyunca eğilme momenti ($M(x)$), kiriş malzemesinin özelliğine göre belirlenen Young'ın elastisite modülü (E) ve kirişin enine kesit şekline bağlı atalet momenti (I) ile tanımlanmıştır.

$$\frac{1}{R(x)} = \frac{M(x)}{EI} \quad (2.30)$$

Küçük deformasyonlar için ($y' \ll 1$) eğrilik yarıçapı $R(x)$ Eşitlik 2.31 ile tanımlanmıştır. x kiriş boyunca uzaklık, y kirişin deformasyon (çökme) miktarıdır. y'' matematiksel spline eğrisinin ikinci türevini göstermektedir (Eşitlik 2.33).

$$R(x) = \frac{1}{y''(x)} \quad (2.31)$$

$$y(x)'' = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (2.32)$$

$$y''(x) = \frac{M(x)}{EI} \quad (2.33)$$

Ağırlıkların basit mesnetler olduğu varsayıldığında eğilme momentinin ağırlıklar arasındaki değişimi $M(x)=Ax+B$ şeklinde doğrusal olmaktadır. Buna göre Euler eşitliği Eşitlik 2.34’de gösterildiği gibi ifade edilmekte ve bu ifadenin iki kez integrasyonu ile çökme ifadesi (y) elde edilmektedir. Sonuç olarak kirişin çökme miktarının lineer kiriş teorisinin sınırları içinde kalacak kadar küçük olduğu kabul edildiğinde, y çökmesinin Eşitlik 2.35’deki gibi kübik polinomlar ile temsil edilebileceği görülmektedir. $y(x)$ fonksiyonunun 1. ve 2. türevleri x_i ($i=1,2,\dots,n-1$) düğümlerinde süreklidir. $y(x)$ her bir $[x_{i-1},x_i]$ ($i=0,1,2,3,\dots,n$) aralığı için 3. dereceden bir polinomdur.

$$y(x)'' = \frac{Ax + B}{EI} \quad (2.34)$$

$$y(x) = A_1 x^3 + B_1 x^2 + C_1 x + D_1 \quad (2.35)$$

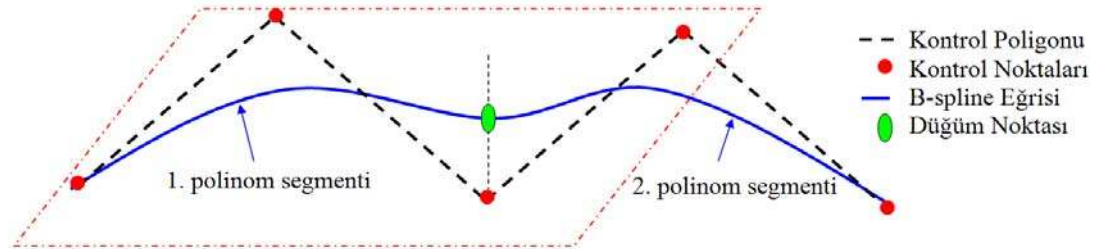
Spline eğrileri genel olarak interpolasyon ve kontrol poligonu tekniklerinin kullanıldığı eğriler olarak iki kategoride sınıflandırılmaktadır. Kontrol noktaları bu iki yöntemden biri ile spline eğrisine uydurulmaktadır (Sarıöz, 2006). İnterpolasyon (ara değer kestirimi) yönteminde eğri her bir kontrol noktasından geçmekte ve interpolasyon ile iki nokta arasında yeni noktalar elde edilerek eğri şekillenmektedir (örn. kübik spline eğrileri). Yaklaşırma olarak adlandırılan ikinci yöntemde ise eğri kontrol noktaları içinden geçmemekte, fakat onlara çok yakın geçecek şekilde elde edilmektedir. İkinci grupta Bezier, “B-spline” ve NURBS eğrileri görülmektedir. İnterpolasyon eğrileri genelde sayısallaştırma için, yaklaşırma eğrileri dizayn yöntemi için kullanılmaktadır (Demiröz, 1998).

B-spline eğrileri lokal kontrol, eğrinin derecesinin kontrolü gibi diğer spline eğrilerinden daha üstün özelliklere sahip olduğu için pek çok bilgisayar destekli

tasarım çalışmalarında B-spline yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada da kumaşı oluşturan çözgü ve atkı ipliklerinin izledikleri yolu, bir diğer ifadeyle iplik merkez eksen eğrisini yaklaşık olarak belirlemek amacı ile “B-spline” yöntemi kullanılmıştır.

2.1.2.1.2 B-Spline eğrilerinin özellikleri. Tam adı “Basis Spline” olan “B-Spline” eğrilerinin teorisi ilk olarak Schoenberg (1946) tarafından önerilmiş, bilgisayar destekli geometrik tasarım alanında ise ilk uygulamalar Gordon ve Riesenfeld (1974) tarafından yapılmıştır. Parçalı polinom eğrilerini ifade etmek için geliştirilmiş B-Spline eğrilerinin elde edilmesi için öncelikle kontrol noktaları, eğri mertebesi (order) ve düğüm sırası özelliklerinin tanımlanması gerekir (Sarıöz, 2006).

Kontrol noktaları B-spline eğrilerini ve yüzeylerini tanımlamak için verilen köşe noktalarıdır. Kontrol noktalarının sayısı $n+1$ 'dir. Komşu kontrol noktalarının düz çizgilerle birleşmesiyle *kontrol poligonu* oluşturulur. Genel olarak eğri kontrol noktalarından geçmez, fakat kontrol noktaları eğrinin kontrol poligonunun şeklini takip etmesini sağlayarak bu sınırlar içinde karakteristik ve düzgün bir eğri oluşmasını sağlar (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 B-Spline eğrisi ve kontrol poligonu

B-Spline eğrisi mertebesi (k) eğrinin derecesinin bir fazlasıdır. Örneğin, üçüncü dereceden bir kübik eğrinin mertebesi $k=4$ 'tür. Eğrinin mertebesi, eğrinin kontrol poligonunu ne kadar yakından takip edeceğini belirler. Eğrinin mertebesi düştükçe, oluşturulan eğri kontrol poligonuna daha yakın geçmekte, arttığı durumda ise giderek uzaklaşmaktadır. Eğrinin alacağı mertebe değeri (k) minimum 2'dir ve bu kontrol poligonuna eşdeğer birinci dereceden bir eğridir. Maksimum mertebe değeri ise kontrol noktası sayısı $(n+1)$ kadar olabilmektedir. Genellikle eğrinin mertebesi $4 \leq k \leq 6$ aralığında seçilir.

Genelde B-Spline eğrisi en az bir ya da daha çok polinom segmentinin birleşmesinden oluşmaktadır. Her bir segment eğrinin mertebesi kadar sayıda kontrol noktasıyla şekillenir. Örneğin beş kontrol noktası ile çizilmiş $k=4$. mertebeden, dolayısı ile $k-1=3$. derece bir B-Spline eğrisinin 1., 2., 3., 4. kontrol noktaları eğrinin 1. segmentini; 2., 3., 4., 5. kontrol noktaları ise eğrinin 2. segmentini etkilemektedir (Şekil 2.9). Eğri 4. mertebeden bir eğri olduğundan, her polinom segmentini sadece dört kontrol noktası etkilemektedir. 1.segment üzerinde 5. kontrol noktasının hiç bir etkisi yoktur. Kontrol noktası sayısının artması ise artışla orantılı olarak eğriye fazladan bir segment kazandıracaktır.

B-Spline eğrisini oluşturan polinom parçalarının *düğüm* (knot) olarak adlandırılan birleşme noktalarında sürekli olması istenir. İstenen süreklilik değeri eğrinin mertebesi ile ilişkilidir. Azami süreklilik değeri $k-2$ eşitliğinden elde edilir. Buna göre kübik eğrileri bilgisayar çizimlerinde istenen ikinci derece (C^2) sürekliliğe sahiptir.

Her B-Spline eğrisi için *düğüm sırası* eğrinin parametre aralığını ve polinom segmentlerinin sürekliliğini gösteren bir düğüm vektörü ($[X]$) ile tanımlanır. B-Spline eğrisinin kaç polinom segmentinden oluşacağı düğüm vektörü tarafından belirlenir. Düğüm vektörünün elemanları, $t_{\min}$ ile $t_{\max}$ arasında artan t parametre değerleridir. $n+1$ kontrol noktalarının sayısı, k eğrinin mertebesi olmak üzere düğüm vektörü $n+1+k$ sayıda elemana sahiptir. t parametresi ise “B-Spline” eğrisinin tipine bağlı olarak belirlenir. Düğüm vektörü Eşitlik 2.36’deki gibi ifade edilir (Sarıöz, 2006).

$$[X] = [(t_{\min} = t_1) (t_2) \dots (t_{n+k}) (t_{\max} = t_{n+1+k})] \quad (2.36)$$

Eğride bulunabilecek köşe ve dönme noktalarının temsil edilebilmesi için düğüm vektörü elemanlarının tekrar edilmesi gerekmektedir. “B-Spline” eğrilerinin bu özelliği, kontrol poligonunun uç noktalarının interpolasyonu için kullanılmaktadır. Düğüm vektörünün ilk ve son elemanlarının eğrinin mertebesi (k) kadar tekrar

edilmesiyle “B-Spline” eğrisinin kontrol poligonunun ilk ve son noktalarından geçmesi sağlanır (ör. $X = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2]$, $k=3$).

“B-Spline” eğrileri kullanılan düğüm vektörünün tipine göre: açık üniform B-Spline eğrileri, açık non-üniform B-Spline eğrileri ve açık/kapalı periyodik “B-Spline” eğrileri olmak üzere sınıflandırılır. Bir “B-Spline” eğrisinin üniform veya non-üniform bir eğri olup olmadığı düğüm vektörünü oluşturan parametre değerlerinin eşit aralıklı olup olmamasına bağlıdır. Modelimizde iplik merkez eksenini oluşturacak eğri için en uygun “B-Spline” eğrisi Açık-Non-Uniform “B-Spline” eğrileridir. Bu vektör eşit aralıklı olarak artmayan ve tekrar edilebilen parametre değerlerine sahiptir. Açık non-üniform düğüm vektörünün elemanları, kontrol noktaları arasındaki yay uzunluğu ile orantılı olacak şekilde aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir. Eşitlikte B_i kontrol noktalarının koordinatlarını göstermektedir. Bu hesaplamalar ile düğüm vektörünün elemanları belirlenir.

$$c_i = |B_{i+1} - B_i| \quad (2.37)$$

$$x_i = 0 \quad 1 \leq i \leq k \quad (2.38)$$

$$x_{i+k} = \frac{\left[\frac{i}{(n-k+2)} \right] c_{i+1} + \sum_{j=1}^i c_j}{\sum_{i=1}^n c_i} (n-k+2) \quad 1 \leq i \leq n-k+1 \quad (2.39)$$

$$x_i = n-k+2 \quad n+2 \leq i \leq n+k+1 \quad (2.40)$$

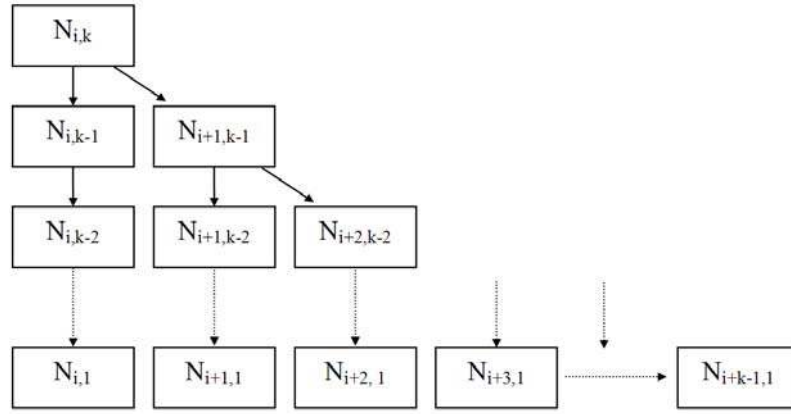
2.1.2.1.3 “B-Spline” eğrilerinin matematiksel eşitliği. B-Spline eğrilerini tanımlamak için kullanılan “B-Spline temel fonksiyonlarının” matematiksel ifadesi Cox (1971) ve de Boor (1972) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir;

$$N_{i,1}(t) = \begin{cases} 1 & x_i \leq t \leq x_{i+1} \\ 0 & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$N_{i,k}(t) = \frac{(t - x_i)}{x_{i+k-1} - x_i} N_{i,k-1}(t) + \frac{(x_{i+k} - t)}{x_{i+k} - x_{i+1}} N_{i+1,k-1}(t) \quad 1 \leq i \leq n+1 \quad (2.41)$$

Eşitlik 2.41’de k eğrinin mertebesi, $N_{i,k}$ mertebesi k olan i . normalleştirilmiş B-spline temel fonksiyonu, t $P(t)$ B-spline eğrisi boyunca t_{min} ve t_{max} arasında değişen eğri parametresi, x_i düğüm vektörünün elemanları, $n+1$ kontrol noktalarının sayısı, B_i i . kontrol noktası koordinatlarıdır. Polinom eğrisinin derecesi mertebesinin bir eksiğidir $(k-1)$ ve bu matematiksel tanım için $0/0 \equiv 0$ kabulü yapılmıştır.

Yukarıda verilen Cox-de Boor formülasyonundan görüldüğü gibi k . mertebeden bir temel fonksiyonun hesabı için birinci mertebe dahil olmak üzere k ’dan düşük mertebede tüm temel fonksiyonların hesaplanması gerekmektedir. “B-Spline” temel fonksiyonlarının birbirleriyle olan ilişkisi Şekil 2.10’da görülmektedir.



Şekil 2.10 $N_{i,k}$ temel fonksiyonunun hesabı için gereken diğer temel fonksiyonlar

B-Spline eğrilerinin $(P(t))$ matematiksel ifadesi Eşitlik 2.42 verilmiştir. $P(t)$ B-Spline” eğrisi her bir $x_i \leq t < x_{i+1}$ aralığında $(k-1)$. dereceden sürekli bir eğridir ve 1., 2., ..., $(k-2)$. türevleri de eğri boyunca sürekli (C^{k-2}). Tüm kontrol noktalarının ve temel fonksiyonlarının lineer kombinasyonu sonucu oluşan bir eğri olan “B-Spline” eğrilerinin tüm diğer yöntemlere göre üstünlüğü, bir eğrinin alabileceği olası tüm şekillerin tek bir matematiksel ifade ile temsil edebilmesidir.

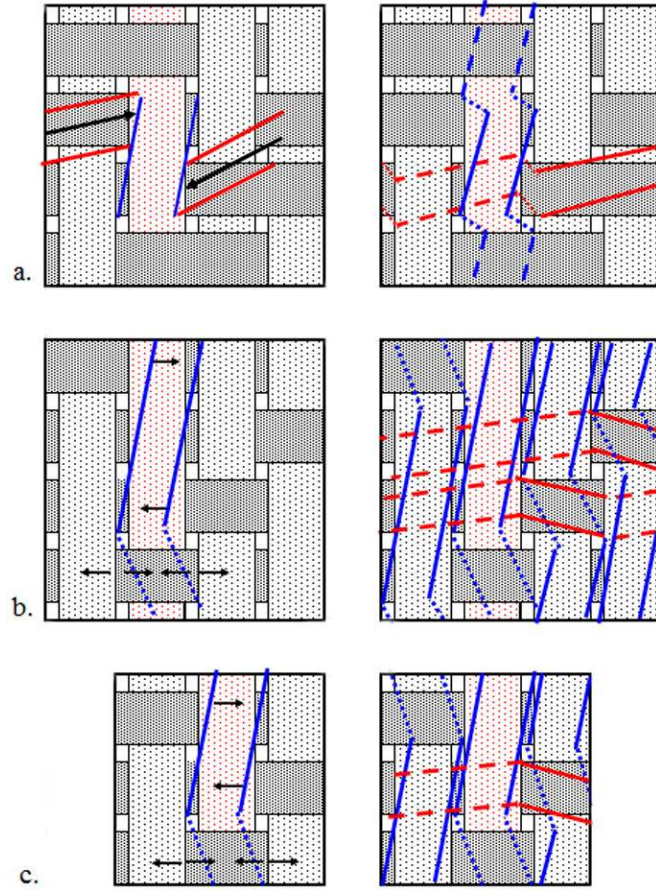
$$P(t) = \sum_{i=1}^{n+1} B_i N_{i,k}(t) \quad t_{min} \leq t \leq t_{max}, \quad 2 \leq k \leq n+1 \quad (2.42)$$

B-Spline eğrilerinde her bir kontrol noktası sadece ilgili temel fonksiyonun sıfır olamadığı değer aralığında eğrinin şeklini etkiler. Bu özellik “B-Spline” eğrilerini global olmamasını sağlar. Her kontrol noktası için farklı bir temel fonksiyon tanımlandığından, eğride yapılması istenen değişiklikler eğriyi lokal olarak etkilemektedir. Eğrinin polinom segmentleri, mertbe sayısı kadar ardışık kontrol noktasından etkilenmektedir ve o segment üzerinde diğer kontrol noktalarının hiç bir etkisi bulunmamaktadır. B-Spline eğrilerinin en önemli özelliklerinden birisi de kontrol noktasının tekrar etmesiyle eğrinin istenilen kontrol noktasına yaklaştırılabilmesidir. Bir poligon noktasının $(k-1)$ kere tekrar edilmesi B-spline eğrisinin o poligon noktasından geçmesini sağlayacaktır.

Düğüm vektörleri, “B-Spline” temel fonksiyonlarının tipi, temel fonksiyonunun mertebesi, kontrol noktalarının sayısı ve konumu, tekrarlanan kontrol noktaları, tekrarlanan parametre değerleri “B-Spline” eğrilerinde eğrinin formunu kontrol etmeye yarayan özelliklerdir. Bu kontrol özellikleri sayesinde “B-Spline” eğrileri diğer matematiksel fonksiyonlarından daha üstün hale gelmiştir.

2.1.2.2 Dimi örgü modelleri

Dimi örgüler farklı uzunlukta atkı ve çözgü atlamalarının kumaşa göre çapraz yönde yan yana dizilmeleri ile oluşan kumaş yapılarıdır. Kumaş yüzeyinde diyagonal çizgiler oluşturan atlamalar bu yönde kumaşın esnekliğini artırır. Ağır gramajlı ve sağlam kumaşların yapımında kullanılan dimi örgüler, özellikle giysilik kumaşlar olmak üzere çadır, branda, taşıyıcı bez vs. gibi pek çok teknik tekstil alanında da kullanılmaktadır. Bu örgülerin karakteristik özelliği atkı ve çözgü atlamalarının düz bir doğru boyunca hareket etmemesi ve birbirleriyle açı yapmasıdır. Bu durum Iyer ve ark. (1964) tarafından eğiklik olarak adlandırılmıştır. İplik uzun atlama bölgesinde diğer ipliklerin uyguladıkları kuvvetlerden dolayı eğilirken, kesişme hareketi sırasında ise aksi yönde eğilerek başlangıç durumuna dönmektedir (Şekil 2.11). Böylece dimi örgüler için dengeli kumaş geometrisi oluşmaktadır.

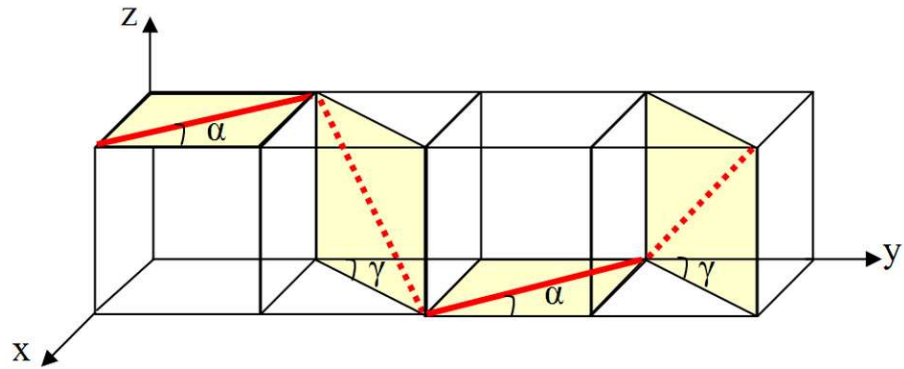


Şekil 2.11 Dimi örgülerde eğikliğin oluşumu: a. 2/2 dimi, b. 2/1 dimi, c. 3/1 dimi

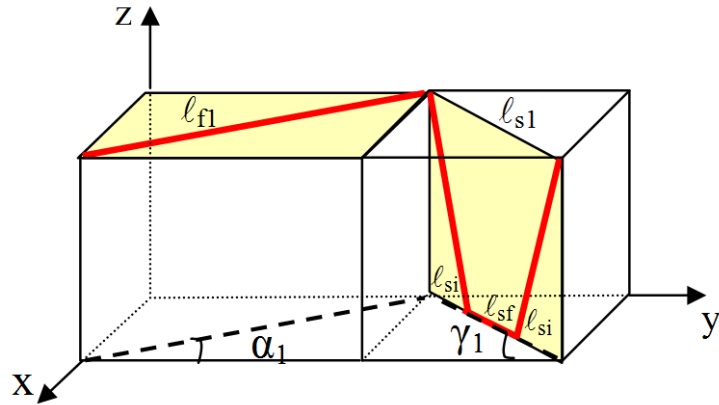
2/2 dimi gibi kumaşın üstünde ve arkasında simetrik atlama yapan örgülerde ipliğin atlama ve kesişme bölgelerinin yaptıkları hareket Turan ve Başer (2010) tarafından Şekil 2.12’de gösterildiği gibi doğrusal olarak modellenmiştir. Bu çalışmada kullanılan 2/1 dimi ve 3/1 dimi gibi simetrik olmayan atlamaların oluşturduğu dimi kumaşlar için iplik merkez ekseninin izlediği yol ise Şekil 2.13’de görülen dikdörtgen prizma içinde doğrusal olarak modellenmiştir. Şekil 2.13’de görülen dikdörtgen prizma *kontrol prizması*, atlama ve kesişme doğru parçalarının oluşturduğu doğrusal iplik merkez eksen modelini ise *kontrol poligonu* olarak adlandırılmıştır. 2/1 ve 3/1 dimi kumaşların örgü birimi boyunca, uzun atlama bölgesinde eğilerek açı yapan iplik, daha sonraki hareketlerde tekrar atlama pozisyonuna gelene kadar ters yönde açı yaparak başlangıçtaki pozisyonunu almaktadır. Modelde karşıt durumdaki ikiden fazla ipliğin üstünden geçen uzun atlama bölgesi iplik merkez ekseninin *atlama doğru parçası* (ℓ_{fl}) olarak

adlandırılmıştır. Geri dönme hareketini yapan iplik bölgeleri ise kısaca *kesişme doğru parçaları* olarak adlandırılmış ve xy düzlemine izdüşümü ℓ_{s1} ile tanımlanmıştır. Kesişme doğru parçaları iki yer değiştirme ve bir kısa atlama doğrusundan oluşmuştur (Eşitlik 2.43). Sırasıyla ℓ_{si1} ve ℓ_{sf1} ile gösterilen yer değiştirme ve kısa atlama doğru parçalarının xy düzlemine izdüşümleri birbirlerine eşit kabul edilmiştir.

$$\ell_{s1} = 2\ell_{si1} + \ell_{sf1} \quad ; \quad \ell_{si1} = \ell_{sf1} \quad (2.43)$$



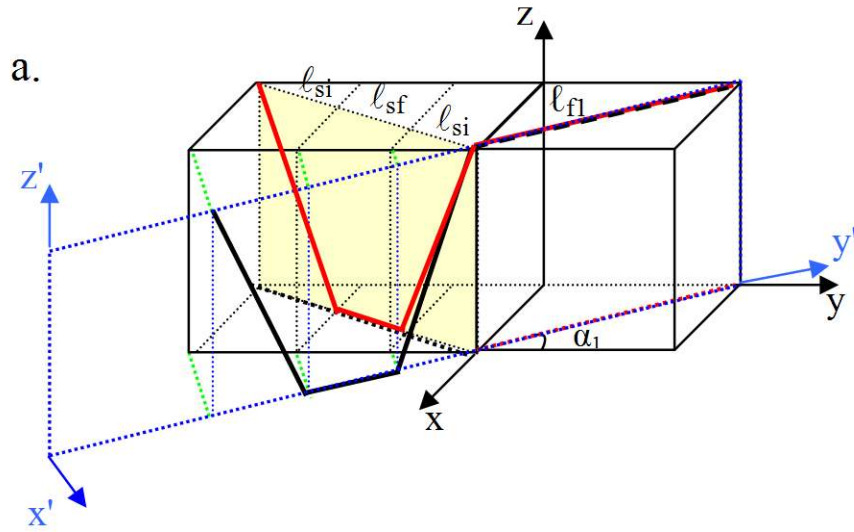
Şekil 2.12 Simetrik atlamalı 2/2 dimi örgüde iplik merkez ekseninin doğrusal modeli (Turan ve Başer, 2010)



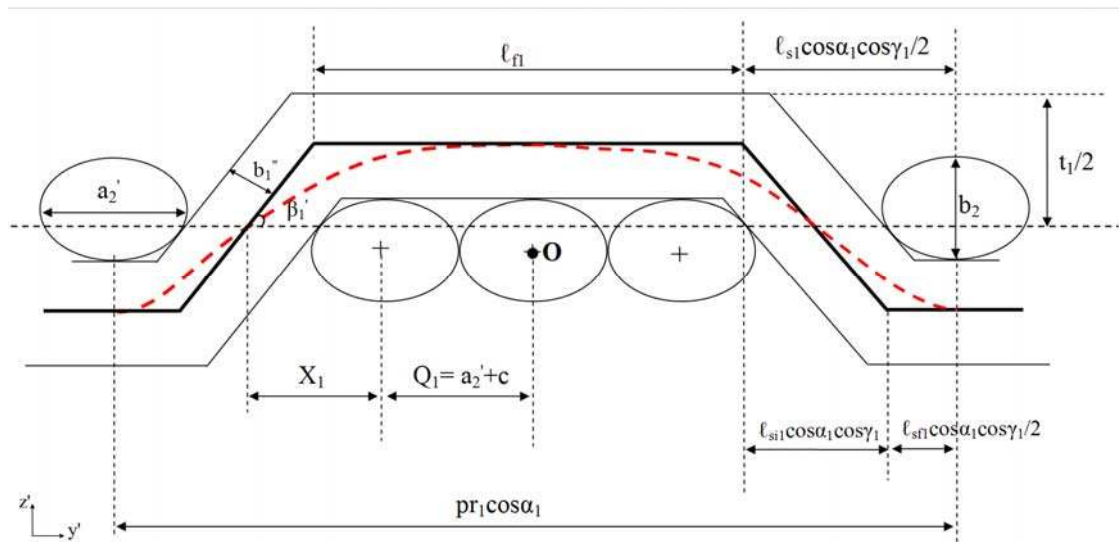
Şekil 2.13 2/1 ve 3/1 dimi örgüde iplik merkez ekseninin doğrusal modeli

Üç boyutlu uzayda doğrusal olarak modellenen iplik merkez ekseninin geometrisinin kumaş parametrelerine bağlı olarak çözümlenebilmesi amacıyla

modelin xyz uzayında farklı düzlemlere izdüşümleri incelenerek uzunluklar tanımlanmıştır. Şekil 2.13’de oluşturulan modele göre, dimi örgülerde atlama ve kesişme doğru parçaları farklı düzlemlerde yer almaktadır. Atlama ve kesişme doğrularının izdüşümlerini birlikte aynı düzlemde incelemek amacıyla y eksenini z eksenine etrafında eğiklik açısı (α) kadar döndürülerek $x'y'z'$ uzayı oluşturulmuş ve 3-D kontrol poligonunun $y'z'$ düzlemine izdüşümü incelenmiştir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Kontrol poligonunun $y'z'$ düzlemine taşınması



Şekil 2.15 $y'z'$ düzleminde 3/1 dimi örgünün 2-D kumaş geometrisi modeli

$$pr_1 = \frac{3}{S_2} = \ell_{f1} \cos \alpha_1 + \ell_{s1} \cos \gamma_1 \quad (2.45)$$

$$pr_1 = \frac{4}{S_2} = \ell_{f1} \cos \alpha_1 + \ell_{s1} \cos \gamma_1 \quad (2.46)$$

Formülde verilen α açısı atlama hareketi sırasında uygulanan kuvvetlerden dolayı oluşan eğilme açısıdır. Çalışmada çözgü ve atkı eğilme açıları kumaş görüntüleri üzerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilmiş ve modelde girdi olarak kullanılmıştır. Atlama ve kesişme doğru parçalarının xyz ve x'y'z' uzaylarındaki izdüşümleri Şekil 2.17'de ayrıntılı olarak incelenerek örgü birimini oluşturan doğru parçalarının uzunlukları ile ilgili bağıntılar kurulmuştur.

Geri dönüş açısı olarak adlandırılan γ açısının kumaş fotoğrafları kullanarak ölçülmesi mümkün olmadığından γ açısı Şekil 2.17'de gösterilen atlama ve kesişme doğru parçalarının uzunlukları (ℓ_{f1} , ℓ_{s1}) ve eğiklik açısı (α) açısı arasında bağıntı kurularak tanımlanmıştır (Eşitlik 2.47, Eşitlik 2.48).

$$\sin \gamma_1 = \frac{\ell_{f1} \sin \alpha_1}{\ell_{s1}} \quad (2.47)$$

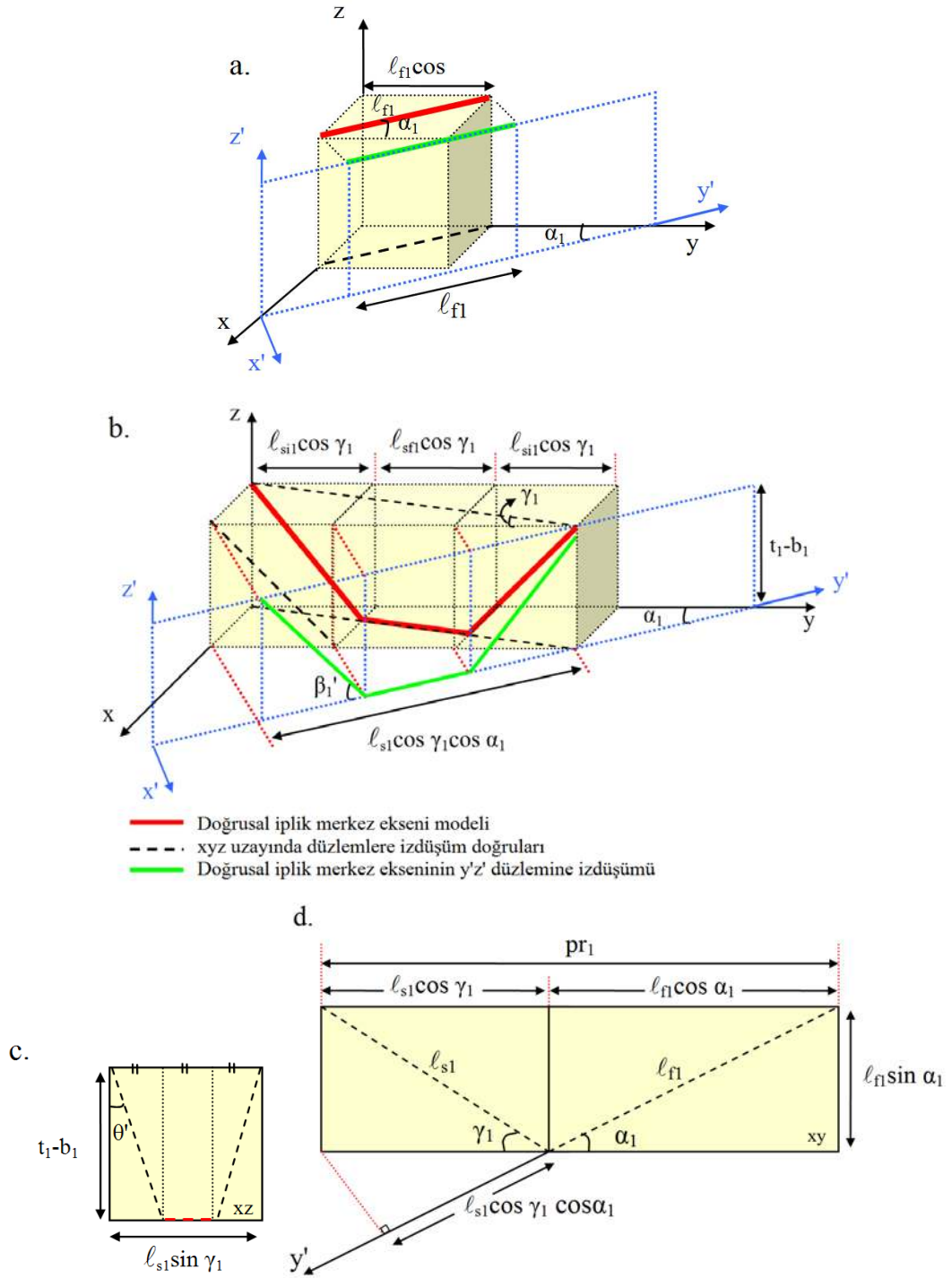
$$\cos \gamma_1 = \frac{\sqrt{\ell_{s1}^2 - \ell_{f1}^2 \sin^2 \alpha_1}}{\ell_{s1}} \quad (2.48)$$

Kesişme doğru parçalarının xy düzlemine izdüşüm uzunluğu (ℓ_{s1}) örgü birimi genişliği (pr_1), atlama uzunluğu (ℓ_{f1}) ve eğiklik açısına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikler ile tanımlanmıştır.

$$pr_1 = \ell_{f1} \cos \alpha_1 + \sqrt{\ell_{s1}^2 - \ell_{f1}^2 \sin^2 \alpha_1} \quad (2.49)$$

$$\sqrt{\ell_{s1}^2 - \ell_{f1}^2 \sin^2 \alpha_1} = pr_1 - \ell_{f1} \cos \alpha_1 \quad (2.50)$$

$$\ell_{s1} = \sqrt{(pr_1 - \ell_{f1} \cos \alpha_1)^2 + (\ell_{f1} \sin \alpha_1)^2} \quad (2.51)$$



Şekil 2.17 a. Atlama doğru parçasının y'z' düzlemine izdüşümü, b. Kesişme doğru parçalarının y'z' düzlemine izdüşümü, c. Kesişme doğru parçalarının xz düzlemine izdüşümü, d. Atlama ve kesişme doğru parçalarının xy düzlemine izdüşümü

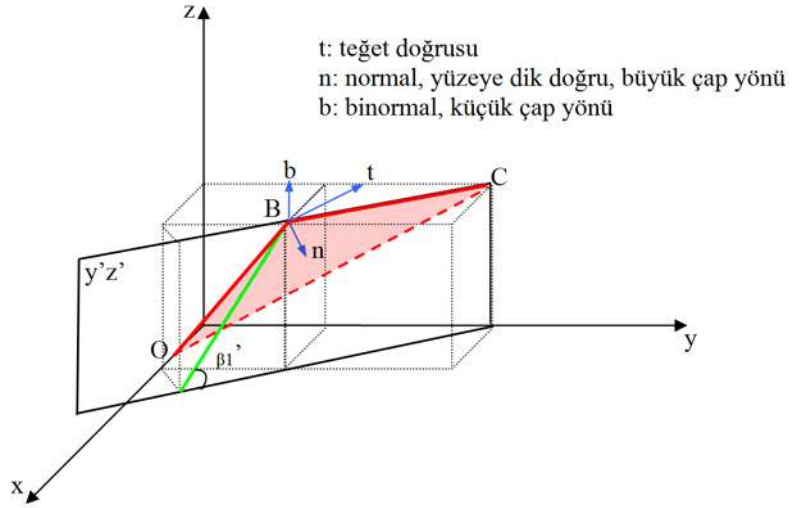
Şekil 2.15'te y'z' düzleminde gösterilen 2-D kumaş geometrik modelin tanımlanması için yer değiştirme doğru parçası iplik çapının bu düzlemdeki izdüşüm uzunluğunun (b_1'') ve bu doğrunun yatayla yaptığı açının (β_1') tanımlanması

gerekmektedir. Şekil 2.17'den yararlanılarak β_1' açısı Eşitlik 2.52 ile tanımlanmıştır. $\tan\beta_1'$ eşitliği ayrıca yer değiştirme doğrusunun eğimini ifade etmektedir.

$$\tan \beta_1' = \frac{t_1 - b_1}{\ell_{sil} \cos \gamma_1 \cos \alpha_1} \quad (2.52)$$

b_1'' değerinin bulunabilmesi için yer değiştirme doğru parçası (ℓ_{sil}) ile atlama doğru parçasının (ℓ_{fl}) oluşturduğu düzlem ile y'z' düzlemi arasındaki açının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla bir grup geometrik çözümleme gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.18'de bu iki düzlemin birbirlerine göre durumları gösterilmiştir. Çözümlü ipliği yer değiştirme doğru parçasında büyük çap ipliğin atlama bölümüyle yer değiştirme bölümünün oluşturduğu düzleme başlangıç noktasında (B) dik, küçük çap ise bu düzlem içinde başlangıç noktasında iplik orta eksenine dik konumdadır. Bir başka deyişle diferansiyel geometri terminolojisine göre Şekil 2.18'de gösterilen OBC oskülatör düzleminde büyük çap normal doğrultuda, küçük çap binormal doğrultudadır.

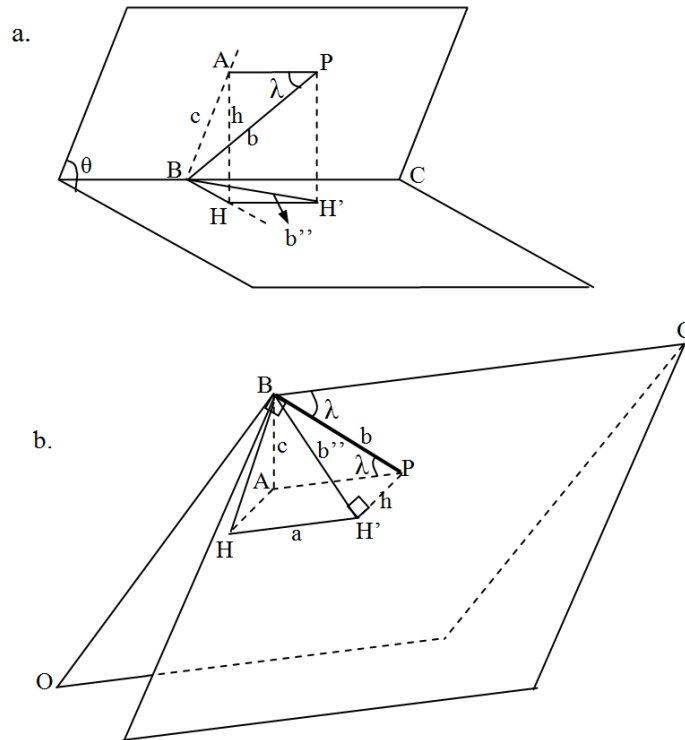
Birbirleri ile açı yapan iki düzlemden birinin üzerindeki bir uzunluğun diğer düzlemdeki izdüşüm değerinin bulunması için izlenen geometrik çözümleme Şekil 2.19'dan yararlanılarak yapılmıştır. $\overline{BH'}$ (b'') uzunluğu $\overline{BP}$ (b) doğru parçasının izdüşüm uzunluğudur. $\lambda+90^\circ$ atlama ve yer değiştirme doğru parçaları arasındaki açı, θ ise iki düzlem arasındaki açı olmak üzere b'' , Eşitlik 2.54'de tanımlanmıştır (Turan, 2007).



Şekil 2.18 İki düzlem arasındaki ilişki

$$\overline{BA} = c = b \sin \lambda; \quad \overline{PA} = a = b \cos \lambda; \quad \overline{AH} = h = c \sin \theta \quad (2.53)$$

$$b'' = \overline{BH'} = \sqrt{b^2 - h^2} = \sqrt{b^2 - b^2 \sin^2 \lambda \sin^2 \theta} = b \sqrt{1 - \sin^2 \lambda \sin^2 \theta} \quad (2.54)$$



Şekil 2.19 b çapının y'z' düzlemindeki izdüşümü uzunluğunun (b'') çözülmesi (Turan, 2007)

λ açısı Şekil 2.20’de gösterilen yer değiştirme ve atlama vektörleri tanımlanarak kosinüs teoremi yardımıyla hesaplanmıştır (Eşitlik 2.57). OBC oskülatör düzlemi ve y'z' düzlemi arasındaki açı olan θ açısı, yer değiştirme doğrusunun z eksenin ile yaptığı açıya eşittir ve Şekil 2.20’de gösterildiği gibi Eşitlik 2.58 ile tanımlanmıştır.

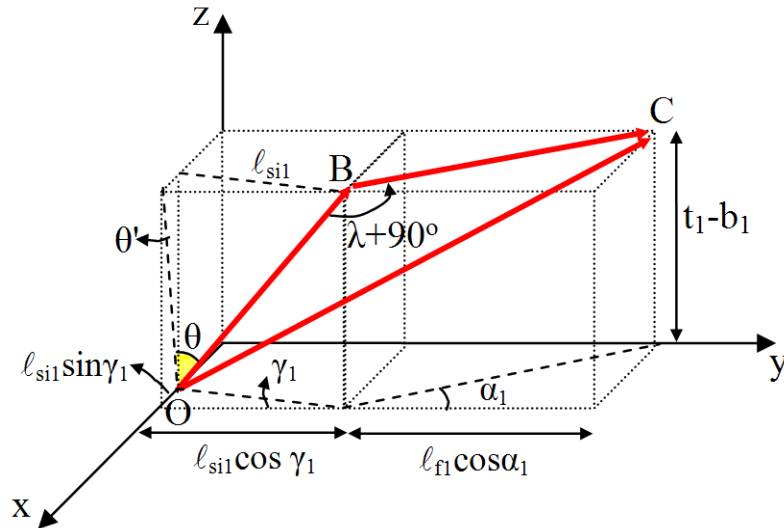
$$\text{Yer değiştirme vektörü: } \overrightarrow{OB} : (\ell_{si1} \sin \gamma_1)i + (\ell_{si1} \cos \gamma_1)j + (t_1 - b_1)k \quad (2.55)$$

$$\text{Atlama vektörü: } \overrightarrow{BC} : -(\ell_{si1} \sin \gamma_1)i + (\ell_{f1} \cos \alpha_1)j \quad (2.56)$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} + \lambda\right) = \frac{\overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{BC}}{|\overrightarrow{OB}| |\overrightarrow{BC}|} = \quad (2.57)$$

$$\frac{(\ell_{si1} \cos \gamma_1 \ell_{f1} \cos \alpha_1) - (\ell_{si1} \sin \gamma_1)^2}{\sqrt{(\ell_{si1} \sin \gamma_1)^2 + (\ell_{si1} \cos \gamma_1)^2 + (t_1 - b_1)^2} \times \sqrt{(\ell_{si1} \sin \gamma_1)^2 + (\ell_{f1} \cos \alpha_1)^2}}$$

$$\tan \theta = \frac{\ell_{si1}}{t_1 - b_1} \quad (2.58)$$

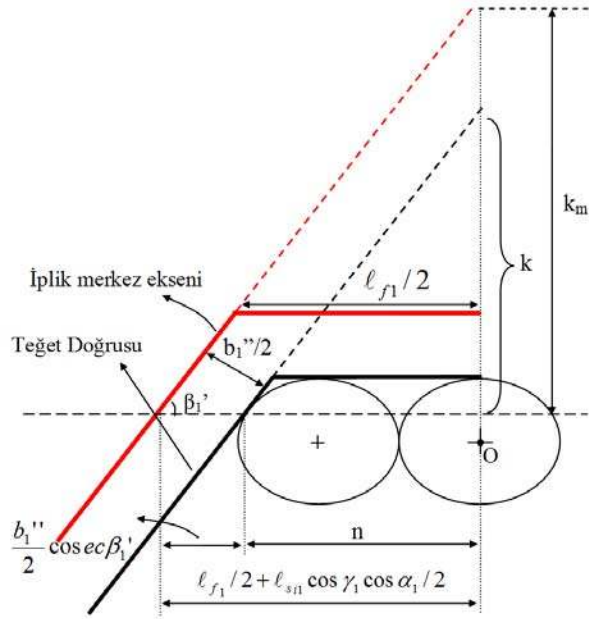


Şekil 2.20 Atlama ve yer değiştirme vektörleri

Tüm bu eşitlikler sonucu doğrusal modeli tanımlarken kullanılan açı ve uzunluk değerlerinin birbirleri ile ve sıklık, iplik çapı gibi kumaş parametreleri ile ilişkisi tanımlanmıştır. Modelin matematiksel olarak çözümlenmesi amacıyla modelin

temelini oluşturan en uygun ℓ_f atlama uzunluğunun değerinin bulunması ve diğer parametrelerin de buna göre belirlenmesi hedeflenmiştir. Şekil 2.15'te görülen y'z' düzlemindeki 2-D kumaş geometrisinde atlama bölgesinde atkı ipliklerinin birbiri ile temas ettiği, atkı ipliklerinin tepe noktalarının atlama doğru parçası ile temas ettiği ve yer değiştirme doğru parçasının atkı ipliğine teğet olduğu kabul edilmiştir. 2-D iplik geometrisini sağlayacak en uygun ℓ_f uzunluğu araştırmak amacıyla; eğiklik açısı, kumaş kalınlığı, iplik numarası ve kumaş sıklığı bilinen bir kumaş için ℓ_f belirli minimum ve maksimum değerler arasında değiştirilirken yer değiştirme doğru parçasının pozisyonu gözlenmiştir. Yer değiştirme doğrusunun bir noktada atkı ipliğine değmesi istenmektedir. Teğetlik koşulunun sağlanması için elips ve doğru eşitlikleri yazılarak buradan doğrunun elipse göre durumu determinantın hesaplanarak incelenmesi ile bulunmuştur.

2-D kumaş geometrisi y'z' izdüşüm düzleminde Şekil 2.15'te gösterildiği gibi modellenen 3/1 dimi kumaşın, atlama ve kesişme doğru parçaları arasındaki kesişme, kesişmeme ya da teğetlik durumunun elips ve doğru denklemlerinin tanımlanarak incelenmesi için kumaş kesitinin görünümü Şekil 2.21'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Şekil 2.15'te de gösterilen O noktası merkez olmak üzere, öncelikle yer değiştirme doğru parçasın teğet olduğu atkı ipliğinin O noktasına uzaklığı (Q_1) iplik çaplarına bağlı olarak tanımlanmıştır. Eşitlik 2.59'daki c katsayısı atkı ipliklerinin birbiriyle temas edip etmemesine göre tanımlanmıştır. Sık kumaşlarda iplikler temas edeceğinden c katsayısı 0 olarak kabul edilmiştir. Seyrek kumaşlarda ise sıklığın derecesine göre iplikler arasında çapa bağlı olarak belli bir açıklık değeri kabul edilerek Q_1 belirlenmiştir. X_1 teğetlik durumunun incelendiği atkı ipliğinin merkezi ile çözgü ipliği merkez eksenini yer değiştirme doğru parçasının orta noktası arasındaki yatay mesafe olarak Eşitlik 2.60'da tanımlanmıştır. Teğetlik durumunun incelendiği atkı ipliği merkezinin x ve y koordinatları ise sırası ile q_1 ve r_1 eşitlikleri ile ifade edilmiştir. x_1 ve y_1 noktaları doğrunun elipse değdiği noktaların elips merkezine uzaklığı, x_e , y_e noktaları temas noktasının merkeze uzaklığını temsil etmek üzere atkı ipliğinin eliptik kesitinin denklemi Eşitlik 2.65'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 2.21 Elips ve doğru teğetlik koşulu ve Tales Teoremi ile uzunluklar arasındaki ilişkinin bulunması

$$Q_1 = a_2' + c \quad (2.59)$$

$$X_1 = \frac{\ell_{f1}}{2} + \frac{\ell_{sil} \cos \gamma_1 \cos \alpha_1}{2} - Q_1 \quad (2.60)$$

$$q_1 = Q_1 \quad (2.61)$$

$$r_1 = \frac{t_2 - b_2}{2} \quad (2.62)$$

$$\frac{x_1^2}{\left(\frac{a_2'}{2}\right)^2} + \frac{y_1^2}{\left(\frac{b_2}{2}\right)^2} = 1 \quad (2.63)$$

$$x_e = -(x_1 + q_1) \quad , \quad y_e = y_1 - r_1 \quad (2.64)$$

$$\frac{4(q_1 + x_e)^2}{a_2'^2} + \frac{4(r_1 + y_e)^2}{b_2^2} = 1 \quad (2.65)$$

Elips ile teğetlik koşulu incelenen yer değiştirme doğru parçasının denklemi (y_d) Eşitlik 2.66 ile tanımlanmıştır. m teğet doğrusunun eğimi olmak üzere eğrinin z' eksenini kestiği nokta olan k sabiti Şekil 2.21 incelenerek Thales teoreminden hesaplanmıştır (Eşitlik 2.71).

$$y_d = mx_d + k \quad (2.66)$$

$$m = \tan \beta_1' = \frac{k_m}{\frac{\ell_{f1}}{2} + \frac{\ell_{s1l} \cos \gamma_1 \cos \alpha_1}{2}} = \frac{k}{n} \quad (2.67)$$

$$n = \frac{\ell_{f1}}{2} + \frac{\ell_{s1l} \cos \gamma_1 \cos \alpha_1}{2} - \frac{b''}{2} \cos ec \beta_1' \quad (2.68)$$

$$k = y_d - mx_d \quad (2.69)$$

$$y_d = 0 \text{ için } x_d = n, \quad m = \tan \beta_1' \quad (2.70)$$

$$k = -\tan \beta_1' \left(\frac{\ell_{f1}}{2} + \frac{\ell_{s1l} \cos \gamma_1 \cos \alpha_1}{2} - \frac{b''}{2} \cos ec \beta_1' \right) \quad (2.71)$$

Doğru denklemi için parametreler belirlendikten sonra teğetlik koşulunu gözlemlemek için elips ve doğru denklemlerinde x ve y koordinat değerleri eşitlenerek ikinci dereceden bir denklem elde edilmiştir (Eşitlik 2.72).

$$\begin{aligned} x_e = x_d = x \ ; y_e = y_d = y \text{ olmak üzere;} \\ x^2(4b_2^2 + 4a_2'^2 m^2) + x(8b_2^2 q_1 + 8a_2'^2 r_1 m + 8a_2'^2 mk) \\ + (4b_2^2 q_1^2 + 4a_2'^2 r_1^2 + 8a_2'^2 r_1 k + 4a_2'^2 k^2 - b_2^2 a_2'^2) = 0 \end{aligned} \quad (2.72)$$

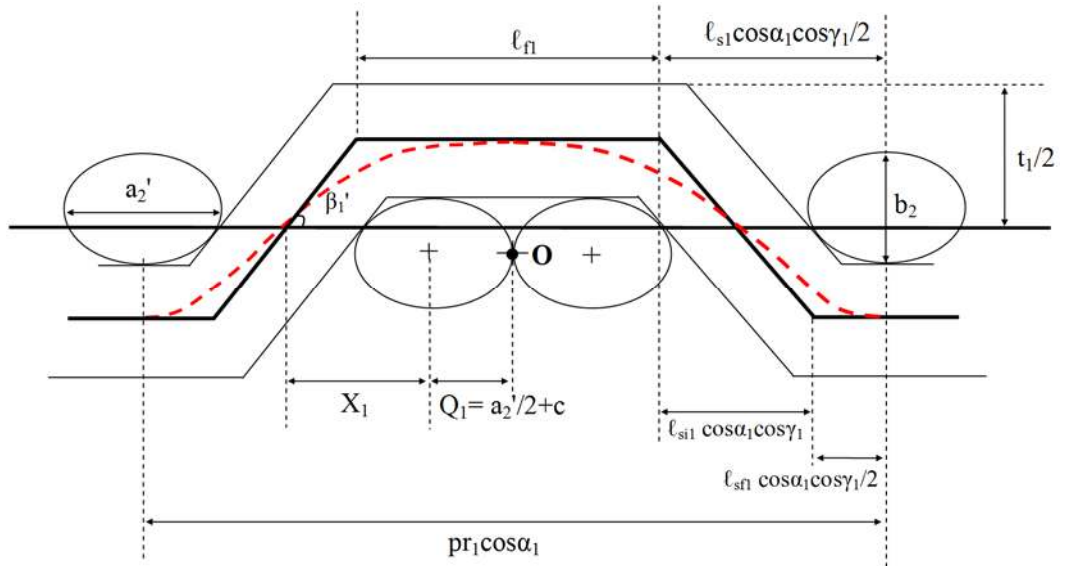
Eşitlik 2.72 için hesaplanan determinantın durumu doğrunun elipse göre konumunu açıklar. Buna göre üç durum söz konusudur: 1) $\Delta < 0$ ise denklemin hiç kökü yoktur, yani doğru elips ile temas etmez. 2) $\Delta = 0$ eşitliği durumunda denklemin tek bir kökü vardır. Bu doğrunun elipse teğet olduğu anlamına gelir. 3) $\Delta > 0$, durumunda denklemin iki kökü vardır, yani doğru elipsi iki noktadan keser, kiriş söz konusudur. Modelde y'z' düzlemindeki 2-D kumaş geometrisinin sağlanması için aranan durum $\Delta = 0$ teğetlik pozisyonudur. Bu amaçla, atlama doğru parçası uzunluğu için maksimum ve minimum değer aralığı belirlenerek Visual Basic 6.0 programında bir algoritma oluşturulmuştur. Atlama uzunluğunun minimum değerleri y'z' düzlemindeki büyük çap uzunluğu (a') olarak belirlenmiştir. Maksimum atlama uzunluğu değeri olarak ise rapor genişliğinin yarısı alınmıştır (Eşitlik 2.73). Programda atlama doğru parçası uzunluğu belirlenen sınırlar içinde değiştirilerek ($a_1' \leq \ell \leq pr_1 \cos \alpha_1 / 2$) yer değiştirme doğrusu parçasının teğetlik pozisyonu

araştırılmıştır. Determinantın tam sıfır değerinde çıkması beklenmediğinden 10^{-6} kontrol değeri olarak seçilmiştir. Doğrusal modelle ilgili olan algoritma yer değiştirme doğru parçasının elipse teğet olduğu atlama doğru parçası değerinde sonlandırılarak, bu uzunluk değerine bağlı kesişme doğru parçaları uzunlukları ve açı değerleri belirlenmiştir. Böylece bir sonraki aşamada B-spline eğrilerini tanımlamada kullanılacak olan kontrol poligonu ve kontrol noktaları tanımlanmıştır.

$$\ell_{f1\min} = a' \quad ; \quad \ell_{f1\max} = \frac{pr_1}{2} \cos \alpha_1 \quad (2.73)$$

Şekil 2.22’de 2/1 dimi kumaşın x'y' düzlemindeki 2-D geometrisi gösterilmektedir. 2/1 dimi kumaşın 3-D doğrusal modelini oluşturmak için tanımlanması gereken parametreler, yer değiştirme doğru parçasına teğet durumdaki atkı ipliğinin koordinatları Eşitlik 2.74’de tanımlandıktan sonra, doğru ve elipsin denklemlerinden yukarıda açıklanan çözümlemeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

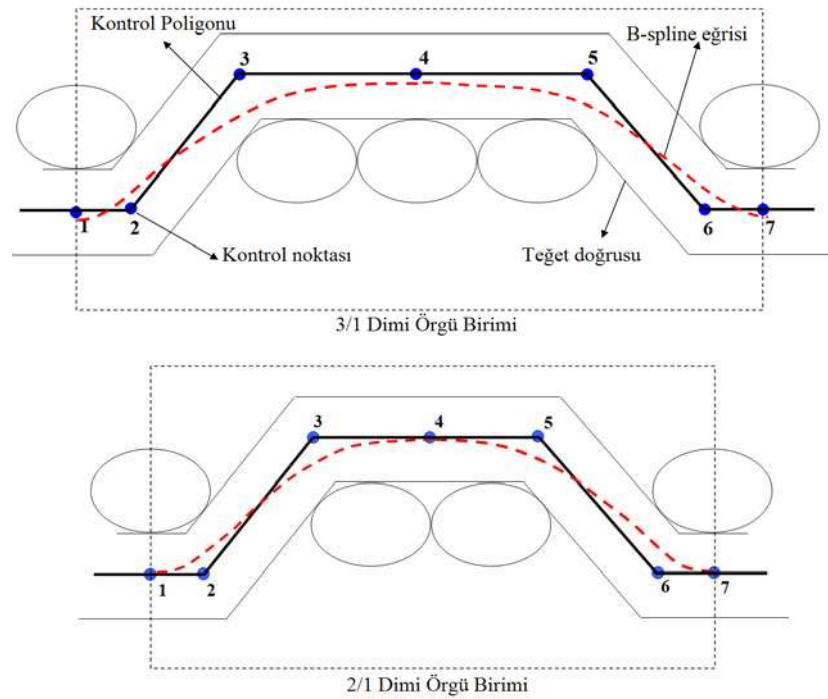
$$q_1 = Q_1 \quad ; \quad Q_1 = a_2'/2 + c \quad (2.74)$$



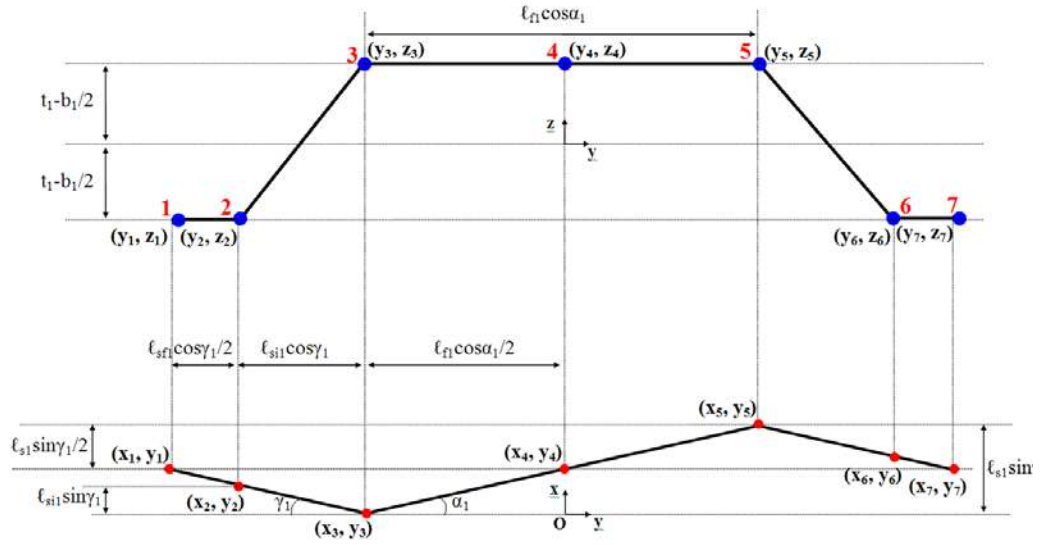
Şekil 2.22 x'y' düzleminde 2/1 dimi kumaşın 2-D kumaş geometrisi modeli

2.1.2.2.1 B-spline yönteminin uygulanması. B-spline eğrisini hesaplamak için kullanılacak kontrol noktaları 2/1 dimi ve 3/1 dimi örgü birimlerini modelleyen

kontrol poligonu üzerinde tanımlanmıştır (Şekil 2.23). Bunlar kontrol poligonunun köşe noktaları ve atlama ve yer değiştirme bölgelerinin orta noktaları olmak üzere 7 noktadır. Kontrol noktalarının x, y, z koordinatları kumaş kalınlığı (t), çözgü ve atkı ipliklerinin numarası (N_1, N_2), sıklığı (S_1, S_2) ve yaklaşık eğiklik açısı (α_1, α_2) belli olan bir örgü için örgünün birim uzunluğuna (pr) bağlı olarak en uygun atlama uzunluğunun (ℓ_f) hesaplanması ile belirlenmiştir. Daha önce belirtildiği gibi en uygun atlama uzunluğu, elips olarak modellenen iplik enine kesiti ile kontrol poligonunun yer değiştirme bölgesindeki doğru parçasının teğetlik koşulu incelenerek belirlenmiş ve doğrusal modelde ℓ_f uzunluğuna bağlı olarak diğer parametreler de hesaplanarak kontrol noktalarının koordinatları tanımlanmıştır. Şekil 2.24’de kontrol noktalarının x, y, z koordinatları gösterilmiştir.



Şekil 2.23 3/1 dimi ve 2/1 dimi kumaşların $y'z'$ düzleminde B-spline eğrisi kontrol noktaları



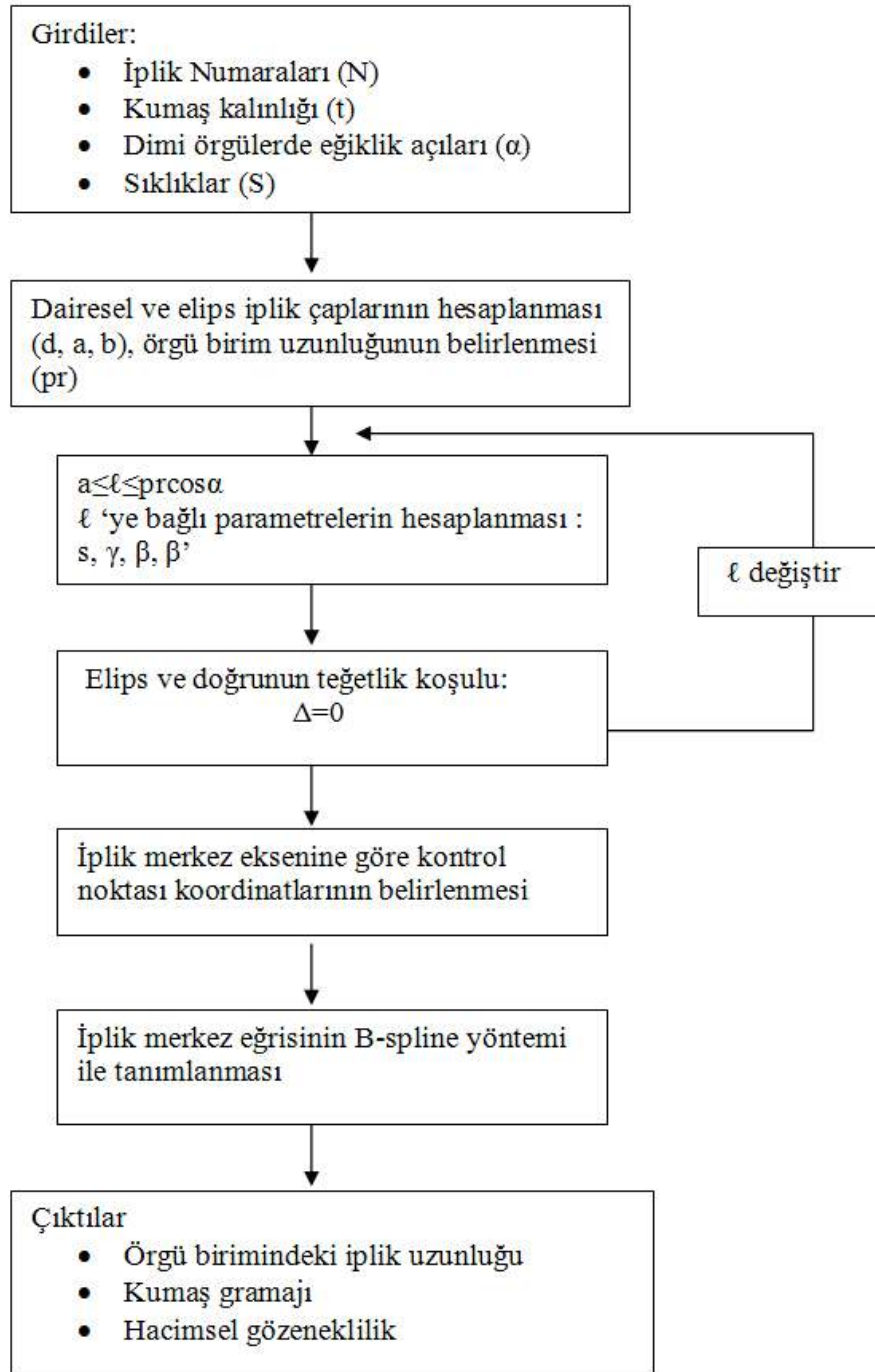
Şekil 2.24 Kontrol noktalarının koordinatlarının belirlenmesi

B-spline eğrisini elde etmek için Şekil 2.24’de gösterildiği gibi doğrusal model üzerinde tanımlanan kontrol noktalarının koordinatları kullanılarak B-spline eğrisini oluşturacak yeni noktalar elde edilmiştir. Bunun için doğrusal modelin devamı olarak Visual Basic 6.0 programında kontrol noktalarının koordinat eşitlikleri tanımlanmış ve B-spline eğrisi matematiksel eşitliğinin algoritması oluşturulmuştur. Programda iplik merkez eğrisinin 3-D geometrisini elde etmek için tüm işlemler atkı ve çözgü iplikleri için ayrı ayrı hesaplanmış, böylece hem atkı hem çözgü ipliğinin merkez eksen eğrisi doğrusal modele bağlı olarak B-spline eğrileri ile tanımlanmıştır.

Modelde kullanılan algoritma Şekil 2.25’de özetlenmektedir. Modelde elde edilen 3-D iplik geometrisinin kıvrımsız uzunluğu B-spline eğrisinin uzunluğudur. Modelin doğruluğunun test edilmesi amacıyla B-spline eğrisi uzunluğu ($\ell_{B-spline}$) kullanılarak ipliğin teorik kıvrım faktörü (k_t) ve kumaşın birim alan ağırlığı (w , g/m^2) hesaplanmış, bu çıktılar deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak test edilmiştir.

$$k_{B-spline} = k_t = \frac{\ell_{B-spline}}{pr_1} \quad (2.75)$$

$$w = \frac{100k_{t1}S_1}{N_1} + \frac{100k_{t2}S_2}{N_2} \quad (2.76)$$



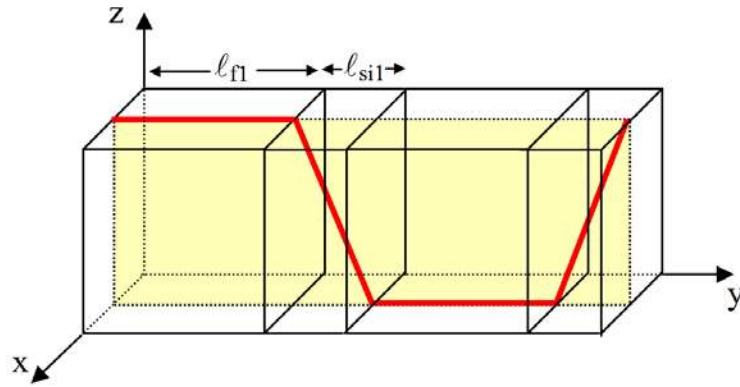
Şekil 2.25 Program algoritması

2.1.2.3 Bezayağı örgü modeli

Bezayağı kumaşta çözgü ipliği merkez ekseninin örgü birimi boyunca yaptığı hareket Şekil 2.26'da gösterildiği gibi bir dikdörtgenler prizması içinde doğrusal olarak modellenmiştir. Şekil 2.26'da kırmızı renkte çizgi ile gösterilen iplik merkez

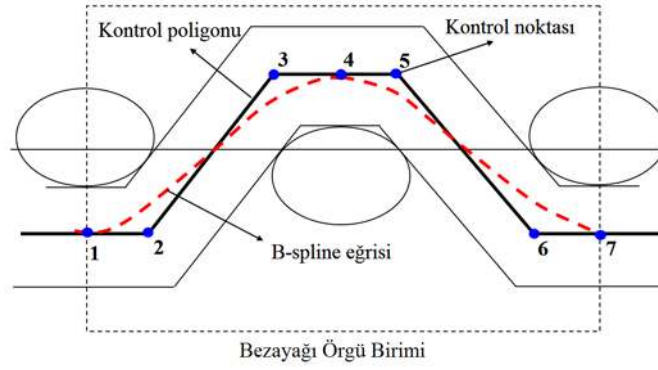
ekseninin hareketi atlama (ℓ_{f1}) ve yer değiştirme (ℓ_{si1}) doğru parçalarından oluşmuş ve örgü birimi boyunca gerçekleşen doğrusal iplik hareketi kontrol poligonu olarak adlandırılmıştır. Bezayağı örgüler örgü biriminde sürekli bağlanmaların yer aldığı dengeli yapılar olduğundan, örgünün kontrol poligonunu oluşturan atlama ve kesişme bölgeleri aynı düzlemde yer almaktadır. Bezayağı örgünün izdüşüm düzlemindeki çözümlemesi Pierce geometrisi uygulanarak yapılmıştır. Örgü birim uzunluğu (pr_1) ile atlama (ℓ_{f1}) ve kesişme doğrusu (ℓ_{si1}) arasındaki ilişki kumaş sıklığına (S_2) bağlı olarak Eşitlik 2.77’de verilmiştir.

$$pr_1 = \frac{2}{S_2} = 2\ell_{f1} + 2\ell_{si1} \quad (2.77)$$



Şekil 2.26. Bezayağı örgü birimi doğrusal iplik merkez eksenini modeli

Doğrusal olarak modellenmiş örgü birimindeki iplik merkez ekseninin hareketini düzgün bir eğri olarak elde edebilmek için kontrol noktaları iplik çapı, kumaş kalınlığı, kumaş sıklığı parametrelerine bağlı olarak tanımlanarak B-spline yöntemi uygulanmıştır (Şekil 2.27). Sonuç olarak doğrusal modele göre tanımlanan kontrol noktalarının şekillendirdiği B-spline iplik merkez eksenini eğrisi türetilen yeni noktalar ile elde edilmiştir. Dimi örgülerde olduğu gibi modelin doğruluğunu test etmek amacıyla B-spline yöntemiyle elde edilen iplik merkez eğrisinin uzunluğu kullanılarak hesaplanan kıvrım faktörleri ve kumaş gramajı deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.27 Bezayağı örgünün yz düzleminde B-spline eğrisi kontrol noktaları

2.1.2.4 Hacimsel gözeneklilik ve ortalama gözenek yarıçapı parametrelerinin hesaplanması

Kumaşın paketlenme oranı (ϕ), örgü birimindeki toplam iplik hacminin örgü birimi hacmine oranı olarak tanımlanmıştır. Örgü biriminin toplam hacmi (V_T), örgünün çözgü ve atkı yönlerindeki rapor genişliği ve kumaş kalınlığına bağlı olarak hesaplanmıştır (Eşitlik 2.78). Birim örgü modeline göre toplam iplik hacmi (V_y) kumaş parametrelerine bağlı olarak Eşitlik 2.79'daki gibi hesaplanmıştır. Eşitlikte n_1 ve n_2 parametreleri sırasıyla örgü birimindeki çözgü veya atkı ipliği sayısıdır. Toplam iplik hacmi hesaplanırken kullanılan teorik kıvrım faktörü (k_t) 3-D kumaş geometrisi modeli sonucu elde edilen B-spline eğrisi uzunluğundan hesaplanmıştır. Örgü birim modelinden kumaşın iplikler arası hacimsel gözenekliliği ($PV_{B-spline}$) kumaşın paketlenme oranına ($\phi_{B-spline}$) bağlı olarak Eşitlik 2.81 ile elde edilmiştir.

$$V_T = p_{r1} p_{r2} t \quad (2.78)$$

$$V_y = (n_1 \pi a_1 b_1 k_{t1} p_{r1} / 4) + (n_2 \pi a_2 b_2 k_{t2} p_{r2} / 4) \quad (2.79)$$

$$\phi_{B-spline} (\%) = \frac{V_y}{V} = \frac{(n_1 \pi a_1 b_1 k_{t1} p_{r1} / 4) + (n_2 \pi a_2 b_2 k_{t2} p_{r2} / 4)}{p_{r1} p_{r2} t} \times 100 \quad (2.80)$$

$$PV_{B-spline} (\%) = (1 - \phi_{B-spline}) \times 100 \quad (2.81)$$

Hacimsel gözenekliliğin hesaplanmasında kullanılan parametreler sıklık, iplik numarası, örgü tipi, kumaş kalınlığı gibi yapısal faktörleri içerdiği gibi kumaş

geometrisi ile ilgili bilgiyi de içermektedir. Bu yüzden, kumaş geçirgenliği ile kumaşın yapısal özelliklerini karşılaştırmak için kumaşın hacimsel gözenekliliğini kullanmanın gerçeğe oldukça yakın bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir.

Örgü birim modelinden kumaşın ortalama gözenek yarıçapını ($R_{B-spline}$) bulmak için öncelikle örgü birim modelinin toplam boş hacmi kumaş parametreleri ve B-spline eğrisi kıvrım oranı kullanılarak hesaplanmış, daha sonra örgü birimindeki gözenek sayısına (m_p) bölünerek bir gözenekğin ortalama hacmi hesaplanmıştır (Eşitlik 2.83). Kumaştaki gözeneklerin ortalama gözenek yarıçapı ise ortalama gözenek hacmine eşdeğer hacimde silindir yarıçapı varsayımı ile Eşitlik 2.84'de hesaplanmıştır. Eşdeğer hacme sahip dairesel kesitli silindirin uzunluğu (h) kumaş kalınlığına (t) eşit kabul edilerek çözümleme yapılmıştır.

$$\text{Toplam gözenek hacmi} = p_{r1}p_{r2}t - \left[(n_1\pi a_1 b_1 k_{t1} p_{r1} / 4) + (n_2\pi a_2 b_2 k_{t2} p_{r2} / 4) \right] \quad (2.82)$$

$$\text{Ortalama bir gözenek hacmi} = \frac{p_{r1}p_{r2}t - \left[(n_1\pi a_1 b_1 k_{t1} p_{r1} / 4) + (n_2\pi a_2 b_2 k_{t2} p_{r2} / 4) \right]}{m_p} \quad (2.83)$$

$$R_{B-spline} = \sqrt{\frac{p_{r1}p_{r2}t - \left[(n_1\pi a_1 b_1 k_{t1} p_{r1} / 4) + (n_2\pi a_2 b_2 k_{t2} p_{r2} / 4) \right]}{\pi m_p h}} \quad (2.84)$$

2.2 İplik içi (lifler arası) gözenek özelliklerinin belirlenmesi

Özellikle multifilament kumaşlar göz önüne alındığında akışın ilerlemesinde iplikler arası gözeneklerin yanında lifler arası gözenekler de büyük rol oynamaktadır. Lifler arası gözeneklerin oluşturduğu kapiller basınç akışın ilerlemesine katkıda bulunmaktadır. Kumaş geçirgenliğini daha gerçekçi bir 3-D kumaş modeli ile tahminlemek amacıyla iplik içi yani lifler arası gözenek yapısını ihmal etmeyen bir yaklaşım gerekmektedir. İplik içi gözenek özelliklerini tanımlamak ve bu özelliklerin kumaş geçirgenliğine etkisini incelemek amacıyla iplik içi gözeneklilik ve gözenek yarıçapı parametreleri iplik ve kumaşın yapısal parametrelerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Böylece modellerden elde edilen iplikler arası ve lifler arası gözenek özellikleri verilerinin geçirgenlik özelliklerine etkisi birlikte değerlendirilmiştir.

2.2.1 İplik içi gözenekliliğin belirlenmesi

2.2.1.1 Teorik yaklaşımlar

İplik içi gözenekliliği teorik olarak hesaplamak amacıyla kullanılan ilk yaklaşımda Grosberg'in dairesel kesitteki iplik çapını hesaplamak için önerdiği eşitlik kullanılmıştır. Grosberg iplik çapını (d_y) ipliğin lineer yoğunluğu (tex), paketleme oranı (ϕ_G , %) ve lifin özgül ağırlığına (δ_f =pamuk lifi için $1,53 \text{ g/cm}^3$) bağlı olarak Eşitlik 2.85'deki gibi tanımlamıştır (Grosberg, 1969). Bu yaklaşıma göre, teorik dairesel iplik çapı (d_{yt}) kullanılarak ipliğin paketleme oranı elde edilmiş ve Eşitlik 2.86'dan Grosberg iplik çapı yaklaşımına göre teorik iplik gözenekliliği ($Py_{\text{Grosberg-T}}$) hesaplanmıştır.

$$d_y = 3,57 \sqrt{\frac{\text{tex}}{\phi_G \times \text{lifin lineer yogunlugu}}} \times 10^{-3} \quad (2.85)$$

$$Py_{\text{Grosberg-T}} (\%) = (1 - \phi_G) \times 100 \quad (2.86)$$

İplik içi gözenekliliğinin teorik olarak hesaplanması için kullanılan ikinci yaklaşımda, ipliğin paketleme oranı toplam lif alanının toplam iplik alanına oranından hesaplanmıştır. Toplam iplik alanı (A_y), teorik dairesel iplik çapı (d_{yt}) kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 2.87). Toplam lif alanı ise, iplik kesitindeki lif çaplarının birbirine eşit olduğu varsayılarak enine kesitteki lif sayısı (n_f) ve tek lif alanından (A_f) hesaplanmıştır. İplik enine kesitindeki ortalama lif sayısı (n_f) teorik olarak lineer iplik yoğunluğunun birim uzunluktaki (1 cm) bir adet lifin ağırlığına (w_f) oranından bulunmuştur (Eşitlik 2.89). İpliğin paketleme oranı (ϕ_y), teorik lif sayısı (n_f), enine kesiti dairesel kabul edilen tek lifin alanı (A_f) ve iplik alanına (A_y) bağlı olarak Eşitlik 2.90 ile elde edilmiştir. Böylece, iplik enine kesitindeki teorik lif sayısı (n_f), teorik lif çapı (d_f) ve teorik iplik çapına (d_{yt}) bağlı teorik gözeneklilik (Py_{n-T}) Eşitlik 2.91 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{İplik alanı } (A_y) = \pi \frac{d_{yt}^2}{4} \quad (2.87)$$

$$\text{Tek lif alanı } (A_f) = \pi \frac{d_f^2}{4} \quad (2.88)$$

$$n_f = \frac{tex}{w_f} 10^{-5} = \frac{tex}{\pi \frac{d_f^2}{4} \delta_f 1} \times 10^{-5} \quad (2.89)$$

$$\phi_y(\%) = \frac{n_f \times A_f}{A_y} = \frac{n_f \pi \frac{d_f^2}{4}}{\pi \frac{d_{yt}^2}{4}} \times 100 \quad (2.90)$$

$$Py_{n-T}(\%) = (1 - \phi_y) \times 100 \quad (2.91)$$

2.2.1.2 Yarı-teorik yaklaşımlar

Teorik yaklaşımlarda kullanılan iplik çapı, kesitteki lif sayısı, lif çapı parametreleri teorik olarak hesaplanan sabit verilerdir, hesaplamalarda değişim dikkate alınmamaktadır. Oysa iplik özellikleri ile ilgili tüm bu parametreler iplik boyunca değişim göstermektedir. Çalışmanın bu bölümünde iplik çap değişimi düşünülerek her iplik için gözeneklilik ayrıca yarı-teorik olarak Grossberg ve teorik lif sayısı yaklaşımları ile hesaplanmıştır. Yarı-teorik olarak adlandırılan bu yaklaşımlarda, hesaplamalarda diğer tüm parametreler aynı kalmak koşuluyla Stereo Investigator® ölçümleri ile elde edilen iplik çapı verileri kullanılmıştır.

İplik boyut değişimini göz önüne alarak her bir ipliğin gözenekliliğini Grosberg yaklaşımına göre elde etmek için, ipliğin Stereo Investigator® ölçümleri sonucu elde edilen büyük ve küçük çaplarından hesaplanan dairesel iplik çapı ($d_{SI} = (a_{SI} + b_{SI})/2$) Eşitlik 2.81'de kullanılarak 50 ipliğin paketleme oranı ve iplik gözenekliliği ($Py_{Grosberg}$) hesaplanmıştır.

Bir diğer yaklaşımda, iplik kesiti elips kabul edilerek, teorik lif sayısı (n_f), teorik lif çapı (d_f) ve Stereo Investigator® ölçümleri ile belirlenen a ve b çapları kullanılarak

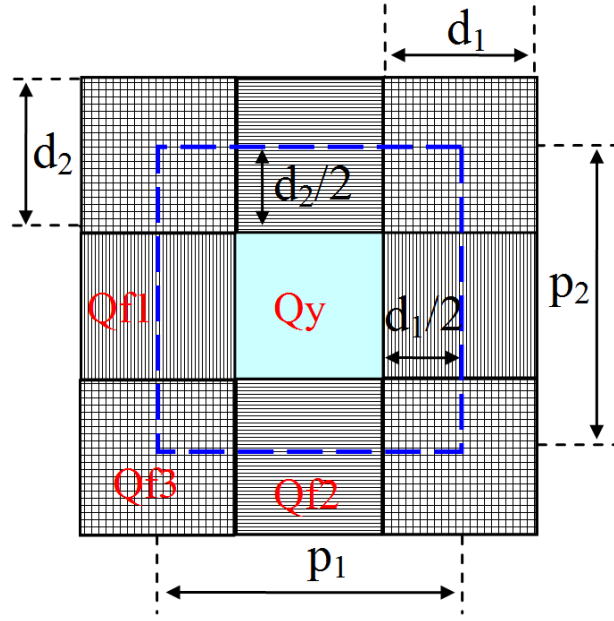
hesaplanan iplik alanına bağlı olarak her iplik için paketleme oranı ve iplik gözenekliliği ($P_{y_{n-m}}$) hesaplanmıştır (Eşitlik 2.92).

$$\phi_{y-m}(\%) = \frac{n_f \pi \frac{d_f^2}{4}}{\pi \frac{a_{SI} b_{SI}}{4}} \times 100, \quad P_{y_{n-m}}(\%) = (1 - \phi_{y-m}) \times 100 \quad (2.92)$$

2.2.2 Lifler arası teorik gözenek boyutu

2.2.2.1 İpliğe dik yönde gerçekleşen akış için eşdeğer gözenek boyutları

Hava geçirgenliği kumaşa dik yönde gerçekleşen hava akış miktarıyla orantılıdır. Bu nedenle kumaşın toplam hava geçirgenliği tanımlanırken iplik içinde düzleme dik yönde gerçekleşen akış miktarının da tahminlenmesi gerekmektedir. Şekil 2.28 2-D bir gözenek birim hücre modelinde yer alan gözenek tiplerini ve bu bölgelerde gerçekleşen akış oranlarını göstermektedir. Şekil 2.28’de görüldüğü gibi iplikler arasındaki gözenekli bölgede gerçekleşen akış miktarı Q_y , çözgü iplikleri içinde düzleme dik yönde gerçekleşen akış miktarı Q_{f_1} , atkı iplikleri içinde düzleme dik yönde gerçekleşen akış miktarı Q_{f_2} ve çözgü ve atkı ipliklerinin kesiştiği noktalarda düzleme dik yönde gerçekleşen akış miktarı Q_{f_3} ’tür. Bu bölgelerdeki her bir akış miktarının hesaplanabilmesi için birim hücre modelinde kumaş parametrelerine ve iplik gözenekliliğine (P_y) bağlı olarak her bölgenin boş alanına eşdeğer gözenek alanına sahip gözenek çapı Eşitlik 2.93, Eşitlik 2.94 ve Eşitlik 2.95 ile hesaplanmıştır.



Şekil 2.28 Birim gözenek hücre içindeki farklı gözenek bölgeleri

$$dp_{z1} = \sqrt{\frac{4(p_2 - d_{y2})d_{y1}P_y}{\pi}} \quad (2.93)$$

$$dp_{z2} = \sqrt{\frac{4(p_1 - d_{y1})d_{y2}P_y}{\pi}} \quad (2.94)$$

$$dp_{z3} = \sqrt{\frac{4d_{y1}d_{y2}P_y}{\pi}} \quad (2.95)$$

2.2.2.2 İplik boyunca gerçekleşen akış için lifler arası birim gözenek hücre modeli

İplik içinde iplik boyunca gerçekleşen düzlemsel akış mekanizmasının hesaplanarak kumaşın toplam geçirgenliğinin tahminlenmesi için iplik içinde akışın gerçekleştiği lifler arası bölgelerdeki gözeneklerin boyutlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kesikli liflerden oluşan iplik yapısı öncelikle ideal yapı olarak modellenmiştir. Başer (2008) tarafından ideal iplik yapısı liflerin eşit uzunlukta olduğu, iplik boyunca bir lifin son bulunduğu noktada hemen başka bir lifin başladığı, kesitteki lif sayısının değişmediği ve lif çapının sabit olduğu varsayımlarına dayanmaktadır. Çalışmada ideal iplik yaklaşımı ile lifler arası

gözenek boyutu teorik olarak tahminlenirken liflerin iplik içinde hegzagonal yerleştiği kabul edilmiştir. Şekil 2.29'da hegzagonal yerleşme için sırasıyla sıkı paketlenme ve açık paketlenme durumları gösterilmiştir. Kumaşların incelenen enine kesit görüntülerinde yer alan iplikler genel olarak açık paketlenme göstermektedir.

Buna göre, dairesel kesitte kabul edilen lif yarıçapı ($R_f = \frac{d_f}{2}$) ve iki lifin merkezleri arasındaki mesafe (R) kullanılarak Şekil 2.29 c'de gösterilen lifler arası gözenekli bölgenin birim alanı (A_{pf}) dairesel kesitli bir gözenek alanına eşdeğer kabul edilerek ortalama lifler arası gözenek boyutu (R_{pf}) sırasıyla Eşitlik 2.96 ve Eşitlik 2.97 kullanılarak hesaplanmıştır. Lifler arası mesafeyi ifade eden R parametresi ipliğin paketleme oranıyla ilgili bir parametredir. Şekil 2.29'da görüldüğü gibi sıkı paketleme durumunda lifler birbirine temas edecek, açık paketleme durumunda arada paketleme oranıyla ilişkili olarak belli bir açıklık bulunacaktır. Teorik modelde tüm liflerin birbirine eşit uzaklıkta olduğu ve eşit çapta olduğu varsayımı yapılmıştır. R'nin paketleme oranı ile ilişkili olarak tanımlanması için öncelikle lifler arası bir gözenek biriminin paketleme oranı (ϕ_f) Eşitlik 2.98'deki gibi birimdeki lif alanının (A_{fb}) lifler arası birim gözenek hücresi alanına (A_{pb}) oranından hesaplanmış; daha sonra iki lifin merkezi arasındaki uzaklık (R) Eşitlik 2.99 ile tanımlanmıştır. Eşitlik 2.96'dan yararlanılarak lifler arası gözenek birim alanı tekrar tanımlanarak Eşitlik 2.100 elde edilmiştir. Sonuç olarak iplik içi kapiller akışı hesaplarken kullanılacak lifler arası ortalama gözenek yarıçapı (R_{pf}) lif yarıçapı (R_f) ve lifler arası birim paketleme oranı (ϕ_f) parametrelerine bağlı olarak elde edilmiştir (Eşitlik 2.101). Çalışmada lifler arası birim gözenek hücresinin (Şekil 2.29 c) paketleme oranının (ϕ_f) yaklaşık olarak ipliğin paketleme oranına (ϕ_y) eşit olacağı kabul edilerek lifler arası gözenek boyutu iplik içi gözeneklilikle ilişkili olarak tanımlanmıştır. Lifler arası gözenek boyutunun (R_{pf}) hesaplanmasında kullanılan lif boyutu (R_f) ve iplik içi gözeneklilik (P_y) parametreleri için hem teorik verilerden hem de Stereo Investigator® ölçümlerinden hesaplanan deneysel sonuçlar kullanılmıştır.

$$\text{Lifler arası gözenek alanı} = A_{pf} = \left(\frac{\sqrt{3}}{4} R^2 - \frac{3}{6} \pi R_f^2 \right) = \pi R_{pf}^2 \quad (2.96)$$

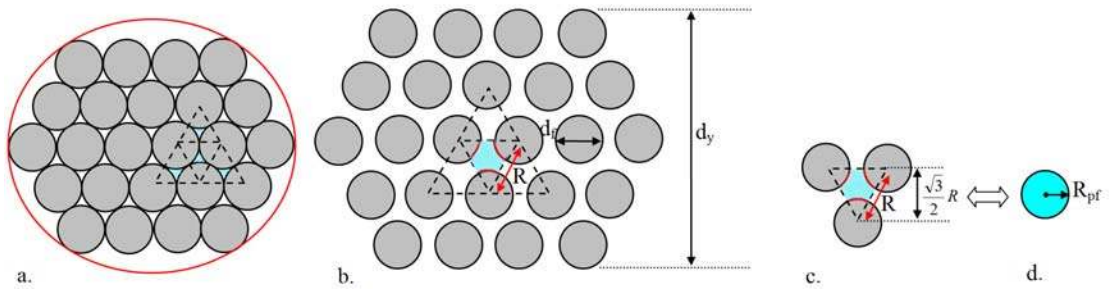
$$R_{pf} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{4\pi} R^2 - \frac{1}{2} R_f^2 \right)} \quad (2.97)$$

$$\phi_f = \frac{A_{fb}}{A_{pb}} = \frac{\frac{3}{6} \pi R_f^2}{\frac{\sqrt{3}}{4} R^2} \quad (2.98)$$

$$R = R_f \sqrt{\frac{2\pi}{\sqrt{3}\phi_f}} = 1,905 \frac{R_f}{\sqrt{\phi_f}} \quad (2.99)$$

$$A_{pf} = \frac{\pi R_f^2}{2} \left(\frac{1 - \phi_f}{\phi_f} \right) \quad (2.100)$$

$$R_{pf} = R_f \sqrt{\frac{1 - \phi_f}{2\phi_f}} = R_f \sqrt{\frac{1 - \phi_y}{2\phi_y}} \quad (2.101)$$



Şekil 2.29 a. Hegzagonal sıkı yerleşme, b. Hegzagonal açık yerleşme, c. Lifler arası birim gözenek hücre modeli, d. Lifler arası dairesel gözenek alanı

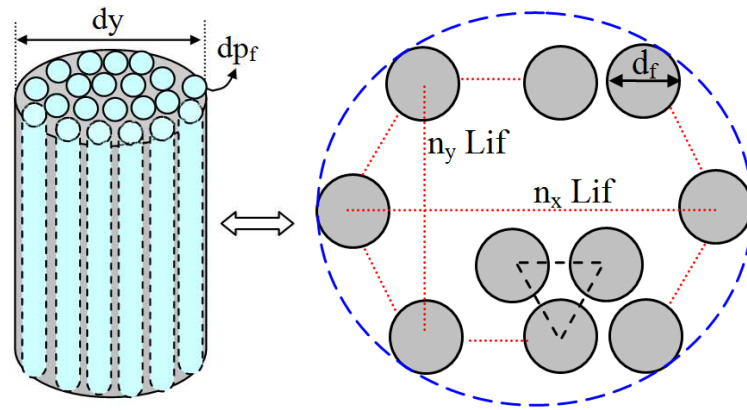
İplik içinde lifler arasında yer alan gözenek çapı birim hücre modeli için belirlendikten sonra iplik içinde yer alan gözeneklerin sayısını teorik olarak belirlemek amacıyla iplik boyutları, lif boyutu, lifler arası mesafeye bağlı hesaplamalar Şekil 2.30’da gösterilen liflerin hegzagonal yerleştiği iplik modeli için yapılmıştır. İpliğin x ve y doğrultularında merkez eksen çapları (a, b) lif boyutu, lifler arası mesafe (R) ve x ve y doğrultularındaki katman sayıları için (k_x , k_y) için Eşitlik 2.102 ile tanımlanmıştır. Daha sonra ipliğin merkez eksenlerinde yer alacak lif sayılarına (n_x , n_y) ve katman sayısına bağlı olarak iplik içindeki toplam lif sayısı (n_f) ve birim gözenek hücre sayısı (m_f) sırasıyla Eşitlik 2.104 ve Eşitlik 2.105 ile hesaplanmıştır.

$$a = d_f + R k_x \quad ; \quad b = d_f + \frac{\sqrt{3}}{2} R k_y \quad (2.102)$$

$$n_x = k_x + 1 \quad ; \quad n_y = k_y + 1 \quad (2.103)$$

$$n_f = n_x + k_y \left[n_x - \frac{k_y + 2}{4} \right] \quad (2.104)$$

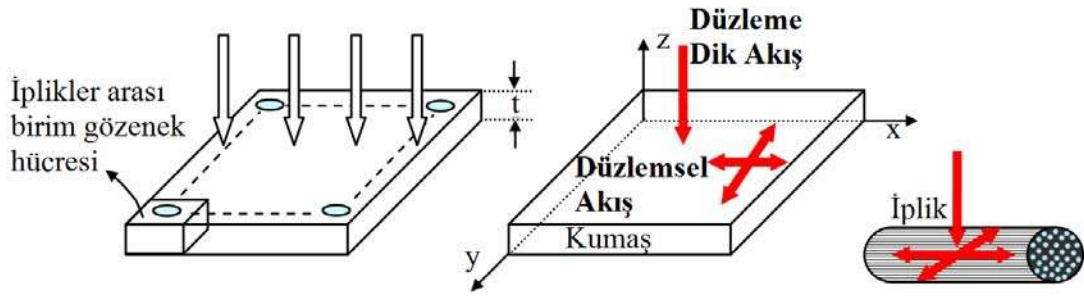
$$m_f = 2k_y \left[n_x - \frac{3}{2} - \frac{k_y - 2}{8} \right] \quad (2.105)$$



Şekil 2.30 İdeal iplik modeli

2.3 Geçirgenlik özelliklerinin tahminlenmesi

Kumaş ve iplik içinde akış üç yönde gerçekleşmektedir. Bunlar düzlemsel (x ve y yönlerinde) ve düzleme dik yönde gerçekleşen akış mekanizmalarıdır (Şekil 2.31). Çalışmada kumaşın gözenek özellikleri iplikler arası gözenek bölgeleri ve lifler arası gözenek bölgeleri olmak üzere iki bölgeye ayrılarak ayrı ayrı incelenmiştir. Kumaşın gözenek özelliklerinin belirlediği geçirgenlik özelliklerinin tahminlenmesi için kumaş içinde gerçekleşen 3-D akış mekanizmasının iplikler ve lifler arası bölgelerde ayrı ayrı gerçekleştiği kabul edilerek her iki bölge için tahmini akış oranları hesaplanarak kumaşın toplam geçirgenliği tanımlanmıştır.



Şekil 2.31 Kumaş ve iplik içinde gerçekleşen akış

2.3.1 Düzleme dik yönde gerçekleşen akışın tahminlenmesi

Belli bir uzunluğa (L) ve çapa (d_h) sahip tüp içinde gerçekleşen akışın hızı (U_m , m/s) Eşitlik 2.106 ile tanımlanmaktadır. Eşitlikte d_h gözenegın hidrolik çapı (m), ΔP kumaşın iki yüzeyi arasında uygulanan basınç farklılığı (Pa), μ akışkanın viskozitesi (hava için $1,8 \times 10^{-5}$ Pa.s; su için $8,9 \times 10^{-4}$ Pa.s), L ise gözenegın uzunluğunu tanımlamaktadır. Gözenegın hidrolik çapı (d_h) gözenek alanı (A_p) ve gözenegın akışkan ile temas eden ıslak çevre uzunluğuna (S) bağılı olarak Eşitlik 2.107 kullanılarak hesaplanır.

$$U_m = \frac{d_h^2 \Delta P}{32 \mu L} \quad (2.106)$$

$$d_h = \frac{4 A_p}{S} \quad (2.107)$$

Kumaş içinde iplikler arasındaki gözenek bölgelerinde gerçekleşen akış miktarı (Q_y , m^3/s), akışkanın akış hızı (U_m), bir gözenegın enine kesit alanı (A_p) ve birim alandaki gözenek sayısı (m) ile ilişkili olarak Eşitlik 2.108'deki gibi tanımlanır. Gözenek alanı, gözenek çapı hidrolik çapa eşit kabul edilerek ($d_p = d_h$) dairesel kesitli gözenek varsayımı ile veya birim gözenek hücresinin toplam alanı (A_T) ve alansal gözeneklilik oranına (PA) bağılı olarak tanımlanabilir (Eşitlik 2.109). Eşitlik 2.108 ve Eşitlik 2.109 kullanılarak Q_y daha ayrıntılı bir şekilde Eşitlik 2.110'daki gibi ifade edilir. Birim alandaki iplikler arası gözenek sayısı (m) kumaşın çözgü ve atkı sıklığı ile ilişkili olarak $1cm^2$ kumaş alanı için Eşitlik 2.111 ile hesaplanır. Kumaş içinden düzleme dik yönde gerçekleşen akış için akışkanın yol aldığı L gözenek uzunluğu

iplikler arası bölge için kumaş kalınlığına (t) eşit olarak kabul edilmiştir (Şekil 2.31). Çalışmada iplikler arası gözenekler için hidrolik gözenek çapı (d_h) 2-D, 3-D modellerden elde edilen ortalama gözenek çapına eşit kabul edilerek iplikler arası gözenek bölgelerinde gerçekleşen hava akış miktarı (Q_y) Poiseuille ve Darcy eşitlikleri ile türetilen Eşitlik 2.110 kullanılarak tahminlenmiştir. İplikler arası gözenek bölgelerinin geçirgenliği (AP_y , m/s) ise akış miktarının test edilen kumaş alanına oranından (20 cm^2) hesaplanmıştır (Eşitlik 2.112).

$$Q_y = m A_p U_m \quad (2.108)$$

$$A_p = \frac{\pi d_p^2}{4} = \frac{\pi d_h^2}{4} \quad \text{veya} \quad A_p = A_T \times PA \quad (2.109)$$

$$Q_y = m \pi \frac{d_h^4 \Delta P}{128 \mu t} \quad (2.110)$$

$$m = (S_1 - 1)(S_2 - 1) \quad (2.111)$$

$$AP_y = \frac{Q_y}{A_{test}} \quad (2.112)$$

Hava geçirgenliği daha çok kumaş düzlemine dik yönde geçen hava akış miktarıyla ilgili olduğundan bir gözenek birim hücresi içinde yer alan çözgü ve atkı iplikleri içinden düzleme dik yönde gerçekleşen hava akış miktarı Şekil 2.28’de görülen iplikler arası akış bölgeleri için tanımlanarak toplanır. Sadece çözgü ve atkı iplikleri içinden gerçekleşen akışta L uzunluğu iplik çapına eşit kabul edilmiş, çözgü ve atkı ipliklerinin kesiştiği noktalarda ise kumaş kalınlığına eşit olarak alınmıştır.

$$Qf_1 = \pi \frac{dp_{z1}^4 \Delta P}{128 \mu d_{y1}} \quad (2.113)$$

$$Qf_2 = \pi \frac{dp_{z2}^4 \Delta P}{128 \mu d_{y2}} \quad (2.114)$$

$$Qf_3 = \pi \frac{dp_{z3}^4 \Delta P}{128 \mu t} \quad (2.115)$$

$$Qf = m(Qf_1 + Qf_2 + Qf_3) \quad (2.116)$$

Sonuç olarak, kumaş düzlemine dik yönde gerçekleşen akış miktarı iplikler arası ve iplik içi gözenek bölgelerinde gerçekleşen akışların toplamından hesaplanmış ve toplam akış miktarının (Q) test edilen kumaş alanına oranından tahmini hava geçirgenliği sonucu (AP) elde edilmiştir (Eşitlik 2.117).

$$Q = Q_y + Q_f \quad ; \quad AP = \frac{Q}{A_{test}} \quad (2.117)$$

2.3.2 Düzlemsel akışın tahminlenmesi

İplikler arasında ve iplik içinde düzlemsel yönde gerçekleşen akış davranışını teorik olarak tahminlemek amacıyla iplikler arası ve lifler arası bölgelerdeki kapiller akış mekanizması kumaş yapısına bağlı olarak kapiller teori ile modellenmiştir. d_c çaplı kapiller bir tüpte gerçekleşen akış hızı ($U_m = dh/dt$) basınç değişiminin bir fonksiyonudur (Eşitlik 2.18). Kapiller tüpte dikey yönde gerçekleşen kapiller akış sırasında etkili kuvvetler: ileri doğru etki eden kapiller kuvvet ve aşağı doğru etki eden yerçekimi kuvvetidir. Buna göre kapiller akış sırasında düz bir kapiller tüpte gerçekleşen basınç farklılığı (ΔP) Eşitlik 2.119 ile tanımlanmıştır. Eşitlikte kapiller basınç (P_c), kapiller çap (d_c), sıvı-katı temas açısı (θ) ve sıvı-katı yüzey geriliminin (γ) bir fonksiyonudur. Yerçekimi basıncı ise sıvının yüksekliği (h), yerçekimi ivmesi (g) ve sıvı yoğunluğuna (ρ) bağlıdır. Bu iki eşitlikten dikey yönde gerçekleşen kapiller akış için sıvının zamana bağlı yükselme ifadesi yani akış hızı (dh/dt) Eşitlik 2.120 ile tanımlanmıştır. Kapiller kuvvetlerin yerçekimi kuvvetine eşit olduğu denge durumunda maksimum kapiller yüksekliğe (h_{maks}) ulaşılmaktadır (Eşitlik 2.121).

$$\frac{dh}{dt} = \frac{d_c^2}{32\mu h} \Delta P \quad (2.118)$$

$$\Delta P = P_c - P_g = \left(\frac{4\gamma \cos \theta}{d_c} - \rho g h \right) \quad (2.119)$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{d_c^2}{32\mu h} \left(\frac{4\gamma \cos \theta}{d_c} - \rho g h \right) \quad (2.120)$$

$$\Delta P = 0 \Rightarrow h_{maks} = \frac{4\gamma \cos \theta}{d_c \rho g} \quad (2.121)$$

Akışkan maddenin kumaş içinde kapiller akış mekanizması düz bir tüpte gerçekleşen kapiller akıştan daha karmaşıktır. Çünkü kumaş sistemi 3-D karmaşık bir yapıya sahiptir ve bu yapı içinde gerçekleşen akış hem iplikler arası hem de lifler arası gözenek bölgelerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. İplikler ve lifler arası gözenek bölgeleri de birbiriyle bağlantı halinde olduğundan akış mekanizmasının modellenmesi daha çok zorlaşmaktadır. Bu amaçla çalışmada öncelikle iplikler arası ve iplik içinde gerçekleşen düzlemsel akış kapiller teoriye göre ayrı ayrı tanımlanmış, daha sonra kumaş sisteminin kapiller yükselme değeri bu iki mekanizmaya göre değerlendirilmiştir.

Eşitlik 2.120 daha basit bir ifadeyle M ve N olarak tanımlanmış parametrelerin bir fonksiyonu olarak Eşitlik 2.122’de verilmiştir. Eşitlik 2.122’nin integrali alınarak emme yüksekliği (h) ve zamana (t) bağlı lineer olmayan eşitlik (Eşitlik 2.123) elde edilmiştir. Eşitlik MATLAB® kullanarak çözümlendiğinde h zamana (t) bağlı olarak Eşitlik 2.124 ile tanımlanmıştır. Çalışmada Eşitlik 2.120 ile tanımlanan diferansiyel denklem MATLAB® programında çözümlenerek belirli bir zaman aralığı için dh/dt fonksiyonu elde edilmiştir. Çalışmada dikey emme testleri ölçümleri 300 saniyelik bir zaman aralığında gerçekleştirildiği için hesaplamalar da bu periyot için yapılmıştır.

$$M = \frac{d\gamma \cos \theta}{8\mu} ; \quad N = \frac{d^2 \rho g}{32\mu}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{M}{h} - N \quad (2.122)$$

$$\int \frac{h}{M - Nh} dh = \int dt$$

$$tN^2 + Nh + M \ln(Nh - M) = 0 \quad (2.123)$$

$$h = \frac{M + \frac{1}{e^{\omega \left(\ln \left(\frac{1}{M} \right) - \frac{tN^2 + M}{M} \right)}} e^{\frac{tN^2 + M}{M}}}{N} \quad (2.124)$$

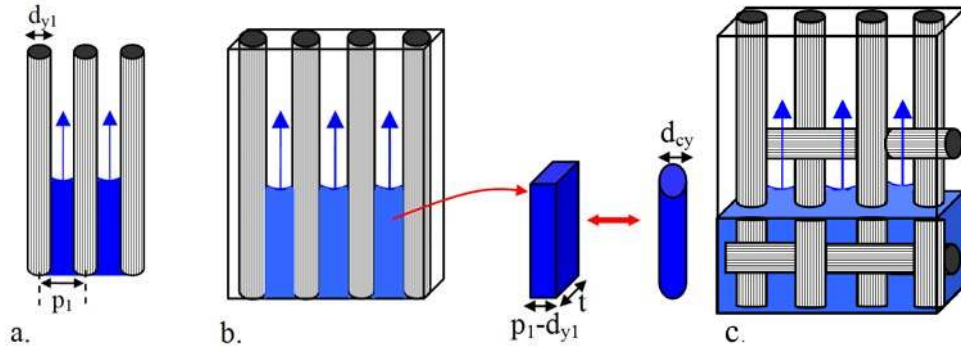
2.3.2.1 İplikler arası bölgede gerçekleşen kapiller akış

İplikler arası gözenek bölgelerinde dikey yönde gerçekleşen kapiller akış mekanizmasını modellemek amacıyla kumaş sistemi öncelikle birbirine paralel ipliklerden oluşmuş bir yapı olarak modellenmiştir (Şekil 2.32,a). Buna göre iplikler arası bölgelerde oluşan dairesel kesitli kapillerin çapı (d_{cyd-d}) iplik çapı (d_y) ve iplikler arası açıklıklara dolayısıyla kumaş sıklığına bağlı olarak Eşitlik 2.125 ile hesaplanmıştır. Bu yaklaşımda iplikler arası bölgenin derinliği iplik boyutuyla ilişkilidir. Eşitlikte 1 alt indisi çözgü yönü için kapiller çapı tanımlamaktadır. Aynı şekilde atkı yönünde gerçekleşen dikey yöndeki kapiller hareket için de gerekli hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu basitleştirilmiş model için eliptik iplik çapı yaklaşımı için hesaplanan kapiller çap (d_{cye-d}) ise elipsin büyük ve küçük çaplarının (a_y , b_y) boyutlarına bağlı olarak Eşitlik 2.126 ile hesaplanmıştır. İkinci yaklaşım olarak ise Şekil 2.32 b’de görüldüğü gibi çözgü yönünde kapiller çap (d_{cyd-t}) iplik boyutları, iplik açıklıkları ve kumaş kalınlığına (t) bağlı bir parametre olarak Eşitlik 2.127 ile hesaplanmıştır.

$$d_{cyd1-d} = \sqrt{\frac{4(p_1 - d_{y1})d_{y1}}{\pi}} \quad (2.125)$$

$$d_{cye1-b} = \sqrt{\frac{4(p_1 - a_{y1})b_{y1}}{\pi}} \quad (2.126)$$

$$d_{cyd1-t} = \sqrt{\frac{4(p_1 - d_{y1})t}{\pi}} \quad \text{ve} \quad d_{cye1-t} = \sqrt{\frac{4(p_1 - a_{y1})t}{\pi}} \quad (2.127)$$



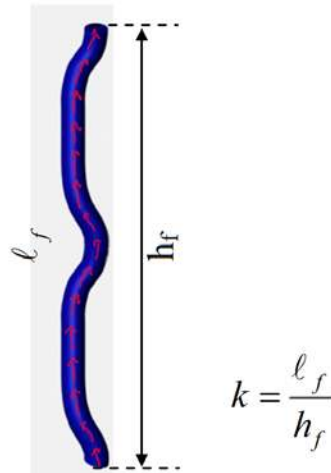
Şekil 2.32 a. Birbirine paralel silindirler arasında gerçekleşen akış, b. İplikler arasında gerçekleşen basitleştirilmiş kapiller akış mekanizması, c. Kumaş sisteminde iplikler arası kapiller akış mekanizması

Kumaşa iplikler arası gözenek bölgeleri atkı ve çözgü ipliklerinin kesişmesiyle oluşmaktadır (Şekil 2.32,c). Dolayısıyla kumaş sistemi düz bir kapiller tüpteki kapiller yükselme mekanizmasından daha karmaşık bir davranışa sahiptir. İplikler arası bölgede gerçekleşen düzlemsel akışta etkili olan kapiller çap kumaş enine kesit yapısıyla ilişkilidir. Kumaşı bir dikdörtgenler prizması içinde düşünürsek, çözgü ve atkı ipliklerinin yer değiştirme veya atlama hareketleriyle tanımlanan kumaşın iplikler arası kapiller yapısı kesişme düzenine bağlı olarak değişim göstermektedir. Kesişme bölgelerinde oluşan bu değişiklik daha önce anlatılan kumaşın enine kesit birim hücre modelleri incelenerek daha iyi kavranabilir (Şekil 2.3). Ancak çalışmada ipliklerin kesişme bölgelerindeki kapiller çap değişimi ihmal edilerek, iplikler arası kapiller çap gözenek bölgesinde alınan kesitten yola çıkılarak Eşitlik 2.125 ile hesaplanmıştır. İplik çapı, sıklık, kumaş kalınlığı ve örgü yapısı ile belirlenen 3-D kumaş yapısının düzlemsel yönde gerçekleşen iplikler arası kapiller mekanizmasını tahminlemek amacıyla kumaşın yapısal ve geometrik özelliklerine bağlı olarak belirlenen 3-D hacimsel gözeneklilik verisi (PV) kullanılmıştır. Buna göre iplikler arası bölgede dikey yönde gerçekleşen kapiller yükselmenin (dh_y) zamana bağlı fonksiyonu yani kapiller akış hızı 3-D yapı içinde gerçekleşen değişimin etkisini tanımlayan bir parametre kullanılarak Eşitlik 2.128 ile belirlenmiştir.

$$\frac{dh_y}{dt} = PV \times \frac{d_{cy}^2}{32\mu h_y} \left(\frac{4\gamma \cos \theta}{d_{cy}} - \rho g h_y \right) \quad (2.128)$$

2.3.2.2 İplik içinde gerçekleşen kapiller akış

İplik içinde gözeneklerin birbirine eşit ve sürekli olduğu varsayılarak iplik içinde dikey yönde gerçekleşen kapiller yükselme lifler arası hidrolik gözenek çapına bağlı olarak hesaplanmıştır. Elde edilen kapiller yükselme sonucu, aynı çaptaki düz bir boru içinde gerçekleşen yükselme değerine eşdeğer olarak elde edilmiştir. Ancak iplik kumaş içinde belli bir geometriye sahiptir. Gözeneğin gözenek boyunca aldığı şekil gözeneğin eğriliği (τ) olarak adlandırılmaktadır. Çalışmada iplik içi gözenek yapısının birbirine eşit ve sürekli kapiller yapılardan oluştuğu varsayılarak iplik içi gözenek sisteminin eğriliği 3-D iplik geometrisinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Kumaşın yapısal ve geometrik parametrelerine göre tanımlanan iplik geometrisi için iplik içi kapillerde τ ipliğin kıvrım oranına (k) eşit kabul edilmiştir (Şekil 2.33). Buna göre teorik olarak bulunan kapiller emme yüksekliği kıvrımsız iplik uzunluğuna (ℓ_f) bağlı olarak hesaplanmış (Eşitlik 2.129), daha sonra kumaş sistemi içindeki iplik içi kapiller yükselmenin (h_f) zamana bağlı fonksiyonu (kapiller akış hızı) kıvrım oranı (k) kullanılarak Eşitlik 2.130 ile modifiye edilmiştir.



Şekil 2.33 İplik içi kapiller yükselme

$$\frac{d\ell_f}{dt} = \frac{d_{cf}^2}{32\mu\ell_f} \left(\frac{4\gamma \cos \theta}{d_{cf}} - \rho g \ell_f \right) \quad (2.129)$$

$$h_f(t) = \frac{\ell_f(t)}{k} \quad (2.130)$$

Çözü ve atkı ipliklerinin farklı kesişimleriyle oluşan 3-D kumaş sisteminde iplikler ve lifler arası kapiller bölgeler düz bir yol izlememektedir. Dikey yönde gerçekleşen kapiller akış sırasında karşıt durumdaki iplik, kapiller geometrisinde değişikliğe neden olmakta, ayrıca sıvı ile temas durumunda karşıt durumdaki ipliğin lifler arası gözenek bölgelerine de transfer gerçekleşmekte ve bu bölgelerde akış yavaşlamaktadır. Çalışmada kapiller akış mekanizmasını daha karmaşık hale getiren bu durum ihmal edilerek, dikey yönde gerçekleşen kapiller yükselmenin zamana bağlı fonksiyonu (kapiller akış hızı) iplikler arası ve iplik içi bölgeler için ayrı ayrı çözümlenmiştir. Kumaş içinde, iplikler arası ve iplik içi gözenek bölgeleri birbirleriyle sürekli etkileşim halinde olduğundan birbirlerinin akış mekanizmasını etkilemektedirler. Bu etkileşimin sonucu akış hızında meydana gelen değişimin modellenmesi amacıyla, iplikler arası ve iplik içi gözenek bölgelerinde zamanın bir fonksiyonu olarak oluşan kapiller yükselme değerlerinin ortalaması alınarak (Eşitlik 2.131) kumaş sistemindeki kapiller akış hızı (bütünleştirilmiş kapiller akış hızı) elde edilmiştir.

$$h_b(t) = \frac{h_y(t) + h_f(t)}{2} \quad \text{veya} \quad \frac{dh_b}{dt} = \frac{1}{2} \left(\frac{dh_y}{dt} + \frac{dh_f}{dt} \right) \quad (2.131)$$

BÖLÜM ÜÇ

MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Çalışmada dokuma kumaşların yapısal özellikleri ve geçirgenlik özellikleri arasındaki ilişkileri incelemek ve geliştirilen teorik yaklaşımları sınamak amacıyla farklı kumaş parametrelerine sahip kumaşlar kullanılmıştır. Örgü tipi, iplik numarası, kumaş sıklığı gibi kumaşların yapısal özellikleri 3-D kumaş geometrisini oluşturarak kumaşın gözenek özelliklerini belirlemektedir. Farklı örgü tiplerinin gözenek ve geçirgenlik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla bezayağı, 2/1 dimi ve 3/1 dimi örgü yapısında kumaşlar kullanılmıştır. Kumaşlar atkı ve çözgü yönlerinde 29,53 Tex (Ne 20) ring pamuk ipliği kullanılarak üretilmiş, kumaş sıklıkları sıklık teorisi ve üretim koşullarına göre belirlenerek her bir örgü tipi için 3 farklı atkı sıklığında üretim gerçekleştirilmiştir. Kumaşlar dokunduktan sonra aynı koşullarda yakma, haşıl sökme, merserize, kasar ve boyama işlemleri uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan pamuklu kumaşların yapısal özellikleri Tablo 3.1’de özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Kumaşların yapısal özellikleri

Kumaş Kodu	Örgü Tipi	Birim Kumaş ağırlığı (g/m ²)	Kumaş kalınlığı (cm)	Çözgü ve Atkı Numarası N ₁ , N ₂ (Tex)	Çözgü/Atkı Sıklığı S ₁ / S ₂ (cm ⁻¹)	Çözgü kıvrım oranı (k ₁)	Atkı kıvrım oranı (k ₂)
A1	Bezayağı	148	0.037	29.53	36 / 14	1.053	1.059
A2	Bezayağı	163	0.037	29.53	36 / 18	1.057	1.076
A3	Bezayağı	175	0.036	29.53	36 / 22	1.070	1.091
B2	2/1 Dimi	158	0.038	29.53	36 / 18	1.036	1.067
B3	2/1 Dimi	171	0.038	29.53	36 / 22	1.034	1.075
B4	2/1 Dimi	186	0.039	29.53	36 / 26	1.076	1.099
C2	3/1 Dimi	161	0.040	29.53	36 / 18	1.027	1.062
C3	3/1 Dimi	186	0.041	29.53	36 / 22	1.022	1.142
C4	3/1 Dimi	190	0.041	29.53	36 / 26	1.040	1.098

3.2 Metot

3.2.1 Kumaşın yapısal özelliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen testler

Kumaşın yapısal ve performans özelliklerini belirlemek için gerçekleştirilen tüm testler kumaşlar kondisyonlanarak standart atmosfer koşullarında ($20^{\circ}\text{C}\pm 2$, %65 bağıl nem, TS 240 EN 20139) gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.1 Birim kumaş ağırlığı

Kumaşlar 10 cm x 10 cm boyutlarında kesilerek hassas terazide tartılmış ve 100 cm²'lik kumaş ağırlığından kumaşın metrekare ağırlığı (g/m²) hesaplanmıştır (TS 251, 1991).

3.2.1.2 Kıvrım oranı

Çözü ve atkı ipliklerinin kıvrım faktörünü belirlemek amacıyla öncelikle kumaştan çözgü ve atkı yönlerinde 10'ar adet iplik çekilmiştir. Daha sonra bu ipliklerin iki ucunun pens ile tutulup kıvrımları giderilecek kadar gerdirilmesiyle kıvrımsız iplik uzunlukları ölçülmüştür. Çözü ve atkı ipliklerinin ortalama kıvrımsız iplik uzunlukları belirlenerek Eşitlik 3.1'de gösterildiği gibi ipliğin kıvrımsız uzunluğunun (ℓ') kıvrımlı uzunluğuna (ℓ) oranından her iki yöndeki iplik için kıvrım oranı hesaplanmıştır (TS 255, 1989).

$$k = \frac{\ell'}{\ell} \quad (3.1)$$

3.2.1.3 Kumaş sıklığı

Kumaşın çözgü ve atkı sıklıkları (tel/cm, 1/cm, cm⁻¹) 2,5 cm genişliğindeki lupla görünen çözgü ve atkı iplikleri sayılarak hesaplanmıştır (TS 3328 ISO 4602, 2002).

3.2.1.4 Kumaş kalınlığı

Kumaş kalınlığı TS 7128 EN ISO 5084 (1998) standardına göre James Heal R&B Kumaş Kalınlık Ölçeri kullanılarak belirlenmiştir. Test sırasında 5 g/cm²'lik baskı ağırlığı kullanılmıştır.

3.2.1.5 Hava geçirgenliği testi

“Hava geçirgenliği; deney alanı, basınç düşmesi ve zaman gibi şartları belirlenmiş bir deney parçasından düşey yönde geçen havanın hızıdır” (TS 391 EN ISO 9237, 1999). Kumaşların hava geçirgenliği testleri Textest Air Permeability Tester FX 3300 Labotester III kullanarak test edilmiş ve her kumaş tipi için kumaşın farklı yerlerinde test uygulanarak 30 tekrar yapılmıştır. Deney sırasında belirli alana sahip kumaş örneğinin içerisinden geçirilen hava akımı kademeli olarak arttırılarak kumaşın iki yüzü arasında deney için belirlenen basınç farkına erişilinceye kadar devam edilmiştir. Kumaşların hava geçirgenliği değerleri, hava geçirgenliği cihazında 20 cm²'lik kumaş yüzeyinden, 100 Pa test basıncında 1 saniyede (s) geçen hava miktarının (mm) belirlenmesi ile elde edilmiş, sonuçlar mm/s olarak ifade edilmiştir.

3.2.1.6 Dikey emme testi

Kumaşların emme davranışını analiz etmek amacıyla “Tekstil materyali tarafından absorbe edilen su miktarının belirlenmesi” olarak adlandırılan DIN 53924 standardı kullanılarak dikey emme testleri gerçekleştirilmiştir. Kumaşların hem atkı hem çözgü yönlerinden 200x25 mm boyutlarında test örnekleri hazırlanarak uzun kenarı sıvı içine 30 mm batacak şekilde bir düzeneğe asılmıştır. Sıvının kumaş içindeki ilerlemesini görmek amacıyla %1 oranında potasyum kromat içeren saf su kullanılmıştır. Sıvının kumaş boyunca yükselme değeri 10., 30., 60., 90., 120., 180., 240. ve 300. saniyelerde kumaşa paralel yerleştirilmiş cetvelden ölçülmüştür. Her kumaş için atkı ve çözgü yönlerinde beşer tekrar gerçekleştirilerek sonuçlar

istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu test yardımıyla kumaş içindeki gözeneklerde meydana gelen emme davranışı zamana bağlı olarak incelenmiştir.

3.2.2 Kullanılan bilgisayar programları

3.2.2.1 Adobe® Photoshop® CS3

Kumaş fotoğraflarının görüntü analizi öncesi düzenlenmesi, ayrıca görüntüler üzerinden kumaş parametrelerinin ölçülmesi için Adobe® Photoshop® CS3 10.0 programı kullanılmıştır.

3.2.2.2 MATLAB®

MATLAB® programlama dili birçok matematik, fen ve mühendislik uygulamasında kullanılan önemli bir yazılımdır. Çalışmada kumaş görüntülerinin işlenerek analiz edilmesi ve gözenek özelliklerinin belirlenmesi için uygulanan görüntü analizi yöntemleri MATLAB® R2008b programında yazılan program ile gerçekleştirilmiştir. Programda “*Image Processing Toolbox*” (IPT) kullanılarak görüntü işleme yöntemleri uygulanmıştır.

3.2.2.3 Microsoft® Visual Basic 6.0

3-D birim örgü modelinde iplik merkez eğrisini elde etmek amacıyla kullanılan doğrusal model ve B-spline eğrisi çıktılarını elde etmek için gerekli hesaplamalar Microsoft® Visual Basic 6.0 programlama dilinde yazılan algoritma ile çözümlenmiştir. Program girdileri için iplik numarası, kumaş kalınlığı gibi kumaş parametreleri kullanılmıştır.

3.2.2.4 Autodesk® 3ds Max®

Etkileşimli ve gerçek zamanlı çalışma ortamına sahip üç boyutlu modelleme, kaplama, canlandırma, aydınlatma yazılımı olan Autodesk® 3ds Max® özel efektler,

hareketli görüntüler, gerçekçi animasyonlar, bilgisayar oyunları gibi birçok alanda kullanılan Windows ortamında geliştirilmiş bir yazılımdır. Program yaygın olarak mimarlar, mekanik tasarımcılar tarafından projelere zengin görselleştirmeler katmak amacı ile kullanılır. Program aynı zamanda reklâm ve sinema filmleri, bilgisayar oyunları ya da TV jenerikleri hazırlama alanlarında da kullanılır. Program tekstil alanında tekstil yapılarının simülasyonlarının elde edilmesini sağlar. Çalışmada geometrik modele bağlı olarak iplik orta eksen eğrisinin geçeceği yaklaşık noktalar “B-Spline” yöntemi ile belirlendikten sonra, Autodesk® 3ds Max® 2012 14.0 öğrenci versiyonu programında her bir noktanın x,y,z koordinatları girilerek düzgün bir eğrinin görüntüsü elde edilmiş, daha sonra elde edilen bu eğriye kaplama yöntemi ile istenen şekilde enine kesit giydirilerek kumaş içindeki ipliğin 3-D yapısı oluşturulmuştur. Daha sonra elde edilen 3-D atkı ve çözgü iplik modelleri birleştirilerek 3-D kumaş yapısı oluşturulmuş ve monitörde modellenen 3-D kumaş yapısı görsel olarak elde edilmiştir.

3.2.2.5 MINITAB® Release 14

Kumaşların yapısal özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi, farklı yöntemlerle elde edilen gözenek özellikleri ve geçirgenlik sonuçlarının değerlendirilmesi, ayrıca test ve model sonuçları arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla istatistiksel bir yazılım olan MINITAB® Release 14 programı kullanılmıştır.

3.2.3 Kumaş görüntülerinin elde edilmesi

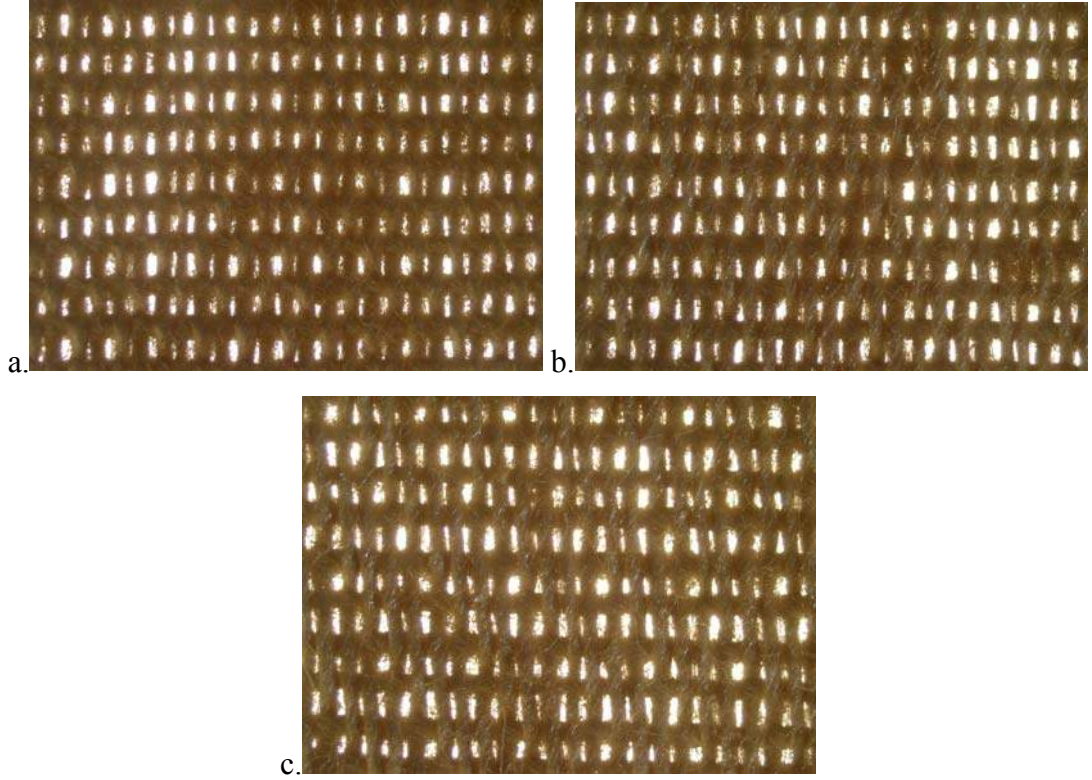
İplik çapı (d), iplik açıklıkları (p), iplik alanı (A_y), lif alanı (A_f), kumaş kalınlığı (t) gibi kumaş parametrelerinin kumaş görüntüleri üzerinden yapılan ölçümlerle belirlenmesi amacıyla kumaşların yüzey ve enine kesit düzlemlerinin fotoğrafları çekilmiştir. Elde edilen kumaş görüntüleri aynı zamanda kumaşların gözenek özelliklerinin görüntü analizi yöntemi ile belirlenmesi amacıyla da kullanılmıştır.

3.2.3.1 Kumaşın yüzey görüntülerinin elde edilmesi

Kumaşın yüzey görüntülerini elde etmek için çalışmada kullanılan sistem aydınlatmanın alttan yapıldığı bir mikroskop (Olympus Bx41), görüntülerin dijital ortama aktarılması için mikroskoba entegre edilmiş bir kamera (Olympus C-4000) ve elde edilen görüntülerin depolanması ve analiz edilmesi için kullanılan bir bilgisayar sisteminden oluşmuştur (Şekil 3.1). Kumaş yüzeyi boyunca ölçülebilen kumaş parametrelerinin değişiminin istatistiksel olarak değerlendirilebilmesi amacıyla her kumaş tipinin farklı bölgelerinden 5'er adet görüntü alınmıştır. Şekil 3.2'de bezayağı, 2/1 dimi ve 3/1 dimi kumaşların yüzey görüntülerine örnekler gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Görüntüleme sistemi



Şekil 3.2. Kumaş yüzey görüntüleri: a. Bezayağı, b. 2/1 dimi, c. 3/1 dimi

3.2.3.2 Kumaşın enine kesit görüntülerinin elde edilmesi için yapılan çalışmalar

Kumaşın yapısal ve geometrik özelliklerini belirlemek amacıyla bezayağı, 2/1 dimi ve 3/1 dimi örgü yapılarına sahip, üçer farklı atkı sıklığında dokunmuş dokuz tip kumaşın atkı ve çözgü yönlerinden enine kesitleri alınarak, kumaşların enine kesit görüntüleri incelenmiştir. Elde edilen enine kesit görüntüleri ipliğin boyut ve şekil gibi yapısal özelliklerini tanımlarken ve örgü içinde ipliğin izlediği yolu modellerken kullanılmıştır. Kumaşın yüzey görüntüleri herhangi ekstra bir işlem uygulanmadan mikroskop, kamera sistemi kullanarak alttan ışıklandırmaya sahip bir sistemle kolayca elde edilebilir. Kumaşın enine kesit görüntüsünü elde etmek ise ek bir örnek hazırlama işlemi gerektirdiğinden daha ayrıntılı ve hassas bir işlemdir. Kumaşın enine kesit görüntüsünü ipliklere ve kumaş geometrisine zarar vermeden elde etmek yapıyı doğru bir şekilde incelemek için önemlidir. Kumaşın enine kesit görüntüsünü elde etmek amacıyla farklı yöntemler denenerek bir grup ön çalışma gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.2.1 Poliester reçine ile kalıp hazırlama Bu yöntemde kumaş örneği poliester reçine içinde sertleştirilmiştir. Daha sonra kalıp kesilmiş, mikroskopta incelemeye uygun pürüzsüz ve parlak bir yüzey elde etmek amacıyla zımparalanmış ve cilalanmıştır (Şekil 3.3). Hazırlanan örneğin görüntüleri alttan aydınlatmalı stereo mikroskopunda ve Metalurji mikroskopunda (yansıtmalı) incelenmiştir (Şekil 3.4). Kumaşın poliester reçinede dondurulması işlemi kumaşın sabitlenmesi açısından avantajlıyken kesme işleminin hassas olmaması ve ince kesitler elde edilememesi nedeniyle düzgün kesit görüntüleri elde edilememiştir. Şekil 3.4’de görüldüğü gibi kesme işlemi poliester reçine kalıpta zımparalama işlemi giderilemeyen derin yarıklara neden olmuştur. Ayrıca zımparalama işlemi sırasında meydana gelen zararlardan dolayı görüntü analizi sırasında kullanılacak net görüntüler elde edilememiştir.



Şekil 3.3. Poliester reçine içine gömülmüş kumaş kalıp



Şekil 3.4 a. Alttan aydınlatmalı mikroskoptan elde edilen poliester reçineli kumaş görüntüsü, b. Yansıtmalı mikroskopla elde edilen poliester reçineli kumaş görüntüsü (x10)

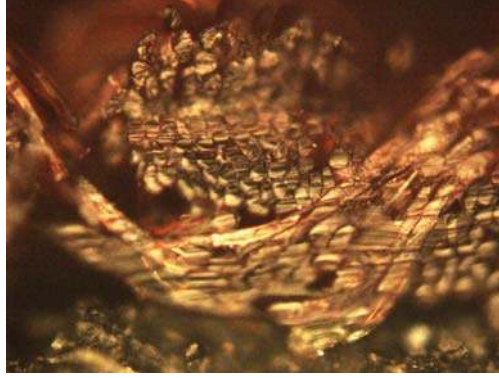
Hazırlanmış poliester kalıp daha düzgün kesilmesi için kalıp su jeti ile kesilmiş ancak bu işlemde de kumaşın olduğu doğrultu boyunca erime gerçekleştiğinden enine kesit incelenememiştir.

3.2.3.2.2 Kumaşı parafin içine gömme Daha çok patolojik incelemelerde kullanılan bu yöntemde kumaş parafin içine yatırılarak dondurulmuş (Şekil 3.5), daha sonra hazırlanan kalıptan mikrotomda farklı inceliklerde kesitler alınmıştır. Bu yöntemde göre kesit alma işleminde alınan kesitler parafin malzemesinde oluşan katlanmayı önlemek için su üstüne yerleştirilmekte, daha sonra katlanmaları giderilen kesit lam üzerine alınmaktadır. Parafin iplik içine nüfus etmemiş olduğundan bu işlem sırasında su ile temas eden kesitte lifler birbirinden uzaklaşmakta ve yapıda dağılma olmaktadır. Dolayısıyla bu yöntem ile de düzgün bir kumaş kesiti elde edilememiştir.



Şekil 3.5. Parafin kalıp

3.2.3.2.3 Metal plakalara sıkıştırma Kumaşa herhangi bir işlem uygulamadan serbest halde incelemek için kumaş örneği metal plakalar arasına yerleştirilerek incelenmiştir. Şekil 3.6’da metal plaka arasına yerleştirilerek yansıtımlı mikroskopta incelenen kumaş resimleri görülmektedir. Yansıtımlı mikroskopla çalışırken karşılaşılan en önemli problem kumaş parçasını keserken ve yerleştirirken oluşan deformasyondan dolayı tüm iplik ve lif seviyelerinin aynı olmamasıdır. Farklı yüksekliklerden dolayı yansıtımlı mikroskopta kumaşın geometrisi için net görüntü elde edilememekte, seviye farkları bir noktaya odaklanırken diğer noktalarda net olmayan görüntüye neden olmaktadır (Şekil 3.6).

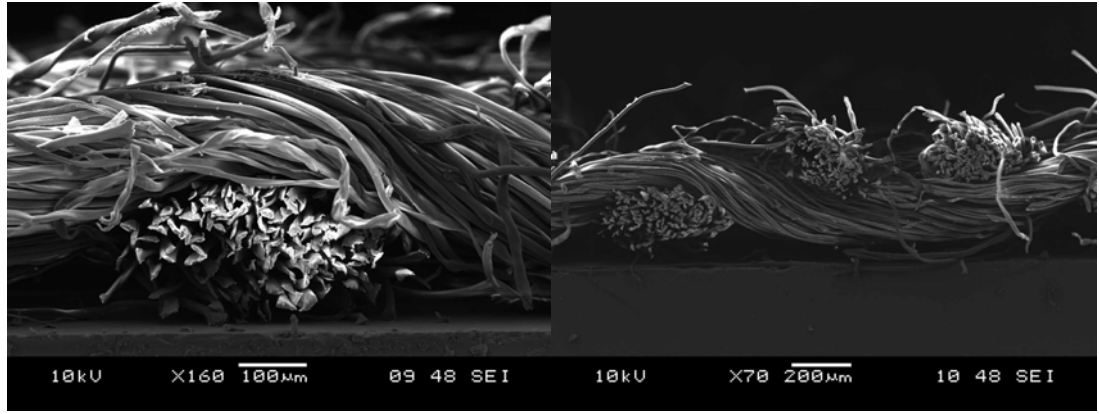


Şekil 3.6. Yansıtımlı mikroskopta metal plaka arasına sıkıştırılmış kumaş görüntüsü

3.2.3.2.4 *SEM görüntüleri* kumaşlardan kesilen örnekler cam plakalara yapıştırılarak taramalı elektron mikroskobunda (SEM) kesit görüntüleri elde edilmiştir. Kumaş serbest konumda olduğundan kesildikten sonra ipliklerde dağılmalar olmaktadır (Şekil 3.7). Bu nedenle özellikle gözenek özelliklerinin inceleneceği çalışmada kullanılabilecek enine kesit görüntüleri elde edilememiştir.

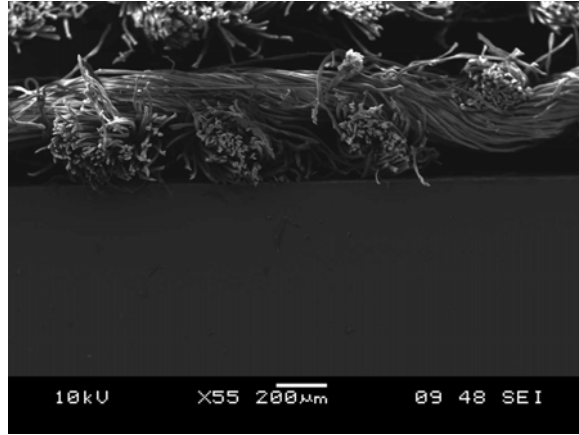
3.2.3.2.5 *Frozen enine kesit alma yöntemi* Yapılan ön çalışmaların sonucunda kumaş kesitlerinde özellikle lif ve gözenek bölgelerini incelemek için en temiz görüntülerin cryostat mikrotomu ile elde edildiği gözlenmiştir. Özellikle tıp alanında histolojik incelemeler için kullanılan yöntem, öncelikle örneklerin dondurulması prosedürünü (frozen section procedure) içermektedir. Oluşturulan deney planına göre öncelikle dokuz tip pamuklu kumaşın atkı ve çözgü yönlerinden aynı çözgü ve atkı ipliğini içermeyecek şekilde 1,5 x 1,5 cm²'lik boyutlarda 5'er örnek kesilmiştir. Her kumaştan kesilen örnekler 5'er kat olarak *croyomold* adı verilen plastik taşıyıcılara yerleştirilmiş ve kumaşların üzerine Killik (Crostat Embedding Medium) damlatılarak cryostat mikrotomda kesit alınacak özel gömme ortamı oluşturulmuştur. Her kumaş katı solüsyonu tamamen emene kadar bir saat bekletildikten sonra örnekler -20°C'de dondurulmuştur (Şekil 3.8). Hazırlanan örneklerde birden fazla kumaş katının kullanılması, tek kesitte daha fazla görüntünün elde edilmesini sağlamıştır. Daha sonra donan örnekler kalıplarından çıkartılarak kesit almak üzere Leica CM 1850 cryostat mikrotoma yerleştirilmiştir (Şekil 3.9). İncelenecek enine kesitler lam üzerine alınmaya başlanmadan önce, kumaş örneklerini hazırlarken kesme işlemi sırasında zarar gören

yerlerin elenmesi ve yüzeyin temizlenmesi amacıyla donmuş kalıptan mikrotomla alınan ilk kesitler atılmıştır. Bu işlem sonrasında her kumaş katını içerecek şekilde 5 μm kalınlığında kesit alınarak lam üzerine yerleştirilmiştir. Alınan her kesit sonrasında 10 tane kesit atılarak yeni bir bölgenin incelenmesi sağlanmıştır. Her bir örnekten 5 adet kesit alınarak lam üzerinde 1:1 oranda Kanada balsamı ve Ksilol karışımı ile kapatılmış ve mikroskopta incelenecek örnekler hazırlanmıştır (Şekil 3.10).



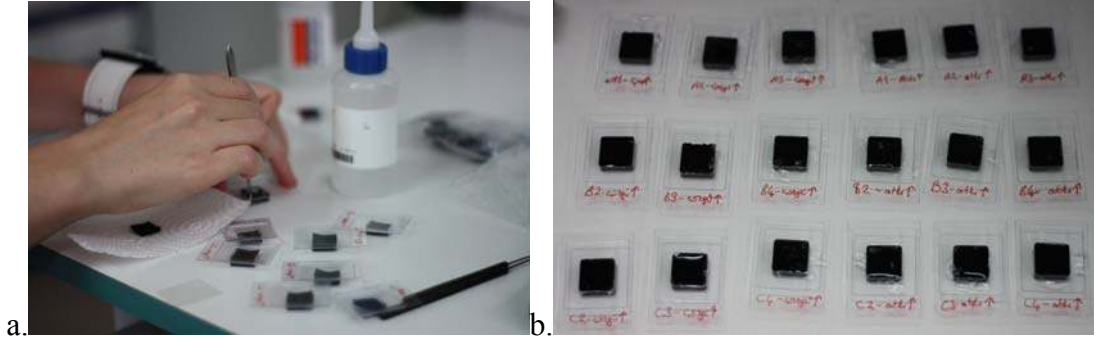
a.

b.

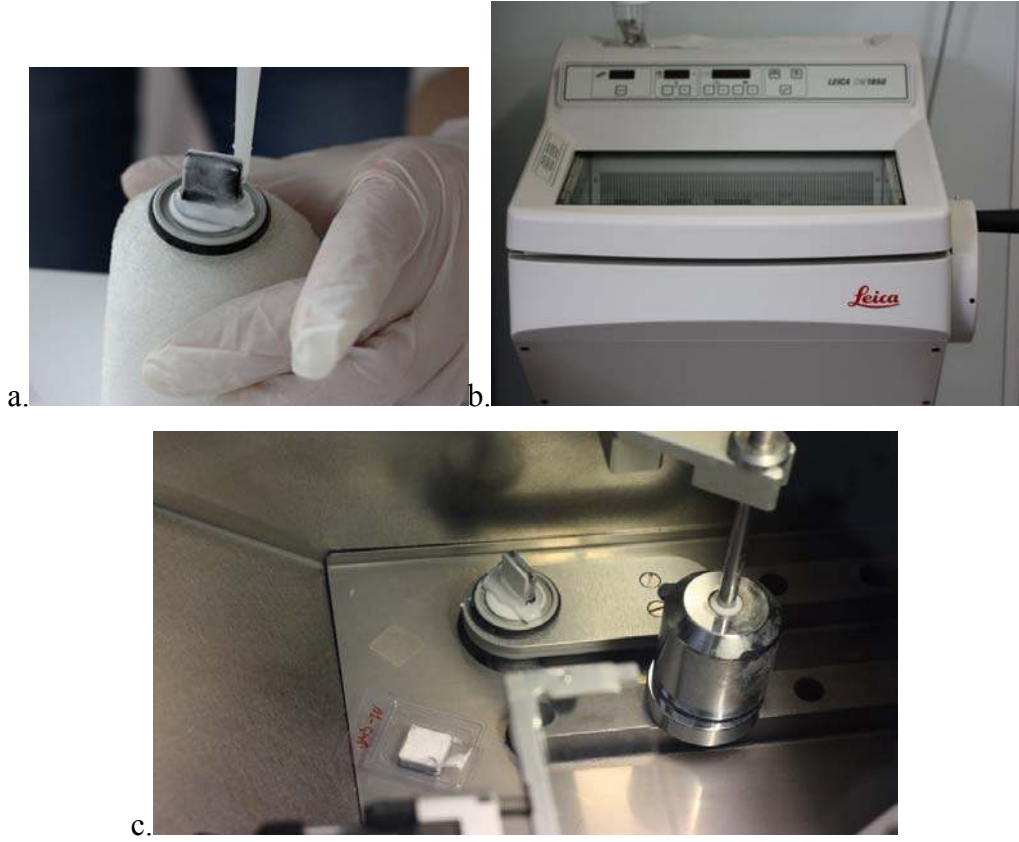


c.

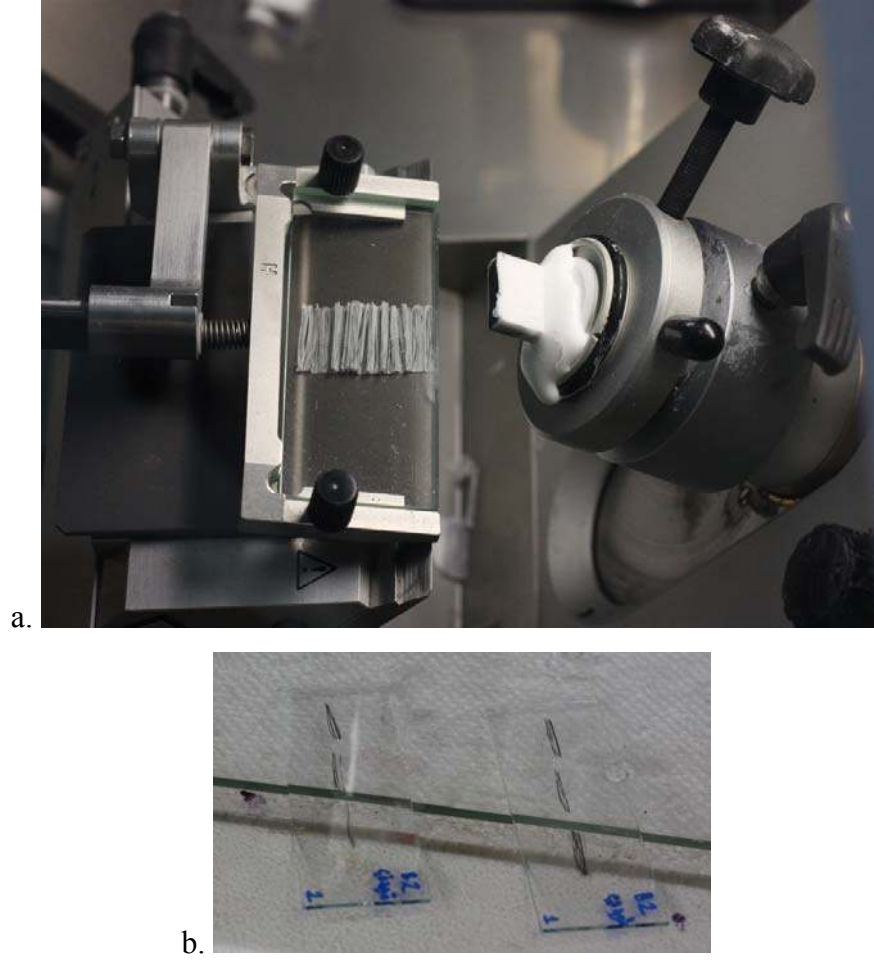
Şekil 3.7. SEM görüntüleri: a. Bezayağı, b. 2/1 dimi, c. 3/1 dimi kesit görüntüleri



Şekil 3.8 a. Kumaş örneklerinin taşıyıcılara yerleştirilmesi, b. Gömme ortamının oluşturulması

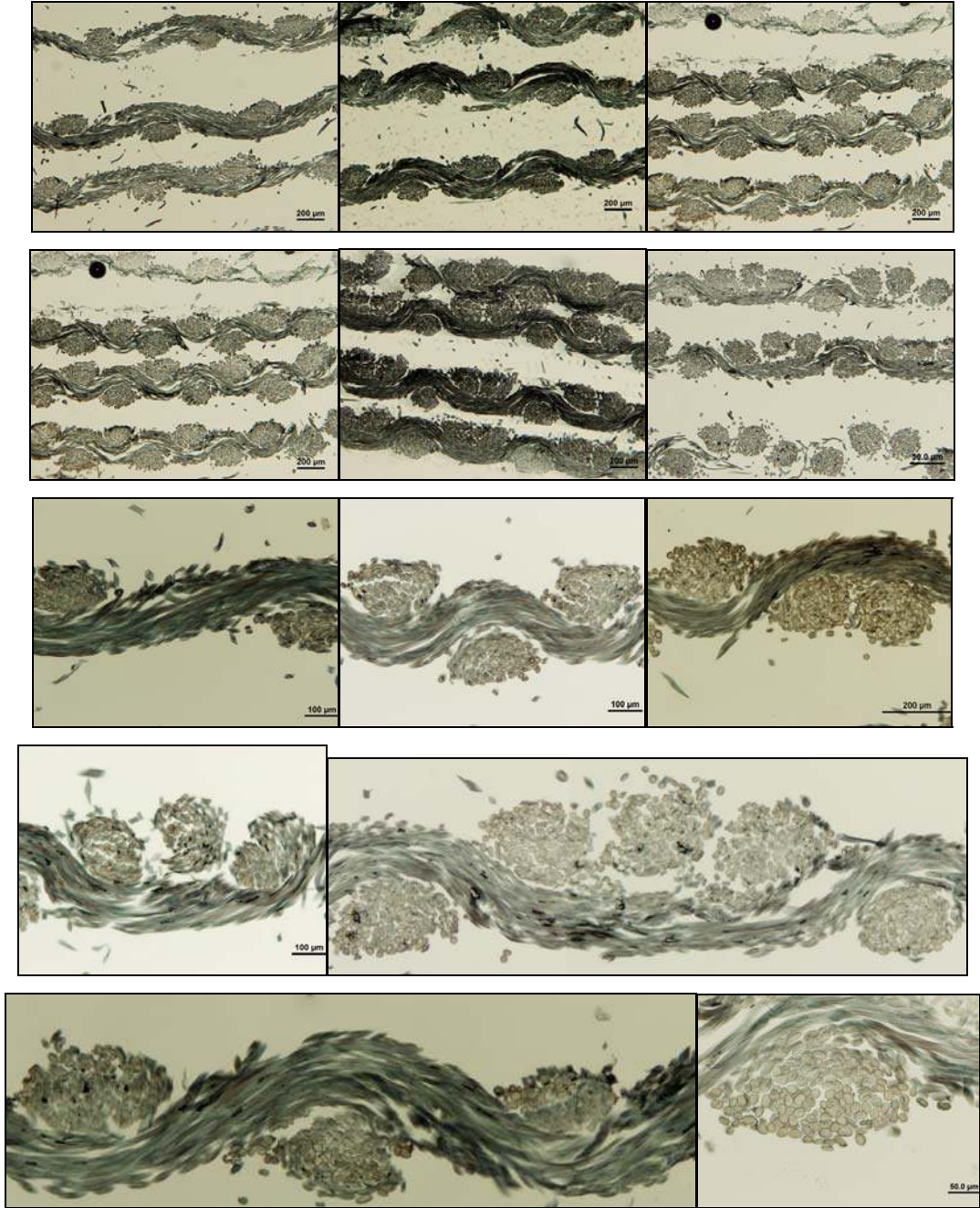


Şekil 3.9 a. Donmuş kalıpların kesit alma işlemi için hazırlanması, b. Soğutma bölmeli mikrotom (cryostat mikrotom), c. Mikrotomun soğutmalı kesit alma kabini



Şekil 3.10 a. Mikrotomda kesit alma işlemi, b. Lam üzerine yerleştirilmiş kumaş enine kesitleri

Enine kesit görüntülerinin bilgisayar ekranında incelendiği ve fotoğraflarının çekildiği sistem, Olympos DP71 kamerası entegre edilmiş Leica DM 4000B araştırma mikroskobu ve bilgisayar sisteminden oluşmaktadır. Mikroskopta sırasıyla 4x, 10x ve 20x objektifler kullanılarak kumaş geometrisinin, örgü birimlerinin ve iplik yapısının ayrıntılı olarak incelenebileceği fotoğraflar çekilmiştir. Şekil 3.11’de farklı büyütme ölçeklerinde çekilmiş kumaş enine kesit görüntülerine ilişkin örnekler yer almaktadır.



Şekil 3.11 Farklı büyütmelerde elde edilmiş bezayağı, 2/1 ve 3/1 dimi kumaş enine kesit görüntülerine örnekler

3.2.4 Kumaşın yapısal parametrelerinin belirlenmesi

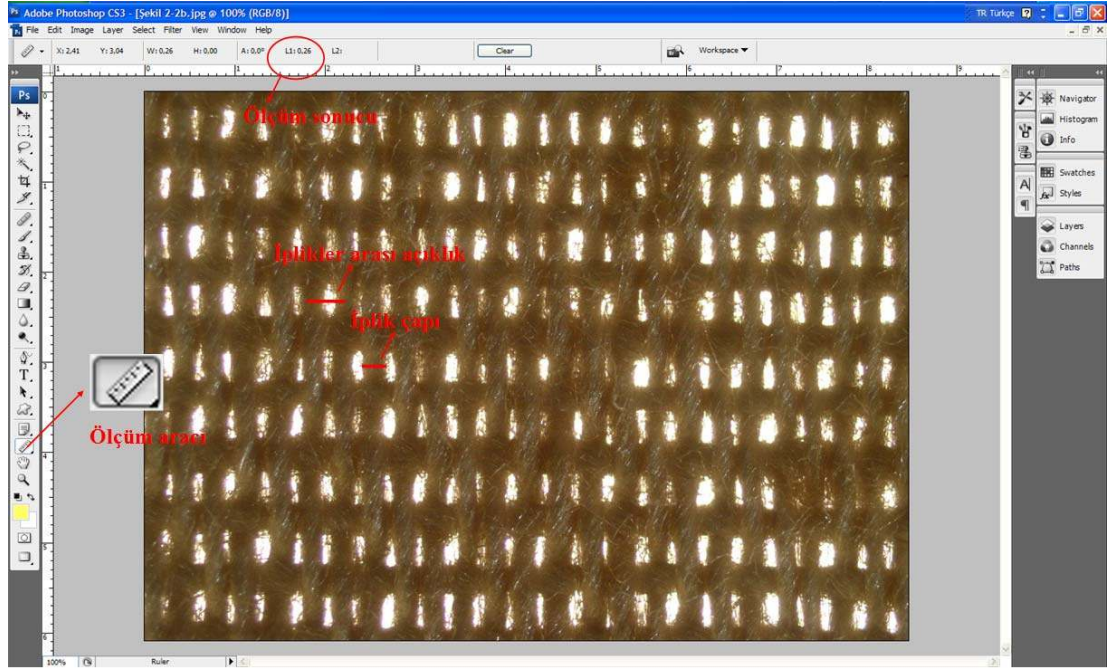
Kumaş modellerinde kullanılan kumaş parametrelerinin bazıları deneysel olarak ölçülmüş, bazıları ise teorik olarak tahminlenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde iplik çapı (d), iplik açıklığı (p), iplik alanı, lif alanı, dimi kumaşların eğiklik açısı gibi

kumaşın yapısal parametrelerinin kumaş görüntüleri kullanılarak belirlenmesi açıklanmıştır.

3.2.4.1 Yüzey görüntüleri üzerinden yapılan ölçümler

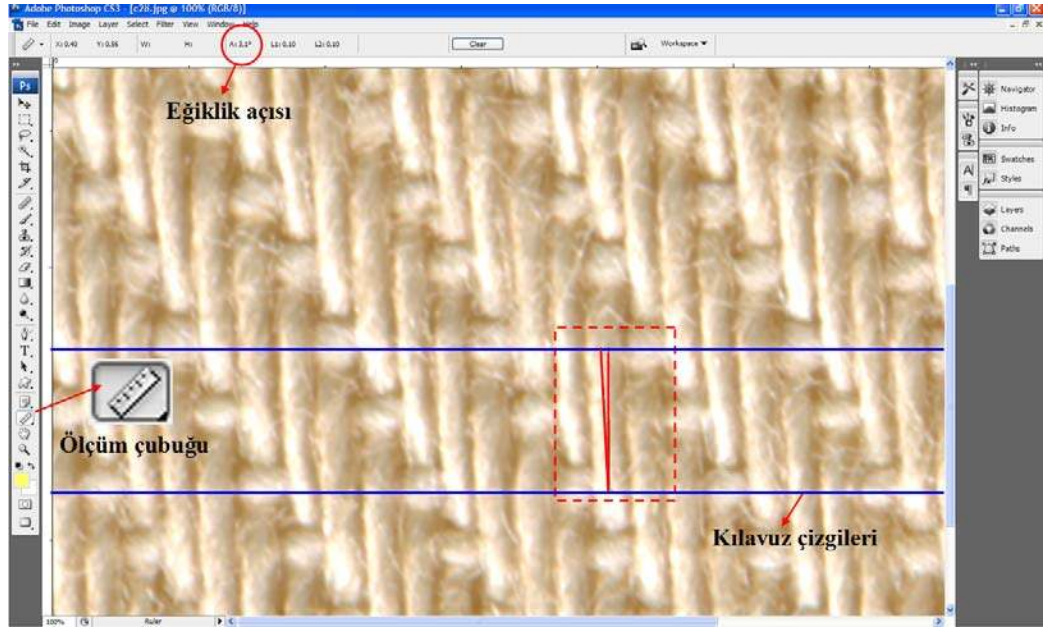
İplik çapı, kumaş geometrisini ve gözenek özelliklerini belirleyen önemli kumaş parametrelerinden biridir. Çalışmanın teorik bölümünde iplik çapı için dairesel ve eliptik yaklaşımlarla çözümlemeler yapılmıştır. İplik çapının deneysel ölçüm yöntemleri ile belirlenmesi amacıyla da öncelikle kumaşların yüzey görüntüleri üzerinde Adobe® Photoshop® CS3 programı kullanılarak iplik çapı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yüzey görüntüleri üzerinden tek boyutlu ölçümler yapılabildiğinden ölçülen iplik çapının dairesel olduğu varsayılarak kumaş içindeki dairesel iplik çapı (d_m) deneysel olarak elde edilmiştir. Ayrıca yüzey görüntüleri üzerinden iplikler arası açıklık uzunluğu da ölçülerek deneysel iplik açıklıkları değerleri (p_m) elde edilmiştir.

Kumaş görüntüleri üzerinde yapılan uzunluk ölçümleri Adobe® Photoshop® CS3 programında *ölçüm araç çubuğu* kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.12). Daha sonra fotoğraftaki büyütme oranları dikkate alınarak çap ve iplik açıklıklarının gerçek değerleri hesaplanmıştır. Her kumaş tipinin yüzey görüntüsü üzerinden 10 çözgü 10 atkılı ipliği çapı (d_{m1} , d_{m2}) ve iplik açıklığı (p_{m1} , p_{m2}) ölçülerek ortalama uzunluk değerleri ve %95 güven aralıkları hesaplanmıştır. 1 ve 2 alt indisleri sırasıyla çözgü ve atkılı ipliklerini; m alt indisi iplik çapı ve iplik açıklığı parametrelerinin ölçülen (deneysel) değerlerini tanımlamak için kullanılmıştır. Bu yöntem ile elde edilen d ve p verileri 2-D ve 3-D birim gözenek hücre modellerinin gözeneklilik ve gözenek boyutu özelliklerini hesaplamak için kullanılmıştır.



Şekil 3.12 Yüzeysel görüntü üzerinde yapılan d ve p ölçümleri

Örgü birimi modelinde tanımlanmış olan dimi örgülerin atkı ve çözgü ipliklerinin atlama bölgelerindeki eğiklik açıları da Adobe® Photoshop® CS3 programı kullanılarak kumaşın yüzey görüntüleri üzerinde yapılan ölçümle belirlenmiştir. Bu amaçla hem çözgü hem atkı yönünde atlama bölgesindeki eğiklik açısının belirlenmesi amacıyla öncelikle kumaşların ön ve arka yüzeyleri HP Scanjet G4010 model tarayıcı ile yüksek çözünürlükte taranmıştır. Daha sonra Adobe® Photoshop® CS3 programında ölçüm araç çubuğu ve kılavuz çizgilerden yararlanılarak elde edilen yüzey görüntüleri üzerinden eğilme açıları ölçülmüştür. Ölçüm araç çubuğu ile kılavuz çizgileri arasında iki doğru çizilmiştir. Kılavuz çizgiler arasına çizilen doğrulardan biri düz, diğeri ise ipliğin atlama bölgesinde yaptığı hareketi izleyen eğik bir doğrudur. Bu iki doğru arasındaki açı “eğiklik açısı” olarak tanımlanmıştır. Eğiklik açısının elde edilmesi için kumaş yüzey görüntüleri üzerinde kumaştaki farklı atlama bölgelerinden 10 adet ölçüm yapılarak ortalama eğiklik açısı çözgü ve atkı yönlerinde ayrı ayrı hesaplanmıştır (Şekil 3.13).

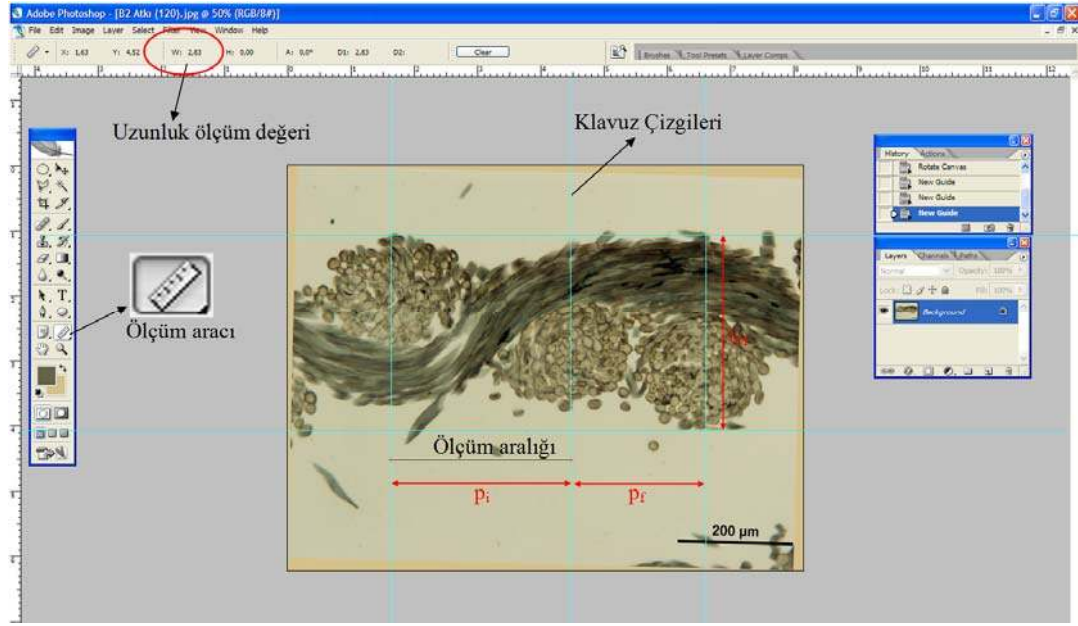


Şekil 3.13 Yüzey görüntüsü üzerinde eğiklik açısının ölçülmesi

3.2.4.2 Enine kesit görüntüleri üzerinden yapılan ölçümler

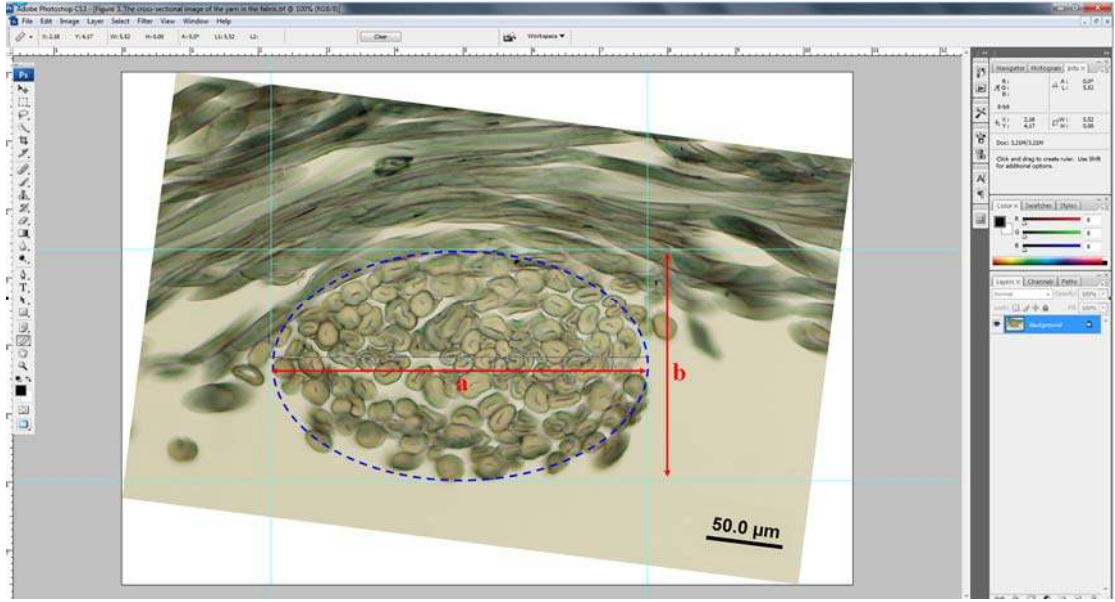
3.2.4.2.1 *Adobe® Photoshop® CS3 ölçümleri.* Farklı büyütmelerde objektif kullanılarak elde edilen kumaş enine kesit görüntüleri üzerinden Adobe® Photoshop® CS3 yardımı ile ölçümler yapılarak kumaşın yapısal parametreleri deneysel olarak belirlenmiştir. 10x büyütmeli objektif kullanılarak elde edilen enine kesit görüntülerinden ölçülen kumaş parametreleri; atlama bölgesinde iplikler arası mesafe (p_r), kesişme bölgesinde iplikler arası mesafe (p_i) ve enine kesit görüntüsünden ölçülen kumaş kalınlığıdır (t_e) (Şekil 3.14).

Photoshop'ta ölçüm yapılırken öncelikle ölçüm değeri cm birimine çevrilmiştir. Daha sonra görüntüdeki eğrilik düzeltilmiş ve klavuz çizgileri kullanılarak ölçülecek iki nokta arası işaretlenmiştir. Araç çubuğu kullanılarak elde edilen uzunluk ölçüm değeri pencerenin sol üst bölümünde yer almaktadır. Ölçülen sonuçlar fotoğrafın büyütme oranına göre hesaplanarak gerçek değerler bulunmuştur.



Şekil 3.14 Adobe® Photoshop® CS3 penceresinde örgü birimi üzerinden ölçülen parametreler

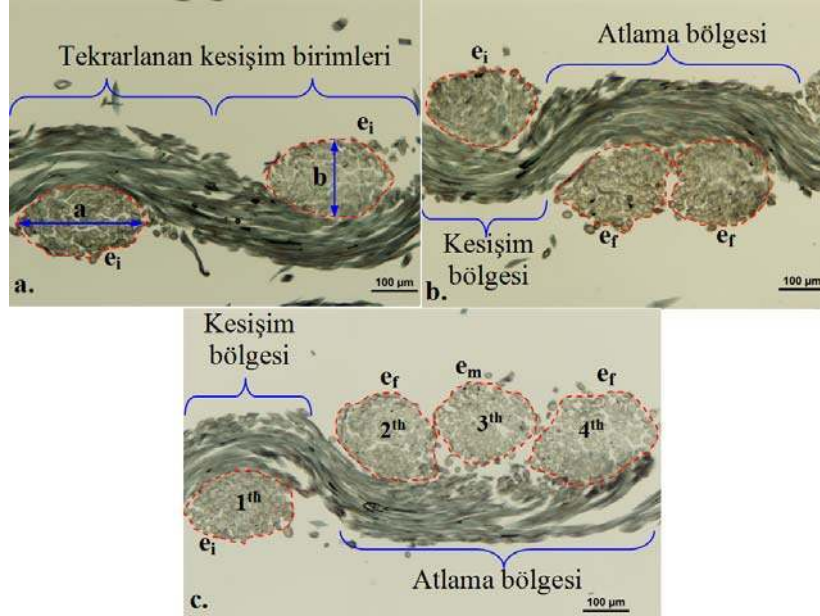
20x büyütme objektif kullanılarak elde edilen enine kesit görüntüleri yardımıyla kumaş içindeki iplik görüntüsü ayrıntılı olarak incelenebilmiştir. Şekil 3.15’de görüldüğü gibi ipliğin enine kesit görüntüsünden Adobe® Photoshop® CS3 ile ölçülen iplik parametreleri ipliğin büyük çapı (a) ve küçük çapıdır (b). Kumaşların enine kesit görüntülerinden ölçülen uzunlukların ortalama değerlerinin ve dağılımlarının belirlenmesi için her kumaşın atkı ve çözgü yönlerindeki enine kesit görüntülerinde p_f , p_i , t_c , a ve b uzunlukları için 30’ar ölçüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.15 15 Adobe® Photoshop® CS3 programında iplik üzerinden ölçülen parametreler

İplik enine kesitinin ipliğin izlediği yol boyunca değişimini analiz etmek amacıyla atlama ve kesişme bölgelerindeki enine kesit boyutları ölçülerek örgü tipine, örgü tipi içindeki konumuna ve sıklığa göre iplik kesit şeklinin değişimi incelenmiştir. Çalışmada, ipliğin küçük çapının (b) büyük çapına (a) oranı olarak tanımlanan yassılma oranı ($e=b/a$) iplik şekil değişiminin bir göstergesi olarak kabul edilmiştir. İpliğin izlediği yol dikkate alınarak boyut değişiminin incelenmesi amacıyla ipliğin bulunduğu pozisyon dikkate alınarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sürekli kesişim bölgelerinden oluşan bezayağı kumaşlarda kesişim pozisyonu için iplik boyutları belirlenmiştir. 2/1 dimi kumaşlarda iplik boyut ölçümleri atlama ve kesişme bölgesi olmak üzere iki farklı bölgeye ayrılmıştır. 3/1 dimi kumaşlarda ise ölçüm üç bölgeye ayrılarak yapılmıştır. Bunlar; kesişme bölgesindeki iplik, atlama bölgesinin kenarlarında yer alan birinci ve üçüncü iplikler ve atlama bölgesinin ortasında yer alan ikinci iplik için yapılan ölçümlerdir (Şekil 3.16). i, f, ve m alt indisleri sırasıyla kesişme bölgesini, atlama bölgesini ve atlama bölgesinde ortada kalan ipliği tanımlamak için; 1 ve 2 indisleri ise çözgü ve atkı ipliklerini tanımlamak için kullanılmıştır. Her kumaş tipinin atkı ve çözgü yönlerinde ölçümler gerçekleştirilerek, örgü tipi içinde yer alan her bölge için ayrı ayrı 30 adet iplik ölçülmüştür. İpliğin izlediği yol boyunca iplik kesitinde meydana gelen boyutsal ve

şekilsel değişimin örgü tipi ve sıklık parametreleri açılarından istatistiksel olarak incelenmesi amacıyla MINITAB® 14 programı kullanılmıştır.



Şekil 3.16 a. Bezayağı, b. 2/1 dimi, c. 3/1 dimi kumaşlar için iplik çapı ölçüm bölgeleri

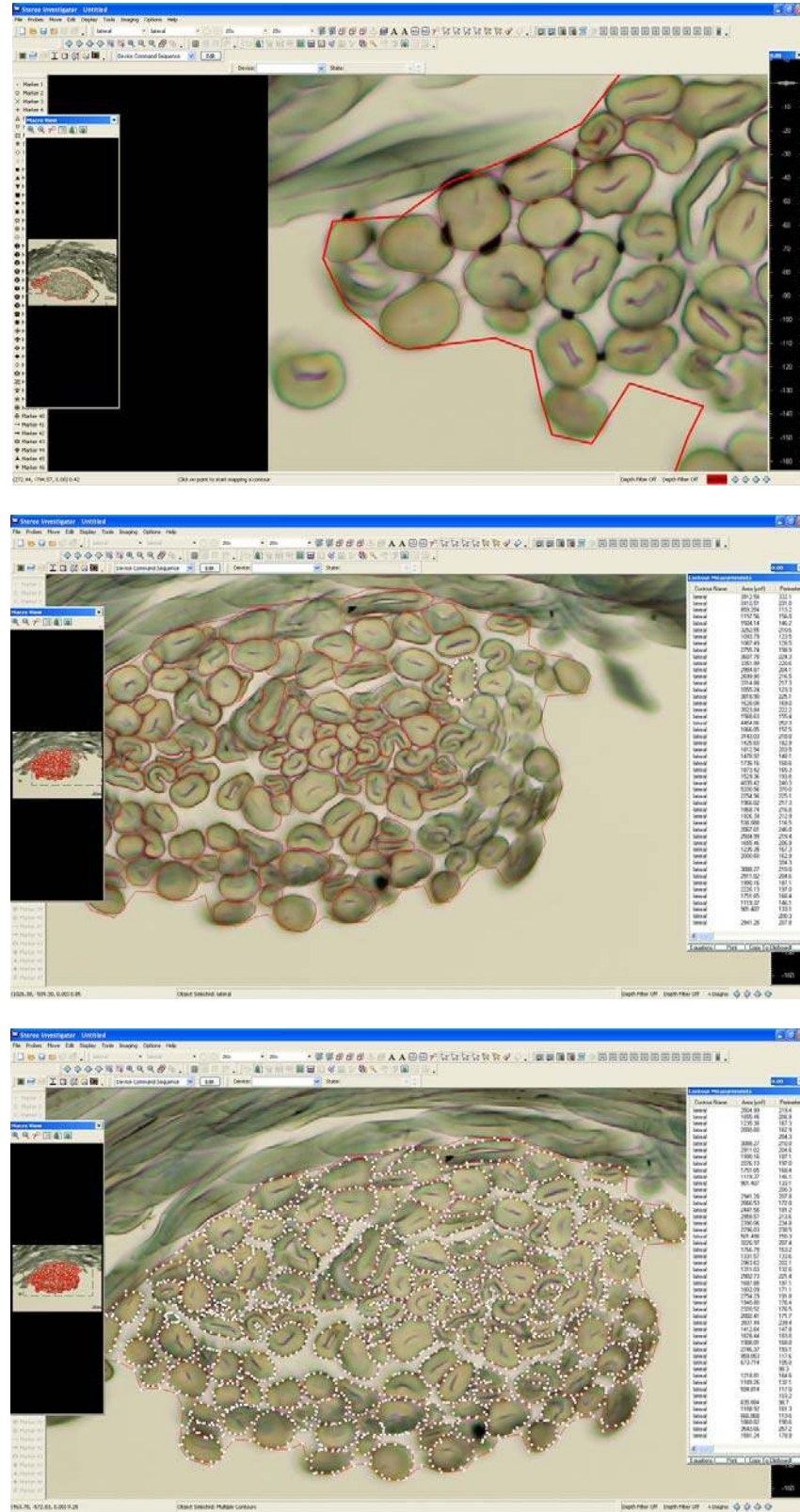
3.2.4.2.2 Stereo Investigator® ölçümleri. Kumaş kesitinde yer alan ipliklerin yapısal özelliklerinin ayrıntılı olarak belirlenmesi için görüntüler mikroskopta incelenerek fotoğrafları çekilmiştir. İpliğin büyük çap ve küçük çap boyutlarının belirlenmesi için ayrıca Stereo Investigator® 8 (SI) programında da ölçümler gerçekleştirilmiş ve kumaş içindeki ipliğin yapısal ve geometrik özellikleri tanımlanmıştır. Her kumaş tipinin atkı ve çözgü yönlerinden 20 ipliğin boyutları ölçülmüştür.

Ölçümler için ayrıca Stereo Investigator® programı kullanılmasının tercih edilme sebebi, yöntemin alansal ölçümler yapmaya da olanak vermesidir. Yöntemde sınırları belli kapalı bir eğrinin alanı, kontür etrafında işaretlenen her bir noktanın koordinatı belirlendikten sonra noktalarının birbirine uzaklığı kullanılarak hesaplanmaktadır. Çalışmada iplik içinde lifler arası gözenekliliği iplik enine kesit görüntüleri üzerinden deneysel olarak hesaplamak amacıyla elde edilen kumaş enine kesitlerinde iplik alanı, iplik içindeki her bir lifin alanı ve iplik içindeki lif sayısı Stereo

Investigator[®] (SI) programında ölçülmüştür (Şekil 3.17). İplik gözenekliliğinin incelenmesi için kullanılan test grubu, her kumaş tipinin atkı ve çözgü yönlerinden en az bir iplik görüntüsü içerecek şekilde 50 adet örnekten oluşturulmuştur. Şekil 3.17’de Stereo Investigator[®] programında gerçekleştirilen alansal ölçümler gösterilmektedir. İplik için yapılan tüm ölçümlerin sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilerek iplik çapının değişimi ve bu değişime kumaş parametrelerinin etkisi incelenmiştir.

İpliğin ve liflerin doğrusal ve alansal ölçümleri yapıldıktan sonra, iplik içi gözenekliliğin bu ölçümlerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanması amacıyla öncelikle her bir iplik için toplam lif alanının toplam iplik alanına oranı ile ifade edilen iplik paketleme oranı ($\% \phi_y$) belirlenmiştir. Boş alanların iplik alanına oranı ile ifade edilen iplik gözenekliliği (P_{ySI}) Eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P_{ySI}(\%) = (1 - \phi_y) \times 100 \quad (3.2)$$



Şekil 3.17 Stereo Investigator® ile yapılan ölçümler

3.2.4.3 Kumaş içindeki iplik çapının teorik olarak belirlenmesi: dairesel ve eliptik enine kesit yaklaşımları

Kumaşların 2-D veya 3-D olarak tanımlanması kumaşın içinde yer alan ipliğin geometrisinin kumaş konstrüksiyonu, sıklık, örgü tipi, iplik numarası ve enine kesit şekli gibi yapısal parametrelere bağlı olarak tanımlanmasıyla gerçekleşir. Modelleme çalışmalarında hata kaynaklarından biri iplik enine kesit şeklidir. Farklı çalışmalarda iplik enine kesiti dairesel, koşu pisti, elips, mercek şekillerinde modellenmiştir. İplik enine kesit şekli kumaş içinde değişmektedir. Bu çalışmada örgü içinde değişen iplik enine kesit şeklinin dairesel ve eliptik olduğu kabul edilerek teorik modellerde iki ayrı çözümleme yapılmıştır. Teorik dairesel iplik çapı (d_{yt}) Ashenhurst (1884) yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Elips kesitli ipliğin boyutları ise daire ve elips çevrelerinin eşit olacağı varsayımı ile hesaplanmıştır (Bölüm 2, Eşitlik 2.1, 2.4).

Kumaş içindeki iplik gözenekliliğinin iplik ve lif parametrelerine bağlı olarak farklı yaklaşımlarla tahminlenmesi amacıyla teorik yaklaşım ve Stereo Investigator® ölçümleri sonucu elde edilen deneysel sonuçlara ek olarak yarı-teorik yaklaşımlardan da yararlanılmıştır. Öncelikle 50 iplik için dairesel iplik çapı (d_{SI}) Stereo Investigator® ölçüm sonuçları elde edilen ipliğin büyük ve küçük çap değerleri (a_{SI} , b_{SI}) ve sabit çevre varsayımı kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3. 3). İplik içi gözenekliliğin belirlenmesi için kullanılan yarı-teorik yaklaşımlardan ilkinde Grosberg'in dairesel iplik çapı için önerdiği eşitlikte iplik çapı olarak d_{SI} kullanılarak Grosberg yaklaşımına göre gözeneklilik yarı-teorik olarak elde edilmiştir. İkinci yaklaşımda ise, deneysel ölçüm sonucu elde edilen ortalama lif sayısı ve ölçülen iplik çapları (a_{SI} , b_{SI}) kullanılarak paketleme oranı hesaplanmış ve iplik gözenekliliği deneysel olarak belirlenen ortalama lif sayısına göre ($P_{n-m} = P_{n-164}$) tanımlanmıştır.

$$d_{SI} = \frac{a_{SI} + b_{SI}}{2} \quad (3.3)$$

Kullanılan pamuk lifinin inceliği 5,4 mikroner indekstir. Dairesel enine kesitli teorik lif çapı (d_f) lif inceliği ve lif özgül ağırlığına (δ_f) bağlı olarak Eşitlik 3.4'e göre

hesaplanmıştır. Ayrıca deneysel olarak ölçülen lif alanlarından ortalama lif alanı ve lif çapı belirlenmiştir.

$$d_{tex} = \sqrt{7,85 \times 10^{-3} \times \delta_f \times d_f^2} \quad (3.4)$$

3.2.5 Kumaşın gözenek özelliklerinin görüntü analizi yöntemi ile belirlenmesi

Son yıllarda dijital sistemlerin ve bilgisayar tekniklerinin de gelişimiyle görüntü işleme tekniğinin uygulama alanları artmıştır. Dijital görüntü işleme malzeme mühendisliği, hücre bilimi ve tıp gibi uygulama alanlarında malzemeleri kontrol etmek, tanımlamak, görüntü teknikleriyle malzeme özelliklerini analiz etmek amaçlarıyla kullanılmaktadır. Bilgisayar tekniklerinin gelişimi tekstil materyallerini de kapsayan çok küçük nesnelerin geometrik boyutlarını ölçmeyi ve tanımlamayı içeren uygulamalara olanak sağlamıştır. Tekstil alanında görüntü analizi tekniklerinin kullanılması farklı alanlarda karşımıza çıkmaktadır. İlk olarak 70’lerde yün liflerinin enine kesit alanının tahmini için Pohole tarafından kullanılmıştır. Daha sonra görüntü işleme tekniklerine yeni yollar uygulanarak farklı araştırmacılar tarafından lif enine kesit alanı, iplik karışımlarındaki düzgünsüzlükler, pamuk lifinin çepel oranının belirlenmesi, pamuğun olgunluğu, yündeki zararların tahminlenmesi gibi konularda araştırmalar yapılmıştır. (Drobia ve Machnio, 2006). Ayrıca nonwoven kumaşların karakterizasyonu (örneğin gözeneklilik, lif oryantasyon dağılımı), halı deseninin belirlenmesi, kumaş testlerinde, kumaş hatalarının belirlenmesi, kumaşın desen analizi, iplik numarası, ipliğin çapı, bükümü, büküm yönü, kumaşın sıklık gibi özelliklerin belirlenmesi gibi farklı amaçlarda görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır (Zhang ve Bresee, 1995). Bu çalışmada da görüntü analizi yöntemlerinden yararlanılarak kumaşın iplikler arası gözeneklilik, gözenek boyutu ve gözenek boyut dağılımı özellikleri ile iplik içi gözeneklilik özelliği tahminlenmiştir. Görüntü analizi yöntemi ile ilgili temel bilgiler ile görüntü işleme ve adımları hakkındaki bilgiler Ek 2’de özetlenmiştir.

3.2.5.1 Yüzey görüntülerinden iplikler arası gözenek özelliklerinin belirlenmesi

Çalışmada farklı iplik kesişmelerine sahip bezayağı, 2/1 dimi ve 3/1 dimi dokuma kumaşların iplikler arası gözenekliliği, ortalama gözenek boyutu ve gözenek boyut dağılımı özellikleri mikroskoptan elde edilen kumaş görüntülerinin kullanıldığı görüntü analizi yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan görüntü analizi sistemi görüntülerin elde edildiği görüntüleme sistemi (mikroskop, fotoğraf makinası), çekilen görüntülerin aktarıldığı ve görüntü analizinin yapıldığı bir bilgisayar sistemi ile görüntü işleme ve görüntü analizi araçlarını içeren bir yazılımdan (MATLAB®) oluşmaktadır. Kumaşlardan alınan 24-bit renkli görüntüler 2288 x 1712 piksel (80,7 x 60,4 cm) boyutlarında ve JPG formatında elde edilmiştir. Kumaş görüntüsü alınırken sadece alttan ışıklandırma yapılarak atkı ve çözgü ipliklerinin pozisyonu belirlenmiştir. Kumaşı alttan ışıklandırmak kumaştaki gözeneklerden ışığın geçmesini sağlayarak kumaşın ışık geçirgenliği verisine dayalı bir yaklaşımla iplikler arasındaki gözeneklik özelliklerinin tahminlemeyi sağlar. Kumaşın ışık geçirgenliği sayesinde elde edilen görüntülerde kumaşın ışığı geçirdiği gözenek bölgeleri parlak, ipliğin kapladığı bölgeler koyu görünür. Kumaşın gözenek özelliklerini elde ederken karşılaşılan ana problem iplik kenarlarına yakın bölgelerin yanlış sınıflandırılmasıdır. Dış etkiler ve elektriksel nedenlerden dolayı oluşan bu hatayı en aza indirmek ve görüntüdeki gürültüyü azaltarak homojen görüntüler elde etmek için öncelikle kumaş görüntüleri farklı diyafram açıklıkları test edilerek denenmiştir. Görüntüler elde edildikten sonra bir grup görüntü işleme ve analizi adımı uygulanarak kumaş görüntüleri üzerinden gözeneklilik, gözenek boyutu ve PSD gibi yapısal parametrelerin elde edilmesi sağlanmıştır (Şekil 3.18)

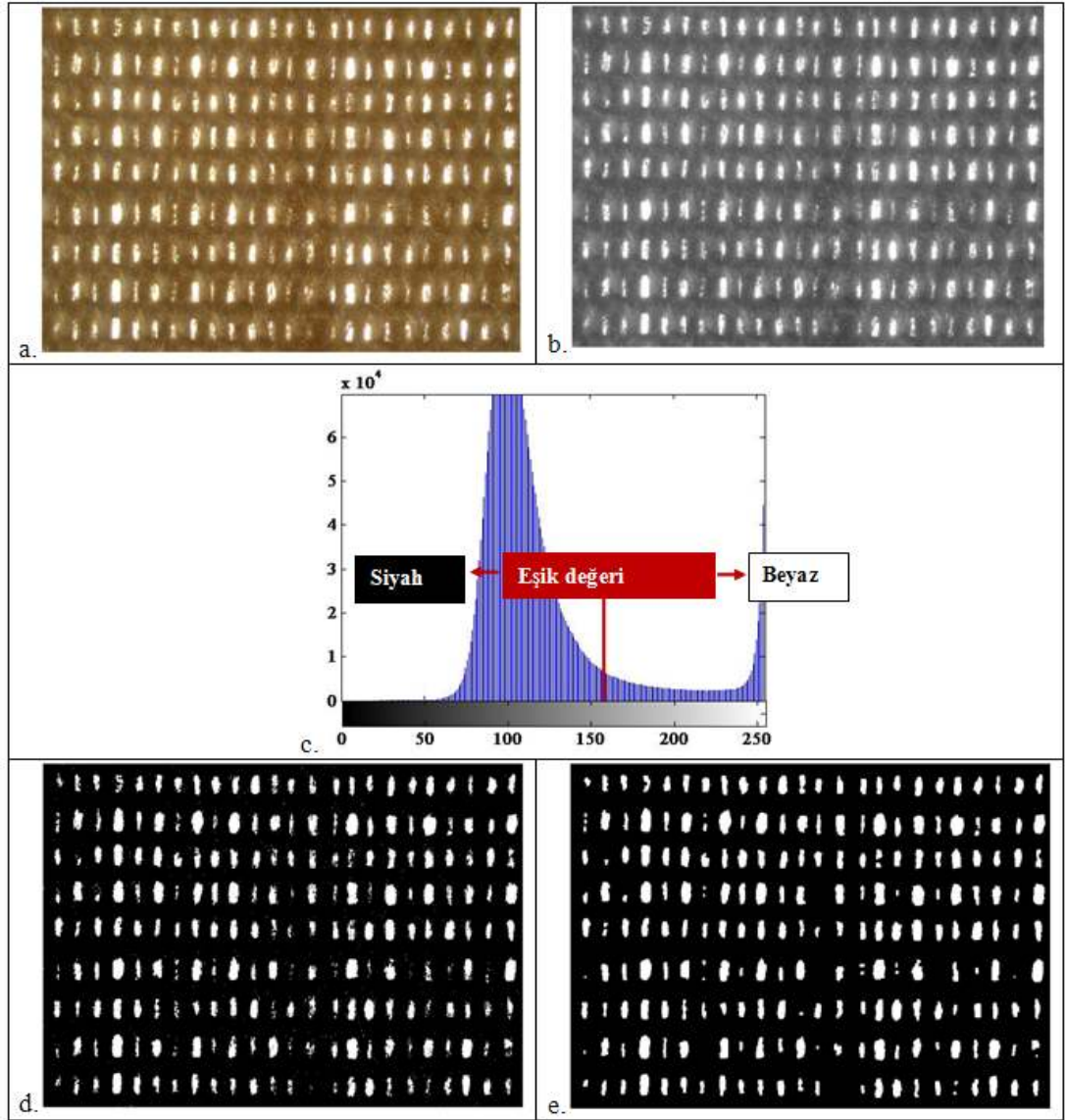
Görüntü analizi yönteminde ilk adım olarak elde edilen görüntüler 8bpp, 256 gri skala görüntüye dönüştürülmüştür. Bu işlemin amacı dosya boyutunu küçültmek, analiz hızını arttırmak, işlem zamanını kısaltmaktır. İkinci adımda, siyah beyaz kumaş görüntülerinin siyah beyaz görüntüye (*binary image*) dönüştürülmesi için uygun eşik değeri belirlenmiştir. Uygun eşik değeri kullanarak 256 gri skalaya sahip görüntülerde pikseller guruba ayrılmıştır. Bunlar; ipliklerin olduğu koyu bölgeleri temsil eden siyah pikseller ve ipliklerin örtmediği açık bölgeleri temsil eden beyaz

piksellerdir. Beyaz pikseller iplikler arası gözenek bölgeleri olarak tanımlanmıştır. Çalışmada eşik değeri belirlemek amacıyla MATLAB®’da tanımlanmış Otsu’s yöntemi kullanılmıştır (Gonzalez, Woods, ve Eddins, 2004).

Pamuklu dokuma kumaşların siyah beyaz yüzey görüntüleri incelendiğinde, iplikler arası gözenekleri birçok küçük gözeneğe bölen ve gözenek özelliklerinin belirlenmesinde hataya neden olan lifler gözlenmiştir. Kumaş tüylülüğünden kaynaklanan bu hatayı ortadan kaldırmak ve iplikler arası gözenek bölgelerini liflerden temizlemek amacıyla *açma* ve *kapama* fonksiyonları kullanılarak bir grup görüntü işleme prosesi gerçekleştirilmiş ve gözenek özelliklerinin belirlenmesinde kullanılacak siyah beyaz görüntünün son hali elde edilmiştir. Açma ve kapama fonksiyonları; yapı elemanı olarak adlandırılan ve şekli ve parametreleri tanımlanan küçük bir matris elemanı ile görüntüdeki ayrıntıları gideren morfolojik görüntü işleme uygulamalarıdır (Gonzalez ve ark., 2004). Kumaşın yüzey görüntülerinden iplikler arası gözenek özellikleri hakkında gerçekçi veriler elde etmek için kullanılan bu iyileştirme ve geliştirme işlemleri çok önemlidir. Şekil 3.18’de kumaş yüzey görüntüsünün görüntü işleme adımları özetlenmektedir.

Çalışmada her bir kumaşın farklı bölgelerinden 5 adet görüntü alınmış ve bu görüntüler görüntü analizi yöntemi ile gözenek özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Görüntü analizi yöntemi iplikler arası gözeneklilik sonucu (PI) elde edilen son siyah beyaz görüntüde beyaz piksellerin tüm piksellere oranından hesaplanmıştır.

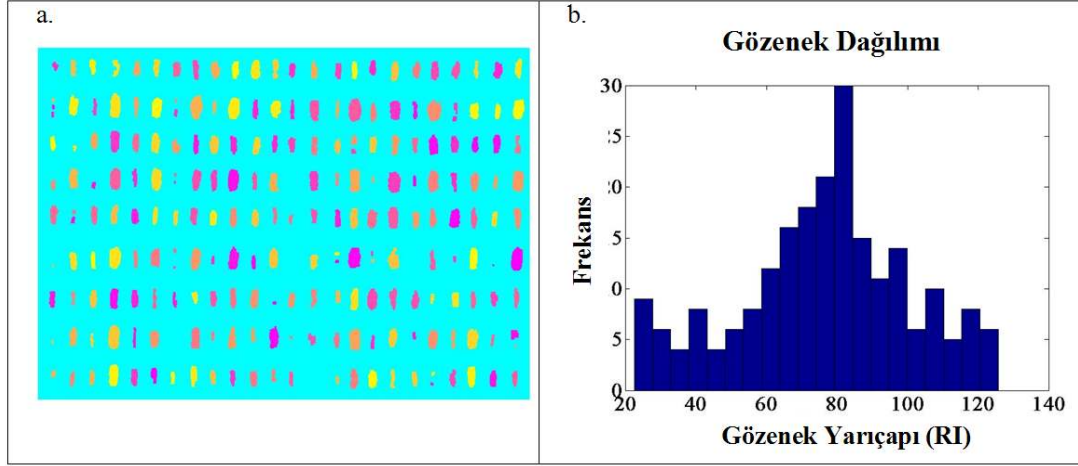
$$\text{İplikler arası gözeneklilik (PI\%)} = \frac{\text{Toplam beyaz piksel}}{\text{Toplam piksel}} \times 100 \quad (3.8)$$



Şekil 3.18 Görüntü analizi adımları: a. Orijinal renkli kumaş görüntüsü, b. Gri renkli görüntü, c. Eşik değerinin belirlenmesi, d. Siyah beyaz görüntü, e. Görüntü iyileştirme adımları sonucu elde edilen son siyah beyaz kumaş görüntüsü

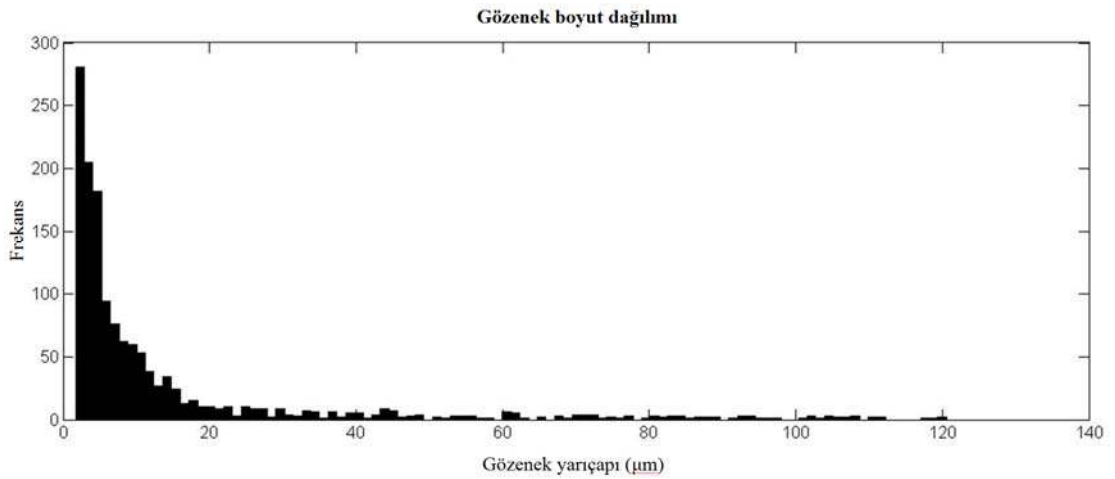
Kumaşın yüzey görüntüleri kullanılarak gözeneklerin yapısal özelliklerindeki değişim hakkında bilgi almak mümkündür. Görüntü işleme adımları geliştirilerek kumaşın ortalama gözenek boyutu ve PSD tahminlenmiştir. Bu işlem için öncelikle elde edilen son siyah beyaz görüntüde beyaz piksellerin oluşturduğu gruplar nesne olarak etiketlenmiştir (Şekil 3.19). Daha sonra ortalama gözenek şekli dairesel kabul edilerek gözenek olarak tanımlanmış her bir nesne için gözenek yarıçapı belirlenmiştir. Şekil 3.19’da gösterilen gözenek yarıçapı histogramı etiketlenen

gözeneklerin gözenek boyut dağılımını (PSD) göstermektedir. Kumaşın ortalama gözenek yarıçapı (R_1) bu dağılımdan elde edilmiştir.



Şekil 3.19 a. Nesne olarak etiketlenmiş gözenekler, b. Gözenek boyut dağılımı histogramı

Siyah beyaz görüntüde tüylülükten kaynaklanan hataları gidermek için gerçekleştirilen açma kapama işleminin etkisini göstermek amacıyla bu işlem uygulanmadığı durumdaki gözenek boyut dağılımı Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20 Açma- kapama prosesi öncesi gözenek boyut dağılımı.

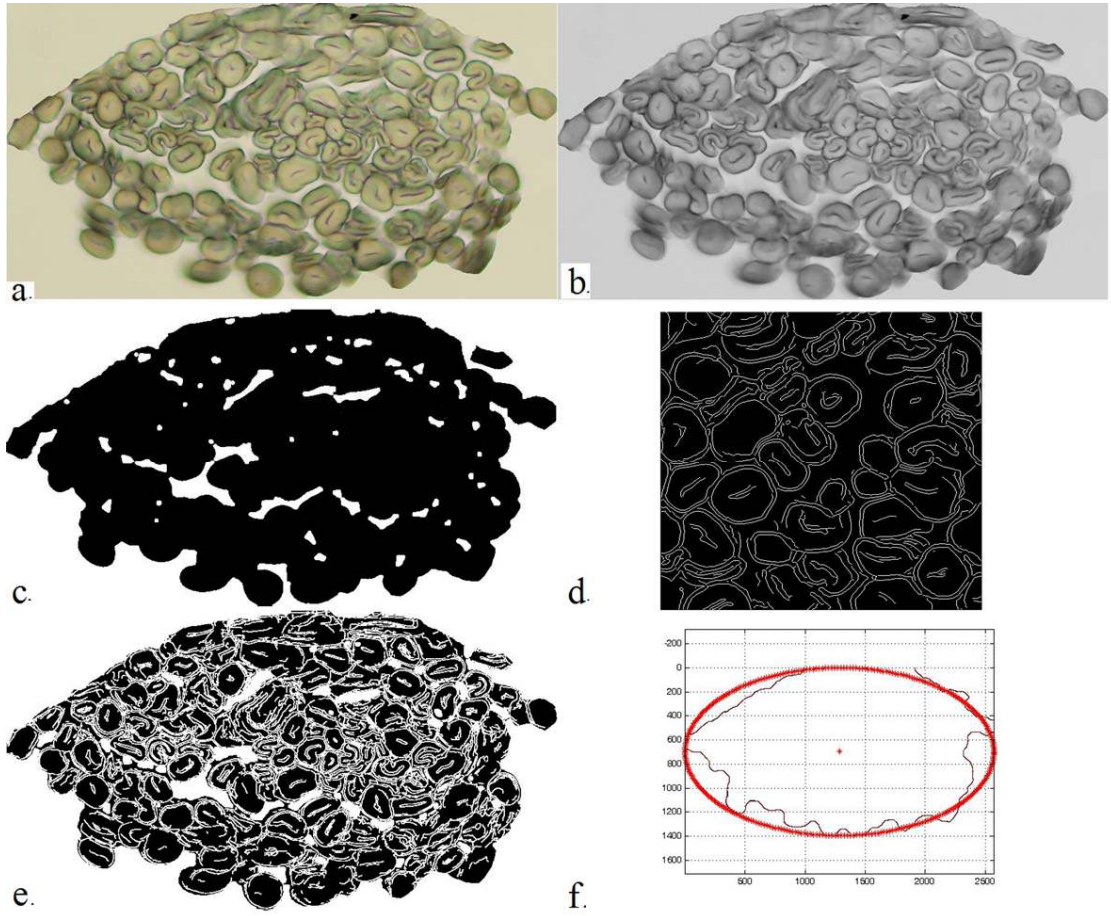
3.2.5.2 Enine kesit görüntülerinden iplik içi gözenekliliğin belirlenmesi

İplik içi gözenekliliğin görüntü analizi yöntemi ile belirlenmesi yönteminin ilk aşaması incelenecek iplik görüntülerinin dijital olarak elde edilmesidir. Kumaş içindeki iplik yapısını ayrıntılı olarak inceleyebilmek amacıyla 20x büyütme objektif kullanılarak 4080x 3072 piksel boyutlarında (143,9 cm x 108,4 cm lineer alan boyutu) 24-bit renkli görüntüler elde edilmiştir. İkinci aşamada, Adobe® Photoshop® CS3 programında yapılan düzenleme ve kroplama çalışması sonucu tek bir ipliğin enine kesit görüntüsünün incelenmesi sağlanmıştır (Şekil 3.21,a). İplik gözenekliliğinin incelenmesi için kullanılan test grubu, her kumaş tipinin atkı ve çözgü yönlerinden en az bir iplik görüntüsü içerecek şekilde 50 adet örnekten oluşturulmuştur. MATLAB® görüntü işleme araç kutusu kullanılarak yazılan görüntü analizi programında dosya boyutunu küçülterek analizi hızlandırmak ve işlem süresini kısaltmak için görüntü öncelikle 8bpp, 256 gri seviyede görüntüye dönüştürülmüştür (Şekil 3.21,b). İplik enine kesit görüntülerinde lif ve gözenek bölgelerini ayırarak görüntü analizi yöntemiyle gözenekliliği tanımlamak için sonraki aşamada, uygun eşik değeri kullanarak gri seviye görüntü siyah-beyaz görüntüye dönüştürülmüştür. Programda eşik değeri Otsu's yöntemiyle belirlenmiştir. Elde edilen siyah beyaz görüntüde lifler siyah, boş alanlar beyaz piksellerle temsil edilmektedir.

Görüntüdeki bazı pamuk liflerin geniş lümenlerinden dolayı lifin orta kısımlarında ışık geçirgenliği artmış, bu durum da lif görüntüsündeki renk dağılımını ve kontrastını etkilemiştir. Bu nedenle siyah beyaz görüntüye çevirirken, lif içinde lümene yakın olan lif bölgeleri de beyaz piksellere dönüşmüştür. Bu hatanın en aza indirilmesi için *açma* ve *kapama* fonksiyonları kullanılarak siyah beyaz görüntüyü iyileştirme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 3. 21,c).

İplik görüntülerini siyah beyaz görüntüye dönüştürürken karşılaşılan en büyük hata kaynaklarından bir diğeri ise, lifin sınırlarına yakın olan bölgelerinin yanlış sınıflandırılmasıdır. Görüntü alma sırasında lifin kenarlarının keskin olarak görüntülenememesinden dolayı sınırlara yakın yerlerde lif ile boşluk bölgeleri ayırt

edilememiş ve lif sınırlarına yakın gözenek bölgeleri de siyaha dönüşmüştür. Bu durum daha sonraki adımlarda hesaplanan gözeneklilik oranını büyük oranda etkilediğinden bir grup görüntü iyileştirme prosesine daha ihtiyaç duyulmuştur. Sınır bölgelerini belirlemek ve sınır dışındaki bölgeleri gözenek olarak tanımlamak amacıyla *canny* fonksiyonu kullanılarak siyah-beyaz görüntü üzerinde kenar belirleme işlemi (*edge detection process*) uygulanmıştır. Şekil 3.21 d’te hataya neden olan kenar sınırları ayrıntılı olarak görünmektedir. Burada karşılaşılan tek problem kenar tanımlama sırasında pamuk liflerinin lümenlerinin de tanımlanmasıdır. Kenar sınırları belirlendikten sonra, *genişletme* fonksiyonu kullanılarak kenarlar kalınlaştırılmış ve hataya neden olan bölgede yer alan siyah piksellerin beyaz piksellere dönüştürülmesi sağlanmıştır (Şekil 3.21,e). Böylece görüntü analizi yöntemi ile iplik gözenekliliğinin hesaplanacağı son siyah beyaz görüntü elde edilmiştir. Bu görüntüde lif olarak temsil edilen siyah piksellerin iplik alanına oranından paketleme oranı hesaplanmış ve iplik içi görüntü analizi gözeneklilik verisi (Py_{I2}) belirlenmiştir. İplik alanı, iplik enine kesit şekli elips kabul edilerek, $M \times N$ büyüklüğündeki siyah beyaz görüntü boyutlarından hesaplanmıştır (Şekil 3.21,f). Görüntü iyileştirme çalışmalarının etkisini incelemek amacıyla, görüntü iyileştirme çalışmaları yapılmayan siyah beyaz görüntüde de gözeneklilik hesaplanmıştır (Py_{I1}). Görüntü analizi gözeneklilik sonuçları (Py_{I1} , Py_{I2}) Stereo Investigator® ölçümleri sonucu elde edilen gözeneklilik sonuçları (Py_{SI}) ile karşılaştırılmıştır.

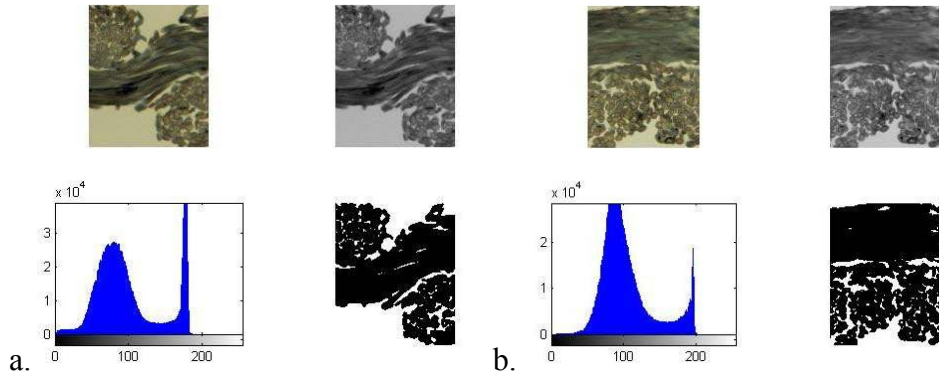


Şekil 3.21 İplik içi gözeneklilik görüntü analizi adımları: a. Orijinal görüntü, b. Gri görüntü, c. Siyah-beyaz görüntü, d. Kenar tanıma e. İyileştirilmiş görüntü, f. Elips kesitte iplik alanının hesaplanması

3.2.5.3 Enine kesit görüntülerinden birim gözenek hücre gözenekliliğinin belirlenmesi

Enine kesit görüntüleri incelendiğinde enine kesit yönünde gözenek tipleri atlama bölgesi birim gözenek hücresi Tip-f ve kesişme (yer değiştirme) bölgesi birim gözenek hücresi Tip-i olmak üzere iki tipe ayrılmıştır. Kumaş enine kesiti için gözenek birim hücresi, görüntüdeki iki iplik merkezi arasındaki mesafe ile yükseklik doğrultusunda ipliklerin tepe notları arasındaki mesafedir. Örgüyü oluşturan enine kesit gözenek birim hücresi dağılımı düşünülerek her örgünün ortalama enine kesit gözenekliliği (P_{CI}) görüntü analizi yöntemi ile bulunmuştur.

Her kumaş için enine kesit gözenekliliği (P_{CI}) belirlenmeden önce kesit görüntülerinin görüntü analizi yöntemi için hazırlanması gerekmektedir. 10x objektif ile elde edilen enine kesit kumaş görüntüleri öncelikle Adobe® Photoshop® CS3 programında düzenlenerek birim gözenek hücreler elde edilmiştir. Her kumaş tipinde hem atkı hem çözgü yönünde kesişme ve atlama bölgeleri için ayrı ayrı 5 adet enine kesit birim gözenek hücresi görüntüsü hazırlanmıştır. Daha sonra her kumaş için elde edilen Tip-i ve Tip-f birim gözenek hücreleri görüntü analizi yönteminde işlenmiştir. İplik içi gözenekliliğin belirlenmesi için gerçekleştirilen adımlar enine kesit birim gözenek hücrelerinin görüntülerinde de uygulanarak siyah beyaz görüntüler elde edilmiş ve beyaz piksellerin tüm piksellere oranından enine kesit birim gözenek hücresinin gözenekliliği hesaplanmıştır (Şekil 3.22, a ve b).



Şekil 3.22 a. Tip-i enine kesit birim gözenek hücresi, b. Tip-f enine kesit birim gözenek hücresi sonuçlarına örnekler

Kumaşın enine kesit görüntüleri yüzey görüntülerinin aksine kumaş geometrisi hakkında da bilgi vermiştir. Enine kesit birim gözenek hücresinin görüntü analizi sonucu elde edilen görüntülerden gözlemlenen avantajı, enine kesit birim hücresinde iplik geometrisinden kaynaklanan iplikler arası gözenek bölgelerinin yanında karşıt durumdaki ipliğin lifler arası gözenek bölgelerinin de değerlendirmeye katılmasıdır. Bu şekilde birim gözenek hücrede lifler arası gözenekli bölgelerin de etkisinin ihmal edilmeden incelenmesi sağlanmış, sonuçlar geometrik model sonuçları ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

BÖLÜM DÖRT

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Kumaşın yapısal özellikleri ile ilgili sonuçlar

Çalışmada iplik çapı, lif çapı, iplikler arası açıklıklar, iplik alanı, lif alanı gibi kumaş parametreleri öncelikle iplik numarası, sıklık gibi yapısal parametrelere bağlı olarak teorik olarak hesaplanmış, daha sonra elde edilen sonuçlar deneysel ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak gözeneklilik ve geçirgenlik hesaplamalarında kullanılan parametreler belirlenmiştir. Çalışmada gerek deneysel çalışmalarda gerekse model çalışmalarda elde edilen parametrelerin istatistiksel analizleri MINITAB® Release 14 istatistik programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde öncelikle kumaşın gözenek özelliklerinin belirlenmesi için teorik modellerde kullanılan iplik çapı (d), iplik açıklığı (p), iplik alanı (A_y), lif alanı (A_f), dimi kumaşların eğiklik açısı gibi kumaşın yapısal parametrelerinin teorik ve ölçüm sonuçları verilmiştir.

4.1.1 Teorik sonuçlar

Ne 20 (29,53 tex) pamuk ipliği için Ashenhurst (1884) yaklaşımı kullanılarak hesaplanan teorik dairesel iplik çapı (d_{yt}) 0,0207 cm olarak bulunmuştur. Çözü ve atkı yönünde aynı iplik numarası kullanıldığından çözgü ve atkı ipliklerinin teorik çapları birbirine eşittir. Eşdeğer çevreye sahip daire ve elips varsayımı ile d_{yt} 'ye bağlı olarak hesaplanan elips kesitli ipliğin büyük çap (a) ve küçük çap (b) değerleri ise sırasıyla 0,0244 cm ve 0,0171 cm olarak hesaplanmıştır. Elips kesitli iplik boyutları hesaplanırken yassılma oranı ($e=b/a$) 0,7 olarak kabul edilmiştir.

Çalışmada inceliği 5,4 mikroner indeks olan pamuk lifinin teorik çapı (d_f) 13,3045 μm olarak hesaplanmıştır. Hesaplamada pamuk lifinin özgül ağırlığı 1,53 g/cm^3 olarak kabul edilmiştir. Buna göre teorik parametrelerden hesaplanan dairesel iplik alanı (A_y), eliptik iplik alanı (A_{ye}) ve lif alanı (A_f) değerleri sırasıyla 3,3654 cm^2 , 3,2770 cm^2 ve 133,1 μm^2 olarak bulunmuştur.

İplikler arası açıklıklar teorik olarak kumaş sıklıklarına bağlı olarak çözgü ve atkı yönleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Buna göre 36 cm^{-1} çözgü sıklığına sahip kumaşta çözgü yönünde iplikler arası teorik açıklık (p_1) $0,0278 \text{ cm}$ 'dir. 14 cm^{-1} , 18 cm^{-1} , 22 cm^{-1} , 26 cm^{-1} atkı sıklıkları için atkı yönündeki iplikler arası teorik açıklıklar (p_2) ise sırasıyla $0,0714 \text{ cm}$, $0,0556 \text{ cm}$, $0,0455 \text{ cm}$ ve $0,0385 \text{ cm}$ olarak hesaplanmıştır.

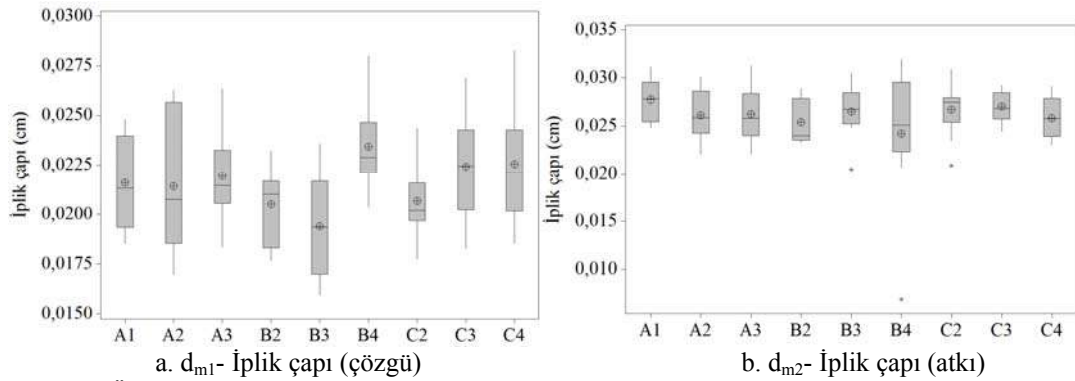
4.1.2 Deneyisel sonuçlar

4.1.2.1 Yüzey görüntüleri üzerinden yapılan ölçümlerin sonuçları

Adobe® Photoshop® CS3 programı kullanılarak kumaşların yüzey görüntüleri üzerinden iplik çapı, iplikler arası açıklık ve dimi örgülü kumaş yapıları için atlama bölgesi eğiklik açıları ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları MINITAB® paket programı kullanılarak istatistiksel olarak özetlenmiştir. MINITAB® programında elde edilen sonuç tablosunda örnek sayısı N, ortalama değer Ort, standart sapma STS, standart hata SH, %95 güven aralığı %95 GA ile ifade edilmiştir. Buna göre Tablo 4.1'de her bir kumaşın yüzey görüntülerinden ölçülen çözgü ve atkı ipliklerinin dairesel iplik çapı (d_{m1} , d_{m2}) sonuçları özetlenmiştir. Teorik olarak hesaplanan dairesel iplik çapı çözgü yönünde genel olarak ölçüm sonuçlarının %95 güven aralığı sınırlarındayken, atkı yönünde ölçüm sonuçlarının daha büyük olduğu gözlenmektedir. Örgü tipi ve sıklık parametrelerinin ölçülen çözgü ve atkı iplik çapı verilerine etkisinin ayrıntılı olarak incelenmesi amacıyla ANOVA varyans analizi yapılmıştır. Buna göre farklı kumaş tiplerinin yüzey görüntülerinden elde edilen ölçüm sonuçlarının birbirleriyle ilişkisi sıklık açısından değerlendirildiğinde her örgü tipinde hem atkı hem çözgü yönünde çaplar arasındaki farkın önemli olmadığı bulunmuştur. Aynı örgü tipi ve farklı atkı sıklıklarına sahip kumaşlar arasında atkı ve çözgü ipliklerinin ölçülen çapları arasındaki fark ise B4 kumaşı hariç tüm kumaşlar için önemli bulunmuştur (Şekil 4.1). Aynı sıklıkta farklı örgü tiplerine sahip kumaşlarda ölçülen iplik çapları incelendiğinde örgü tipi açısından sonuçlar arasındaki farkın önemli olmadığı bulunmuştur. Yüzey görüntülerinden ölçülen iplik çapları için ayrıntılı varyans analizi sonuçları Ek 3.1 ve Ek 3.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Yüzey görüntülerinden ölçülen dairesel iplik çapı (d_m ,cm)

Değişken	N	Ort	StS	SH	95% GA
A1 d_{m1}	10	0,0219	0,0023	0,0007	(0,0199; 0,0232)
A2 d_{m1}	10	0,0214	0,0035	0,0011	(0,0189; 0,0239)
A3 d_{m1}	10	0,0219	0,0023	0,0007	(0,0203; 0,0236)
B2 d_{m1}	10	0,0205	0,0019	0,0006	(0,0191; 0,0219)
B3 d_{m1}	10	0,0194	0,0026	0,0008	(0,0175; 0,0212)
B4 d_{m1}	10	0,0234	0,0022	0,0007	(0,0219; 0,0250)
C2 d_{m1}	10	0,0207	0,0019	0,0006	(0,0193; 0,0220)
C3 d_{m1}	10	0,0224	0,0028	0,0009	(0,0204; 0,0244)
C4 d_{m1}	10	0,0225	0,0030	0,0009	(0,0204; 0,0246)
Değişken	N	Ort	StS	SH	95% GA
A1 d_{m2}	10	0,0278	0,0021	0,0007	(0,0262; 0,0293)
A2 d_{m2}	10	0,0261	0,0026	0,0008	(0,0243; 0,0280)
A3 d_{m2}	10	0,0263	0,0028	0,0009	(0,0243; 0,0283)
B2 d_{m2}	10	0,0254	0,0022	0,0007	(0,0238; 0,0271)
B3 d_{m2}	10	0,0265	0,0028	0,0009	(0,0245; 0,0286)
B4 d_{m2}	10	0,0242	0,0070	0,0022	(0,0192; 0,0293)
C2 d_{m2}	10	0,0268	0,0028	0,0009	(0,0248; 0,0288)
C3 d_{m2}	10	0,0271	0,0016	0,0005	(0,0260; 0,0282)
C4 d_{m2}	10	0,0259	0,0021	0,0007	(0,0244; 0,0274)



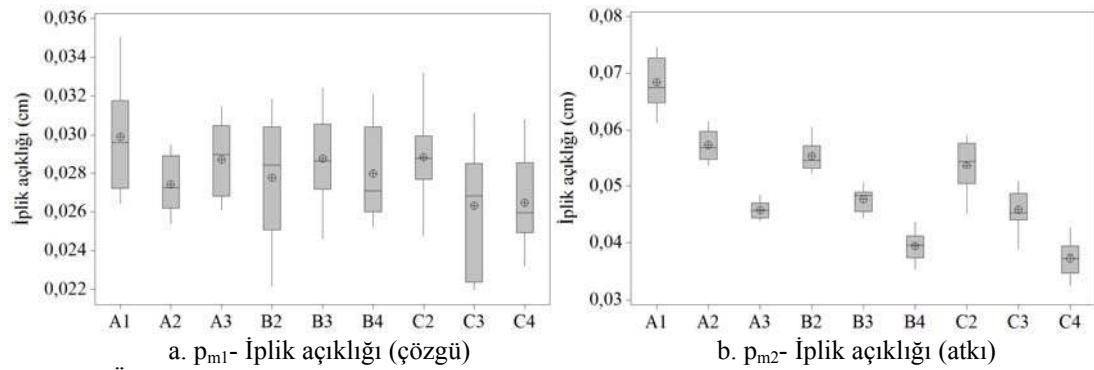
Şekil 4.1 Örgü tipi ve sıklık açısından yüzey görüntülerinden ölçülen iplik çapları arasındaki ilişki

Tablo 4.2’de ise kumaşların yüzey görüntüleri üzerinde çözgü ve atkı yönlerinde ölçülen iplik açıklık (p_{m1} , p_{m2}) verilerinin istatistiksel değerlendirme sonuçları özetlenmiştir. Teorik olarak hesaplanan iplik açıklıkları değerleri, ölçülen değerlerin %95 güven aralığı sınırları içindedir. Farklı kumaş tiplerinin yüzey görüntülerinden elde edilen iplik açıklığı ölçüm sonuçlarının birbirleriyle ilişkisi sıklık açısından değerlendirildiğinde her örgü tipinde aynı sıklığa sahip çözgü yönündeki iplik açıklıkları arasındaki fark önemli değilken, farklı atkı sıklıklarına sahip kumaşlarda atkı yönündeki iplik açıklıkları arasındaki fark önemlidir (Şekil 4.2). Aynı sıklıkta örgü tipleri arasındaki iplik açıklıkları arasında ise önemli bir fark bulunmamıştır.

Yüzey görüntülerinden ölçülen iplik açıklıkları için ayrıntılı varyans analizi sonuçları Ek 3.3 ve Ek 3.4’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Yüzey görüntülerinden ölçülen iplik açıklığı (p_m , cm)

Değişken	N	Ort	StS	SH	95% GA
A1 p_{m1}	10	0,0299	0,0028	0,0009	(0,0279; 0,0319)
A2 p_{m1}	10	0,0274	0,0014	0,0004	(0,0264; 0,0284)
A3 p_{m1}	10	0,0287	0,0019	0,0006	(0,0273; 0,0301)
B2 p_{m1}	10	0,0278	0,0032	0,0010	(0,0255; 0,0300)
B3 p_{m1}	10	0,0288	0,0024	0,0007	(0,0271; 0,0305)
B4 p_{m1}	10	0,0280	0,0025	0,0008	(0,0262; 0,0298)
C2 p_{m1}	10	0,0289	0,0023	0,0007	(0,0272; 0,0305)
C3 p_{m1}	10	0,0263	0,0033	0,0010	(0,0240; 0,0287)
C4 p_{m1}	10	0,0265	0,0023	0,0007	(0,0248; 0,0282)
Değişken	N	Ort	StS	SH	95% GA
A1 p_{m2}	10	0,0684	0,0045	0,0014	(0,0652; 0,0716)
A2 p_{m2}	10	0,0573	0,0027	0,0009	(0,0553; 0,0593)
A3 p_{m2}	10	0,0457	0,0015	0,0005	(0,0447; 0,0468)
B2 p_{m2}	10	0,0554	0,0027	0,0008	(0,0535; 0,0573)
B3 p_{m2}	10	0,0476	0,0020	0,0006	(0,0462; 0,0491)
B4 p_{m2}	10	0,0394	0,0025	0,0008	(0,0376; 0,0412)
C2 p_{m2}	10	0,0537	0,0042	0,0013	(0,0507; 0,0567)
C3 p_{m2}	10	0,0458	0,0034	0,0010	(0,0434; 0,0483)
C4 p_{m2}	10	0,0373	0,0032	0,0010	(0,0350; 0,0396)



Şekil 4.2 Örgü tipi ve sıklık açısından yüzey görüntülerinden ölçülen iplik açıklıkları arasındaki ilişki

Tablo 4.3’te iplik çapı ve iplik açıklık parametrelerinin teorik ve deneysel sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 4.3 Yüzey görüntülerinden ölçülen ve teorik olarak hesaplanan iplik çapı ve iplik açıklıkları

Kumaş Kodu	P _{t1} (cm)	P _{m1} %95 GA (cm)	P _{t2} (cm)	P _{m2} %95 GA (cm)	d _{yt1} ve d _{yt2} (cm)	d _{m1} %95 GA (cm)	d _{m2} %95 GA (cm)
A1	0,028	0,028-0,032	0,071	0,065-0,072	0,021	0,020-0,023	0,026-0,029
A2	0,028	0,026-0,028	0,056	0,055-0,059	0,021	0,019-0,024	0,024-0,028
A3	0,028	0,027-0,030	0,045	0,045-0,047	0,021	0,020-0,024	0,024-0,028
B2	0,028	0,026-0,030	0,056	0,055-0,057	0,021	0,019-0,024	0,024-0,027
B3	0,028	0,027-0,031	0,045	0,046-0,049	0,021	0,018-0,021	0,025-0,029
B4	0,028	0,026-0,030	0,038	0,038-0,041	0,021	0,022-0,025	0,019-0,029
C2	0,028	0,027-0,031	0,056	0,050-0,057	0,021	0,019-0,022	0,025-0,029
C3	0,028	0,024-0,029	0,045	0,043-0,048	0,021	0,020-0,024	0,026-0,028
C4	0,028	0,025-0,028	0,038	0,035-0,040	0,021	0,020-0,025	0,024-0,027

p_{t1}, p_{t2}: çözgü ve atkı yönünde teorik iplik açıklığı; p_{m1}, p_{m2}: çözgü ve atkı yönünde ölçülen iplik açıklığı; d_{yt1}, d_{yt2}: çözgü ve atkı ipliğinin teorik dairesel iplik çapı, d_{m1}, d_{m2}: çözgü ve atkı ipliğinin ölçülen dairesel iplik çapı

Kumaşların yüzey görüntülerinde ölçülen parametrelerden biri de dimi kumaşların atlama bölgesi için tanımlanan eğiklik açısıdır. B-spline yöntemiyle 3-D örgü birimi modelleri oluştururken kullanılan bu parametrenin belirlenmesi örgünün karakteristik özelliğini tanımlayabilmek için önemlidir. Tablo 4.4'te 2/1 dimi ve 3/1 dimi örgülerin atlama bölgesindeki ortalama eğiklik açısı sonuçları çözgü ve atkı iplikleri için verilmiştir.

Tablo 4.4 2/1 dimi ve 3/1 dimi örgülerde atlama bölgesi eğiklik açısı verileri

Kumaş Kodu	Çözgü eğiklik açısı α_1 (°)	Atkı eğiklik açısı α_2 (°)
B2	4	3
B3	3	2
B4	3	1
C2	3	4
C3	2	3
C4	2	2

4.1.2.2 Enine kesit görüntüleri üzerinden yapılan ölçümlerin sonuçları

İplik çapı, iplikler arası açıklık gibi kumaş parametrelerinin elde edilen kumaş enine kesit görüntülerinden yararlanarak daha ayrıntılı elde edilmesi amacıyla

sırasıyla Adobe® Photoshop® CS3 ve Stereo Investigator® programları ile ölçümler gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

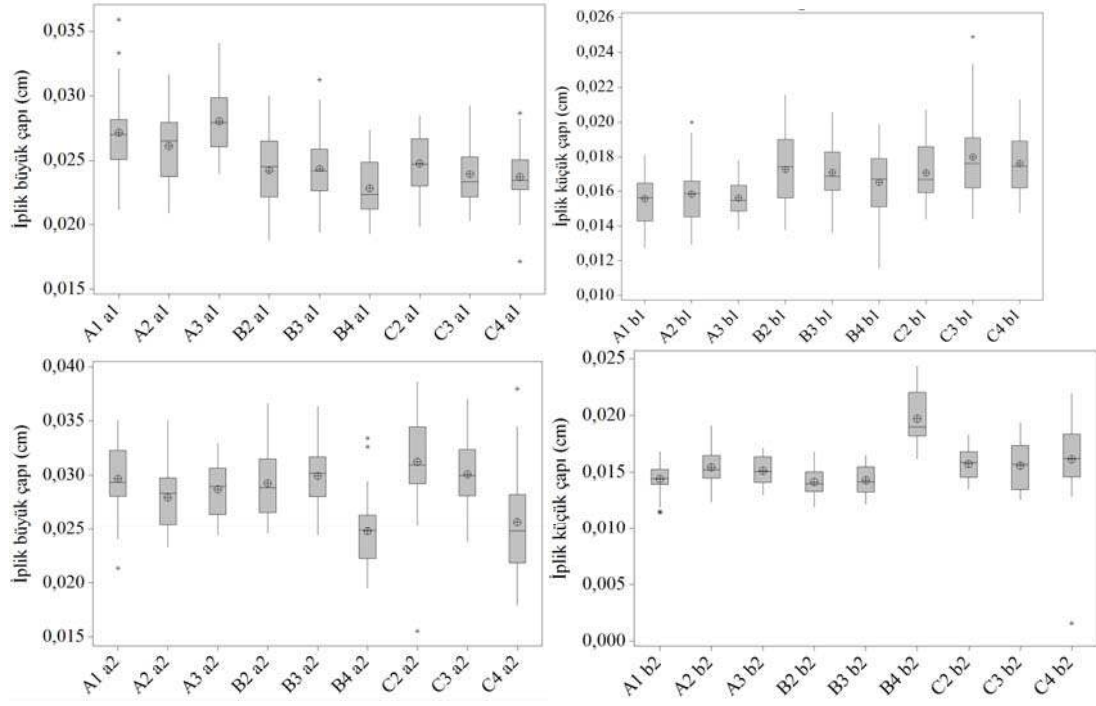
4.1.2.2.1 Adobe® Photoshop® CS3 ölçüm sonuçları. İplik çapı, iplik açıklığı gibi parametrelerin deneysel olarak daha hassas bir şekilde belirlenmesi ve bu parametrelerin kumaş içindeki değişiminin örgü tipine ve sıklığa bağlı olarak ayrıntılı olarak değerlendirilmesi amacıyla kumaşların enine kesit görüntüleri kullanılarak öncelikle Adobe® Photoshop® CS3 programı ile ipliğin bulunduğu pozisyon göz önüne alınmadan ölçümler gerçekleştirilmiştir. 20x büyütme objektif kullanılarak elde edilen kumaş enine kesit görüntüleri içinde ipliğin boyutları Adobe® Photoshop® CS3 (PS) ile ölçüldükten sonra büyütme oranına göre gerekli dönüşümler yapılarak her bir ipliğin büyük ve küçük çap parametreleri tanımlanmıştır. Tablo 4.5'te elde edilen enine kesit ölçüm sonuçları istatistiksel olarak özetlenmiştir. a ipliğin büyük çapı, b küçük çapı olmak üzere 1 alt indisi çözgü, 2 alt indisi atkı ipliğinin PS ölçüm sonuçlarını tanımlamaktadır.

Tablo 4.5 Enine kesit görüntülerinden Adobe® Photoshop® CS3 (PS) ile ölçülen iplik boyutları

Değişken N	Ort	StS	SH	95% GA	Değişken N	Ort	StS	SH	95% GA
A1 a _{PS1} 30	0,0272	0,0031	0,0006	(0,0260; 0,0283)	A1 b _{PS1} 30	0,0155	0,0015	0,0003	(0,0150; 0,0161)
A2 a _{PS1} 30	0,0261	0,0025	0,0005	(0,0252; 0,0271)	A2 b _{PS1} 30	0,0158	0,0016	0,0003	(0,0152; 0,0164)
A3 a _{PS1} 30	0,0280	0,0027	0,0005	(0,0270; 0,0291)	A3 b _{PS1} 30	0,0156	0,0011	0,0002	(0,0152; 0,0160)
B2 a _{PS1} 30	0,0242	0,0030	0,0005	(0,0231; 0,0253)	B2 b _{PS1} 30	0,0173	0,0020	0,0004	(0,0166; 0,0180)
B3 a _{PS1} 30	0,0244	0,0028	0,0005	(0,0233; 0,0254)	B3 b _{PS1} 30	0,0171	0,0018	0,0003	(0,0164; 0,0178)
B4 a _{PS1} 30	0,0228	0,0023	0,0004	(0,0220; 0,0237)	B4 b _{PS1} 30	0,0165	0,0019	0,0003	(0,0158; 0,0172)
C2 a _{PS1} 30	0,0248	0,0024	0,0004	(0,0239; 0,0257)	C2 b _{PS1} 30	0,0171	0,0016	0,0003	(0,0165; 0,0177)
C3 a _{PS1} 30	0,0239	0,0024	0,0004	(0,0231; 0,0248)	C3 b _{PS1} 30	0,0180	0,0025	0,0005	(0,0170; 0,0190)
C4 a _{PS1} 30	0,0237	0,0025	0,0005	(0,0228; 0,0246)	C4 b _{PS1} 30	0,0176	0,0019	0,0003	(0,0170; 0,0183)
Değişken N	Ort	StS	SH	95% GA	Değişken N	Ort	StS	SH	95% GA
A1 a _{PS2} 30	0,0296	0,0032	0,0006	(0,0284; 0,0308)	A1 b _{PS2} 30	0,0144	0,0013	0,0002	(0,0139; 0,0149)
A2 a _{PS2} 30	0,0279	0,0027	0,0005	(0,0269; 0,0289)	A2 b _{PS2} 30	0,0154	0,0014	0,0003	(0,0149; 0,0160)
A3 a _{PS2} 30	0,0287	0,0025	0,0005	(0,0277; 0,0296)	A3 b _{PS2} 30	0,0151	0,0013	0,0002	(0,0147; 0,0156)
B2 a _{PS2} 30	0,0293	0,0031	0,0006	(0,0281; 0,0304)	B2 b _{PS2} 30	0,0142	0,0013	0,0002	(0,0137; 0,0146)
B3 a _{PS2} 30	0,0299	0,0028	0,0005	(0,0288; 0,0310)	B3 b _{PS2} 30	0,0143	0,0012	0,0002	(0,0138; 0,0147)
B4 a _{PS2} 30	0,0248	0,0034	0,0006	(0,0235; 0,0261)	B4 b _{PS2} 30	0,0197	0,0024	0,0004	(0,0188; 0,0206)
C2 a _{PS2} 30	0,0312	0,0045	0,0008	(0,0295; 0,0329)	C2 b _{PS2} 30	0,0212	0,0305	0,0056	(0,0098; 0,0326)
C3 a _{PS2} 30	0,0301	0,0030	0,0006	(0,0289; 0,0312)	C3 b _{PS2} 30	0,0156	0,0021	0,0004	(0,0148; 0,0164)
C4 a _{PS2} 30	0,0257	0,0052	0,0010	(0,0237; 0,0276)	C4 b _{PS2} 30	0,0162	0,0037	0,0006	(0,0148; 0,0175)

a_{PS1}: Çözü ipliğinin PS ile ölçülen büyük çapı, a_{PS2}: Atkı ipliğinin PS ile ölçülen büyük çapı; b_{PS1}: Çözü ipliğinin PS ile ölçülen küçük çapı; b_{PS2}: Atkı ipliğinin PS ile ölçülen küçük çapı

Enine kesit görüntülerinden Adobe® Photoshop® CS3 programı ile ölçülen iplik boyutlarının sıklık ve örgü tipi ile ilişkisi varyans analizi ile ayrıntılı olarak incelenmiştir (Ek 3.5, Ek 3.6). Sıklık ve iplik çapı arasındaki ilişki incelendiğinde bezayağı örgü için çözgü yönünde küçük çaplar arasındaki farkın önemli olmadığı; büyük çap için ise 18 cm^{-1} sıklığa sahip A2 ve 22 cm^{-1} sıklığa sahip A3 kumaşlarının ölçüm sonuçları arasındaki farkın %95 güven seviyesi için önemli olduğu bulunmuştur. Buna karşın 2/1 dimi ve 3/1 dimi örgülerde büyük ve küçük çaplar için fark önemli bulunmamıştır. Atkı yönünde sıklık ve iplik çapı ilişkisi incelendiğinde, bezayağı kumaşlarda büyük çaplar arasında fark önemli değilken, küçük çaplar arasında 14 cm^{-1} sıklığa sahip A1 ve A2 kumaşı arasındaki fark önemli bulunmuştur. 2/1 ve 3/1 dimi kumaşlarda büyük çaplar arasındaki fark sırasıyla B4-B2, B4-B3, C4-C2 VE C4-C1 kodlu kumaşlar arasında önemlidir. 2/1 dimi kumaşların atkı yönünde ölçülen küçük çaplar arasındaki fark B4-B2, B4-B3 kumaşları arasında önemliyken 3/1 dimi kumaşın atkı yönünde ölçülen küçük çap değerleri arasındaki fark %95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Şekil 4.3, Ek 3.5). Enine kesit görüntülerinden PS ile ölçülen iplik boyutlarının sıklık ile ilişkisi incelendiğinde; 26 cm^{-1} atkı sıklığında atkı ve çözgü yönünde iplik büyük çapları arasındaki fark örgü tipi açısından önemli bulunmamıştır. Ayrıca 26 cm^{-1} atkı sıklığında çözgü küçük çapları arasındaki fark ve 22 cm^{-1} atkı sıklığında atkı büyük çapları arasındaki fark örgü tipi açısından %95 güven aralığında önemli değildir. Bunun dışında aynı sıklık parametreleri farklı örgü tiplerine sahip kumaşlarda ölçülen büyük ve küçük çap verileri istatistiksel olarak fark göstermiştir. Varyans analizi sonuçları Ek 3.6'da verilmiştir.



Şekil 4.3 Enine kesit görüntülerinden Adobe® Photoshop® CS3 programı ile ölçülen iplik çaplarının sıklık ve örgü tipi açısından ilişkilerinin incelenmesi (a₁: Çözü ipliği büyük çapı; a₂: Atkı ipliği büyük çapı; b₁: Çözü ipliği küçük çapı, b₂: Atkı ipliği küçük çapı)

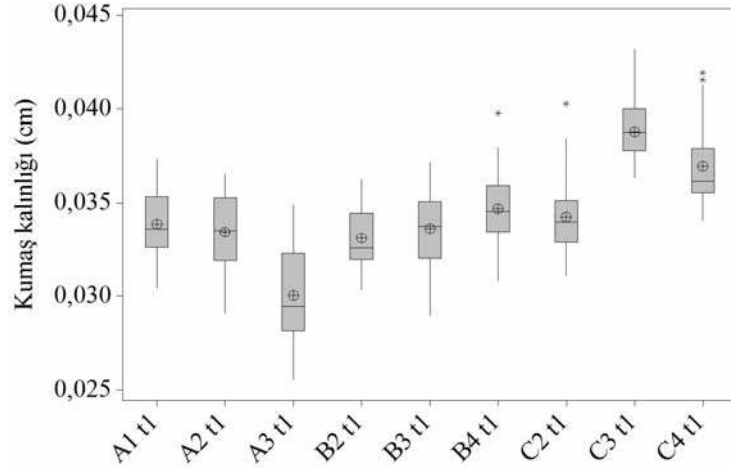
Kumaş enine kesit görüntülerinden ayrıca kumaş kalınlığı da ölçülmüştür. Tüm kumaş tiplerinde atkı ve çözgü yönlerinde elde edilen kumaş enine kesit görüntüleri incelendiğinde kumaş kalınlığını genel olarak çözgü ipliklerinin oluşturduğu gözlenmiştir. Adobe® Photoshop® CS3 programı kullanarak 10x büyütmele objektifle elde edilen kumaş enine kesit görüntülerinden ayrıca kumaş kalınlığı da ölçülmüştür. Tablo 4.6’da çözgü yönündeki enine kesit görüntülerinden ölçülen kumaş kalınlığı verilerinin sonuçları istatistiksel olarak özetlenmiş, aynı zamanda kumaş kalınlık ölçerinden elde edilen sonuçlar (t_m) verilmiştir.

Tablo 4.6 Kumaş kalınlığı sonuçları

Enine Kesitten ölçülen t_e (cm)						Kalınlık ölçeri t_m (cm)
Değişken	N	Ort	StS	SH	95% GA	
A1 te ₁	30	0,0338	0,0018	0,0003	(0,0332; 0,0346)	0,0370
A2 te ₁	30	0,0334	0,0022	0,0004	(0,0326; 0,0343)	0,0370
A3 te ₁	30	0,0300	0,0028	0,0005	(0,0290; 0,0311)	0,0360
B2 te ₁	30	0,0330	0,0015	0,0003	(0,0325; 0,0337)	0,0380
B3 te ₁	30	0,0336	0,0020	0,0004	(0,0329; 0,0344)	0,0380
B4 te ₁	30	0,0347	0,0018	0,0003	(0,0340; 0,0354)	0,0390
C2 te ₁	30	0,0342	0,0021	0,0004	(0,0335; 0,0350)	0,0400
C3 te ₁	30	0,0388	0,0014	0,0003	(0,0383; 0,0393)	0,0410
C4 te ₁	30	0,0370	0,0021	0,0004	(0,0362; 0,0377)	0,0410

t_e : enine kesit görüntülerinden ölçülen kumaş kalınlığı; t_m : kalınlık ölçer ile ölçülen kumaş kalınlığı

Sıklık-kumaş kalınlığı arasındaki ilişki istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde bezayağı örgü için 14 cm^{-1} ve 18 cm^{-1} atkı sıklığına sahip kumaşlar (A1 ve A2) arasında önemli bir fark yokken, A3 ile diğer kumaşlar arasındaki farkın önemli olduğu gözlenmiştir. Kumaş sıklığı artınca bezayağı örgüde kalınlık azalmıştır. 2/1 dimi kumaşta sıklık arttıkça kumaş kalınlığı artmıştır. B2 ve B3 arasında önemli bir fark yokken, B4-B2 ve B4-B3 kumaşları arasındaki fark önemlidir. 3/1 dimi kumaşta da sıklığın artması kumaş kalınlığını arttırmıştır, C2-C3 ve C2-C4 arasındaki kalınlık farkı önemlidir. Örgü tipleri ve kumaş kalınlığı arasındaki ilişki incelendiğinde 18 cm^{-1} atkı sıklığında örgü tipleri arasındaki fark önemli değilken, 22 cm^{-1} ve 26 cm^{-1} atkı sıklıklarında örgü tipleri arasındaki fark %95 güven seviyesi için önemli bulunmuştur. Kumaş kalınlığının örgü tipi ve sıklık ile ilişkilerini inceleyen varyans analizi sonuçları Ek 3.7’de verilmiştir. Örgü tipleri karşılaştırıldığında aynı sıklıkta en kalın kumaş 3/1 dimi örgü yapısına sahip kumaştır. Atlama uzunluğu arttıkça iplikler daha çok serbest konuma geçtiklerinden birbirlerinin üzerinde kayarak kumaş kalınlığının artmasına sebep olmaktadır. Enine kesit görüntüleri üzerinden ölçülen kumaş kalınlığı sonuçları kalınlık ölçeri ile ölçülen kumaş kalınlığı sonuçlarından daha düşük bulunmuştur.



Şekil 4.4 Farklı kumaş tiplerinin enine kesit görüntülerinden ölçülen kumaş kalınlığı (t_c) sonuçları

4.1.2.2.2 Stereo Investigator® ölçüm sonuçları. Mikroskopta 20x büyütmeli objektif ile elde edilen kumaş enine kesit görüntülerinden yararlanarak iplik özelliklerinin daha ayrıntılı olarak tanımlanabilmesi amacıyla ayrıca Stereo Investigator® (SI) programı ile ölçümler yapılmıştır. Stereo Investigator® (SI) ölçüm yöntemi, kontur noktalarını kullanıcının belirlemesinden dolayı zaman alıcı olmasına rağmen, yöntem iplik görüntüleri üzerinde gerçeğe çok yakın doğrusal ve alansal ölçümler yapılarak görüntü analizi ve teorik sonuçlarla karşılaştırılacak deneysel verilerin elde edilmesini sağlamıştır. Stereo Investigator® programında belirlenen parametreler sırasıyla ipliğin büyük ve küçük çapları (a_{SI} , b_{SI}), iplik alanı (A_{ySI}), lif alanı (A_{fSI}) ve iplik içindeki lif sayısıdır. Stereo Investigator® ile belirlenen iplik boyutlarının diğer yöntem sonuçları ile ilişkisi incelenmiştir. Bu ölçüm yöntemi ayrıca çalışmada kullanılan pamuk lifinin boyutsal değişiminin saptanmasına, iplik içi gözenekliliğin deneysel olarak hesaplanmasına ve teorik hesaplamalarda kullanılacak ortalama lif ve iplik verilerinin elde edilmesine yardımcı olmuştur.

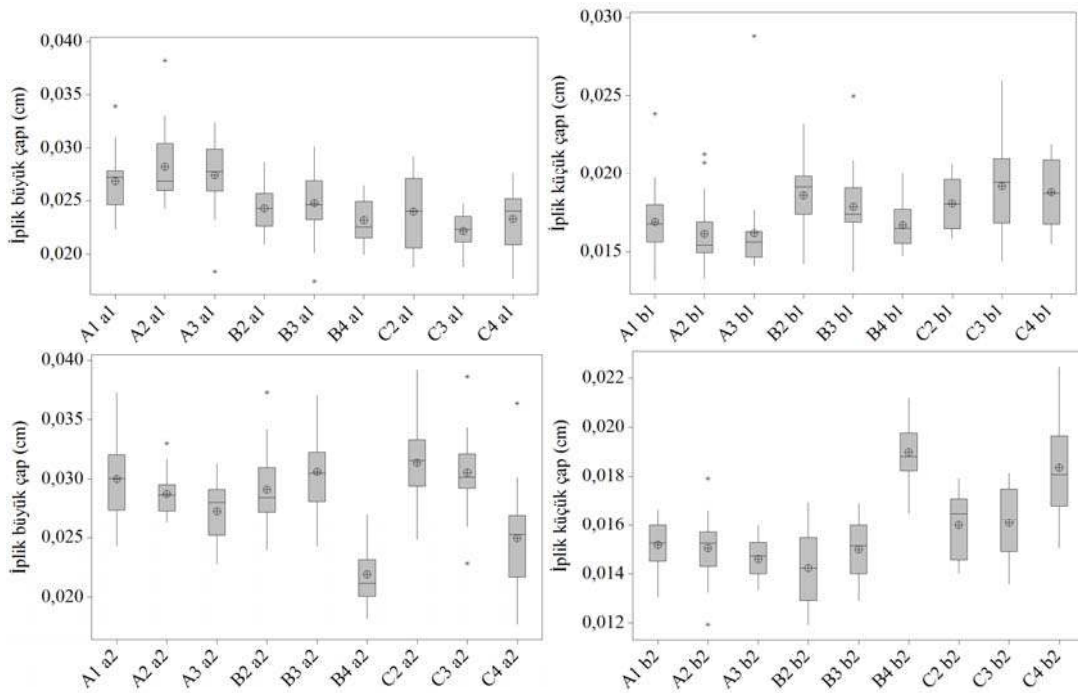
Stereo Investigator® programında öncelikle her kumaş tipi için atkı ve çözgü yönlerinde rastgele seçilen 20'şer ipliğin iplik alanı (A_{ySI}) ve iplik çapları (a_{SI} , b_{SI}) ölçülmüştür. Tablo 4.7'de atkı ve çözgü yönlerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen büyük ve küçük çap verileri özetlenmiştir.

Tablo 4.7 Stereo Investigator® programında ölçülen iplik çapları

Değişken	N	Ort	StS	SH	95% GA
A1 a _{sl1}	20	0,0269	0,0029	0,0006	(0,0255; 0,0282)
A2 a _{sl1}	20	0,0282	0,0035	0,0008	(0,0266; 0,0298)
A3 a _{sl1}	20	0,0274	0,0033	0,0007	(0,0256; 0,0290)
B2 a _{sl1}	20	0,0243	0,0021	0,0005	(0,0233; 0,0253)
B3 a _{sl1}	20	0,0248	0,0031	0,0007	(0,0233; 0,0262)
B4 a _{sl1}	20	0,0232	0,0020	0,0004	(0,0222; 0,0241)
C2 a _{sl1}	20	0,0240	0,0033	0,0007	(0,0224; 0,0255)
C3 a _{sl1}	20	0,0221	0,0015	0,0003	(0,0214; 0,0229)
C4 a _{sl1}	20	0,0233	0,0029	0,0006	(0,0219; 0,0247)
Değişken	N	Ort	StS	SH	95% GA
A1 b _{sl1}	20	0,0169	0,0024	0,0005	(0,0158; 0,0180)
A2 b _{sl1}	20	0,0161	0,0021	0,0005	(0,0152; 0,0171)
A3 b _{sl1}	20	0,0162	0,0031	0,0007	(0,0147; 0,0176)
B2 b _{sl1}	20	0,0186	0,0023	0,0005	(0,0175; 0,0197)
B3 b _{sl1}	20	0,0179	0,0024	0,0005	(0,0167; 0,0190)
B4 b _{sl1}	20	0,0167	0,0015	0,0003	(0,0160; 0,0174)
C2 b _{sl1}	20	0,0181	0,0016	0,0004	(0,0173; 0,0188)
C3 b _{sl1}	20	0,0192	0,0030	0,0007	(0,0178; 0,0206)
C4 b _{sl1}	20	0,0188	0,0021	0,0005	(0,0178; 0,0198)
Değişken	N	Ort	StS	SH	95% GA
A1 a _{sl2}	20	0,0300	0,0033	0,0007	(0,0284; 0,0316)
A2 a _{sl2}	20	0,0287	0,0017	0,0004	(0,0279; 0,0295)
A3 a _{sl2}	20	0,0276	0,0024	0,0005	(0,0261; 0,0284)
B2 a _{sl2}	20	0,0291	0,0034	0,0008	(0,0275; 0,0307)
B3 a _{sl2}	20	0,0306	0,0030	0,0007	(0,0292; 0,0320)
B4 a _{sl2}	20	0,0219	0,0025	0,0006	(0,0207; 0,0231)
C2 a _{sl2}	20	0,0313	0,0030	0,0007	(0,0299; 0,0327)
C3 a _{sl2}	20	0,0305	0,0034	0,0008	(0,0290; 0,0321)
C4 a _{sl2}	20	0,0250	0,0042	0,0009	(0,0230; 0,0269)
Değişken	N	Ort	StS	SH	95% GA
A1 b _{sl2}	20	0,0152	0,0009	0,0002	(0,0147; 0,0156)
A2 b _{sl2}	20	0,0151	0,0013	0,0003	(0,0144; 0,0157)
A3 b _{sl2}	20	0,0146	0,0008	0,0002	(0,0142; 0,0150)
B2 b _{sl2}	20	0,0142	0,0016	0,0003	(0,0135; 0,0149)
B3 b _{sl2}	20	0,0150	0,0017	0,0003	(0,0144; 0,0156)
B4 b _{sl2}	20	0,0190	0,0012	0,0003	(0,0184; 0,0195)
C2 b _{sl2}	20	0,0160	0,0013	0,0003	(0,0154; 0,0165)
C3 b _{sl2}	20	0,0161	0,0014	0,0003	(0,0155; 0,0167)
C4 b _{sl2}	20	0,0184	0,0021	0,0005	(0,0174; 0,0193)

Stereo Investigator® ölçümleri sonucu elde edilen iplik çaplarının sıklık ve örgü tipi ile ilişkileri varyans analizi ile incelenmiştir. Buna göre, farklı atkı sıklıklarındaki bezayağı ve 3/1 dimi kumaşların çözgü yönünde iplik büyük ve küçük çapları arasındaki fark %95 güven seviyesi için önemli bulunmamış; 2/1 dimi kumaşta ise B2 ve B4 kodlu kumaşların küçük çapları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Atkı yönünde ise bezayağı kumaşın büyük çapları arasındaki fark A1 ve A3 kumaşları arasında önemlidir. 2/1 dimi ve 3/1 dimi kumaşların atkı yönünde

hem büyük çap hem de küçük çapları için 26 cm^{-1} sıklık ölçüm değerleri ile diğer sıklıklar arasındaki fark önemli bulunmuştur (Şekil 4.5, Ek 3.8). İplik büyük ve küçük çaplarının örgü tipi ile ilişkisi incelendiğinde çözgü yönünde hem büyük hem küçük çap için 18 cm^{-1} sıklıkta A2-B2 ve A2-C2 arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir. 22 cm^{-1} sıklıkta büyük çap için tüm kumaş tipleri arasındaki fark önemliyken, küçük çap için A3-C3 kumaşları arasındaki fark önemli bulunmuştur. 26 cm^{-1} sıklıkta ise büyük çaplar arasındaki fark önemli değilken B4-C4 kumaşları arasındaki fark önemli bulunmuştur. Atkı yönünde ise 18 cm^{-1} sıklıkta büyük çap için A2-C2 arasındaki fark, küçük çap için B2-C2 arasındaki fark önemli bulunmuştur. 22 cm^{-1} sıklıkta ise sırasıyla çözgü yönü için bezayağı (A3) ile diğer kumaş tipleri arasındaki fark, küçük çap için 3/1 dimi kumaş (C3) ile diğer örgü tipleri arasındaki fark önemli bulunmuştur. Son olarak 26 cm^{-1} sıklıkta büyük çap için 3/1 dimi ve 2/1 dimi kumaşlar arasındaki fark önemliyken, küçük çap için fark %95 güven seviyesi için önemli bulunmamıştır (Şekil 4.5, Ek 3.9).



Şekil 4. 5 Stereo Investigator® programı ile ölçülen iplik büyük ve küçük çapları ile sıklık ve örgü tipi ilişkilerinin incelenmesi (a₁: Çözgü ipliği büyük çapı; a₂: Atkı ipliği büyük çapı; b₁: Çözgü ipliği küçük çapı, b₂: Atkı ipliği küçük çapı)

İplik çapının belirlenmesi için şu ana kadar sunulan bulgular özetlenirse; çalışmada teorik hesaplamanın yanında ayrıntılı deneysel çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda kumaşın hem yüzeysel hem de enine kesit görüntüsü kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerle kumaş içindeki iplik çapları analiz edilmiştir. Yüzey görüntüleri iplik çapının belirlenmesi için tek yönlü bir ölçüm olanağı sağlarken, enine kesit görüntüleri üzerinde yapılan ölçümler iplik kesitinin daha ayrıntılı olarak incelenmesini sağlayarak ipliğin büyük ve küçük çap boyutlarını belirlememize olanak vermiştir. Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’da uygulanan tüm yöntemlerden elde edilen ortalama iplik boyutu sonuçları sırasıyla çözgü ve atkı iplikleri için özetlenmiştir. 1 ve 2 alt indisleri sırasıyla çözgü ve atkı ipliklerini göstermek üzere, teorik dairesel çap d_{yt} , teorik büyük ve küçük çaplar a_t , b_t ; yüzey görüntüleri üzerinden Adobe® Photoshop® CS3 programında ölçülen ve dairesel olarak tanımlanan çap d_m ; Adobe® Photoshop® CS3 programında ölçülen büyük ve küçük çap a_{PS} ve b_{PS} ; Stereo Investigator® programında ölçülen büyük ve küçük çaplar ise sırasıyla a_{SI} , b_{SI} ile tanımlanmıştır.

Tablo 4.8 Çözü yönünde farklı yöntemlere göre tanımlanan iplik çapları (cm)

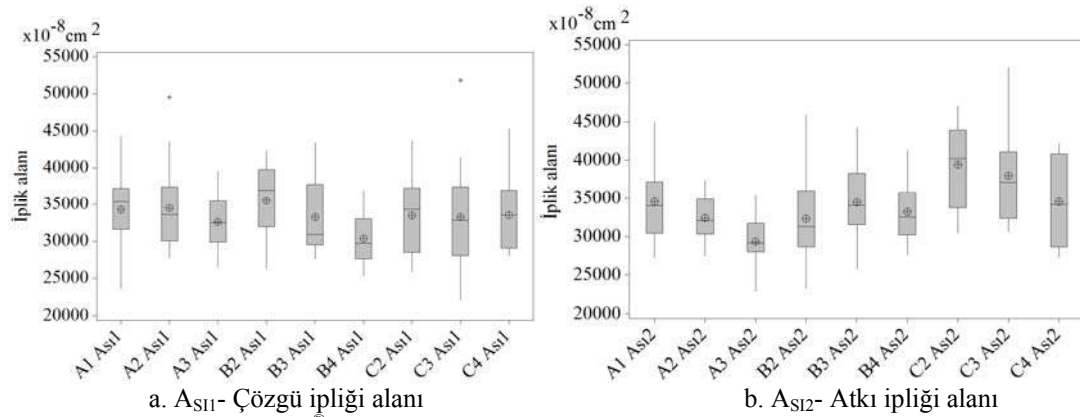
Kumaş Kodu	Dairesel çap		Teorik		Eliptik çap		Stereo Investigator®	
	Teorik d_{yt1}	Photoshop® (Yüzey)	a_{t1}	b_{t1}	Photoshop (Enine Kesit)		a_{s11}	b_{s11}
		d_{m1}			a_{ps1}	b_{ps1}		
A1	0,0207	0,0216	0,0244	0,0171	0,0272	0,0156	0,0269	0,0170
A2	0,0207	0,0214	0,0244	0,0171	0,0261	0,0158	0,0282	0,0161
A3	0,0207	0,0219	0,0244	0,0171	0,0280	0,0156	0,0274	0,0162
B2	0,0207	0,0205	0,0244	0,0171	0,0242	0,0173	0,0243	0,0186
B3	0,0207	0,0194	0,0244	0,0171	0,0244	0,0171	0,0248	0,0179
B4	0,0207	0,0234	0,0244	0,0171	0,0228	0,0165	0,0232	0,0197
C2	0,0207	0,0207	0,0244	0,0171	0,0248	0,0171	0,0240	0,0181
C3	0,0207	0,0224	0,0244	0,0171	0,0239	0,0180	0,0221	0,0192
C4	0,0207	0,0225	0,0244	0,0171	0,0237	0,0176	0,0233	0,0188

1 alt indisi: Çözü ipliği; d_{yt} : teorik dairesele çap; a_t , b_t : teorik büyük ve küçük çap; d_m : yüzey görüntülerinden Photoshop® ile ölçülen dairesele çap; a_{ps} ve b_{ps} : Enine kesit görüntülerinden Photoshop® ile ölçülen büyük ve küçük çap; a_{s1} , b_{s1} : Enine kesit görüntülerinden Stereo Investigator® ile ölçülen büyük ve küçük çap

Tablo 4.9 Atkı yönünde farklı yöntemlere göre tanımlanan iplik çapları (cm)

Kumaş Kodu	Dairesel çap		Teorik		Eliptik çap		Stereo Investigator®	
	Teorik d_{yt2}	Photoshop® (Yüzey)	a_{t2}	b_{t2}	Photoshop (Enine Kesit)		a_{s12}	b_{s12}
		d_{m2}			a_{ps2}	b_{ps2}		
A1	0,0207	0,0278	0,0244	0,0171	0,0296	0,0144	0,0300	0,0152
A2	0,0207	0,0261	0,0244	0,0171	0,0279	0,0154	0,0287	0,0151
A3	0,0207	0,0263	0,0244	0,0171	0,0287	0,0141	0,0276	0,0146
B2	0,0207	0,0254	0,0244	0,0171	0,0293	0,0142	0,0291	0,0142
B3	0,0207	0,0265	0,0244	0,0171	0,0299	0,0143	0,0306	0,0150
B4	0,0207	0,0242	0,0244	0,0171	0,0248	0,0197	0,0219	0,0190
C2	0,0207	0,0268	0,0244	0,0171	0,0312	0,0212	0,0313	0,0160
C3	0,0207	0,0271	0,0244	0,0171	0,0301	0,0156	0,0305	0,0161
C4	0,0207	0,0259	0,0244	0,0171	0,0257	0,0162	0,0250	0,0184

Stereo Investigator[®] programında ölçümleri yapılan ipliklerin iplik alanlarının kumaş tipi ve sıklık parametreleri ile ilişkisi ayrıntılı varyans analizi ile incelenmiştir (Ek 3.10). Tüm örgü tiplerinde ölçülen ve elips kesit yaklaşımı ile teorik olarak hesaplanan iplik alanları (A_{y-SI} ve A_{e-SI}) arasındaki fark önemli bulunmamıştır. Bezayağı, 2/1 dimi kumaşlar için atkı ve çözgü iplik alanları arasındaki fark da önemli değildir. Bezayağı kumaşta atkı yönünde sıklık arttıkça iplik alan ortalaması azalmıştır, sıklık açısından aradaki fark A1 ve A3 kumaşları için önemli bulunmuştur. Çözgü sıklığı sabit olduğundan çözgü iplikleri için sıklık açısından fark önemli değildir. 2/1 dimi kumaşlarda sıklık ve iplik alanı arasındaki ilişki varyans analizi ile değerlendirildiğinde atkı yönünde farklı sıklıklar arasındaki fark önemli bulunmamıştır. Çözgü yönünde ise B2 ve B3 kumaşlarında iplik alanları arasındaki fark %95 güven seviyesi için önemlidir. 3/1 dimi kumaşta ise atkı ve çözgü iplik alanları arasındaki fark sadece C2 kodlu kumaşın atkı yönü için önemli bulunmuştur. Farklı sıklıklar değerlendirildiğinde kumaşların atkı iplik alanları arasındaki farkın önemli olmadığı bulunmuştur (Şekil 4.6).

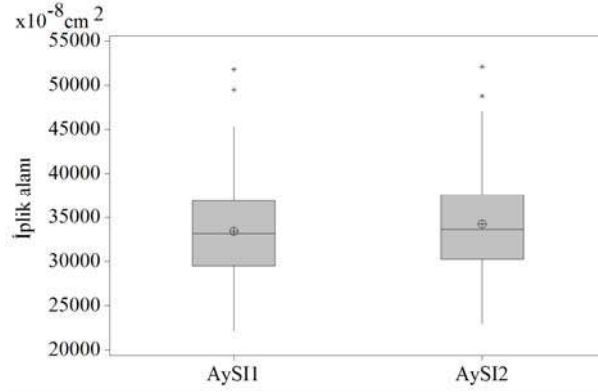


Şekil 4.6 Stereo Investigator[®] ile ölçülen iplik alanları

İpliğin gözenek özelliklerinin ayrıntılı olarak belirlenmesi için Stereo Investigator[®] (SI) programında gerçekleştirilen iplik alan ölçümleri sonuçları Tablo 4.10'da özetlenmiştir. A_{y-SII} çözgü yönünde, A_{y-SI2} atkı yönünde ölçülen ipliklerin alanı olmak üzere, A_{y-SI} her iki yöndeki iplik alanlarının ortalamasını göstermektedir. Her kumaş tipinde ölçülen toplam atkı ve toplam çözgü ipliklerinin alanları arasındaki ilişki varyans analizi ile incelendiğinde (Ek 3.11) çözgü ve atkı iplik alanları arasındaki fark %95 güven seviyesi için önemli bulunmamıştır (Şekil 4.7).

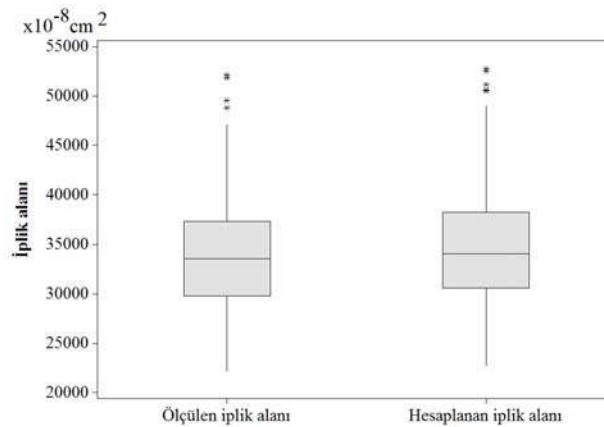
Tablo 4.10 İplik alanı Stereo Investigator® ölçüm sonuçları

Değişken	Açıklama	N	Ortalama	95% GA
A_{y-SI1}	SI ile ölçülen çözgü iplikleri alanı	180	33439,5 (μm^2)	(32689,9; 34189,1) (μm^2)
A_{y-SI2}	SI ile ölçülen atkı iplikleri alanı	180	34256,7 (μm^2)	(33450,7; 35062,8) (μm^2)
A_{y-SI}	SI ile ölçülen tüm ipliklerin alanı	360	33848,1 (μm^2)	(33298,8; 34397,5) (μm^2)



Şekil 4.7 Ölçülen toplam çözgü ve atkı iplik alanları
($A_y \mu\text{m}^2 = A_y 10^{-8} \text{ cm}^2$)

Stereo Investigator® programında iplik alanları ve iplik boyutları belirlenen toplam 360 çözgü ve atkı ipliğinin ölçülen (A_{y-SI}) ve elips enine kesitli iplik kabulüyle teorik olarak hesaplanan (A_{e-SI}) iplik alanları arasındaki ilişki incelendiğinde korelasyon katsayısı 0,897 bulunmuştur. Stereo Investigator® ölçümleri sonucu elde edilen ölçülen ve hesaplanan iplik alanları arasındaki ilişki %99 güven seviyesi için önemli bulunmuştur (Şekil 4.8).



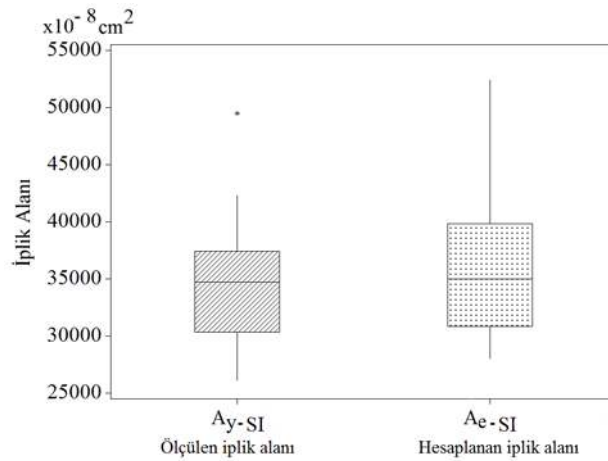
Şekil 4.8 Ölçülen (A_{y-SI}) ve hesaplanan (A_{e-SI}) iplik alanları

İplik içi gözenekliliğin Stereo Investigator® ölçümleri ve görüntü analizi yöntemi sonucu değerlendirilmesi için Stereo Investigator® programında alansal ve boyutsal ölçümleri yapılan toplam 360 iplikten her kumaş tipinden en az bir iplik içerecek şekilde en net görüntüye sahip 50 iplik seçilerek gözenek özelliklerinin analiz edileceği bir test grubu oluşturulmuştur. Tablo 4.11’de seçilen 50 ipliğin Stereo Investigator® ölçümleri sonucu elde edilen iplik alanı, lif sayısı, iplik kesitindeki toplam lif alanı verilerinin istatistiksel sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 4.11 50 ipliğin Stereo Investigator® ölçümlerinin sonuçları

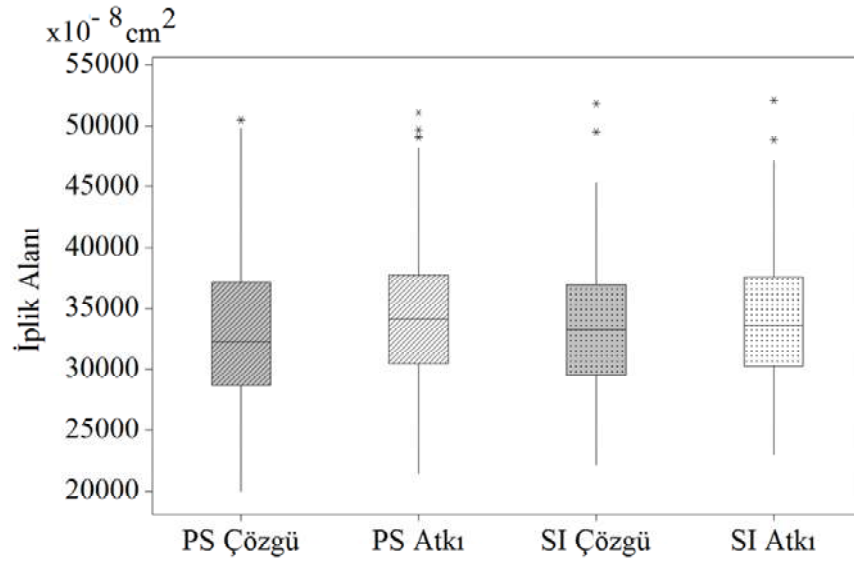
Değişken	N	Ort	95% GA
İplik Alanı	50	$34344,6 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$	(33018,6; 35670,6) ($\times 10^{-8} \text{ cm}^2$)
Lif Sayısı	50	164,180	(158,857; 169,503)
Toplam Lif Alanı	50	$21686,2 \mu\text{m}^2$	(20938,7; 22433,8) μm^2

50 ipliğin Stereo Investigator® ölçümü ile elde edilen iplik alanı (A_{y-SI50}) ile ölçülen iplik büyük ve küçük çap değerlerini kullanarak elips varsayımı ile hesaplanan iplik alanı (A_{e-SI50}) ilişkisi incelendiğinde, aralarındaki korelasyon katsayısı 0.860 olarak bulunmuştur; bu 50 iplik için de ölçülen ve hesaplanan iplik alanları arasındaki fark %95 güven seviyesi için istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Şekil 4.9).



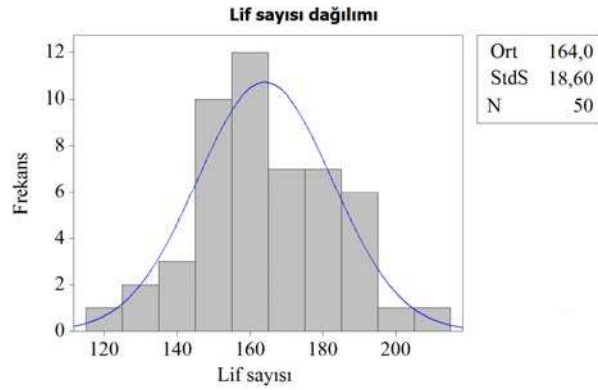
Şekil 4.9 50 iplik için ölçülen (A_{y-SI}) ve hesaplanan (A_{e-SI}) iplik alanı

Kumaş enine kesitindeki iplik boyutlarının belirlenmesi için kullanılan Stereo Investigator® (SI) ve Adobe® Photoshop® CS3 (PS) sonuçları arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla her iki yöntemde ölçülen iplik boyutlarından hesaplanan iplik alanları arasındaki ilişki varyans analizi ile incelenmiş (Ek 3.12) ve fark önemli bulunmamıştır (Şekil 4.10). Dolayısıyla her iki yöntem de iplik boyutlarının ölçülerek iplik alanının hesaplanmasında kullanılabilir.



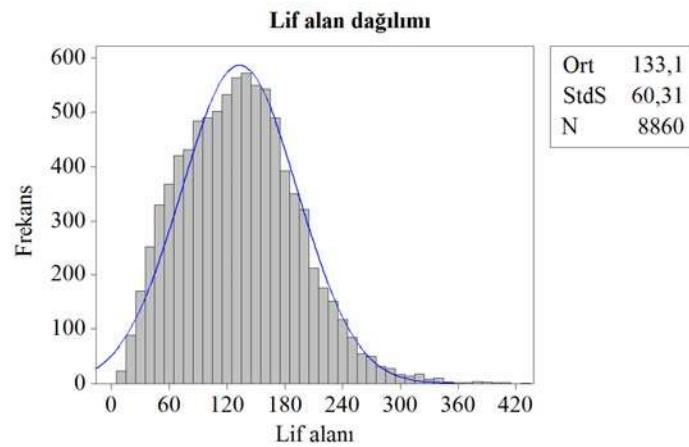
Şekil 4.10 İplik boyutlarından hesaplanan elips alanı için Stereo Investigator® ve Adobe® Photoshop® CS3 ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması

Tablo 4.11’de verileri özetlenen Stereo Investigator® ölçümü sonucu elde edilen 50 ipliğin enine kesitinde yer alan lif sayısı dağılımı Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Stereo Investigator® ölçümleri sonucu iplik içindeki ortalama lif sayısı 164 bulunmuştur.



Şekil 4.11 50 iplik enine kesitinde ölçülen lif sayısı dağılımı

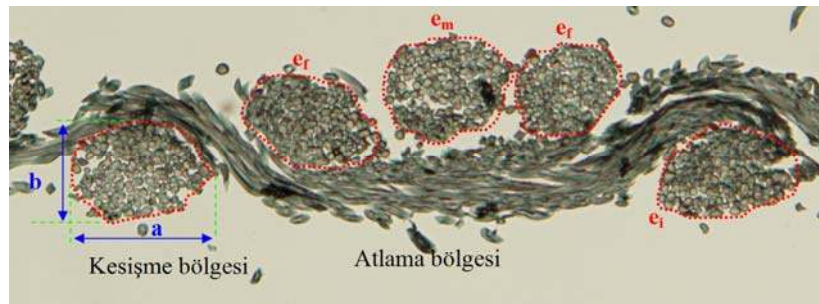
İplik alanı, tek lif alanı, iplik içindeki lif sayısı parametreleri iplik içindeki gözenek özelliklerini belirleyen ana parametrelerdir. Bunun yanında liflerin ortalama uzunluğu, iplik bükümü gibi parametreler de iplik içindeki kanalların şeklini ve boyutunu etkiler. Stereo Investigator® programı kullanılarak gerçekleştirilen ölçümler özellikle lif ve iplik alan dağılımları hakkında bilgi elde ederek teorik yaklaşım sonuçları ile karşılaştırma yapmamız açısından önemlidir. Şekil 4.12’de 50 ipliğin enine kesitinde ölçülen tüm lif alanlarının dağılımı gösterilmektedir. Deneylerde ölçülen tüm liflerin ortalama lif enine kesit alanı $133 \mu\text{m}^2$ olarak bulunmuştur (Tablo 4.11). Lif enine kesit alanı dairesel kabul edilerek 5,4 mikroner indeks değerinden hesaplanan teorik lif enine kesit alanı ise $139 \mu\text{m}^2$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4. 12 Ölçülen lif alan dağılımı (μm^2)

4.1.2.3 İplik çapı ve iplik açıklığı parametrelerinin kumaş içindeki değişiminin incelenmesi

Enine kesit görüntüleri kumaş içindeki iplik boyutlarını doğrudan ölçmemizi sağladığından ipliğin boyut ve şekli ile ilgili daha çok bilgi vermektedir. Kumaşın enine kesit görüntüleri incelendiğinde ipliğin kumaş içinde izlediği yol boyunca enine kesit şeklinin değiştiği gözlenmiştir. Bu değişimi daha ayrıntılı olarak analiz ederek kumaş içindeki ipliğin boyut ve şekil değişimini tanımlamak amacıyla bir grup daha ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle örgü birimi içinde ipliğin bulunduğu bölgeye göre ölçümler ayrı ayrı gerçekleştirilerek farklı bölgelerde yer alan ipliğin boyutları belirlenmiş; daha sonra ipliğin kumaş içinde izlediği yol boyunca gösterdiği boyut ve şekil değişimi küçük çapın büyük çapa oranı ile tanımlanan yassılma oranı (e) sonuçları kullanılarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.13'te 3/1 dimi örgüde kesişme bölgesi (i), atlama bölgesi (f) ve atlama bölgesinin ortasında (m) yer alan iplik için tanımlanan iplik bölgeleri gösterilmiştir. Ölçümler Adobe® Photoshop® CS3 programında gerçekleştirilmiştir. İpliğin izlediği yol boyunca iplik kesitinde meydana gelen boyutsal ve şekilsel değişimin örgü tipi ve sıklık parametreleri açılarından istatistiksel olarak incelenmesi amacıyla her kumaş tipinde her bölge için ayrı ayrı ölçülen 30 adet ipliğin ölçüm sonucu hesaplanan yassılma oranı değerleri MINITAB® programı ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Tüm kumaş tiplerinde ipliğin bulunduğu bölge dikkate alınarak gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarının ortalama değerleri Tablo 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.13 ipliğin izlediği yola bağlı olarak tanımlanan ölçüm bölgeleri

Bezayağı, 2/1 dimi ve 3/1 dimi kumaşlarda örgü birimi içinde farklı pozisyonlarda ölçülen ipliğin büyük ve küçük çaplarının istatistiksel analizi sonucu kumaş enine

kesiti içinde iplik boyutlarının sıklık ve örgü tipi ile ilişkisi ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucu bezayağı örgüde hem çözgü hem atkı iplikleri için ölçülen büyük ve küçük çap boyutları arasındaki farkın sıklık açısından %95 güven seviyesi için önemli olmadığı bulunmuştur. 2/1 dimi kumaşlarda atlama ve kesişme bölgelerinde ölçülen büyük ve küçük çapların sıklık ile ilişkisi varyans analizi ile incelendiğinde farklı atkı sıklığına sahip kumaşların atkı yönünde kesişme bölümünde ölçülen büyük çap verileri arasındaki farkın sadece B4 kumaşı için istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur. Küçük çap için ise kesişme bölgesinde farklı sıklıklar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Atkı yönünde atlama bölümü için büyük çaplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir, küçük çap için ise sadece B4 kumaşı için fark istatistiksel olarak önemlidir. Çözgü yönünde ise kesişme bölgesi için hem büyük hem küçük çaplar arasındaki farkın önemli olmadığı bulunmuştur. Çözgü iplikleri atlama bölgesinde ise sadece B3 ve B4 kumaşlarının küçük çapları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur.

3/1 dimi kumaşlarda atkı yönündeki büyük ve küçük çap değişimi ile sıklık arasındaki ilişki kesişme bölgesi için analiz edildiğinde, en yüksek atkı sıklığına sahip olan C4 kumaşı için farkın %95 güven seviyesi için önemli olduğu bulunmuştur. Atlama bölgesinde büyük çap değeri için sadece C4 kumaşının diğer kumaşlarla arasındaki fark önemliyken, küçük çap için tüm sıklıklarda fark önemli bulunmuştur. Atlama bölgesi ortasında yer alan iplik için ise büyük çaplar arasındaki fark tüm sıklıklar için önemli bulunmuştur; küçük çap için ise sadece C4 kumaşı için ölçülen küçük çap değeri ile diğerleri arasındaki fark önemlidir. Çözgü yönünde yapılan ölçümlerin istatistiksel analizleri sonucunda sıklığa bağlı olarak kumaş enine kesitinde farklı bölgelerde yer alan ipliklerin büyük ve küçük çaplarında da değişim gözlenmiştir. Her bir örgü tipinde farklı bölgelerde ölçülen iplik boyutları ile sıklık ilişkisinin ayrıntılı varyans analizi Ek 3.13'de verilmiştir.

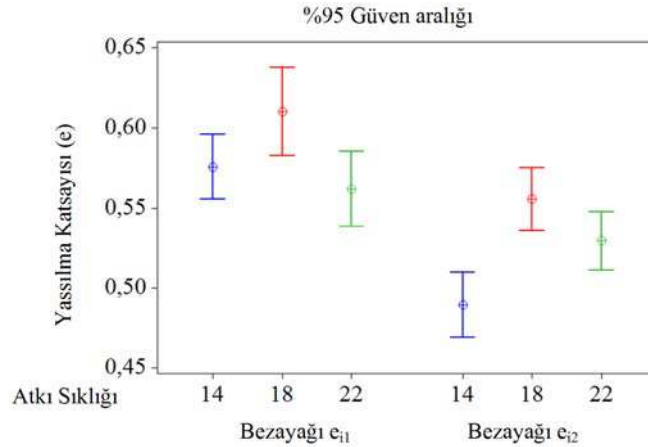
Tablo 4.12 İplik pozisyonu dikkate alınarak yapılan enine kesit ölçüm sonuçları

Kumaş	<u>Kesişim bölgesi</u>			<u>Atlama bölgesi</u>			<u>Atlama bölgesi ortası</u>		
Kodu	a_{il} (cm)	b_{il} (cm)	e_{il}	a_{fl} (cm)	b_{fl} (cm)	e_{fl}	a_{m1} (cm)	b_{m1} (cm)	e_{m1}
A1	0,027167	0,015561	0,58	-	-	-	-	-	-
A2	0,026134	0,015836	0,61	-	-	-	-	-	-
A3	0,028044	0,015618	0,56	-	-	-	-	-	-
B2	0,025416	0,016218	0,64	0,021622	0,017432	0,82	-	-	-
B3	0,026757	0,016991	0,64	0,022732	0,017207	0,76	-	-	-
B4	0,02415	0,015886	0,66	0,021047	0,018407	0,88	-	-	-
C2	0,025556	0,017525	0,69	0,024263	0,01926	0,8	0,023057	0,019967	0,87
C3	0,023269	0,018011	0,78	0,022881	0,018767	0,83	0,020773	0,019526	0,94
C4	0,024392	0,017113	0,71	0,023959	0,01732	0,73	0,021274	0,019586	0,92
	a_{i2}	b_{i2}	e_{i2}	a_{f2}	b_{f2}	e_{f2}	a_{m2}	b_{m2}	e_{m2}
A1	0,02964	0,014415	0,49	-	-	-	-	-	-
A2	0,027924	0,015433	0,56	-	-	-	-	-	-
A3	0,027759	0,014701	0,53	-	-	-	-	-	-
B2	0,02908	0,013392	0,46	0,030292	0,014475	0,48	-	-	-
B3	0,030319	0,014984	0,5	0,027655	0,014371	0,52	-	-	-
B4	0,02497	0,017156	0,69	0,021785	0,018339	0,84	-	-	-
C2	0,032618	0,015524	0,48	0,031024	0,016569	0,53	0,029732	0,017475	0,59
C3	0,03141	0,014881	0,48	0,030429	0,015155	0,5	0,026989	0,016562	0,62
C4	0,023756	0,019235	0,73	0,024266	0,018078	0,75	0,020929	0,019201	0,92

a: iplik büyük çapı, b: iplik küçük çapı, e: yassılma oranı

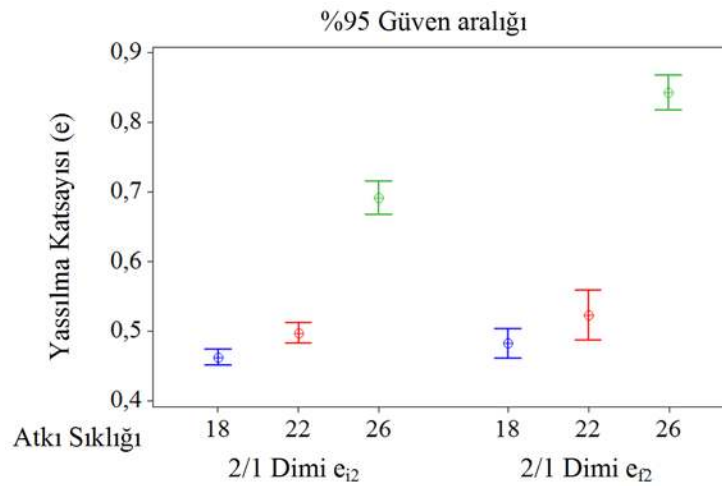
Örgü tipi içinde farklı bölgelerdeki iplik boyutlarının birbiriyle ilişkisi varyans analizi ile test edilmiştir (Ek 3.14). 2/1 dimi kumaşlarda 18cm^{-1} atkı sıklığına sahip kumaşta (B2) atkı yönünde ölçülen büyük ve küçük çap verileri için atlama ve kesişme bölgeleri arasındaki fark önemli değildir. Çözü yönünde ise küçük çap için kesişme ve atlama bölgelerinin farkı önemli bulunmuştur. B3 kumaşı için çözgü ve atlı yönlerinde ölçülen küçük çapın atlama ve kesişme bölgelerindeki farkı önemli değilken, büyük çap için fark önemli bulunmuştur. B4 kumaşında ise ölçülen hem küçük çap hem büyük çap değerlerinin atlama ve kesişme bölgelerindeki farkı önemli bulunmuştur. 3/1 dimi kumaş için iplik boyutları arasındaki fark kesişme atlama ve atlama bölgesinin ortasında yer alan iplikler için incelenmiştir. C2 kumaşında atkı yönünde ve çözgü yönünde ölçülen büyük ve küçük çapların üç farklı bölgedeki değişimi istatistiksel olarak incelendiğinde hem büyük hem küçük çap için kesişme ve atlama bölgesi ortasındaki iplik boyutları arasındaki farkın önemli olduğu gözlenmiştir. C3 kumaşı atkı yönünde farklı bölgelerde ölçülen küçük çaplar arasındaki fark önemli değilken, büyük çap için ortada yer alan iplik boyutlarının diğer bölgelerle arasındaki fark önemli bulunmuştur. Çözgü yönünde de benzer durum gözlenmiştir. C4 kumaşı için ise özellikle atlama bölgesi ortasında yer alan iplik büyük çapının hem atkı hem çözgü yönünde diğer bölgelerde ölçülen çap sonuçlarıyla arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Kumaş içinde yer alan ipliğin boyut ve şekil değişiminin ayrıntılı olarak analiz edilmesi ve tanımlanması amacıyla farklı bölgelerde ölçülen ipliğin iplik yassılma katsayısı (e) istatistiksel olarak incelenmiştir (Ek 3.15). Bezayağı örgü için atkı ipliğin yassılma oranındaki (e_{i2}) değişim sıklık açısından incelendiğinde 14 cm^{-1} atkı sıklığındaki kumaş ile 18 cm^{-1} ve 22 cm^{-1} atkı sıklıklarındaki kumaşlar arasındaki farkın %95 güven seviyesi için önemli olduğu, 18 cm^{-1} ve 22 cm^{-1} atkı sıklığındaki kumaşlar arasındaki farkın önemli olmadığı gözlenmiştir. Çözgü yönünde ise A2 ve A3 kodlu kumaşlar arasındaki fark önemliyken A1 ile A2 ve A3 kodlu kumaşlar arasındaki fark önemli bulunmamıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Bezayağı kumaşta kesişme bölgesindeki çözgü ve atkı ipliklerinin yassılma oranlarının (e_{i1} , e_{i2}) atkı sıklığına bağlı aralık grafiği

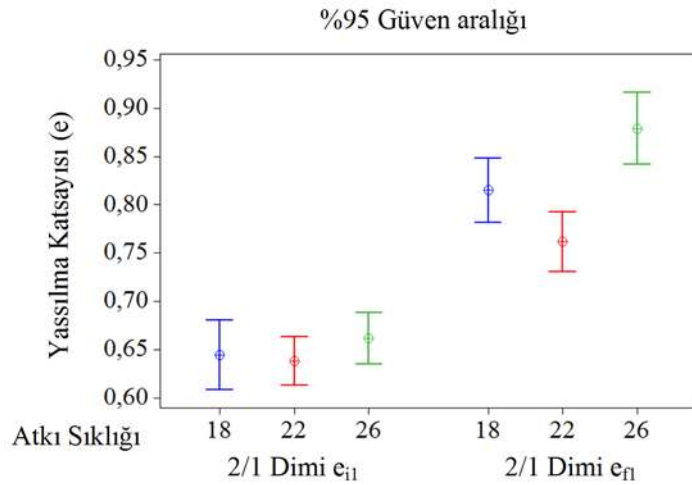
2/1 dimi kumaşların atkı yönünde kesişme ve atlama bölgelerinde yer alan ipliklerin yassılma oranları arasındaki ilişki incelendiğinde 18 cm^{-1} , 22 cm^{-1} gibi düşük sıklıklarda kesişme (e_{i2}) ve atlama (e_{i2}) bölgeleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı bulunmuştur. Şekil 4.15’de de görüldüğü gibi 26 cm^{-1} atkı sıklığında ise kesişme ve atlama bölgeleri arasındaki fark %95 güven seviyesi için önemlidir.



Şekil 4.15 2/1 dimi kumaşlarda kesişme (e_{i2}) ve atlama (e_{i2}) bölgesindeki atkı ipliklerinin yassılma oranlarının atkı sıklığına bağlı aralık grafiği

2/1 dimi kumaşlarda atkı sıklığındaki artışın ipliğin yassılma oranına etkisi incelendiğinde, kesişme bölgesinde yer alan iplik için sıklıklar arasındaki farkın önemli olduğu gözlenmiştir. Atlama bölgesinde yer alan ipliklerin yassılma oranı (e_{f2}) arasındaki fark ise 18 cm^{-1} ve 22 cm^{-1} atkı sıklıkları arasında önemli değilken, 26 cm^{-1} atkı sıklığı ile diğer sıklıklar arasındaki fark %95 güven seviyesi için önemlidir. Şekil 4.3'de de gözlemlendiği gibi atkı sıklığı arttıkça kesişme ve atlama bölgesinde yer alan ipliklerin yassılma oranları artmıştır.

36 cm^{-1} sıklıktaki 2/1 dimi kumaşların çözgü yönünde ise ipliğin bulunduğu bölgeye göre yassılma oranları incelendiğinde her kumaş tipi için atlama ve kesişme bölgeleri arasındaki farkın %95 güven seviyesi için önemli olduğu bulunmuştur (Şekil 4.16). Yassılma oranları arasındaki fark atkı sıklığının etkisi açısından değerlendirildiğinde, kesişme bölgeleri arasındaki fark kumaş tipleri açısından önemli bulunmamıştır. Atlama bölgeleri arasındaki fark ise sadece 22 cm^{-1} ve 26 cm^{-1} atkı sıklıklarındaki kumaşlar için önemlidir.

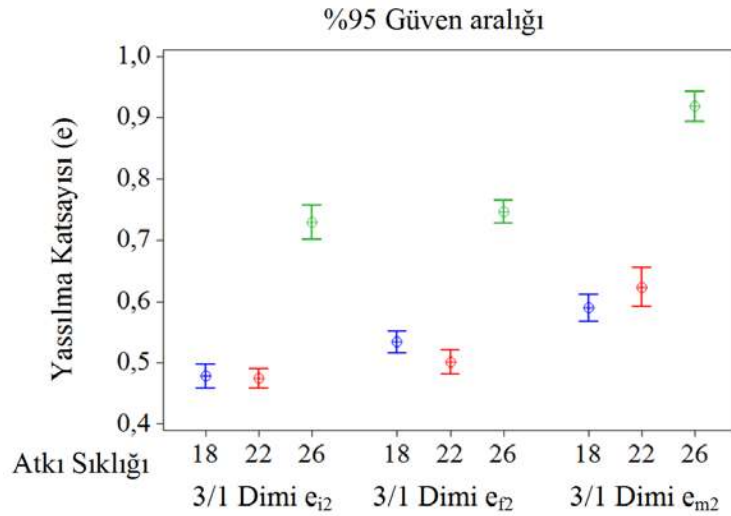


Şekil 4.16 2/1 dimi kumaşlarda kesişme (e_{i1}) ve atlama (e_{f1}) bölgesindeki çözgü ipliklerinin yassılma oranlarının atkı sıklığına bağlı aralık grafiği

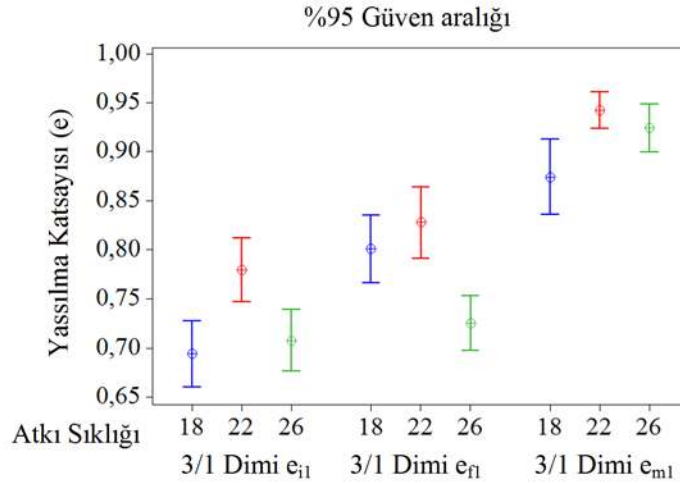
3/1 dimi kumaşlarda örgü içindeki iplik şekil değişimini incelemek amacıyla örgü birimi içinde üç farklı bölgede ölçülen ipliklerin yassılma oranları arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda, 18 cm^{-1} atkı sıklığına sahip kumaşta (C2) atkı ve çözgü iplikleri yassılma oranları (e_i , e_f , e_m) arasındaki

fark %95 güven seviyesi için önemli bulunmuştur. 22 cm^{-1} ve 26 cm^{-1} atkı sıklıklarına sahip kumaşlarda (C3,C4) ise kesişme (e_i) ve atlama (e_f) bölgeleri arasındaki fark önemli bulunmamıştır. Atlama bölgesinin ortasında yer alan ipliğin yassılma oranı (e_m) ile diğer bölgelerde yer alan ipliklerin yassılma oranları (e_i , e_f) arasındaki fark ise önemli bulunmuştur (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18). Atlama bölgesinin ortasında kalan ipliğin yassılma oranının diğerlerine göre yaklaşık %15-20 daha fazla olduğu görülmüştür.

3/1 dimi kumaş yapılarında sıklık artışının farklı bölgelerde yer alan ipliklerin yassılma oranlarına etkisi incelendiğinde, genel olarak atkı ve çözgü ipliklerinde yassılma oranlarının artma eğiliminde olduğu gözlenmiştir. C4 kodlu 26 cm^{-1} atkı sıklığındaki kumaşın tüm bölgelerinde ölçülen atkı ipliklerinin yassılma oranları ile diğer kumaş tiplerinin (C2,C3) yassılma oranları arasındaki fark %95 güven seviyesi için istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur.



Şekil 4.17 3/1 dimi kumaşlarda kesişme (e_{i2}), atlama (e_{f2}) ve atlama orta bölgesindeki (e_{m2}) atkı ipliklerinin yassılma oranlarının atkı sıklığına bağlı aralık grafiği



Şekil 4.18 3/1 dimi kumaşlarda kesişme (e_{12}), atlama (e_{12}) ve atlama orta bölgesindeki (e_{m2}) çözgü ipliklerinin yassılma oranlarının atkı sıklığına bağlı aralık grafiği

Dokuma prosesi sırasında uygulanan kuvvetler ve kumaşın yapısal özelliklerinin etkileşimiyle kumaş içinde yer alan ipliğin şekli ve boyutu değişebilmektedir. Örgü tipi ve sıklık 3-D geometri içinde ipliğin izleyeceği yolu ve enine kesit şeklini belirlemektedir. Her kumaş tipinde örgü birimi boyunca yer alan ipliğin enine kesit boyutundaki değişimin analiz edilmesi amacıyla kumaşın düzlemsel ve enine kesit görüntüleri üzerinde yapılan ayrıntılı ölçümlerin sonuçları değerlendirildiğinde, genel olarak sıklık arttıkça kesişme bölgesinde yer alan ipliğin yassılma oranının arttığı gözlenmektedir. Bu durum sıklığın artışıyla ipliklerin birbirine uyguladıkları kuvvetlerin artışının bir sonucudur. Birim alandaki iplik sayısı arttıkça ipliklerin serbest hareket edecekleri alan azalmış ve minimum enerji konumuna geçmek isteyen iplikler uygulanan kuvvetlerin etkisiyle şekil alarak sıkışmış ve enine kesit şekli elipsten dairesele yaklaşmıştır. Aynı kumaş içinde farklı bölgelerde yer alan ipliklerin boyut değişimi incelendiğinde ise, genel olarak daha seyrek kumaşlarda fark önemli boyutlarda değilken, sık kumaşlarda kesişme ve atlama bölgelerinde yer alan ipliklerin şekillerinin değiştiği gözlenmiştir. Özellikle, 3/1 dimi kumaşta atlama bölgesinin ortasında yer alan ipliğin şekli ve boyutları komşu iplikler tarafından uygulanan kuvvetlerden etkilenmiştir. Sıklık fazla olduğunda komşu iplikler ortadaki ipliği daha çok sıkıştırmış ve enine kesit şekli elipsten dairesele yaklaşmıştır. Diğer taraftan, kesişme bölgesinde iplik karşıt durumdaki iplik tarafından sıkıştırılmış ve temas noktalarındaki dikey kuvvetler elips şekli oluşturmuştur. Yani, iplikler temas

noktalarında uygulanan kuvvetler tarafından sıkıştırılmaktadır. Ancak, sıklık artışı uygulanan kuvvetlerin etkisini değiştirmektedir. Sıklık artışı ile yeni oluşan kuvvetler kesişme bölgesinde ipliği yanal yönlerde sıkıştırmakta, bu da iplikte büyük yassılma oranı ile sonuçlanmaktadır. İpliğin örgü tipi içindeki şekli ipliğin kesişme veya atlama bölgesinde yer almasına göre değişmektedir. Özellikle uzun atlamaya sahip örgülerde ipliğin yassılma oranındaki değişim önemlidir. Sonuç olarak; kumaş içindeki iplik çapı ipliğin izlediği yol boyunca örgü tipine ve sıklığa bağlı olarak elips ve dairesel arasında değişim göstermiştir. Deneysel çalışma sonucu elde edilen ölçümlerin istatistiksel değerlendirme sonuçlarında, iplik enine kesitinin kumaşın farklı bölgelerinde değişim gösterdiği ve yassılma oranlarının kumaş içinde 0,46 ile 0,94 arasında değiştiği bulunmuştur.

Çalışmada ayrıca kesişme ve atlama bölgelerinde iplik açıklıklarını ayrı ayrı belirlemek amacıyla 10x büyütme objektif kullanılarak elde edilen enine kesit görüntülerinden PS programı ile ölçümler tekrarlanmıştır. Tablo 4.13'te bezayağı, 2/1 dimi ve 3/1 dimi örgülerde atlama (p_f) ve kesişme (p_i) bölgesi olarak tanımlanmış bölgelerde ölçülen iplik açıklıkları sonuçları özetlenmiştir. Sonuçlar genel olarak teorik sonuçlar ve yüzey görüntülerinden ölçülen deneysel sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

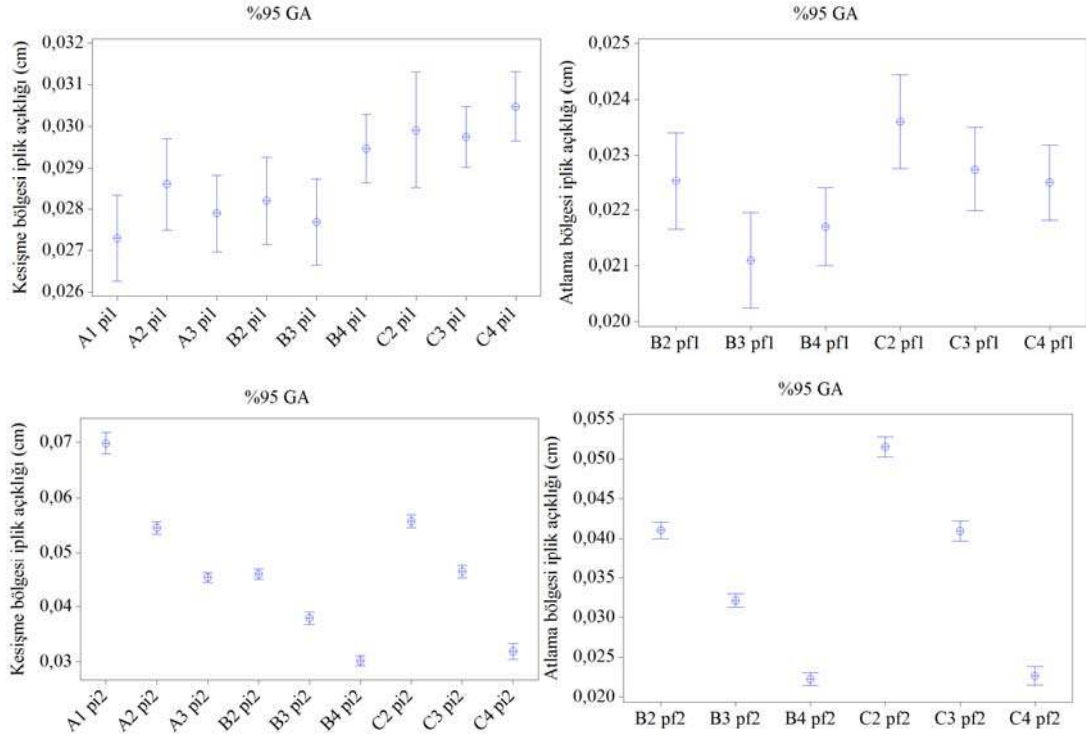
Farklı bölgeler için yapılan iplik açıklıkları ölçüm sonuçlarının kumaş sıklığı ve örgü tipiyle ilişkisi istatistiksel olarak incelenmiştir (Ek 3.16). Sürekli kesişim bölgesinden oluşan bezayağı kumaşın iplik açıklığı sonuçları ile sıklık ilişkisi incelendiğinde atkı yönünde sıklık arttıkça iplikler arası açıklıklarının azaldığı ve aradaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur. Çözü yönünde ise fark istatistiksel olarak önemli değildir. Atlama ve kesişme bölgelerinden oluşan 2/1 dimi kumaşın her iki bölgesinde de ölçülen iplik açıklıkları sonuçlarının sıklık ile ilişkisi atkı ve çözgü bölgeleri için varyans analizi ile test edilmiştir. Sonuç olarak çözgü yönünde atlama ve kesişme bölgelerinde iplik açıklıkları arasındaki fark önemli bulunmuştur. Sıklık açısından değerlendirildiğinde farklı sıklıklarda atlama ve kesişme bölgelerinde iplik açıklıkları arasındaki fark istatistiksel olarak %95 güven seviyesinde önemli bulunmamıştır. Atkı yönünde ise atlama ve kesişme

bölgeleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir. Ayrıca, sıklık arttıkça iplik açıklığı lineer bir şekilde azalmaktadır ve farklı sıklıklar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 3/1 dimi kumaşta ise çözgü yönünde atlama ve kesişme bölgeleri arasındaki fark istatistiksel olarak %95 güven seviyesinde önemlidir; çözgü sıklığı aynı olduğundan değişen atkı sıklığı için kumaşların iplik açıklıkları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli değildir. Atkı yönünde ise kesişme ve atlama bölgeleri iplik açıklıkları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır; buna karşın farklı atkı sıklıklarında hem kesişme hem de atlama bölgeleri iplik açıklıkları arasındaki fark önemli bulunmuştur (Şekil 4.19).

Tablo 4.13 Kumaşlarda iplik açıklığı verileri için güven aralıkları

Değişken	N	Ort	StS	SH	95% GA
A1 p _{il}	30	0,0273	0,0028	0,0005	(0,0263; 0,0283)
A2 p _{il}	30	0,0286	0,0030	0,0005	(0,0275; 0,0297)
A3 p _{il}	30	0,0279	0,0025	0,0005	(0,0270; 0,0288)
A1 p _{i2}	30	0,0698	0,0053	0,0010	(0,0678; 0,0718)
A2 p _{i2}	30	0,0545	0,0031	0,0006	(0,0533; 0,0556)
A3 p _{i2}	30	0,0453	0,0025	0,0005	(0,0444; 0,0462)
B2 p _{il}	30	0,0282	0,0029	0,0005	(0,0271; 0,0293)
B3 p _{il}	30	0,0277	0,0028	0,0005	(0,0266; 0,0287)
B4 p _{il}	30	0,0295	0,0022	0,0004	(0,0286; 0,0303)
B2 p _{fi}	30	0,0225	0,0023	0,0004	(0,0217; 0,0234)
B3 p _{fi}	30	0,0211	0,0023	0,0004	(0,0202; 0,0220)
B4 p _{fi}	30	0,0217	0,0019	0,0003	(0,0210; 0,0224)
B2 p _{i2}	30	0,0481	0,0125	0,0023	(0,0435; 0,0528)
B3 p _{i2}	30	0,0378	0,0030	0,0006	(0,0367; 0,0390)
B4 p _{i2}	30	0,0302	0,0024	0,0005	(0,0292; 0,0311)
B2 p _{i2}	30	0,0410	0,0028	0,0005	(0,0400; 0,0421)
B3 p _{i2}	30	0,0321	0,0023	0,0004	(0,0313; 0,0329)
B4 p _{i2}	30	0,0222	0,0022	0,0004	(0,0214; 0,0230)
C2 p _{il}	30	0,0299	0,0037	0,0007	(0,0285; 0,0313)
C3 p _{il}	30	0,0297	0,0020	0,0004	(0,0290; 0,0305)
C4 p _{il}	30	0,0305	0,0022	0,0004	(0,0297; 0,0313)
C2 p _{fi}	30	0,0236	0,0022	0,0004	(0,0228; 0,0244)
C3 p _{fi}	30	0,0227	0,0020	0,0003	(0,0220; 0,0235)
C4 p _{fi}	30	0,0225	0,0018	0,0003	(0,0218; 0,0232)
C2 p _{i2}	30	0,0557	0,0032	0,0006	(0,0545; 0,0569)
C3 p _{i2}	30	0,0464	0,0030	0,0006	(0,0453; 0,0475)
C4 p _{i2}	30	0,0318	0,0037	0,0007	(0,0304; 0,0332)
C2 p _{i2}	30	0,0515	0,0034	0,0006	(0,0502; 0,0528)
C3 p _{i2}	30	0,0409	0,0034	0,0006	(0,0397; 0,0422)
C4 p _{i2}	30	0,0287	0,0327	0,0060	(0,0164; 0,0409)

p_i: kesişme bölgesinde iplik açıklığı, p_f: atlama bölgesinde iplik açıklığı



Şekil 4.19 Kesişme (p_i) ve atlama (p_f) bölgesi iplik açıklıklarının örgü tipi ve sıklık ile ilişkileri

İplik açıklıkları ile ilgili test sonuçları atlama ve kesişme bölgelerinde iplikler arası mesafelerin aynı kumaş içinde farklı olduğunu ortaya çıkartmıştır. Farklı kumaş tiplerinde iplik açıklıkları arasındaki fark istatistiksel olarak incelendiğinde farklı örgü tiplerinde kesişme bölgesi için çözgü yönünde fark istatistiksel açıdan önemli değilken, atkı yönünde fark genel olarak önemlidir. Atlama bölgesi iplik açıklıkları arasındaki fark 2/1 dimi ve 3/1 dimi kumaşlar için incelendiğinde çözgü yönünde fark istatistiksel olarak önemli değildir. Atkı yönünde ise 18 cm^{-1} ve 22 cm^{-1} sıklılarda iplik açıklıkları arasındaki fark örgü tipi açısından önemliyken daha yüksek atkı sıklığı değerinde (26 cm^{-1}) örgü tipleri arasındaki fark önemli bulunmamıştır (Şekil 4.19, Ek 3.17). Tablo 4.14’de ölçülen ortalama atlama bölgesi iplik açıklığı (p_f), kesişme bölgesi iplik açıklığı (p_i) sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 4.14 Kumaş enine kesitinden ölçülen iplik açıklıkları

Kumaş Kodu	Ölçülen iplik açıklıkları			
	Çözü		Atkı	
	P ₁₁	P ₁₂	P ₂₁	P ₂₂
A1	0,027	--	0,070	--
A2	0,029	--	0,054	--
A3	0,028	--	0,045	--
B2	0,029	0,023	0,048	0,041
B3	0,028	0,021	0,038	0,032
B4	0,029	0,022	0,030	0,022
C2	0,031	0,023	0,060	0,050
C3	0,031	0,022	0,043	0,045
C4	0,031	0,023	0,039	0,028

p₁: kesişme bölgesinde iplik açıklığı, p₂: atlama bölgesinde iplik açıklığı

Model çalışmalarında sabit olarak tanımlanan iplik boyutları ve iplik açıklıkları parametrelerinin gerçekte olan değişimlerinin kumaş görüntüleri üzerinde yapılan ölçümlerle tanımlanması model sonucunda karşılaşılabilecek hata kaynaklarının nedenlerinin önceden tahminlenmesi açısından oldukça önemlidir. Ölçüm sonuçları, oluşabilecek hata sınırları ve derecelerinin öngörülmesi hakkında yeterli bilgi sağlamıştır.

4.2 B-spline eğrisi sonuçları

Örgü birimlerinin 3-D geometrik modellerinin elde edilmesi amacıyla B-spline eğri oluşturma yönteminden yararlanılarak kumaş içinde yer alan iplik merkez ekseninin izlediği yol kumaş parametrelerine bağlı olarak tanımlanmıştır. Geometrik model çalışmasının başlangıcında lineer olarak modellenen iplik merkez ekseninin hareketi B-spline yöntemi kullanılarak düzgün, sürekli bir eğri olarak elde edilmiştir. Çalışmada iplik merkezinin izlediği yol doğrusal olarak modellenirken kullanılan program girdileri deneysel olarak kalınlık ölçer ile ölçülen kumaş kalınlığı, çözgü ve atkı ipliklerinin numaraları, sıklıklar ve dimi örgüler için çözgü ve atkı yönlerindeki eğrilik açılarıdır. Model sonucu elde edilen B-spline eğrisi kumaş içinde yer alan iplik geometrisini tanımlar. Elde edilen eğrinin doğruluğunun test edilmesi amacıyla

eğrinin toplam uzunluğu kullanılarak hesaplanan kıvrım faktörü ve kumaşın birim ağırlığı (g/m^2) sonuçları deneysel olarak ölçülen birim kumaş ağırlığı ve çözgü ve atkının kıvrım faktörü verileri ile karşılaştırılmıştır. Tablo 4.15'te model çalışması sonucunda her kumaş tipi için elde edilen kıvrım faktörleri ve birim kumaş ağırlığı sonuçları deneysel olarak ölçülen test sonuçları ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.15 B-spline eğrisi ile modellenen 3-D geometrik model çıktıları ile deneysel sonuçlar

Kumaş Kodu	Birim kumaş ağırlığı			Kıvrım oranı			
	Ölçülen $w_m (\text{g/m}^2)$	Hesaplanan $w_c (\text{g/m}^2)$	Teorik (B-spline) $w_t (\text{g/m}^2)$	Ölçülen k_{m1}	k_{m2}	Teorik k_{t1}	k_{t2}
A1	148	156	156	1,053	1,059	1,046	1,072
A2	163	170	172	1,057	1,076	1,077	1,073
A3	175	185	189	1,070	1,091	1,108	1,089
B2	158	167	169	1,036	1,067	1,037	1,098
B3	171	180	183	1,034	1,075	1,050	1,098
B4	186	199	198	1,076	1,099	1,066	1,096
C2	161	165	166	1,027	1,062	1,021	1,083
C3	177	179	180	1,022	1,080	1,028	1,088
C4	190	195	194	1,040	1,098	1,039	1,091

B-spline eğrisinin toplam uzunluğundan hesaplanan çözgü ve atkı yönlerindeki teorik kıvrım oranı verilerinin deneysel ölçüm sonuçları ile ilişkisi istatistiksel olarak incelendiğinde; çözgü yönü için korelasyon katsayısı 0,828; atkı yönü için korelasyon katsayısı 0,447 bulunmuştur. Çözgü ve atkı yönleri için teorik ve deneysel veri sonuçları arasındaki fark sırasıyla %2 ve %3 sınırları içinde bulunmuştur.

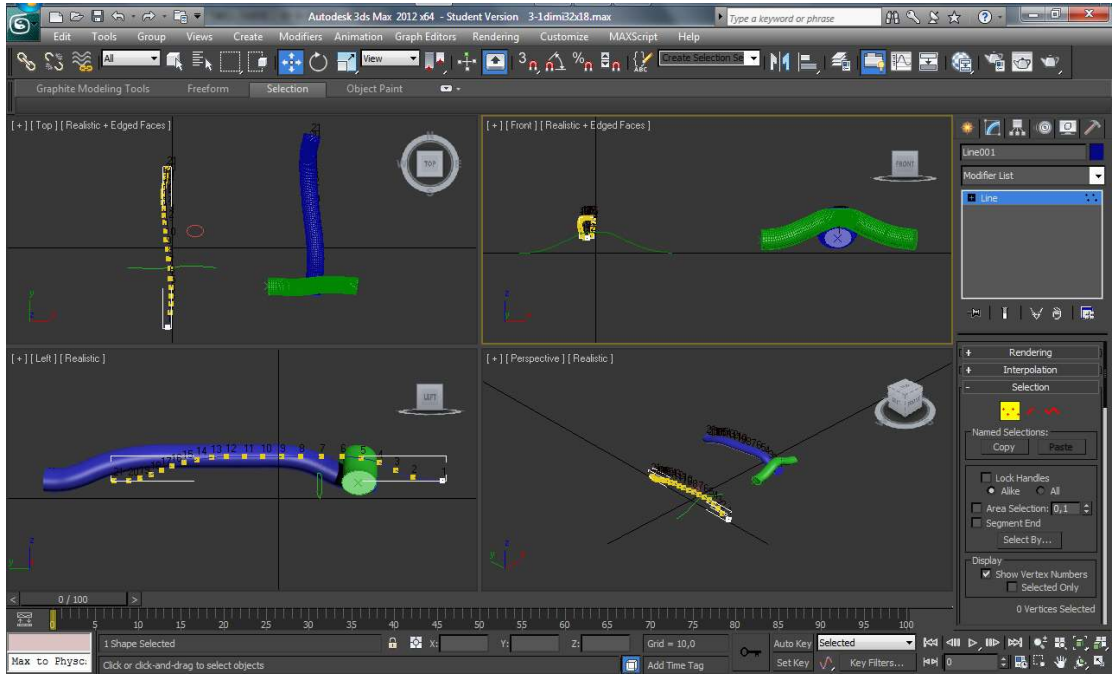
Ölçülen ve analiz yoluyla elde edilen verilerden hesaplanan kumaşın birim ağırlığı arasındaki fark incelendiğinde aralarında %7 fark olduğu gözlenmiş ve korelasyon katsayısı 0,972 olarak hesaplanmıştır. Model sonucu B-spline eğrisi verilerinden elde edilen kumaşın birim ağırlığı (w_t) ve ölçülen kumaşın birim ağırlığı (w_m) arasındaki fark %7; korelasyon katsayısı ise 0,962'dir. Buna karşın analiz sonucu hesaplanan birim kumaş ağırlığı (w_c) ile B-spline eğrisi verilerinden hesaplanan teorik birim kumaş ağırlığı (w_t) arasındaki korelasyon katsayısı 0,993'tür ve aralarındaki fark %2 sınırları içinde bulunmuştur.

Deneysel olarak belirlenen kıvrım oranları, içinde ölçüm hatalarını barındırmaktadır. Ayrıca, modelde kumaş kalınlığı verisi sıklık ve örgü tipindeki değişimden etkilendiğinden kalınlık deneysel veriler kullanılarak tanımlanmıştır. Kalınlık ölçerinden elde edilen kalınlık verileri de enine kesit görüntülerinden elde edilen kalınlık sonuçlarından büyük çıkmıştır. Modelde kalınlık ölçerinden elde edilen veriler kullanıldığından buna bağlı olarak özellikle atkı kıvrım oranlarının deneysel verilerden fazla hesaplandığı düşünülmektedir. Gerçek kumaşlarda yapısal parametreler kumaş boyunca değişim gösterdiğinden daha homojen bir yapıya dayanarak yapılan modellerin gerçek kumaşlardan bir takım sapmalar göstermesi doğaldır. Ancak çalışmada kullanılan kontrol parametreleri açısından deneysel verilere oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Lineer iplik modeli ve B-spline yöntemi kullanılarak elde edilen kumaşın 3-D geometrik modelinden elde edilen veriler kumaşta iplikler arası gözenek parametrelerinin hesaplanmasında kullanılmış ve sonuçların geçirgenlik özellikleri ile ilişkisi incelenmiştir.

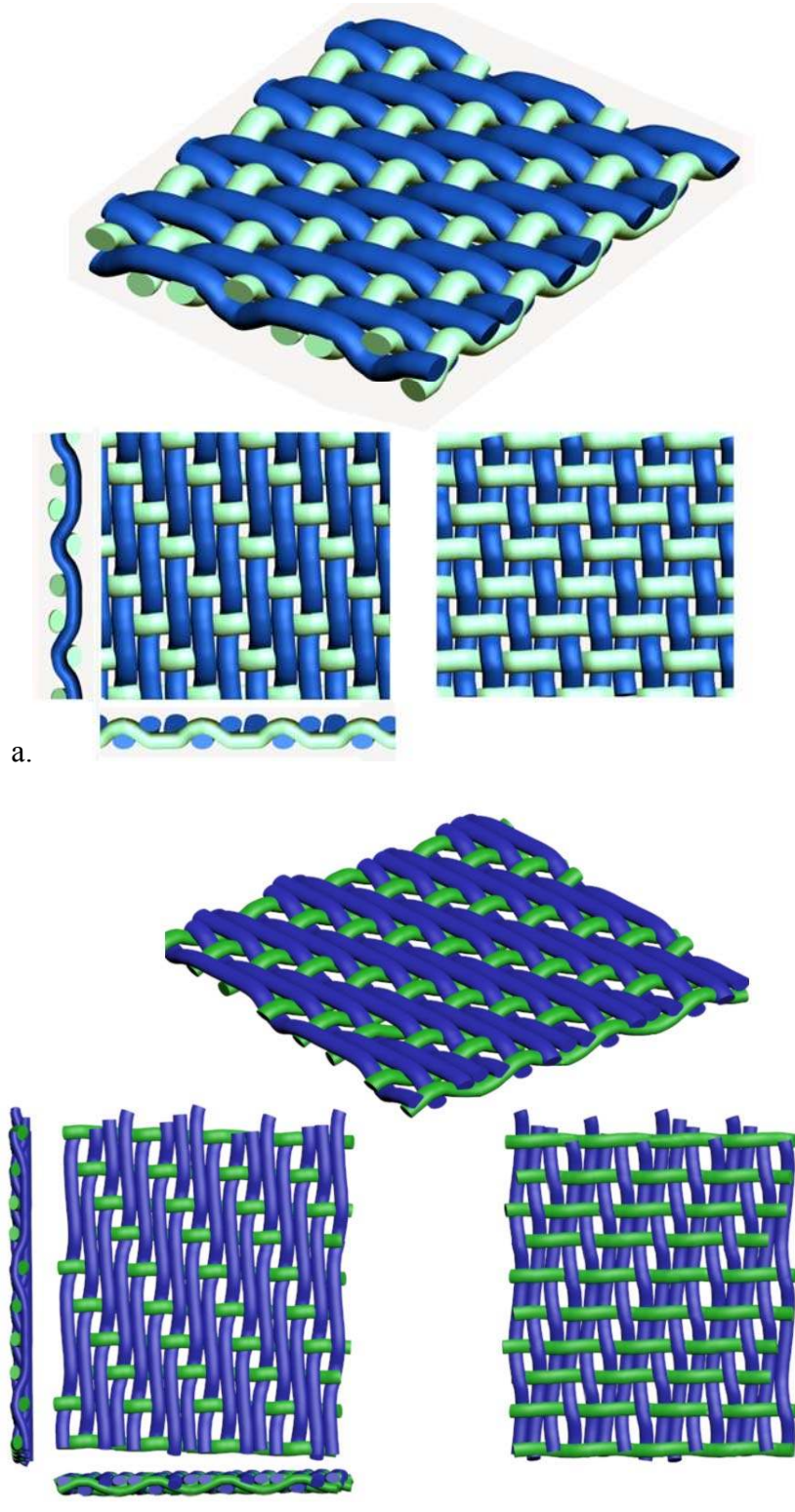
4.2.1 3-D kumaş simülasyonlarının elde edilmesi

Model çalışması sonucu elde edilen B-spline eğrileri verileri kullanılarak Autodesk® 3ds Max® 2011 öğrenci sürümü programında 3-D kumaş simülasyonları elde edilmiştir. Bu amaçla öncelikle Autodesk® 3ds Max® programında her bir kumaş için çözgü ve atkı ipliklerinin iplik merkez eksen eğrisini oluşturan B-spline eğrisi verileri kullanılarak ipliğin kumaş içinde izlediği yol programın ara yüz ekranında çizilmiştir (Şekil 4.20). Daha sonra 3-D iplik geometrisini tanımlamak amacıyla elips olarak kabul edilen iplik enine kesit eğrisi iplik boyutlarına bağlı olarak oluşturularak elde edilen iplik merkez eğrisine giydirilmiştir. Son olarak, 3-D geometrileri elde edilen atkı ve çözgü iplikleri örgü birimini oluşturacak şekilde bir araya getirilerek 3-D kumaş simülasyonları oluşturulmuştur. Şekil 4.21’de elde edilen kumaş simülasyonlarına örnekler verilmiştir.



Şekil 4.20 Çözüğü ve atkı iplilerinin merkez eksen eğrilerinin B-spline verileri ile elde edilmesi ve çap giydirilmesi

B-spline eğrileri kullanılarak elde edilen kumaş simülasyonları modelin doğruluğunu destekler niteliktedir. Özellikle dimi örgülü kumaş yapılarında eğiklik etkisi göz önüne alınarak gerçekleştirilen model çalışması sonuçları, 3-D kumaş simülasyonları oluşturulurken ipliklerin hareket edeceği yeterli açıklıkları sağladığından sık kumaş yapılarının simülasyonlarında bile ipliklerin birbiriyle kesişmesi problemini ortadan kaldırmıştır. Çünkü eğiklik etkisi düşünülmeden oluşturulan seyrek yapılı dimi kumaş simülasyonlarında ipliklerin hareket edeceği yeterli boş alan varken, sık yapılı kumaşların simülasyonlarında iplikler iç içe girmektedir. Sonuç olarak, geometrik modelden elde edilen parametrelerle oluşturulan kumaş simülasyonları çözgü ve atkı iplikleri birbirini kesmeden oluşturulmuş ve düzgün kumaş görüntüleri elde edilmiştir.



Şekil 4.21 Kumaş simülasyonları: a. 2/1 dimi kumaş ($36\text{-}26\text{ cm}^{-1}$ sıklık), b. 3/1 dimi kumaş ($36\text{-}18\text{ cm}^{-1}$ sıklık)

4.3 Geçirgenlik test sonuçları ve modellerden elde edilen gözenek özellikleri

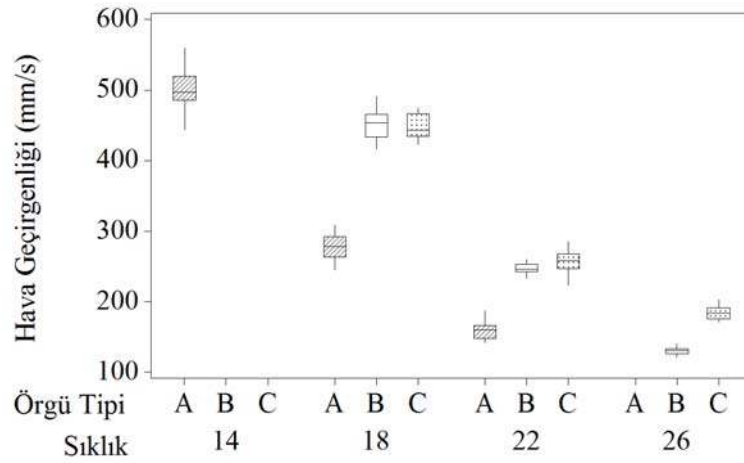
Çalışmada kumaşın yapısal ve geometrik özellikleri ile geçirgenlik performansı arasındaki ilişkiyi değerlendirmek amacıyla öncelikle hava geçirgenliği ve dikey emme deneyi test sonuçlarının yapısal faktörlerle ilişkisi istatistiksel olarak incelenmiştir. Daha sonra farklı yöntemlere göre tanımlanmış iplikler arası gözenek özelliklerinin test sonuçları ve kumaşın yapısal parametreleri ile ilişkisi tartışılmıştır. Ayrıca farklı yöntemlere göre hesaplanan iplik içi gözenek özellikleri de özetlenerek yöntemlerin sonuçları tartışılmıştır.

4.3.1 Hava geçirgenliği test sonuçlarının kumaşın yapısal özellikleri ile ilişkisi

Farklı atkı sıklıklarının kumaşın hava geçirgenliği performansına etkisi incelendiğinde tüm örgü tiplerinde atkı sıklığındaki artışın Tablo 4.16’da verilen kumaşın hava geçirgenliği test sonuçlarında azalmaya neden olduğu gözlenmiştir. Hava geçirgenliği ve sıklık arasındaki korelasyon katsayısı -0,886 bulunmuştur. Hava geçirgenliği sonuçlarının sıklık ile ilişkisi incelendiğinde, tüm örgü tiplerinde atkı sıklığı ve hava geçirgenliği arasındaki fark %95 güven seviyesinde önemli bulunmuştur (Şekil 4.22). Aynı sıklıklarda, bezayağı kumaşın hava geçirgenliği 2/1 dimi ve 3/1 dimi kumaşlardan daha düşüktür. Bezayağı ve dimi kumaşların hava geçirgenliği arasındaki fark %95 güven seviyesinde önemlidir. Şekil 4. 22’de görüldüğü gibi, 2/1 dimi ve 3/1 dimi kumaşların hava geçirgenlikleri arasındaki fark 22 cm^{-1} ve 26 cm^{-1} atkı sıklığındaki kumaşlar için önemli bulunmuştur.

Tablo 4.16 Kumaşların hava geçirgenliği test sonuçları

Atkı sıklığı (cm^{-1})	Hava geçirgenliği (mm/s)					
	Bezayağı	2/1 Dimi		3/1 Dimi		
14	A1	497	-	-	-	-
18	A2	276	B2	450	C2	447
22	A3	160	B3	247	C3	257
26	-	-	B4	130	C4	184



Şekil 4.22 Kumaşların hava geçirgenliği ve atkı sıklığı arasındaki ilişki

4.3.2 Dikey emme testi sonuçlarının kumaşın yapısal özellikleri ile ilişkisi

Farklı örgü tipi ve sıklıklara sahip kumaşların çözgü ve atkı yönlerinde gerçekleştirilen dikey emme testi sonuçlarının ortalamaları sırasıyla Tablo 4.17 ve Tablo 4.18’de verilmiştir. Test kumaşlarının çözgü ve atkı yönlerinde sıvının kapiller emme yüksekliği arasındaki fark incelendiğinde, tüm kumaşlarda yükselmenin çözgü yönünde daha fazla olduğu; çözgü ve atkı yükselme miktarları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur. Çözgü yönünde sıklık daha fazla olduğundan bu yönde sıvının akışı kapiller basıncın etkisiyle daha fazladır. Aynı örgü tipine sahip kumaşlarda atkı sıklığındaki artışın kumaşın emme davranışına etkisi incelendiğinde bezayağı ve 2/1 dimi kumaşlarda çözgü ve atkı yönlerindeki emme yüksekliğinin sıklık artışı ile azaldığı gözlenmiştir (Şekil 2.23). 300 saniye test süresi sonunda farklı sıklıklar arasındaki fark bezayağı kumaş için hem atkı hem çözgü yönünde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. 2/1 dimi kumaş için çözgü yönünde emme yükseklikleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemliyken, atkı yönünde B3 ve B4 kodlu kumaşlar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. 3/1 dimi kumaş için ise 300 saniye sonunda çözgü yönünde C2 kodlu kumaşın C3 ve C4 kodlu kumaşlarla arasındaki fark önemliyken; C3 ve C4 kodlu kumaşlar arasındaki fark önemli bulunmamıştır. Atkı sıklığındaki artış çözgü yönünde emme yüksekliğinde azalmayla sonuçlanırken, atkı yönünde C3 kodlu kumaşta en fazla ortalama yükselme gözlenmiştir. Atkı yönünde C2 ve C3 kodlu

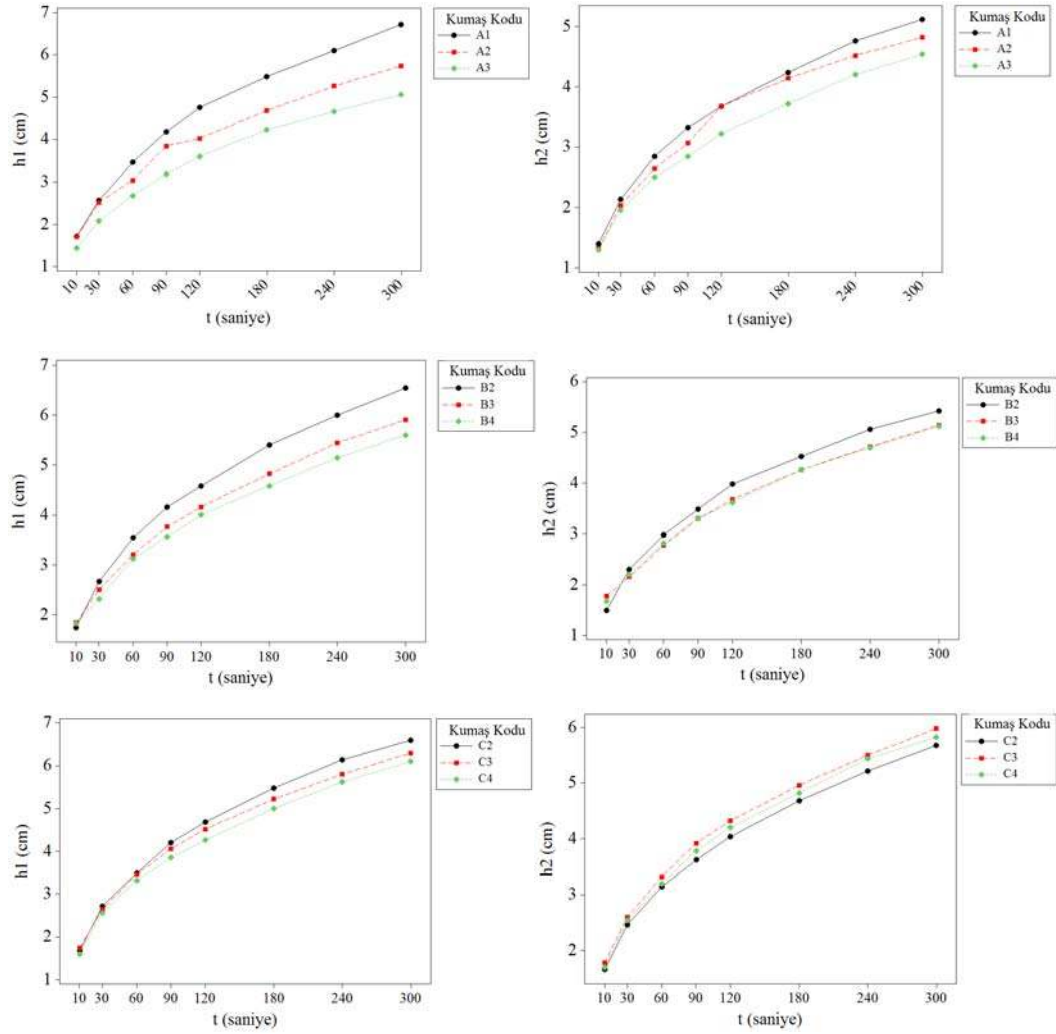
kumaşlar arasındaki fark istatistiksel olarak önemliyken, C3 ve C4 arasındaki fark önemli bulunmamıştır (Ek 3.19).

Tablo 4.17 Çözümlü yönünde dikey emme testi sonuçları

Kumaş Kodu	h1 10 s	h1 30 s	h1 60 s	h1 90 s	h1 120 s	h1 180 s	h1 240 s	h1 300 s
A1	1,72	2,56	3,46	4,18	4,76	5,48	6,10	6,72
A2	1,7	2,54	3,04	3,84	4,02	4,68	5,26	5,74
A3	1,44	2,08	2,68	3,18	3,60	4,22	4,66	5,06
B2	1,74	2,66	3,54	4,16	4,58	5,40	6,00	6,54
B3	1,84	2,50	3,20	3,76	4,16	4,82	5,44	5,90
B4	1,82	2,32	3,12	3,56	4,00	4,58	5,14	5,60
C2	1,68	2,72	3,50	4,20	4,68	5,48	6,14	6,60
C3	1,74	2,68	3,46	4,06	4,52	5,22	5,80	6,30
C4	1,60	2,56	3,32	3,86	4,26	5,00	5,62	6,10

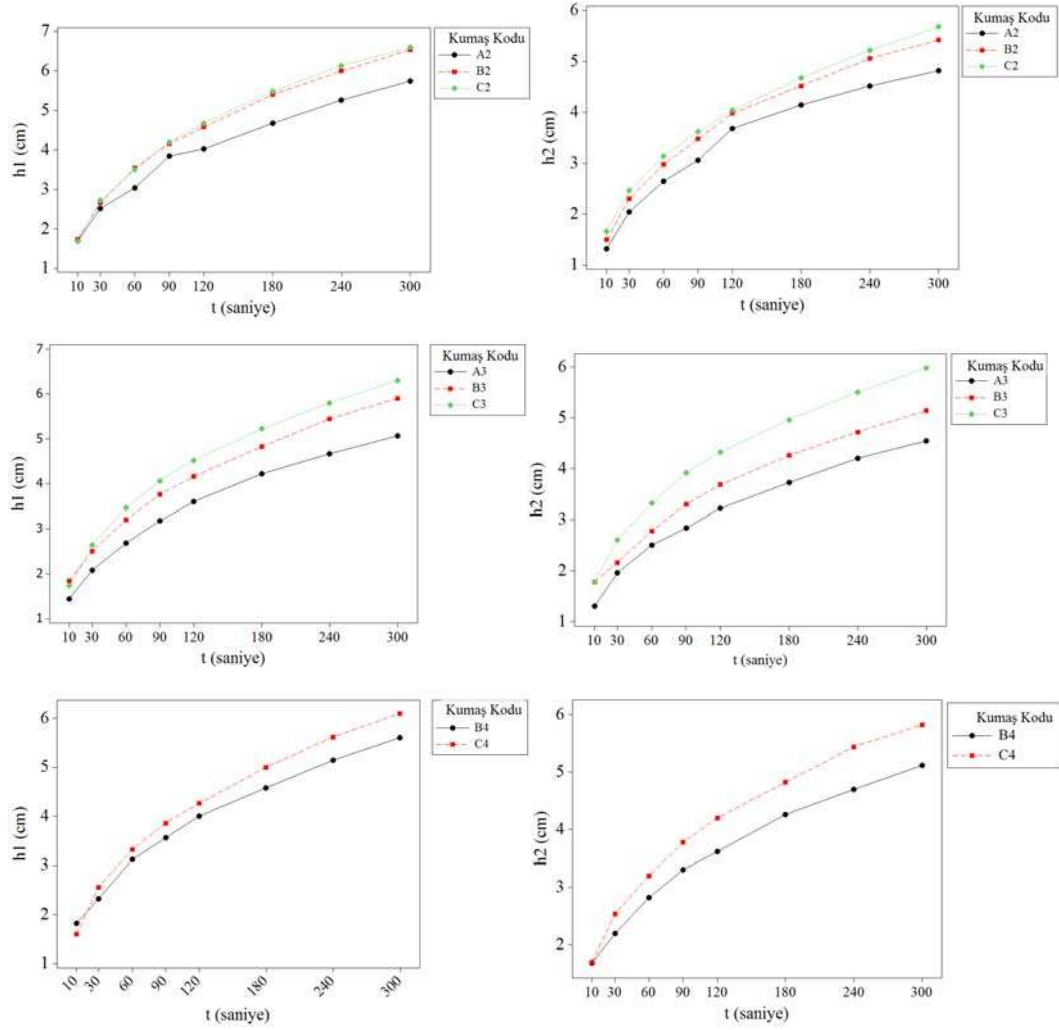
Tablo 4.18 Atkı yönünde dikey emme testi sonuçları

Kumaş Kodu	h2 10 s	h2 30 s	h2 60 s	h2 90 s	h2 120 s	h2 180 s	h2 240 s	h2 300 s
A1	1,40	2,14	2,84	3,32	3,68	4,24	4,76	5,12
A2	1,32	2,04	2,64	3,06	3,68	4,22	4,56	4,82
A3	1,30	1,96	2,50	2,84	3,22	3,72	4,20	4,54
B2	1,5	2,3	2,98	3,38	3,98	4,52	5,06	5,42
B3	1,78	2,16	2,78	3,3	3,68	4,26	4,72	5,14
B4	1,68	2,20	2,82	3,30	3,62	4,26	4,70	5,12
C2	1,66	2,46	3,14	3,62	4,04	4,68	5,22	5,68
C3	1,78	2,60	3,32	3,92	4,32	4,96	5,50	5,98
C4	1,70	2,54	3,20	3,78	4,20	4,82	5,44	5,82



Şekil 4.23 Farklı sıklıklara sahip kumaş tiplerinin çözgü ve atkı yönlerindeki emme davranışları

Aynı sıklığa sahip farklı örgü tiplerindeki kumaşların emme davranışları arasındaki fark istatistiksel olarak incelendiğinde 18 cm^{-1} sıklıkta çözgü yönünde bezayağı kumaş (A2) ile dimi kumaşlar arasındaki fark önemliyken, 2/1 dimi (B2) ve 3/1 dimi (C2) arasındaki fark önemli bulunmamıştır. Atkı yönünde ise tüm örgü tipleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir. 22 cm^{-1} sıklıkta çözgü ve atkı yönlerinde tüm örgü tipleri arasındaki fark önemlidir. 26 cm^{-1} sıklıkta ise çözgü ve atkı yönlerinde 3/1 dimi (C4) ve 2/1 dimi (B4) arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Ek 3.20). Tüm sıklıklarda örgü tipleri açısından ortalama emme yüksekliği incelendiğinde en fazla emme yüksekliğinin uzun atlamalı 3/1 dimi kumaşta gerçekleştiği gözlenmektedir. En az emme yüksekliği ise bezayağı kumaşta gerçekleşmiştir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24 Farklı örgü tiplerine sahip kumaşların çözgü ve atkı yönlerindeki emme davranışları

Kumaşların hava geçirgenlikleri ile 300 saniye sonunda deneysel olarak belirlenen çözgü yönündeki kapiller emme yüksekliği arasındaki ilişki incelendiğinde korelasyon katsayısı 0,843 bulunmuştur ve aradaki ilişki %99 güven seviyesi için önemlidir. Atkı yönünde ise korelasyon katsayısı 0,204 bulunmuştur.

4.3.3 İplikler arası gözenek özellikleri

Kumaşın iplikler arası gözenek özelliklerini ve buna bağlı olarak oluşan geçirgenlik özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen model çalışmalarında iplikler öncelikle geçirimsiz yapılar olarak kabul edilerek 2-D yüzeysel ve enine kesit birim gözenek modelleri, 3-D birim gözenek modeli, 3-D birim örgü modeli tanımlanmıştır. Daha sonra bu modellerden gözenek boyutu, gözenek boyut dağılımı

ve gözeneklilik parametreleri elde edilmiştir. Teorik modellerle gözenek özellikleri hesaplanırken dairesel ve eliptik iplik çapı yaklaşımlarına göre veriler elde edilmiş; ayrıca her iki iplik çapı yaklaşımı için de hem teorik iplik çapı hem de deneysel iplik çapı verileri kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Teorik modellere ek olarak gözeneklilik parametreleri ayrıca görüntü analizi yöntemi kullanılarak da tanımlanmış ve farklı yöntemlere göre elde edilen gözenek özelliklerinin kumaş özellikleri ve geçirgenlik performansı ile ilişkileri istatistiksel olarak incelenmiştir.

4.3.3.1 Teorik modellerden ve görüntü analizi yönteminden elde edilen gözeneklilik sonuçları

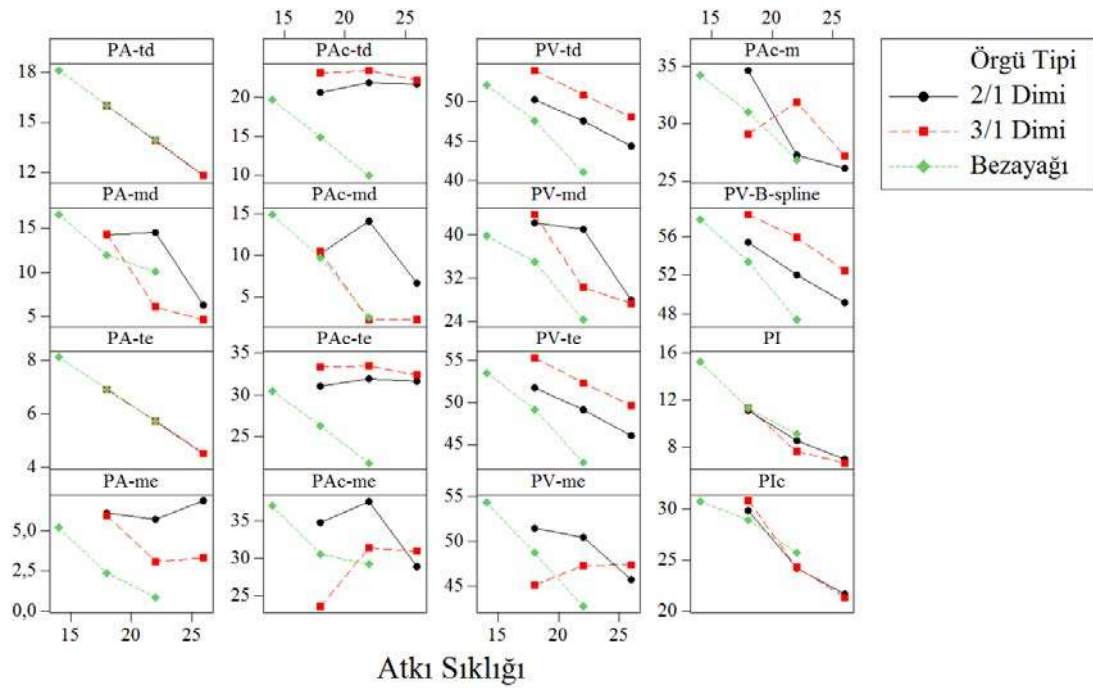
Toplam boş alanın toplam alana veya toplam boş hacmin toplam hacme oranı olarak tanımlanan gözeneklilik parametresi malzemelerin geçirgenlik özelliklerinin karşılaştırılmasında kullanılan önemli bir özelliktir. Kumaşın gözenekliliği karmaşık olan gözenek yapısı ile geçirgenlik özelliğini tek başına tahminlemek için yetersiz olsa da malzeme hakkında genel bir bilgi edinmemizi sağlar. Çalışmada 2-D düzlemsel ve enine kesit birim hücre geometrik modelleri, 3-D birim hücre geometrik modeli, 3-D örgü birimi modeli ve görüntü analizi yönteminden elde edilen gözeneklilik parametresi sonuçları Tablo 4.19’da özetlenmiştir. Model çalışmalarında hem eliptik hem dairesel iplik çapı yaklaşımlarına göre hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak elde edilen dairesel ve eliptik iplik çapları, ayrıca iplik açıklığı verileri olarak Adobe Photoshop® CS3 ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Tablo 4.19’da t alt indisi teorik iplik çapı ve iplik açıklıklarından hesaplanan verileri; m alt indisi ölçümler sonucu elde edilen deneysel parametrelerden hesaplanan verileri; d alt indisi dairesel enine kesitli iplik yaklaşımını, e alt indisi ise elips kesitli iplik yaklaşımını ifade etmektedir. PA, PAc, PV sırasıyla 2-D düzlemsel, 2-D enine kesit ve 3-D birim gözenek hücre modellerin her bir yaklaşıma göre hesaplanmış alansal ve hacimsel gözeneklilik sonuçlarını ifade etmek üzere, $PV_{B-spline}$ örgü birimi modelinden hesaplanan gözeneklilik sonucunu ve PI ile PIc ise sırasıyla düzlemsel ve enine kesit görüntülerinden görüntü analizi yöntemi ile elde edilen iplikler arası gözeneklilik sonuçlarını ifade etmektedir.

Tablo 4.19 Farklı yöntemlere göre teorik ve deneysel parametrelere göre hesaplanan gözeneklilik sonuçları

Kumaş Kodu	Dairesel çap yaklaşımı						Eliptik çap yaklaşımı								B-spline	Görüntü analizi	
	2-D birim hücre modeli		2-D enine kesit birim hücre modeli		3-D Birim Hücre modeli		2-D birim hücre modelleri		2-D enine kesit birim hücre modeli			3-D Birim Hücre modeli					
	PA _{td}	PA _{md}	PAC _{td}	PAC _{md}	PV _{td}	PV _{md}	PA _{te}	PA _{me}	PAC _{te}	PAC _{me}	PAC _m	PV _{te}	PV _{me}	PV _{B-spline}		PI (%)	PIc (%)
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)			
A1	18,08	16,51	19,61	14,87	52,05	39,83	8,11	5,18	30,49	37,1	34,16	53,54	54,39	57,75	15,28	30,72	
A2	15,97	11,92	14,82	9,7	47,5	35,04	6,91	2,36	26,26	30,57	30,97	49,13	48,73	53,38	11,28	28,93	
A3	13,86	10,03	9,83	2,45	40,93	24,12	5,71	0,85	21,76	29,18	26,78	42,76	42,72	47,33	9,09	25,7	
B2	15,97	14,23	20,56	10,1	50,18	42,3	6,91	6,09	31,07	34,87	34,58	51,73	51,47	55,39	11,11	29,85	
B3	13,86	14,49	21,83	14,1	47,48	41,05	5,71	5,73	31,93	37,68	27,16	49,12	50,46	51,97	8,51	24,21	
B4	11,76	6,31	21,66	6,6	44,3	27,8	4,51	6,86	31,66	28,89	26,06	46,04	45,73	49,09	6,89	21,63	
C2	15,97	14,3	23,05	10,44	53,92	43,87	6,91	5,96	33,35	23,49	29,07	55,35	45,13	58,24	11,29	30,79	
C3	13,86	6,05	23,42	2,16	50,79	30,2	5,71	3,08	33,47	31,39	31,81	52,32	47,33	55,86	7,58	24,29	
C4	11,76	4,59	22,17	2,22	47,99	27,23	4,51	3,31	32,4	30,93	27,10	49,61	47,38	52,37	6,59	21,3	

PA: Alansal gözeneklilik, PV: Hacimsel gözeneklilik; PAC: Enine kesit alansal gözeneklilik; PI: Görüntü analizi gözeneklilik ; t , m, d ve e alt indisleri sırasıyla teorik, ölçülen, daireysel ve eliptik iplik çapı

Farklı atkı sıklıklarının gözenekliliğe etkisi incelendiğinde tüm örgü tiplerinde atkı sıklığındaki artışın teorik veriler kullanılarak hesaplanan 2-D düzlemsel birim gözenek hücre modelinin ve 3-D modellerin gözenekliliğinde (Şekil 4.25) azalmaya neden olduğu gözlenmiştir. 2-D enine kesit birim hücre modelinden elde edilen gözeneklilik verisinde (PAc) ise; bezayağı örgü tipinde atkı sıklığındaki artışla gözeneklilik azalırken, 2/1 dimi ve 3/1 dimi örgülerde doğrudan bir ilişki gözlenmemiştir. Bu durum, sıklıktaki değişimin enine kesit birim hücre alanında önemli bir diğer parametre olan kumaş kalınlığını da değiştirmesiyle ilgilidir. Deneysel veriler kullanılarak farklı modellere göre hesaplanan gözeneklilik sonuçları ise genelde sıklık artışına bağlı azalma gösterse de yapısal parametrelerin değişkenliğinden dolayı bu her zaman geçerli bir sonuç değildir. Şekil 4.25'te görüntü analizi gözeneklilik sonuçlarının da teorik model yaklaşımlarında olduğu gibi sıklık artışı ile azalma eğilimi gösterdiği gözlenmiştir.

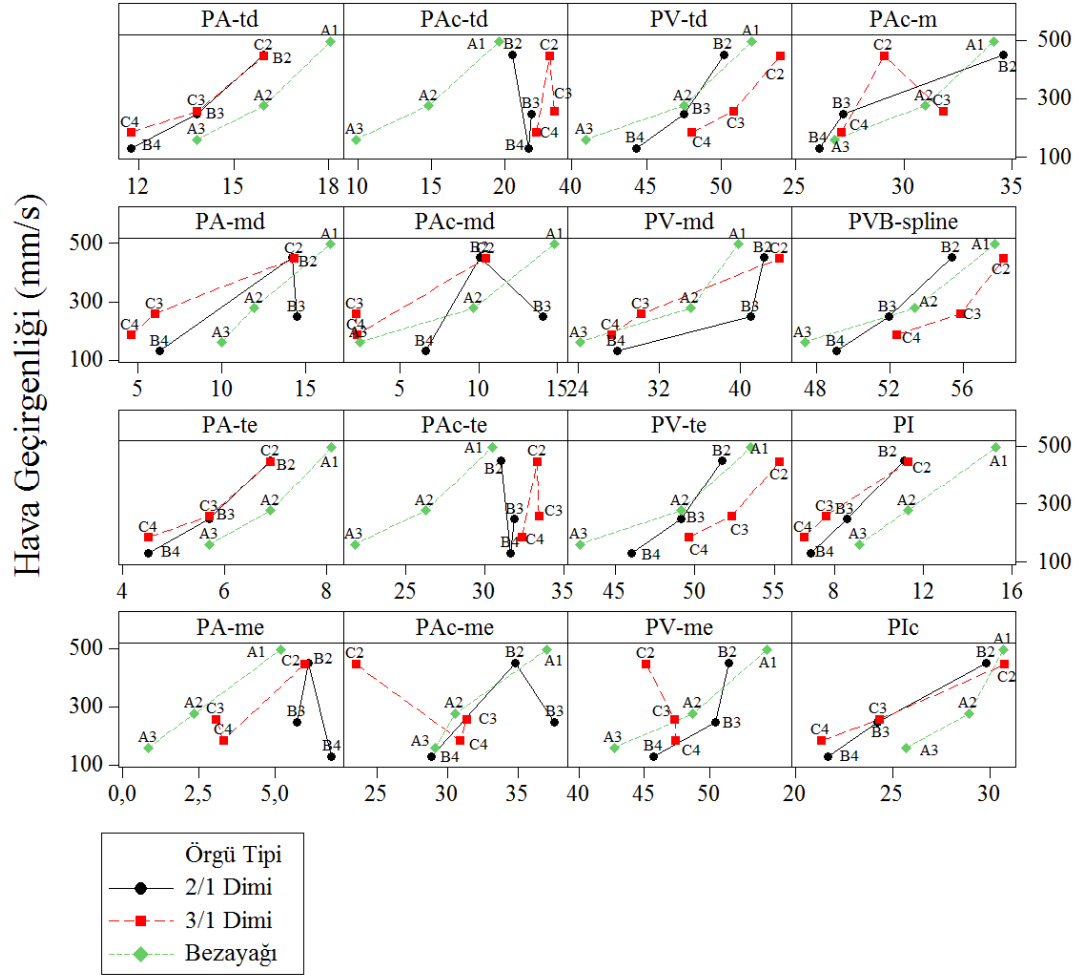


Şekil 4.25 Atkı sıklığı ve farklı yöntemlerle hesaplanan gözeneklilik sonuçları arasındaki ilişki (td: teorik dairesel çap, te: teorik eliptik çap, md: ölçülen dairesel çap, me: ölçülen eliptik çap)

2-D düzlemsel birim gözenek hücresi geometrik modelinde aynı sıklığa ve iplik parametrelerine sahip dört gözenek birim hücresi için de alansal gözeneklilik parametreleri hem teorik dairesel çap hem de teorik eliptik çap yaklaşımları için aynı

bulunmuştur ($PA_{Tip-1} = PA_{Tip-2} = PA_{Tip-3} = PA_{Tip-4}$). Dolayısı ile aynı yapısal parametrelere sahip 3 farklı örgü tipi bu dört tip gözenek birim hücresinin örgü içindeki dağılımlarından oluştuğundan teorik alansal gözeneklilikleri aynıdır ($PA_{t-Bezayağı} = PA_{t-2/1\ Dimi} = PA_{t-3/1\ Dimi}$). Fakat hava geçirgenliği ve dikey emme testi sonuçları değerlendirildiğinde, aynı yapısal parametrelere sahip farklı örgü tiplerinin test sonuçlarının farklı olduğu gözlenmiştir. Bu durum 3-D kumaş geometrisi ile 3-D akış mekanizması arasındaki ilişkiyle açıklanabilir. Gözenek şeklini belirleyen iplik hareketi hem sürtünme özelliklerinden hem de birim gözenek hücresi içindeki toplam iplik hacminden dolayı kumaşın geçirgenlik özelliklerini etkilemektedir. Aynı kumaş parametrelerine sahip dört birim gözenek hücresinin hacimsel gözenekliliği (PV) hesaplandığında, en fazla sayıda kesişme hareketine sahip olduğundan Tip-1 gözenek hücresinin iplik hacminin en fazla olduğu ve bu nedenle de hacimsel gözenekliliğinin en az olduğu bulunmuştur. Diğer taraftan, hiçbir kesişim hareketi içermeyen Tip-4 birim gözenek hücresinde iplik hacmi en azdır ve dolayısıyla hacimsel gözenekliliği en fazladır. 3-D birim gözenek modeli yaklaşımında gözeneklilik açısından gözenekler arasındaki ilişki sırasıyla $Tip-1 < Tip-2 = Tip-3 < Tip-4$ olarak bulunmuştur. Çalışmada bezayağı kumaşların hava geçirgenliği test sonuçları dimi kumaşlardan daha az bulunmuştur. Aynı şekilde dikey emme testi sonuçlarında da aynı parametrelere sahip bezayağı kumaşta gerçekleşen sıvı akışı daha az olarak gözlenmiştir. Bunun nedeni örgü tipi içindeki gözenek tipi dağılımıdır. Örgü birimi içinde kesişme birimlerinden dolayı artan iplik miktarı hem hacimsel gözenekliliği (PV) azaltmakta hem de sürtünmeyi arttırmaktadır. Bunun tersine, uzun atlamalı dimi kumaşlar yapılarında en fazla gözenek hacmine sahip Tip-4 gözenek birim hücresini de içerdiğinden, bu kumaşlarda daha fazla geçirgenlik gözlenmektedir. Şekil 4.26'de hava geçirgenliği ve gözenek modellerinden elde edilen gözeneklilik sonuçları arasındaki ilişki gösterilmektedir. Tip-1, Tip-2 ve Tip-4 birim gözenek hücrelerinden oluşan 3/1 dimi kumaş bezayağı ve 2/1 dimi kumaşlarla karşılaştırıldığında teorik olarak maksimum hacimsel gözenekliliğe (PV_{td}) sahip olduğu bulunmuştur. 22 cm^{-1} ve 26 cm^{-1} atkı sıklıklarında C3 ve C4 kodlu 3/1 dimi kumaşların gözenekliliği ve hava geçirgenliği B3 ve B4 kodlu 2/1 dimi kumaşlardan daha fazladır. Ancak, 18 cm^{-1} atkı sıklığında 2/1 dimi ve 3/1 dimi kumaşların hava geçirgenlikleri arasındaki fark %95 güven seviyesinde önemli bulunmamıştır. Bu

durum kumaşın homojen olmayan gözenek yapısından dolayı PV ve hava geçirgenliği arasında doğrudan bir ilişkiyi desteklememektedir.



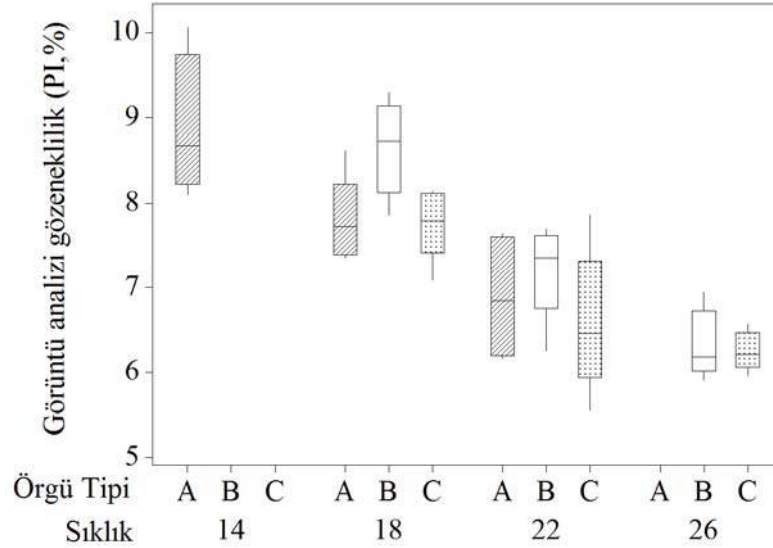
Şekil 4.26 Hava geçirgenliği ve gözeneklilik sonuçları arasındaki ilişki

Dairesel ve eliptik yaklaşımlar için kullanılan teorik ve deneysel verilerden hesaplanan sonuçlar arasındaki korelasyon katsayıları: PA_{td} ve PA_{md} için 0,85**;
 PA_{te} ve PA_{me} için 0,091; PV_{td} ve PV_{md} için 0,742*; PV_{te} ve PV_{me} için 0,535 bulunmuştur. (** aralarındaki ilişki istatistiksel olarak %99 güven seviyesinde önemli; * aralarındaki ilişki istatistiksel olarak %95 güven seviyesinde önemlidir).

Kumaşların yüzey görüntülerinden elde edilen görüntü analizi gözeneklilik sonucu (PI) ve yüzeysel birim gözenek hücre modelinden hem dairesel hem de eliptik çap yaklaşımlarına göre hesaplanan gözeneklilik sonucu (PA_{td} , PA_{te}) arasındaki korelasyon katsayısı 0,968 bulunmuştur ve aralarındaki ilişki %99 güven seviyesinde önemlidir. Tablo 4.19’da görüldüğü gibi, PI değerleri hesaplanan teorik PA değerlerinden daha düşüktür. Çünkü iplik yapısı monofilament kabul edilerek oluşturulan 2-D birim gözenek modeli, kumaşın iplik çapı, sıklık ve kumaş kalınlığı açılarından homojen olduğu varsayılarak modellenmiştir. Kumaş görüntüleri kumaşın üniform olmayan yapısını yansıttığından, homojen 2-D modelden kaynaklanan hatalar bu yöntem ile azalır. PI ve deneysel ölçümler sonucu belirleyen yapısal parametrelerden hesaplanan PA sonuçları değerlendirildiğinde, PI sonuçlarının yapısal parametrelerin %95 güven aralığına göre PA sınırlarında olduğu gözlenmiştir. Ancak, iplik çapı ve açıklıklarının Adobe® Photoshop® ile ölçüm yöntemi zaman alıcıdır, dikkat gerektirir ve ayrıca yeterince objektif değildir. Görüntü analizi yöntemi ise kumaşın 2-D gözenekliliğini tahminlerken otomatik, objektif ve hızlı bir yöntem olarak bulunmuştur.

Farklı örgü tiplerinin PI sonuçları karşılaştırıldığında tüm atkı sıklıklarında örgü tipi için farklılığın önemli olmadığı gözlenmiştir (Şekil 4.27). Bu sonuçlar, ne 2-D geometrik birim gözenek hücre modelinin ne de görüntü analizi yönteminin farklı örgü tipleri için gözeneklilik ve hava geçirgenliği arasındaki ilişkiyi tanımlama yeteneğine sahip olmadığı anlama gelmektedir. Her kumaş tipi için hava geçirgenliği test sonuçları ve PA_{td} , PV_{td} , PI, değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde korelasyon katsayısı sırasıyla, 0,887; 0,814 ve 0,849 bulunmuştur. Ancak hava geçirgenliği ve gözeneklilik sonuçları arasındaki korelasyon istatistiksel olarak %99 güven seviyesi için önemli olmasına rağmen, örgü tipleri arasındaki fark görüntü analizi ve geometrik 2-D birim gözenek hücresi yöntemleri ile açıklanamamaktadır. Bu nedenle, kumaş gözeneginin gözeneklilik, gözenek çapı, PSD gibi tüm yapısal özelliklerini yansıtan gerçekçi 3-D bir geometrik modelin tanımlanması çok önemlidir. Bu amaçla 3-D birim gözenek hücre modelinden farklı olarak ayrıca 3-D örgü birimi modeli oluşturulmuştur. Bezayağı, 2/1 dimi ve 3/1 dimi örgüler için B-

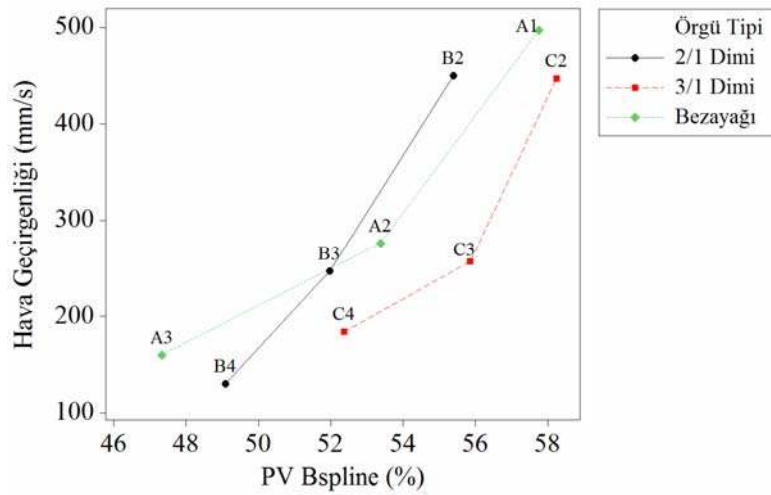
spline yönteminden yararlanarak oluşturulan birim örgü modellerinden elde edilen gözeneklilik parametresinin hava geçirgenliği ile ilişkisi ayrıca tartışılmıştır.



Şekil 4.27 Görüntü analizi yüzeysel gözeneklilik sonuçları (PI) ve hava geçirgenliği arasındaki ilişki

3-D kumaşın örgü birim modelinden hesaplanan hacimsel gözeneklilik sonuçları ile hava geçirgenliği test sonuçları arasındaki ilişki incelendiğinde aralarındaki korelasyon katsayısı 0,870 olarak bulunmuştur. Şekil 4.28'deki grafikte hacimsel gözeneklilik ve hava geçirgenliği arasındaki ilişki görülmektedir. Her örgü tipinde sıklık arttıkça gözeneklilik ve hava geçirgenliği azalmaktadır. Aynı atkı sıklığındaki örgü tipleri arasındaki ilişki incelendiğinde, sürekli kesişmelerden oluşan yapısı dolayısıyla örgü birimindeki iplik hacmi daha fazla olan bezayağı örgünün hava geçirgenliği ve hacimsel gözenekliliğinin diğer örgülerden daha az olduğu gözlenmiştir. Aynı sıklıktaki 2/1 dimi ve 3/1 dimi kumaşlar karşılaştırıldığında örgü biriminde daha uzun atlamalara sahip 3/1 dimi kumaşın hacimsel gözenekliliği daha fazladır. Bu kumaşların hava geçirgenlikleri arasındaki farkın 18 ve 22 cm^{-1} atkı sıklıklarında %95 güven aralığı için önemli değilken, 26 cm^{-1} sıklıkta aralarındaki fark önemli bulunduğu daha önceden belirtilmiştir (Şekil 4.22). Bu sonuçlar kullanılan örgü tipinin performans özelliğine etkisini vurgulamaktadır. Akış üç

boyutta gerçekleşen karmaşık bir mekanizmadır ve 3-D kumaş geometrisi geçirgenlik sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Kumaşın gözenek özellikleri ile ilgili toplam bir bilgi veren hacimsel gözeneklilik özelliği yanında kumaşın yapısal özellikleri ve kumaş geometrisine bağlı olarak değişen gözenek boyutu, gözenek boyut dağılımı ve gözenek şekli gibi özellikler de 3-D kumaş geometrisine bağlıdır ve tüm bu özellikler geçirgenlik sonucunu etkilemektedir. Modelde hesaplanan hacimsel gözeneklilik verisi sıklık, iplik numarası, örgü tipi gibi kumaş parametrelerine bağlı olarak modellenen iplik geometrisine dayandığından, kumaş ile geçirgenlik arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için önemli bir parametredir.



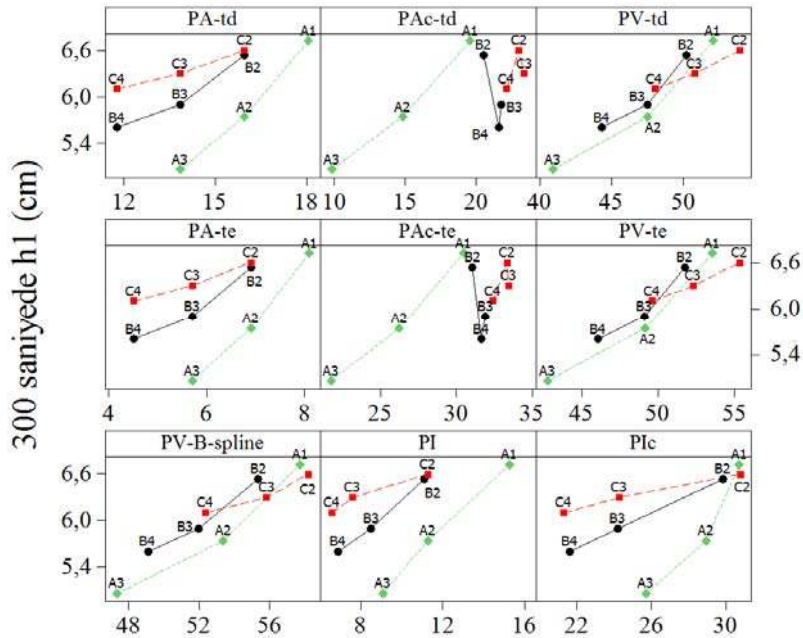
Şekil 4.28 Örgü birim modellerinden hesaplanan hacimsel gözeneklilik ve hava geçirgenliği arasındaki ilişki

Kumaşın enine kesit birim modelinden dairesel ve eliptik iplik çapı varsayımları ile deneysel ve teorik verilerden hesaplanan gözeneklilik ile hava geçirgenliği sonuçları arasındaki ilişki önemli bulunmamıştır. Bunun nedeninin özellikle 2/1 ve 3/1 dimi örgülerde örgü birimi boyunca iplik boyutunda ve açıklığında meydana gelen değişim olduğu düşünülmüştür. Bu hatayı gidermek amacıyla enine kesit birim hücrelerde kesişme ve atlama bölgeleri için deneysel analiz sonucu belirlenen ortalama iplik çapları ve iplik açıklıkları verileri kullanılarak her kesişme birim hücre tipi (Tip-i, Tip-f) için gözeneklilik hesaplanmış; daha sonra örgü içindeki gözenek birim hücresi dağılımı da dikkate alınarak örgü birimi için ortalama enine kesit birim

hücre gözenekliliği elde edilmiştir. Sonuç olarak bu şekilde elde edilen gözeneklilik verisi (PAC_m) ile hava geçirgenliği arasındaki korelasyon katsayısı 0,802 bulunmuştur ve aralarındaki ilişki %99 güven seviyesinde önemlidir. Elde edilen bu son değer deneysel verilere dayanmakta ve farklı bölgelerdeki değişimi dikkate almaktadır. Kumaşın enine kesit birim hücre görüntüleri üzerinden görüntü analizi yöntemiyle hesaplanan gözeneklilik verisi ile hava geçirgenliği arasındaki korelasyon katsayısı ise 0,883 bulunmuştur ve bu %99 güven derecesinde önemlidir. Görüntü analizi ve değişim göz önüne alınarak hesaplanan gözeneklilik verisi arasındaki korelasyon katsayısı ise 0,702 bulunmuştur ve %95 güven seviyesi için aralarındaki ilişki önemlidir. İki yaklaşım da gerçek kumaş görüntülerindeki değişimi yansıttığından sonuçlar güvenilirdir. Ancak hava geçirgenliği kumaş düzlemine dik yönde gerçekleşen akışı tanımladığından hava geçirgenliği test sonuçlarını değerlendirirken 2-D birim hücre modelinden ve 3-D modellerden elde edilen parametreleri kullanmak daha anlamlıdır. Kumaşın enine kesit modellerinden elde edilen veriler ise kumaş içinde düzlemsel yönde gerçekleşen akışta etkili olan gözenek özelliklerini etkilediğinden kapiller emme davranışını belirlemektedir.

Kumaşın enine kesit görüntüleri kullanılarak elde edilen gözeneklilik verilerinin sıklık ve atlama, kesişme bölgeleri aralarındaki farkının analiz edilmesi amacıyla görüntü analizi sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıntıları Ek 3.18'de verilen enine kesit birim hücre gözenekliliği ve sıklık arasındaki varyans analizi sonuçları incelendiğinde; genel olarak tüm örgülerde sıklıklar arttıkça gözenek birim hücrelerinin enine kesit gözeneklilik ortalaması azalmıştır. 2/1 dimi kumaşta genel olarak atlama birim hücrelerinde sıklık arttıkça gözenek birim hücrelerinin gözenekliliği azalmıştır. Kesişme birimlerinde ise çözgü yönünde tüm sıklıklarda fark önemliyken atkı yönünde önemli değildir ve sıklık arttıkça birim hücre gözeneklilik azalma eğilimindedir. 3/1 dimi örgüde atkı yönünde farklı sıklıklardaki atlama kesit gözenek hücrelerinin gözeneklilikleri arasındaki fark önemli bulunmuş; kesişme birim hücrelerinde ise atkı yönünde 18-22 ve 18-26 sıklıklar arasındaki fark önemliyken 22-26 sıklıklar arasındaki fark önemli bulunmamıştır.

Kumaşların dikey emme testleri ile analiz edilen düzlemsel yönde gerçekleşen akış davranışları ve gözeneklilik verileri arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak incelendiğinde; teorik dairesel çap için 3-D birim gözenek hücre modelinden ve örgü birim modelinden elde edilen hacimsel gözeneklilik verileri ile 300 saniye sonunda deneysel olarak belirlenen çözgü yönündeki kapiller emme yüksekliği arasındaki korelasyon katsayısı sırasıyla 0,960 ve 0,945 bulunmuştur ve aralarındaki ilişki 0,01 güven seviyesi için önemlidir. Atkı yönünde ise korelasyon katsayısı 0,668 bulunmuştur ve aradaki ilişki %95 güven seviyesi için önemlidir. Hacimsel gözenekliliği fazla olan kumaşın kapiller emme hareketi sırasında oluşan emme yüksekliği de buna bağlı olarak fazladır (Şekil 4.29). Nedeni, iplikler arası gözenek hacmi ne kadar fazlaysa bunun devam eden emme davranışı sırasında bir sonraki aşamaya aktarılacak daha fazla sıvıyı içinde barındırmasıdır. 2-D enine kesit birim hücre modelinden elde edilen gözeneklilikle çözgü yönünde gerçekleşen kapiller emme yüksekliği arasındaki korelasyon katsayısı 0,684; atkı yönünde ise 0,884 olarak bulunmuştur. Gözenekli bölgeleri dolduran sıvı, sıvının kademeli olarak ilerlemesi sırasında depo görevi gördüğünden hacimsel gözeneklilik ile emme miktarı arasındaki ilişki kuvvetlidir.



Şekil 4.29 Modellerden elde edilen gözeneklilik ile 300 saniye sonunda oluşan h1 emme yüksekliği arasındaki ilişki

Sonuç olarak hava geçirgenliği ve farklı yöntemlere göre elde edilen gözeneklilik parametresi arasındaki ilişki incelendiğinde teorik kumaş parametreleri ile hesaplanan 2-D ve 3-D geometrik model sonuçlarının deneysel ölçüm sonuçları ile hesaplanarlardan daha çok ilişki gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum iplik çapı ve iplik açıklığının kumaş içinde farklı bölgelerdeki değişiminin hesaplamalarda ortalama ölçüm değerleri kullanılarak yansıtılamamasından kaynaklanmaktadır. Kumaşın farklı bölgelerinde (atlama ve kesişme) yapılan ölçüler sonucu tanımlanan ortalama iplik çapı ve iplik açıklığı verileri 2-D enine kesit birim hücre modelinde kullanılmış ve buradan elde edilen gözeneklilik parametresi ile hava geçirgenliği sonucu arasındaki ilişki 0,802 korelasyon katsayısı ile %99 güven seviyesi için önemli bulunmuştur. Bu durum, atlama ve kesişme bölgelerinde yer alan iplik çapının ayrı olarak tanımlanmasının teorik modelde iyileşmeyle sonuçlandığını göstermektedir. Kumaşın yüzey ve enine kesit görüntülerinden elde edilen gözeneklilik sonuçlarının hava geçirgenliği ile ilişkisi sırasıyla 0,849 ve 0,883 korelasyon katsayıları ile %99 güven seviyesinde önemlidir. Ancak gerek 2-D geometrik model yaklaşımları gerekse 2-D yöneme dayanan görüntü analizi sonuçları hava geçirgenliği açısından kumaş tipleri arasındaki farklılığı ayırt edememektedir. Bu anlamda 3-D birim hücre modeline dayanan yaklaşım ile 3-D örgü birimi modellerinden elde edilen sonuçlar, örgü tipleri arasındaki farklılığı ortaya çıkarmak açısından 2-D modellerden daha geçerli sonuçlar vermektedir.

4.3.3.2 Teorik modellerden ve görüntü analizi yönteminden elde edilen gözenek boyutu sonuçları

Kumaşın geçirgenlik özelliklerinde etkili olan en önemli gözenek parametrelerinden biri de gözenek boyutudur. Çalışmada 2-D ve 3-D birim gözenek hücre modelleri, birim örgü modeli ve görüntü analizi yöntemine göre gözenek boyutu gözenek yarıçapı olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.20). Ayrıca gözenek boyut dağılımını tahminlemek amacıyla görüntü analizi yönteminin yanında, modellerde kullanılan iplik çapı ve iplik açıklığı parametrelerin %95 güven aralığı değerleri kullanılarak teorik hesaplamalar gerçekleştirilmiştir

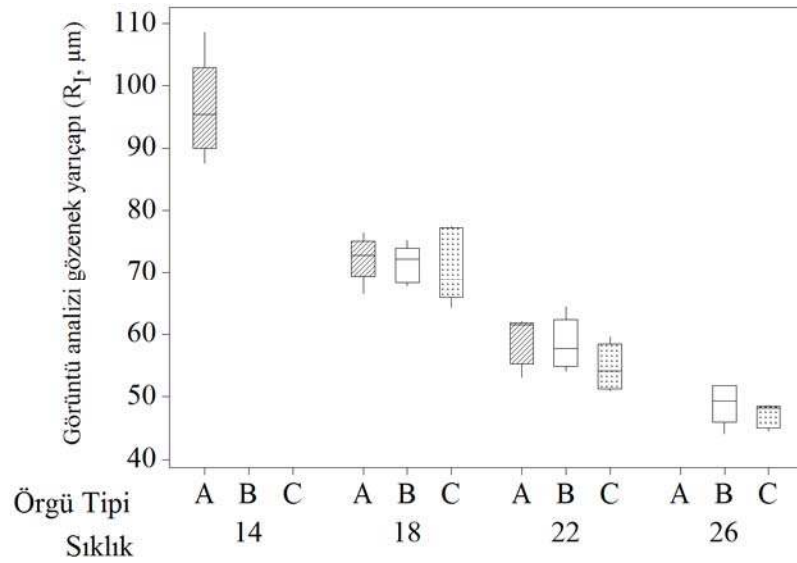
Tablo 4.20 Dairesel ve eliptik yaklaşımlara göre modellerde hesaplanan teorik ve deneysel ortalama gözenek yarıçapı (R) sonuçları ve görüntü analizi sonucu

Kumaş Kodu	Dairesel iplik çapı yaklaşımı				Eliptik iplik çapı yaklaşımı				B-spline Teorik	Görüntü analizi
	2-D ve 3-D birim hücre modelleri				2-D ve 3-D birim hücre modelleri					
	Teorik		Deneysel		Teorik		Deneysel			
	R _{2-Dtd} (μm)	R _{3-Dtd} (μm)	R _{2-Dmd} (μm)	R _{3-Dmd} (μm)	R _{2-Dte} (μm)	R _{3-Dte} (μm)	R _{2-Dme} (μm)	R _{3-Dme} (μm)		
A1	106,87	181,35	103,68	161,06	71,59	183,94	58,08	188,219	191,0275	96,28
A2	88,59	152,79	77,20	132,36	58,28	155,40	34,42	156,03	161,9709	72,39
A3	74,66	128,28	64,70	100,37	47,93	131,13	18,86	133,53	137,9561	59,18
B2	88,59	157,03	83,52	144,03	58,26	159,44	54,69	158,96	164,9922	71,37
B3	74,66	138,18	79,54	133,88	47,93	140,54	50,02	148,43	144,5603	58,45
B4	63,24	122,78	47,09	98,83	39,19	125,16	49,10	129,117	129,2391	48,93
C2	88,59	162,79	84,05	147,25	58,28	164,94	54,26	151,09	169,1836	71,05
C3	74,66	142,91	48,19	107,63	47,93	145,05	34,35	134,67	149,8729	54,70
C4	63,24	127,79	38,00	92,58	39,19	129,93	32,27	122,16	133,4869	48,19

R_{2-D}: 2-D birim gözenek hücre modelinde hesaplanan ortalama gözenek yarıçapı; R_{3-D}: 3-D birim gözenek hücre modelinde hesaplanan ortalama gözenek yarıçapı;

R_{B-spline}: Örgü birim modelinden hesaplanan ortalama gözenek yarıçapı; R_I: görüntü analizinden elde edilen ortalama gözenek yarıçapı t , m, d ve e alt indisleri sırasıyla teorik, ölçülen, dairesel ve eliptik iplik çapı

Görüntü analizi yönteminden kumaş yüzey görüntüleri kullanılarak elde edilen gözenek yarıçapı (R_1) ve atkı sıklığı arasındaki ilişki incelendiğinde, tüm örgü tiplerinde artan sıklıkla gözenek boyutunun azaldığı ve bunun %95 güven seviyesi için önemli olduğu bulunmuştur. Diğer taraftan, aynı sıklığa sahip farklı örgü tiplerinin gözenek yarıçapları arasındaki fark önemli değildir (Şekil 4.30). Tablo 4.21’de görüldüğü gibi görüntü analizi yöntemiyle bulunan ortalama gözenek boyutu (R_1) kumaş görüntüleri üzerinden ölçülerek belirlenen yapısal parametrelerin %95 güven aralığı verileriyle hesaplanan R_{2-Dmd} sonuçlarının sınırları içindedir. Görüntü analizinden elde edilen gözenek boyutu ve 2-D birim gözenek modelinden teorik olarak hesaplanan gözenek boyutu arasındaki ilişki incelendiğinde aralarındaki korelasyon katsayısı 0,987 bulunmuştur. Bu nedenle, görüntü analizi yöntemi ile kumaş görüntüleri üzerinden doğrudan gözenek boyutu ve boyut dağılımını belirlemenin hızlı, objektif ve istatistiksel olarak güvenilir bir yöntem olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.30 Farklı kumaşların görüntü analizi gözenek boyutu sonuçları

Hava geçirgenliği ve dairesel çap yaklaşımı ile 2-D ve 3-D birim gözenek hücre modellerinden hesaplanan iplikler arası ortalama gözenek boyutları (R_{2-D} , R_{3-D}) arasındaki korelasyon katsayısı sırasıyla 0,888 ve 0,951 bulunmuştur. Eliptik iplik çapı için bu veriler 0,888 ve 0,939 olarak hesaplanmıştır. Hava geçirgenliği ve B-

spline yöntemiyle modellenen örgü birim modelinden hesaplanan iplik boyutu arasındaki korelasyon katsayısı 0,938; görüntü analizi yöntemiyle hesaplanan gözenek boyutu (R_1) arasındaki korelasyon katsayısı 0,851 olarak bulunmuştur. 2-D ve 3-D birim gözenek hücre modellerinin teorik hesaplamalarında gözeneğin yapısal özellikleri (gözenek şekli, gözenek boyutu) kumaş yapısını basitleştirmek amacıyla homojen kabul edilmiştir. Ancak gerçek kumaşlarda kumaşın homojen olmayan yapısal parametrelerinden (iplik çapı, sıklık, kumaş kalınlığı, vs.) dolayı ve transfer sırasında gerçekleşen deformasyonlardan dolayı gözenek şekli ve boyutu kumaş boyunca değişim göstermektedir. Kumaşın gözenek özelliklerini teorik olarak hesaplarken bu özelliklerin belli bir aralıkta tanımlanması amacıyla iplik ve iplik açıklığı parametrelerinin ölçülmesi zaman alıcı, zahmetli bir işlemdir. Bu açıdan görüntü analizi yönteminin avantajı, gerçek kumaş görüntülerinin yapısal özelliklerini dijital verilere dönüştürerek ve bu verilerden istatistiksel sonuçlar elde ederek iplikler arası gözenek boyutu ve gözenek boyut dağılımı ile ilgili sonuçları kolay, hızlı ve objektif bir şekilde vermesidir.

Tablo 4.21 2-D birim hücre modeli ve görüntü analizinden elde edilen gözenek yarıçapı aralığı

Kumaş Kodu	2-D Birim gözenek hücre modeli	Görüntü analizi yöntemi
	R_{2-Dmd} (μm)	R_1 (μm)
	(%95 güven aralığı için)	(min-max)
A1	73,41-131,72	37,73-155,56
A2	46,71-103,05	21,13-121,86
A3	43,96-84,23	19,82-101,22
B2	55,02-107,84	21,58-120,56
B3	57,51-100,71	18,50-97,69
B4	17,81-74,40	16,64-91,23
C2	59,39-107,17	22,51-115,78
C3	00,00-76,78	17,13-97,93
C4	6,96-61,45	12,24-84,18

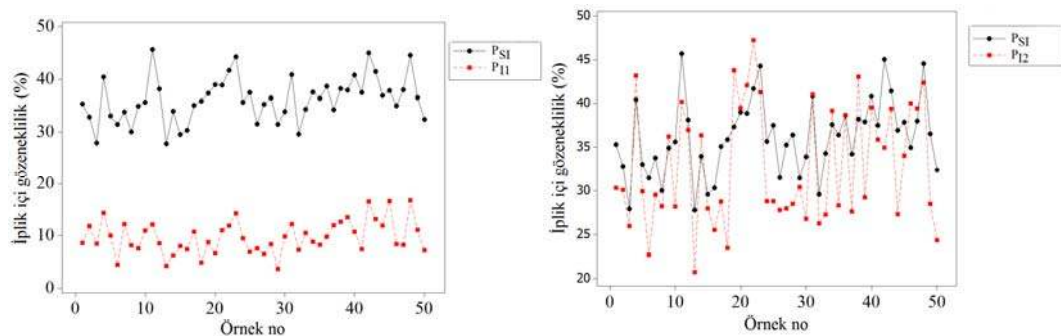
Çalışmada farklı yöntemlerle elde edilen iplikler arası gözeneklilik ve gözenek boyutu parametreleri, iplikler arasında gerçekleşen geçirgenlik mekanizmasını tahminlemek amacıyla akış denklemlerinde kullanılmış ve gözenek parametrelerine bağlı geçirgenlik sonuçları elde edilerek sonuçlar arasındaki ilişkiler tartışılmıştır.

4.3.4 İplik içi gözenek özellikleri

Düzlemsel ve düzleme dik yönlerde gerçekleşen akış hareketinde sadece iplikler arasındaki gözenek özellikleri değil, lifler arası gözenek özellikleri de büyük rol oynamaktadır. Çalışmada iplik içi gözenekliliği kolay ve hızlı bir şekilde analiz edecek bir yöntem geliştirmek amaçlanmıştır. Ayrıca, iplik içinde gerçekleşen akışı tahminlemek için, lifler arası gözenek boyutu lif ve iplik özelliklerine bağlı olarak tanımlanmıştır.

4.3.4.1 Teorik, yarı-teorik ve görüntü analizi gözeneklilik sonuçları

İplik içi gözeneklilik (P_y) özelliği teorik, yarı-teorik ve görüntü analizi yöntemlerine göre hesaplanmıştır. Deneysel yöntem (P_{ySI}) ve görüntüde iyileştirme prosesleri yapılmadan görüntü analizi yöntemi ile hesaplanan gözeneklilik (P_{yI1}) arasındaki ilişki incelendiğinde korelasyon katsayısı 0,65 bulunmuştur; aralarındaki ilişki %99 güven seviyesi için önemlidir, ancak aralarında yaklaşık %70 fark bulunmaktadır (Şekil 4.31). Bunun nedeni elde edilen ilk siyah beyaz görüntülerde, özellikle lif kenarlarına yakın bölgelerde lif ve gözenek bölgelerinin birbirinden tam olarak ayırt edilememesi sonucu aslında gözenek bölgesi olan alanların siyah piksellere dönüşmesidir. Görüntü iyileştirme adımları uygulandıktan sonra elde edilen son siyah beyaz görüntülerden hesaplanan lifler arası gözeneklilik (P_{yI2}) ve P_{ySI} arasındaki korelasyon katsayısı ise 0,74 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.31 P_{ySI} ve P_{yI1} (ilk görüntü) sonuçları, b. P_{ySI} ve P_{yI2} (iyileştirilmiş görüntü) sonuçları

Teorik iplik gözenekliliği Grosberg'in iplik çapı için önerdiği yaklaşımına göre ($Py_{Grosberg-T}$) % 43 olarak hesaplanmıştır. 29,53 tex iplik numarası ve 5,4 mikroner index pamuk lifi için iplik kesitindeki teorik lif sayısı (n) 139 adet hesaplanmıştır (Eşitlik 4.1). Buna göre teorik lif çapı (d_f), dairesel iplik çapı (d_{yt}) ve teorik lif sayısı ($n=139$) için hesaplanan teorik iplik gözenekliliği (Py_{n-T}) de % 43 'tür. İpliğin çap değişimi göz önünde bulundurularak 50 iplik için Grosberg ($Py_{Grosberg}$), teorik lif sayısı (Py_{n139}) ve ölçülen lif sayısı (Py_{n164}) yaklaşımları ile yarı-teorik olarak hesaplanan iplik gözenekliliği sonuçları Tablo 4.22'de gösterilmiştir.

$$n = \frac{29.53/10^5 (g/cm)}{\pi \frac{(13,3 \times 10^{-4})^2}{4} (cm^2) \times 1.53 (g/cm^3)} \cong 139 \text{ lif} \quad (4.1)$$

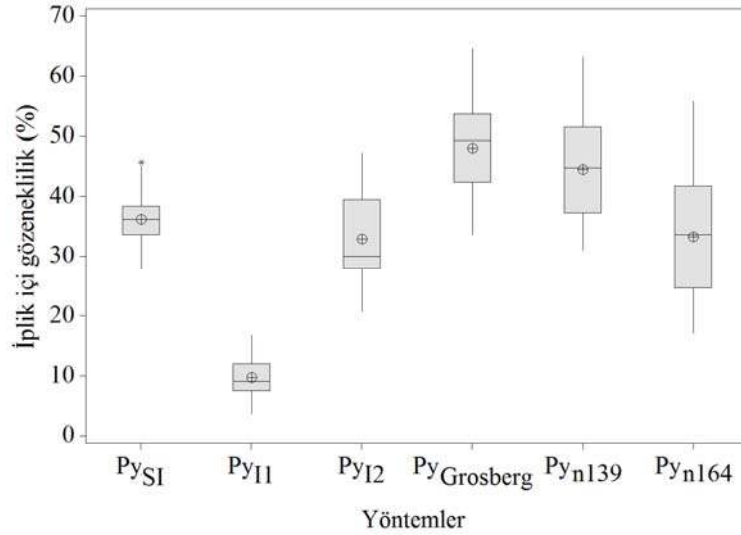
Tablo 4.22. Lifler arası gözeneklilik sonuçları

Yöntem	İplik içi Yöntem açıklama	Py (%)	Py 95% GA
Py_{SI}	Stereo Investigator® ölçümleri	36,18	34,96-37,40
Py_{11}	İlk siyah beyaz görüntü	9,73	8,85-10,62
Py_{12}	İyileştirilmiş siyah beyaz görüntü	32,88	30,97-34,80
$Py_{Grosberg-T}$	Teorik Grosberg yaklaşımı	43,00	-
Py_{n-T}	Teorik lif sayısı yaklaşımı	43,00	-
$Py_{Grosberg}$	Yarı-teorik Grosberg yaklaşımı	48,07	45,92-50,22
Py_{n139}	Yarı-teorik lif sayısı yaklaşımı	44,47	42,27-46,67
Py_{n164}	Ölçülen lif sayısı ve iplik çapından hesaplanan	33,28	30,64-35,92

Teorik sonuçlar ile ölçüm sonucu elde edilen iplik gözenekliliği (Py_{SI}) arasındaki ilişki incelendiğinde (Ek 3.21); $Py_{SI}-Py_{Grosberg}$ ve $Py_{SI}-Py_{n139}$ için aralarındaki fark %95 güven seviyesi için önemli bulunmuştur (Şekil 4.32). Özgül hacim yaklaşımı ile 29,53 tex numara iplik için hesaplanan teorik lif sayısı ($n=139$) ölçülen ortalama lif sayısından oldukça düşük bir değerdir. Pamuk lifi gibi doğal liflerin yapısal özelliklerindeki değişimden dolayı da iplik kesitindeki lif sayısı deneysel sonuçlara yakın olarak belirlenememiş ve sonuç olarak teorik yaklaşım değişimin etkisini yansıtamamıştır.

Ölçülen ortalama lif sayısı kullanılarak hesaplanan iplik gözenekliliği Py_{n164} ve Py_{SI} arasındaki fark %95 güven aralığı için önemli bulunmamıştır (Şekil 4.32). Aralarındaki korelasyon katsayısı ise 0,273 olarak hesaplanmıştır. Teorik sonuçlarla ölçüm sonuçları arasındaki ilişki incelendiğinde, yarı-teorik yaklaşımlarda Stereo

Investigator® ölçümleri sonucu elde edilen iplik çapı değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılmasına rağmen, iplik içindeki lif çapı ve iplik enine kesitindeki lif sayısı değişimlerinden dolayı elde edilen sonuçların deneysel sonuçlar ile düşük korelasyon katsayıları gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 4.32 Gözeneklilik sonuçlarının karşılaştırılması

Sonuç olarak, korelasyon katsayıları ve güven aralıkları açısından incelendiğinde her bir iplik görüntüsü, içinde lif ve iplik değişimiyle ilgili istatistiksel bilgiye de sahip olduğundan görüntü analizi yöntemi diğer yöntemlere göre iplik gözenekliliğini daha doğru, hızlı ve objektif olarak tahminleyebilmektedir. Görüntü analizi yöntemi dikkat gerektiren kesit hazırlama çalışmalarına rağmen lif ve iplikle ilgili değişim parametrelerini içinde barındırdığından iplik içi gözenekliliği başarılı bir şekilde tahminlemiştir.

4.3.4.2 Lifler arası teorik gözenek çapı

Çalışmada iplik içinde gerçekleşen akış mekanizmasının hesaplanarak kumaşın toplam geçirgenliğinin tahminlenmesi amacıyla iplik içinde iplik boyunca akışın gerçekleştiği lifler arası bölgelerdeki gözeneklerin boyutları teorik olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada lifler arası birim gözeneğin paketlenme oranının (ϕ_f) yaklaşık olarak ipliğin paketlenme oranına ($\phi_y=1-P_y$) eşit olacağı kabul edilmiş ve lifler arası gözenek kesit şeklinin dairesel olduğu varsayılarak lif boyutu ve paketlenme oranına bağlı olarak dairesel kesitli olduğu kabul edilen lifler arası gözenek çapı (dp_f) hesaplanmıştır. Mikroner indeks değerinden hesaplanan teorik lif çapı ($df=13,30 \mu m$) ve Stereo Investigator® ölçümleri sonucu elde edilen ortalama lif alanından ($A_f=133 \mu m^2$) hesaplanan deneysel lif çapı ($df_m=13,02$) için elde edilen lifler arası teorik ve deneysel gözenek çapı değerleri (dp_{ft} , dp_{fm}) ve hidrolik gözenek çapı değerleri (dh_{ft} , dh_{fm}) Tablo 4.23'te özetlenmiştir. Hem teorik hem de deneysel veriler ile hesaplanan hidrolik lif çapı ve lifler arası gözenek çapı arasındaki ilişki incelendiğinde korelasyon katsayısı 0,988 bulunmuştur. Tablo 4.24'de ayrıca her bir iplik içi gözeneklilik belirleme yöntemi için hegzagonal yerleşmeye göre teorik iplik boyutlarından (dy_t , a_t , b_t) hesaplanan iplik içindeki teorik lif sayıları (n_{ft}) ve teorik gözenek sayıları (m_{ft}) özetlenmiştir. İplik içindeki lif sayısı Stereo Investigator® ölçümleri sonucu ortalama 164 lif olarak bulunmuştur. Teorik iplik boyutlarından hegzagonal yerleşme varsayımına göre hesaplanan lif sayılarında iyileştirme yapılarak deneysel yöntemler (Stereo Investigator®, görüntü analizi ve n-164) için lifler arası gözenek sayısı tekrar hesaplanmış ve 272 gözenek bulunmuştur. Lif lineer yoğunluğundan hesaplanan teorik lif sayısı ise 139'dur, buna göre $P_{y_{n-T}}$ yaklaşımından elde edilen gözenek sayısı da buna göre yeniden hesaplanarak 227 bulunmuştur. Çalışmanın sonraki aşamasında elde edilen lifler arası gözenek parametreleri akış denklemlerinde kullanılarak farklı yaklaşımlar için iplik içi akış miktarı tahminlenmiştir.

Tablo 4.24'de ise düzleme dik yönde gerçekleşen akış için birim gözenek hücrede çözgü, atkı iplikleri ve çözgü ile atkının kesiştiği bölgelerde düzleme dik doğrultuda eşdeğer gözenek alanından hesaplanan gözenek çapları her kumaş tipi için sıklığa bağlı olarak verilmiştir. Hesaplamalar Stereo Investigator® ölçümlerinden elde edilen iplik içi deneysel gözeneklilik verisi ($P_{y_{SI}}$) ve görüntü analizi gözeneklilik verisi ($P_{y_{12}}$) için yapılmıştır. Çünkü iplik içi gözenekliliği belirlerken kullanılan yöntemler arasında deneysel verilerle en iyi ilişkiyi görüntü analizi yöntemi sağlamıştır. Deney kumaşlarında çözgü sıklığı sabit olduğundan birim hücre içinde atkı ipliğine dik

yönde gerçekleşen akış için hesaplanan eşdeğer gözenek çapı (dp_{z2}) teorik dairesel iplik çapı yaklaşımına göre her kumaş için sabittir. Aynı şekilde çözgü ve atkı ipliklerinin kesiştiği bölge için de düzleme dik eşdeğer gözenek çapı (dp_{z3}) sabittir. Çözgü ipliği bölgesinde ise atkı sıklığındaki artışa paralel olarak bu bölgenin eşdeğer gözenek çapı (dp_{z1}) azalmaktadır. Yöntem 2-D geometriye dayandığı için aynı sıklıktaki farklı tip kumaşlarda aynı eşdeğer gözenek çapı elde edilmiştir.

Tablo 4.23 Lifler arası gözenek çapları (dp_f) ve hidrolik çap (dh_f) verileri

Yöntem	P_y (%)	(ϕ_y)	Lifler arası gözenek çapı (μm)		Hidrolik gözenek çap (μm)		m_{ft}	n_{ft}
			dp_{ft}	dp_{fm}	dh_{ft}	dh_{fm}		
Stereo Investigator®	36,18	0,6382	7,08	6,93	7,54	7,38	255	155
Görüntü analizi 1	9,73	0,9027	3,09	3,02	1,43	1,40	364	214
Görüntü analizi 2	32,88	0,6712	6,58	6,44	6,52	6,38	269	162
Grosberg-T	43,00	0,5700	8,17	7,99	10,04	9,82	206	129
n-T	43,00	0,5700	8,17	7,99	10,04	9,82	206	129
Grosberg	48,07	0,5193	9,05	8,86	12,32	12,05	207	128
n-139	44,47	0,5553	8,42	8,24	10,65	10,42	221	136
n-164	33,28	0,6672	6,64	6,50	6,64	6,49	267	161

P_y : iplik içi gözeneklilik, ϕ_y : iplik içi paketleme oranı; dp_{ft} , dp_{fm} : teorik (t) ve deneysel (m) lif çapı ile hesaplanan gözenek çapı; dh_{ft} , dh_{fm} : teorik ve deneysel lif çapı ile hesaplanan hidrolik gözenek çapı

Tablo 4.24 Düzleme dik yönde gerçekleşen akış için iplik içi gözenek bölgelerinin eşdeğer gözenek çapları

	Kumaş Kodu	Py _{S1} gözeneklilik oranı kullanılarak			Py _{I2} gözeneklilik oranı kullanılarak		
		dp _{z1}	dp _{z2}	dp _{z3}	dp _{z1}	dp _{z2}	dp _{z3}
Dairesel iplik çapı varsayımı	A1	220,01	82,15	140,57	209,74	78,32	134,00
	A2	182,37	82,15	140,57	173,85	78,32	134,00
	A3	153,68	82,15	140,57	146,51	78,32	134,00
	B2	182,37	82,15	140,57	173,85	78,32	134,00
	B3	153,68	82,15	140,57	146,51	78,32	134,00
	B4	130,17	82,15	140,57	124,10	78,32	134,00
	C2	182,37	82,15	140,57	173,85	78,32	134,00
	C3	153,68	82,15	140,57	146,51	78,32	134,00
	C4	130,17	82,15	140,57	124,10	78,32	134,00
Eliptik iplik çapı varsayımı	A1	229,88	61,95	165,37	219,14	59,06	157,65
	A2	187,15	61,95	165,37	178,41	59,06	157,65
	A3	153,90	61,95	165,37	146,71	59,06	157,65
	B2	187,15	61,95	165,37	178,41	59,06	157,65
	B3	153,90	61,95	165,37	146,71	59,06	157,65
	B4	125,83	61,95	165,37	119,95	59,06	157,65
	C2	187,15	61,95	165,37	178,41	59,06	157,65
	C3	153,90	61,95	165,37	146,71	59,06	157,65
	C4	125,83	61,95	165,37	119,95	59,06	157,65

dp_{z1}, dp_{z2}, dp_{z3}: 2-D birim gözenek modelinde sırasıyla çözgü, atkı ve kesişme bölgelerinin eşdeğer gözenek çapı verileri

4.4 Tahmini geçirgenlik sonuçları

4.4.1 Düzleme dik yönde gerçekleşen geçirgenlik (Hava geçirgenliği)

4.4.1.1 İplikler arası bölge sonuçları

Akış denklemleri iplikler ve lifler arası bölgeler için ayrı ayrı hesaplanarak farklı modellere ve yöntemlere göre tanımlanan gözenek özellikleriyle ilişkili olarak akış miktarları elde edilmiştir. Tablo 4.25 ve Tablo 4.26'da 9 tip kumaşın hava geçirgenliği test sonuçlarından elde edilen hava akış miktarları ve iplikler arası farklı gözenek modellerinden elde edilmiş gözenek parametreleriyle hesaplanmış iplikler arası tahmini hava akış miktarları (Qy) sırasıyla teorik ve deneysel kumaş

parametreleri kullanılarak hesaplanmış veriler için özetlenmiştir. Hava geçirgenliği test cihazından elde edilen geçirgenlik verileri teorik dairesel iplik çapı (d_{ty}) varsayımı ile hesaplanan 2-D ve 3-D birim hücre modelleri verilerinden elde edilen hava geçirgenliği sonucu arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla 0,847 ve 0,948'dir ve aralarındaki ilişki % 99 güven seviyesi için önemlidir. 2-D ve 3-D birim hücre modeli ile örgü birim modellerinde (B-spline) teorik eliptik çaplar kullanılarak hesaplanan geçirgenlik sonuçları ile deneysel sonuçlar arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla 0,848, 0,930, 0,926 bulunmuştur ve aralarındaki ilişki % 99 güven seviyesinde önemlidir. Hava geçirgenliği test sonuçlarının görüntü analizinden elde edilen verilerle hesaplanan geçirgenlik sonuçları arasındaki korelasyon katsayısı ise 0,763 bulunmuştur ve aralarındaki ilişki % 95 güven seviyesinde önemlidir. 2-D ve 3-D birim gözenek hücre modelleri için deneysel kumaş parametreleri ile hesaplanan geçirgenlik sonuçları ile hava geçirgenliği test sonuçları arasındaki ilişki için korelasyon katsayıları dairesel veriler için sırasıyla 0,606 ve 0,752; eliptik veriler için 0,821 ve 0,90 bulunmuştur (Şekil 4.33).

Tablo 4.25 Teorik (t) dairesel (d) ve eliptik (e) iplik çapı varsayımları ile farklı yöntemler için hesaplanan iplikler arası akış miktarı (Q_y , cm^3/s) ve hava geçirgenliği (AP_y , mm/s) sonuçları

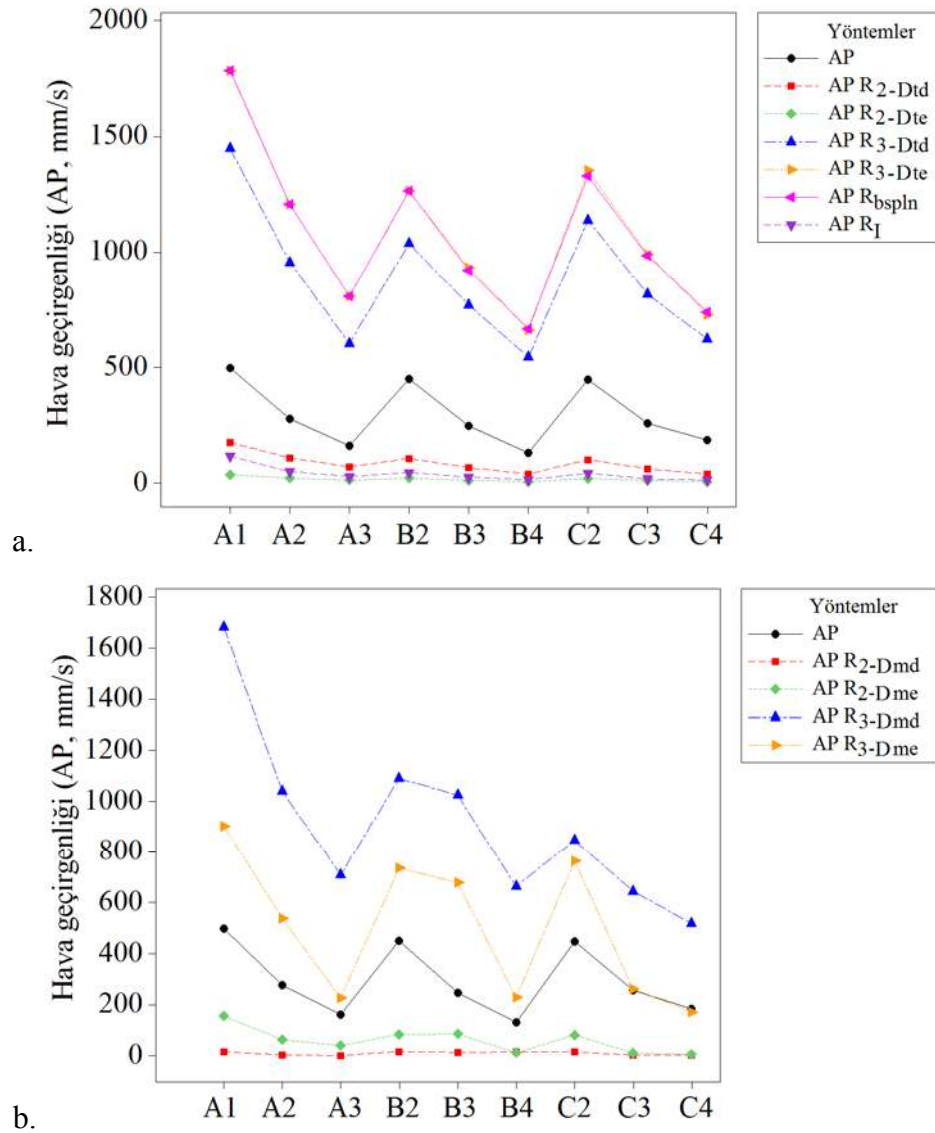
Kumaş Kodu	Test Sonuçları		2-D birim gözenek hücre model				3-D birim gözenek hücre model				Örgü birimi modeli	
	Q	AP	$Q_{yR2-Dtd}$	$AP_{yR2-Dtd}$	$Q_{yR2-Dte}$	$AP_{yR2-Dte}$	$Q_{yR3-Dtd}$	$AP_{yR3-Dtd}$	$Q_{yR3-Dte}$	$AP_{yR3-Dte}$	$Q_{yRbspln}$	$AP_{yRbspln}$
A1	994	497	350	175	70	35	2900	1450	3569	1784	3571	1785
A2	552	276	216	108	40	20	1911	956	2415	1208	2413	1207
A3	320	160	138	69	23	12	1206	603	1615	807	1613	806
B2	900	450	210	105	39	20	2076	1038	2531	1265	2530	1265
B3	494	247	131	66	22	11	1538	769	1864	932	1842	921
B4	260	130	76	38	11	6	1084	542	1321	660	1331	665
C2	894	447	200	100	37	19	2278	1139	2709	1355	2657	1329
C3	514	257	121	61	21	10	1631	815	1979	989	1972	986
C4	368	184	74	37	11	5	1241	621	1456	728	1478	739

Q: Hava akış miktarı test sonucu; AP: Hava geçirgenliği test sonucu; $Q_{yR2-Dtd}$ ve $AP_{yR2-Dtd}$: 2-D birim gözenek hücre (teorik dairesel iplik çapı) yarıçapından hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı ve hava geçirgenliği; $Q_{yR2-Dte}$ ve $AP_{yR2-Dte}$: 2-D birim gözenek hücre (teorik eliptik iplik çapı) yarıçapından hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı ve hava geçirgenliği; $Q_{yR3-Dtd}$ ve $AP_{yR3-Dtd}$: 3-D birim gözenek hücre (teorik dairesel iplik çapı) yarıçapından hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı ve hava geçirgenliği; $Q_{yR3-Dte}$ ve $AP_{yR3-Dte}$: 3-D birim gözenek hücre (teorik eliptik iplik çapı) yarıçapından hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı ve hava geçirgenliği; $Q_{yRbspln}$ ve $AP_{yRbspln}$: Örgü birim modellerinden elde edilen gözenek yarıçapından hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı ve hava geçirgenliği.

Tablo 4.26 Deneysel verilerle farklı yöntemler için hesaplanan iplikler arası akış miktarı ($Q_y, \text{cm}^3/\text{s}$) ve hava geçirgenliği ($AP_y, \text{mm/s}$) sonuçları

Kumaş Kodu	2-D birim gözenek hücre model				3-D birim gözenek hücre model				Görüntü analizi	
	$Q_{YR2-Dmd}$	$AP_{YR2-Dmd}$	$Q_{YR2-Dme}$	$AP_{YR2-Dme}$	$Q_{YR3-Dmd}$	$AP_{YR3-Dmd}$	$Q_{YR3-Dme}$	$AP_{YR3-Dme}$	Q_{YRI}	AP_{YRI}
A1	31	15	310	155	3365	1683	1804	902	230	115
A2	5	2	125	62	2078	1039	1076	538	96	48
A3	1	0	78	39	1415	708	452	226	55	27
B2	31	15	166	83	2180	1090	1469	735	89	44
B3	26	13	169	84	2047	1024	1355	677	49	25
B4	28	14	23	12	1326	663	455	228	27	14
C2	28	14	162	81	1690	845	1525	762	83	41
C3	5	3	21	11	1286	643	525	262	35	17
C4	5	3	10	5	1036	518	342	171	25	13

$Q_{YR2-Dmd}$ ve $AP_{YR2-Dmd}$: 2-D birim gözenek hücre (deneysel dairesel iplik çapı) yarıçapından hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı ve hava geçirgenliği; $Q_{YR2-Dme}$ ve $AP_{YR2-Dme}$: 2-D birim gözenek hücre (deneysel eliptik iplik çapı) yarıçapından hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı ve hava geçirgenliği; $Q_{YR3-Dmd}$ ve $AP_{YR3-Dmd}$: 3-D birim gözenek hücre (deneysel dairesel iplik çapı) yarıçapından hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı ve hava geçirgenliği; $Q_{YR3-Dme}$ ve $AP_{YR3-Dme}$: 3-D birim gözenek hücre (deneysel eliptik iplik çapı) yarıçapından hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı ve hava geçirgenliği; Q_{YRI} ve AP_{YRI} : Görüntü analizi yöntemiyle elde edilen gözenek yarıçapından hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı ve hava geçirgenliği

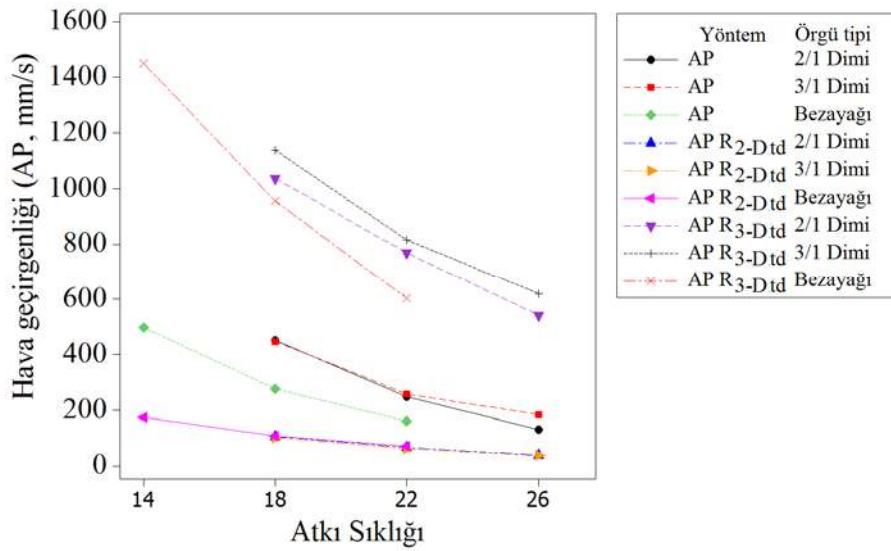


Şekil 4.33 Hava geçirgenliği test cihazında ölçülen sonuçlar (AP) ile modellerden elde edilen parametreler ile hesaplanan iplikler arası geçirgenlik sonuçları (APy), a. Teorik kumaş parametreleri, b. Deneysel kumaş parametreleri ile hesaplananlar

2-D ve 3-D modeller arasındaki ilişki incelendiğinde 3-D model sonuçlarının hava geçirgenliği test sonuçlarıyla daha yüksek ilişki gösterdiği gözlenmiştir. Ancak 3-D modellerden teorik olarak elde edilen veriler gerçek sonuçlardan çok büyüktür. Bunun nedeni birim gözenek hücresinin gözenekli bölge hacminden hesaplanan gözenek çapının büyük çıkmasıdır. 3-D modellerde sadece iplikler arası gözenekli bölgeler değil, 3-D gözenek hücresi ve 3-D örgü birimi prizması içinde kalan diğer bölgelerin de akışa katkısı düşünülmüştür. Dikdörtgenler prizması içinde iplikler arası boş hacim dışındaki hacimler toplamı aslında 2-D modellerden farklı olarak

örgü tipiyle oluşan iplik geometrisinin yani 3-D kumaş geometrisinin etkisini kapsamaktadır. 2-D modellerden elde edilen sonuçlar ise gerçek test sonuçlarından daha düşük değerler göstermektedir.

Önceki bölümlerde farklı örgü tiplerine sahip kumaşların hava geçirgenliği test sonuçları istatistiksel olarak incelendiğinde aynı yapısal parametrelere sahip farklı örgü tiplerinin hava geçirgenlikleri arasındaki farkın genel olarak önemli olduğu bulunmuştur. Yani örgü tipi kumaşın geçirgenlik özelliklerini etkilemektedir. Şekil 4.34’de de görüldüğü gibi deneysel sonuçlar ve teorik dairesel çap yaklaşımı ile 2-D ve 3-D modellerden hesaplanan hava geçirgenliği sonuçları aynı yapısal parametrelere sahip farklı tip kumaşlarda incelendiğinde 2-D modelden elde edilen geçirgenlik sonuçları örgü tipleri arasındaki farkı ortaya çıkaramamaktadır. Bu durum 3-D yaklaşımın geçerliliğini daha çok ortaya koymaktadır. Ancak 3-D modelde elde edilen sonuçlar çok büyük olduğundan modelde bir iyileştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. İplikler arası gözeneklerin de akış miktarına katkısı tanımlandıktan sonra model modifiye edilmiştir.



Şekil 4.34 İplikler arasında gerçekleşen deneysel (AP) ve tahmini hava geçirgenliği (APy) sonuçlarının örgü tipi ile ilişkisi

4.4.1.2 İplik içinde düzleme dik doğrultuda gerçekleşen akış sonuçları

Kumaşın içinde düzleme dik doğrultuda gerçekleşen toplam hava akış miktarını belirlemek için iplik içinde düzleme dik doğrultuda gerçekleşen akış birim hücre modelinde her bir iplik bölgesi için ayrı ayrı hesaplanarak (Q_{f1} , Q_{f2} , Q_{f3}) birim hücrede iplik içinde düzleme dik yönde gerçekleşen toplam akış elde edilmiştir. İpliğe dik yönde gerçekleşen tahmini akış verileri Tablo 4.27’de özetlenmiştir.

Tablo 4.27 Birim hücrenin iplik bölgelerinde gerçekleşen tahmini hava akış miktarları

	Kumaş Kodu	Py _{s1} gözeneklilik oranı kullanılarak				Py _{s2} gözeneklilik oranı kullanılarak			
		Q _{f1}	Q _{f2}	Q _{f3}	Q _f	Q _{f1}	Q _{f2}	Q _{f3}	Q _f
Teorik dairesel çapı için	A1	701,70	13,64	65,43	780,77	579,60	11,27	54,04	644,90
	A2	433,17	17,84	85,56	536,57	357,79	14,74	70,66	443,19
	A3	269,86	22,04	108,63	400,53	222,90	18,20	89,72	330,82
	B2	433,17	17,84	83,31	534,32	357,79	14,74	68,80	441,33
	B3	269,86	22,04	102,91	394,81	222,90	18,20	84,99	326,10
	B4	165,36	26,24	116,39	307,99	136,59	21,67	96,12	254,38
	C2	433,17	17,84	79,14	530,15	357,79	14,74	65,36	437,89
	C3	269,86	22,04	95,38	387,28	222,90	18,20	78,78	319,88
	C4	165,36	26,24	113,55	305,15	136,59	21,67	93,78	252,04
Teorik eliptik çapı için	A1	836,33	4,41	223,98	1064,72	690,72	3,64	184,99	879,35
	A2	480,41	5,77	292,90	779,09	396,77	4,77	241,91	643,44
	A3	271,37	7,13	361,82	640,31	224,12	5,89	298,83	528,83
	B2	480,41	5,77	292,90	779,09	396,77	4,77	241,91	643,44
	B3	271,37	7,13	361,82	640,31	224,12	5,89	298,83	528,83
	B4	144,37	8,48	430,74	583,60	119,24	7,01	355,75	481,99
	C2	480,41	5,77	292,90	779,09	396,77	4,77	241,91	643,44
	C3	271,37	7,13	361,82	640,31	224,12	5,89	298,83	528,83
	C4	144,37	8,48	430,74	583,60	119,24	7,01	355,75	481,99

Q_{f1}: Çözümlü ipliği içinde gerçekleşen akış miktarı; Q_{f2}: Atkı ipliği içinde gerçekleşen akış miktarı; Q_{f3}: Kesişme bölgesinde gerçekleşen akış miktarı; Q_f: İplik içinde gerçekleşen toplam akış miktarı

4.4.1.3 Kumaş düzlemine dik yönde gerçekleşen toplam akış

Tablo 4.28’de iplikler arası bölge ve iplik içi bölgede düzleme dik yönde gerçekleşen toplam akış miktarları ve toplam akış miktarının test alanına ($A=20 \text{ cm}^2$) oranından hesaplanan tahmini hava geçirgenliği sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 4.28 İplikler arası teorik akış miktarı ve lifler arası akış miktarı toplamından ($Q, \text{cm}^3/\text{s}$) hesaplanan hava geçirgenliği ($AP, \text{mm/s}$) sonuçları

	Kumaş Kodu	2-D birim gözenek hücre modeli				3-D birim gözenek hücre modeli				Örgü birimi modeli	
		Dairesel çap		Eliptik çap		Dairesel çap		Eliptik çap		Q_{Rbspln}	AP_{Rbspln}
		Q_{R2-Dtd}	AP_{R2-Dtd}	Q_{R2-Dte}	AP_{R2-Dte}	Q_{R3-Dtd}	AP_{R3-Dtd}	Q_{R3-Dte}	AP_{R3-Dte}		
P _{y1} ile hesaplanan iplik içi akış	A1	1130,56	565,28	1135,16	567,58	3681,10	1840,55	4633,43	2316,71	4635,48	2317,74
	A2	752,55	376,28	819,54	409,77	2447,57	1223,79	3194,23	1597,11	3192,49	1596,25
	A3	538,85	269,43	663,81	331,90	1606,08	803,04	2254,92	1127,46	2252,87	1126,43
	B2	744,62	372,31	818,42	409,21	2610,33	1305,17	3309,76	1654,88	3309,28	1654,64
	B3	525,86	262,93	662,57	331,29	1932,44	966,22	2504,73	1252,36	2482,21	1241,11
	B4	384,28	192,14	594,85	297,42	1391,98	695,99	1904,51	952,25	1914,33	957,16
	C2	729,94	364,97	816,51	408,25	2808,05	1404,03	3488,15	1744,08	3436,49	1718,24
	C3	508,74	254,37	660,94	330,47	2017,78	1008,89	2619,27	1309,63	2612,57	1306,28
	C4	379,58	189,79	594,57	297,29	1546,17	773,08	2039,72	1019,86	2061,16	1030,58
	Kumaş Kodu	2-D birim gözenek hücre modeli				3-D birim gözenek hücre modeli				Örgü birimi modeli	
		Dairesel çap		Eliptik çap		Dairesel çap		Eliptik çap		Q_{Rbspln}	AP_{Rbspln}
		Q_{R2-Dtd}	AP_{R2-Dtd}	Q_{R2-Dte}	AP_{R2-Dte}	Q_{R3-Dtd}	AP_{R3-Dtd}	Q_{R3-Dte}	AP_{R3-Dte}		
P _{y2} ile hesaplanan iplik içi akış	A1	994,69	497,34	949,79	474,89	3545,23	1772,62	4448,06	2224,03	4450,11	2225,06
	A2	659,18	329,59	683,90	341,95	2354,20	1177,10	3058,59	1529,29	3056,85	1528,43
	A3	469,15	234,57	552,33	276,16	1536,38	768,19	2143,44	1071,72	2141,39	1070,70
	B2	651,63	325,82	682,78	341,39	2517,35	1258,67	3174,12	1587,06	3173,64	1586,82
	B3	457,14	228,57	551,09	275,55	1863,73	931,86	2393,25	1196,62	2370,74	1185,37
	B4	330,68	165,34	493,24	246,62	1338,37	669,19	1802,90	901,45	1812,72	906,36
	C2	637,68	318,84	680,86	340,43	2715,79	1357,90	3352,51	1676,26	3300,85	1650,42
	C3	441,34	220,67	549,46	274,73	1950,38	975,19	2507,79	1253,89	2501,09	1250,54
	C4	326,47	163,24	492,97	246,48	1493,06	746,53	1938,11	969,06	1959,55	979,78

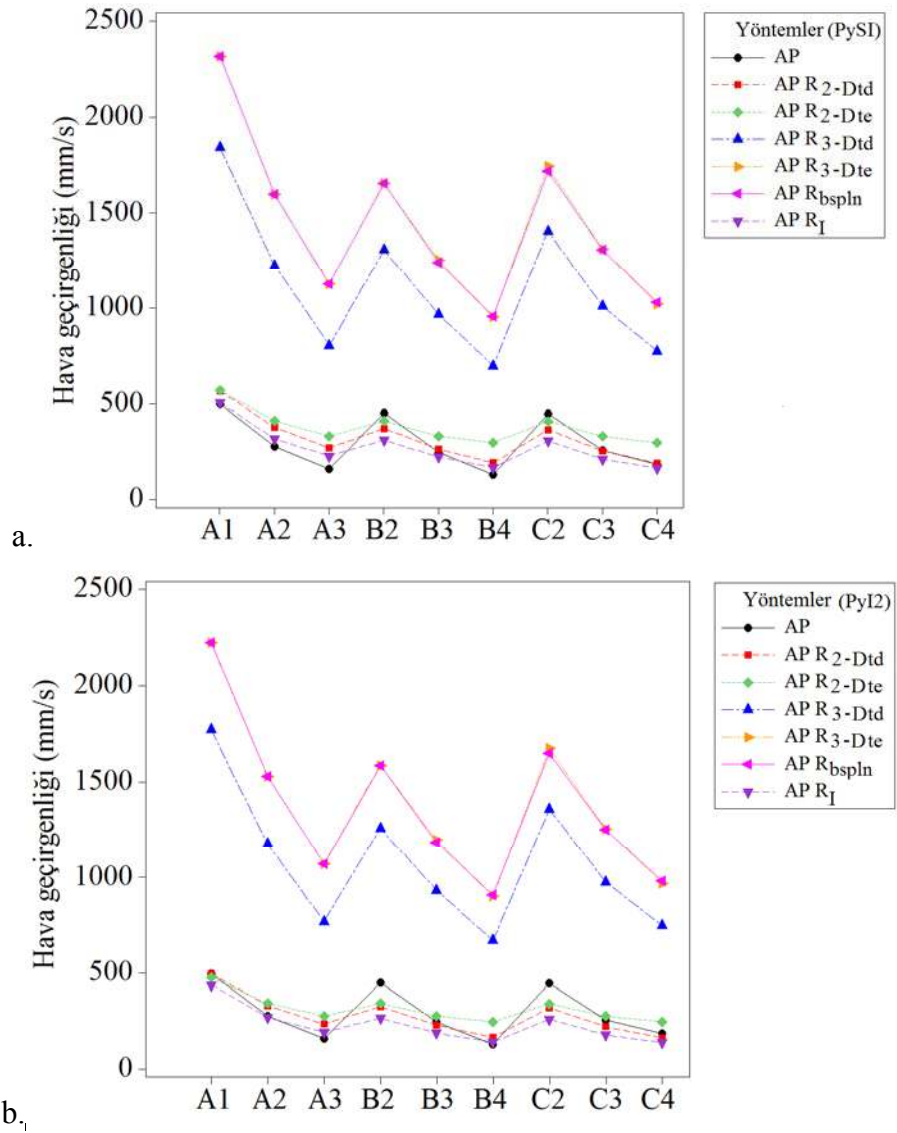
Kumaş içinden düzleme dik yönde gerçekleşen akış miktarı ile hesaplanan tahmini hava geçirgenliği sonuçlarının hava geçirgenliği test sonuçları ile ilişkisi istatistiksel olarak incelendiğinde aralarındaki korelasyon katsayısı yüksek ve istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur.

Dairesel iplik çapı varsayımı ile hesaplanan iplikler arası 2-D birim gözenek modeli ve 3-D birim gözenek modelinin deneysel iplik içi gözeneklilik verisi (P_{yS1}) ile hesaplanan tahmini hava geçirgenliği verilerinin test sonuçları ile aralarındaki korelasyon katsayıları sırasıyla 0,859 ve 0,940 olarak bulunmuştur. Eliptik iplik çapı için ise korelasyon katsayıları 0,852 ve 0,923 olarak hesaplanmıştır. Örgü birim modeli ve görüntü analizi yönteminden elde edilen tahmini sonuçların gerçek test sonuçları ile arasındaki korelasyon katsayısı ise sırasıyla 0,919 ve 0,841 olarak bulunmuştur.

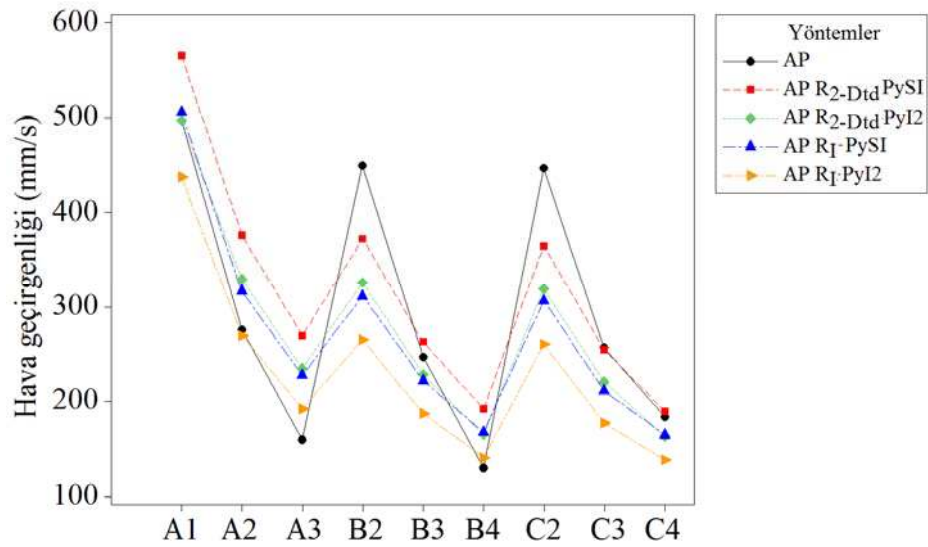
Görüntü analizinden elde edilen iplik içi gözeneklilik verisi (P_{y12}) kullanılarak dairesel iplik çapı varsayımı ile hesaplanan iplikler arası 2-D birim gözenek modeli ve 3-D birim gözenek modelinin tahmini hava geçirgenliği verilerinin test sonuçları ile aralarındaki korelasyon katsayıları ise sırasıyla 0,859 ve 0,942 olarak bulunmuştur. Eliptik iplik çapı için ise korelasyon katsayıları 0,852 ve 0,925 olarak hesaplanmıştır. Örgü birim modeli ve görüntü analizi yönteminden elde edilen teorik geçirgenlik sonuçları ile test sonuçları ile arasındaki korelasyon katsayısı ise sırasıyla 0,921 ve 0,837 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.35 a ve b’de farklı modellerle tanımlanan iplikler arası akış miktarlarının iplik içi akış miktarı (sırasıyla P_{yS1} ve P_{y12} ’ye göre) toplamıyla tahminlenen hava geçirgenliği verileri ve hava geçirgenliği test sonucu verileri (AP) arasındaki ilişki gösterilmektedir. 2-D modellerden elde edilen sonuçlar test sonuçlarına yakın değerler olarak elde edilmiştir. Şekil 4.36’de 2-D modellerden elde edilen sonuçların test sonuçları ile ilişkisi daha ayrıntılı olarak gösterilmektedir. 3-D modellerden tahminlenen hava geçirgenliği sonuçları ise gerçek değerlerin çok üstündedir. Bunun nedeni hacimsel yaklaşıma göre hesaplanan gözenek boyutunun büyük olmasıdır. Ancak 3-D modellerden elde edilen sonuçların gerçek sonuçlarla arasındaki

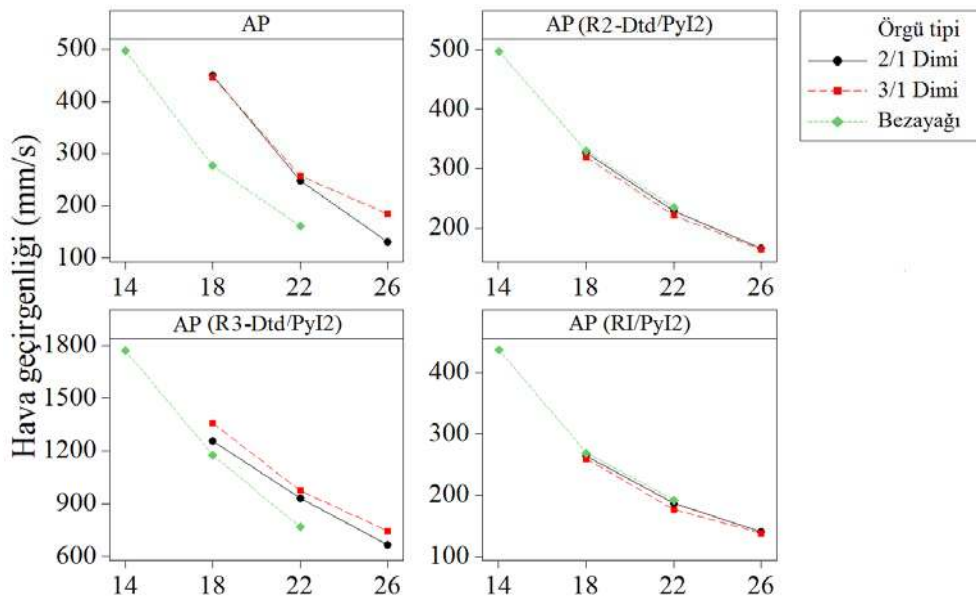
korelasyon daha yüksektir. Bunun nedeni 3-D modellerin kumaşın geometrik özelliklerini daha gerçekçi modellemesi, böylece aynı yapısal parametrelere sahip farklı örgü tipleri arasındaki farkı tanımlayabilmesidir. 2-D geometrik modellerde kesişmelerin izdüşümleri incelendiğinden örgü yapıları arasındaki fark geometrik olarak açıklanamamaktadır. Dolayısı ile bu modellerle tanımlanan aynı yapısal parametrelere sahip farklı örgü yapılarında kumaşların tahmini geçirgenlik sonuçları da benzer hesaplanmaktadır (Şekil 4.37).



Şekil 4.35 Tahmini toplam hava geçirgenliği sonuçları ile test sonuçları arasındaki ilişki: a. İplik içi akış için Py_{SI} kullanılarak; b. İplik içi akış için Py_{I2} kullanılarak



Şekil 4.36 2-D modellerden elde edilen tahmini toplam hava geçirgenliği sonuçları ile test sonuçları arasındaki ilişki



Şekil 4.37 Farklı yaklaşımlara göre elde edilen tahmini toplam hava geçirgenliklerinin sıklık ve örgü tipine bağlı ilişkileri

Akış 3-D gerçekleşen bir mekanizma olduğundan 3-D kumaş geometrisinin şeklinden ve özelliklerinden etkilenmektedir. Bu nedenle 3-D kumaş ve gözenek modellerinden tahminlenen hava geçirgenliği sonuçları gerçek hava geçirgenliği verileri ile yüksek korelasyon oranları göstermektedir. 3-D gözenek modellerinden elde edilen gözenek çapı örgü birimindeki toplam boş hacminden hesaplandığından

iplikler arası gözenek çapından daha büyük değerde bulunmuştur ve sonuç olarak bu gözenek boyutundan gerçekleşen hava akış miktarı da deneysel verilerden büyük bulunmuştur. Bu nedenle bir şekil fonksiyonu tanımlanarak 3-D modellerden tahminlenen geçirgenlik sonuçlarında iyileştirme yapılmıştır. 3-D model kumaş modeli 2-D kumaş modeli ile eşit sayıda iplikler arası gözenek içermektedir. 3-D modelden elde edilen akış sonuçlarında düzeltme yapmak amacıyla önerilen şekil fonksiyonu 3-D ortalama gözenek boyutunun 2-D ortalama gözenek boyutuna oranıyla ilişkili olarak Eşitlik 4.2 ile tanımlanmıştır. Buna göre 3-D birim hücre modeli ve 3-D örgü birimi modelleri için revize edilen tahmini hava geçirgenliği sonuçları Tablo 4.29’da yeniden özetlenmiştir.

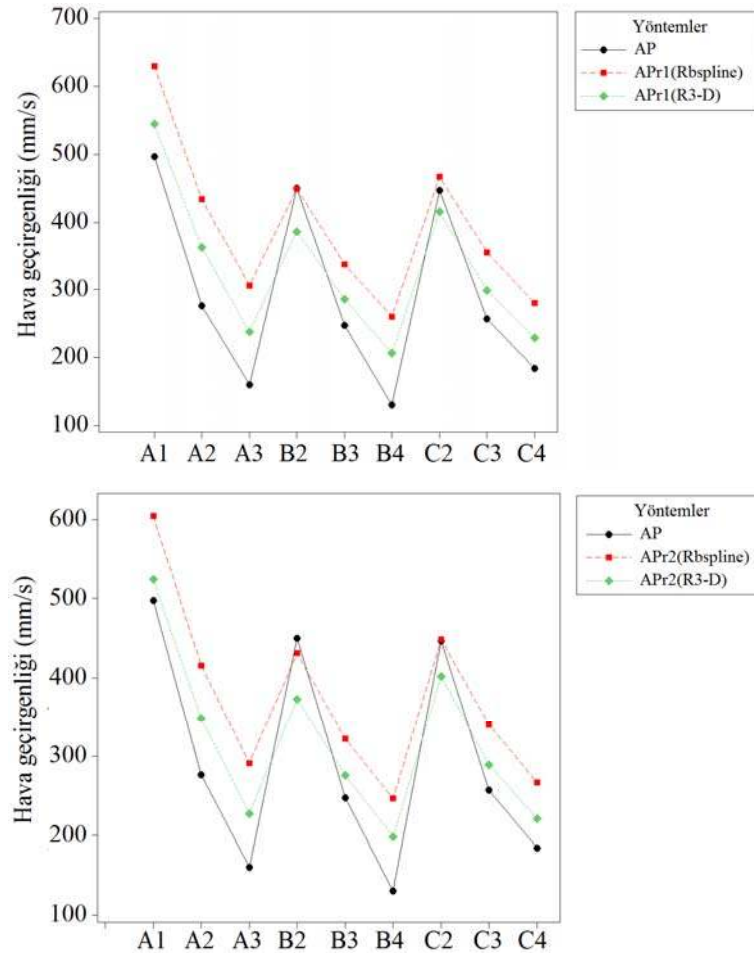
$$\beta = \left(\frac{R_{3-D}}{R_{2-D}} \right)^2 \quad (4.2)$$

Tablo 4.29 3-D modellerin revize edilmiş hava geçirgenliği (AP_r) sonuçları

Kumaş Kodu	İplik içi akış için Py _{S1} oranıyla hesaplanan		İplik içi akış için Py ₁₂ oranıyla hesaplanan	
	AP _{r1} (R _{B-spline})	AP _{r1} (R _{3-D})	AP _{r2} (R _{B-spline})	AP _{r2} (R _{3-D})
A1	629,82	544,54	604,63	524,44
A2	433,76	362,07	415,33	348,25
A3	306,10	237,59	290,95	227,27
B2	449,63	386,14	431,20	372,39
B3	337,26	285,86	322,11	275,70
B4	260,10	205,91	246,29	197,98
C2	466,91	415,39	448,48	401,74
C3	354,97	298,49	339,82	288,52
C4	280,05	228,72	266,24	220,87

3-D modellerin revize edilmiş hava geçirgenliği test sonuçları ve deneysel test sonuçları arasındaki ilişkiler incelendiğinde; gerçek hava geçirgenliği ve 3-D gözenek birim modeli hava geçirgenliği sonuçları (AP_{r1}, AP_{r2}) için korelasyon katsayıları sırasıyla 0,940 ve 0,942 bulunmuştur. Örgü birim modeli için revize edilen sonuçlar (AP_{r1}, AP_{r2}) ve hava geçirgenliği test sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları da sırasıyla 0,919 ve 0,921 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak 3-D modellerden elde edilen iyileştirilmiş tahmini hava geçirgenliği sonuçları gerçek

sonuçlara yakındır ve aralarındaki ilişki istatistiksel olarak %99 güven seviyesinde önemlidir. 3-D modeller farklı örgü tipleri arasındaki farkı tanımlama yeteneğine sahip olduğundan modellerde uygulanan iyileştirme farklı yapılarıdaki kumaşların hava geçirgenliğinin tahminlenmesinde yararlı olmuştur (Şekil 4.38). Tahmini hava geçirgenliği verileri ile deneysel sonuçlar arasındaki fark örgü birim modeli verileri için ortalama % 27 ve 3-D birim gözenek modeli için ortalama % 14 sınırları içindedir. Bu durum da iplik çapı, iplik açıklığı, kumaş kalınlığı parametrelerinin kumaş boyunca ve kalınlığınca değişiminin etkisiyle açıklanmaktadır. Ayrıca uygulanan basınç sırasında kumaş yapısında deformasyonlar da olabileceğinden tahmini ve deneysel sonuçlar arasındaki fark teorik yaklaşım için kabul edilebilir sınırlar içinde olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.38 Hava geçirgenliği test sonucu ve revize edilmiş 3-D model tahmini akış sonuçları arasındaki ilişki

4.4.2 Düzlemsel akışın tahminlenmesi

Çalışmada düzlemsel yönde gerçekleşen akış mekanizmasını tahminlemek amacıyla kumaşın dikey yönlerdeki kapiller emme davranışı teorik olarak modellenmiş ve zamana bağlı olarak iplikler arasında ve iplik içinde gerçekleşen teorik kapiller yükselme değerleri MATLAB®’da yazılan programla hesaplanarak deneysel test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Tablo 2.30’da kapiller akışın hesaplanması için akışkanla ilgili sabitler özetlenmiştir. Hesaplamalarda yerçekimi ivmesi (g) yaklaşık olarak $9,8 \text{ m/s}^2$ olarak alınmıştır. Tablo 4.31’de iplikler arası bölgede kapiller yükselmenin belirlenmesi için dairesel çap için Eşitlik 2.125 ve Eşitlik 2.127 ile tanımlanan iki yaklaşıma göre çözgü ve atkı yönleri için hesaplanan kapiller çaplar ($d_{\text{cyd-d}}$, $d_{\text{cyd-t}}$); ayrıca iki yaklaşıma göre eliptik çap kabulüne göre hesaplanan kapiller çaplar özetlenmiştir.

Tablo 4.30 20°C’de saf suyun özellikleri

Parametreler	Değer
Dinamik viskozite (μ)	$10,03 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
Yoğunluk (ρ)	998 kg/m^3
Yüzey gerilimi (γ)	$7,28 \times 10^{-2} \text{ N/m}$
Temas açısı(pamuk lifi için)	$\cos\theta=0,97$

Kumaş sisteminde iplikler arası bölgede gerçekleşen kapiller emme davranışı tahminlenirken hacimsel gözeneklilik verisi kullanılmıştır. Dairesel çap yaklaşımı için kullanılan hacimsel gözeneklilik verisi 3-D birim gözenek hücre modelinden elde edilen hacimsel gözeneklilik (PV_{td}) verisidir. Eliptik çap yaklaşımı için ise örgü birim modelinden elde edilen hacimsel gözeneklilik verisi ($PV_{\text{B-spline}}$) kullanılmıştır.

Dairesel iplik çapı varsayımı için iplik içi bölgede gerçekleşen akışın tahminlenmesi için lifler arasındaki kapiller gözenek çapı (d_{cf}) Stereo Investigator® ölçüm parametrelerine bağlı olarak belirlenen lifler arası hidrolik gözenek çapına ($d_{\text{hfsI}}= 7,54 \text{ }\mu\text{m}$) eşit kabul edilerek ve deneysel olarak belirlenen çözgü ve atkı kıvrım oranları (k_{m1} , k_{m2}) kullanılarak hesaplanmıştır. Eliptik iplik çapı varsayımı için ise iplik içi bölgede gerçekleşen akışın tahminlenmesi için görüntü analizi

yöntemine göre belirlenmiş hidrolik gözenek çapı ($d_{hf}= 6,52 \mu m$) ve B-spline yönteminden elde edilen kıvrım oranları (k_{t1} , k_{t2}) kullanılarak zamana bağlı olarak kapiller yükselme değerleri tahminlenmiştir.

Tablo 4.31 Kapiller yükselme hesabında kullanılan girdiler

Kumaş Kodu	Teorik dairesel çap varsayımı			
	1.yaklaşım (derinlik=d)		2.yaklaşım (derinlik=t)	
	$d_{cyd1-d} (\mu m)$	$d_{cyd2-d} (\mu m)$	$d_{cyd1-t} (\mu m)$	$d_{cyd2-t} (\mu m)$
A1	136,58	365,77	182,58	488,96
A2	136,58	303,19	182,58	405,29
A3	136,58	255,50	180,10	336,90
B2	136,58	303,19	185,03	410,73
B3	136,58	255,50	185,03	346,13
B4	136,58	216,41	189,84	300,80
C2	136,58	303,19	189,84	421,40
C3	136,58	255,50	192,20	359,53
C4	136,58	216,41	192,20	304,53

Kumaş Kodu	Teorik eliptik çap varsayımı			
	1.yaklaşım (derinlik=b)		2.yaklaşım (derinlik=t)	
	$d_{cye1-b} (\mu m)$	$d_{cye2-b} (\mu m)$	$d_{cye1-t} (\mu m)$	$d_{cye2-t} (\mu m)$
A1	86,17	319,75	126,94	471,02
A2	86,17	260,31	126,94	383,46
A3	86,17	214,06	125,21	311,04
B2	86,17	260,31	128,64	388,61
B3	86,17	214,06	128,64	319,56
B4	86,17	175,02	131,99	268,07
C2	86,17	260,31	131,99	398,70
C3	86,17	214,06	133,63	331,93
C4	86,17	175,02	133,63	271,40

d:teorik dairesel iplik çapı; b: teorik iplik küçük çapı; t:kumaş kalınlığı; d_{cyd} : dairesel iplik çapına göre iplikler arası bölgenin kapiller çapı; d_{cye} : eliptik iplik çapına göre iplikler arası bölgenin kapiller çapı

Dikey emme testi sonucu gerçekleşen kapiller yükselme miktarını tahminlerken kullanılan iplikler arası bölgedeki kapiller çap iplikler arasındaki açıklık, iplik çapı ve kumaş kalınlığı parametrelerine bağlı olarak gözenek bölgesinin birim kesitinden hesaplanmış; çözgü ve atkı ipliklerinin kesişme ve atlama hareketleri sırasında oluşan kapiller çaptaki değişim ihmal edilmiştir. Ancak iplikler arası kapiller yükselme miktarı hesaplanırken hacimsel gözeneklilik oranı kullanıldığından sonuç olarak kapiller yapıdaki değişim dikkate alınmıştır.

Tablo 4.32’de dairesel ϕ varsayımı; Tablo 4.33’te eliptik ϕ varsayımı için farklı kapiller ϕ yaklaşımlarına göre iplikler arası ve iplik içi bölge için hesaplanan kapiller yükselme sonuçlarının ortalamasından elde edilmiş bütünleştirilmiş kapiller yükselme sonuçları zamana bağlı olarak özetlenmiştir. Bütünleştirilmiş kapiller yükselme sonuçları iplikler arası ve iplik içi gözenek bölgesinde dikey yönde gerçekleşen kapiller akış sırasında sıvının ortalama yükselme miktarını göstermektedir. Sıvı kapiller sistemde ilerlerken karşıt durumdaki ipliklerle yapılan kesişmelerden dolayı hem iplikler arası hem de iplik içi gözenek bölgelerinde akış hızı yavaşlamaktadır. Dahası bu iki bölge birbirleriyle ve karşıt durumdaki ipliğin gözenek bölgeleriyle sürekli etkileşim halindedir. Dolayısıyla sistemin akış hızını ve akış sonucu zamana bağlı olarak oluşan kapiller yükselme sonucunu hesaplarken iki gözenek sisteminin hem yapısal hem geometrik özelliklerinin etkisi düşünülerek her biri için ayrı ayrı hesaplanan kapiller yükselme değerlerinin ortalaması alınarak sistemin akış mekanizması sonucu oluşan kapiller yükselme değeri tahminlenmiştir.

Tablo 4.32 Dairesel çap varsayımı için kumaşın zamana bağlı teorik kapiller yükselme (h) sonuçları

Dairesel çap 1. yaklaşım	t (saniye)	Çözü yönünde zamana bağlı teorik kapiller yükselme sonuçları (cm)								
		A1 h1	A2 h1	A3 h1	B2 h1	B3 h1	B4 h1	C2 h1	C3 h1	C4 h1
	10	1,69	1,59	1,43	1,66	1,6	1,5	1,75	1,68	1,61
	30	2,81	2,63	2,38	2,75	2,65	2,50	2,90	2,79	2,67
	60	3,81	3,58	3,24	3,74	3,61	3,4	3,93	3,78	3,62
	90	4,52	4,25	3,86	4,44	4,28	4,04	4,67	4,49	4,31
	120	5,08	4,78	4,34	4,99	4,82	4,55	5,25	5,05	4,85
	180	5,95	5,61	5,11	5,85	5,66	5,34	6,14	5,93	5,68
	240	6,62	6,25	5,7	6,51	6,30	5,95	6,83	6,60	6,33
	300	7,17	6,77	6,19	7,05	6,83	6,45	7,39	7,14	6,86
Dairesel çap 2. yaklaşım	t (saniye)	Atkı yönünde zamana bağlı teorik kapiller yükselme sonuçları (cm)								
		A1 h2	A2 h2	A3 h2	B2 h2	B3 h2	B4 h2	C2 h2	C3 h2	C4 h2
	10	1,96	1,82	1,61	1,9	1,79	1,65	2,01	1,88	1,75
	30	2,75	2,71	2,49	2,82	2,77	2,63	2,97	2,90	2,78
	60	3,26	3,33	3,17	3,46	3,5	3,41	3,63	3,66	3,60
	90	3,56	3,69	3,59	3,83	3,96	3,92	4,01	4,12	4,13
	120	3,8	3,96	3,90	4,10	4,28	4,30	4,28	4,45	4,52
	180	4,19	4,36	4,36	4,51	4,75	4,85	4,70	4,92	5,09
	240	4,52	4,69	4,70	4,84	5,01	5,25	5,03	5,28	5,49
	300	4,81	4,98	4,99	5,13	5,40	5,57	5,32	5,57	5,82
Dairesel çap 2. yaklaşım	t (saniye)	Çözü yönünde zamana bağlı teorik kapiller yükselme sonuçları (cm)								
		A1 h1	A2 h1	A3 h1	B2 h1	B3 h1	B4 h1	C2 h1	C3 h1	C4 h1
	10	1,85	1,73	1,56	1,82	1,75	1,66	1,93	1,86	1,78
	30	3,00	2,82	2,54	2,95	2,84	2,69	3,11	3,00	2,87
	60	3,98	3,74	3,39	3,90	3,77	3,56	4,11	3,95	3,79
	90	4,64	4,37	3,97	4,55	4,40	4,14	4,77	4,59	4,40
	120	5,14	4,85	4,42	5,04	4,88	4,59	5,27	5,08	4,87
	180	5,88	5,56	5,10	5,77	5,59	5,25	6,01	5,79	5,56
	240	6,42	6,08	5,60	6,31	6,12	5,74	6,54	6,32	6,07
	300	6,85	6,50	6,01	6,74	6,54	6,13	6,97	6,73	6,48
Dairesel çap 2. yaklaşım	t (saniye)	Atkı yönünde zamana bağlı teorik kapiller yükselme sonuçları (cm)								
		A1 h2	A2 h2	A3 h2	B2 h2	B3 h2	B4 h2	C2 h2	C3 h2	C4 h2
	10	1,90	1,84	1,67	1,91	1,86	1,76	2,01	1,95	1,75
	30	2,46	2,54	2,45	2,62	2,69	2,63	2,72	2,77	2,82
	60	2,87	2,99	2,98	3,07	3,24	3,26	3,17	3,30	3,72
	90	3,16	3,29	3,32	3,38	3,57	3,63	3,47	3,62	4,32
	120	3,41	3,54	3,57	3,63	3,83	3,91	3,72	3,87	4,77
	180	3,83	3,95	3,98	4,04	4,24	4,33	4,14	4,29	5,44
	240	4,19	4,30	4,33	4,39	4,59	4,68	4,49	4,64	5,93
	300	4,50	4,61	4,63	4,70	4,90	4,98	4,80	4,94	6,32

h1: çözgü yönünde kapiller yükselme değeri; h2: atkı yönünde kapiller yükselme değeri

Tablo 4.33 Eliptik çap varsayımı için kumaşın zamana bağlı teorik kapiller yükselme (h) sonuçları

Eliptik çap 1. yaklaşım	t (saniye)	Çözü yönünde zamana bağlı teorik kapiller yükselme sonuçları (cm)								
		A1 h1	A2 h1	A3 h1	B2 h1	B3 h1	B4 h1	C2 h1	C3 h1	C4 h1
	10	1,59	1,50	1,37	1,55	1,48	1,48	1,62	1,57	1,50
	30	2,70	2,54	2,33	2,64	2,52	2,42	2,74	2,66	2,54
	60	3,75	3,52	3,23	3,66	3,50	3,35	3,80	3,69	3,53
	90	4,52	4,25	3,90	4,42	4,22	4,05	4,59	4,45	4,26
	120	5,16	4,85	4,45	5,03	4,81	4,62	5,23	5,08	4,85
	180	6,18	5,82	5,34	6,04	5,77	5,54	6,27	6,09	5,82
	240	7,01	6,60	6,06	6,85	6,55	6,29	7,11	6,91	6,61
	300	7,72	7,26	6,67	7,54	7,21	6,93	7,83	7,61	7,28
Eliptik çap 1. yaklaşım	t (saniye)	Atkı yönünde zamana bağlı teorik kapiller yükselme sonuçları (cm)								
		A1 h2	A2 h2	A3 h2	B2 h2	B3 h2	B4 h2	C2 h2	C3 h2	C4 h2
	10	2,11	1,96	1,73	2,00	1,85	1,70	2,09	1,96	1,79
	30	3,07	3,00	2,75	3,06	2,93	2,77	3,19	3,10	2,90
	60	3,70	3,77	3,58	3,84	3,80	3,68	3,99	4,01	3,86
	90	4,05	4,24	4,11	4,30	4,36	4,31	4,47	4,59	4,50
	120	4,31	4,56	4,51	4,63	4,77	4,78	4,81	5,02	4,99
	180	4,71	5,03	5,08	5,10	5,35	5,49	5,28	5,62	5,72
	240	5,04	5,39	5,49	5,44	5,77	6,01	5,63	6,05	6,26
	300	5,33	5,68	5,82	5,73	6,11	6,42	5,92	6,39	6,68
Eliptik çap 2. yaklaşım	t (saniye)	Çözü yönünde zamana bağlı teorik kapiller yükselme sonuçları (cm)								
		A1 h1	A2 h1	A3 h1	B2 h1	B3 h1	B4 h1	C2 h1	C3 h1	C4 h1
	10	1,79	1,68	1,52	1,75	1,66	1,60	1,83	1,78	1,70
	30	2,98	2,79	2,54	2,91	2,77	2,67	3,04	2,96	2,82
	60	4,05	3,81	3,47	3,96	3,78	3,63	4,13	4,01	3,83
	90	4,82	4,53	4,14	4,71	4,50	4,32	4,91	4,77	4,55
	120	5,44	5,11	4,67	5,31	5,07	4,86	5,52	5,36	5,12
	180	6,39	6,01	5,51	6,24	5,96	5,72	6,48	6,29	6,01
	240	7,13	6,71	6,16	6,96	6,65	6,38	7,22	7,00	6,69
	300	7,74	7,29	6,70	7,55	7,22	6,92	7,82	7,58	7,25
Eliptik çap 2. yaklaşım	t (saniye)	Atkı yönünde zamana bağlı teorik kapiller yükselme sonuçları (cm)								
		A1 h2	A2 h2	A3 h2	B2 h2	B3 h2	B4 h2	C2 h2	C3 h2	C4 h2
	10	2,02	1,98	1,81	2,02	1,94	1,84	2,10	2,05	1,93
	30	2,61	2,74	2,68	2,77	2,83	2,80	2,85	2,96	2,94
	60	2,99	3,21	3,27	3,23	3,42	3,51	3,30	3,54	3,66
	90	3,26	3,50	3,62	3,51	3,76	3,94	3,58	3,87	4,09
	120	3,49	3,73	3,88	3,74	4,01	4,24	3,81	4,12	4,40
	180	3,88	4,12	4,27	4,12	4,40	4,68	4,20	4,51	4,84
	240	4,21	4,45	4,60	4,43	4,72	5,02	4,52	4,83	5,18
	300	4,49	4,73	4,88	4,71	5,00	5,31	4,80	5,11	5,46

h1: çözgü yönünde kapiller yükselme değeri; h2: atkı yönünde kapiller yükselme değeri

İplikler arası bölgede denge koşulu ($\Delta P=0$) için hesaplanan maksimum kapiller yükselme sonuçları Tablo 4.34'te özetlenmiştir. Kapiller teoriye göre kapiller gözenek çapı arttıkça kapiller basınç azalmakta buna bağlı olarak da akışkanın ilerleyeceği maksimum yükseklik azalmaktadır. Bununla ilişkili olarak kumaş

sisteminde sıklık arttıkça kapiller çap azalmakta ve kapiller basınç arttığından teorik olarak kumaş sisteminden beklenen maksimum yükselme değeri artmaktadır.

Tablo 4.34 İplikler arası bölgede gerçekleşen maksimum kapiller yükselme sonuçları

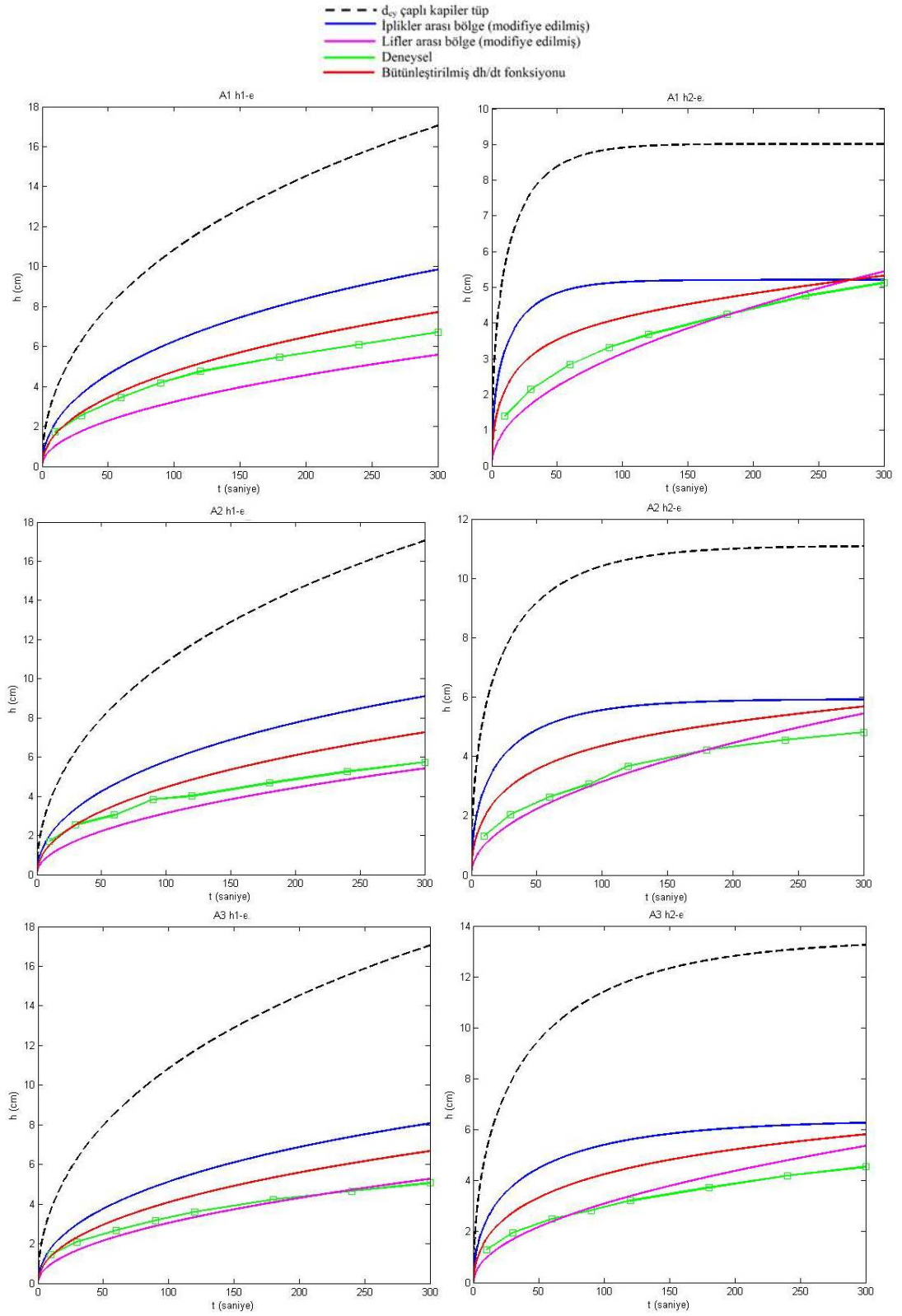
	Kumaş Kodu	1. yaklaşım		2. yaklaşım	
		$h1_{maks}$ (cm)	$h2_{maks}$ (cm)	$h1_{maks}$ (cm)	$h2_{maks}$ (cm)
Teorik dairesel çap	A1	21,15	7,90	15,82	5,91
	A2	21,15	9,53	15,82	7,13
	A3	21,15	11,30	16,04	8,57
	B2	21,15	9,53	15,61	7,03
	B3	21,15	11,30	15,61	8,34
	B4	21,15	13,35	15,21	9,60
	C2	21,15	9,53	15,21	6,85
	C3	21,15	11,30	15,03	8,03
	C4	21,15	13,35	15,03	9,48
	Kumaş Kodu	1. yaklaşım		2. yaklaşım	
		$h1_{maks}$ (cm)	$h2_{maks}$ (cm)	$h1_{maks}$ (cm)	$h2_{maks}$ (cm)
Teorik eliptik çap	A1	33,51	9,03	22,75	6,13
	A2	33,51	11,09	22,75	7,53
	A3	33,51	13,49	23,07	9,29
	B2	33,51	11,09	22,45	7,43
	B3	33,51	13,49	22,45	9,04
	B4	33,51	16,50	21,88	10,77
	C2	33,51	11,09	21,88	7,24
	C3	33,51	13,49	21,61	8,70
	C4	33,51	16,50	21,61	10,64

$h1$: çözgü yönünde kapiller yükselme değeri; $h2$: atkı yönünde kapiller yükselme değeri

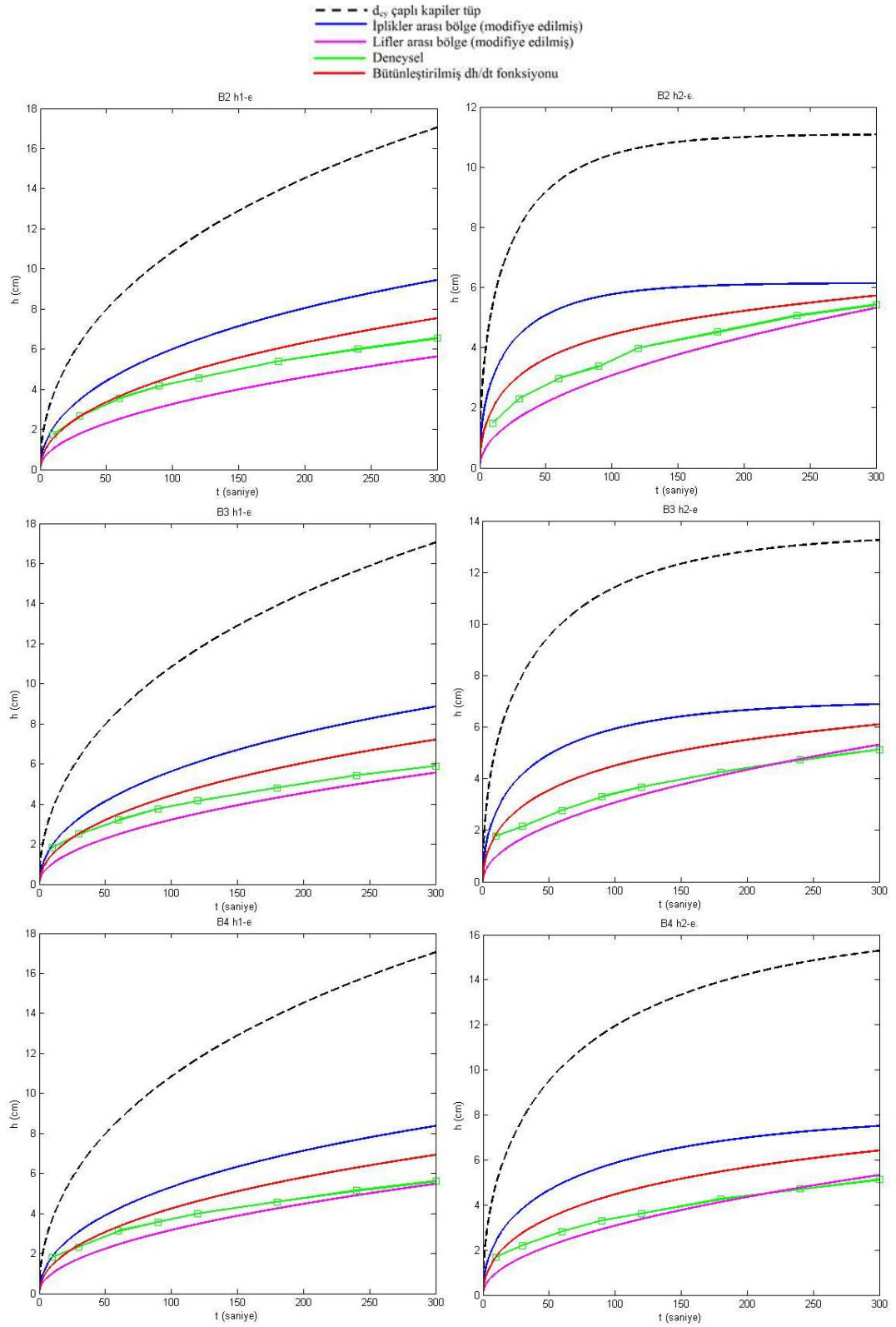
Her kumaş tipi için farklı yaklaşımlara göre teorik olarak elde edilen zamana bağlı kapiller emme yükselme sonuçlarının deneysel sonuçlarla arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelendiğinde tüm yaklaşımlar için aradaki ilişki %99 güven seviyesi için önemli bulunmuştur. Dairesel çap varsayımına göre birinci yaklaşımdan elde edilen sonuçlar ve deneysel sonuçlar arasındaki korelasyon katsayısı 0,977; ikinci yaklaşım sonuçları ve deneysel sonuçlar arasındaki korelasyon katsayısı 0,957 bulunmuştur. Eliptik çap varsayımına göre ise birinci yaklaşımdan elde edilen sonuçlar ve deneysel sonuçlar arasındaki korelasyon katsayısı 0,975; ikinci yaklaşım sonuçları ve deneysel sonuçlar arasındaki korelasyon katsayısı 0,941 bulunmuştur.

Şekil 4.39'da siyah kesikli çizgi (---) iplikler arası bölge için hesaplanan kapiller çapa göre elde edilen kapiller akış mekanizmasını ifade etmektedir. Çözgü ve atkı ipliklerinin yaptığı kesişmelere bağlı olarak 3-D kumaş geometrisi için gözenek

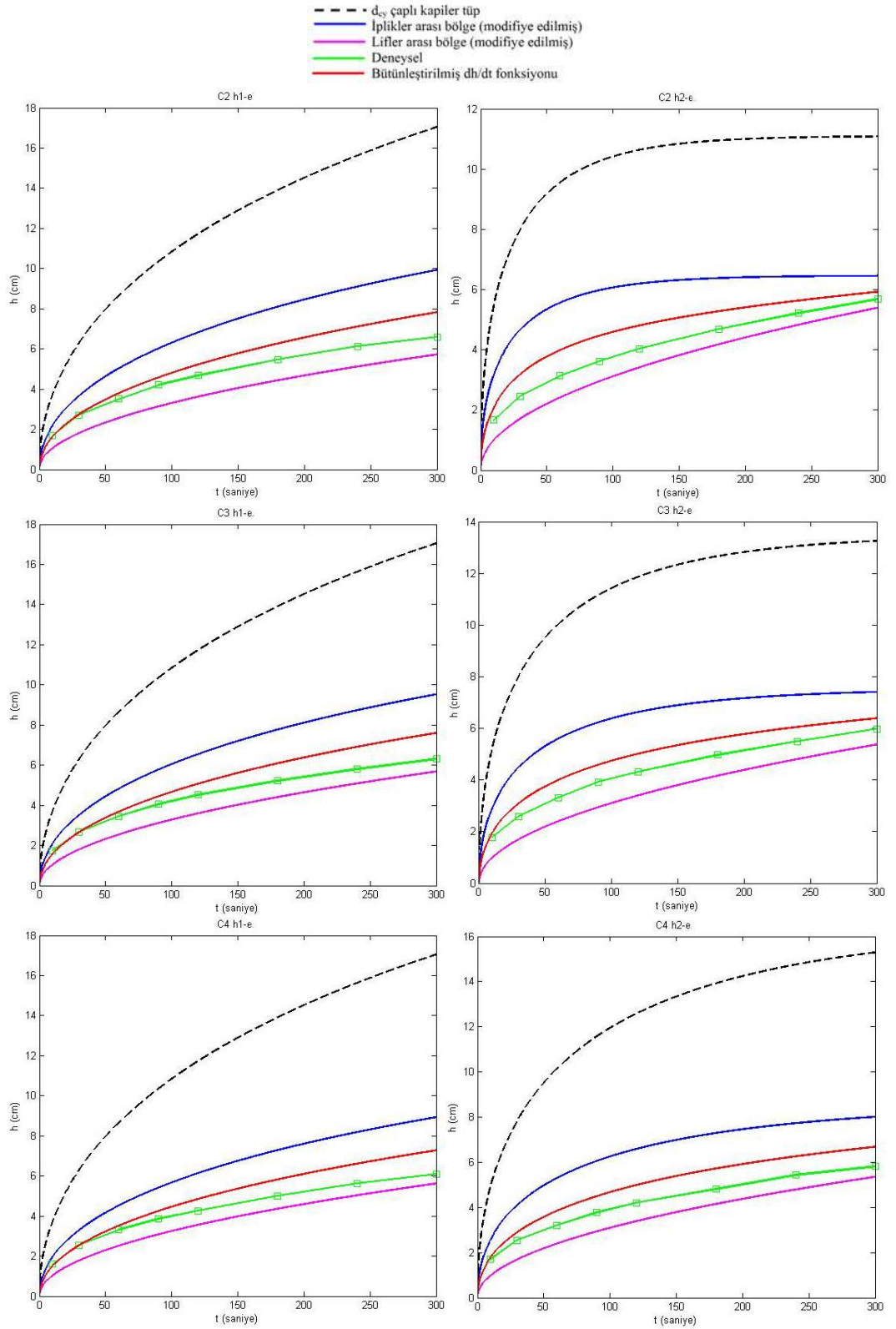
parametresini dikkate alarak hesaplanan iplikler arası kapiller yükselme davranışı mavi çizgi (—) ile gösterilmektedir. Pembe çizgi (—) ipliğin kıvrım oranı dikkate alınarak hesaplanan lifler arasında kapiller yükselme mekanizmasını; yeşil çizgi (—) dikey emme testi sonucu elde edilen deneysel ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Grafiklerde yer alan kırmızı çizgi (—) ise iplikler ve lifler arası bölgelerde gerçekleşen akışı dikkate alarak hesaplanan kapiller yükselmenin zamana bağlı fonksiyonunu göstermektedir. Şekil 4.39'da gösterilen kumaşların iplikler arası kapiller akış davranışı eliptik çap varsayımına göre birinci yaklaşımdan elde edilen kapiller çap ve örgü birim modelinden elde edilen gözeneklilik ($PV_{B-spline}$) kullanılarak hesaplanmıştır. İplik içi kapiller akış ise görüntü analizinden elde edilen verilerle hesaplanan kapiller çap ve B-spline eğrilerinden hesaplanan kıvrım oranları kullanılarak hesaplanmıştır. Kumaşın bütünleştirilmiş tahmini kapiller davranışı iplikler arası ve iplik içi kapiller emme sonuçlarının ortalaması olarak elde edilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi kumaş sisteminin 3-D yapısını dikkate almadan birbirine paralel iki iplik arasındaki kapillerde gerçekleşen yükselme değeri fazladır. Ancak kumaş sistemi çözgü ve atkı ipliklerinin kesişmesiyle oluşmakta ve bu hareketler sıvının düzlem boyunca ilerleme mekanizmasını etkilemektedir. Sıvı sabit bir kapillerde düzleme dikey yönde ilerlerken, kumaş sisteminde dikey yöndeki iplik gruplarına dik yönde yerleşen karşıt durumdaki iplik grupları akışın ilerlemesini yavaşlatmaktadır. Bu durumu tahminleyebilmek için 3-D kumaş yapısının gözeneklilik verisi kullanılarak iplikler arası gerçekleşen akış davranışı tahminlenmiştir. Birinci yaklaşımdan elde edilen iplikler arası kapiller çap kullanılarak hesaplanan kapiller yükselme sonuçlarının deneysel sonuçlarla korelasyon katsayısı daha yüksek olmasına rağmen (0,975) bu yaklaşıma göre elde edilen daha küçük boyuttaki kapiller sistem kapiller emme yüksekliğini arttırmıştır. Bu yüzden tahmini sonuçların (—) deneysel sonuçlarla (—) arasındaki fark daha büyük bulunmuştur (Şekil 4.39).



Şekil 4.39 Her bir kumaş parametresi için eliptik çap varsayımı ile teorik olarak elde edilen dh/dt fonksiyonu

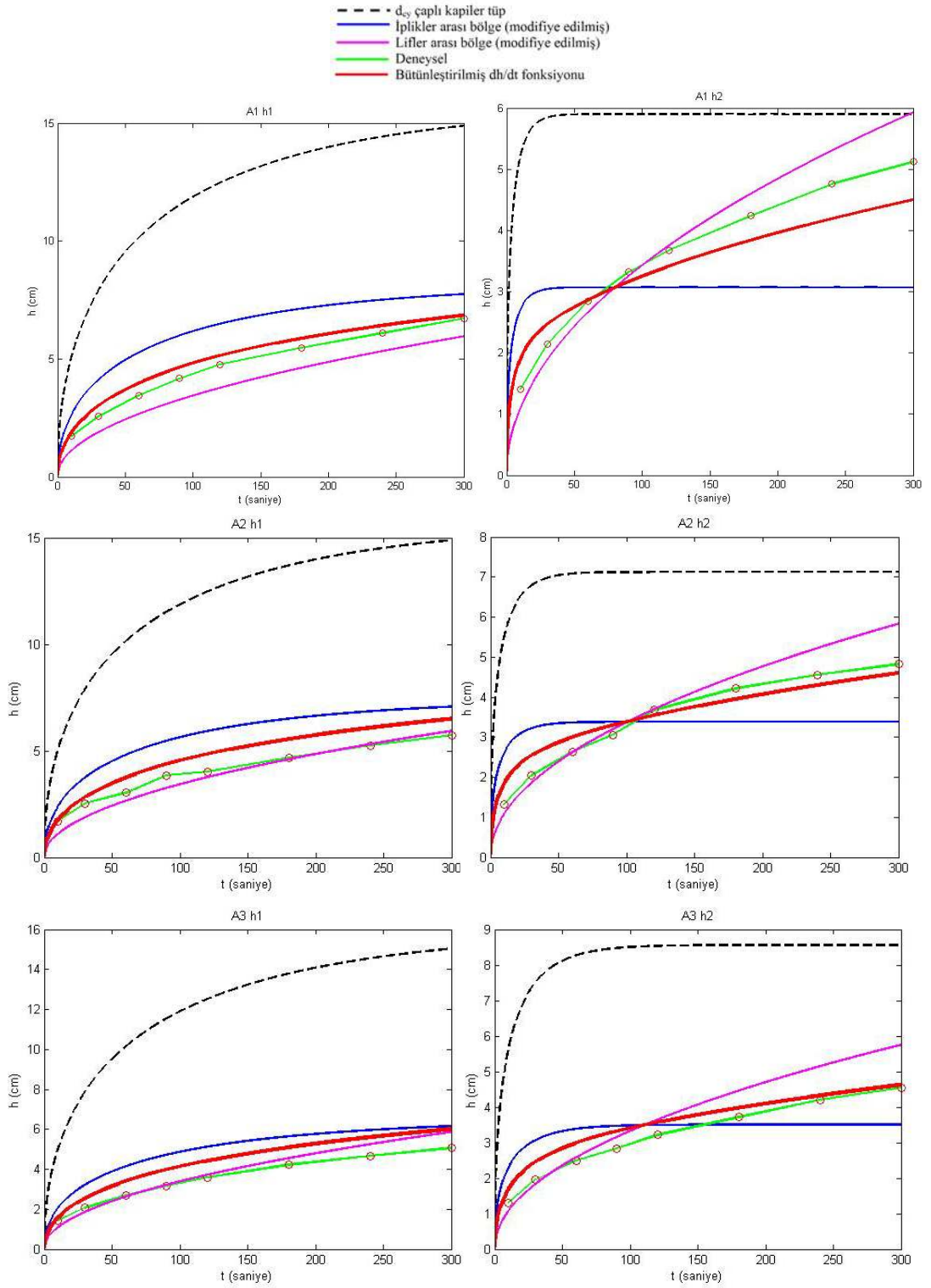


Şekil 4.39 Her bir kumaş parametresi için eliptik çap varsayımı ile teorik olarak elde edilen dh/dt fonksiyonu (devamı)

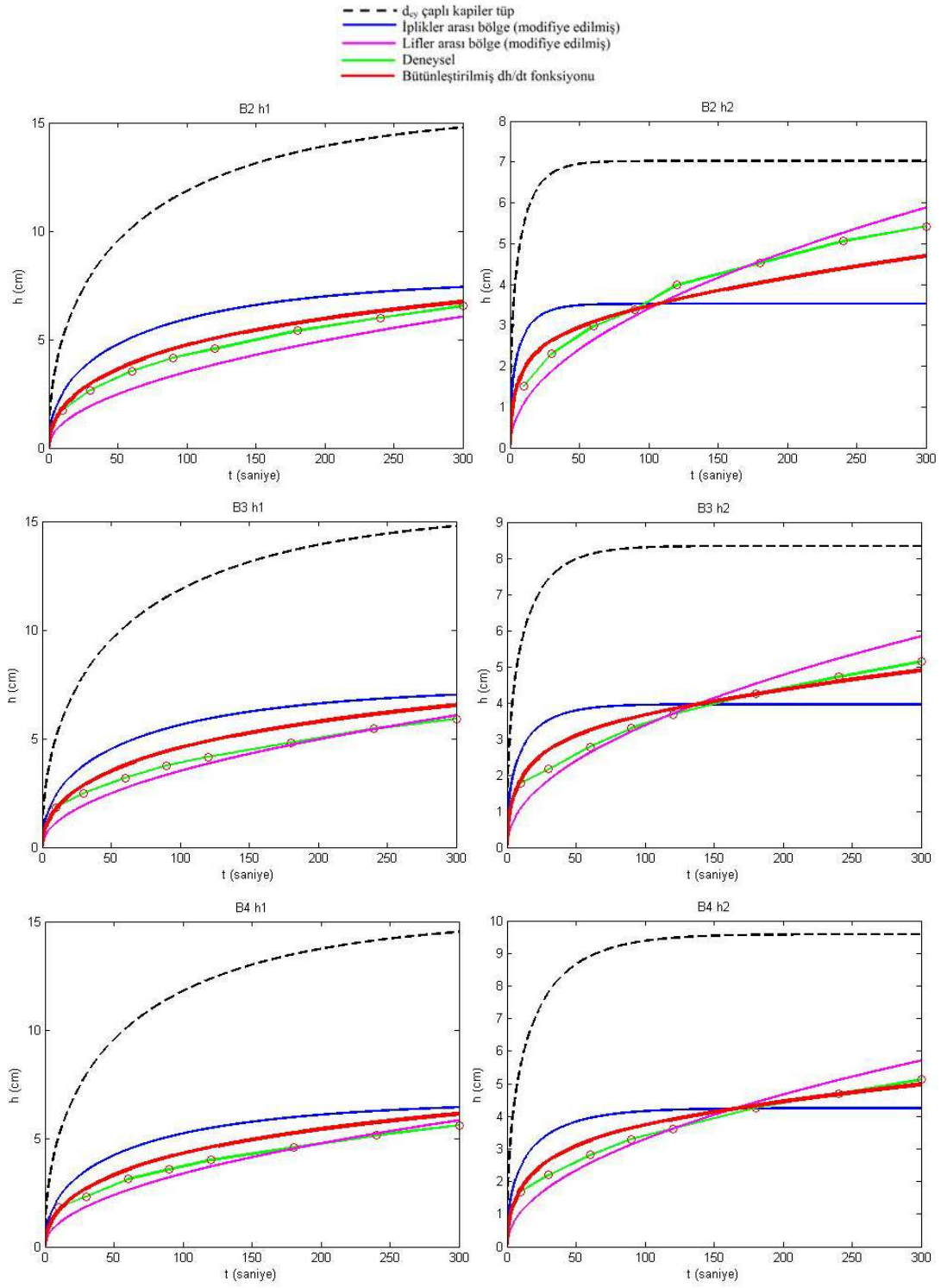


Şekil 4.39 Her bir kumaş parametresi için eliptik çap varsayımı ile teorik olarak elde edilen dh/dt fonksiyonu (devamı)

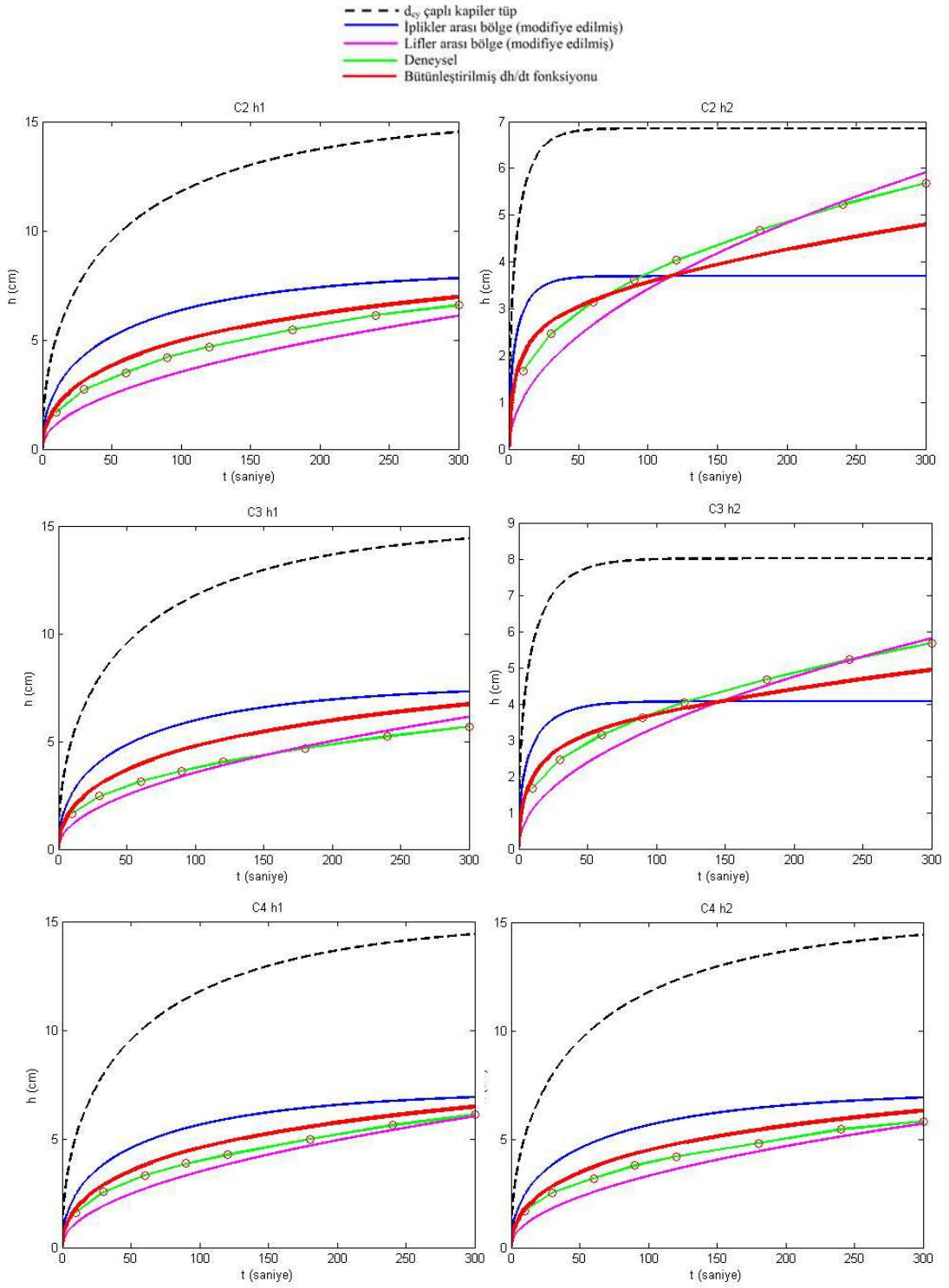
Dairesel iplik çapı varsayımına göre kapiller derinliğini kumaş kalınlığına eşdeğer kabul eden yaklaşım (ikinci yaklaşım) için her bir kumaşın çözgü ve atkı yönü için teorik hesaplamalar sonucu elde edilen iplikler arası ve lifler arası kapiller yükselme sonuçları Şekil 4.40'da gösterilmektedir. Dairesel çap varsayımıyla gerçekleştirilen hesaplamalarda, iplik içi kapiller akış davranışı Stereo Investigator® ölçümleriyle deneysel olarak belirlenen parametrelerden hesaplanan kapiller çap ve ölçülen kıvrım oranları kullanılarak elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kumaş sisteminin 3-D gözenekli yapısını dikkate almadan hesaplanan kapiller emme yükseklik değeri fazladır. Oysa farklı yapısal parametrelerin bir araya gelmesiyle oluşan kumaşın içinde gerçekleşen akış, kumaşı oluşturan yapısal parametrelerin bir fonksiyonu olarak oluşmaktadır. Kumaşın hacimsel gözenekliliği dikkate alınarak hesaplanan iplikler arası akış miktarı kumaşın yapısına bağlı olarak gerçekleşen değişimi yansıttığından önemlidir. Teorik modelden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasındaki ilişki incelendiğinde aralarındaki ilişki hem dairesel hem eliptik çap varsayımları için önemli bulunmuştur. İplikler arası ve iplik içi kapiller davranışlarının ortalaması ile hesaplanan kumaşın bütünleştirilmiş kapiller emme davranışı incelendiğinde çözgü yönünde deneysel sonuçlarla tahmini sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Atkı yönünde iplikler arası kapiller çap sıklıktan dolayı daha büyük olduğundan kumaş içinde gerçekleşen akışın ilerlemesinde lifler arası bölgelerde gerçekleşen akış daha büyük rol oynamakta, iplikler arası bölgeler ise akışın sürekliliği için daha çok rezervuar görevi görmektedir. Grafikler incelendiğinde kumaşın tahmini dh/dt grafiğinin eğiminin zaman içinde deneysel eğimle daha çok benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Sonuç olarak; iplikler arası kapiller çap hesaplanırken kumaş kalınlığının etkisini dikkate alan ikinci yaklaşımdan elde edilen tahmini kapiller emme hareketi Şekil 4.40'da görüldüğü gibi deneysel verilere daha yakın sonuçlar vermiştir. İkinci yaklaşıma göre hesaplanan dairesel ve eliptik çap sonuçları arasındaki korelasyon katsayısı 0,989 bulunmuştur. Eliptik çap varsayımı ile hesaplanan iplikler arası kapiller çap daha küçük olduğundan kapiller emme sırasında oluşan yükselme daha fazla olur. Ancak B-spline verileri ve görüntü analizi yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar iplik numarası, kumaş sıklığı ve kumaş kalınlığı parametrelerine dayanarak teorik akış yüksekliğini deneysel sonuçlara yakın olarak tahminleyebilmiştir.



Şekil 4.40 Her bir kumaş parametresi için ikinci yaklaşıma göre teorik olarak elde edilen kapiller dh/dt fonksiyonu



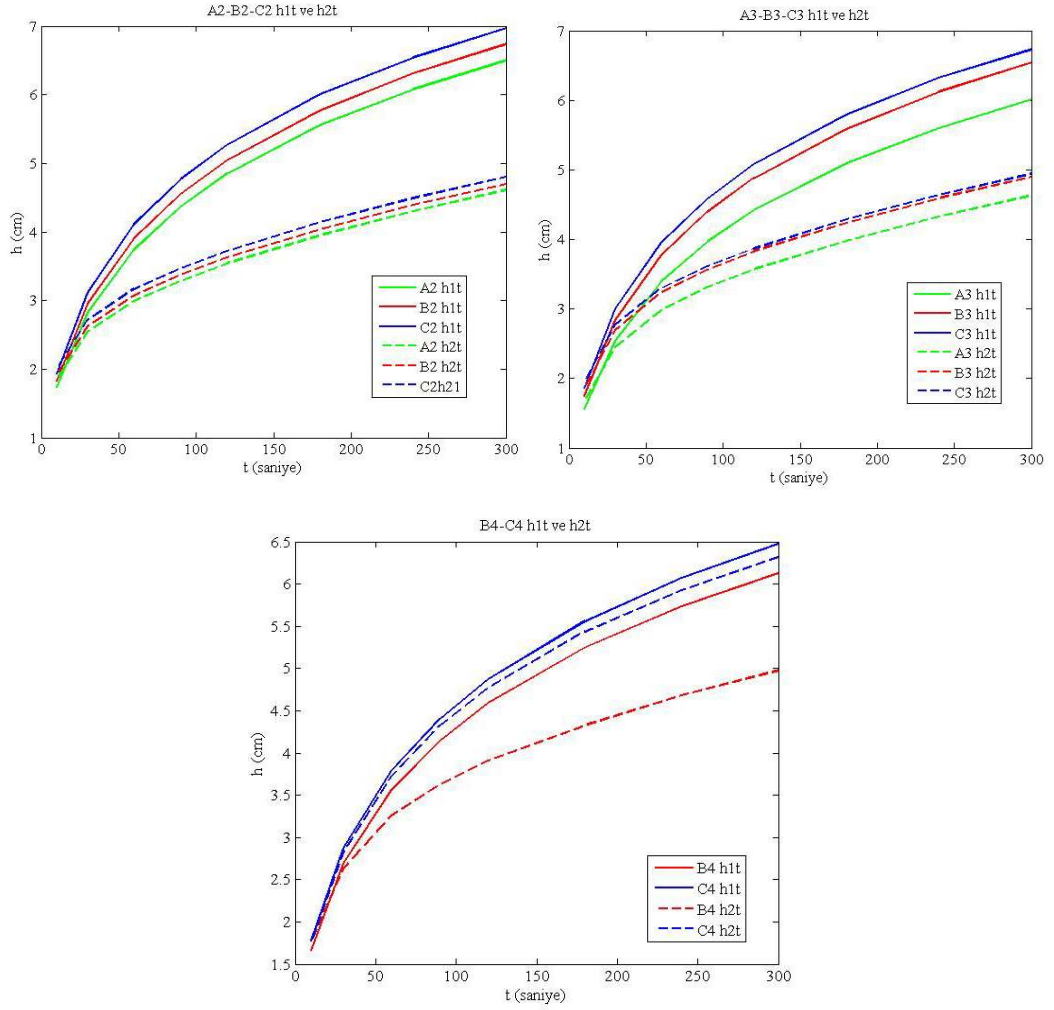
Şekil 4.40 Her bir kumaş parametresi için ikinci yaklaşıma göre teorik olarak elde edilen kapiller dh/dt fonksiyonu (devamı)



Şekil 4.40 Her bir kumaş parametresi için ikinci yaklaşıma göre teorik olarak elde edilen kapiller dh/dt fonksiyonu (devamı)

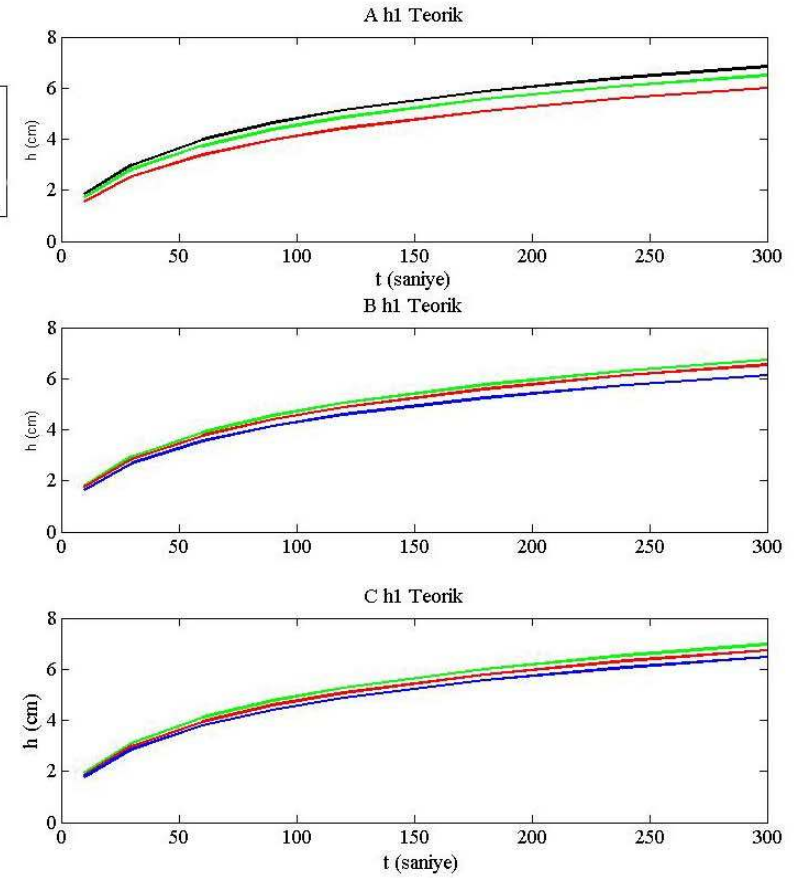
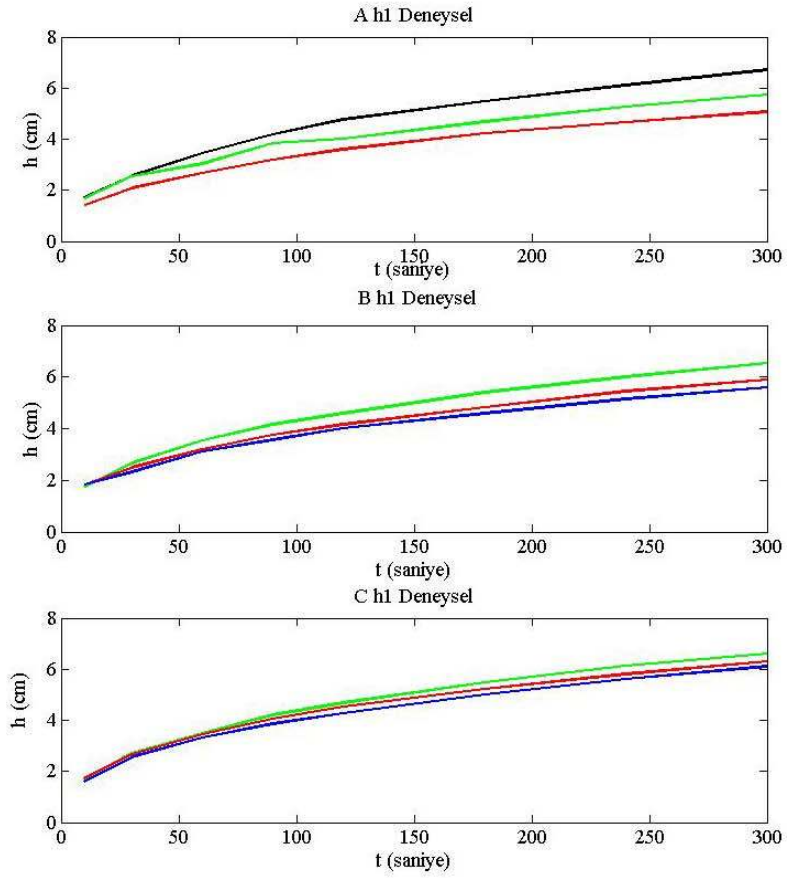
Aynı yapısal parametrelere sahip (iplik numarası, sıklık) farklı örgü tiplerinde kumaşların çözgü ve atkı yönleri için teorik olarak hesaplanan kapiller akış davranışları arasındaki ilişki Şekil 4.41’de gösterilmektedir. Teorik sonuçlar (Şekil

4.41) ile deneysel sonuçlar (Şekil 4.24) aynı eğilimi göstermektedir. Aynı sıklıkta kapiller yükselme miktarı dolayısıyla akış hızı (dh/dt) en fazla olan gözenekliliği daha fazla olan 3/1 dimi kumaş (C); en az olan da sürekli iplik kesişmelerinden dolayı hacimsel gözenekliliği en az olan bezayağı kumaştır (A).



Şekil 4.41 dh/dt için aynı sıklığa, farklı örgü tiplerine sahip kumaşlar arasındaki ilişki

Aynı örgü tipinde farklı sıklıklara sahip kumaşlarda ise hem deneysel hem teorik sonuçlar sıklık arttıkça akış hızının (dh/dt) azalacağını göstermektedir (Şekil 4.42).



Şekil 4.42 Çözgü yönü için deneysel ve teorik kapiller yükselme verileri.

Deneysel verilerden elde edilen kapiller yükselme fonksiyonu ile iplikler arası ve lifler arası bölgeler için teorik olarak hesaplanan verilerin grafikleri incelendiğinde deneysel sonuçların özellikle atkı yönünde daha çok lifler arası bölgelerdeki akışa benzerlik gösterdiği görülmüştür. Sıvı transferinde lifler arası gözenekli bölgelerin akışın ilerlemesini ve yayılmasını sağladıkları kapiller basınçla desteklediği bilinmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi sıvı ile ilk temas zamanlarında kapiller yükselme tahmini iplikler arası kapiller bölgenin gösterdiği davranışa yakın bir hareket göstermekte, ilerleyen zamanlarda ise eğim iplik içi tahmini akış davranışına benzemektedir. Dolayısıyla sıvı öncelikle daha büyük gözenek çapına sahip iplikler arası bölgelere dolmakta; zaman içinde bu bölgelerdeki ilerleme yavaşlarken akışkanın ilerlemesinde lifler arası gözenekli bölgeler etkili olmaktadır.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçların değerlendirilmesi

Kumaş içinde gerçekleşen akış sonucu ortaya çıkan ve “*kumaş geçirgenliği*” olarak adlandırılan performans özelliği, başta kumaşın gözenek özellikleri olmak üzere çevresel faktörlerin ve kumaş içinden geçen akışkan maddenin özelliklerinin bir fonksiyonudur. Kullanım yerine göre maruz kalacağı koşullar bilinen bir kumaşın geçirgenlik performansının kontrolü, kumaşın yapısal özelliklerinin belirlediği gözenek özelliklerinin kontrol edilmesi ile sağlanabilir. Ancak farklı parametrelerin bir araya gelmesi ile oluşan dokuma kumaşlar homojen olmayan karmaşık bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla birçok farklı faktörün değişik kombinasyonlarla bir araya gelmesiyle oluşan kumaş yapısının geçirgenlik performansı da yapısal ve geometrik özelliklere göre değişen üç boyutlu (3-D) karmaşık bir mekanizmadır. Bu amaçla, bu çalışmada öncelikle 3-D kumaş yapısını oluşturan yapısal faktörlerin analiz edildiği; daha sonra yapısal ve geometrik faktörlere bağlı olarak oluşan gözenek özelliklerinin farklı yaklaşımlara göre tanımlandığı; son olarak da farklı yöntemlerle elde edilen gözenek özelliklerine bağlı olarak geçirgenlik özelliklerinin tahminlendiği ve bulguların deneysel sonuçlarla ilişkilerinin incelendiği sistematik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

5.1.1 Yapısal özellikler

Kumaşın 3-D yapısını oluşturan temel yapısal parametreler hammadde ve iplik özellikleri ile kumaş özellikleridir. Çalışmada çözü ve atkı yönünde aynı iplik kullanılarak üç farklı örgü yapısına ve üçer farklı atkı sıklığına sahip dokuz tip kumaş üretilmiştir. Belirli bir örgü tipine ve sıklığa sahip kumaşta, kumaşın 3-D yapısını oluşturan en önemli yapısal parametrelerden biri iplik çapıdır. Teorik bir yaklaşımla dairesel ve eliptik iplik çapları tanımlanmış; iplik çapının deneysel olarak belirlenmesi amacıyla her kumaş tipinde kumaşın düzlemsel ve enine kesit

görüntüleri üzerinden ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde teorik sonuçların ölçüm değerlerinden daha küçük olduğu gözlenmiştir. İpliğin hem kendi içinde uzunluğu boyunca değişime sahip olması hem de kumaş içinde uygulanan kuvvetler ve diğer yapısal faktörlerle etkileşim sonucu değişim göstermesi yapısal özelliklerinin teorik olarak modellenmesini zorlaştırmaktadır.

Elde edilen kumaş enine kesit görüntüleri incelendiğinde iplik kesit şekli ve boyutunun örgü içinde farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir. Teorik çalışmalarda genel olarak ipliğin kumaş içinde izlediği yol boyunca sabit homojen bir yapıda olduğu kabul edilmektedir. Teorik çalışmalarda iplik yapısı ile ilgili yapılan bu kabulden kaynaklı hataların derecesini ayrıntılı olarak analiz etmek amacıyla, her kumaş tipinde örgü birimi boyunca yer alan ipliğin enine kesit boyutundaki değişim kumaşın enine kesit görüntüleri üzerinde ipliğin bulunduğu konum dikkate alınarak yapılan ölçümler ile belirlenmiştir. Örgü birimi içinde yer alan ipliğin enine kesit görüntülerinin incelenmesi ile ipliğin enine kesit şekli ve boyutlarındaki değişim gerçek görüntüler üzerinden yapılan ölçümlerle istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. İplik enine kesitinin boyutları ve şekli örgü tipi ve kumaş sıklığına bağlı olarak şekillenen kumaş geometrisine göre değişim göstermektedir. Çalışmada kumaş içinde yer alan ipliğin örgü tipine bağlı olarak izlediği yol boyunca şeklindeki değişim açıklanmıştır. Aynı zamanda sıklığın iplik çap ve şekil değişimine etkisi belirlenmiştir. Her iki yapısal parametre de ipliğin izlediği yolu ve enine kesit şeklini temas noktalarında uygulanan kuvvetler ile belirlemektedir. Artan sıklık daha büyük yassılma oranına neden olmaktadır. Temas noktalarındaki dikey kuvvetler eliptik şekiller üretirken, yüksek sıklıklarda artan yanal kuvvetler ipliği sıkıştırarak enine kesit şeklinin dairesele yaklaşmasına neden olmaktadır. Bunun yanında örgü tipi ipliğin izlediği yol boyunca ipliğin enine kesit şeklini belirlemektedir. Örgünün farklı noktalarında (kesişme bölgesi veya atlama bölgesi) yer alan ipliğin enine kesit şekli komşu ve karşıt ipliklerin temas noktalarında uyguladıkları kuvvetlerden etkilenmektedir. Farklı örgü tiplerinin incelenmesi atlama hareketi sırasında iplik yassılma oranının değişiminin analiz edilmesini sağlamıştır. Yapısal parametrelere bağlı olarak iplik, kumaş içindeki hareketi boyunca yaklaşık elips ve dairesel kesitler almaktadır. Sonuçlar, yapılan teorik çalışmalarda iplik çapının sabit kabul

edilmesinden kaynaklanan hataları ortaya koymak açısından görsel ve istatistiksel veriler sunmaktadır.

Teorik olarak hesaplanan iplik açıklığı verileri de örgü tipine bağlı olarak ölçüldüğünde atlama ve kesişme bölgelerinde uygulanan kuvvetlerden dolayı iplikler arası mesafede aynı kumaş içinde değişim olduğu gözlenmektedir. Ancak model çalışmalarında bu parametre de sıklığa bağlı olarak değerlendirildiğinden bir hata kaynağı oluşturmaktadır.

5.1.2 Farklı yaklaşımlarla elde edilen gözenek özellikleri ile geçirgenlik sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapısal özellikler ile geçirgenlik özellikleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde kumaş sıklığındaki artışın tüm örgü tiplerinde kumaşın hava geçirgenliği test sonuçlarında ve dikey emme testi sonuçlarında azalmaya neden olduğu gözlenmiştir. Aynı iplik numarası ve sıklıklara sahip farklı örgü tipindeki kumaşlar incelendiğinde de kumaşların geçirgenlik test sonuçları arasında fark olduğu gözlenmiştir. Yani örgü tipine bağlı olarak kumaşı oluşturan kesişme düzeni kumaşın geçirgenlik davranışında önemli bir rol oynamaktadır.

Çalışmada farklı yöntemlere göre tanımlanan gözenek özelliklerinin yapısal parametrelerle ve deneyler sonucu elde edilen geçirgenlik özellikleriyle arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Kumaşın gözenek yapısı iplikler arası gözenek bölgeleri ve iplik içi gözenek bölgeleri olmak üzere iki bölgeye ayrılarak ayrı ayrı tanımlanmış ve her iki bölge için de hem geometrik yöntemlerden hem de görüntü analizi yönteminden yararlanarak gözenek özellikleri belirlenmiştir.

5.1.2.1 Geometrik modeller ve görüntü analizi yöntemi

Çalışmada iplikler öncelikle monofilament, geçirimsiz yapılar olarak modellenerek iplikler arası gözenek özellikleri oluşturulan 2-D ve 3-D gözenek hücre modelleri ve 3-D birim örgü modeli ile tanımlanmıştır. Modellerde kullanılan yapısal

parametreler olarak hem teorik veriler hem de deneysel verilerden yararlanılmıştır. Teorik verilerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde 2-D birim gözenek hücre modelinde farklı örgü tipleri arasında farkın olmadığı, çünkü kesişme birimlerinin izdüşümünü inceleyen bu modelde ipliğin yaptığı hareketin bir önemi olmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle kumaşların 2-D birim gözenek hücre modellerinden elde edilen gözeneklilik sonuçları ile hava geçirgenliği test sonuçları arasındaki ilişki istatistiksel olarak önemli olmasına rağmen, 2-D model farklı örgü tipleri arasındaki geometrik farklılığa bağlı olarak gerçekleşen geçirgenlik sonuçları arasındaki farkı yansıtamamaktadır. 3-D birim gözenek hücre modeli ile 3-D örgü birimi modelleri ise yapısal parametreler ile oluşan kumaş geometrisinin özelliklerini tanımladığından farklı örgü tiplerinin geçirgenlik sonuçları arasındaki farkı daha iyi ayırt edebilmektedir. Buna göre aynı sıklığa ve iplik numarasına sahip bezayağı, 2/1 dimi ve 3/1 dimi kumaşlar arasında gözenekliliği en az olan kumaş yapısı sürekli kesişme biriminden oluşan bezayağı kumaştır. Bezayağı kumaşta sürekli kesişmelerden dolayı gerek 3-D gözenek birim hücrede gerekse 3-D örgü biriminde iplik hacmi ve akışa direnç gösterecek iplik yüzey alanı daha fazladır. Bu nedenle bu kumaşlarda hem düzleme dik yönde gerçekleşen geçirgenlik (hava geçirgenliği test sonuçları) hem de düzlemsel yönde gerçekleşen akış (dikey emme test sonuçları) daha düşüktür. Uzun atlamalara sahip 3/1 dimi kumaşlar ise aynı yapısal parametrelere sahip diğer kumaşlardan daha fazla gözenekliliğe; dolayısıyla da daha fazla geçirgenliğe sahip olarak bulunmuştur. 3-D modellerden elde edilen teorik gözenek özellikleri sonuçları deneysel verilerden elde edilen sonuçları desteklemektedir.

Kumaşın yüzey görüntülerinden görüntü analizi yöntemi ile elde edilen iplikler arası gözenek parametreleri aslında kumaş yüzeyi boyunca gerek iplik çapı gerekse iplik açıklığı açısından değişimi yansıttığından gerçekçi sonuçlar sunmaktadır. 2-D ve 3-D modellerle karşılaştırıldığında görüntü analizi yönteminin avantajları iplikler arası bölgenin gözenekliliği, gözenek boyutu ve gözenek boyut dağılımı hakkında bilgi almak için istatistiksel olarak objektif, kolay ve hızlı bir yöntem olmasıdır. Ancak, bu avantajlara rağmen 2-D bir yaklaşım olan görüntü analizi yöntemi 3-D iplik geometrisinin etkisini tanımlayamadığından örgü tipi ve gözenek özellikleri arasındaki ilişkiyi yansıtamamaktadır. Geçirgenlik test sonuçları ile gösterdiği

yüksek korelasyon katsayılarına rağmen bu yöntemlerin farklı örgü tiplerinin geçirgenlik ve gözeneklilikleri arasındaki farkı gösterme yeteneğine sahip olmadığı bulunmuştur. Aynı yapısal özelliklere sahip farklı örgü tiplerinin geçirgenlik sonuçları arasındaki fark, 3-D akış mekanizmasının sadece gözeneklilik ve gözenek boyutundan değil aynı zamanda kumaşın 3-D geometrik özelliklerinden de etkilenen karmaşık bir mekanizma olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, 3-D modeller, geçirgenlik özellikleri gözenek parametreleri ile tahminlenirken her zaman dikkate alınmalıdır.

3-D birim örgü modelleri özellikle dimi örgü yapısına sahip kumaşlarda dimi örgülerin karakteristik özelliği olan ipliğin atlama bölgesindeki eğikliğini de yansıttığından daha gerçekçi kumaş modelleri vermiştir. Modelden elde edilen gözenek özelliklerinin deneysel geçirgenlik sonuçları ile ilişkisi yüksek olduğundan 3-D birim örgü modellerinin kumaşın geçirgenlik özelliklerinin tahminlenmesinde önemli bir veri kaynağı olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada kumaş geçirgenliği ve gözenekliliği ile ilgili teorik araştırmalarda genellikle ihmal edilen bir parametre olan lifler arası gözenekliliğin tahminlenmesi için görüntü analizi yöntemine dayanan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Ayrıca lif ve iplik parametreleri kullanılarak iplik gözenekliliğinin teorik olarak tahminlenmesi için çalışmalar yapılmış ve elde edilen tüm sonuçlar Stereo Investigator® programı ile ölçülen deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Görüntü analizi yöntemi dikkat gerektiren kesit hazırlama çalışmalarına rağmen lif ve iplik ile ilgili değişim parametrelerini içinde barındırdığından iplik içi gözenekliliği hızlı, kolay ve başarılı bir şekilde tahminleyebilmektedir.

5.1.2.2 Tahmini geçirgenlik sonuçları

Kumaş içinde gerçekleşen akış mekanizması kumaş düzlemine dik yönde ve kumaş düzlemi boyunca gerçekleşen 3-D karmaşık bir mekanizmadır. Kumaşın geçirgenlik özelliklerini tahminlemek amacıyla öncelikle iplikler arası ve iplik içinde gerçekleşen akış ayrı ayrı belirlenmiş, daha sonra her iki gözenek bölgesinde oluşan

akış birlikte değerlendirilerek kumaşın geçirgenlik özellikleri tanımlanmıştır. Kumaşın geçirgenlik özellikleri teorik olarak hesaplanırken kullanılan klasik Darcy, Poiseuille ve Lucas-Washburn eşitlikleri modellerden elde edilen gözenek özellikleri dikkate alınarak modifiye edilmiş ve böylece tahmini geçirgenlik sonuçları kumaşın yapısal parametrelerinin etkisi dikkate alınarak elde edilmiştir.

Kumaşın hava geçirgenliği genel olarak kumaş düzlemine dik yönde gerçekleşen akışın sonucudur. Buna bağlı olarak, tahmini hava geçirgenliği sonuçlarında etkili parametreler iplikler arası gözenek çapı, lifler arası gözenek çapı, iplik çapı, kumaş kalınlığı ve 3-D yapının özelliklerini yansıtan iplikler arası ve iplik içi gözeneklilik parametresidir. Kumaşın tahmini hava geçirgenliği birim gözenek hücrelerinde iplikler ve lifler arası bölgelerde kumaş düzlemine dik yönde gerçekleşen akışın toplamı olarak elde edilmiştir. Farklı yöntemlere göre tahminlenen toplam hava geçirgenliği verileri incelendiğinde 2-D modellerden elde edilen sonuçların farklı örgü yapıları arasındaki farkı ortaya koymada yetersiz olduğu gözlenmiştir. Ayrıca 2-D modellerden elde edilen hava geçirgenliği sonuçları gerçek sonuçlardan oldukça düşük hesaplanmıştır. Hacimsel yaklaşımla 3-D modellerden elde edilen gözenek boyutları ise daha büyük olduğundan 3-D modellerden elde edilen tahmini geçirgenlik değerleri yüksek bulunmuştur, ancak bu veriler farklı örgü tipleri arasındaki değişimi yansıtmaktadır. Bu bulgular dikkate alınarak, 2-D modelden ve 3-D modelden elde edilen gözenek çapları arasındaki ilişki ile tanımlanan β şekil fonksiyonu ile tahmini hava geçirgenliği verileri revize edilmiş ve elde edilen sonuçların deneysel bulgulara daha yakın olduğu görülmüştür.

Kumaş içinde gerçekleşen düzlemsel akış sonuçları ise kapiller akış teorisine bağlı olarak tahminlenmiştir. Bu amaçla iplikler arasında ve lifler arasında gerçekleşen akış, öncelikle iplikler ve lifler arası bölgelerdeki kapiller çapa bağlı olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. İplikler arasındaki kapiller yükselme tahminlenirken iplik kesişmelerinden dolayı kapiller çapta gerçekleşen değişimi tanımlamak amacıyla kumaşın hacimsel gözeneklilik parametresi kullanılmıştır. İplik içinde gerçekleşen akış tahminlenirken ise 3-D kumaş yapısına bağlı olarak oluşan ipliğin kumaş içindeki kıvrım oranı dikkate alınarak kapiller yükselme değeri hesaplanmıştır. Her

iki bölgede gerçekleşen kapiller emme sonucu ortaya çıkan kumaşın kapiller emme davranışı bu iki veri kaynağının ortalaması olarak değerlendirilerek kumaşın bütünleştirilmiş kapiller hareketi tahminlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen tahmini kapiller emme davranışı, dikey emme test sonuçları ile yüksek korelasyon katsayıları göstermektedir.

5.2 Öneriler

Bilgisayar uygulamalarının ve yazılımlarının arttığı ve istenen performansa sahip daha etkin ürünler üretebilmek için zaman, maliyet gibi faktörlerin önem kazandığı son yıllarda performans özelliklerini kumaşın yapısal özelliklerine bağlı olarak tahminlemek için kumaşın 3-D yapısını en iyi şekilde yansıtacak modeller önermek önem kazanmıştır. Yapılan bu çalışma özellikle dimi örgülerin karakteristik özelliği olan eğikliği de dikkate aldığından, elde edilen 3-D kumaş yapısının özellikleri geçirgenlik performansının değerlendirilmesinde önemli bir veri kaynağıdır. Teorik çalışmalarda karşılaşılan başlıca hata kaynağı ipliğin ve yapının kumaş boyunca ve kalınlığınca uniform olarak kabul edilmesidir. Bu nedenle, ileriki çalışmalarda iplik yapısıyla ilgili değişimin 3-D kumaş modellerinde dikkate alınmasının daha gerçekçi kumaş modelleri elde etmeyi sağlayacağı düşünülmektedir.

Kumaşın yüzeysel ve enine kesit görüntüleri kullanılarak görüntü analizi yöntemiyle elde edilen veriler kumaş içindeki değişim hakkında objektif ve hızlı bir şekilde istatistiksel bilgi verdiğiinden görüntü analizi sisteminin geliştirilerek kumaş yapısının 3-D olarak tanımlanmasında kullanılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, CFD gibi bilgisayarlı akış sistemlerinde 3-D gerçekçi kumaş modelleri kullanılarak kumaş içinde düzleme dik ve düzlemsel yönlerde gerçekleşen 3-D akış mekanizmasının daha gelişmiş olarak tahminlenebileceği düşünülmektedir.

Son yıllarda tekstil ürünleri üretim yöntemlerinde ve ürün çeşitlerinde önemli gelişmeler olmuştur. Kumaş üretiminde kullanılan farklı hammaddeler (örneğin elastanlar, özel nitelikli liflerden yapılan iplikler) ve farklı kumaş yapıları geçirgenlik

özellikleri hakkında bilinenleri yetersiz kılmaktadır. Bu nedenle, farklı yapısal faktörlerin, özellikle de farklı hammaddelerin kumaşın geçirgenlik özelliklerine etkisinin geniş kapsamda incelendiği çalışmalara gerek duyulduğu düşünülmektedir. Ayrıca kumaşa uygulanan terbiye işlemlerinin geçirgenlik ve gözenek özelliklerine etkisini inceleyen çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Kumaşın geçirgenlik gibi performans özellikleri düşünülürken problemin kapsamlı olarak ele alınması gerekmektedir. Örneğin, kumaşlar kullanım sırasında çeşitli deformasyonlara uğramakta ve bu etkiler sonucu kumaş geometrisi ve dolayısıyla da geçirgenlik özellikleri değişebilmektedir. Kullanım sırasında karşılaşılan koşullar ve deformasyonlar sonucunda oluşan değişimle ilgili çalışmalar yapılmasının bu alandaki bilgi birikimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abel, A.B., Willis, K.L. ve Lange, D.A. (1999). Mercury intrusion porosimetry and image analysis of cement-based materials. *Journal of Colloid and Interface Science*, 211, 39-44.
- Adanur, S. ve Liao, T. (1998). 3D modeling of textile composite preforms. *Composites Part B*, 29, 787-793.
- Alamdard-Yazdi, A. (2004). Weave structure and skewness of woven fabric. *Research Journal of Textile and Apparel*, 8 (2), 28-33.
- Alamdard-Yazdi, A. (2005). Behaviour of the twill weave woven fabric during relaxation. *Fibers and Polymers*, 6 (4), 306-312.
- Alamdard-Yazdi, A. ve Heppler, G.R. (2011). Cross-sectional shapes of the yarn in cotton gray woven fabric. *Journal of Textile Institute*, 102 (3), 248-262.
- Anandjiwala R.D. ve Boguslavsky, L. Development of needle-punched nonwoven fabrics from flax fibers for air filtration applications. *Textile Research Journal*, 78 (7), 614-624.
- Ariadurai, S.A., Potluri, P. ve Whyte, I.L. (1999). Modeling the in-plane permeability of woven geotextiles. *Textile Research Journal*, 69 (5), 345-351.
- Ashenhurst, T.R. (1884). *A treatise on textile calculations and the structure of fabrics*. 5th ed. London: J. Broadbent and Co.
- Aydilek, A.H., Oguz, S.F. ve Edil, T.B. (2002). Digital image analysis to determine pore opening size distribution of nonwoven geotextiles. *Journal of Computing in Civil Engineering*, October, 280-290.
- Backer, S. (1951). The relationship between the structural geometry of a textile fabric and its physical properties: Part IV: Interstice geometry and air permeability. *Textile Research Journal*, 21, 703-714

- Bartels, V.T. ve Umbach, K.H. (2002). Water vapor transport through protective textiles at low temperatures. *Textile Research Journal*, 72 (10), 899-905.
- Başer, G. (2008). *Tekstil mekaniğinin temelleri cilt I: Lif ve iplik mekaniği* (1. Baskı). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi basım ünitesi.
- Belkacemi K. ve Broadbent, A.D. (1999). Air flow through textiles at high differential pressures. *Textile Research Journal*, 69, 52-58.
- Belov, E.B. , Lomov, S.V., Verpoest, I, Peters, T, Roose, D., Parnas, R.S., Hoes, K. ve Sol H. (2004). Modelling of permeability of textile reinforcements: lattice Boltzmann method. *Composites Science and Technology*, 64, 1069–1080.
- Benltoufa, S., Fayala, F. ve BenNasrallah, S. (2008). Capillary rise in macro and micro pores of jersey knitting structure. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 3 (3), 47-54.
- Berkalp, Ö.B. (2006). Air permeability& porosity in spun-laced fabrics. *Fibers&Textiles in Eastern Europe*, 14 (3-57), 81-85.
- Bhattacharjee, D. ve Kothari, V.K., (2007). A neural network system for prediction of thermal resistance of textile fabrics. *Textile Research Journal*, 77 (1), 4-12
- Brasquet, C. ve Cloirec P.L. (2000). Pressure drop through textile fabrics- experimental data modelling using classical models and neural networks. *Chemical Engineering Science*, 55(2000), 2767-2778.
- Burleigh, E. G., Wakeham, H. J.R., Honold, E. ve Skau, E. L. (1949). Pore-size distribution in textiles. *Textile Research Journal*, 19, 547-555.
- Coskuntuna, E, Fowler, A.J. ve Warner, S.B. (2007). Fibrous structures with designed wicking properties. *Textile Research Journal*, 77 (4), 256-264.
- Cox, M.G. (1972). The numerical evaluation of B-splines. *Teddington: IMA J Appl Math*, 10 (2): 134-149.

- Crow R.M. ve Osczevski, R.J. (1998). The interaction of water with fabrics. *Textile Research Journal*, 68(4), 280-288.
- Çay, A., Vassiliadis, S., Rangoussi, M. ve Tarakçıoğlu, I. (2004). On the use of image processing techniques for the estimation of the porosity of textile fabrics. *International Journal of Signal Processing*, 1(1), 51-54.
- Çay, A., Vassiliadis, S., Rangoussi, M. ve Tarakçıoğlu, I. (2007). Prediction of the air permeability of woven fabrics using neural networks. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 9 (1), 18-35.
- Das, B., Das, A., Kothari, V.K. ve Fanguero, R. (2011). Development of mathematical model to predict vertical wicking behaviour. Part I: Flow through yarn. *Journal of Textile Institute*, 102 (11), 957-970.
- Das, B., Das, A., Kothari, V.K. ve Fanguero, R. (2011). Mathematical model to predict vertical wicking behaviour. Part II: flow through woven fabric. *Journal of Textile Institute*, 102 (11), 971-981.
- Davis, N.C. (1958). Factors influencing the air permeability of felt and felt-like structures. *Textile Research Journal*, 28, 318-324.
- De Boor, C. (1972). On calculation with B-splines. *Journal of Approximation Theory*, 6, 50-62.
- Demiröz, A. ve Dias, T.J. (2000). A study of graphical representation of knitted structures Part I: Stitch model for the graphical representation of plain-knitted structures. *The Journal of the Textile Institute*, 91, 463-480.
- Dimassi, M., Koehl, L., Zeng, X. ve Peruwelz, A. (2008). Pore network modelling using image processing techniques application to the nonwoven material. *International Journal of Clothing, Science and Technology*, 20 (3), 137-149.
- Drobina, R. ve Machnio, M.S. (2006). Application of the image analysis technique for textile identification. *Autex Research Journal*, 6 (1), 40-48.

- Dubrovski, P.D. (2009). A geometrical method to predict the macroporosity of woven fabrics. *Journal of the Textile Institute*, 92 (3), 288-298
- Dunn, M.W. (1999). Non-newtonian fluid flow through fabrics. *National Textile Center Annual Report*. November, 1-10.
- Endruweit, A., McGregor, P., Long , A.C. ve Johnson, M.S. (2006). Influence of the fabric architecture on the variations in experimentally determined in-plane permeability values. *Composites Science and Technology*, 66, 1778–1792.
- Endruweit, A. ve Ermanni, P. (2004). Orientation of the permeability principal axes in bi-directional textile fabrics. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23, 1063-1073.
- Farnmworth, B., Lotens, W.A. ve Wittgen, P.P.M.M. (1990). Variation of water vapor resistance of microporous and hydrophilic films with relative humidity. *Textile Research Journal* , 60, 50-53.
- Fukazawa, T., Kawamura, H., Tochihara, Y. ve Tamura, T. (2003). Water vapor transport through textiles and condensation in clothes at high altitudes-combined influence of temperature and pressure simulating altitude. *Textile Research Journal*, 73 (8), 657-663.
- Gibson, P., Rivin, D., Kendrick, C. ve Schreuder-Gibson, H. (1999). Humidity-dependent air permeability of textile materials. *Textile Research Journal*, 69(5), 311-317.
- Goglia, M.J., LaVier, H.W.S. ve Brown, C.D. (1955). Air permeability of parachute gloths. *Textile Research Journal*, 25, 296-313.
- Gong, R.H. , Ozgen, B. ve Soleimani, M. (2009). Modeling of yarn cross-section in plain woven fabric. *Textile Research Journal*, 79 (11), 1014-1020.
- Gonzalez, R.C. ve Woods, R.E. (2001). *Digital image processing* (2. Baskı). New Jersey: Prentice Hall.

- Gonzalez, R.C., Woods R.E. ve Eddins, S.L. (2004). *Digital image processing using MATLAB* (1. Baskı). London, UK:Pearson Education Ltd .
- Goodings, A.C.(1964). Air flow through textile fabrics. *Textile Research Journal*, 34, 713-724.
- Gooijer, H.,Warmoeskerken, M.M.C.G. ve Wassink, J.G. (2003). Flow resistance of textile materials: Part II: Multifilament fabrics. *Textile Research Journal*, 73, 480-484.
- Gooijer, H.,Warmoeskerken, M.M.C.G. ve Wassink, J.G. (2003). Flow resistance of textile materials: Part I: Monofilament fabrics. *Textile Research Journal*, 73, 437-443.
- Göktepe, Ö. (2001). Use of non-uniform rational B-splines for three-dimensional computer simulation of knitted structures. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*,25, 369-378.
- Grosberg, P. (1969). Chapter 9: The geometrical properties of plain cloths. *Structural mechanics of fibers, yarns, and fabrics* (1. Baskı) içinde (331) New York: John Wiley and Sons.
- Günay, Z., (b.t). *Genişletmek, Aşındırmak, Açmak ve Kapatmak*. 01 Ekim 2011, http://www.goruntuisleme.org/2011/index.php?option=com_content&view=article&id=54:geniletmek-andrmak-acmak-ve-kapatmak-&catid=34:goeruentue-leme-teknikleri&Itemid=53.
- Halgas, B.W., Danych, R., Wiecek, B. ve Kowalski, K.(2006). Air and water vapour permeability in double-layered knitted fabrics with different raw materials. *Fibers&Textiles in Eastern Europe*, 14 (3-57), 77-80.
- Hamilton, J. B. (1964). A general system of woven-fabric geometry. *Journal of the Textile Institute*, 55, 66-82.
- Harper, R.J. ve Ruppenicker, G.F. (1987). Influence of repeated laundering on air permeability of core-yarn fabrics. *Textile Research Journal*, 57, 674-675.

- Hoerner, S.F. (1952). Aerodynamic properties of screens and fabrics. *Textile Research Journal*, 22, 274-280.
- Hollies, N.R.S., Kaessinger, M.M. ve Bogaty, H. (1956). Water transport mechanisms in textile materials1 Part I: The role of yarn roughness in capillary-type penetration. *Textile Research Journal*, 26, 829-835.
- Hong, C.J. ve Kim, J.B. (2007). A study of comfort performance in cotton and polyester blended fabrics. I.Vertical wicking behavior. *Fibers and Polymer*, 8 (2), 218-224.
- Hsieh, Y. (1995). Liquid transport in fabric structures. *Textile Research Journal*, 65 (5), 299-307.
- Hu, J.Y., Li, Y. ve Yeung, K.W.(2006). Liquid moisture transfer. Li, Y. ve Wong, A.S.W (Ed), *Clothing biosensory engineering* (1) içinde (218-234). England :Woodhead publishing
- Huang, J. ve Chen, Y.(2011). Effect of environmental parameters on water vapor transfer of fabrics. *The Journal of The Textile Institute*, 102 (1), 50-56.
- Huang, J. ve Qian, X. (2007). A new test method for measuring the water vapour permeability of fabrics. *Measurement Science and Technology*, 18, 3043-3047.
- Ito, H. ve Muraoka, Y. (1993). Water transport along textile fibers as measured by an electrical capacitance technique. *Textile Research Journal*, 63, 414
- Iyer, K.B. ve Snowden, D.C. (1964). The inherent skewness of the 2/2 twill weave. *Journal of the Textile Institute*, 55, 99-110.
- Jahne, B. (2005). *Digital image processing* (6. Baskı). Netherlands: Springer-Verlag.
- Jaksic, D. ve Jaksic, N. (2007). Assessment of porosity of flat textile fabrics. *Textile Research Journal*, 77 (2), 105-110.
- Jena, A. ve Gupta, K. (2000). In-Plane and through-plane porosity in coated textile materials. *Journal of Industrial Textiles*, 29 (4), 317-325.

- Jiang, Y. ve Chen, X. (2005). Geometric and algebraic algorithms for modelling yarn in woven fabrics. *Journal of the Textile Institute, Journal of Textile Institute*, 96 (4), 237–245.
- Jiang, Y. ve Chen, X. (2006). Asymptotic iterative approximation of intellectualized periodic interpolating spline and its application. *Journal of Information and Computing Science*, 1 (1), 47-52.
- Kar, F., Fan, J. ve Wyu, W. (2007). Comparison of different test methods for the measurement of fabric or garment moisture transfer properties. *Measurement Science and Technology*, 18, 2033–2038.
- Karaguzel B. (2004). *Characterization and role of porosity in knitted fabrics*. M.S., North Carolina State University, College of Textiles, Textile Engineering Chemistry and Science.
- Kawabata, S., Niwa, M. ve Kawai, H. (1973a). The finite-deformation theory of plain-weave fabrics Part I: The biaxial-deformation theory. *Journal of the Textile Institute*, 64 (2), 21-46.
- Kawabata, S., Niwa, M. ve Kawai, H. (1973b). The finite-deformation theory of plain-weave fabrics Part II: The uniaxial-deformation theory. *Journal of the Textile Institute*, 64 (2), 47-61.
- Kawabata S. ve Niwa, M. (1979). A finite-deformation theory of the 2/2-twill weave under biaxial extension. *Journal of Textile Institute*, 70 (10), 417-426.
- Kawabata, S., Inoue, M. ve Niwa, M. (1992). Non-linear theory of the biaxial deformation of a triaxial-weave fabric. *Journal of the Textile Institute*, 83 (1), 21-46.119.
- Keefe, M., Edwards, D. ve Yang, J. (1992). Solid modeling of yarn and fiber assemblies. *The Journal of the Textile Institute*, 83 (2), 185-196.
- Kemp, A. (1958). An extension of Pierce's cloth geometry to the treatment of non-circular threads. *Journal of the Textile Institute*, 49, 44–48.

- Kılınç, F.S., Elmogahzy, Y., Karagüzel, B. ve Gupta, B. S.(2005). Evaluation of porosity and comfort in knitted fabrics. *Betwide cotton conference*, 4-7 January 2005, New Orleans, Louisiana.
- Kulichenko, A.V. ve Langenhove, L.V. (1992). The resistance to flow transmission of porous materials. *Journal of the Textile Institute*, 83 (1), 127-132.
- Kulichenco, A.V. (2005). Theoretical analysis, calculation and prediction of the air permeability of textiles. *Fibre Chemistry*, 37 (5), 371-380.
- Kullman, R.M.H., Graham, C.O. ve Ruppenicker, G.F. (1981). Air permeability of fabrics made from unique and conventional yarns. *Textile Research Journal*, 51, 781-786.
- Lee, S. ve Obendorf, S.K. (2007). Use of electrospun nanofiber web for protective textile materials as barriers to liquid penetration. *Textile Research Journal*, 77 (9), 696-702.
- Lin, H.Y. ve Newton, A. (1999). Computer representation of woven fabric by using B-splines. *The Journal of the Textile Institute*, 90 (1), 59-72.
- Lord, P.R. ve Mohamed, M.H. (1982). *Weaving: Conversion of Yarn to Fabric*. Shildon: Merrow Publishing.
- Lu, W.M., Tung, K.L. ve Hwang, K.J. (1996). Fluid flow through basic weaves of monofilament filter cloth. *Textile Research Journal*. 66(5), 311-323.
- Luo, Y., Verpoest, I., Hoes, K., Vanheule, M., Sol, H. ve Cardon, A. (2001). Permeability measurement of textile reinforcements with several test fluids. *Composites: Part A*, 32, 1497-1504.
- Mavruz, S. ve Oğulata, R.T. (2009). Pamuklu örme kumaşlarda hava geçirgenliğinin incelenmesi ve istatistiksel olarak tahminlenmesi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 29-38.

- Mavruz, S. ve Ogulata, R.T.(2010). Investigation of air permeability of single jersey fabrics with different relaxation states. *Journal of the Textile Institute*, 102 (1), 57-64.
- Mhetre, S. ve Parachuru, R. (2010). The effect of fabric structure and yarn-to-yarn liquid migration on liquid transport in fabrics. *Journal of The Textile Institute* 101 (7), 621–626.
- Milašius, R. ve Milašius, V. (2002). Investigation of unevenness of some fabric cross-section parameters. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, July/September, 47-49.
- Militky, J., Travnickova, M. ve Bajzik, V. (1999). Air permeability and light transmission of weaves. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 11 (2/3), 116-124.
- Mohammadi, M. ve Banks-Lee, P. (2002). Air permeability of multilayered nonwoven fabrics: comparison of experimental and theoretical results. *Textile Research Journal*, 72 (7), 613-617.
- Nagy, V. ve Vas, L.M. (2005). Pore characteristic determination with mercury porosimetry in polyester stable yarns. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 13 (3-51), 21-26.
- Nazarboland, M.A. , Chen, X., Hearle, J.W.S., Lydon, R. ve Moss, M. (2007). Effect of different particle shapes on the modelling of woven fabric filtration. *Journal of Information and Computing Science*, 2 (2), 111-118.
- Nazarboland, M.A. , Chen, X., Hearle, J.W.S., Lydon, R. ve Moss, M. (2008). Modelling and simulation of filtration through woven media. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 20 (3), 150-160.
- Neckar, B. ve Ibrahim, S. (2003). Theoretical approach for determining pore characteristics between fibers. *Textile Research Journal*, 73 (7), 611-619.

- Nedanov, P.B. ve Advani, S. G. (2002). Numerical computation of the fiber preform permeability tensor by the homogenization method. *Polymer Composites*, 23 (5), 758-770.
- Nedanov, P.B. ve Advani, S.G. (2002). A method to determine 3d permeability of fibrous reinforcements. *Journal of Composite Materials*, 36 (2), 241-254.
- Ngo, N.D. ve Tamma, K.K. (2001). Microscale permeability predictions of porous fibrous media. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44,3135-3145.
- Oğulata, R.T. ve Mavruz, S.(2010). Investigation of porosity and air permeability values of plain knitted fabrics. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 18 (5-82), 71-75.
- Oğulata, R.T. ve Mezarcıöz, S.M. (2011). Optimization of air permeability of knitted fabrics with the Tagucjhi approach. *Journal of the Textile Institute*, 102 (5), 395-404.
- Okur, A. (1993). Pamuklu kumaşlarda hava geçirgenliği ile kumaşın bazı yapısal özellikleri arasındaki ilişkiler üzerine bir araştırma. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 4, 292-299.
- Olofsson, B. (1964). A general model of a fabric as a geometric mechanical structure. *Journal of the Textile Institute*, ,55 (11), 541-557.
- Olšauskienė, A. ve Milašius, R. (2003a). Dependence of air permeability on fabric porosity and integrated fabric firmness factor ϕ . *Materials Science (Medžiagotyra)*, 9 (1), 124-127.
- Olšauskienė, A. ve Milašius, R. (2003b). Dependence of air permeability on various integrated fabric firmness factors. *Materials Science (Medžiagotyra)*. 9 (4), 401-404.
- Osczevski, R.J. (1996). Water vapor transfer through a hydrophilic film at subzero temperatures. *Textile Research Journal*, 66 (1), 24-29.
- Ozgen, B. ve Gong, H. (2010). Yarn geometry in woven fabrics. *Textile Research Journal*, 81 (7), 738-745.

- Ozgen, B. ve Gong, H. (2011). Modelling of yarn flattening in woven fabrics. *Textile Research Journal*, 81 (15), 1523-1531.
- Pan, N. ve Zhong, W. (2006). Fluid transport phenomena in fibrous materials. *Textile Progress*, 38 (2), 1-93.
- Partridge, J.F. ve Mukhopadhyay S.K. (1998). Dynamic air permeability behavior of nylon 66 airbag fabrics. *Textile Research Journal*, 68 (10), 726-731.
- Patnaik, A., Rengasamy, R. S., Kothari, V. K. ve Ghosh, A. (2006). Wetting and wicking in fibrous materials, *Textile Progress*, 38 (1), 1-105.
- Peirce F.T. (1937). The geometry of cloth structure. *Journal of the Textile Institute*, 28 (3), 45-96.
- Penner, S.E. ve Robertson, A.F.(1951). Flow through fabric-like structures. *Textile Research Journal*, 21, 775-778.
- Perwuelz, A., Mondon, P. ve Caze, C. (2000). Experimental study of capillary flow in yarns. *Textile Research Journal*, 70, 333
- Rainard, L. W. (1946). Air permeability of fabrics. *Textile Research Journal*, 16, 473-480.
- Rainard, L. W. (1947). Air permeability of fabrics II. *Textile Research Journal*, 17, 167-170.
- Ramaswamy, S., Gupta, M., Goel, A., Aaltosalmi, U., Kataja, M., Koponen, A. ve Ramarao, B.V. (2004). The 3D structure of fabric and its relationship to liquid and vapor transport. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 241, 323–333.
- Robertson, A.F.(1950). Air porosity of open-weave fabrics Part I: metallic meshes. *Textile Research Journal*, 20, 838-844.
- Robertson, A.F.(1950). Air porosity of open-weave fabrics Part II: Textile fabrics. *Textile Research Journal*, 20, 844-857.

- Rogers, D.F. ve Adams, J.A. (1976). *Mathematical elements for computer graphics* (1. Baskı). New York: McGraw-Hill Book.
- Rogers, D.F. (2001). *An introduction to NURBS with historical perspective* (1. Baskı). San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Rossi, R.M., Gross, R. ve May, H. (2004). Water wapor transfer and condensation effects in multilayer textile combinations. *Tekstile Research Journal*, 74 (1), 1-6.
- Sarıöz, E. (2006). *Bilgisayar destekli gemi dizaynı ve üretimi ders notları*, (18.06.2009), <http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/ebru/HandoutB-splines.pdf>
- Smith, A. ve Chen, X. (2008). CAD and constraint-based geometric modelling algorithms for 2D and 3D woven textile structures. *Journal of Information and Computing Science*, 3 (3), 199-214.
- Song, Y.S. ve Youn, J.R. (2006). Asymptotic expansion homogenization of permeability tensor for plain woven fabrics. *Composites Part A:applied science and manufacturing*, 37, 2080-2087.
- Stereo Investigator 8 User's Guide-Document Version SI0108-08*. MBF Bioscience (MicroBrightField, Inc.), USA.
- Tàpias, M., Ralló, M., Escofet, J., Algaba, I. ve Riva, A. (2010). Objective measure of woven fabric's cover factor by image processing. *Textile Research Journal*, 80 (1), 35-44.
- Tàpias, M., Ralló, M., Escofet, J., Algaba, I. ve Riva, A. (2011). Automatic measurements of partial cover factors and yarn diameters in fabrics using image processing. *Textile Research Journal*, 81 (2): 173-186.
- Tokarska, M. (2004). Neural model of the permeability features of woven fabrics. *Textile Research Journal*, 74 (12), 1045-1048.
- Türk Standartları Enstitüsü. (28.02.1991). TS 251, *Dokunmuş kumaşlar-birim uzunluk ve birim alan kütlelerinin tayini*. Ankara.

- Türk Standartları Enstitüsü. (10.01.1989). TS 255, *Dokunmuş kumaşlar-imal tarzı-analiz metotları-kumaştan çıkarılan ipliğin doğrusal yoğunluğunun tayini*. Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (15.04.2002). TS 3328 ISO 4602, *Takviyeler-dokunmuş kumaşlar-atkı ve çözgü doğrultusunda birim uzunluktaki iplik sayısının tayini*. Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1999). TS 391 EN ISO 9237, *Kumaşlarda hava geçirgenliğinin tayini*. Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (17.04.1998). TS 7128 EN ISO 5084, *Tekstil-tekstil ve tekstil mamullerinin kalınlık tayini*. Ankara.
- Tung, K.L., Shiau, J.S., Chuang, C.J, Li, Y.L., ve Lu, W.M. (2002). CFD analysis on fluid flow through multifilament woven filter cloths. *Separation Science and Technology*, 37 (4), 799–821.
- Turan, R.B. (2007). *Dimi örgülü kumaş yapılarının üç boyutlu geometrik modellerinin geliştirilerek, üç boyutlu bilgisayar simülasyonlarının gerçekleştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Turan, R.B. ve Başer, G. (2010). Three-dimensional computer simulation of 2/2 twill woven fabric by using B-splines. *The Journal of The Textile Institute*, 101 (10), 870–881.
- Van Den Brekel, L.D.M. ve E.J. De Jong. (1989). Hydrodynamics in packed textile beds. *Textile Research Journal*, 59, 433-440.
- Verleye, B, Klitz, M, Croce, R., Roose, D., Lomov, S. ve Verpoest, I . (2005). Computation of permeability of textile reinforcements. *17th IMACS World Congress*, Paris, France.
- Wakeham, H. ve Spicer, N. (1949). Pore-Size distribution in textiles-a study of windproof and water-resistant cotton fabrics. *Textile Research Journal*, 19, 703-710.

- Wang, Q., Mazé, B., Tafreshi, H.V. ve Pourdeyhimi, B. (2006). A note on permeability simulation of multifilamentwoven fabrics. *Chemical Engineering Science*, 61, 8085–8088.
- Wang, Q., Mazé, B., Tafreshi, H.V. ve Pourdeyhimi, B. (2007). On the pressure drop modeling of monofilament-woven fabrics. *Chemical Engineering Science*, 62, 4817 – 4821.
- Wang, S.X., Li, Y., Tokura, H., Hu, J.Y., Han, X.Y., Kwok Y.L. ve Au, R.W. (2007). Effect of moisture management on functional performanca of cold protective clothing. *Textile Research Journal*, 77 (12), 968-980.
- Wong, C.C., Long, A.C., Sherburn, M., Robitaille, F, Harrison, P. ve Rudd, C.D. (2006). Comparisons of novel and efficient approaches for permeability prediction based on the fabric architecture. *Composites: Part A*, 37, 847–857.
- Xie, S. (2004). *Characterization of inter yarn pore size and its distribution in plain woven fabrics*. M.S., North Carolina State University, College of Textiles, Textile Engineering Chemistry and Science.
- Xu, G. ve Wang, F. (2005). Prediction of the permeability of woven fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 34 (4), 243-254.
- Yatagai, M. (1994). Correlation between wettability and water absorbency of soiled fabrics. *Textile Research Journal*, 64 (8), 461-465.
- Yılmaz, D., Göktepe, F., Göktepe, Ö. ve Kremenakova, D. (2007). Packing density of compact yarns. *Textile Research Journal*, 77 (6), 661-667.
- Yu ,B. ve Lee, L.J. (2001). A fractal in-plane permeability model for fabrics. *Polymer Composites*, 23 (2), 201-221.
- Zhang, Y.F. ve Bresee, R.R. (1995). Fabric defect detection and classification using image analysis. *Textile Research Journal*, 65 (1), 1-9.

EK 1
TERMİNOLOJİ

İplikler arası birim gözenek hücre modelleri ile ilgili terminoloji	
Tip-1, Tip-2, Tip-3, Tip-4	İki boyutlu ve üç boyutlu birim gözenek hücresi tipleri
Tip-i, Tip-f	Kesişme ve atlama bölgesinde enine kesit birim gözenek hücresi tipleri
Alt indis “1”	Çözümlü ipliği ile ilgili parametreleri tanımlar
Alt indis “2”	Atkı ipliği ile ilgili parametreleri tanımlar
K	Eğirme sistemi katsayısı,(pamuk için $K=8,3$)
N	İplik numarası (Nm)
d_1, d_2	Çözümlü ve atkı ipliğinin dairesel iplik çapı (cm)
d_{yt1}, d_{yt2}	Çözümlü ve atkı ipliğinin teorik dairesel iplik çapı (cm)
p_1, p_2	Çözümlü ve atkı yönündeki iplikler arası açıklık (cm)
S_1, S_2	Çözümlü ve atkı yönünde kumaş sıklığı (cm^{-1})
PA	Alansal gözeneklilik (%)
R_{2-D}	2-D birim gözenek hücresinin ortalama gözenek yarıçapı (μm)
a_1, a_2	Elips kesitli çözgü ve atkı ipliğinin büyük çapı (cm)
b_1, b_2	Elips kesitli çözgü ve atkı ipliğinin küçük çapı (cm)
e	İpliğin yassılma oranı
t	Kumaş kalınlığı (cm)
ℓ_1, ℓ_2	Birim gözenek hücresi içinde yer alan çözgü ve atkı ipliğinin kıvrımsız uzunluğu (cm)
V_T	3-D birim gözenek hücresinin toplam hacmi (cm^3)
V_Y	3-D birim gözenek hücresi içindeki toplam iplik hacmi (cm^3)
ϕ	Paketleme oranı (%)
PV	İplikler arası hacimsel gözeneklilik
R_{3-D}	3-D birim gözenek hücresinin ortalama gözenek yarıçapı (μm)

İplikler arası örgü birimi modelleri ile ilgili terminoloji	
ℓ_f	Örgü birimindeki uzun atlama doğru parçasının uzunluğu (cm)
ℓ_s	Örgü biriminde kesişme doğru parçalarının xy düzlemine izdüşüm uzunlukları toplamı (cm)
ℓ_{si}	Yer değiştirme doğru parçasının xy düzlemindeki izdüşüm uzunluğu (cm)
ℓ_{sf}	Kısa atlama doğru parçasının uzunluğu (cm)
α_1, α_2	Çözü ve atkı ipliği atlama doğru parçalarının eğiklik açısı ($^{\circ}$)
a_1', a_2'	Çözü ve atkı iplik büyük çaplarının (a_1, a_2) y'z' düzlemindeki izdüşüm uzunlukları
pr	Örgü biriminin rapor genişliği (cm)
γ	Atlama doğru parçasının geri dönüş açısı ($^{\circ}$)
t_1, t_2	Çözü ve atkı ipliklerinin oluşturduğu kumaş kalınlıkları (cm)
β'	Yer değiştirme doğru parçasının yatayla yaptığı açı ($^{\circ}$)
b''	Yer değiştirme doğru parçasında iplik küçük çapının (b) y'z' düzlemindeki izdüşüm uzunluğu (cm)
θ	Yer değiştirme doğrusu parçasının z eksenine yaptığı açı ($^{\circ}$)
$\lambda+90^{\circ}$	Uzun atlama ve yer değiştirme doğru parçaları arasındaki açı ($^{\circ}$)
Q_1	y'z' düzleminde çözgü ipliği yer değiştirme doğru parçasına teğet olan atkı ipliği merkezinin O noktasına uzaklığı (cm)
c	Komşu iki iplik arasındaki mesafe, temas durumu için $c=0$
X_1	y'z' düzleminde yer değiştirme doğru parçasının orta noktası ile teğet olduğu atkı ipliği merkezi arasındaki uzaklık (cm)
q_1, r_1	Teğetlik koşulunun incelendiği atkı ipliği merkezinin O noktasına göre koordinatları
x_1, y_1	Yer değiştirme doğru parçasının elipse (ipliğe) değdiği noktanın elips merkezine uzaklığı
x_e ve y_e	Elips üzerindeki temas noktasının O noktasına göre koordinatları
y_d	Elips kesitli iplik ile teğetlik koşulu incelenen yer değiştirme doğru parçasının denklemi

m	Yer değiştirme (teğet) doğru parçasının eğimi ($m=\tan\beta'$)
k	Yer değiştirme (teğet) doğru parçasının z eksenini kestiği nokta
n	Yer değiştirme (teğet) doğru parçasının x eksenini kestiği nokta
ℓ_{fmin}, ℓ_{fmax}	Teğetlik koşulunun incelendiği algoritmada atlama doğru parçasının aldığı en kúçük ve en büyük değerler (cm)
$\ell_{B-spline}$	B-spline yöntemiyle hesaplanan kıvrımsız iplik uzunluğu (cm)
$k_{B-spline}=k_t$	B-spline yöntemiyle hesaplanan kıvrım oranı (teorik kıvrım oranı)
w	Kumaşın birim alan ağırlığı (g/m^2)
n_1, n_2	Örgü birimindeki çözgü ve atkı ipliği sayısı
$\phi_{B-spline}$	Örgü birim modelinden hesaplanan paketleme oranı (%)
$PV_{B-spline}$	Örgü birim modelinden hesaplanan gözeneklilik (%)
$R_{B-spline}$	Örgü birim modelinden hesaplanan ortalama gözenek yarıçapı (μm)
m_p	Örgü birimindeki gözenek sayısı
İplik içi gözenek özellikleri ile ilgili terminoloji	
d_y, d_{yt}	Dairesel iplik çapı, teorik dairesele iplik çapı (cm)
ϕ_G, ϕ_y	İpliğin paketleme oranı (%)
δ_f	Lifin özgül ağırlığı (pamuk lifi içi $\delta_f=1,53 g/cm^3$)
P_y	İplik içi (lifler arası) gözeneklilik, iplik gözenekliliği (%)
$P_{yGrosberg-T}$	Grosberg iplik çapı yaklaşımına göre d_{yt} kullanılarak hesaplanan teorik iplik gözenekliliği (%)
A_y	Dairesel iplik enine kesit alanı (cm^2)
A_{ye}	Eliptik iplik enine kesit alanı (cm^2)
n_f	Enine kesitteki teorik lif sayısı
A_f	Tek lifin enine kesit alanı (cm^2)
d_f	Teorik dairesele lif çapı (cm)
R_f	Lif yarıçapı (cm^2)
$P_{y n-T}$	Teorik iplik gözenekliliği (%)
a_{SI}, b_{SI}	Stereo Investigator® ölçümleri sonucu elde edilen iplik büyük ve kúçük çapı (cm)

d_{SI}	Stereo Investigator® ölçümleri sonucu elde edilen iplik büyük ve küçük çapından sabit çevre yaklaşımıyla hesaplanan dairesel iplik çapı (cm)
$P_{yGrosberg}$	Grosberg iplik çapı yaklaşımına göre d_{SI} kullanılarak hesaplanan yarı-teorik iplik gözenekliliği (%)
ϕ_{y-m}	m lif için hesaplanan yarı-teorik iplik paketleme oranı (%)
$P_{y n-m}$	m lif için hesaplanan yarı-teorik iplik gözenekliliği (%)
dp_{z1}	2-D birim gözenek hücre modelinde çözgü ipliklerinin oluşturduğu eşdeğer gözenek çapı (cm)
dp_{z2}	2-D birim gözenek hücre modelinde atkı ipliklerinin oluşturduğu eşdeğer gözenek çapı (cm)
dp_{z3}	2-D birim gözenek hücre modelinde kesişme bölgelerinde oluşan eşdeğer gözenek çapı (cm)
R	Liflerin hegzagonal yerleştiği kabul edilen iplik içinde dairesel kesitte kabul edilen iki lifin merkezleri arasındaki mesafe (cm)
A_{pb}	Lifler arası birim gözenek hücresinin alanı (cm ²)
A_{fb}	Lifler arası birim gözenek hücresindeki toplam lif alanı (cm ²)
A_{pf}	Lifler arası birim gözenek hücresindeki gözenek alanı (cm ²)
R_{pf}	Lifler arası ortalama gözenek yarıçapı (cm)
ϕ_f	Lifler arası birim gözenek hücresinin paketleme oranı (%)
k_x, k_y	Liflerin hegzagonal yerleştiği kabul edilen iplik içinde sırasıyla büyük çap (a) ve küçük çap (b) doğrultularındaki maksimum katman sayıları
n_x, n_y	Liflerin hegzagonal yerleştiği kabul edilen iplik içinde merkez eksenler (a, b) boyunca yer alacak lif sayıları
m_f	İplik içinde birim gözenek hücre sayısı
Geçirgenlik formülleri ile ilgili terminoloji	
$U_m; dh/dt$	Akış hızı (m/s)
d_h	Hidrolik gözenek çapı (cm)
d_p	Gözenek çapı (cm)

L	Akışın gerçekleştiği gözenegin uzunluğu (cm)
ΔP	Basınç farklılığı (Pa)
μ	Akışkanın viskozitesi (hava için $1,8 \times 10^{-5}$ Pa.s, 20°C 'deki saf suyun dinamik viskozitesi $10,03 \times 10^{-6}$ m ² /s)
A_p	Gözenek alanı (cm ²)
A_T	Birim gözenek hücre alanı (cm ²)
PA	Alansal gözeneklilik oranı (%)
S	Gözenegin akışkan ile temas eden ıslak çevre uzunluğu (cm)
Qy	İplikler arası bölgede gerçekleşen akış miktarı (m ³ /s)
t	Kumaş kalınlığı (cm)
m	Birim alandaki iplikler arası gözenek sayısı
S_1, S_2	Sırasıyla çözgü ve atkı ipliklerinin sıklıkları (cm ⁻¹)
A_{Test}	Test edilen kumaş alanı (20 cm ²)
AP_y	İplikler arası bölgenin hava geçirgenliği (m/s)
Q_{f1}	2-D birim gözenek hücre modelinde çözgü iplikleri içinde düzlem dik yönde gerçekleşen akış miktarı (m ³ /s)
Q_{f2}	2-D birim gözenek hücre modelinde atkı iplikleri içinde düzlem dik yönde gerçekleşen akış miktarı (m ³ /s)
Q_{f3}	2-D birim gözenek hücre modelinde çözgü ve atkı ipliklerinin kesişme bölgesinde düzlem dik yönde gerçekleşen akış miktarı (m ³ /s)
Q_f	İplik içinde düzlem dik yönde gerçekleşen toplam akış miktarı (m ³ /s)
Q	Kumaş içinde düzlem dik yönde gerçekleşen toplam akış miktarı (m ³ /s)
AP	Kumaşın hava geçirgenliği (m/s)
P_c	Kapiller basınç (Pa)
P_g	Yerçekimi basıncı (Pa)
γ	20°C 'deki saf suyun yüzey gerilimi ($7,28 \times 10^{-2}$ N/m)
ρ	20°C 'deki saf suyun yoğunluğu (998 kg/m ³)
g	Yerçekimi ivmesi (9,8 m/s ²)

θ	Katı-sıvı temas açısı (pamuk lifi için $\cos \theta=0,97$)
h	Kapiller yükselme değeri (cm)
h_y	İplikler arası bölgede gerçekleşen kapiller yükselme değeri (cm)
h_f	Lifler arası bölgede gerçekleşen kapiller yükselme değeri (cm)
h_{maks}	Maksimum kapiller yükselme değeri (cm)
d_c	Kapiller çap (cm)
d_{cy}	İplikler arası bölge için kapiller çap (cm)
d_{cf}	Lifler arası bölge için kapiller çap (cm)
d_{cyd1-d}	Dairesel iplik çapı ve gözenek derinliğini iplik çapına (d) eşit kabul eden yaklaşıma göre iplikler arası bölgenin kapiller çapı
d_{cye1-b}	Eliptik iplik çapı ve gözenek derinliğini iplik küçük çapına (b) eşit kabul eden yaklaşıma göre iplikler arası bölgenin kapiller çapı
d_{cyd1-t}	Dairesel iplik çapı ve gözenek derinliğini kumaş kalınlığına (t) eşit kabul eden yaklaşıma göre iplikler arası bölgenin kapiller çapı
d_{cye1-t}	Eliptik iplik çapı ve gözenek derinliğini kumaş kalınlığına (t) eşit kabul eden yaklaşıma göre iplikler arası bölgenin kapiller çapı
PV	3-D modellerden hesaplanan hacimsel gözeneklilik (%)
$\tau=k$	Gözeneğin eğriliği=Kıvrım oranı
h_s	Bütünleştirilmiş kapiller yükselme değeri (cm)
Bulgular ve sonuçlar (Bölüm 4) ile ilgili terminoloji	
d_{yt1}, d_{yt2}	Çözü ve atkı ipliğinin teorik dairesel iplik çapı (cm)
d_{m1}, d_{m2}	Çözü ve atkı ipliğinin yüzey görüntülerinden ölçülen dairesel iplik çapı (cm)
p_{t1}, p_{t2}	Çözü ve atkı yönündeki iplikler arası teorik açıklık (cm)
p_{m1}, p_{m2}	Kumaşın yüzey görüntülerinden ölçülen çözü ve atkı yönünde iplikler arası açıklık (cm)
a_{t1}, a_{t2}	Sabit çevre varsayımıyla hesaplanan çözü ve atkı ipliğinin teorik iplik büyük çapı (cm)
b_{t1}, b_{t2}	Sabit çevre varsayımıyla hesaplanan çözü ve atkı ipliğinin teorik iplik küçük çapı (cm)

a_{PS1}, a_{PS2}	Adobe® Photoshop® ile enine kesit görüntülerinden ölçülen çözgü ve atkı ipliği büyük çap verileri (cm)
b_{PS1}, b_{PS2}	Adobe® Photoshop® ile enine kesit görüntülerinden ölçülen çözgü ve atkı ipliği küçük çap verileri (cm)
t_e	Enine kesit görüntülerinden ölçülen kumaş kalınlığı (cm)
t_m	Kalınlık ölçer ile ölçülen kumaş kalınlığı (cm)
a_{SI1}, a_{SI2}	Stereo Investigator® ile enine kesit görüntülerinden ölçülen çözgü ve atkı ipliği büyük çapı (cm)
b_{SI1}, b_{SI2}	Stereo Investigator® ile enine kesit görüntülerinden ölçülen çözgü ve atkı ipliği küçük çapı (cm)
A_{y-SI1}, A_{y-SI2}	Stereo Investigator® ile ölçülen çözgü ve atkı iplik alanı ($\mu m^2=10^{-8} cm^2$)
A_{e-SI}	Stereo Investigator® ölçümlerinden elde edilen büyük ve küçük çap verilerinden hesaplanan eliptik iplik alanı ($\mu m^2=10^{-8} cm^2$)
a_{i1}, a_{i2}	Kesişim bölgesinde yer alan çözgü ve atkı ipliğin büyük çapı (cm)
b_{i1}, b_{i2}	Kesişim bölgesinde yer alan çözgü ve atkı ipliğin küçük çapı (cm)
a_{f1}, a_{f2}	Atlama bölgesinde yer alan çözgü ve atkı ipliğin büyük çapı (cm)
b_{f1}, b_{f2}	Atlama bölgesinde yer alan çözgü ve atkı ipliğin küçük çapı (cm)
a_{m1}, a_{m2}	Atlama bölgesi ortasında yer alan çözgü ve atkı ipliğin büyük çapı (cm)
b_{m1}, b_{m2}	Atlama bölgesi ortasında yer alan çözgü ve atkı ipliğin küçük çapı (cm)
e_i, e_f, e_m	Kesişme, atlama ve atlama bölgesi ortasın yer alan ipliklerin yassılma oranları
p_{f1}, p_{f2}	Atlama bölgesinde çözgü ve atkı ipliği yönünde iplik açıklıkları (cm)
p_{i1}, p_{i2}	Kesişme bölgesinde çözgü ve atkı ipliği yönünde iplik açıklıkları (cm)
w_m	Ölçülen birim kumaş ağırlığı (g/m^2)
w_c	Kumaş analizi sonuçları ile hesaplanan birim kumaş ağırlığı (g/m^2)
w_t	B-spline verileri ile hesaplanan birim kumaş ağırlığı (g/m^2)

k_{t1}, k_{t2}	Teorik kıvrım oranı (B-spline yöntemiyle hesaplanan)
k_{m1}, k_{m2}	Deneysel olarak ölçülen çözgü ve atkı ipliği kıvrım oranları
$h1, h2$	Çözgü ve atkı yönünde zamana bağlı kapiler yükselme sonuçları (cm)
PA	İplikler arası alansal gözeneklilik (%)
PV	İplikler arası hacimsel gözeneklilik (%)
PA_{td}, PA_{te}	Teorik dairesel iplik çapı ve teorik eliptik iplik çapı için 2-D birim gözenek hücre modelinden hesaplanan iplikler arası alansal gözeneklilik (%)
PA_{md}, PA_{m2}	Deneysel dairesel iplik çapı ve deneysek eliptik iplik çapı için 2-D birim gözenek hücre modelinden hesaplanan iplikler arası alansal gözeneklilik (%)
PAC_{td}, PAC_{te}	Teorik dairesel iplik çapı ve teorik eliptik iplik çapı için enine kesit birim modelinden hesaplanan iplikler arası alansal gözeneklilik (%)
PAC_{md}, PAC_{me}	Deneysel dairesel iplik çapı ve deneysek eliptik iplik çapı için enine kesit birim modelinden hesaplanan iplikler arası alansal gözeneklilik (%)
PV_{td}, PV_{te}	Teorik dairesel iplik çapı ve teorik eliptik iplik çapı için 3-D birim gözenek hücre modelinden hesaplanan iplikler arası hacimsel gözeneklilik (%)
PV_{md}, PV_{me}	Deneysel dairesel iplik çapı ve deneysek eliptik iplik çapı için 3-D birim gözenek hücre modelinden hesaplanan iplikler arası hacimsel gözeneklilik (%)
$PV_{B-spline}$	Örgü birim modelinden hesaplanan iplikler arası hacimsel gözeneklilik (%)
PI	Kumaş yüzey görüntülerinden görüntü analizi yöntemiyle elde edilen iplikler arası gözeneklilik (%)
PIc	Kumaş enine kesit görüntülerinden görüntü analizi yöntemiyle elde edilen gözeneklilik (%)
R_{2-Dtd}, R_{2-Dte}	Teorik dairesel iplik çapı ve teorik eliptik iplik çapı için 2-D birim gözenek hücre modelinden hesaplanan iplikler arası ortalama gözenek yarıçapı (μm)

R_{3-Dtd}, R_{3-Dte}	Teorik dairesel iplik çapı ve teorik eliptik iplik çapı için 3-D birim gözenek hücre modelinden hesaplanan iplikler arası ortalama gözenek yarıçapı (μm)
R_{2-Dmd}, R_{2-Dme}	Deneysel dairesel iplik çapı ve deneysel eliptik iplik çapı için 2-D birim gözenek hücre modelinden hesaplanan iplikler arası ortalama gözenek yarıçapı (μm)
R_{3-Dmd}, R_{3-Dme}	Deneysel dairesel iplik çapı ve deneysel eliptik iplik çapı için 3-D birim gözenek hücre modelinden hesaplanan iplikler arası ortalama gözenek yarıçapı (μm)
$R_{B-spline}$	Örgü birim modelinden hesaplanan iplikler arası ortalama gözenek yarıçapı (μm)
R_I	Görüntü analizi yöntemiyle elde edilen iplikler arası ortalama gözenek yarıçapı (μm)
P_y	İplik içi gözeneklilik (%)
ϕ_y	İplik içi paketleme oranı (%)
P_{ySI}	Stereo Investigator [®] ölçümleri sonucu bulunan iplik içi gözeneklilik (%)
P_{yI1}	Görüntü analizi yöntemiyle elde edilen ilk siyah beyaz görüntüden hesaplanan iplik içi gözeneklilik (%)
P_{yI2}	Görüntü analizi yöntemiyle elde edilen iyileştirilmiş siyah beyaz görüntüden hesaplanan iplik içi gözeneklilik (%)
$P_{yGrosberg-T}$	Teorik Grosberg yaklaşımı ile hesaplanan iplik içi gözeneklilik (%)
P_{yn-T}	Teorik lif sayısı yaklaşımı ile hesaplanan iplik içi gözeneklilik (%)
$P_{yGrosberg}$	Yarı-teorik Grosberg yaklaşımı ile hesaplanan iplik içi gözeneklilik (%)
P_{yn139}	Yarı-teorik lif sayısı yaklaşımı ile hesaplanan iplik içi gözeneklilik (%)
P_{yn164}	Ölçülen lif sayısı ve iplik çapından hesaplanan iplik içi gözeneklilik (%)
dp_{ft}, dp_{fm}	teorik ve deneysel lif çapı ile hesaplanan lifler arası gözenek çapı (μm)
dh_{ft}, dh_{fm}	teorik ve deneysel lif çapı ile hesaplanan hidrolik gözenek çapı (μm)

Q	Hava akış miktarı test sonucu (cm^3/s)
AP	Hava geçirgenliği test sonucu (mm/s)
$Q_{YR2-Dtd}$ $Q_{YR2-Dmd}$	2-D birim gözenek hücre yarıçapından (teorik ve deneysel dairesel iplik çapı için) hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı (cm^3/s)
$AP_{YR2-Dtd}$ $AP_{YR2-Dmd}$	2-D birim gözenek hücre yarıçapından (teorik ve deneysel dairesel iplik çapı için) hesaplanan iplikler arası hava geçirgenliği (mm/s)
$Q_{YR2-Dte}$ $Q_{YR2-Dme}$	2-D birim gözenek hücre yarıçapından (teorik ve deneysel eliptik iplik çapı için) hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı (cm^3/s)
$AP_{YR2-Dte}$ $AP_{YR2-Dme}$	2-D birim gözenek hücre yarıçapından (teorik ve deneysel eliptik iplik çapı için) hesaplanan iplikler arası hava geçirgenliği (mm/s)
$Q_{YR3-Dtd}$ $Q_{YR3-Dmd}$	3-D birim gözenek hücre yarıçapından (teorik ve deneysel dairesel iplik çapı için) hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı (cm^3/s)
$AP_{YR3-Dtd}$ $AP_{YR3-Dmd}$	3-D birim gözenek hücre yarıçapından (teorik ve deneysel dairesel iplik çapı için) hesaplanan iplikler arası hava geçirgenliği (mm/s)
$Q_{YR3-Dte}$ $Q_{YR3-Dme}$	3-D birim gözenek hücre yarıçapından (teorik ve deneysel eliptik iplik çapı için) hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı (cm^3/s)
$AP_{YR3-Dte}$ $AP_{YR3-Dme}$	3-D birim gözenek hücre yarıçapından (teorik ve deneysel eliptik iplik çapı için) hesaplanan iplikler arası hava geçirgenliği (mm/s)
$Q_{YRbspln}$	Örgü birim modellerinden elde edilen gözenek yarıçapından hesaplanan iplikler arası hava akış miktarı (cm^3/s)
$AP_{YRbspln}$	Örgü birim modellerinden elde edilen gözenek yarıçapından hesaplanan iplikler arası hava geçirgenliği (mm/s)
Q_{YRI}	Görüntü analizi yönteminden elde edilen gözenek yarıçapından hesaplanan hava akış miktarı (cm^3/s)
AP_{RI}	Görüntü analizi yönteminden elde edilen gözenek yarıçapından hesaplanan hava geçirgenliği (mm/s)
dp_{z1}	2-D birim gözenek hücre modelinde farklı P_y verileri için hesaplanan çözgü ipliklerinin oluşturduğu eşdeğer gözenek çapı (μm)
dp_{z2}	2-D birim gözenek hücre modelinde farklı P_y verileri için hesaplanan atkı ipliklerinin oluşturduğu eşdeğer gözenek çapı (μm)

dp_{z3}	2-D birim gözenek hücre modelinde farklı Py verileri için hesaplanan kesişme bölgelerinde oluşan eşdeğer gözenek çapı (μm)
Q_{f1}	Eşdeğer gözenek çapı dp_{z1} ile hesaplanan çözgü ipliği içinde gerçekleşen hava akış miktarı (cm^3/s)
Q_{f2}	Eşdeğer gözenek çapı dp_{z2} ile hesaplanan atkı ipliği içinde gerçekleşen hava akış miktarı (cm^3/s)
Q_{f3}	Eşdeğer gözenek çapı dp_{z3} ile hesaplanan kesişme bölgesindeki hava akış miktarı (cm^3/s)
Q_f	2-D birim gözenek hücrede iplik içinde gerçekleşen toplam tahmini hava akış miktarı (cm^3/s)
$AP_{r1}(R_{B\text{-spline}})$	İplikler arası akış için $R_{B\text{-spline}}$ ile ve iplik içi akış için Py_{S1} değeriyle hesaplanan kumaşın revize edilmiş tahmini hava geçirgenliği (mm/s)
$AP_{r2}(R_{B\text{-spline}})$	İplikler arası akış için $R_{B\text{-spline}}$ ile ve iplik içi akış için Py_{I2} değeriyle hesaplanan kumaşın revize edilmiş tahmini hava geçirgenliği (mm/s)
$AP_{r1}(R_{3-D})$	İplikler arası akış için R_{3-D} ile ve iplik içi akış için Py_{S1} değeriyle hesaplanan kumaşın revize edilmiş tahmini hava geçirgenliği (mm/s)
$AP_{r2}(R_{3-D})$	İplikler arası akış için R_{3-D} ile ve iplik içi akış için Py_{I2} değeriyle hesaplanan kumaşın revize edilmiş tahmini hava geçirgenliği (mm/s)
d_{hfSI}	Stereo Investigator [®] ölçüm parametrelerine bağlı olarak belirlenen lifler arası hidrolik gözenek çapı (μm)
d_{hfI}	Görüntü analizi yönteminden elde edilen parametrelerle belirlenen lifler arası hidrolik gözenek çapı (μm)
d_{cyd1-d}	Dairesel iplik çapı ve gözenek derinliğini iplik çapına (d) eşit kabul eden yaklaşıma göre iplikler arası bölgenin kapiller çapı (μm)
d_{cye1-b}	Eliptik iplik çapı ve gözenek derinliğini iplik küçük çapına (b) eşit kabul eden yaklaşıma göre iplikler arası bölgenin kapiller çapı (μm)
d_{cyd1-t}	Dairesel iplik çapı ve gözenek derinliğini kumaş kalınlığına (t) eşit kabul eden yaklaşıma göre iplikler arası bölgenin kapiller çapı (μm)

d_{cye1-t}	Elipitik iplik çapı ve gözenek derinliğini kumaş kalınlığına (t) eşit kabul eden yaklaşıma göre iplikler arası bölgenin kapiller çapı (μm)
$h1_{maks}$	Çözümlü yönünde teorik maksimum kapiller yükselme değeri (cm)
$h2_{maks}$	Atkı yönünde teorik maksimum kapiller yükselme değeri (cm)
h_b	Bütünleştirilmiş kapiller yükselme sonucu (cm)

Modellerde kabul edilen varsayımlar

İplikler arası gözenek verilerinin değerlendirilmesi için monofilament, ideal iplik yaklaşımı

Dairesel iplik çapı varsayımı: Ashenhurst yaklaşımı ile hesaplanmıştır.

Elipitik iplik çapı varsayımı: Sabit çevre varsayımıyla hesaplanmıştır.

Örgü birimi modelinde kumaş kalınlığını çözgü ipliklerinin oluşturduğu ve çözgü ve atkı ipliklerinin tepe noktalarının birbirleriyle temas ettiği kabul edilmiştir.

Örgü birimi modelinde yer değiştirme doğru parçasının (ℓ_{si}) xy düzlemine izdüşüm uzunluğu kısa atlama doğru parçasının uzunluğuna (ℓ_{sf}) eşit kabul edilmiştir.

İplik içinde liflerin hegzagonal yerleştiği kabul edilerek lifler arası gözenek özellikleri belirlenmiştir.

Toplam hava akış miktarını iplikler arası bölgede ve iplik içi bölgede gerçekleşen akışın toplamının oluşturduğu kabul edilmiştir.

Kapiler çap uzunluk boyunca sabit kabul edilmiştir. Kumaş içinde düzleme dik yönde gerçekleşen kapiler akış davranışında kapiler yükselme sonucunun; iplikler arası ve lifler arası bölgelerde gerçekleşen kapiler hareketin birbirleriyle etkileşimleri sonucu olduğu kabul edilerek ortalamaları alınmıştır.

EK 2

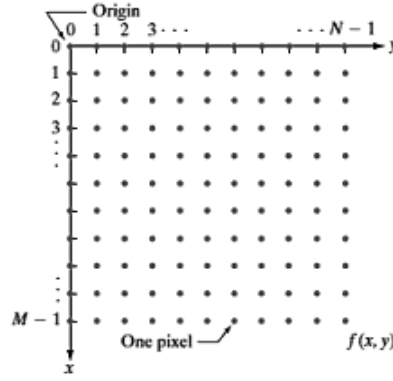
GÖRÜNTÜ ANALİZİ YÖNTEMİ

1 Görüntü işleme adımları ve ilgili tanımlar

Bir görüntü iki boyutlu bir $f(x,y)$ fonksiyonu ile tanımlanabilir. $f(x,y)$ fonksiyonunun bileşenleri olan $i(x,y)$ ve $r(x,y)$ sırasıyla aydınlatma kaynağının ve yansıtma kaynağının (görüntüsü alınan nesnenin) özellikleri ile belirlenir. $f(x,y)$ fonksiyonunda x ve y uzaysal koordinatlardır. f 'in herhangi bir (x,y) koordinat çiftindeki genliği resmin o noktadaki yoğunluğu (intensity) veya gri seviyesi (gray level) olarak adlandırılır (Gonzalez ve Woods, 2001). x , y ve genlik değerlerinin hepsi sonlu ve süreksiz değerlerde ise, görüntüye *dijital görüntü* denir. Dijital görüntü her birinin belli yer ve değere sahip olduğu sonlu sayıda elemandan oluşur. Bu elemanlar *resim elemanları* (picture elements=piksel) veya *görüntü elemanları* (image elements) olarak adlandırılırlar. *Dijital görüntü işleme* ise dijital görüntülerin dijital hesaplama aracılığıyla işleneceği işlem olarak adlandırılır. Görüntü işleme aslında sinyal girişinin bir görüntü (fotoğraf veya bir video karesi), çıkışının ise bir görüntü veya görüntüye ait bir özellik olduğu bir sinyal işleme yöntemidir.

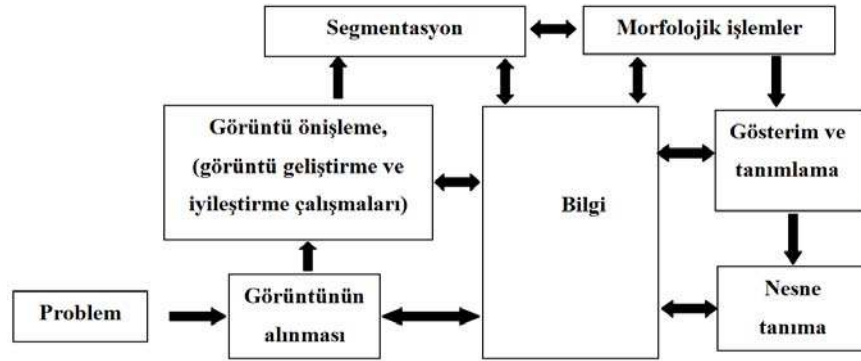
$f(x,y)$ fonksiyonu ile tanımlanan dijital görüntüler M sıra N sütun sayısına sahip matrislerle ifade edilebilir. Böylece (x,y) koordinat değerleri tam sayı değerlerinin kullanılabileceği formda tanımlanabilir. Şekil 1'de görüldüğü gibi başlangıç noktası $(x,y)=(0,0)$ olarak tanımlanan görüntüde daha sonraki koordinat noktası olan $(x,y)=(0,1)$ ilk sıranın ikinci elemanını ifade eder. Eşitlik 1'de $M \times N$ boyutlarında dijital görüntü matris formunda tanımlanmıştır. Matrisin her bir elemanı piksel olarak adlandırılır.

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$



Şekil 1 dijital görüntüyü göstermek için kullanılan koordinat sistemi (Gonzalez, 2001).

Tüm görüntü işleme prosesleri nesnelerin daha iyi tanımlanmasını sağlamak için gerçekleştirilir. Şekil 2’de dijital görüntünün elde edilmesinden analiz edilmesine kadar gerçekleştirilen işlemlerin akışı özetlenmektedir (Gonzalez ve Woods, 2001).



Şekil 2 Dijital görüntü işleme temel adımları (Gonzalez ve Woods, 2001, s.26)

Görüntü işleme sistemi dijital görüntülerin edileceği bir görüntüleme cihazı (örneğin; fotoğraf makinası, video kamera); görüntü işleme ve analizi yönteminin uygulanmasını, verilerin depolanmasını ve gösterilmesini sağlayacak bir bilgisayar sistemi ve görüntü analizi yöntemi araçlarını içeren, program kodlarının yazılacağı bir yazılımdan oluşur. İlk adım olan görüntü alma işlemi ardından modelleme adımı ile gerçek görüntünün dijitalleşmesi (sayısallaştırılması) gerçekleştirilir. 2-D dijital görüntü iki boyutlu matris formunda tanımlanabilir, burada elemanlar yoğunluk fonksiyonunun miktarı belirlenmiş değerlerini içerir ve gri seviye olarak adlandırılır.

Dijital görüntü elde edildikten sonraki basamak ön işleme (pre-processing) adımlarıdır. Ön işleme aşamasında amaç bir takım verileri elde etmek amacıyla görüntüyü kullanmadan önce daha başarılı sonuçlar elde etmek için görüntünün bazı ön işlemlerden geçirilmesidir. Görüntü kalitesini artırma ve görüntünün ayırt edici özelliklerini vurgulama sırasında uygulanan ön işlemler; gri seviye sistemini ve kontrastı geliştirme, kenarları belirleme, renklendirme, keskinliği geliştirme, gürültü (noise) seviyesini azaltma, uzaysal filtrasyon, aradeğerleme ve büyütme gibi işlemlerdir. Histogram yöntemi, ortalama maske işlemi (averaging mask procedure), medyan filtre, eşik değeri (threshold) işlemi, gradyan yöntemi (gradient method), oto korelasyon, Fourier transformuna dayanan frekans yöntemi, aşınma ve genişleme (erosion ve dilatation) yöntemleri gibi işlemlerle görüntüler işlenir, kalitesi artırılır (Drobina ve ark. 2006).

Ön işlemler bittikten sonra segmentasyon (segmentation) işlemi uygulanır. Bu işlem nesnelerin zeminden ayrılmasını sağlayan uygun lokal özelliklerin belirlenmesi amacıyla her bir pikselin nesneye ait olup olmadığının kontrol edilmesi işlemidir. Segmentasyon sonucu görüntüde nesnelerin, ardaalanın veya görüntüde incelenen değişik özelliklere sahip bölgelerin birbirinden ayrılması sağlanır. Segmentasyon bir resimdeki nesnenin sınırları, şekli veya alanı hakkında bilgi verir. Görüntü işlemenin sonraki adımları ise uygulanan tüm işlemler sonucu elde edilen işlenmiş görüntünün gösterilmesi ve bu görüntüyle ilgili özelliklerin tanımlanarak yorumlanmasıdır.

İstenen görüntü özelliklerinin yeniden kurulması herhangi bir görüntü özelliğinin elenmesi (eliminating) ve azaltılması (minimising) ile ilişkilidir, bunlar görüntünün kalitesini azaltır. Görüntüyü optik, opto-elektronik veya elektronik yöntemlerle almak algılama işlemi sırasında bazı görüntü özelliklerinde kaçınılmaz bozulmalara neden olur. Düzensizlik, görüntü sensörü içindeki gürültüler, kameranın odaklanamamasından kaynaklı bulanıklık, çevredeki hava kirliliği ve titreşim gibi etkenler kalitenin kötüleşmesine neden olabilir. İstenen görüntü özelliklerinin tekrar kurulması görüntü geliştirmeden farklıdır, görüntü geliştirme işlemi var olan görüntünün belirgin özelliklerini vurgulama veya ortaya çıkarmayla ilgilidir. İstenen

görüntü özelliklerinin tekrar kurulması görüntü sensörü veya çevre özelliklerinin dezavantajlarının sonucu olan keskinlik azalmasını yeniden kurmaktır.

Bir dijital görüntüyü depolamak için gerekli bit sayısı $b=M \times N \times k$ ile ifade edilir. Eğer $M=N$ ise $b=N^2 \times k$ olur. Eğer bir görüntü 2^k gri dereceye sahipse, “k-bit görüntü” olarak adlandırılır. Örneğin 256 gri derece değerine sahip görüntü 8-bit görüntü olarak adlandırılır. 8-bitlik 1024x1024 ve daha fazla bir görüntünün depolanma alanı önemlidir (Jahne, 2005). Görüntü sıkıştırma görüntü gösterme için istenen bayt sayısının azaltılmasına dayanır. Sıkıştırma etkisi verilen dijital görüntünün farklı sayıda bir tabloya çevrilmesiyle gerçekleştirilir.

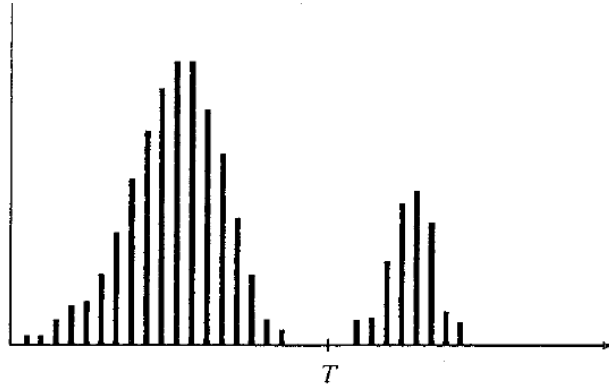
Renkli görüntüler (truecolor image) her pikselin üç değer ile tanımlandığı görüntülerdir. Her bir pikselde değerler kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) bileşenler (RGB) ile tanımlanır. Elektro-manyetik spektrumda 0,4-0,5 mm dalga boyu mavi renge; 0,5-0,6 mm dalga boyu yeşil renge; 0,6-0,7 mm dalga boyu kırmızı renge karşılık gelir. Bu dalga boylarında elde edilmiş aynı nesneye ait üç gri düzeyli görüntü bilgisayar ekranında sırası ile RGB kombinasyonunda üst üste düşürülecek olursa renkli görüntü elde edilmiş olur. Renkli görüntüler bilgisayarda 24-bit görüntü olarak depolanır. Kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerin her biri 8-bit’tir. Renk bileşenleri (0,0,0) olan bir piksel siyahı, (1,1,1) olan piksel beyazı gösterir. Her bir pikselin üç renk bileşeni veri sırasının üçüncü boyutunda sıralanır. Örneğin, (15,3) pikselinin kırmızı, yeşil ve mavi bileşenleri sırasıyla: RGB(15,3,1), RGB(15,3,2), RGB(15,3,3) noktalarında depolanır. Renkli görüntüler bilgisayarlarda gri düzeyli görüntülere göre daha fazla yer kaplarlar.

Gri tonlu görüntü (grayscale image, gray-level image) değerleri belli bir aralıkta yoğunluk gösteren bir veri matrisidir. Görüntü farklı gri ton değerlerinden oluşur. 256 gri değer aralığı görüntüde 256 tane farklı gri ton değeri bulunabileceği anlamına gelir. Sakalada 0 gri değeri siyah renge, 255 gri değeri ise beyaza karşılık gelir. Bu değerler arasında ise gri tonlar oluşur. Sonuç olarak gri seviye bir resimde her bir piksel 0 ile 255 arasında bir parlaklık değeri alır. 256 gri değer bir byte (1 byte=8 bit) olarak tanımlanabilir.

Renkli sayısal bir resmi gri seviye resme çevirebilmek için RGB renk modelinde belirtilen gri-seviye renk değerlerinin orijinal resimdeki piksellerin her bir renk kanalındaki sahip oldukları renk değerlerinin yerine, resmin özelliklerini değiştirmeden konulması ile elde edilmektedir.

Siyah beyaz görüntü (binary images) ise matriste her bir piksel değerinin 1 veya 0 olduğu görüntü formudur. Görüntü işleme sırasında uygulanan segmentasyon işlemi sonrası siyah beyaz görüntü elde edilir. Görüntü işlemenin en zor uygulaması aslında segmentasyon işlemidir ve işlem sonunda belli hata oranları olabilmektedir. Bunun nedeni görüntüyü siyah beyaz görüntüye çevirirken karşılaşılan zorluklardır. Siyah beyaz görüntüde nesneye ait piksel “1” değerini alırken ait olmayan piksel “0” değerini alır. Gri skalalı görüntünün siyah beyaz görüntüye çevrilmesi sırasında en uygun *eşik değeri* (threshold value) elle veya otomatik olarak belirlenmesi istenmektedir. Sonuç olarak [0 255] aralığında seçilen eşik değere göre gri tonlu görüntüde her bir piksel siyah veya beyaz olarak sınıflanır. Şekil 3’de açık nesneler ve koyu arka plandan oluşan $f(x,y)$ görüntüsünün yoğunluk histogramı gösterilmiştir. Nesne ve arka plan pikselleri baskın iki moda gruplanmış yoğunluk dereceleri içermektedir. Nesneleri arka plandan ayırmak için iki farklı modu birbirinden ayıran bir eşik değeri (T) belirlenmelidir. Daha sonra Eşitlik 2’de ifade edildiği gibi $f(x,y) \geq T$ nesne noktası; $f(x,y) < T$ arka plan noktası olarak tanımlandırılır (Gonzalez ve Woods, 2001).

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & f(x,y) \geq T \\ 0 & f(x,y) < T \end{cases} \quad (2)$$



Şekil 3 Çift modlu histogramda eşik değerinin belirlenmesi
(Gonzalez ve Woods, 2001).

Eğer görüntü düzgün bir şekilde aydınlatılmışsa eşik değeri problemsiz bir şekilde belirlenebilir. Eğer görüntüde aydınlatmadan kaynaklı düzgünsüzlükler varsa eşik değeri belirlenmeden önce histogram dengeleme gibi ön görüntü işleme teknikleri uygulanarak önce bu düzgünsüzlüğün giderilmesi gerekmektedir. Aksi halde nesne ve arka plan birbirlerinden doğru bir şekilde ayrılamaz. Aydınlatmadan kaynaklı hataların olmadığı düzgün bir görüntüde eşik değeri nesne ve arka plan arasındaki ortalama gri değeri hesaplayarak elde edilebilir.

Çalışmada kullanılan Otsu's (1979) eşik değeri belirleme yöntemi parametrik olmayan denetimsiz bir yöntemdir. En uygun eşik değeri diskriminant kriteri ile seçilir, yani gri seviyelerdeki eşdeğer sınıfların ayrılabilirliğini arttırmak amacıyla belirlenir. Histograma dayalı bu yöntem basittir; gri seviye histogramlarının sadece sıfıncı ve birinci dereceden toplam momentlerini kullanır. Yöntemle en uygun eşik değeri histogramın türevine (lokal özelliği) değil integrasyonuna (global özelliği) dayanan bir yöntemle otomatik ve istikrarlı olarak seçilmiştir. Çalışmada eşik değeri ortalama gri skala değerinin belirlenmesi ile ve Otsu's yöntemi kullanılarak ayrı ayrı belirlenmiş, en uygun yöntemle elde edilen siyah beyaz görüntüler üzerinde karar verilmiştir.

2 Uygulanan morfolojik işlemler

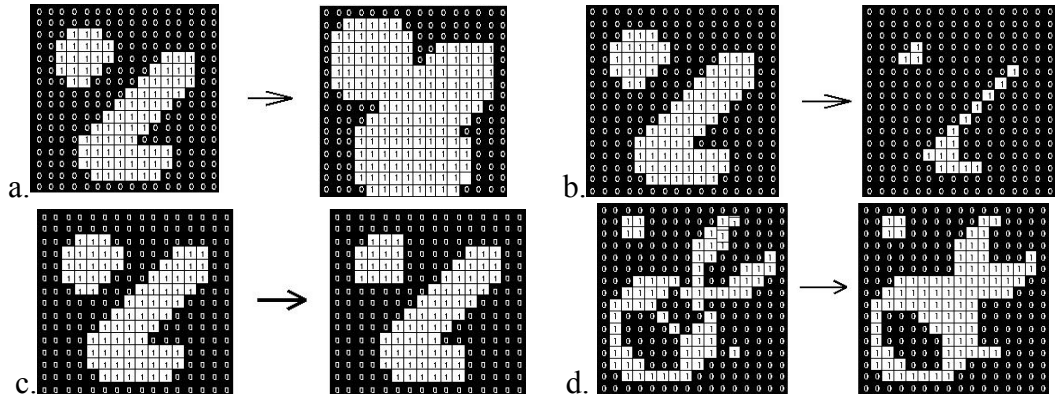
Morfolojik görüntü işleme prosesleri görüntüdeki nesnelerin şeklinin, alanının, sınırlarının belirlendiği analizlerde kullanılır. Aynı zamanda morfolojik işlemler inceltme, kalınlaştırma, filtreleme gibi görüntülerin ön ve/veya son işleme adımlarında da kullanılabilir.

Birçok morfolojik işleminin gerçekleştirilmesinde kullanılan en önemli öğe *yapısal elemandır* (structuring element). Yapısal elemanlar morfolojik işlemlerin şeklini ve derecesini kontrol etmek için istenen boyutlarda ve şekilde hazırlanmış küçük siyah beyaz resimlerdir. Şekli ve boyutsal parametreleri tanımlanan yapı elemanı ile (strel fonksiyonu=se) morfolojik işlemlerin dereceleri ve şekilleri kontrol edilir. Yapı elemanı fonksiyonunun (se) şekli ve boyutlarına bağlı olarak se ile işlem gören siyah beyaz görüntüde piksel ve komşu piksellerin yeni özellikleri belirlenir. Morfolojik işlemler sırasında yapı elemanı siyah beyaz görüntü üzerinde piksel piksel dolaştırılır ve nesne ile yapısal eleman kesişim kümesi nesneden çıkartılarak veya nesneye eklenerek gerçekleştirilir. En sık kullanılan yapısal eleman geometrik şekilleri kare, dikdörtgen ve dairedir. Morfolojik işlem sonucunda görüntüdeki nesnelerin keskin hatlarının silinmesi ve daha kavisli, yumuşak hatlar elde edilmesi isteniyorsa dairesel yapı elemanı tercih edilmelidir. Ya da örneğin erozyon işleminde görüntüdeki nesnelerin en ve boylarının aynı oranda azaltılması isteniyorsa yapısal eleman kare seçilmelidir (Gonzalez ve Woods, 2001). Eşitlik 3’de 3x3 boyutlarında matrise sahip yapısal eleman örnekleri gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Çalışmada kullanılan kapama (closing) ve açma (opening) fonksiyonları morfolojik görüntü işleminin temelini oluşturan genişletme (dilation) ve aşındırmak (erosion) fonksiyonlarının birleşimi ile tanımlanan fonksiyonlardır. Genişletme işlemi siyah beyaz görüntüde nesneleri büyütür veya kalınlaştırır. Nesne içinde

delikler var ise bunlar kapanma eğilimi gösterirler. Ayrık nesneler birbirine yaklaşır ya da bağlanır. Daraltma işlemi ise nesneyi inceltir veya küçültür. Görüntü içerisinde delik varsa genişler, bağlı nesneler ayrılma eğilimi gösterir. Bu iki fonksiyonun yaptıkları değişim şekli ve boyutsal parametreleri tanımlanan yapı elemanı fonksiyonu (strel fonksiyonu=se) ile kontrol edilir. Kapama ve açma işlemlerinde de tanımlanan yapı elemanı ile görüntüde iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilir. Sayısal bir görüntüye se fonksiyonu ile önce aşındırma daha sonra genişletme uygulanırsa resme açma işlemi uygulanmış olur. Kapatma işlemi ise siyah beyaz görüntünün se fonksiyonu ile önce genişletme daha sonra aşındırma adımlarını içerir. Bu işlemlerle nesnelerin sınırları daha düzgün bir duruma gelir. Yapı elemanın boyutlarına bağlı olarak açma işlemi kalın bağlantıları ve çizgileri yok ederek birbirine yakın iki nesneyi görüntüde fazla değişime yol açmadan ayırırken, kapama işlemi yapı elemanından daha küçük boşlukları doldurur ve birbirine yakın iki nesneyi birbirine bağlanmış olur. Tüm bu morfolojik proseslerin etkileri Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4 3x3 boyutlarında yapısal eleman ile a. Genişletme, b. Aşındırma, c. Açma, d. Kapatma prosesleri (3x3 lük yapısal elemanın tüm değerleri "1"dir) (Günay, 2011)

3 Etiketleme (Labeling)

Çalışmada gözenek boyutları ve boyut dağılımı ile ilgili bilgileri kumaş görüntüleri üzerinden elde etmek amacıyla etiketleme (labeling) prosesi uygulanarak nesnelerin sınıflandırılması sağlanmıştır. Siyah-beyaz bir resim içerisinde birbiri ile hiçbir piksel komşuluğu olmayan nesnelerin değişik renklere boyanması ile resim içerisindeki bu objelerin birbirinden ayrılması işlemine etiketleme denir. Yöntemin temeli bir pikselin komşuluğu bulunan diğer piksellerle bağlantısının belirlenmesi ve

birbirleriyle bağlantılı olan komşu piksel gruplarının nesne olarak tanımlanması, birbirlerine piksel komşulukları olmayan tüm nesnelerin farklı bir renge boyanarak etiketlenmesidir. Etiketleme işlemi sonunda elde edilen resim içerisinde kullanılan birbirine piksel komşuluğu olmayan farklı nesnelerin (etiketlerin) sayısı otomatik olarak belirlenebilir.

EK 3

VARYANS ANALİZİ SONUÇLARI

Eklerde çalışmada gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları özetlenmiştir. Varyans analizi tablolarında Source: Kaynak; DF: Serbestlik derecesi, SS: kareler toplamı, MS: Kareler ortalaması, F: F-testi, P: p-değeri; Factor: Faktör; Error: Hata; Total: Toplam; S: ortak varyans, R-Sq: regresyon belirleme katsayısı, R-Sq(adj): düzeltilmiş regresyon belirleme katsayısı, Mean: Ortalama; StDev : Standart sapma, Level: değişken, N: Örnek sayısı; Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev: Ortak standart sapmaya dayalı ortalamanın %95 güven aralığı, ; Pooled StDev: Ortak standart sapmayı ifade etmektedir.

Ek 3.1 Yüzeysel görüntüden elde edilen iplik çapı verilerinin sıklık ile ilişkisinin varyans analizi ile incelenmesi (A: Bezayağı kumaş; B: 2/1 Dimi kumaş; C: 3/1 dimi kumaş; dm1: ölçülen çözgü çapı; dm2: ölçülen atkı çapı)

```
Source  DF      SS      MS      F      P
Factor    2  0,0000014  0,0000007  0,09  0,914
Error   27  0,0002089  0,0000077
Total   29  0,0002103

S = 0,002781    R-Sq = 0,67%    R-Sq(adj) = 0,00%

                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level   N      Mean      StdS  -----+-----+-----+-----+---
A1 dm1  10  0,021583  0,002298  (-----*-----)
A2 dm1  10  0,021400  0,003541  (-----*-----)
A3 dm1  10  0,021922  0,002321  (-----*-----)
-----+-----+-----+-----+---
                                0,0204      0,0216      0,0228      0,0240

Pooled StDev = 0,002781
```

```
Source  DF      SS      MS      F      P
Factor    2  0,0000868  0,0000434  8,70  0,001
Error    27  0,0001347  0,0000050
Total    29  0,0002216

S = 0,002234    R-Sq = 39,20%    R-Sq(adj) = 34,70%

Individual 95% CIs For Mean Based on
Pooled StDev
Level    N      Mean      StDev
B2 dm1  10  0,020496  0,001905
B3 dm1  10  0,019383  0,002573
B4 dm1  10  0,023417  0,002171
+-----+-----+-----+-----+
          (-----*-----)
          (-----*-----)
                          (-----*-----)
+-----+-----+-----+-----+
0,0180      0,0200      0,0220      0,0240

Pooled StDev = 0,002234
```

```

Source      DF          SS          MS          F          P
Factor       2    0,0000219    0,0000109    1,63    0,215
Error       27    0,0001815    0,0000067
Total       29    0,0002034

S = 0,002593    R-Sq = 10,76%    R-Sq(adj) = 4,15%

                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level      N      Mean      StDev  -----+-----+-----+-----+-----
C2 dm1    10    0,020652  0,001927  (-----*-----)
C3 dm1    10    0,022400  0,002758  (-----*-----)
C4 dm1    10    0,022522  0,002974  (-----*-----)
                                -----+-----+-----+-----
                                0,0195    0,0210    0,0225    0,0240

Pooled StDev = 0,002593

```

S = 0,002551 R-Sq = 8,43% R-Sq(adj) = 1,64%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----+-----+
A1 dm2	10	0,027774	0,002132	(-----*-----)
A2 dm2	10	0,026148	0,002645	(-----*-----)
A3 dm2	10	0,026296	0,002826	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----+-----+
				0,0255 0,0270 0,0285 0,0300

Pooled StDev = 0,002551

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000270	0,0000135	0,65	0,531
Error	27	0,0005625	0,0000208		
Total	29	0,0005895			

S = 0,004564 R-Sq = 4,58% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2 dm2	10	0,025435	0,002271	(-----*-----)
B3 dm2	10	0,026548	0,002829	(-----*-----)
B4 dm2	10	0,024226	0,007024	(-----*-----)

Pooled StDev = 0,004564

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000083	0,0000041	0,85	0,439
Error	27	0,0001314	0,0000049		
Total	29	0,0001396			

S = 0,002206 R-Sq = 5,92% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
C2 dm2	10	0,026765	0,002775	(-----*-----)
C3 dm2	10	0,027096	0,001582	(-----*-----)
C4 dm2	10	0,025855	0,002096	(-----*-----)

Pooled StDev = 0,002206

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000089	0,0000044	0,67	0,520
Error	27	0,0001786	0,0000066		
Total	29	0,0001875			

S = 0,002572 R-Sq = 4,73% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A2 dm2	10	0,026148	0,002645	-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
B2 dm2	10	0,025435	0,002271	(-----*-----)
C2 dm2	10	0,026765	0,002775	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+----- 0,0240 0,0252 0,0264 0,0276

Pooled StDev = 0,002572

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000033	0,0000017	0,27	0,764
Error	27	0,0001664	0,0000062		
Total	29	0,0001698			

S = 0,002483 R-Sq = 1,97% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A3 dm2	10	0,026296	0,002826	-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
B3 dm2	10	0,026548	0,002829	(-----*-----)
C3 dm2	10	0,027096	0,001582	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+----- 0,0252 0,0264 0,0276 0,0288

Pooled StDev = 0,002483

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000133	0,0000133	0,49	0,491
Error	18	0,0004836	0,0000269		
Total	19	0,0004969			

S = 0,005183 R-Sq = 2,67% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B4 dm2	10	0,024226	0,007024	-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
C4 dm2	10	0,025855	0,002096	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+----- 0,0225 0,0250 0,0275 0,0300

Pooled StDev = 0,005183

Ek 3.3 Yüzeysel görüntüden elde edilen iplik açıklığı verilerinin sıklık ile ilişkisinin varyans analizi ile incelenmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000305	0,0000153	3,34	0,051
Error	27	0,0001235	0,0000046		
Total	29	0,0001540			

S = 0,002139 R-Sq = 19,81% R-Sq(adj) = 13,87%

Level	N	Mean	StDev
A1 pm1	10	0,029896	0,002838
A2 pm1	10	0,027426	0,001384
A3 pm1	10	0,028713	0,001938

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 0,0270 0,0285 0,0300 0,0315

Pooled StDev = 0,002139

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000058	0,0000029	0,40	0,677
Error	27	0,0001996	0,0000074		
Total	29	0,0002055			

S = 0,002719 R-Sq = 2,85% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev
B2 pm1	10	0,027757	0,003202
B3 pm1	10	0,028783	0,002390
B4 pm1	10	0,027974	0,002494

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 0,0264 0,0276 0,0288 0,0300

Pooled StDev = 0,002719

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000401	0,0000200	2,75	0,082
Error	27	0,0001968	0,0000073		
Total	29	0,0002368			

S = 0,002700 R-Sq = 16,91% R-Sq(adj) = 10,76%

Level	N	Mean	StDev
C2 pm1	10	0,028852	0,002337
C3 pm1	10	0,026330	0,003303
C4 pm1	10	0,026478	0,002344

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 0,0256 0,0272 0,0288 0,0304

Pooled StDev = 0,002700

Ek 3.4 Yüzeysel görüntüden elde edilen iplik açıklığı verilerinin örgü tipi ile ilişkisinin ANOVA varyans analizi ile incelenmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000111	0,0000056	0,95	0,400
Error	27	0,0001586	0,0000059		
Total	29	0,0001698			

S = 0,002424 R-Sq = 6,56% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev
A2 pml	10	0,027426	0,001384
B2 pml	10	0,027757	0,003202
C2 pml	10	0,028852	0,002337

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	Lower CI	Upper CI
A2 pml	10	0,027426	0,001384	0,0264	0,0284
B2 pml	10	0,027757	0,003202	0,0276	0,0299
C2 pml	10	0,028852	0,002337	0,0288	0,0300

Pooled StDev = 0,002424

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000390	0,0000195	2,87	0,074
Error	27	0,0001834	0,0000068		
Total	29	0,0002224			

S = 0,002606 R-Sq = 17,53% R-Sq(adj) = 11,42%

Level	N	Mean	StDev
A3 pml	10	0,028713	0,001938
B3 pml	10	0,028783	0,002390
C3 pml	10	0,026330	0,003303

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	Lower CI	Upper CI
A3 pml	10	0,028713	0,001938	0,0285	0,0289
B3 pml	10	0,028783	0,002390	0,0285	0,0290
C3 pml	10	0,026330	0,003303	0,0255	0,0271

Pooled StDev = 0,002606

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000112	0,0000112	1,91	0,184
Error	18	0,0001054	0,0000059		
Total	19	0,0001166			

S = 0,002420 R-Sq = 9,59% R-Sq(adj) = 4,57%

Level	N	Mean	StDev
B4 pml	10	0,027974	0,002494
C4 pml	10	0,026478	0,002344

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	Lower CI	Upper CI
B4 pml	10	0,027974	0,002494	0,0276	0,0283
C4 pml	10	0,026478	0,002344	0,0264	0,0269

Pooled StDev = 0,002420

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000671	0,0000335	3,11	0,061
Error	27	0,0002914	0,0000108		
Total	29	0,0003585			

S = 0,003285 R-Sq = 18,71% R-Sq(adj) = 12,69%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A2 pm2	10	0,057339	0,002749	(-----*-----)
B2 pm2	10	0,055400	0,002655	(-----*-----)
C2 pm2	10	0,053678	0,004216	(-----*-----)

0,0520 0,0540 0,0560 0,0580

Pooled StDev = 0,003285

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000228	0,0000114	1,93	0,165
Error	27	0,0001596	0,0000059		
Total	29	0,0001824			

S = 0,002431 R-Sq = 12,51% R-Sq(adj) = 6,02%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A3 pm2	10	0,045748	0,001482	(-----*-----)
B3 pm2	10	0,047643	0,001977	(-----*-----)
C3 pm2	10	0,045843	0,003410	(-----*-----)

0,0450 0,0465 0,0480 0,0495

Pooled StDev = 0,002431

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000225	0,0000225	2,74	0,115
Error	18	0,0001480	0,0000082		
Total	19	0,0001705			

S = 0,002868 R-Sq = 13,20% R-Sq(adj) = 8,38%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B4 pm2	10	0,039409	0,002525	(-----*-----)
C4 pm2	10	0,037287	0,003173	(-----*-----)

0,0360 0,0375 0,0390 0,0405

Pooled StDev = 0,002868

Ek 3.5 Enine kesit görüntüleri üzerinden iplik pozisyonu dikkate alınmadan gerçekleştirilen Photoshop® ölçümleri sonucu elde edilen çözgü ve atkı ipliği boyut parametrelerinin (a: büyük çap, b: küçük çap) sıklık ile ilişkisinin incelenmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000548	0,0000274	3,56	0,033
Error	87	0,0006706	0,0000077		
Total	89	0,0007255			

S = 0,002776 R-Sq = 7,56% R-Sq(adj) = 5,44%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
A1 a1	30	0,027167	0,003089
A2 a1	30	0,026134	0,002506
A3 a1	30	0,028044	0,002702

0,0260 0,0270 0,0280 0,0290

Pooled StDev = 0,002776

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000444	0,0000222	2,80	0,066
Error	87	0,0006900	0,0000079		
Total	89	0,0007344			

S = 0,002816 R-Sq = 6,05% R-Sq(adj) = 3,89%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
A1 a2	30	0,029640	0,003219
A2 a2	30	0,027924	0,002693
A3 a2	30	0,028671	0,002485

0,0270 0,0280 0,0290 0,0300

Pooled StDev = 0,002816

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000013	0,0000006	0,33	0,720
Error	87	0,0001662	0,0000019		
Total	89	0,0001675			

S = 0,001382 R-Sq = 0,75% R-Sq(adj) = 0,00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
A1 b1	30	0,015561	0,001452
A2 b1	30	0,015836	0,001585
A3 b1	30	0,015618	0,001054

0,01505 0,01540 0,01575 0,01610

Pooled StDev = 0,001382

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000164	0,0000082	4,63	0,012
Error	87	0,0001545	0,0000018		
Total	89	0,0001710			

S = 0,001333 R-Sq = 9,61% R-Sq(adj) = 7,53%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A1 b2	30	0,014415	0,001319	+-----+-----+-----+-----+ (-----*-----)
A2 b2	30	0,015433	0,001418	(-----*-----)
A3 b2	30	0,015133	0,001257	(-----*-----)
				+-----+-----+-----+-----+
				0,01400 0,01450 0,01500 0,01550

Pooled StDev = 0,001333

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000433	0,0000217	2,98	0,056
Error	87	0,0006321	0,0000073		
Total	89	0,0006754			

S = 0,002695 R-Sq = 6,42% R-Sq(adj) = 4,27%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2 a1	30	0,024207	0,002996	+-----+-----+-----+-----+ (-----*-----)
B3 a1	30	0,024358	0,002751	(-----*-----)
B4 a1	30	0,022817	0,002291	(-----*-----)
				+-----+-----+-----+-----+
				0,0220 0,0230 0,0240 0,0250

Pooled StDev = 0,002695

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0004654	0,0002327	23,89	0,000
Error	87	0,0008475	0,0000097		
Total	89	0,0013129			

S = 0,003121 R-Sq = 35,45% R-Sq(adj) = 33,97%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2 a2	30	0,029262	0,003070	+-----+-----+-----+-----+ (-----*-----)
B3 a2	30	0,029913	0,002849	(-----*-----)
B4 a2	30	0,024796	0,003417	(-----*-----)
				+-----+-----+-----+-----+
				0,0240 0,0260 0,0280 0,0300

Pooled StDev = 0,003121

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0006070	0,0003035	105,83	0,000
Error	87	0,0002495	0,0000029		
Total	89	0,0008565			

S = 0,001693 R-Sq = 70,87% R-Sq(adj) = 70,20%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2 b2	30	0,014152	0,001270	(--*--)
B3 b2	30	0,014282	0,001211	(--*--)
B4 b2	30	0,019725	0,002350	(--*--)

0,0140 0,0160 0,0180 0,0200

Pooled StDev = 0,001693

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000101	0,0000050	1,42	0,248
Error	87	0,0003095	0,0000036		
Total	89	0,0003196			

S = 0,001886 R-Sq = 3,15% R-Sq(adj) = 0,92%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2 b1	30	0,017285	0,001966	(-----*-----)
B3 b1	30	0,017115	0,001827	(-----*-----)
B4 b1	30	0,016506	0,001863	(-----*-----)

0,01620 0,01680 0,01740 0,01800

Pooled StDev = 0,001886

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000199	0,0000099	1,67	0,194
Error	87	0,0005169	0,0000059		
Total	89	0,0005368			

S = 0,002438 R-Sq = 3,70% R-Sq(adj) = 1,49%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
C2 a1	30	0,024788	0,002422	(-----*-----)
C3 a1	30	0,023946	0,002388	(-----*-----)
C4 a1	30	0,023687	0,002501	(-----*-----)

0,02320 0,02400 0,02480 0,02560

Pooled StDev = 0,002438

Ek 3.6 Enine kesit görüntüleri üzerinden iplik pozisyonu dikkate alınmadan gerçekleştirilen Photoshop® ölçümleri sonucu elde edilen çözgü ve atkı ipliği boyut parametrelerinin (a: büyük çap, b: küçük çap) örgü tipi ile ilişkisinin incelenmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000586	0,0000293	4,16	0,019
Error	87	0,0006126	0,0000070		
Total	89	0,0006712			

S = 0,002653 R-Sq = 8,73% R-Sq(adj) = 6,63%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
A2 a1	30	0,026134	0,002506
B2 a1	30	0,024207	0,002996
C2 a1	30	0,024788	0,002422

0,0240 0,0250 0,0260 0,0270

Pooled StDev = 0,002653

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0003055	0,0001528	22,27	0,000
Error	87	0,0005967	0,0000069		
Total	89	0,0009023			

S = 0,002619 R-Sq = 33,86% R-Sq(adj) = 32,34%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
A3 a1	30	0,028044	0,002702
B3 a1	30	0,024358	0,002751
C3 a1	30	0,023946	0,002388

0,0240 0,0255 0,0270 0,0285

Pooled StDev = 0,002619

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000114	0,0000114	1,98	0,165
Error	58	0,0003336	0,0000058		
Total	59	0,0003450			

S = 0,002398 R-Sq = 3,29% R-Sq(adj) = 1,63%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
B4 a1	30	0,022817	0,002291
C4 a1	30	0,023687	0,002501

0,02240 0,02310 0,02380 0,02450

Pooled StDev = 0,002398

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000370	0,0000185	6,13	0,003
Error	87	0,0002625	0,0000030		
Total	89	0,0002995			

S = 0,001737 R-Sq = 12,35% R-Sq(adj) = 10,34%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A2 b1	30	0,015836	0,001585	-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
B2 b1	30	0,017285	0,001966	(-----*-----)
C2 b1	30	0,017086	0,001636	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+----- 0,01540 0,01610 0,01680 0,01750

Pooled StDev = 0,001737

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000868	0,0000434	11,92	0,000
Error	87	0,0003166	0,0000036		
Total	89	0,0004034			

S = 0,001908 R-Sq = 21,51% R-Sq(adj) = 19,71%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A3 b1	30	0,015618	0,001054	+-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
B3 b1	30	0,017115	0,001827	(-----*-----)
C3 b1	30	0,017996	0,002543	(-----*-----)
				+-----+-----+-----+-----+----- 0,0150 0,0160 0,0170 0,0180

Pooled StDev = 0,001908

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000192	0,0000192	5,49	0,023
Error	58	0,0002025	0,0000035		
Total	59	0,0002217			

S = 0,001869 R-Sq = 8,65% R-Sq(adj) = 7,08%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B4 b1	30	0,016506	0,001863	-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
C4 b1	30	0,017637	0,001874	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+----- 0,01610 0,01680 0,01750 0,01820

Pooled StDev = 0,001869

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0001644	0,0000822	6,71	0,002
Error	87	0,0010648	0,0000122		
Total	89	0,0012292			

S = 0,003498 R-Sq = 13,37% R-Sq(adj) = 11,38%

Level	N	Mean	StDev
A2 a2	30	0,027924	0,002693
B2 a2	30	0,029262	0,003070
C2 a2	30	0,031215	0,004476

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 0,0270 0,0285 0,0300 0,0315

Pooled StDev = 0,003498

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000351	0,0000175	2,23	0,113
Error	87	0,0006835	0,0000079		
Total	89	0,0007186			

S = 0,002803 R-Sq = 4,88% R-Sq(adj) = 2,70%

Level	N	Mean	StDev
A3 a2	30	0,028671	0,002485
B3 a2	30	0,029913	0,002849
C3 a2	30	0,030065	0,003046

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 0,0280 0,0290 0,0300 0,0310

Pooled StDev = 0,002803

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000116	0,0000116	0,60	0,443
Error	58	0,0011253	0,0000194		
Total	59	0,0011369			

S = 0,004405 R-Sq = 1,02% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev
B4 a2	30	0,024796	0,003417
C4 a2	30	0,025675	0,005208

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 0,0240 0,0252 0,0264 0,0276

Pooled StDev = 0,004405

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000418	0,0000209	11,64	0,000
Error	87	0,0001564	0,0000018		
Total	89	0,0001982			

S = 0,001341 R-Sq = 21,11% R-Sq(adj) = 19,29%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A2 b2	30	0,015433	0,001418	-----+-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
B2 b2	30	0,014152	0,001270	(-----*-----)
C2 b2	30	0,015720	0,001330	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----+----- 0,01400 0,01470 0,01540 0,01610

Pooled StDev = 0,001341

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000271	0,0000135	5,45	0,006
Error	87	0,0002160	0,0000025		
Total	89	0,0002431			

S = 0,001576 R-Sq = 11,14% R-Sq(adj) = 9,10%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A3 b2	30	0,015133	0,001257	-----+-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
B3 b2	30	0,014282	0,001211	(-----*-----)
C3 b2	30	0,015608	0,002099	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----+----- 0,01400 0,01470 0,01540 0,01610

Pooled StDev = 0,001576

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0001914	0,0001914	20,13	0,000
Error	58	0,0005516	0,0000095		
Total	59	0,0007431			

S = 0,003084 R-Sq = 25,76% R-Sq(adj) = 24,48%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B4 b2	30	0,019725	0,002350	+-----+-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
C4 b2	30	0,016152	0,003674	(-----*-----)
				+-----+-----+-----+-----+-----+----- 0,0150 0,0165 0,0180 0,0195

Pooled StDev = 0,003084

Ek 3.7 Sıklık ve kumaş kalınlığı arasındaki ilişkinin varyans analizi ile değerlendirilmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0002647	0,0001323	24,75	0,000
Error	87	0,0004651	0,0000053		
Total	89	0,0007298			

S = 0,002312 R-Sq = 36,27% R-Sq(adj) = 34,80%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A1 t1	30	0,033881	0,001801	(-----*-----)
A2 t1	30	0,033433	0,002201	(-----*-----)
A3 t1	30	0,030040	0,002820	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				0,0300 0,0315 0,0330 0,0345

Pooled StDev = 0,002312

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000402	0,0000201	6,18	0,003
Error	87	0,0002829	0,0000033		
Total	89	0,0003231			

S = 0,001803 R-Sq = 12,44% R-Sq(adj) = 10,43%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2 t1	30	0,033093	0,001545	(-----*-----)
B3 t1	30	0,033638	0,002024	(-----*-----)
B4 t1	30	0,034702	0,001808	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				0,03280 0,03360 0,03440 0,03520

Pooled StDev = 0,001803

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0003162	0,0001581	45,21	0,000
Error	87	0,0003043	0,0000035		
Total	89	0,0006205			

S = 0,001870 R-Sq = 50,97% R-Sq(adj) = 49,84%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
C2 t1	30	0,034246	0,002055	(---*---)
C3 t1	30	0,038810	0,001377	(-----*-----)
C4 t1	30	0,036966	0,002090	(---*---)
				-----+-----+-----+-----+-----
				0,0345 0,0360 0,0375 0,0390

Pooled StDev = 0,001870

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000211	0,0000105	2,76	0,069
Error	87	0,0003322	0,0000038		
Total	89	0,0003533			

S = 0,001954 R-Sq = 5,96% R-Sq(adj) = 3,80%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A2 t1	30	0,033433	0,002201	(-----*-----)
B2 t1	30	0,033093	0,001545	(-----*-----)
C2 t1	30	0,034246	0,002055	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				0,03290 0,03360 0,03430 0,03500

Pooled StDev = 0,001954

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0011660	0,0005830	125,39	0,000
Error	87	0,0004045	0,0000046		
Total	89	0,0015705			

S = 0,002156 R-Sq = 74,24% R-Sq(adj) = 73,65%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A3 t1	30	0,030040	0,002820	(-***)
B3 t1	30	0,033638	0,002024	(-***)
C3 t1	30	0,038810	0,001377	(-***)
				-----+-----+-----+-----+-----
				0,0300 0,0330 0,0360 0,0390

Pooled StDev = 0,002156

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000769	0,0000769	20,13	0,000
Error	58	0,0002215	0,0000038		
Total	59	0,0002984			

S = 0,001954 R-Sq = 25,76% R-Sq(adj) = 24,48%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B4 t1	30	0,034702	0,001808	(-----*-----)
C4 t1	30	0,036966	0,002090	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				0,0340 0,0350 0,0360 0,0370

Pooled StDev = 0,001954

Ek 3.8 Stereo Investigator® iplik çapı ölçümleri sonucu elde edilen iplik boyutlarının (a, b) sıklık ile ilişkisinin varyans analizi ile incelenmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000183	0,0000091	0,88	0,420
Error	57	0,0005915	0,0000104		
Total	59	0,0006098			

S = 0,003221 R-Sq = 3,00% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A1 asi1	20	0,026863	0,002879	(-----*-----)
A2 asi1	20	0,028212	0,003456	(-----*-----)
A3 asi1	20	0,027444	0,003301	(-----*-----)

0,0264 0,0276 0,0288 0,0300

Pooled StDev = 0,003221

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000072	0,0000036	0,55	0,579
Error	57	0,0003736	0,0000066		
Total	59	0,0003808			

S = 0,002560 R-Sq = 1,90% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A1 bs11	20	0,016902	0,002361	(-----*-----)
A2 bs11	20	0,016146	0,002098	(-----*-----)
A3 bs11	20	0,016188	0,003113	(-----*-----)

0,01520 0,01600 0,01680 0,01760

Pooled StDev = 0,002560

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000758	0,0000379	5,66	0,006
Error	57	0,0003813	0,0000067		
Total	59	0,0004571			

S = 0,002586 R-Sq = 16,58% R-Sq(adj) = 13,65%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A1 asi2	20	0,030002	0,003349	(-----*-----)
A2 asi2	20	0,028739	0,001726	(-----*-----)
A3 asi2	20	0,027252	0,002424	(-----*-----)

0,0270 0,0285 0,0300 0,0315

Pooled StDev = 0,002586

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000038	0,0000019	1,75	0,182
Error	57	0,0000611	0,0000011		
Total	59	0,0000649			

S = 0,001036 R-Sq = 5,79% R-Sq(adj) = 2,49%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A1 bs12	20	0,015185	0,000933	(-----*-----)
A2 bs12	20	0,015057	0,001292	(-----*-----)
A3 bs12	20	0,014602	0,000823	(-----*-----)

0,01440 0,01480 0,01520 0,01560

Pooled StDev = 0,001036

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000270	0,0000135	2,26	0,114
Error	57	0,0003404	0,0000060		
Total	59	0,0003673			

S = 0,002444 R-Sq = 7,34% R-Sq(adj) = 4,09%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2 as11	20	0,024272	0,002101	(-----*-----)
B3 as11	20	0,024758	0,003092	(-----*-----)
B4 as11	20	0,023157	0,001986	(-----*-----)

0,0230 0,0240 0,0250

0,0260

Pooled StDev = 0,002444

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000365	0,0000182	4,03	0,023
Error	57	0,0002575	0,0000045		
Total	59	0,0002940			

S = 0,002126 R-Sq = 12,40% R-Sq(adj) = 9,33%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2 bs11	20	0,018591	0,002318	(-----*-----)
B3 bs11	20	0,017880	0,002441	(-----*-----)
B4 bs11	20	0,016701	0,001491	(-----*-----)

0,0160 0,0170 0,0180 0,0190

Pooled StDev = 0,002126

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0008664	0,0004332	49,21	0,000
Error	57	0,0005018	0,0000088		
Total	59	0,0013681			

S = 0,002967 R-Sq = 63,32% R-Sq(adj) = 62,04%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2 asi2	20	0,029103	0,003358	(---*---)
B3 asi2	20	0,030613	0,002971	(---*---)
B4 asi2	20	0,021904	0,002511	(---*---)

0,0210 0,0240 0,0270 0,0300

Pooled StDev = 0,002967

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0002615	0,0001308	70,11	0,000
Error	57	0,0001063	0,0000019		
Total	59	0,0003678			

S = 0,001366 R-Sq = 71,10% R-Sq(adj) = 70,08%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2 bsi2	20	0,014232	0,001555	(---*---)
B3 bsi2	20	0,015006	0,001273	(---*---)
B4 bsi2	20	0,018996	0,001247	(---*---)

0,0150 0,0165 0,0180

0,0195

Pooled StDev = 0,001366

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000338	0,0000169	2,35	0,105
Error	57	0,0004111	0,0000072		
Total	59	0,0004449			

S = 0,002685 R-Sq = 7,60% R-Sq(adj) = 4,36%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
C2 asi1	20	0,023964	0,003301	(-----*-----)
C3 asi1	20	0,022146	0,001520	(-----*-----)
C4 asi1	20	0,023297	0,002904	(-----*-----)

0,0216 0,0228 0,0240 0,0252

Pooled StDev = 0,002685

Ek 3.9 Stereo Investigator® iplik çapı ölçümleri sonucu elde edilen iplik boyutlarının (a, b) örgü tipi ile ilişkisinin varyans analizi ile incelenmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0002244	0,0001122	12,35	0,000
Error	57	0,0005178	0,0000091		
Total	59	0,0007422			

S = 0,003014 R-Sq = 30,24% R-Sq(adj) = 27,79%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A2 asi1	20	0,028212	0,003456	(-----*-----)
B2 asi1	20	0,024272	0,002101	(-----*-----)
C2 asi1	20	0,023964	0,003301	(-----*-----)

0,0240 0,0260 0,0280 0,0300

Pooled StDev = 0,003014

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000667	0,0000334	8,09	0,001
Error	57	0,0002351	0,0000041		
Total	59	0,0003019			

S = 0,002031 R-Sq = 22,10% R-Sq(adj) = 19,37%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A2 bs11	20	0,016146	0,002098	(-----*-----)
B2 bs11	20	0,018591	0,002318	(-----*-----)
C2 bs11	20	0,018089	0,001614	(-----*-----)

0,0156 0,0168 0,0180 0,0192

Pooled StDev = 0,002031

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000795	0,0000398	5,13	0,009
Error	57	0,0004413	0,0000077		
Total	59	0,0005208			

S = 0,002782 R-Sq = 15,27% R-Sq(adj) = 12,29%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A2 asi2	20	0,028739	0,001726	(-----*-----)
B2 asi2	20	0,029103	0,003358	(-----*-----)
C2 asi2	20	0,031342	0,002996	(-----*-----)

0,0285 0,0300 0,0315 0,0330

Pooled StDev = 0,002782

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000309	0,0000155	8,12	0,001
Error	57	0,0001086	0,0000019		
Total	59	0,0001395			

S = 0,001380 R-Sq = 22,18% R-Sq(adj) = 19,45%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A2 bs12	20	0,015057	0,001292	+-----+-----+-----+-----+ (-----*-----)
B2 bs12	20	0,014232	0,001555	(-----*-----)
C2 bs12	20	0,015990	0,001275	(-----*-----)
				+-----+-----+-----+-----+
				0,01360 0,01440 0,01520 0,01600

Pooled StDev = 0,001380

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0002807	0,0001403	18,50	0,000
Error	57	0,0004325	0,0000076		
Total	59	0,0007132			

S = 0,002755 R-Sq = 39,36% R-Sq(adj) = 37,23%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A3 as11	20	0,027444	0,003301	-----+-----+-----+-----+ (-----*-----)
B3 as11	20	0,024758	0,003092	(-----*-----)
C3 as11	20	0,022146	0,001520	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+
				0,0220 0,0240 0,0260 0,0280

Pooled StDev = 0,002755

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000911	0,0000456	5,60	0,006
Error	57	0,0004633	0,0000081		
Total	59	0,0005544			

S = 0,002851 R-Sq = 16,43% R-Sq(adj) = 13,50%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A3 bs11	20	0,016188	0,003113	+-----+-----+-----+-----+ (-----*-----)
B3 bs11	20	0,017880	0,002441	(-----*-----)
C3 bs11	20	0,019198	0,002956	(-----*-----)
				+-----+-----+-----+-----+
				0,0150 0,0165 0,0180 0,0195

Pooled StDev = 0,002851

S = 0,002957 R-Sq = 22,87% R-Sq(adj) = 20,16%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A3 as12	20	0,027252	0,002424	(-----*-----)
B3 as12	20	0,030613	0,002971	(-----*-----)
C3 as12	20	0,030546	0,003395	(-----*-----)

Pooled StDev = 0,002957

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0000240	0,0000120	8,54	0,001
Error	57	0,0000801	0,0000014		
Total	59	0,0001041			

S = 0,001186 R-Sq = 23,05% R-Sq(adj) = 20,35%

Level	N	Mean	StDev
A3 bs12	20	0,014602	0,000823
B3 bs12	20	0,015006	0,001273
C3 bs12	20	0,016099	0,001385

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	Mean	Lower CI	Upper CI
A3 bs12	0,01505	0,01485	0,01525
B3 bs12	0,01545	0,01525	0,01565
C3 bs12	0,01615	0,01595	0,01635

Pooled StDev = 0,001186

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000002	0,0000002	0,03	0,860
Error	38	0,0002351	0,0000062		
Total	39	0,0002353			

S = 0,002487 R-Sq = 0,08% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B4 as11	20	0,023157	0,001986	(-----*-----)
C4 as11	20	0,023297	0,002904	(-----*-----)

0,02220 0,02280 0,02340 0,02400

Pooled StDev = 0,002487

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000446	0,0000446	13,47	0,001
Error	38	0,0001258	0,0000033		
Total	39	0,0001704			

S = 0,001820 R-Sq = 26,18% R-Sq(adj) = 24,23%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B4 bs11	20	0,016701	0,001491	-----+-----+-----+----- (-----*-----)
C4 bs11	20	0,018813	0,002097	(-----*-----) -----+-----+-----+-----
				0,0160 0,0170 0,0180 0,0190

Pooled StDev = 0,001820

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000928	0,0000928	7,77	0,008
Error	38	0,0004540	0,0000119		
Total	39	0,0005468			

S = 0,003456 R-Sq = 16,97% R-Sq(adj) = 14,79%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B4 asi2	20	0,021904	0,002511	-----+-----+-----+----- (-----*-----)
C4 asi2	20	0,024951	0,004194	(-----*-----) -----+-----+-----+-----
				0,0208 0,0224 0,0240 0,0256

Pooled StDev = 0,003456

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000040	0,0000040	1,35	0,253
Error	38	0,0001125	0,0000030		
Total	39	0,0001165			

S = 0,001721 R-Sq = 3,42% R-Sq(adj) = 0,88%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B4 bs12	20	0,018996	0,001247	-----+-----+-----+----- (-----*-----)
C4 bs12	20	0,018365	0,002090	(-----*-----) -----+-----+-----+-----
				0,01800 0,01860 0,01920 0,01980

Pooled StDev = 0,001721

Ek 3.10 Stereo Investigator® programında ölçülen iplik alanı ve sıklık ilişkilerin varyans analizi ile incelenmesi ($\times 10^{-8} \text{ cm}^2$)

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	42447099	21223549	0,86	0,427
Error	57	1401003438	24579008		
Total	59	1443450537			

S = 4958 R-Sq = 2,94% R-Sq(adj) = 0,00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
A1 Asi1	20	34287	5505
A2 Asi1	20	34529	5594
A3 Asi1	20	32636	3483

30400 32000 33600 35200

Pooled StDev = 4958

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	278874856	139437428	10,87	0,000
Error	57	730988218	12824355		
Total	59	1009863074			

S = 3581 R-Sq = 27,62% R-Sq(adj) = 25,08%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
A1 Asi2	20	34591	4557
A2 Asi2	20	32435	2804
A3 Asi2	20	29338	3137

30000 32500 35000 37500

Pooled StDev = 3581

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	272372343	136186172	6,79	0,002
Error	57	1143903736	20068487		
Total	59	1416276079			

S = 4480 R-Sq = 19,23% R-Sq(adj) = 16,40%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
B2 Asi1	20	35556	4938
B3 Asi1	20	33280	4823
B4 Asi1	20	30351	3544

30000 32500 35000 37500

Pooled StDev = 4480

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	46827016	23413508	0,96	0,388
Error	57	1387108740	24335241		
Total	59	1433935756			

S = 4933 R-Sq = 3,27% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2 Asi2	20	32295	5527	+-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
B3 Asi2	20	34453	5101	(-----*-----)
B4 Asi2	20	33238	4054	(-----*-----) +-----+-----+-----+-----+-----
				30000 32000 34000 36000

Pooled StDev = 4933

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	851440	425720	0,01	0,986
Error	57	1771444947	31077982		
Total	59	1772296387			

S = 5575 R-Sq = 0,05% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
C2 Asi1	20	33471	4990	-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
C3 Asi1	20	33280	6800	(-----*-----)
C4 Asi1	20	33566	4700	(-----*-----) -----+-----+-----+-----+-----
				31500 33000 34500 36000

Pooled StDev = 5575

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	250211420	125105710	3,98	0,024
Error	57	1793966606	31473098		
Total	59	2044178026			

S = 5610 R-Sq = 12,24% R-Sq(adj) = 9,16%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
C2 Asi2	20	39429	5087	---+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
C3 Asi2	20	37975	6103	(-----*-----)
C4 Asi2	20	34557	5594	(-----*-----) ---+-----+-----+-----+-----
				32500 35000 37500 40000

Pooled StDev = 5610

Ek 3.11 Stereo Investigator® ile ölçülen çözü ve atkı ipliği alanı arasındaki ilişkinin varyans analizi ile incelenmesi ($\times 10^{-8} \text{ cm}^2$)

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	60111304	60111304	2,15	0,144
Error	358	10025443094	28004031		
Total	359	10085554397			

S = 5292 R-Sq = 0,60% R-Sq(adj) = 0,32%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----
AySI1	180	33439	5096	(-----*-----)
AySI2	180	34257	5480	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				33000 33600 34200 34800

Pooled StDev = 5292

Ek 3.12 Photoshop ve Stereo Investigator ölçüm sonuçları kullanılarak hesaplanan
iplik alanları arasındaki ilişkinin varyans analizi ile incelenmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000000	0,0000000	0,78	0,378
Error	358	0,0000010	0,0000000		
Total	359	0,0000010			

S = 0,00005348 R-Sq = 0,22% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev
PS Çözgü	180	0,00032942	0,00005587
SI Çözgü	180	0,00033439	0,00005096

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	Lower CI	Upper CI
PS Çözgü	(-----*-----)	
SI Çözgü	(-----*-----)	

0,000330 0,000340 0,000350 0,000360

Pooled StDev = 0,00005348

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0,0000000	0,0000000	0,12	0,729
Error	358	0,0000011	0,0000000		
Total	359	0,0000012			

S = 0,00005667 R-Sq = 0,03% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev
PS Atk1	180	0,00034464	0,00005848
SI Atk1	180	0,00034257	0,00005480

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	Lower CI	Upper CI
PS Atk1	(-----*-----)	
SI Atk1	(-----*-----)	

0,000340 0,000350 0,000360 0,000370

Pooled StDev = 0,00005667

Ek 3.13 İpliğin kumaş içinde bulunduğu pozisyon dikkate alınarak gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarının sıklıkla ilişkisinin varyans analizi ile incelenmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	5485	2742	3,56	0,033
Error	87	67060	771		
Total	89	72544			

S = 27,76 R-Sq = 7,56% R-Sq(adj) = 5,44%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+			
A1-a1	30	271,67	30,89	(-----*-----)			
A2-a1	30	261,34	25,06	(-----*-----)			
A3-a1	30	280,44	27,02	(-----*-----)			
				-----+-----+-----+-----+			
				260 270 280 290			

Pooled StDev = 27,76

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	126	63	0,33	0,720
Error	87	16622	191		
Total	89	16748			

S = 13,82 R-Sq = 0,75% R-Sq(adj) = 0,00%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	+-----+-----+-----+-----+			
A1-b1	30	155,61	14,52	(-----*-----)			
A2-b1	30	158,36	15,85	(-----*-----)			
A3-b1	30	156,18	10,54	(-----*-----)			
				+-----+-----+-----+-----+			
				150,5 154,0 157,5 161,0			

Pooled StDev = 13,82

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	6508	3254	2,02	0,138
Error	87	139903	1608		
Total	89	146411			

S = 40,10 R-Sq = 4,44% R-Sq(adj) = 2,25%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	-+-----+-----+-----+-----+			
A1-a2	30	296,40	32,19	(-----*-----)			
A2-a2	30	279,24	26,93	(-----*-----)			
A3-a2	30	277,59	55,34	(-----*-----)			
				-+-----+-----+-----+-----+			
				264 276 288 300			

Pooled StDev = 40,10

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1655	828	2,03	0,137
Error	87	35389	407		
Total	89	37044			

S = 20,17 R-Sq = 4,47% R-Sq(adj) = 2,27%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
A1-b2	30	144,15	13,19
A2-b2	30	154,33	14,18
A3-b2	30	147,01	29,07

-----+-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----+-----
 140,0 147,0 154,0 161,0

Pooled StDev = 20,17

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	47051	23525	25,95	0,000
Error	87	78873	907		
Total	89	125924			

S = 30,11 R-Sq = 37,36% R-Sq(adj) = 35,92%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
B2-ai2	30	290,80	33,11
B3-ai2	30	303,19	30,06
B4-ai2	30	249,70	26,83

-+-----+-----+-----+-----+-----+-----
 (----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -+-----+-----+-----+-----+-----+-----
 240 260 280 300

Pooled StDev = 30,11

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	21409	10705	51,87	0,000
Error	87	17954	206		
Total	89	39364			

S = 14,37 R-Sq = 54,39% R-Sq(adj) = 53,34%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
B2-bi2	30	133,92	15,41
B3-bi2	30	149,84	12,78
B4-bi2	30	171,56	14,77

-----+-----+-----+-----+-----+-----
 (--*---)
 (----*---)
 (---*---)
 -----+-----+-----+-----+-----+-----
 135 150 165 180

Pooled StDev = 14,37

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	113541	56770	100,07	0,000
Error	87	49358	567		
Total	89	162898			

S = 23,82 R-Sq = 69,70% R-Sq(adj) = 69,00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
B2-af2	30	302,92	33,27
B3-af2	30	276,18	20,80
B4-af2	30	217,85	12,76

210 240 270 300

Pooled StDev = 23,82

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	30388	15194	43,77	0,000
Error	87	30201	347		
Total	89	60590			

S = 18,63 R-Sq = 50,15% R-Sq(adj) = 49,01%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
B2-bf2	30	144,75	13,32
B3-bf2	30	144,08	25,10
B4-bf2	30	183,39	15,30

150 165 180 195

Pooled StDev = 18,63

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	10200	5100	6,58	0,002
Error	87	67473	776		
Total	89	77673			

S = 27,85 R-Sq = 13,13% R-Sq(adj) = 11,14%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
B2-ai1	30	254,16	29,70
B3-ai1	30	267,57	31,34
B4-ai1	30	241,50	21,50

240 252 264 276

Pooled StDev = 27,85

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1928	964	2,77	0,069
Error	87	30328	349		
Total	89	32256			

S = 18,67 R-Sq = 5,98% R-Sq(adj) = 3,82%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
B2-bil	30	162,18	20,32	(-----*-----)
B3-bil	30	169,91	21,25	(-----*-----)
B4-bil	30	158,87	13,47	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
 154,0 161,0 168,0 175,0

Pooled StDev = 18,67

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	4444	2222	4,17	0,019
Error	87	46360	533		
Total	89	50803			

S = 23,08 R-Sq = 8,75% R-Sq(adj) = 6,65%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
B2-af1	30	216,22	27,18	(-----*-----)
B3-af1	30	227,32	24,13	(-----*-----)
B4-af1	30	210,38	16,66	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
 210 220 230 240

Pooled StDev = 23,08

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	2480	1240	4,84	0,010
Error	87	22298	256		
Total	89	24778			

S = 16,01 R-Sq = 10,01% R-Sq(adj) = 7,94%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
B2-bf1	30	174,32	12,44	(-----*-----)
B3-bf1	30	172,07	18,34	(-----*-----)
B4-bf1	30	184,16	16,67	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
 168,0 174,0 180,0 186,0

Pooled StDev = 16,01

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	138595	69297	77,90	0,000
Error	87	77394	890		
Total	89	215989			

S = 29,83 R-Sq = 64,17% R-Sq(adj) = 63,34%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2-ai2	30	326,18	30,44
C3-ai2	30	314,10	24,87
C4-ai2	30	237,56	33,52

-----+-----+-----+-----+-----+-----
 (---*---)
 (---*---)
 (---*---)
 -----+-----+-----+-----+-----+-----
 240 270 300 330

Pooled StDev = 29,83

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	33152	16576	38,84	0,000
Error	87	37131	427		
Total	89	70283			

S = 20,66 R-Sq = 47,17% R-Sq(adj) = 45,95%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2-bi2	30	155,24	11,57
C3-bi2	30	148,81	10,38
C4-bi2	30	192,35	32,23

-----+-----+-----+-----+-----+-----
 (----*----)
 (----*----)
 (----*----)
 -----+-----+-----+-----+-----+-----
 150 165 180 195

Pooled StDev = 20,66

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	84013	42006	70,78	0,000
Error	87	51635	594		
Total	89	135648			

S = 24,36 R-Sq = 61,93% R-Sq(adj) = 61,06%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2-af2	30	310,24	21,02
C3-af2	30	304,29	31,18
C4-af2	30	242,66	19,15

-----+-----+-----+-----+-----+-----
 (---*---)
 (---*---)
 (---*---)
 -----+-----+-----+-----+-----+-----
 250 275 300 325

Pooled StDev = 24,36

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	12819	6410	31,31	0,000
Error	87	17812	205		
Total	89	30631			

S = 14,31 R-Sq = 41,85% R-Sq(adj) = 40,51%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2-bf2	30	165,69	18,17
C3-bf2	30	151,55	10,76
C4-bf2	30	180,78	12,96

-----+-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)

150 160 170 180

Pooled StDev = 14,31

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	123701	61851	62,11	0,000
Error	87	86636	996		
Total	89	210338			

S = 31,56 R-Sq = 58,81% R-Sq(adj) = 57,86%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2-am2	30	297,32	28,22
C3-am2	30	269,89	40,74
C4-am2	30	208,63	23,06

-----+-----+-----+-----+-----+-----
 (----*----)
 (----*----)
 (---*---)

210 240 270 300

Pooled StDev = 31,56

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	11353	5677	18,70	0,000
Error	87	26410	304		
Total	89	37763			

S = 17,42 R-Sq = 30,06% R-Sq(adj) = 28,46%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2-bm2	30	174,75	16,38
C3-bm2	30	165,62	14,02
C4-bm2	30	192,66	21,11

+-----+-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)

160 170 180 190

Pooled StDev = 17,42

$$S = 28,41 \quad R\text{-Sq} = 10,05\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 7,98\%$$

Individual 95% CIs For Mean Based on
Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
C2-ai1	30	255,56	32,85	(-----*-----)
C3-ai1	30	232,69	24,89	(-----*-----)
C4-ai1	30	243,92	26,89	(-----*-----)

228 240 252 264

Pooled StDev = 28,41

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1213	606	1,69	0,191
Error	87	31280	360		
Total	89	32493			

$$S = 18,96 \quad R\text{-Sq} = 3,73\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 1,52\%$$

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
C2-bi1	30	175,25	19,81	(-----*-----)
C3-bi1	30	180,11	20,14	(-----*-----)
C4-bi1	30	171,13	16,75	(-----*-----)
				168,0 174,0 180,0 186,0

Pooled StDev = 18,96

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	3167	1583	2,77	0,068
Error	87	49740	572		
Total	89	52906			

$$S = 23,91 \quad R\text{-Sq} = 5,99\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 3,82\%$$

Individual 95% CIs For Mean Based on
Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
C2-af1	30	242,63	27,43	(-----*-----)
C3-af1	30	228,81	25,56	(-----*-----)
C4-af1	30	239,59	17,59	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				224,0 232,0 240,0 248,0

Pooled StDev = 23,91

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	6104	3052	10,51	0,000
Error	87	25253	290		
Total	89	31357			

S = 17,04 R-Sq = 19,47% R-Sq(adj) = 17,61%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2-bf1	30	192,60	17,77
C3-bf1	30	187,67	18,19
C4-bf1	30	173,19	14,97

168,0 176,0 184,0 192,0

Pooled StDev = 17,04

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	10736	5368	9,83	0,000
Error	87	47523	546		
Total	89	58259			

S = 23,37 R-Sq = 18,43% R-Sq(adj) = 16,55%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2-am1	30	230,57	25,27
C3-am1	30	204,43	21,04
C4-am1	30	212,59	23,61

204 216 228 240

Pooled StDev = 23,37

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	211	105	0,29	0,746
Error	87	31114	358		
Total	89	31325			

S = 18,91 R-Sq = 0,67% R-Sq(adj) = 0,00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2-bm1	30	199,67	19,02
C3-bm1	30	198,56	18,90
C4-bm1	30	196,01	18,82

190,0 195,0 200,0 205,0

Pooled StDev = 18,91

Ek 3.14 Aynı kumaş içinde farklı bölgelerde yer alan iplik boyutları arasındaki ilişkinin varyans analizi ile incelenmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	748388	249463	381,23	0,000
Error	116	75907	654		
Total	119	824295			

S = 25,58 R-Sq = 90,79% R-Sq(adj) = 90,55%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
B2-ai2	30	290,80	33,11	(-*)
B2-af2	30	302,92	33,27	(-*)
B2-bi2	30	133,92	15,41	(-*)
B2-bf2	30	144,75	13,32	(-*)

Pooled StDev = 25,58

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	158231	52744	96,39	0,000
Error	116	63475	547		
Total	119	221706			

S = 23,39 R-Sq = 71,37% R-Sq(adj) = 70,63%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
B2-ai1	30	254,16	29,70	(--*)
B2-af1	30	216,22	27,18	(--*)
B2-bi1	30	162,18	20,32	(--*)
B2-bf1	30	174,32	12,44	(--*)

Pooled StDev = 23,39

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	622561	207520	389,73	0,000
Error	116	61767	532		
Total	119	684328			

S = 23,08 R-Sq = 90,97% R-Sq(adj) = 90,74%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
B3-ai2	30	303,19	30,06	(-*)
B3-af2	30	276,18	20,80	(-*)
B3-bi2	30	149,84	12,78	(-*)
B3-bf2	30	144,08	25,10	(-*)

Pooled StDev = 23,08

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	977782	195556	405,00	0,000
Error	174	84017	483		
Total	179	1061799			

S = 21,97 R-Sq = 92,09% R-Sq(adj) = 91,86%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	+-----+-----+-----+-----			
C2-ai2	30	326,18	30,44				(*-)
C2-af2	30	310,24	21,02				(--*)
C2-am2	30	297,32	28,22				(*-)
C2-bi2	30	155,24	11,57	(--*)			
C2-bf2	30	165,69	18,17	(*-)			
C2-bm2	30	174,75	16,38	(--*)			
				+-----+-----+-----+-----			
				150	200	250	300

Pooled StDev = 21,97

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	148832	29766	50,45	0,000
Error	174	102661	590		
Total	179	251492			

S = 24,29 R-Sq = 59,18% R-Sq(adj) = 58,01%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----			
C2-ai1	30	255,56	32,85		(--*--)		
C2-af1	30	242,63	27,43		(--*--)		
C2-am1	30	230,57	25,27		(--*--)		
C2-bi1	30	175,25	19,81	(--*--)			
C2-bf1	30	192,60	17,77	(--*--)			
C2-bm1	30	199,67	19,02	(--*--)			
				-----+-----+-----+-----			
				175	200	225	250

Pooled StDev = 24,29

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	928899	185780	303,69	0,000
Error	174	106444	612		
Total	179	1035343			

S = 24,73 R-Sq = 89,72% R-Sq(adj) = 89,42%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	--+-+-----+-----+-----+-----			
C3-ai2	30	314,10	24,87				(-*-)
C3-af2	30	304,29	31,18				(-*-)
C3-am2	30	269,89	40,74			(-*-)	
C3-bi2	30	148,81	10,38	(-*-)			
C3-bf2	30	151,55	10,76	(*-)			
C3-bm2	30	165,62	14,02		(-*-)		
				+-+-----+-----+-----+-----			
				150	200	250	300

Pooled StDev = 24,73

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	68830	13766	29,40	0,000
Error	174	81466	468		
Total	179	150296			

S = 21,64 R-Sq = 45,80% R-Sq(adj) = 44,24%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C3-ai1	30	232,69	24,89
C3-af1	30	228,81	25,56
C3-am1	30	204,43	21,04
C3-bi1	30	180,11	20,14
C3-bf1	30	187,67	18,19
C3-bm1	30	198,56	18,90

180 200 220 240

Pooled StDev = 21,64

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	98669	19734	32,22	0,000
Error	174	106557	612		
Total	179	205226			

S = 24,75 R-Sq = 48,08% R-Sq(adj) = 46,59%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C4-ai2	30	237,56	33,52
C4-af2	30	242,66	19,15
C4-am2	30	208,63	23,06
C4-bi2	30	192,35	32,23
C4-bf2	30	180,78	12,96
C4-bm2	30	192,66	21,11

180 200 220 240

Pooled StDev = 24,75

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	150045	30009	73,53	0,000
Error	174	71015	408		
Total	179	221059			

S = 20,20 R-Sq = 67,88% R-Sq(adj) = 66,95%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C4-ai1	30	243,92	26,89
C4-af1	30	239,59	17,59
C4-am1	30	212,59	23,61
C4-bi1	30	171,13	16,75
C4-bf1	30	173,19	14,97
C4-bm1	30	196,01	18,82

175 200 225 250

Pooled StDev = 20,20

Ek 3.15 Yassılma oranı varyans analizi sonuçları

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,03670	0,01835	4,52	0,014
Error	87	0,35282	0,00406		
Total	89	0,38951			

S = 0,06368 R-Sq = 9,42% R-Sq(adj) = 7,34%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
A1-e1	30	0,57567	0,05393
A2-e1	30	0,61000	0,07320
A3-e1	30	0,56200	0,06244

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----) (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 0,550 0,575 0,600 0,625

Pooled StDev = 0,06368

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,06703	0,03351	12,34	0,000
Error	87	0,23622	0,00272		
Total	89	0,30325			

S = 0,05211 R-Sq = 22,10% R-Sq(adj) = 20,31%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
A1-e2	30	0,48933	0,05433
A2-e2	30	0,55567	0,05276
A3-e2	30	0,52967	0,04909

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----) (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 0,480 0,510 0,540 0,570

Pooled StDev = 0,05211

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	0,25337	0,05067	14,97	0,000
Error	174	0,58904	0,00339		
Total	179	0,84241			

S = 0,05818 R-Sq = 30,08% R-Sq(adj) = 28,07%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
A1-e1	30	0,57567	0,05393
A2-e1	30	0,61000	0,07320
A3-e1	30	0,56200	0,06244
A1-e2	30	0,48933	0,05433
A2-e2	30	0,55567	0,05276
A3-e2	30	0,52967	0,04909

-----+-----+-----+-----+-----
 (---*---) (---*---)
 (---*---) (---*---)
 (---*---) (---*---)
 (---*---)
 -----+-----+-----+-----+-----
 0,500 0,550 0,600 0,650

Pooled StDev = 0,05818

S = 0,04651 R-Sq = 82,93% R-Sq(adj) = 82,53%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2-ei2	30	0,46200	0,02976	(-*-)
B3-ei2	30	0,49667	0,03942	(-*-)
B4-ei2	30	0,69100	0,06365	(--*-)

Pooled StDev = 0,04651

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	2,43467	0,81156	150,66	0,000
Error	116	0,62485	0,00539		
Total	119	3,05952			

S = 0,07339 R-Sq = 79,58% R-Sq(adj) = 79,05%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2-ei2	30	0,46200	0,02976	(--*)
B2-ef2	30	0,48200	0,05768	(-*)
B2-ei1	30	0,64433	0,09666	(--*)
B2-ef1	30	0,81500	0,08939	(-*)

Pooled StDev = 0,07339

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	1,32676	0,44225	80,40	0,000
Error	116	0,63804	0,00550		
Total	119	1,96479			

S = 0,07416 R-Sq = 67,53% R-Sq(adj) = 66,69%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B3-ei2	30	0,49667	0,03942	(--*--)
B3-ef2	30	0,52233	0,09637	(--*--)
B3-ei1	30	0,63833	0,06654	(---*--)
B3-ef1	30	0,76167	0,08205	(--*--)

Pooled StDev = 0,07416

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	1,05326	0,35109	59,52	0,000
Error	116	0,68425	0,00590		
Total	119	1,73751			

S = 0,07680 R-Sq = 60,62% R-Sq(adj) = 59,60%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
B4-ei2	30	0,69100	0,06365
B4-ef2	30	0,84300	0,06763
B4-ei1	30	0,66200	0,07097
B4-ef1	30	0,87900	0,09967

Pooled StDev = 0,07680

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	8	5,42840	0,67855	186,47	0,000
Error	261	0,94978	0,00364		
Total	269	6,37818			

S = 0,06032 R-Sq = 85,11% R-Sq(adj) = 84,65%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2-ei2	30	0,47867	0,05151
C3-ei2	30	0,47533	0,04191
C4-ei2	30	0,73000	0,07589
C2-ef2	30	0,53433	0,04673
C3-ef2	30	0,50200	0,05320
C4-ef2	30	0,74733	0,05058
C2-em2	30	0,59000	0,05819
C3-em2	30	0,62367	0,08560
C4-em2	30	0,91933	0,06554

Pooled StDev = 0,06032

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	8	2,00945	0,25118	35,33	0,000
Error	261	1,85584	0,00711		
Total	269	3,86528			

S = 0,08432 R-Sq = 51,99% R-Sq(adj) = 50,52%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2-ei1	30	0,69400	0,09073
C3-ei1	30	0,77933	0,08670
C4-ei1	30	0,70767	0,08464
C2-ef1	30	0,80067	0,09247
C3-ef1	30	0,82767	0,09730
C4-ef1	30	0,72500	0,07478
C2-em1	30	0,87400	0,10348
C3-em1	30	0,94200	0,05027
C4-em1	30	0,92400	0,06510

Pooled StDev = 0,08432

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	0,0022969	0,0004594	78,36	0,000
Error	174	0,0010200	0,0000059		
Total	179	0,0033169			

S = 0,002421 R-Sq = 69,25% R-Sq(adj) = 68,36%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2 pil	30	0,029909	0,003729
C3 pil	30	0,029747	0,001958
C4 pil	30	0,030481	0,002225
C2 pfl	30	0,023601	0,002240
C3 pfl	30	0,022743	0,002028
C4 pfl	30	0,022496	0,001830

0,0225 0,0250 0,0275 0,0300

Pooled StDev = 0,002421

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	0,0232766	0,0046553	423,16	0,000
Error	174	0,0019142	0,0000110		
Total	179	0,0251909			

S = 0,003317 R-Sq = 92,40% R-Sq(adj) = 92,18%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2 pi2	30	0,055696	0,003186
C3 pi2	30	0,046396	0,003034
C4 pi2	30	0,031823	0,003696
C2 pf2	30	0,051507	0,003466
C3 pf2	30	0,040925	0,003381
C4 pf2	30	0,022624	0,003090

0,030 0,040 0,050 0,060

Pooled StDev = 0,003317

Ek 3.17 Faklı örgü tipleri ve kesişme bölgesi iplik açıklıkları ölçüm sonuçları arasındaki ilişkilerin ANOVA analizi ile değerlendirilmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	0,0258115	0,0051623	541,59	0,000
Error	174	0,0016585	0,0000095		
Total	179	0,0274700			

S = 0,003087 R-Sq = 93,96% R-Sq(adj) = 93,79%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
A2 pil	30	0,028602	0,002977	(-*)
B2 pil	30	0,028198	0,002851	(*-)
C2 pil	30	0,029909	0,003729	(*-)
A2 pi2	30	0,054485	0,003083	(*)
B2 pi2	30	0,045868	0,002575	(*-)
C2 pi2	30	0,055696	0,003186	(*-)

-----+-----+-----+-----+-----
0,0320 0,0400 0,0480 0,0560

Pooled StDev = 0,003087

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	0,0111526	0,0022305	316,03	0,000
Error	174	0,0012281	0,0000071		
Total	179	0,0123807			

S = 0,002657 R-Sq = 90,08% R-Sq(adj) = 89,80%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
A3 pil	30	0,027894	0,002500	(*-)
B3 pil	30	0,027680	0,002785	(*-)
C3 pil	30	0,029747	0,001958	(*-)
A3 pi2	30	0,045299	0,002469	(*-)
B3 pi2	30	0,037845	0,003034	(*-)
C3 pi2	30	0,046396	0,003034	(*-)

-----+-----+-----+-----+-----
0,0300 0,0360 0,0420 0,0480

Pooled StDev = 0,002657

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	0,0178093	0,0059364	774,38	0,000
Error	116	0,0008893	0,0000077		
Total	119	0,0186986			

S = 0,002769 R-Sq = 95,24% R-Sq(adj) = 95,12%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
B2 pf1	30	0,022527	0,002349	(*)
C2 pf1	30	0,023601	0,002240	(*-)
B2 pf2	30	0,041009	0,002849	(*-)
C2 pf2	30	0,051507	0,003466	(*-)

-----+-----+-----+-----+-----
0,0240 0,0320 0,0400 0,0480

Pooled StDev = 0,002769

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----			
C2Çİ	5	27,622	1,502	(-----*-----)			
C3Çİ	5	26,086	1,824	(-----*-----)			
C4Çİ	5	24,528	2,470	(-----*-----)			
				-----+-----+-----+-----+-----			
				24,0 26,0 28,0 30,0			
				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	--+-----+-----+-----+-----			
C2AF	5	33,717	4,027	(----*----)			
C3AF	5	25,851	3,222	(----*----)			
C4AF	5	16,201	3,334	(----*----)			
				--+-----+-----+-----+-----			
				14,0 21,0 28,0 35,0			
				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	----+-----+-----+-----+-----			
C2Aİ	5	32,946	5,609	(-----*-----)			
C3Aİ	5	24,639	2,325	(-----*-----)			
C4Aİ	5	21,839	2,200	(-----*-----)			
				----+-----+-----+-----+-----			
				20,0 25,0 30,0 35,0			

Ek 3.19 Dikey emme testinde 300 saniye sonunda elde edilen kapiller yükselme değeri ile sıklık arasındaki ilişkinin incelenmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	6,96400	3,48200	373,07	0,000
Error	12	0,11200	0,00933		
Total	14	7,07600			

S = 0,09661 R-Sq = 98,42% R-Sq(adj) = 98,15%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A1 Ç	300	5,7200	0,0837	(*)
A2 Ç	300	5,7400	0,0894	(*-)
A3 Ç	300	5,0600	0,1140	(*-)

5,00 5,50 6,00 6,50

Pooled StDev = 0,0966

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,84133	0,42067	57,36	0,000
Error	12	0,08800	0,00733		
Total	14	0,92933			

S = 0,08563 R-Sq = 90,53% R-Sq(adj) = 88,95%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A1 A	300	5,1200	0,0837	(---*---)
A2 A	300	4,8200	0,0837	(---*---)
A3 A	300	4,5400	0,0894	(---*---)

4,60 4,80 5,00 5,20

Pooled StDev = 0,0856

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	2,3053	1,1527	104,79	0,000
Error	12	0,1320	0,0110		
Total	14	2,4373			

S = 0,1049 R-Sq = 94,58% R-Sq(adj) = 93,68%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
B2 Ç	300	6,5400	0,0894	(--*--)
B3 Ç	300	5,9000	0,1225	(---*---)
B4 Ç	300	5,6000	0,1000	(---*---)

5,70 6,00 6,30 6,60

Pooled StDev = 0,1049

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,28133	0,14067	19,18	0,000
Error	12	0,08800	0,00733		
Total	14	0,36933			

S = 0,08563 R-Sq = 76,17% R-Sq(adj) = 72,20%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
B2 A	300	5,4200	0,1304
B3 A	300	5,1400	0,0548
B4 A	300	5,1200	0,0447

5,04 5,16 5,28 5,40

Pooled StDev = 0,0856

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,6333	0,3167	21,11	0,000
Error	12	0,1800	0,0150		
Total	14	0,8133			

S = 0,1225 R-Sq = 77,87% R-Sq(adj) = 74,18%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2 Ç	300	6,6000	0,1581
C3 Ç	300	6,3000	0,1225
C4 Ç	300	6,1000	0,0707

6,00 6,20 6,40 6,60

Pooled StDev = 0,1225

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,2253	0,1127	10,90	0,002
Error	12	0,1240	0,0103		
Total	14	0,3493			

S = 0,1017 R-Sq = 64,50% R-Sq(adj) = 58,59%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
C2 A	300	5,6800	0,0837
C3 A	300	5,9800	0,1304
C4 A	300	5,8200	0,0837

5,70 5,85 6,00 6,15

Pooled StDev = 0,1017

Ek 3.20 Dikey emme testinde 300 saniye sonunda elde edilen kapiller yükselme değeri ile örgü tipi arasındaki ilişkinin incelenmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	2,3053	1,1527	84,34	0,000
Error	12	0,1640	0,0137		
Total	14	2,4693			

S = 0,1169 R-Sq = 93,36% R-Sq(adj) = 92,25%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A2 Ç	300	5,7400	0,0894	(--*---)
B2 Ç	300	6,5400	0,0894	(---*---)
C2 Ç	300	6,6000	0,1581	(---*---)
				5,70 6,00 6,30 6,60

Pooled StDev = 0,1169

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1,9453	0,9727	94,13	0,000
Error	12	0,1240	0,0103		
Total	14	2,0693			

S = 0,1017 R-Sq = 94,01% R-Sq(adj) = 93,01%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A2 A	300	4,8200	0,0837	(---*---)
B2 A	300	5,4200	0,1304	(---*---)
C2 A	300	5,6800	0,0837	(---*---)
				4,80 5,10 5,40 5,70

Pooled StDev = 0,1017

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	4,0053	2,0027	139,72	0,000
Error	12	0,1720	0,0143		
Total	14	4,1773			

S = 0,1197 R-Sq = 95,88% R-Sq(adj) = 95,20%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
A3 Ç	300	5,0600	0,1140	(-*---)
B3 Ç	300	5,9000	0,1225	(-*---)
C3 Ç	300	6,3000	0,1225	(-*---)
				5,20 5,60 6,00 6,40

Pooled StDev = 0,1197

Ek 3.21 İplik içi gözenekliliğin belirlenmesi için kullanılan yöntemler arasındaki ilişkilerin varyans analizi ile incelenmesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	45144,0	9028,8	195,33	0,000
Error	294	13589,8	46,2		
Total	299	58733,8			

S = 6,799 R-Sq = 76,86% R-Sq(adj) = 76,47%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
PySI	50	36,179	4,290	(*-)
PyI1	50	9,733	3,122	(*-)
PyI2	50	32,881	6,741	(*-)
PyGrosberg	50	48,072	7,574	(--*)
Pyn139	50	44,465	7,740	(--*)
Pyn164	50	33,279	9,299	(-*)

Pooled StDev = 6,799

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI
PySI	50	36,1788	4,2904	0,6068	(34,9595; 37,3981)
PyI1	50	9,73320	3,12192	0,44151	(8,84596; 10,62044)
PyI2	50	32,8810	6,7408	0,9533	(30,9653; 34,7967)
PyGrosberg	50	48,0720	7,5739	1,0711	(45,9195; 50,2245)
Pyn139	50	44,4654	7,7401	1,0946	(42,2656; 46,6651)
Pyn164	50	33,2785	9,2993	1,3151	(30,6357; 35,9214)

EK 4 YAYIN LİSTESİ

Bu tezden yayımlanmış/yayımlanmak üzere kabul edilmiş makale ve bildiri listesi aşağıda verilmiştir.

Turan, R.B., Okur, A. (2010). Prediction of porosity of woven fabrics having different weaves. 4th Technical Textiles Congress, 16-18 May 2010, İstanbul/Türkiye.

Turan R.B., Okur, A. (2010). Kumaşlarda Hava Geçirgenliği. *Tekstil ve Mühendis*, 72, 16-25.

Turan, R.B., Okur, A. (2011). Investigation of pore parameters of woven fabrics by theoretical and image analysis methods. *The Journal of The Textile Institute*. (Online published 04-11-2011). DOI:10.1080/00405000.2011.617057.

Turan, R.B., Okur, A. (2011). Modeling of twill fabrics by B-spline curves. *Icontex 2011 International Congress of Innovative Textiles*. 20-22 October 2011, Silivri/Türkiye.

Turan, R.B., Okur, A., Deveci, R., Açikel, M. (Accepted 04-10-2011). Predicting the intra-yarn porosity by image analysis method. *Textile Research Journal*. DOI: 10.1177/0040517511427971.

Turan, R.B., Okur, A. (Accepted 12-12-2011.). The variation of the yarn cross-section in the fabric. *Textile Research Journal*. DOI: 10.1177/0040517511435009.

31-01-2012