LAMİNASYONLU OTOMOBİL KOLTUK KILIFLARININ KOPMA VE YIRTILMA DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

Sevgi ÇAKMAK

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LAMİNASYONLU OTOMOBİL KOLTUK KILIFLARININ KOPMA VE YIRTILMA DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

Sevgi ÇAKMAK
511017007

Prof. Dr. Binnaz MERİÇ KAPLANGİRAY
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

LAMİNASYONLU OTOMOBİL KOLTUK KILIFLARININ KOPMA VE YIRTILMA DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

Sevgi ÇAKMAK

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Binnaz MERİÇ KAPLANGİRAY

Bu çalışmada, otomobil koltuk kılıfında kullanılan laminasyonlu kumaşların kopma ve yırtılma mukavemetlerinin simülasyonu yapılmıştır. Laminasyonlu kumaş; bezayağı ve dimi 2/2 örgü yapısına sahip farklı sıklıklardaki yüz kumaş, PU sünger ve PA yuvarlak örme kumaş olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır. KTEX yazılımında oluşturulan geometrik modelin FEA' de simülasyonu çalışması yapılmıştır. Kumaşlara gerçek test koşullarında tek eksenli ve zıt yönde kuvvetler etki etmektedir. Laminasyonlu kumaş sonlu elemanlar yönteminde lineer ve elastik kabul edilmiştir. Simülasyondan elde edilen çıktılar ve grafikler gerçek test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Lamineli kumaşın geometrik modeli iyi sonuçlar almak için çok önemlidir. Simülasyondan elde edilen kopma ve yırtılma sonuçları, gerçek ve sanal elde edilen kuvvet – uzama grafiklerinde bazı bölgelerde farklılıklar gösterse de gerçek test sonuçları ile uyum göstermiştir. Gelecek çalışmalar için, elde edilen sonuçların benzerliği ile yüzey aşındırma gibi deformasyonların simülasyonu için iyi bir model oluşturabilir.

Bu çalışma, 1001.STZ.2015 no'lu ''Dokuma Kumaş Otomobil Kılıflarında meydana gelen deformasyonların sonlu elemanlar yöntemi ile analizi'' isimli San- Tez projesi kapsamında desteklenmiş ve tüm deneysel çalışmalar Martur Sünger ve Koltuk Tesisleri Ticaret ve Sanayi A.Ş. olanakları ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv koltuk kumaşı, kopma dayanımı, yırtılma dayanımı, geometrik modelleme, simülasyon, sonlu elemanlar yöntemi (FEA)

2022, xv + 89 sayfa

ABSTRACT

PhD Thesis

INVERSTIGATION OF TENSILE AND TEARING BEHAVIOURS OF LAMINATED CAR SEAT FABRICS

Sevgi ÇAKMAK

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Binnaz MERIÇ KAPLANGIRAY

In this study, the tensile and tear strength of laminated fabric used as an automotive seat cover was simulated using finite element analysis. The laminated fabric has three layers and is composed of plain weave fabric and twill 2/2 at different densities, PU foam, and PA circular knitted scrim. FEA simulation was carried out on the constructed fabric geometrically using the KTEX software. The laminated fabrics were then subjected to axial stress with opposing forces. The laminated fabric is assumed to be linear and elastic in FEA. The simulation outputs were compared with real test results and their graphs. The geometrical construction of laminated fabrics is crucial to obtain beneficial results. The tensile and tearing strength results of the simulations agree well with the actuals values, although the strain-stress graphs may differ in several zones. The consistency between the actual test results and simulation may provide a model for surface deformation for further studies.

This study is the project of San-Tez that has been numbered 1001.STZ.2015 and named “Deformation Analysis with Finite Element Analysis (FEA) of Automotive Woven Fabric as a Seat Cover Form”. All experimental studies were in the facilities of Martur Sünger ve Koltuk Tesisleri Ticaret ve Sanayi A.Ş.

Keywords: Automotive seat fabric, tensile strength, tear strength, geometric modeling, simulation, finite element analysis (FEA)

2022, xv + 89 pages

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Metaverse gibi sanal temsillerin oluşturulduğu sanal gerçeklik evrenindeki gelişmelere, dünyanın içine girdiği ekonomik buhranlar, hammadde bulma sorunları, tasarruf düzenine geçme zorunluluğu gibi faktörlerin anlamlı etkileri vardır. Proje zamanlarını kısaltma, enerji, işçilik, hammadde kullanımlarını azaltmada avantaj sağlamaktadır. Araba üreticisi ana sanayilerin ürettiği araçlar için uyguladığı araba çarpışma testlerini sonlu elemanlar yöntemi ile simülasyonları yapılarak proje maliyetlerini azaltma yoluna gitmektedirler.

Bu tezde tekstil materyallerinin yapılarının ve malzeme özelliklerinin sanal olarak modellenmesi, bu modele etki ettirilen kuvvetlerin sonlu elemanlar yöntemi ile simülasyonu hedeflenmiştir. Tez çalışmasında otomobil koltuk kılıfı olarak kullanılan kompozit yapıların esas alınması tezin özgün yönünü oluşturmaktadır.

Tekstil materyallerinin metaller gibi homojen ve izotropik olmamaları geometrik modellemeyi ve simülasyonu zorlaştırmaktadır. Simülasyon programlarına veri oluşturmak için çok sayıda test ve ölçümler yapılmıştır. Elde edilen verilerin ortalamaları dikkate alınarak optimum sanal malzemeler oluşturulup yaklaşık test şartları simülasyonlarda çalışılmıştır.

Bu çalışma, 1001.STZ.2015 no'lu "Dokuma Kumaş Otomobil Kılıflarında meydana gelen deformasyonların sonlu elemanlar yöntemi ile analizi" isimli San-Tez projesi kapsamında desteklenmiş ve tüm deneysel çalışmalar Martur Sünger ve Koltuk Tesisleri Ticaret ve Sanayi A.Ş. olanakları ile gerçekleştirilmiştir. Hammadde üreticisi Antex İspanya test ve ölçümler için destek olduklarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Danışman Hocam Prof. Dr. Binnaz Meriç Kaplangiray (BUÜ), tez jüri üyelerimiz Prof. Dr. Fatma Kaloğlu (İTÜ), Prof. Dr. Recep Eren'e (BUÜ) destekleri ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma arkadaşlarım Sn. Murat Dal ve Sn. Serdar Sarısaç'a (Martur) tezde yapılan çalışmalardaki büyük katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar testlerini ve ölçümlerini yaparak teze doğrudan katkı yapan Sn. Kadir Coşkun'a (Martur) ve Sn. Muhammed Bural'a (Martur), çalışmalarımda yardımcı olan ve beni yalnız bırakmayan Sn. Binnur Oğuztürk'e (Martur) teşekkürlerimi sunarım.

Aileme; Alperen Oğuz Çakmak ve Tuğba Şengül, Emirhan Şengül, Eşref Şengül'e ve arkadaşlarıma manevi destekleri ve gösterdikleri sabır için teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez, rahmetli annem Zübeyde Çakmak ve rahmetli babam Hasan Çakmak'a ithaf edilmiştir.

Sevgi ÇAKMAK
28/07/2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
ABSTRACT vii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xi
ŞEKİLLER DİZİNİ xii
ÇİZELGELER DİZİNİ xv
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 5
2.1. Otomobil Koltuk Kılıfı Kumaş Özellikleri 5
2.2. Otomobil Koltuk Kılıfında Kullanılan Lif ve İplik Özellikleri 6
2.3. Otomobil Koltuk Kılıfı Kumaşlarının Yapısal Parametreleri ve Geometrik Özellikleri 9
2.4. Tekstil Materyallerinin Mekanik Davranışları ve Deformasyonları 12
2.4.1. Lif ve iplik mekanik davranışları ve deformasyon 13
2.4.2. Kumaş mekanik davranışları ve deformasyon 17
2.5. Tekstil Materyallerinin Geometrik Modellenmesi ve FEA Simülasyonları 20
3. MATERYAL ve YÖNTEM 24
3.1. Materyal 24
3.1.1. Kumaş yapılarında kullanılan iplik özellikleri 24
3.1.2. Kumaş yapıları ve özellikleri 24
3.1.3. Astar ve sünger özellikleri 25
3.2. Yöntem 26
3.2.1. Filament ve iplik çap ölçümleri 26
3.2.2. İpliklerin mekanik özellikleri 26
3.2.3. Kumaş geometrisinin KTEX yazılımı ile modellemesi 27
3.2.4. Astar, sünger ve laminasyonlu kumaşların kopma mukavemeti ve yırtılma mukavemeti testleri 28
3.2.5. Laminasyonlu kumaşın sonlu elemanlar yöntemi (FEA) ile modellenmesi 30
3.2.6. Test hızının kopma mukavemeti üzerine etkisinin incelenmesi 31
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 34
4.1. Kumaş Üretiminde Kullanılan İpliklerin Özelliklerinin Değerlendirilmesi 34
4.1.1. Filament ve çap ölçüm sonuçları 34
4.1.2. İpliklerin mekanik özellikleri 35
4.2. Kumaş Yapısının Geometrik Modellenmesi 36
4.3. Astar, Sünger ve Lamineli Kumaşların Kopma ve Yırtılma Mukavemetlerinin İncelenmesi 49
4.4. Test Hızının Kopma Mukavemeti Üzerine Etkisinin Belirlenmesi 51
4.5. FEA Modelleme ve Çıktıları 56
4.5.1 FEA modeli oluşturma 56
4.5.2. FEA analiz çıktılarının ve gerçek test çıktılarının karşılaştırılması 61
5. SONUÇ 72

KAYNAKLAR 76
EKLER 80
EK 1 81
EK 2 82
EK 3 83
EK 4 84
EK 5 85
EK 6 86
EK 7 87
EK 8 88
ÖZGEÇMİŞ 89

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
k	Şekil faktörü
p	Çevre uzunluğu
σ	Gerilim
E	Young Modulüs
ε	Uzama
G	Kayma modolüs
υ	Poisson oranı
$\triangle l$	Son ve ilk iplik uzunluğu farkı
l_0	İplik ilk boyu
d	İplik ilk çap uzunluğu
d_0	İplik son çap uzunluğu
V_f	Lif özgül hacmi
V_y	İplik özgül hacmi
TV_f	Paketleme sabiti
A	Alan
d	Çap
P	Çevre
c	İplik ve filament lineer yoğunluk
ρ	Yoğunluk
k	Şekil faktörü
a	Eliptik kesitin uzun çapı
b	Eliptik kesitin kısa çapı
γ	Deformasyon (distorsiyon)
φ	Sürtünme katsayısı

Kısaltmalar	**Açıklama**
FEA	Sonlu elemanlar analizi
PA	Polyamid
PES	Polyester
PU	Poliüretan

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Otomobil koltuğu. A) Ön koltuk B) Arka koltuk…….	5
Şekil 2.2.	Laminasyonlu kumaş ve katmanların gösterimi……	6
Şekil 2.3.	Kesiksiz filamentlerden oluşan PES ipliği A) Hava tekstüreli iplik B) Friksiyon tekstüreli iplik……..	7
Şekil 2.4.	Lif kesit şekilleri A) Dairesel kesitli lifler B) Oktolobal kesitli lifler…….	8
Şekil 2.5.	Düz kumaş için Pierce geometrik modeli A) Dairesel çaplı model şeması B) Eliptik çaplı model şeması…….	10
Şekil 2.6.	Kesiksiz filament iplik gerilme-uzama davranışı……	14
Şekil 2.7.	İpliğin boyuna uzaması ve çaptaki değişim ...……	16
Şekil 2.8.	Genelleştirilmiş gerilim-uzama eğrisi. (Hearl, 1969) ……	17
Şekil 2.9.	Çift yırtma (tongue) testi, A) Test numunesi, B) Yırtılma kuvveti -uzama konfigürasyonu (Triki ve ark., 2011) …….	20
Şekil 2.10.	Deney ve simülasyondan elde edilen kumaş kopma mukavemeti değerlerinin karşılaştırılması. A) Bezayağı örgülü kumaş, B) Dimi örgülü kumaş (Shen ve ark. 2015) …….	22
Şekil 3.1.	İplik Mukavemet test cihazı, USTER TENSOKID 1998 Model 2,5kN……...	27
Şekil 3.2.	Kopma mukavemeti test cihazı, A) Cihazın genel görünümü B) Test çeneleri……	28
Şekil 3.3.	Yırtılma mukavemeti test numunesi boyutları……	29
Şekil 3.4.	Yırtılma testi numunesinin çeneler arasındaki yerleşimi…….	29
Şekil 3.5.	Yırtılma mukavemeti testinin sonuç grafiği ve hesaplama yöntemi	30
Şekil 4.1.	İplik mukavemet- uzama grafiği…….	35
Şekil 4.2.	Dokuma kumaşların yüz görünümleri, A) Düz kumaş, B) Dimi 2/2 kumaş…….	37
Şekil 4.3.	Kumaş yapısı içerisindeki iplik geometrisi, kısa ve uzun çap gösterimi……	37
Şekil 4.4.	KTEX modelleme yazılımında iplikler arasındaki boşluk gösterimi (Cedrem, 2015)……..	39
Şekil 4.5.	Kumaşın genel çarpıklık açısı, atkı ve çözgü arasındaki kesişim açısı gösterimi (Cedrem, 2015)…….	41
Şekil 4.6.	KTEX ara yüzü ekranı, dokuma özellikleri (Cedrem, 2015) …….	41
Şekil 4.7.	KTEX ara yüz ekranı, atkı ve çözgü için malzeme verileri (Cedrem 2015) ……	42
Şekil 4.8.	KTEX çıkış dosyaları ve uzantıları (Cedrem, 2015) …….	43
Şekil 4.9.	KTEX çıktı dosyası, dimi 2/2 malzeme kartı (KTexWovenProperty.dat output file) (Cedrem, 2015) …….	43
Şekil 4.10.	KTEX çıktısı, dimi 2/2, KTexWovenProperty.out output file (Cedrem, 2015) ……...	44
Şekil 4.11.	KTEX çıktısı, dimi 2/2, KTexWovenProperty.inc output file (Cedrem, 2015) …….	45
Şekil 4.12.	KTEX çıktısı, dimi 2/2, KTexWovenProperty_shell.fem output file (Cedrem, 2015)…….	45

Şekil 4.13. KTEX çıktısı, dimi2/2, KTexWovenProperty_solid.fem output file (Cedrem, 2015)……. 46
Şekil 4.14. KTEX geometrik modeli, A) P14-9 Bezayağı örgü, B) P14-9 Bezayağı örgü kesiti……... 47
Şekil 4.15. KTEX geometrik modeli, A) P14-11 Bezayağı örgü, B) P14-11 Bezayağı örgü kesiti……. 47
Şekil 4.16. KTEX geometrik modeli, A) T27-16 Dimi 2/2 örgü, B) T27-16 Dimi 2/2 örgü kesiti……. 48
Şekil 4.17. KTEX geometrik modeli, A) T29-17 Dimi 2/2 örgü, B) T29-17 Dimi 2/2 örgü kesiti……. 48
Şekil 4.18. KTEX geometrik modeli, A) T31-18 Dimi 2/2 örgü, B) T31-18 Dimi 2/2 örgü kesiti……. 48
Şekil 4.19. KTEX geometrik modeli, A) T32-20 Dimi 2/2 örgü, B) T32-20 Dimi 2/2 örgü kesiti……. 49
Şekil 4.20. KTEX geometrik modeli, A) T34-20 Dimi 2/2 örgü, B) T34-20 Dimi 2/2 örgü kesiti……. 49
Şekil 4.21. Kopma mukavemeti testi grafikleri, A) Astar gerilim-uzama grafiği, B) Sünger gerilim-uzama grafiği……. 50
Şekil 4.22. Yırtılma mukavemeti test grafikleri, A) Astar gerilim-uzama grafiği, B) Sünger gerilim-uzama grafiği……. 51
Şekil 4.23. İplik için FEA modeli, A) 3D mesh, B) 6-element tanımlaması ve simetrik 12 eleman görüntüsü…….. 57
Şekil 4.24. Gerçek test ve FEA testin Kuvvet-uzama grafiği, A) 55 tex friksiyon tekstüre iplik, B) 117 tex hava tekstüre iplik……. 57
Şekil 4.25. Gerçek test boyutlarına getirilen FEA modeli, simetrik yapı oluşumu……. 58
Şekil 4.26. Laminasyonlu kumaşın FEA modeli……. 58
Şekil 4.27. Kumaş ipliklerinin sıkıştırılması (compaction), A) Sıkıştırılmamış kumaş görüntüsü, B) Sıkıştırılmış kumaş görüntüsü…….. 60
Şekil 4.28. FEA yırtılma testi boyutları…… 60
Şekil 4.29. Kopma mukavemeti testi sonrasında kopma deformasyonu oluşan bölge, A) Gerçek test numunesi, B) P14-9 bezayağı sanal test numunesi, C) T27-16 dimi 2/2 sanal test numunesi……. 61
Şekil 4.30. Laminasyonlu bezayağı kumaş FEA ve gerçek kopma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, A) P14-9, B) P14-11… 64
Şekil 4.31. Laminasyonlu dimi 2/2 FEA ve gerçek kopma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, A) T27-16, B) T29-17…….……. 65
Şekil 4.32. Laminasyonlu dimi 2/2 FEA ve gerçek kopma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, A) T31-18, B) T32-20……. 65
Şekil 4.33. Laminasyonlu dimi 2/2 FEA ve gerçek kopma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, T34-20…… 66
Şekil 4.34. Laminasyonlu bezayağı FEA ve gerçek yırtılma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, A) P14-9, B) P14-11… 69
Şekil 4.35. Laminasyonlu dimi 2/2 FEA ve gerçek yırtılma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, A) T27-16, B) T29-17…….. 70
Şekil 4.36. Laminasyonlu dimi 2/2 FEA ve gerçek yırtılma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, A) T31-18, B) T32-20…….. 70

Şekil 4.37. Laminasyonlu dimi 2/2 FEA ve gerçek yırtılma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, T34-20…… 71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Kullanılan ipliklerin özellikleri……. 24
Çizelge 3.2. Kumaş örgü ve parametreleri…… 25
Çizelge 4.1. Filament ve ipliklerin mikroskop ölçüm sonuçları, hesaplanan çap ve şekil faktörleri, liflerin yoğunlukları…… 34
Çizelge 4.2. İpliklerin Young modülü, kayma modülü, poisson oranı ve uzama oranları…….. 36
Çizelge 4.3. Kumaş geometrisinin hesaplanan verileri…… 39
Çizelge 4.4. Çözgü ve atkı iplikleri arasındaki boşluk uzunlukları ve kumaş örgü dizilimi……. 40
Çizelge 4.5. Sünger ve Astar mekanik özellikleri…… 50
Çizelge 4.6. 117 tex-hava tekstüre, yuvarlak kesit şekilli ve 55 tex-friksiyon tekstüre, oktolobal kesit şekilli ipliğin normallik hipotez testi… 52
Çizelge 4.7. 117 tex-hava tekstüre, yuvarlak kesit şekilli ipliğin değişkenlik ve ortalamaların eşitliği hipotez testi…… 53
Çizelge 4.8. 55 tex-friksiyon tekstüre, oktolobal kesit şekilli ipliğin değişkenlik ve ortalamaların eşitliği hipotez testi…… 54
Çizelge 4.9. Bezayağı P14-9 ve T27-16 laminasyonlu kumaşların normallik hipotez testi……..…… 55
Çizelge 4.10. P14-9 bezayağı laminasyonlu kumaşın değişkenlik ve ortalamaların eşitliği hipotez testi…… 55
Çizelge 4.11. T27-16 dimi 2/2 laminasyonlu kumaşın değişkenlik ve ortalamaların eşitliği hipotez testi……. 56
Çizelge 4.12. Kopma mukavemeti test sonuçları …….. 62
Çizelge 4.13. Laminasyonlu kumaşların kopma testi gerçek ve FEA sonuçlarının rölatif hata oranı, gerçek ve sanal kuvvet-uzama eğrilerinin korelasyon katsayıları ve hipotez testi…… 63
Çizelge 4.14. Yırtılma mukavemeti test sonuçları……. 67
Çizelge 4.15. Laminasyonlu kumaşların yırtılma testi, gerçek ve FEA sonuçlarının rölatif hata oranı, gerçek ve sanal kuvvet-uzama eğrilerinin korelasyon katsayıları ve hipotez testi…… 68

1. GİRİŞ

Tekstil materyalleri otomotiv sanayi ve birçok endüstriyel alanlarda teknik tekstiller olarak yaygın kullanım alanına sahiptir. Otomotiv araçlarında koltuk, kapı panel, tavan, başlık, kol dayama, şapkalık, güneşlik gibi iç parçaların kaplanması tekstil malzemeleri ile gerçekleştirilir. Emniyet kemeri, kayış, perde gibi kaplama yapılmayan ve monte edilen malzemeler de mevcuttur. Otomobil ürün ömür döngüsü boyunca tekstil materyallerinin sahip olması istenen güvenlik, mekanik, fiziksel, estetik, fonksiyonel ve konfor özellikleri kumaş tasarım ve geliştirme aşamalarında sınırlayıcı faktörlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Kumaşlar için tanımlanan en önemli güvenlik karakteristiği olan yanma özelliğinden sonra kopma ve yırtılma mukavemetini içeren mekanik özellikler ikinci önceliğe sahip olduğu söylenilebilir. Tek başına kumaşın tüm özellikleri taşır nitelikte üretilmesi yüksek maliyetleri beraberinde getirir. Bu nedenle kumaş, sünger ve astar ile laminasyon yapılarak optimum dayanımı ve direnci kazanmış olmaktadır ve lamineli kumaş olarak adlandırılmaktadır. Otomobil üreticileri söz konusu özelliklerin doğrulanması ve kaliteli tekstil malzemesi üretimi için uygun test metotlarını ve kabul kriterlerini belirlemişlerdir. Bu test metotları lamineli kumaşlar için tanımlanmıştır, kumaşı oluşturan iplikler için ise herhangi bir mukavemet testi şartına rastlanılmaktadır.

Tekstil malzemelerinin kumaş olarak otomobil içerisinde kullanım yeri ve beklenen yapısal özelliklere göre dokuma, örme, dokusuz yüzey oluşturma teknikleri kullanılmaktadır. Örneğin koltuk kılıfı, dokuma ve/veya örme kumaş ile dokusuz yüzey kumaşın dikim ile birleştirilmiş halinde tasarlanır.

Kumaş hammaddesi olan lif üretiminden başlayarak iplik, kumaş, kesim ve dikim üretim proseslerinde, koltuk kılıf montaj ve otomobil montaj prosesinde, otomobil kullanım süreçlerinde tekstil malzemesi devamlı olarak dış ve iç gerilimlere maruz kalmaktadır. Tüm süreçlerde uygulanan gerilimlerin ortaya çıkardığı deformasyonlara karşı kumaşların belirli bir mukavemet göstermesi beklenmektedir. Deformasyonlar kumaşın atkı, çözgü ve çapraz yönlerinde doğrusal ya da çok yönlü doğrultularda kopma, yırtılma, kayma olarak gerçekleşir. Kumaşa farklı açılarda ve doğrultularda etki eden gerilim kuvvetleri eğilme ve bükülme deformasyonlarına yol açarken, dairesel olarak etki eden kuvvetlerin etkisi ile oluşan sürtünme yüzey aşınma deformasyonlarına

neden olmaktadır. Bu deformasyonlar tek ya da birden fazla tipte çeşitli gerilim kombinasyonlarının etkisi sonucu gerçekleşebilir. Tekstil üretimi boyunca iplik ve kumaşa tek boyutlu, zıt yönlü gerilimler ve iki boyutlu, birbirlerine dik gerilimler etki ederken dikim, montaj ve koltuk kullanım sürecinde üç boyutlu ve karmaşık doğrultularda gerilimlerin etkisi söz konusudur. Bu nedenle kumaşın tüm gerilimlere karşı direnci ve aynı zamanda kaplanan gövdenin dışını düzgün sarması, estetik görünüme sahip olması, otomobil koltuk kılıfı kumaşı olabilme yeteneklerinin başında gelmektedir. Kumaş deformasyonların oluşmasında ortamın sıcaklık ve nem şartları, güneş ışığı etkisi, kullanılan kimyasal maddelerin etkileri olmaktadır. Bu nedenle otomobil üreticileri tarafından kumaşın yüksek ısı ve ışık altında yaşlandırılmış halleri için de mukavemet testleri belirlemişlerdir.

Tekstil hammaddesi lifler kesikli ve sürekli filament olarak kumaş mukavemetini etki eden en önemli etkenlerden biridir. Polyester sürekli lifleri otomobil koltuk kumaşlarında istenen mukavemet, düşük oranda nem çekme, laminasyon olabilme yeteneği, renk haslığı ve ısıl yaşlandırmaya karşı direnç özelliklerini sağlaması nedeniyle en yaygın kullanılan lif tipidir. Ayrıca kolay işlenebilir olması ve hammadde maliyetinin düşük olması tercih edilme nedenleri arasındadır. Günümüzde yaşadığımız dünya için çevreyi, havayı koruma, iklim değişikliklerin nedenleri, sonuçları gibi global olarak ülkelerarası anlaşmalar sözleşmeler ve konferanslar yapılmaktadır. Ülkeler bu amaçlara hizmet eden ürünler için vergi indirimleri yapmakta ve üreticileri çevre dostu ürünler için teşvik etmektedir. Düşük karbon ayak izine sahip, geri dönüştürülebilir hammaddelerin kullanılması yaygınlaşmaktadır. Örneğin; otomotiv kumaşlarında kullanılan Polyester SEAQUAL® ipliği denizden toplanmış atık plastiğin geri dönüştürülmesi ile elde edilmiştir ve otomobil koltuk kılıfı olarak 2022 yılından itibaren bazı ticari araba markaları tarafından kullanılmaya başlanılmıştır (https://www.seaqual.org/seaqual-yarn/).

Otomotiv üreticileri tarafından hazırlanan şartnameler, tüm parçaların doğrulanması amacı ile kullanılan test metotlarına ve kabul edilebilir nicelikleri ve nitelikleri içermektedir. Kumaş için belirlenen tüm testler serbest kumaş haline uygulanmaktadır. Kumaş için kılıf ya da koltuk halinde herhangi bir kumaş testi tanımlanmamıştır. Buna karşılık koltuk halinde tanımlanan ve giriş-çıkış testi olarak adlandırılan test metodunda

kumaşın yüzeysel aşınma, kopma, yırtılma, beyazlaşma gibi görsel değerlendirme kriterleri vardır ve yapılmaktadır. Tasarımcılar tarafından kumaşın tüm yapı parametrelerinin belirlenmesi, tasarlanmış kumaşın üretilmesi, kumaş testlerinin yapılması süreçlerinden başarı ile geçmiş bir kumaş, koltuk testlerinde başarısız olması sebebiyle tasarım, üretim, test süreçlerinin tekrar başlatılması kaçınılmazdır. Bu durum proje süreçlerini daha uzun zamana yayılmasına neden olmaktadır.

Otomobil üreticilerine sunulan hızlı servis ve ürün çeşitliliğinin piyasa rekabetinde önemli bir rol alması nedeniyle tasarım süreçlerinin kısaltılması ve tasarım maliyetlerinin azaltılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında bilgisayar yazılımları yardımıyla ürünlerin geometrik olarak modellenmesi ve ardından sonlu elemanlar yöntemi FEA ile kuvvet analizlerinin yapılması deformasyonların simülasyonu alanında bazı otomobil parçaları için yapılmaktadır. Örneğin; koltuk için önden ve arkadan çarpışma testi, emniyet kemeri bağlantıları dayanım testi, başlık dayanım testi, bagaj çarpma testi vb. gibi testler regülasyonlar ve uluslararası değerlendirme kurumları doğrultusunda sürücü ve yolcu koltuklarının yapısal dayanım ve kullanıcı yaralanma değerlendirmesi kapsamında simülasyonları yapılmaktadır. Teknik tekstil olarak kullanılan balistik kumaşlar, zeplin aracında kullanılan laminasyonlu kumaşlar, membran kumaşlar ve konvansiyonel kumaşlar için çalışılmış yırtma ve kopma test simülasyonlarının sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edildiği literatürde görülmektedir. Bu çalışmalar sonucunda gerçek test sonuçları ile sanal test olarak adlandırılan simülasyon sonuçlarının benzer olduğu sonuçları elde edilmiştir.

Yapılan araştırmalar incelendiğinde laminasyonlu kumaş yapılarına ilişkin çalışmalar bulunmakla birlikte otomobil koltuk kılıfı kullanımına yönelik çalışmalara rastlanılmamıştır. Otomotiv koltuk kılıfları kullanıma bağlı olarak basınç, sürtünme v.b kuvvetlerin etkisinin yanında ısı, ışık gibi faktörler tarafından deformasyona uğramaktadır. Bu nedenle otomobilin kullanım süresi boyunca koltuk kılıflarının yıpranmaması ve buna bağlı olarak yapı parametrelerinin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında otomotiv koltuk kılıfı olarak kullanılan polyester iplikten dokunmuş kumaşların, lamineli olarak eksenel kuvvetler altında yırtılma ve kopma

mukavemetlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle simülasyonu amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle kumaşların geometrik modellerinin oluşturulması için gerekli parametreler belirlenmiştir. Tez çalışmasında koltuk kılıfı yapısı olarak iki farklı tekstüre yöntemiyle elde edilmiş polyester ipliklerden dokunmuş kumaş, sünger ve astardan oluşan kompozit yapı esas alınmıştır. Bu yapının öncelikle KTEX programında geometrik modelleri oluşturulmuş, sonrasında Radioss sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak kopma ve yırtılma simülasyonları oluşturulmuştur. Farklı iplik ve kumaş parametreleri altında oluşturulan geometrik modellerde kopma ve yırtılma deformasyonları analiz edilmiş ve gerçek verilerle kıyaslanmıştır. Kopma ve yırtılma test yöntemleri Toyota şartnamelerinde bulunan metotlara göre uygulanmıştır. Otomobil koltuk kılıfının geometrik modelinin oluşturulması, sonlu elemanlar yöntemi ile kopma ve yırtılma deformasyonlarının analiz edilmesi bu tez çalışmasını önceki çalışmalardan ayıran en önemli özelliklerin başında gelmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Otomobil Koltuk Kılıfı Kumaş Özellikleri

Otomobil koltuğu aracın içerisinde bulunan ve yapısının içten dışa doğru iskelet, koltuk süngeri ve kılıftan oluştuğu gövdelerdir. Kumaş; kesim ve dikim işlemleri ile kılıf haline getirilerek koltuk gövdesini kaplayan giysi haline gelir ve gövde ile kılıf arasında boşluk yoktur. Kılıf oluşturan ana tekstil malzemesi laminasyonlu kumaş olup kılıfın koltuğa montajının yapılabilmesi için iskelete geçirilen plastik profiller, kılıf etek uçlarına, kılıfın gövde üzerinde kaymasını engelleyen ve koltuk süngerine kanca ile tutturulmasını sağlayan teller ya da çektirme bezleri kılıfın iç kısmına dikilmektedir. Şekil 2.1'de otomobil koltuğu görülmektedir. Bir otomobil içerisinde ortalama 20 kg tekstil malzemesi kullanılmakta ve bunun 3,5 kg'mını koltuk kılıfı oluşturmaktadır. (Fung ve Hardcastle, 2001).

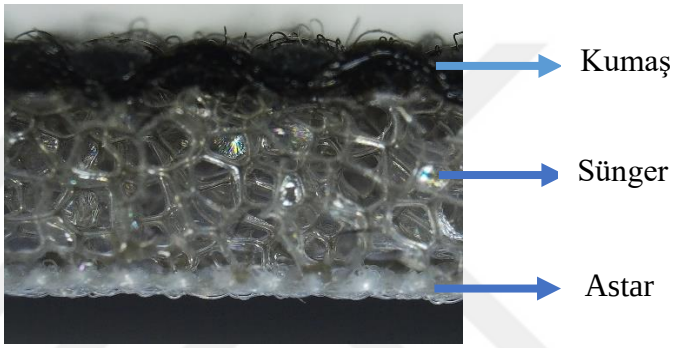


(A) (B)

Şekil 2.1. Otomobil koltuğu. A) Ön koltuk B) Arka koltuk

Otomobil koltuk kılıfını oluşturan laminasyonlu kumaş, sırasıyla kumaş, sünger ve astarın alevli laminasyon tekniği ile birleşiminden oluşur. Şekil 2.2'de laminasyonlu kumaşın yapısı görülmektedir. Birinci katman dokuma ya da örme kumaşlardan, ikinci katman PU esaslı süngerden, üçüncü katman ise çözgülü örme ya da yuvarlak örme PA ya da PES astardan oluşmaktadır. Laminasyonlu kumaş, sandviç yapı olarak da dikkate alınabilir. Sünger ve astar sandviç yapılara boyutsal kararlılık sağlar. (Havelka ve ark, 2021). Poliüretan, polyol ve diisosiyanat kimyasallarının reaksiyona girmesi sonucu

oluşan bir polimerdir. (Sarier ve Önder, 2007). Laminasyon makinasında alevin sünger yüzeyine yaklaştırılarak her iki taraflı süngerin erimesi sağlanır. Sünger yüzeyinde eriyik haline gelen sünger, yapıştırıcı görevi görerek makine silindirlerinin basıncı ile iki taraflı olarak kumaşa ve astara yapışır. Bu laminasyon yöntemi ile esnek lamine kumaş elde edilmektedir. (Bulut ve Sülar, 2010). Basit ve kolay bir laminasyon yöntemidir, üretim kapasitesi yüksek ve ucuz bir yöntemdir. (Smith, 2010). Sünger, çeşitli kalınlıklarda üretilerek laminayonlu kumaşın toplam kalınlığı arttırılabilir ya da azaltılabilir. Böylece kumaşın koltuğu düzgün kaplaması ve estetik durması sağlanır. Astar ise koltuk süngeri üzerinde kılıfın kolayca kayarak giydirilmesini sağlar.



Şekil 2.2. Laminasyonlu kumaş ve katmanların gösterimi

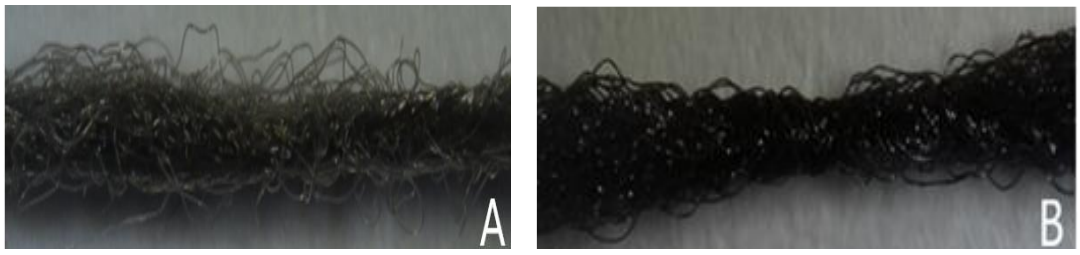
2.2. Otomobil Koltuk Kılıfında Kullanılan Lif ve İplik Özellikleri

Günümüzde otomobil tekstilleri içerisinde en fazla kullanılan kumaş hammaddesi PES kesiksiz liflerdir. Yüksek yırtılma mukavemeti, solma ve renk bozulmasına karşı direnci, düşük su absorbsiyonu, kolayca temizlenmesi, mükemmel esneklik ve elastikiyet, rezilyans kabiliyeti, kırışıklık direnci, laminasyon işlemi ile PU süngere kolayca yapışabilmesi, ucuz olması gibi özellikleri sentetik PES lifini otomobil için ideal yapmaktadır (Fung ve Hardcastle, 2001).

Sentetik tekstil lifleri kısmi oryante edilmiş yani kısmi kristalin lineer polimerlerdir. Polimerlerin lif olarak uygun olabilmesi için, makro molekül zincirleri düzgün olmalı ve birbirlerine sıkıca paketlenmeleri için birbirlerine çok yakın şekle sahip olmaları, moleküller arası çekim kuvvetleri güçlü olmalı, ayrıca bir miktar esnek olmalıdırlar. Uzun makro molekül zincirler devamlılık sağlarlar. (Hearl ve Morton, 2008). Tekstil liflerinde makro molekül zincirleri lif eksenine paralel yönlenmiştir. Molekül zincirleri

üzerinde güçlü kovalent bağlar, molekül zincirleri arasında ise daha zayıf vanderwaals bağları görülür, bu nedenle tekstil lifleri anizotropik özellikler gösterirler (Hockenberger, 2004). Bu nedenle, tekstil materyalleri homojen değildirler, kolayca deforme olurlar, küçük gerilimlerde büyük uzamalar gösterirler, normal şartlar altında non-lineer ve plastiktirler (Hu, 2004).

Tekstil liflerinin bir araya gelerek birbirleri ile sürtünmesi sonucu kumaş yapısını oluşturan iplik yapı elemanını meydana getirir. Kesikli liflerde lif büküm işlemleri, kesiksiz liflerde ise tekstüre işlemleri liflerin bir arada tutunmasını ve iplik halinde dokuma, örme ve diğer yüzey oluşturma proseslerinde işlenmesini sağlamaktadır. Çünkü iplikler birçok lifin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Tek bir lif halinde monofilamet iplikler de mevcuttur. Otomobil koltuk kumaş yapısını oluşturan iplikler, hava tekstüre ve friksiyon tekstüre yöntemi ile elde edilir. Şekil 2.3'te her iki yöntem kullanılarak elde edilmiş PES ipliklerin yapısı görülmektedir. Tekstüreli filament iplikler bükümlü ipliklere göre daha basit yapıdadırlar ve taşıdıkları özellikler açısından pek değişim göstermezler (Önder, 1989).



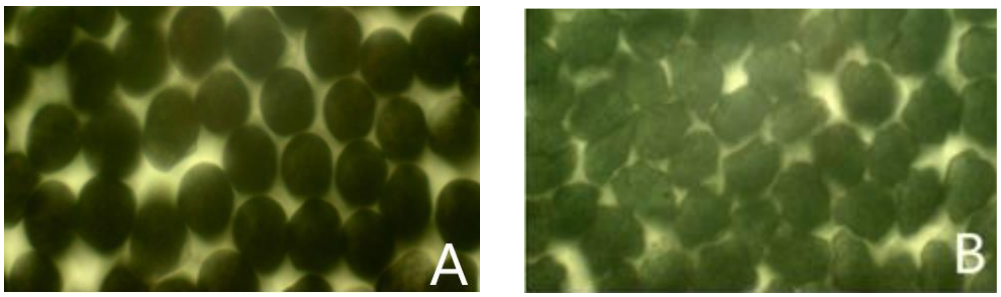
Şekil 2.3. Kesiksiz filamentlerden oluşan PES ipliği A) Hava tekstüreli iplik B) Friksiyon tekstüreli iplik.

Hava tekstürede lifler birbirlerine karışarak, friksiyon tekstürede ise yalancı büküm ile birbirlerine dolanarak ve puntalanarak iplik haline getirilirler. (Hari, 2020). Hava tekstüreli iplikler daha hacimli ve tüylü ipliklerdir, estetik açıdan değerlendirilen dokunsal tuşeye sahip olmada diğer tekstüre yöntemlerinden üstündür. (Lawrence, 2015). Friksiyon tekstüreli iplikler ise düz ve yalancı bükümden dolayı kıvrımlı yapıya sahiptirler. Liflerin tekstüre yöntemleri ipliğin estetik, tuşe, hacimlilik, geçirgenlik özelliklerinin yanında mekanik davranışlarını da etkilemektedir. Friksiyon tekstüre ile üretilmiş iplikten dokunan kumaşların hem atkı hem de çözgü yönlerindeki kopma ve

yırtılma mukavemetleri, hava tekstüreli ipliklerle oluşturulan kumaşlardan yüksektir. Bu sonuçlar iplik tekstüre yönteminin kumaş mukavemeti üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. (Tok, 2011).

Friksiyon tekstüre işleminde proses aşamaları sırasıyla; liflere form kazandırma, filament sıcaklığını camlaşma sıcaklığının üzerine çıkarmak amacıyla ısıtma, camlaşma sıcaklığının altında soğutma, filamentlerin uygun gerilim altında tekrar düzenlenmesi ve ipliğin bobin haline getirilmesidir. Hava tekstüre işleminde ise ana prensip liflerin havanın akışının oluşturduğu türbülans etkisi ile liflerin birbirlerine karışması sağlanmaktadır. İplik yapısı içerisinde filamentler dolaşık haldedirler. Liflerin sürtünme özelliklerinden dolayı lifler birbirlerine tutunmaktadır (Lord 2003). Hava tekstüre yöntemini friksiyon tekstüreden ayıran en temel özellik, tekstüre işleminin ısı ayarı ile değil liflerin mekanik olarak birbirlerini kilitlemesi ile çalışmasıdır (Hearl ve ark. 2001).

İplik mukavemeti üzerine etkisi olan diğer en önemli faktörlerden biri lif kesit şeklidir. Otomobil tekstillerinde en fazla kullanılan iki lif kesit şekli bulunmaktadır. Mukavemet ve uzama özelliklerinin yüksek olması nedeniyle dairesel kesitli lifler (Şekil 2.4 A) tercih edilmektedir. Oktolobal kesit şekli (Şekil 2.4 B) ise ikinci yüksek mukavemet değerini gösterir ve mat görüntü elde edilmek istenen kumaşlarda tercih edilmektedir (Özkan, 2008). Dairesel kesitli liflerden oluşan iplik içerisindeki liflerin kohezyonu, bitişik lifler arasındaki geniş temas alanı nedeniyle genellikle dairesel kesitli olmayan liflerin kohezyonundan daha yüksektir (Hari, 2020). Böylece dairesel kesitli liflerin paketlenmesinin diğerlerine göre daha sıkı olduğu söylenilebilir.



Şekil 2.4. Lif kesit şekilleri A) Dairesel kesitli lifler B) Oktolobal kesitli lifler

Lif ya da iplik çapının kesit şeklini tanımlamak için şekil faktörü tanımlanmıştır. İplik çap kesit şekli bulunduğu yapı içerisinde serbest hal ya da dokunmuş kumaş yapısı içerisinde iplik sıklıklarına göre değişeceğinden şekil faktörünün belirli olması beklenilemez. Bu nedenle lifler için yapılan mikroskobik çap ölçümlerinden elde edilen ölçüm sonuçlarından şekil faktörü (k) hesaplanır ve bu değer lif kesitinin dairesellikten sapma derecesini gösterir. Denklem 2.1'e göre şekil faktörü (k)'nün 1'e eşit olması, lif veya ipliğin kesit şeklinin tam yuvarlak olduğunu ifade eder. Şekil faktörünün 1'den büyük olması durumu ise kesit şeklinin eliptik olduğunu gösterir.

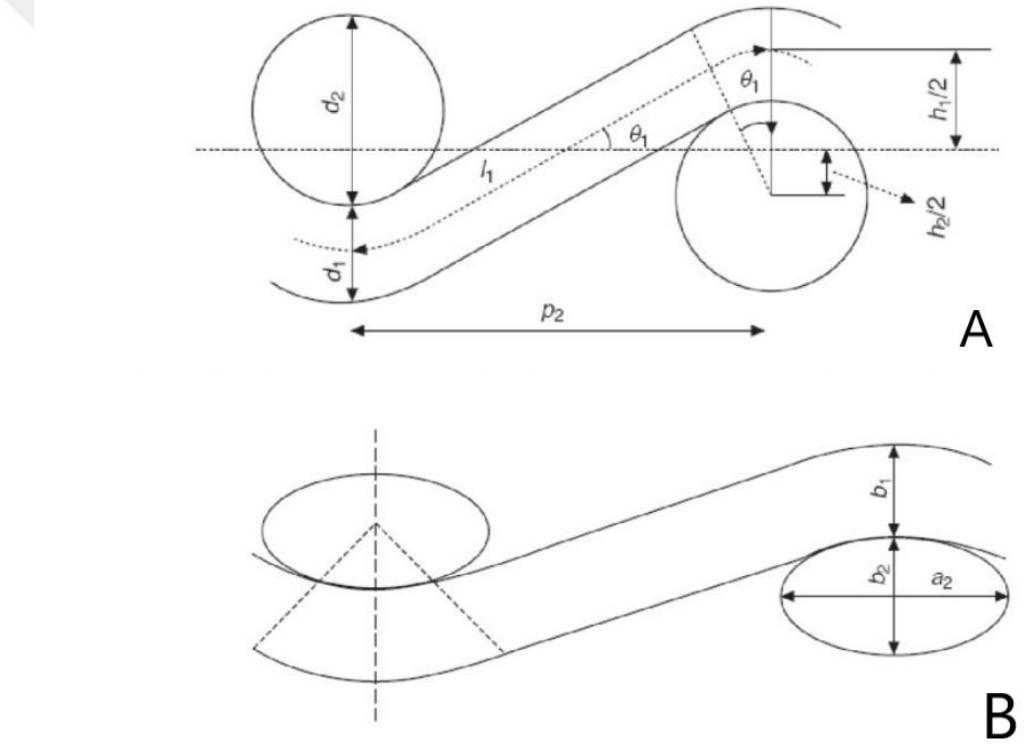
$$k = P / (\pi * d) \tag{2.1}$$

Liflerin sürtünme özellikleri liflerin iplik halinde bir arada tutunmasını ve kumaş formunun alınmasını sağlamaktadır. Düşük sürtünme iplik mukavemetinin de düşmesine neden olur. Liflerin birbirleri ile gerçek temas noktalarının sayısı sürtünme kuvvetlerinin gerçek belirleyici faktörüdür (Hearl ve Morton, 2008). Temas halindeki liflerin yüzey özellikleri sürtünme kuvvetlerini etkileyen başlıca faktörlerden biridir (Saville, 1999). Dairesel kesitli liflerin sıkı paketlenme özelliğinden dolayı sürtünme kuvvetinin yüksek olması beklenmektedir. Her biri 84dtex ve 34 filamanlı olan tekstüreli ipliklerin mukavemet test sonuçları büyükten küçüğe doğru lif kesitlerine göre sıralaması şöyledir; dairesel, oktolobal, tetra ve trilobal, iplik uzama test sonuçları de aynı sıralamaya sahiptir (Özkan, 2008). İplik halindeki mukavemet sıralaması kumaş olarak yapılan testlerde aynı sıralamayı vermesi beklenmelidir. Çözgü sıklığı 26 adet/cm ve atkı sıklığı 20 adet cm olan dimi 2/2 örgülü iki kumaşta çözgü yünü kopma mukavemeti, dairesel kesitli kumaşta oktolobal kesitli liflere sahip kumaşın test değerlerinden daha yüksek sonuçlanmıştır. Atkı yönündeki kopma mukavemeti test sonuçları arasında fark görülmemesi atkı yönünde sıklığın çözgü yönüne göre daha az olmasıdır. Bu da iplikler arası boşlukların ipliklerin birbirlerine paralel temas noktalarını sayısının daha az olmasından kaynaklanabilir.

2.3. Otomobil Koltuk Kılıfı Kumaşlarının Yapısal Parametreleri ve Geometrik Özellikleri

Kumaş parametrelerinin kumaş mekanik davranışları üzerinde dikkate değer etkisi vardır (Hu, 2004). Kumaş içerisindeki çözgü ve atkı ipliklerinin aldıkları şekiller geometrik özellikleridir (Hearl ve ark. 1969). Kumaşın temel yapısal parametreleri; iplik

çapları, çözgü ve atkı sıklıkları, örgü tipidir (Önder, 1985). Bu yapısal parametreler dikkate alınarak iplik kıvrımları ve iplikler arası boşluklar Pierce tarafından oluşturulan bezayağı kumaş birim geometrisinde parametre olarak dikkate alınmıştır. Pierce modeli olarak adlandırılan geometrik modelde birtakım kabuller yapılmıştır. Bunlar; iplikler esnek ve düzenli olarak tekrarlanan bir desende iç içe geçmiş dairesel silindirler olarak kabul edilmiştir (Pierce, 1937). Diğer kabuller ise şöyledir; ipliğin eğilme direnci ihmal edilir, ipliklerde iç gerilimler yoktur, iplik doğrusal uzanır ve atkı ve çözgünün birleştiği yerde iplikler dairesel şekil alır (Hearl ve ark. 1969). Bu yapı en basit geometriye sahiptir. Şekil 2.5 A'da Pierce geometrisi şekli verilmiştir. Şekil 2.5 B'de ise modelin eliptik çap şekli ile düzenlenmiş durumu gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Düz kumaş için Pierce geometrik modeli A) Dairesel çaplı model şeması B) Eliptik çaplı model şeması

Şekil 2.5 A ve B'de verilen geometrik çizim üzerindeki göstergeler aşağıda açıklanmıştır. İndis olarak kullanılan 1 çözgü ipliğini, 2 ise atkı ipliğini işaret etmektedir.

P: iplikler arası boşluk

l: iplik uzunluğu

h: krimp yüksekliği

d: iplik çapı

Θ: kumaş düzlemi ile iplik ekseni arasındaki açı

a: iplik geniş çapı (eliptik model için)

b: iplik dar çapı (eliptik model için)

c: krimp oranı

D: kumaş kalınlığı

e: yassılma oranı

K: örtme faktörü

Verilen geometriye göre aşağıdaki geometrik formüller Pierce tarafından belirlenmiştir.

$$P_2 = (l_1 - d\,\theta_1)\cos\theta_1 + d\sin\theta_1 \tag{2.2}$$

$$h_2 = (l_1 - d\,\theta_1)\sin\theta_1 + d\,(1 - \cos\theta_1) \tag{2.3}$$

$$D = h_1 + h_2 \tag{2.4}$$

$$D = d_1 + d_2 \tag{2.5}$$

$$c_1 = l_1 / p_2 - 1 \tag{2.6}$$

$$\theta_1 = 106\sqrt{c_1} \tag{2.7}$$

$$d_1 = \sqrt{a_1\, b_1} \tag{2.8}$$

$$e = \sqrt{b/a} \tag{2.9}$$

$$K = 28\, d / p \tag{2.10}$$

İpliğin birden fazla filamentle oluştuğu durumlarda, ipliğin serbest haldeki çapı ile kumaş içerisindeki çapı birbirinden farklıdır. İplik kumaş yapısına dahil olduğunda, atkı ve çözgü sıklıkları ve kıvrımları ipliğin çap şeklini ve uzunluğunu değiştirir. Kumaş sıklıkları arttıkça iplik çap şekillerinin eliptik kesitten dairesel kesite dönüştüğü söylenilebilir. Yine dokuma örgüsü ve sıklığa bağlı olarak atkı ve çözgü kesişim noktalarında eliptik kesit, yüzme uzunluklarında ise dairesel kesit olan çap şekilleri

görmek mümkündür. Hesaplanan ve ortaya çıkarılan geometrik şekiller ve nicelikler ancak homojen yapılar için geçerli olabilir.

Kumaş geometrisi modeli oluşturma çalışmalarına 1958 yılında Kemp'in yarış pisti modeli ve 1978 yılında Hearl'ün mercimek modeli geometrileri temel oluşturmuştur. (Hu, 2004). Sonraki tüm çalışmalar Pierce geometri modelini esas alarak bezayağı kumaşlar için oluşturulmuştur. Karmaşık olan örgüler için geometrik hesaplamalar zorlaşmaktadır ve gerçek kumaş geometrisini hesaplamak için yapılan matematiksel hesaplamaların gerçeğe benzetim oranı azalabilmektedir.

Karmaşık geometriler ve hesaplamalar için günümüzde bilgisayar yazılımları kullanılmaktadır ve gerçeğe yaklaşmak için yazılımların geliştirilmesi devam etmektedir. Kumaşların geometrik modeli, kumaşların alansal ağırlık ve gözeneklilik gibi bazı yapısal ve fiziksel özelliklerinin tahmin edilmesine yol açmış ve aynı zamanda kumaşın alansal maksimum yoğunluğunu vererek kumaş üretiminde rehberlik sağlamıştır. Tekstil materyallerinin geometrik modellenmesi günümüzde daha önemli hale gelmiştir. Çünkü geometrik modeller, performans simülasyonlarında kullanılan sonlu elemanlar modelleri için tekstil yapıları hakkında geometrik bilgi sağlamanın tek çözümüdür (Chen, 2009).

2.4. Tekstil Materyallerinin Mekanik Davranışları ve Deformasyonları

Deformasyon sözlükte, üzerine gerilim uygulaması sonucu bir nesnenin boyutlarını değiştirmesi anlamına gelmektedir. (Visual Thesaurus (t.y)). Mühendislik mekaniğinin kapsamlarındaki deformasyonları tanımlamak için yer değiştirmeler ve uzama büyüklükleri tanımlanmalıdır (Dietmar ve ark, 2018).

Tekstil materyalleri lif / filament, iplik, kumaş ve giysi formunda gerilim uygulandığında uzama gösterirler. Bununla birlikte mekanik davranışlarını açıklamak ve birbirleri ile karşılaştırmak için kuvvet-uzama, gerilim-uzama grafikleri önemli bir yere sahiptir. Bu grafikler standartlar haline getirilmiş çeşitli test metotları ile elde edilmektedir. Tekstil materyallerinin kullanım yerlerine ve üretim yöntemlerine uygunluğu bu testler ile belirlenen toleranslar ile değerlendirilmektedir. Gerilim birim uzama eğrilerinin farklı rejimleri ve malzemelerin mekanik davranışlarını tanımlayan

karakteristik verileri: mukavemet, rijitlik, yorulma, elastiklik, plastiklik ve viskoelastiklik gibi kavramlarla açıklanır (Hasçelik, 2015). Viskoelastik özellik zamana bağlı mekanik davranış olarak açıklanabilir (Hockenberger, 2004). Tekstil malzemelerinde elastik, plastik ve viskoelastik deformasyonlar meydana gelmektedir. Elastik deformasyon, dış kuvvet uygulandığında malzeme şekil ve boyutlarını değiştirip kuvvet etkisi kaldırıldığında tekrar eski boyut ve şekline geldiği deformasyondur. Plastik deformasyon, dış kuvvetler ile gerçekleşen şekil ve boyut değişikliği kuvvet kaldırıldığında sabit kalması durumu yani malzemenin eski haline geri gelememe durumunu anlatan deformasyondur. Viskoelastik deformasyon ise sabit dış yük etkisinde zamana bağlı olarak malzemenin şekil ya da boyut değiştirmesidir. Şu ana kadar açıklanan deformasyonlar belirli bir kuvvet etkisinde meydana gelen uzamaların malzemede oluşturduğu morfolojik değişimleri göstermektedir.

Malzemelere uygulanan kuvvetlerin etki mekanizması çeşidini dikkate alarak yapılan deformasyon ve mekanik davranış tanımları vardır. Deformasyon, gerilme çeşitlerine (elastiklik, yapılan iş, kumaşın relaksasyon kabiliyeti, yüzey özellikleri, sürtünme katsayısı ve geometrik pürüzlülük) bağlı olarak meydana gelmektedir (Pavlinić ve Geršak, 2004). Öncelikli öneme sahip ve diğer deformasyon çeşitleri için ön bilgi vermesi açısından kopma / çekme mukavemeti ve deformasyonu en önemli mekanik davranıştır. Tüm tekstil materyalleri için kullanım yerlerine göre belirli bir kopma / çekme mukavemeti olması gereklidir. Ana mekanik davranışlar ve deformasyonlar içerisinde ikinci olarak yırtılma mukavemeti ve sırasıyla, eğilme, kayma, burulma / bükülme, basma, sürtünmedir.

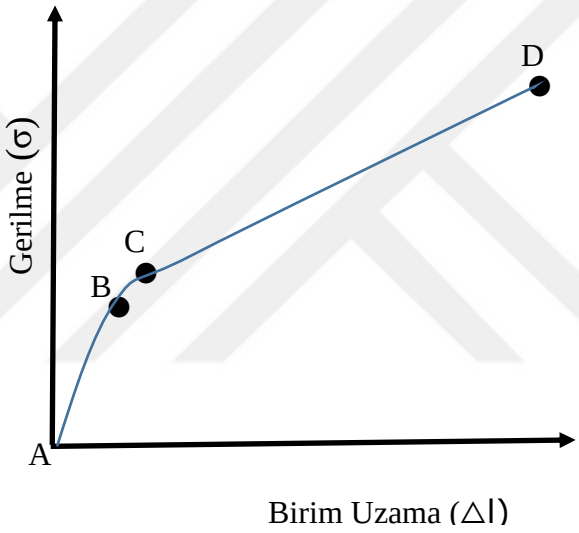
2.4.1. Lif ve iplik mekanik davranışları ve deformasyon

Liflerin mekanik davranışı, lif tipine ve hammaddesine, makro molekül yapısına, lif lineer yoğunluğu ve kesit şekline göre farklı kopma, eğilme, burulma deformasyonları gösterirler.

Liflerin elastik özellikleri oluşturdukları ipliklerin mekanik davranışlarını etkilemektedir. Tek başlarına gösterdikleri mekanik davranışlar iplik içerisinde birden fazla lifin bir araya gelmesi ile oluşan iplik özellikleri liflerin birbirleri ile sürtünmesinden etkilenmektedir.

İpliklerin mekanik özellikleri uzama, kopma, eğilme, burulma, yassılma ve sürtünmedir (Başer, 2017). İpliklerde, lif özellikleri ile iplik içerisindeki filament sayısı, iplik üretim yöntemi ve parametreleri, tekstüre yöntemlerine göre mekanik davranışları farklılık gösterir.

İpliklerdeki kopma davranışı gerilim-uzama testlerini içeren kopma mukavemeti test metotları ile ölçülmektedir. Kopma oluşturulması için ipliğin ekseni doğrultusunda kuvvet uygulanması sonucu kopma mekanik davranışı belirlenir. Şekil 2.6'da iplik genel gerilme-uzama grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Kesiksiz filament iplik gerilme-uzama davranışı

Şekil 2.6'da noktalar ile gösterilen kısımlar grafiği bölümlere ayırmak için kullanılmıştır. AB bölgesi elastik deformasyonun görüldüğü lineer elastik bölgedir. Bu bölgede Hook kanunları geçerlidir. Denklem 2.11 ile gerilim ve birim uzama arasındaki ilişki ifade edilir (Dietmar, 2018). E elastisite modülü ya da Young modülü olarak adlandırılır, malzemenin rijitliği ve sertliği hakkında bilgi verir. Tekstil malzemelerinin mekanik özelliklerinden biridir. İplik modelleme ve ipliklerin birbirleri ile karşılaştırılmasından faydalanılmaktadır.

$$\sigma = E\,\varepsilon \tag{2.11}$$

İplik yapı olarak tek boyutlu kabul edilmektedir. Eksenel gerilmenin etki ettiği iplik boyundaki birim uzama Denklem 2.12 ile hesaplanır. İpliğin gerilimden önceki ilk boyu l_0, gerilimdeki son boyu ise l ile ifade edilir.

$$\varepsilon = \frac{\triangle l}{l} = \frac{l - l_0}{l_0} \tag{2.12}$$

Ayrıca AB doğrusunun altında kalan alan iş olarak hesaplanır ve bu alan elastik uzaması için gereken iş miktarını verir. Malzeme BC bölgesinde viskoelastik deformasyon gösterir ve iplikte oluşan az miktarda kalıcı deformasyon oluşur. C noktasının malzemenin elastik sınırı olduğu söylenilebilir. CD doğrusu plastik deformasyon bölgesini göstermektedir. Büyük oranda kalıcı deformasyonlar oluşur. İpliği oluşturan lifler kalıcı olarak uzayarak daha sert hale gelirler, bununla birlikte gerilim kuvveti de artmaya devam eder. Liflerin tamamen kopması ile iplik D noktasında kopmuş olmaktadır. Kesiksiz liflerden oluşan ipliklerde kopma mekanizması liflerin kopması şeklinde çalışır (Başer, 2017). Kesikli liflerde iplikler, yapılarına göre gurup halinde ve tek başlarına kopma gerçekleştirebilirler.

İplik malzeme özelliklerinden diğeri ise kayma modülüdür ve G ile gösterilmektedir. Young modülü hesaplanan bir ipliğin kayma modülü Denklem 2.13 ile hesaplanmaktadır (Lin ve ark., 2012).

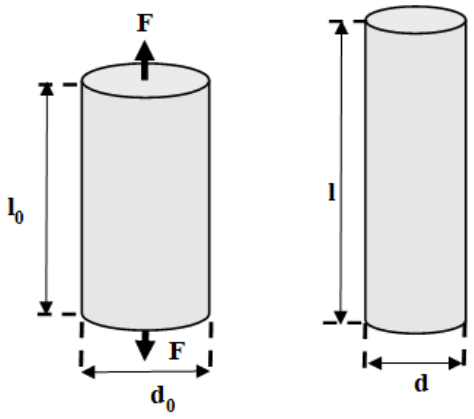
$$G = \frac{E}{2(1+\upsilon)} \tag{2.13}$$

Kuvvet etkisinde iplik boyutlarında ve elastik bölgedeki iplik çapındaki kısalmanın iplik boyundaki uzamaya oranı Poisson oranıdır ve υ ile Denklem 2.14'te gösterilmektedir (Takatera, 2017).

$$\upsilon = - \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \tag{2.14}$$

Şekil 2.7'de silindirik şeklinde gösterilen ipliğin kuvvet altındaki boy uzaması ve çap daralması belirtilmiştir. Boyuna yönde birim uzama (ε) ve çaptaki daralma (ε′) değerleri sırasıyla Denklem 2.12 ve Denklem 2.15 'e göre hesaplanabilir.

Miao ve ark. 2010, karbon nanotüp bükülmüş ipliğin Poisson oranını taramalı elektron mikroskopu (SEM) içerisine oturtulmuş çekme test düzeneği ile belirlemişlerdir. İplik numune uzunluğu anlık olarak SEM içine alınmadan ölçüldü. Çekme durumu ise SEM içerisinden alındıktan sonra iplik eksenel gerinimi mikrometre tarafından ayarlanarak arttırıldı. Bu adımlar numune ipliğin eksenel gerinim tarafından kopartılana kadar devam ettirildi. Enine gerinim hesaplamalarında kullanılan iplik çapları SEM görüntülerinden ölçüldü ve farklı eksenel gerinimlerdeki poisson oranları grafikleri elde edildi. Bu ölçüm metoduna göre Poisson oranını; eksenel gerilme ve iplik kesitindeki rölatif değişim olarak tanımlanabilir.



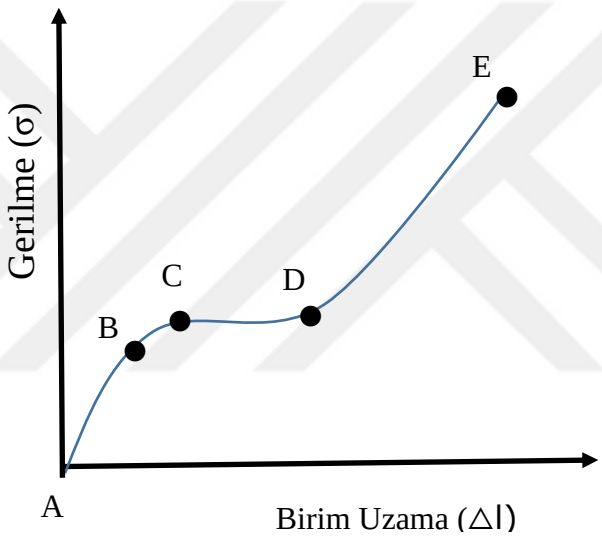
Şekil 2.7. İpliğin boyuna uzaması ve çaptaki değişim

$$\varepsilon' = \frac{\triangle d}{d} = \frac{d-d_0}{d_0} \tag{2.15}$$

İplik mekanik özellikleri açıklanan büyüklüklerin hesaplanması ile oluşturulur. İplikler belirlenen kumaş örgüsüne göre ipliklerin birbirleri ile paralel ve 90° açı ile bağlantı yaparlar. Bu nedenle kumaş içerisinde sıkışık halde bulunurlar. Sıkışıklık nedeniyle ipliklerin çapları, serbest haldeki çaplarına göre daha küçük olması beklenir, kesit şekilleri ise değişkendir.

2.4.2. Kumaş mekanik davranışları ve deformasyon

Kumaşlarda, lif ve iplik özelliklerinin etkisinin yanında örgü tipi, iplik sıklıkları ile mekanik davranışları değişmektedir. Dokunmuş kumaşlarda kopma, yırtılma, eğilme, bükülme, sürtünme, basma deformasyonları oluşmaktadır. Temel olarak kumaş mukavemetinde eksenel kuvvetlerin zıt yönlerde ve eşit uygulanması ile oluşan kopma deformasyonunu gösteren gerilim-uzama eğrileri kumaş hakkındaki mekanik davranışları anlatmaktadır. Şekil 2.8'de genelleştirilmiş gerilim-uzama eğrisi verilmiştir. Dokuma kumaşların kalitesinin ve kumaş performansının karakterizasyonu için en önemli özelliklerinden biri kumaş gerilme mukavemetidir (Zeydan, 2010).



Şekil 2.8. Genelleştirilmiş gerilim-uzama eğrisi. (Hearl, 1969)

Kumaşlar, ipliklerin yüzey oluşturması ile iki boyutlu malzeme haline dönüşmüştür. Atkı ve çözgü yönleri olmak üzere iki boyutta mekanik davranışlar arasında fark görülebilir. Şekil 2.8'de AB bölgesi elastik deformasyon bölgesidir. Bu bölgede, kumaşın ilk yüksek modülü muhtemelen ipliğin bükülmesine karşı sürtünme direncinden kaynaklanmaktadır. Sürtünme direnci ise liflerin birbirleri ile olan sürtünmesinin sonucudur. BCD bölgesi iplik kıvrımlarının azaldığı bölge ve DE bölgesi kumaştaki ipliklerin uzama bölgesi olarak gösterilmiştir. İpliklerin kendi gerilim-uzama özellikleri tarafından yönetilen son bölgede E noktasında ipliklerin toplu olarak koptuğu anlaşılabilir (Hearl, 1969). C noktasına karşılık gelen gerilim değeri kumaşın önemli bir kalıcı deformasyona uğramadan karşı geleceği son yük değerini göstermektedir. Ayrıca

B noktasından itibaren kopma gerçekleşene kadar kumaş içerisindeki ipliklerin şekil değiştirmesi ile kayma hareketi de oluşmaktadır. Kumaşın gerilim-uzama eğrisinde BCD bölgesi viskoelastik deformasyon, DE bölgesinde ise plastik deformasyon oluşmaktadır.

Kumaşı oluşturan lif ve iplik özellikleri ile birlikte kumaş üretim proseslerinde uygulanan gerilimlerin malzemeyi hangi seviyede etkilediği kumaş mekanik özelliklerinin standartlaştırılması için önemli bir etkendir. Aynı hammadde, yapı ve üretim parametreleri sonucu aynı davranışa sahip kumaş ortaya çıkarılması anlamına tam olarak gelmemektedir. Bu nedenle tüm süreçlerde standartlaştırma yapılabilirliği ve imkanları araştırılmalıdır. Gerilme-uzama grafikleri tekstil malzemelerinin karşılaştırmasında çok önemli bir veridir.

Kumaşın gerilim etkisi altında kaldığı süre boyunca gerilim büyüklüğü, şekli, etki zamanına göre geometrik olarak değişikliklere uğrar. Bu değişiklikler birinci derecede iplik kesit şeklinde olmaktadır. Kumaş gerilim altında ya da kumaş geometrisi nedeniyle iplik kesit şeklinde değişimler, daralmalara ipliğin yassılma oranı denilmektedir. İpliklerin yassılması nedeniyle kumaş geometrisindeki değişimler kumaş uzamasını etkilemektedir, bu nedenle iplik kesitindeki değişim ve iplik hacmindeki değişimin etkisi kumaş mekaniğinde dikkate alınmalıdır (Hearl ve ark., 2001). Aynı zamanda iplik içerisindeki lifler arası hava boşluk miktarının değişmesi de paketleme sabitlerini etkileyecektir. Kumaş atkı ve çözgü sıklıklarına göre ipliklerin kumaş içerisindeki paketleme sabitleri değişecektir. Denklem 2.16 ile paketleme oranı hesaplanmaktadır (Başer, 2017).

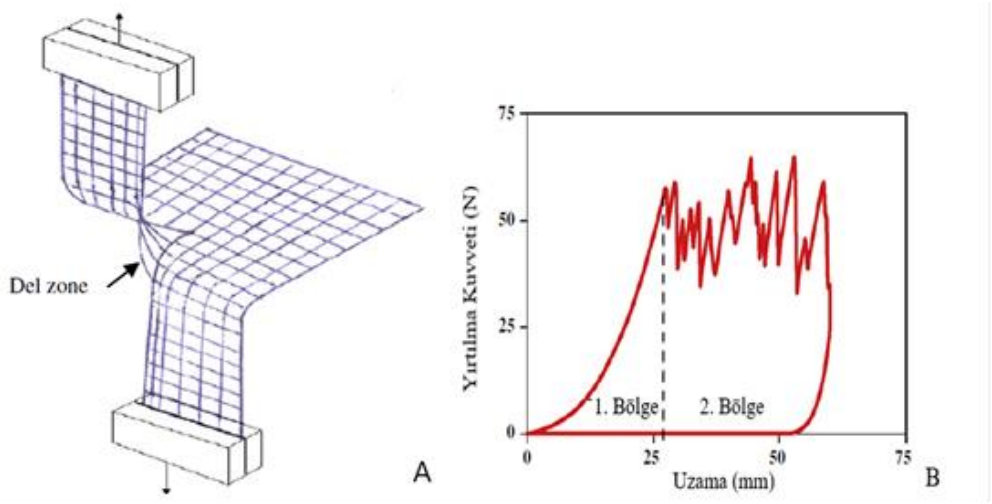
$$\text{Paketleme sabiti} = \frac{Vf}{Vy} \tag{2.16}$$

Paketleme sabiti ipliğin gözenekliliği olarak da ifade edilebilir (Hearl, 1969). Tekstil malzemeleri düşük yoğunluklu malzemelerdir, bu nedenle karakteristik tekstil özellikleri iki temel kumaş elementinden oluşur, bunlar lif ve havadır (Tarfaoui ve Akesbi, 2001).

Kumaş deformasyonu kapsamında ele alınan yırtılma deformasyonu, malzemelerin yırtılmasına ve tekdüze olmayan gerilmelere neden olan kullanım koşullarına veya test koşullarına çok güçlü bir şekilde bağlıdır (Steele ve Gruntfest, 1957). Yırtılma deformasyonu için eksenel, aynı doğrultuda olan zıt kuvvetlerin etkisi söz konusudur. Yırtılmanın kumaşta oluşabilmesi için çentik etkisinin oluşturulması gerekir. Bu nedenle bu deformasyonun test edilmesinde kullanılan numunelerin farklı çentik şekilleri ve uzunlukları vardır. Bu testler; tek yırtma, çift yırtma (tongue), yamuk yırtma ve balistik sarkaç (Elmendorf) metotlarıdır. Yırtılma mukavemeti, belirli koşullar altında bir kumaşta yırtılmayı başlatmak, devam ettirmek veya yaymak için gereken çekme kuvvetidir (Hu, 2008). Yırtılma mukavemeti, iplik geometrisi, kumaş geometrisi, liflerin serbest olmasından ve sürtünme özelliklerinden etkilenmektedir (Eryuruk, Kaloğlu, 2015).

Kumaşların yırtılma mekanizması doğrusal kopma deformasyonundan farklıdır. Tek tek ipliklerin kayma kabiliyeti ya da demet halinde sıkışık olmaları yırtılma kuvvetini arttırmaktadır. Böylece daha fazla açık kumaş yapısı ve sıkışık durumda yüksek yırtılma mukavemeti elde edilir (Eltayip ve ark., 2016).

Şekil 2.9 A'da kumaşa uygulanan çift yırtma (tongue) metoduna göre yırtılma bölgesi (del zone) olarak gösterilmiştir. Şekil 2.9 B'de yırtılma kuvveti-uzama grafiği verilmiştir. Yırtılma davranışını gösteren grafik alanı iki bölgeye ayrılmıştır. Birinci bölge kumaşı ilk yırtılma noktası olan bölgeye getirmek için gereken kuvvete karşılık gelir. İkinci bölge ise yırtılma bölgesindeki ilk ipliğin kopmasından itibaren yırtılmanın yayılmasını göstermektedir. Yırtılma deformasyonu boyunca ipliklerin bireysel olarak kopması yırtılma kuvvetinin minimum ve maksimum olarak dalgalanmasına neden olmaktadır (Triki ve ark., 2011).



Şekil 2.9. Çift yırtma (tongue) testi, A) Test numunesi, B) Yırtılma kuvveti-uzama konfigürasyonu (Triki ve ark., 2011)

Kumaşların yırtılma davranışlarını karşılaştırmak ve anlamak için yırtılma kuvveti-uzama grafikleri önemlidir. Farklı test metotlarının uygulanması yırtılma mukavemetinin niceliksel olarak farklı sonuçlar vermesine sebep olmaktadır. Tekstil materyallerinin kullanım yerlerine göre uygun test metotlarının belirlenmesi gerekmektedir.

2.5. Tekstil Materyallerinin Geometrik Modellenmesi ve FEA Simülasyonları

Basit örgüler için oluşturulan geometriler ve kuvvet analizleri karmaşık yapılı kumaşlara temel oluşturması açısından önemlidir. Hearle ve ark. (2001) kumaş mekaniği modellemesi üzerine uygun enerji terimlerini kullanarak iplik gerilimi, iplik eğilmesi, iplik yassılaşması ve ipliklerin temas noktalarındaki sürtünme kavramlarını açıklamaya çalışmışlardır. Kumaş mekaniğini modellemede matematiksel denklemlerin ve ifadelerin karmaşıklığından söz edip, 3D modelleme ile bu karmaşıklığın ortadan kaldırılabileceğine değinmişlerdir. İplik özelliklerine ve yapısal çeşitliliğe göre kumaş mekanik özelliklerinin simülasyonu için kolaylık sağlayan bilgisayar yazılımlarının geliştirilmesine ışık tutmak amacıyla tek eksenli ve çift eksenli kumaş deformasyonlarını enerji metodu ile incelemişlerdir.

Simülasyonlar, açık denklem sistemlerini kullanarak açıklanamayan zor ve imkânsız olan sistemleri ve durumları analiz etmek için kullanılır. Bir simülasyon deneyi ile

makinadaki denemelere göre daha kolay karşılaştırmalı bilgi toplanabilir ve gerçek sistem hakkında bilgi sahibi olunur (Veit, 2012).

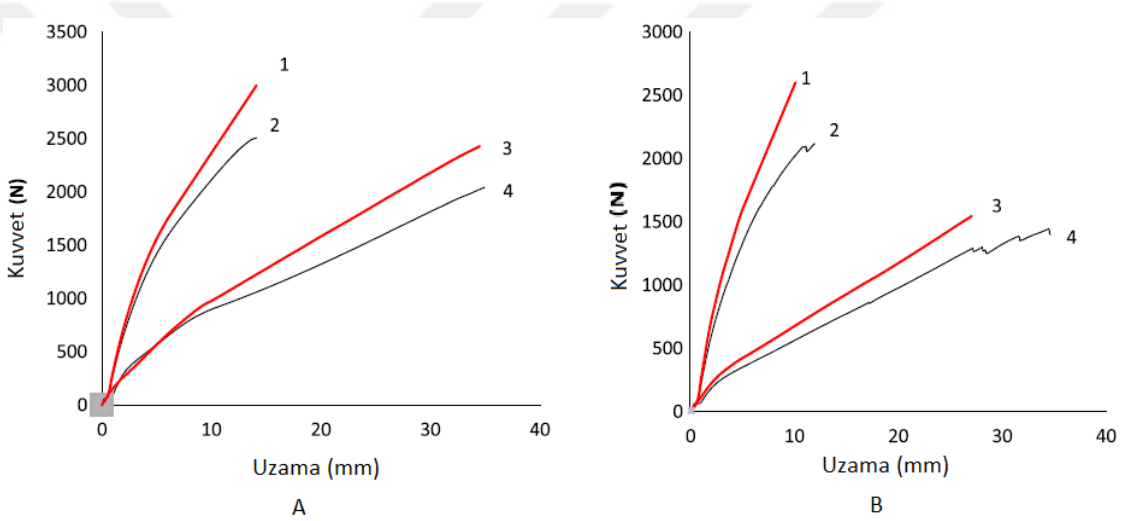
Günümüzde kumaşlar için geliştirilen geometrik modelleme yazılımları; TexGen, WiseTex, Solidwork, TechTex ve RUC ticari bilgisayar programlarıdır. Geometrik modelleme yazılımlarında yapı birimi iplik olarak belirlenmiş olup iplik malzeme özellikleri program giriş verisi olarak kullanılmaktadır. Giriş verilerinin tutarlılığı ve doğruluğu gerçeğe yakın sanal kumaş ve iplik geometrilerinin oluşturulmasında önemlidir. Oluşturulan geometrik modellerin ara yüz programı ile FEA'ye aktarılması ve analiz koşullarının programa tanımlanması ile simülasyon yapılmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan FEA, otomobil parçalarının yani bileşenlerinin ve tüm gövdelerin statik, dinamik ve akustik olarak karakteristiklerini hesaplamada kullanılmaktadır. FEA yazılımlarının bazı ticari markaları Abaqus, LS-Dyna, ANSYS ve Radioss örnek olarak verilebilir.

FEA metodu, araştırılan malzeme bedeni küçük parça kümelerine ayrılmış ve ağ örgü (mesh) ile birbirine bağlanmış elementler ile çalışır. Bilinen sonlu boyutlara sahip elementlerin kilit noktaların (düğümler) analitik çözüme sahip olduğu denklemler vardır. Bir elementin kenarındaki düğümler aynı anda birden fazla komşu elementlerinde düğümleridir. Bu nedenle her iki komşu öğe için de problem çözümlerinin bu düğümlerde aynı değere sahip olması gerekir. Bunu sağlamak için tüm düğümler için bir denklem sistemi çözülür. Doğrusal elastik cisimler nedeniyle bu denklem sistemleri doğrusaldır ve bu nedenle bir bilgisayar kullanarak çok kısa süre içerisinde çözülür ve böylece karmaşık bir geometri için çözüm hızlı bir şekilde bulunabilir (Kyosev, 2012).

Sonlu elemanlar analizinde, herhangi bir karmaşıklık derecesindeki bir destek yapısı, elastik davranışın bilindiği ve kolayca tanımlanabileceği basit yapısal elemanlara ayrılır. Bu elemanlar uygunluk koşullarını sağlayarak tüm yapı ile birleştirilebilir ve matematiksel bir modelin, elastik özellikleri açısından gerçek gövdeye yeterince karşılık gelecek şekilde oluşturulmasını sağlar. Bundan dolayı üç katmanlı laminasyonlu kumaşlarda ve daha fazla katman içeren kompozit malzemelerin test edilmesine imkân vermektedir.

Shen ve ark. (2015) polyester monofilament iplik kullanılarak üretilen 6 farklı örgüdeki dokuma kumaşın geometrik modellemesini Pierce geometrisi tabanlı yazılımda 3D olarak modellemişlerdir. Gerilme mukavemetini ANSYS FEA'de simüle etmişlerdir. FEA analizi sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir benzerlik olduğu raporlanmıştır. Şekil 2.10 'da bezayağı örgülü birinci kumaş ve dimi örgülü ikinci kumaşın deneysel ve FEA simülasyonu sonucu elde edilen kuvvet-uzama grafikleri karşılaştırmıştır. Grafiklerde 1 numara çözgü yönünde deney sonucunu, 2 numara çözgü yönünde simülasyon sonucunu, 3 numara atkı yönünde deney sonucunu, 4 numara ise atkı yönünde simülasyon sonucunu gösterir. FEA sonuçlarına göre deneysel sonuçlardan daha düşük kopma kuvveti değerleri elde edilmiştir.



Şekil 2.10. Deney ve simülasyondan elde edilen kumaş kopma mukavemeti değerlerinin karşılaştırılması. A) Bezayağı örgülü kumaş, B) Dimi örgülü kumaş (Shen ve ark. 2015)

Gao and Wang (2015) dokusuz yüzey kumaşların makro ölçekte kopma mukavemetlerini incelemek için klasik laminant kompozit teorisini kullanarak FEA'de simüle etmişlerdir. Elektron mikroskobunda kumaşı tarayarak elde edilen verilerin analizi ile liflerin dokusuz yüzey içerisinde oryantasyon dağılım fonksiyonu elde edilmişlerdir. Deneysel olarak materyal test edilmiş ve veriler Abaqus FEA modelinde kullanılmıştır. Gerilme-uzama davranışının deneysel sonuçları ile FEA analizleri sonuçlarının benzer olduğu sonucuna varmışlardır.

Zheng ve ark. (2015) bezayağı ve dimi 2/1 örgülü cam lifinden oluşan kumaşları Texgen yazılımı ile geometrik modellememesini ve ardından ANSYS FEA yazılımı ile

kumaşların ısı transferleri özelliklerinin simülasyonunu çalışmışlardır. Deneysel ve simülasyon sonuçları arasında iyi bir korelasyon olduğunu vurgulamışlardır.

Lin (2014) bezayağı örgülü kumaşların geometrik modellemesinde dilimli dizi modelini kullanmıştır. Çalışmada atkı ve çözgü iplikleri iki tabaka olarak modellenmiştir. Oluşturulan geometrik model esas alınarak, sonlu elemanlar yöntemi (FEA) ile elastik bölgede kumaşların gerilme deformasyonu davranışları simüle edilmiştir. Tekstil malzemelerinin geometrik modelleme ile mekanik özelliklerinin tahmin edilebilir olduğunu vurgulamıştır.

Lin ve ark. (2008) cam lifinden oluşan ipliklerden dokunmuş kumaşların sıkıştırma altındaki mekanik davranışlarını 3D sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmişlerdir. İplik için lineer olmayan elastik mekanik modeli kullanmışlardır. Kumaş geometrik modeli Texgen ile oluşturulup FEA Abaqus yazılımı ile analiz edilmiştir. Malzeme özellikleri lineer olmayan olarak modellendiğinde iplik etkileşimlerinin ve histerilerinin gerçeğe yakın olduğunu bulmuşlardır. Kumaş sıkıştırılma özelliğinin iplik kesitinin rijitliğine, dikey ve yatay kayma modülü tarafından etkilendiği şeklinde sonuçlanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kumaş yapılarında kullanılan iplik özellikleri

Tez çalışmasında kullanılan kumaşların üretiminde %100 Polyester kesiksiz filamentlerden oluşan ve iki farklı tekstüre yöntemi ile üretilmiş iplikler kullanılmıştır. İplik hammaddesi 68 filamanlı yuvarlak kesit şekilli POY (kısmi oryante edilmiş) ve 48 filamanlı oktolobal kesit şekilli POY olmak üzere 2 farklı POY hammaddesi ANTEX Anglès Textile, S.A firması tarafından üretilmiştir. POY hammaddelerinin tekstüre işlemleri Martur Sünger ve Koltuk Tesisleri Ticaret ve Sanayi A.Ş. / Kütahya / Türkiye Tekstil İplik işletmelerinde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.1'de kumaş üretiminde kullanılan ipliklerin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan ipliklerin özellikleri

İplik Özellikleri	İplik 1	İplik 2
Lif kesit biçimi	Yuvarlak	Oktolobal
Filament Sayısı	270	144
İplik numarası	117 tex/29x4	55 tex/16,7x3
Tekstüre biçimi	Hava	Friksiyon

Tekstüre işlemi ile liflerin çekim işlemleri ve bir araya getirilmesi sağlanmıştır. Friksiyon teskstüre işleminde çekimle birlikte liflere yalancı büküm verilerek puntalama işlemi yapılmıştır. Hava tekstüre işleminde ise lif çekimi ile birlikte havayla karıştırılarak liflerin bir arada tutunması sağlanmıştır. Dokuma makinalarındaki ipliklerin dokuma performansı açısından tekstüre işlemleri önemlidir. Dokuma makinalarının yüksek hızlarda çalışmanın verimlilik üzerinde etkisi nedeniyle iplik tekstüre parametrelerinin belirlenmesi ve proses tasarımları oldukça önemlidir.

3.1.2. Kumaş yapıları ve özellikleri

Otomobil koltuk kılıfı üretimi için bezayağı ve dimi 2/2 olmak üzere iki örgü yapısı seçilmiştir. Laminasyonlu bezayağı örgü yapısında 2 farklı sıklık ve laminasyonlu dimi 2/2 örgü yapısında 5 farklı sıklık seçilerek toplam 7 kumaş üretilmiştir. Çizelge 3.2'de üretilen kumaşların özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kumaş örgü ve parametreleri

Kumaş Örgüsü	Kumaş İsmi	Çözgü sıklığı (iplik/cm)	Atkı sıklığı (iplik/cm)	İplik Tipi
Bezayağı	P14-9	14	9	117 tex, hava tekstüreli
	P14-11	14	11	
Dimi 2/2	T27-16	27	16	55 tex, friksiyon tekstüreli
	T29-17	29	17	
	T31-18	31	18	
	T32-20	32	20	
	T34-20	34	20	

Kumaş isimleri olarak verilen P14-9' un anlamı bezayağı örgülü kumaş, çözgü sıklığı 14 ve atkı sıklığı 9 olmasıdır. Dimi 2/2 kumaş için örneğin T27-16' nın anlamı dimi 2/2 örgülü kumaş, çözgü sıklığı 27 ve atkı sıklığı 16 olmasıdır. Diğer kumaşlar da aynı yöntemle kodlanmıştır.

Kumaşların dokunması işlemlerinden sonra açık en yıkama, ramöz ve laminasyon işlemleri yapılmıştır.

3.1.3. Astar ve sünger özellikleri

Otomobil koltuk kılıfı olarak kullanılan kumaşlar laminasyonlu kompozit malzemeler olarak değerlendirilir. Dokuma işlemi sonrası oluşan dokunmuş kumaş yüz kumaşı 1. tabaka, poliüretan esaslı polieter sünger 2. tabaka, polyamid ipliklerden yuvarlak örme olarak üretilen astar 3. tabaka olarak isimlendirilir.

Tez çalışmasında kullanılan PU laminasyon süngeri Marturfompak International sünger üretim tesislerinde yoğunluk 32 kg/m^3 olarak üretilmiştir. Laminasyon makinasında alevle yakılarak süngerin erimesi ve üstten yüz kumaşa alttan ise astara yapışması sağlanmıştır. Kumaşların eğilme ve kıvrılma hareketlerini gerçekleştirebilmesinde süngerin etkisi vardır (Bulut ve Sülar 2010).

Yuvarlak örme kumaş yapısında olan polyamid astar; 55 gr/m^2 gramajında Marturfompak International gurubunda bulunan Oteks A.Ş. tarafından üretilmiştir. Astar yapısına bağlı olarak laminasyonlu kumaşın esneklik özellikleri değişim gösterir. Örneğin esnekliği yüksek yüz kumaşın rijitliği, astar tipi seçimine bağlı olarak

arttırılabilir. Astar ve sünger, yüz kumaşın mekanik, fiziksel ve estetik özelliklerini geliştirmesini sağlayan destek malzemelerdir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Filament ve iplik çap ölçümleri

Kısmi oryante edilmiş POY'u oluşturan ve iplik haline getirilmiş filamentlerin alanları ve çevreleri Antex / İspanya firması tarafından MOTIC BA-310 MET-T TRINOCULAR marka mikroskop ile ölçülmüştür. Alan ve çap ölçümleri 10'ar adet filament üzerinden yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Filament çapları Denklem 3.1 ile hesaplanmıştır. A, d, P harfleri sırasıyla alan, çap ve çevreyi işaret etmektedir. Mikroskop ile yapılan alan ölçümlerinde lif kesiti dairesel kabul edilmektedir ve dairenin çap, efektif çap olarak isimlendirilmektedir. Çevre ölçümü ise lif kesitinin mikroskopta el ile çizilmesi sonucu ölçülen değerdir.

$$A = \pi d^2/4,\ P = \pi d \tag{3.1}$$

Filament ve ipliklerin kesitlerinin daireselliği şekil faktörü Bölüm 2.2'de tanımlanan Denklem 2.1 ile belirlenmektedir ve k ile gösterilmektedir. Şekil faktörü; mikroskopta ölçülen çevrenin, alan ölçümünden hesaplanan efektif çapın oluşturduğu çevreye olan oranıdır. İpliklerin çap şekillleri serbest halde ve kumaş yapısı içerisinde yassılma nedeniyle değişkenlik göstermektedir.

Filamentlerin yoğunlukları ise Denklem 3.2 ile hesaplanmıştır. Denklemde ipliklerin linner yoğunluğu c, iplik içerisindeki liflerin toplam alanı A, lif yoğunluğu ise ρ ile gösterilmiştir.

$$c = A \rho \tag{3.2}$$

3.2.2. İpliklerin mekanik özellikleri

İplik mukavemet testleri ISO DIN 2062 standardına göre test edilmiştir. 500 mm numune uzunluğu ve test hızı 500 mm/dakika, 0.5cN/tex ön yük iplik ekseni boyunca uygulanmıştır. Deneyler Marturfompak International Laboratuvarında bulunan USTER

TENSOKID 1998 Model test cihazında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan test cihazı Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İplik Mukavemet test cihazı, USTER TENSOKID 1998 Model 2,5kN

Her bir numuneden 10 tekrar yapılmış ortalama kuvvet, uzama, gerilim değerleri alınmıştır.

İplik- iplik sürtünme katsayısı testleri ASTM D 3412 standardına göre Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Frictorq cihazında gerçekleştirilmiştir**.**

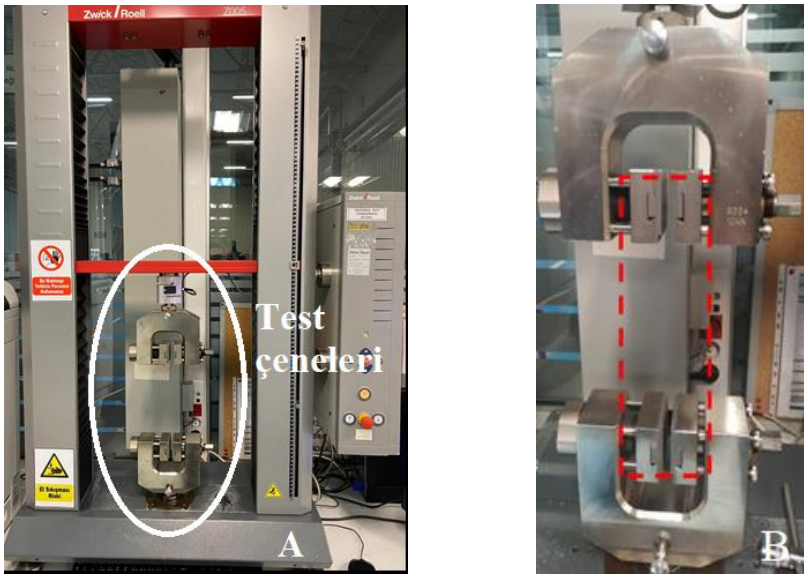
3.2.3. Kumaş geometrisinin KTEX yazılımı ile modellemesi

Kumaş geometrisinin modellenmesinde KTEX modelleme programı kullanılmıştır. KTEX, kumaşların makro boyutta mekanik özelliklerini hesaplayan ve modelini çizen bir yazılımdır ve CEDREM tarafından geliştirilmiştir. Grafik ara yüzü Tcl/Tk olarak, eşdeğer mekanik özelliklerin hesaplanması ise C yazılım dilinde kodlanır. Bezayağı,

dimi, saten, diğer karmaşık örgülü dokuma kumaşlar ve interlok gibi örme kumaşların tek başlarına ve katmanlı yapılar olarak modellemesi yapılabilir. KTEX yazılımı ile oluşturulan çıktı dosyaları RADIOSS FEA (Sonlu Elemanlar Analizi) yazılımına doğrudan kopyalanabilir ve kumaş geometrik modeli FEA yazılımında işlenebilirdir.

3.2.4. Astar, sünger ve laminasyonlu kumaşların kopma mukavemeti ve yırtılma mukavemeti testleri

Laminasyonlu kumaşların kopma mukavemetleri Toyota Ana Sanayi kumaş şartnamelerinde bulunan TSL 2105G-4.1.1-Method A metoduna göre çözgü yönünde test edilmiştir. Test numuneleri 20º ± 2º sıcaklık ve %65 ± %5 bağıl nem içeren laboratuvar ortamında 24 saat şartlandırılmıştır. 50x200 mm boyutlarında çözgü yönü boy olacak şekilde test numuneleri hazırlanmıştır. Testler Marturfompak International laboratuvarında bulunan ZWICK /ROELL Z005, 2007 Model 5kN mukavemet cihazında yapılmıştır. Şekil 3.2'de kullanılan test cihazı görülmektedir. Çeneler arası mesafe 150 mm'dir ve test 1,96 N ön yük ve 200 mm/dakika hız uygulanarak yapılmıştır. Tüm test edilen laminasyonlu kumaşlar için testler 5 kez tekrarlanmış ve ortalaması alınmıştır.

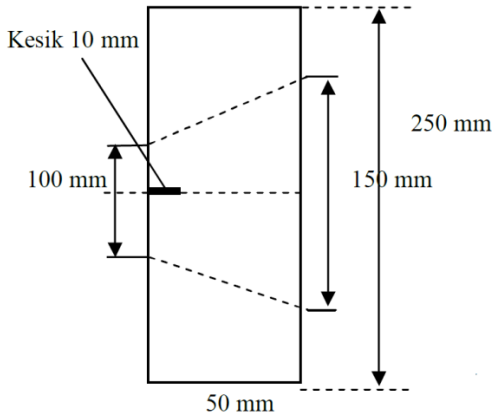


Şekil 3.2. Kopma mukavemeti test cihazı, A) Cihazın genel görünümü B) Test çeneleri

Laminasyonlu kumaşların yırtılma mukavemetleri Toyota Ana Sanayi kumaş şartnamelerinde bulunan TSL 2105G Etap 4.3.2 Metot B' ye göre çözgü yönünde test

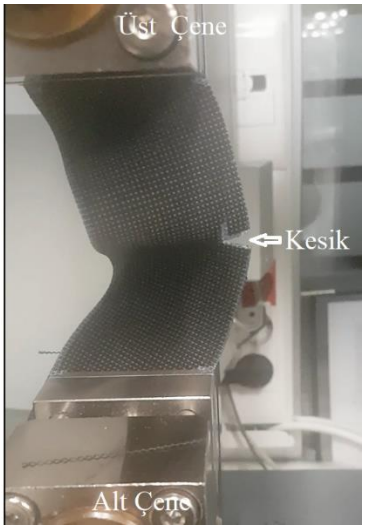
edilmiştir. Numune boyutları 50x250 mm olarak 5 adet hazırlanmıştır. Test başlangıcında çeneler arası mesafe 100 mm ve test hızı 100 mm/dakikadır.

Test numunesinin ortasında Şekil 3.3'te gösterildiği gibi 10 mm uzunluğunda kesik bulunmaktadır. Test alanı 100x150 mm olacak şekilde numune eğik çizgiler ile işaretlenerek test cihazının çenelerine tutturulacak çizgilerin işaretlemesi yapılmış olmaktadır.



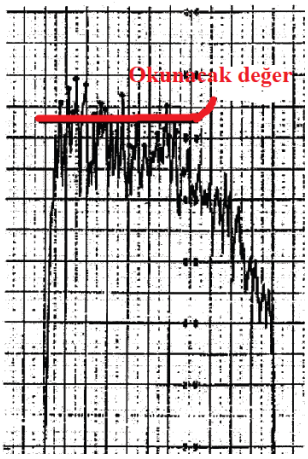
Şekil 3.3. Yırtılma mukavemeti test numunesi boyutları

Şekil 3.4'te çeneler arasına yerleştirilmiş test numunesinin kesik olan kısmının uzunluğu çeneler arası mesafeden büyük olduğu için gevşek durduğu görülmektedir.



Şekil 3.4. Yırtılma testi numunesinin çeneler arasındaki yerleşimi

Şekil 3.5'te verilen test sonucunda görüldüğü gibi bölgesel maksimum değerlerin ortalaması alınarak ortama yırtılma mukavemeti belirlenir.



Şekil 3.5. Yırtılma mukavemeti testinin sonuç grafiği ve hesaplama yöntemi

Koltuk kılıf yapısı içinde yer alan astar ve sünger yapılar için kopma ve yırtılma mukavemeti testleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Astar ve sünger malzemeler Toyota Ana Sanayi kumaş şartnamelerinde bulunan TSL 2105G-4.1.1-Method A metoduna göre kopma mukavemeti ve TSL 2105G Etap 4.3.2 Metot B' ye göre yırtılma mukavemeti test edilmiştir. Test yönleri laminasyonlu kumaşta çözgü boyu ile aynı yönde olacak şekilde, astarda çözgü yönünde, sünger de ise yine boyuna olarak test yapılmıştır. Astar ve sünger için ayrı ayrı 10 test yapılmış ve ortalaması alınmıştır.

3.2.5. Laminasyonlu kumaşın sonlu elemanlar yöntemi (FEA) ile modellenmesi

Tekstil materyalleri düşük kuvvetlerde büyük deformasyonlara uğrayan, anizotropik ve lineer olmayan malzeme özelliklerine sahiptir. Homojen olmayan yapı, modellememe ve simülasyonda karmaşıklığa neden olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada laminasyonlu kumaş; elastik, lineer ve ortotropik modellenmiştir. Nihai kompozit malzemesi için seçilen mekanik model astar ve sünger için de uygulanmıştır.

FEA test sonuçları olarak iki adet çıktı alınmıştır. Birincisi kopma kuvveti ve yırtılma kuvveti sonucu, ikincisi ise kuvvet-uzama grafik verileridir. Bu iki sonuçların FEA ve gerçek sonuçlarının karşılaştırılmasında iki yöntem kullanılmıştır. Bunlar;

Rölatif hata; FEA ve gerçek test sonuçlarının karşılaştırılmasında hata oranı Denklem 3.3 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Rölatif Hata} = \frac{|\text{Gerçek Test} - \text{FEA test}|}{\text{Gerçek Test}}\ 100\% \tag{3.3}$$

Korelasyon katsayısı; FEA ve gerçek kuvvet-uzama grafik verileri arasında hipotez testi oluşturulmuştur. Test edilecek hipotezler kopma ve yırtılma kuvvetleri için aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

H_0: FEA test grafiği verileri ve gerçek test grafiği verileri arasında korelasyon yoktur.

H_a: FEA test grafiği verileri ve gerçek test grafiği verileri arasında korelasyon vardır.

3.2.6. Test hızının kopma mukavemeti üzerine etkisinin incelenmesi

Farklı test hızlarının iplik ve laminasyonlu kumaşların kopma mukavemetleri üzerine etkisini incelemek üzere deney tasarımı yapılmıştır ve istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Smith ve ark. 1956, polimerik bir lif tipinin düşük hızda ve yüksek hızda gerilme-uzama eğrilerinin ortaya çıkarmışlardır. Bu grafiklere dayanarak; yüksek hızda gerilim değerinin yüksek, uzamanın ise düşük olduğu sonucuna varmışlardır. Düşük test hızlarında ise tam tersi olduğu görülmüştür (Smith ve ark. 1956).

İplik ve kumaş testlerinin belirlenen standartlardaki tanımlı test hızları FEA analizlerinin test sürelerinin uzamasına neden olmaktadır. FEA analizlerinde test hızının arttırılması ve test sürelerinin kısaltılması çalışmalarının simülasyon sonuçlarına etkisi gözlemlemek amaçlanmıştır.

İplik testleri ISO DIN 2062 normlarına göre test hızı 500 mm/dakikadır. Farklı test hızları makine kapasitesi elverişliliği kapsamında 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 mm/dakika olarak seçilmiştir. 55 tex friksiyon tekstüreli ve oktolobal kestli filamentli iplik ve 117 tex hava tekstüreli ve yuvarlak kesitli filamentli iplikler tüm test hızlarında 10 kez tekrarlı test edilmiştir. İplikler için oluşturulan hipotezler aşağıdaki gibidir.

1. Normallik testi (Anderson Darling Testi)
   H_0: Tüm test hızlarındaki kopma mukavemetleri dağılımı normaldir.
   H_a: Tüm test hızlarındaki kopma mukavemetleri dağılımı normal değildir.

2. Değişkenlik analizi (Test for equal variance)
   Tüm test hızlarında kopma mukavemetlerinin,
   H_0: Değişkenlikleri eşittir.
   H_a: Değişkenlikleri eşit değildir.
3. Ortalamaların eşitliği (2 sample t – test)
   Tüm test hızlarındaki kopma mukavemetlerinin,
   H_0: Ortalamaları eşittir.
   H_a: Ortalamaları eşit değildir.

Laminasyonlu kumaş testleri TSL 2105G-4.1.1-Method A standardına göre test hızı 200 mm/dakikadır. Farklı test hızları makine kapasitesi elverişliliği kapsamında 100, 200, 300, 400, 500 mm/dakika olarak seçilmiştir. Bezayağı P14-9, P14-11 kumaşları, dimi 2/2 T27-16, T29-17, T31-18, T32-20, T34-20 kumaşları tüm test hızlarında 10 kez tekrarlı test edilmiştir.

Laminasyonlu kumaşlar için oluşturulan hipotezler aşağıdaki gibidir.

4. Normallik testi (Anderson Darling Testi)
   H_0: Tüm test hızlarındaki kopma mukavemetleri dağılımı normaldir.
   H_a: Tüm test hızlarındaki kopma mukavemetleri dağılımı normal değildir.

5. Değişkenlik analizi (Test for equal variance)
   Tüm test hızlarında kopma mukavemetlerinin,
   H_0: Değişkenlikleri eşittir.
   H_a: Değişkenlikleri eşit değildir.

6. Ortalamaların eşitliği
   (Bezayağı için One way anova, Dimi 2/2 için 2 sample t – test)
   Tüm test hızlarındaki kopma mukavemetlerinin,
   H_0: Ortalamaları eşittir.

H_a: Ortalamaları eşit değildir.

İstatistiksel analizler ve testler için Minitab yazılımı kullanılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Kumaş Üretiminde Kullanılan İpliklerin Özelliklerinin Değerlendirilmesi

4.1.1. Filament ve çap ölçüm sonuçları

Kumaşın geometrik modellemesinde kullanılmak üzere Bölüm 3.2.1'de belirtildiği gibi kullanılan filament ve ipliklerin kesit alanları, çapları ve şekil faktörü belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de alan ve çevre ölçümleri ortalamaları, hesaplanan çaplar, şekil faktörleri ve lif yoğunlukları verilmiştir.

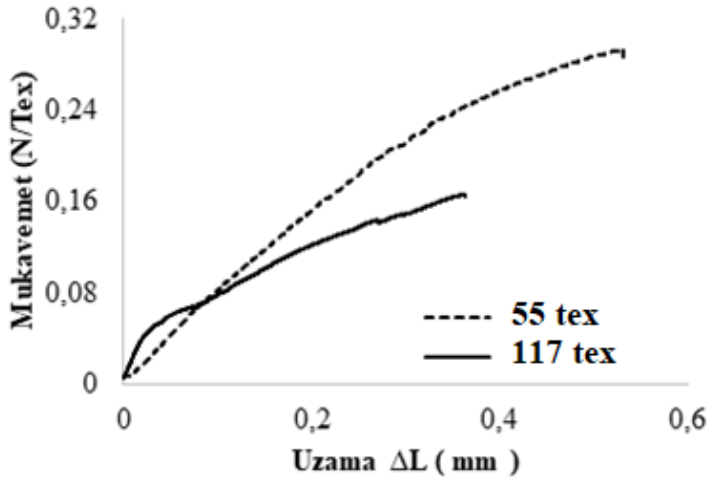
Çizelge 4.1. Filament ve ipliklerin mikroskop ölçüm sonuçları, hesaplanan çap ve şekil faktörleri, liflerin yoğunlukları

Filament ve İplik	Kesit Alanı (μm^2)	Kesit çevresi (μm)	Çap (alan) (μm)	Çap (çevre) (μm)	Şekil faktörü	Çap (alan) POY (μm)	Yoğunluk (g/cm^3)
Oktolobal kesitli filament	297,77	68,98	19,44	21,97	1,13	24,8	1,28
Yuvarlak kesitli filament	276,14	56,94	18,13	18,13	1	21,7	1,47
İplik, 55 tex, Oktolobal kesitli filament	53.755,20	1.329,29	261,52	423,34	–	–	–
İplik, 117 tex, Yuvarlak kesitli filament	128.332,23	1.567,54	404,08	499,21	–	–	–

Oktolobal filamentin şekil faktörü 1'den büyük olması nedeniyle kesit şekli dairesel değil fakat benzerdir.

4.1.2. İpliklerin mekanik özellikleri

Kumaş yapısında kullanılan ipliklerin mukavemet ve uzama grafiği Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. İplik mukavemet- uzama grafiği

55 tex oktolobal filamanlardan oluşan ipliğin mukavemet değeri; 117 tex yuvarlak kesitli filamentlerden oluşan ipliğe göre daha yüksektir. İpliklerin mekanik özellikleri kumaşın mekanik özelliklerini etkilemektedir. Tekstil malzemelerinin tek başlarına gösterdikleri mukavemet özellikleri kumaş yapısı içerisinde toplu halde bulunma durumuna göre değişiklikler olabilmektedir.

Şekil 4.1'de görülen mukavemet-uzama değerleri üzerinden ipliklerin Elastisite Modülü (Young Modulü) Denklem 2.11 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu denklem elastik bölgede geçerli olmaktadır. Bu çalışmada iplik elastik malzeme olarak dikkate alındığından elastisite modülleri kopma noktasına göre hesaplanmıştır.

Boyutsal değişim katsayısı geometrik modelleme programında Poisson oranı olarak kabul edilmiştir. Tekstüre makinasında yapılan işleme göre, POY hammaddesi çekim işlemi ile iplik haline getirilmektedir, böylece çekim işleminden dolayı filamentin boyunda uzama ve buna karşılık filamentlerin çapında azalma meydana gelmektedir. Tekstüre makinasında 55 tex friksiyon tekstüreli iplik için %72, 117 tex hava tekstüreli iplik için ise %68 çekim oranları uygulanmıştır. Bu değerler boydaki uzama oranı (ε) olarak alınmıştır. POY ve iplik halindeki filamentlerin çap ölçümlerinden Denklem 2.15

kullanılarak çaplardaki daralma oranı (ε') hesaplanmıştır. Buna göre çaplardaki daralma oranları; 55 tex için %21,6 ve 117 tex için %16,4 olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler Denklem 2.14'te yerine kullanılarak boyutsal değişim oranı (Poisson oranı) hesaplanmıştır. İpliklerin kayma modülü G; Denklem 2.13'e göre belirlenmiştir. Çizelge 4.2'de ipliklerin ölçülmüş ve hesaplanmış olan mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. İpliklerin Young modülü, kayma modülü, boyutsal değişim katsayısı (poisson oranı), uzama oranları, kopma mukavemeti ve sürtünme katsayıları

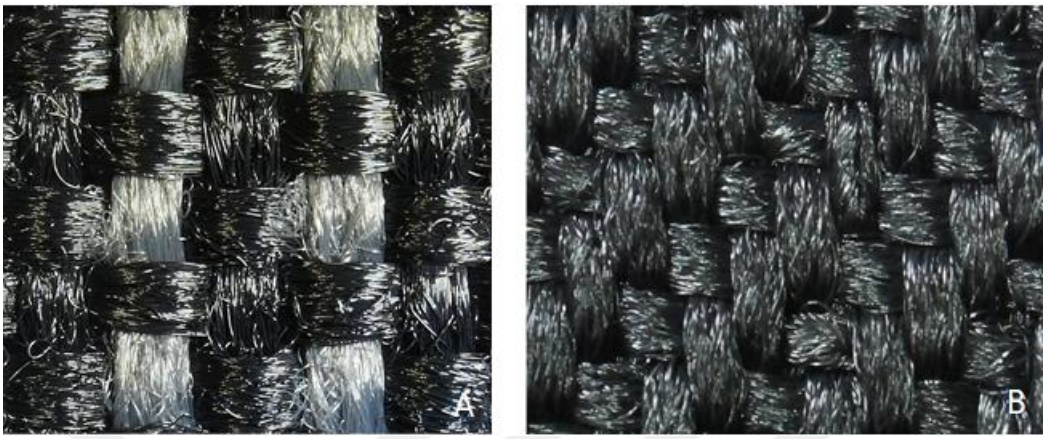
İplik İsmi	Young Modülü	Kayma Modülü	Boyutsal Değişim Katsayısı (Poisson Oranı)	Uzama	Kopma Mukavemet	Sürtünme katsayısı
	(E), Mpa	(G), Mpa	(v)	%	N /Tex	φ
55 tex, friksiyon tekstüreli iplik	424,6	147,4	0,3	18,73	0,293	0,82
117 tex, hava tekstüreli iplik	264,01	101,5	0,24	33,42	0,165	0,83

55 tex friksiyon tekstüreli ipliğin Young modülü 117 tex hava tekstüreli iplikten yüksektir. Bu nedenle 55 tex ipliğin rijitliğinin diğer ipliğe göre yüksek olduğu söylenebilir. 117 tex ipliğin uzama oranı yüksek olduğundan elastiklik daha fazladır. Kopma mukavemeti 55 tex friksiyon tekstüre iplikte, filament sayısı 117 tex hava tekstüreye göre düşük olmasına rağmen yüksektir. Bu duruma filament çap büyüklüklerinin ve çap şekillerinin serbest etkisi vardır.

4.2. Kumaş Yapısının Geometrik Modellenmesi

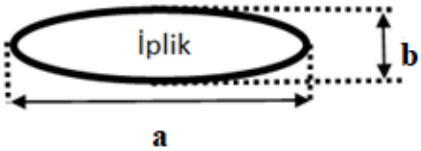
Kumaş geometrisi çözgü ve atkı ipliklerinin birbirleri ile genellikle 90° kesişmesi ile oluşan yapılardır. İplik formunda tek boyutlu olarak isimlendirilen yapılar çözgü ve atkının birbirleri ile bağlantı yapması sonucu oluşan kumaş iki boyutlu hale dönüşmektedir. İki iplik arasında oluşan çok çeşitli konfigürasyonlar ile kumaş örgüleri oluşmaktadır. Ana örgüler arasında bezayağı, dimi ve saten olarak sıralanabilir. Bu çalışmada otomobil koltuk kumaşları için en fazla kullanılan bezayağı ve dimi 2/2 örgüleri seçilmiştir. 55 tex friksiyon tekstüre iplikleri atkı ve çözgüde kullanılarak dimi 2/2 kumaş yapısı, 117 tex hava tekstüre ipliklerinden bezayağı kumaşlar dokunmuştur

ve geometrik olarak modellenmiştir. Şekil 4.2'de bezayağı ve dimi 2/2 kumaşların ön görünümleri gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Dokuma kumaşların yüz görünümleri, A) Düz kumaş, B) Dimi 2/2 kumaş

Kumaşları ve iplikleri bir arada tutunmasını sağlayan liflerin sürtünme özellikleridir. İplikleri oluşturan lifler iplik içerisinde serbest halde dairesel kesit şeklindedir. İpliklerin kumaş yapısı içerisinde sıkışık halde bulunmaları çap şekillerinin değişmesine neden olmaktadır. Bu nedenle kumaş yapısı içerisinde iplik çap kesitleri eliptik şekil almaktadır. Şekil 4.3' de eliptik kesit şekli ve çap tanımlamaları görülmektedir.



Şekil 4.3. Kumaş yapısı içerisindeki iplik geometrisi, kısa ve uzun çap gösterimi

İplik serbest halde iken çapı d ile gösterilirken kumaş yapısı içerisinde oluşan eliptik kesitin uzun çapı a, kısa çapı ise b olarak adlandırılır ve yassılma oranı R_{ab} = a/b olarak hesaplanmaktadır. İplik sıklığı kumaş içerisinde arttıkça bitişik iplikler aynı alanda sıkışacağından R_{ab} değeri 1 'e yaklaşır. Bu değer iplik kesiti dairesel olduğunu gösterir.

Kumaş geometrisindeki birim alandaki çözgü ve atkı ipliklerinin sayısının değişmesi ile iplik çapı da değişecektir. Bu durumda liflerin iplik içerisindeki yoğunluğunu ifade eden paketleme sabiti de değişken olmaktadır. Paketleme sabiti liflerin iplik içerisindeki

sıkışıklığı tanımlamaktadır. Paketleme sabiti TV_f ile ifade edilir Denklem 2.16 ile hesaplanır. Paketleme sabiti boyutsuz bir değerdir ve sıfır ile 1 arasındadır.

Kumaştaki atkı ve çözgü sıklığı 10 mm' deki iplik sayısını ifade eder ve iplik çapı hesaplamalarında kısıtlayıcı bir faktördür. Çözgü ve atkı iplik çapları; iplikler arası boşluklar dikkate alınarak Denklem 4.1 ve Denklem 4.2 ile hesaplanmıştır. Ayrıca modelleme de kullanılacak olan yazılımın getirdiği diğer bir kısıtlama ise iplikler arasındaki boşluktur. KTEX modelleme programında Denklem 4.3 ile verilen eşitsizlik kabul edilir.

$$\text{Atkı sıklığı x } (a_{atkı} + \text{iki atkı ipliği arasındaki boşluk}) = 10\text{mm} \quad (4.1)$$

$$\text{Çözgü sıklığı x } (a_{çözgü} + \text{iki çözgü arasındaki boşluk}) = 10 \text{ mm} \quad (4.2)$$

$$\text{İki atkı ipliği arasındaki boşluk} \geq b_{çözgü} \text{ (Cedrem, 2015)} \quad (4.3)$$

Dikey olarak çözgü ve atkı ipliklerinin kısa çapları ($b_{çözgü}$, $b_{atkı}$) kumaş kalınlığını belirleyen faktördür. Ayrıca iplik kıvrımı (krimp) kumaş kalınlığını etkiler. İplik kıvrımı ise ipliklerin paketleme sabitleri ve iplik sıklıklarından etkilenmektedir.

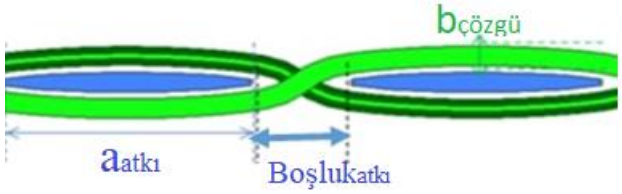
Kumaş kalınlık ölçümleri çap hesaplamalarında sınırlayıcı faktördür. Pierce geometrisindeki Denklem 2.5 eliptik geometriye göre tekrar düzenlenerek kumaş kalınlığı = $b_{çözgü} + b_{atkı}$ olarak çap hesaplamalarında kullanılmıştır. Kumaşların kalınlık ölçümleri Toyota şartnamesine göre TSL 2104G-4.16 metoduna göre kalınlık ölçer ile ölçülmüştür ve bezayağı kumaş kalınlıkları 0,8 mm, dimi 2/2 kumaş kalınlıkları 0,7 mm' dir. Çizelge 4.3'te kumaşların hesaplanan geometrik verileri görülmektedir.

Çizelge 4.3. Kumaş geometrisinin hesaplanan verileri

Kumaş Örgüsü	Kumaş İsmi	$a_{çözgü}$ mm	$b_{çözgü}$ mm	R_{ab}, Çözgü	$a_{atkı}$ mm	$b_{atkı}$ mm	R_{ab}, Atkı	Paketleme Sabiti (TV_f)
Bezayağı	P14-9	0,59	0,29	2	0,68	0,25	2,7	0,7
	P14-11	0,57	0,3	1,9	0,617	0,27	2,29	0,65
Dimi 2/2	T27-16	0,28	0,244	1	0,48	0,14	3,4	0,86
	T29-17	0,27	0,252	1,07	0,461	0,149	3,09	0,86
	T31-18	0,287	0,239	1,20	0,438	0,156	2,80	0,87
	T32-20	0,255	0,235	1,09	0,445	0,140	3,18	0,87
	T34-20	0,250	0,230	1,09	0,440	0,130	3,38	0,89

KTEX yazılımı giriş verileri olarak filament ve ipliğin boyutsal ve fiziksel verileri, iplikler arasındaki x, y, z yönlerindeki boşluklar, kumaş desen dizisi kullanılmaktadır. Giriş verilerinin doğruluk derecesi modellemenin doğruluğunu arttırmaktadır. Çizelge 4.4 çözgü ve atkı iplikleri arasındaki hesaplanan boşlukları ve örgü dizilimini göstermektedir.

Pierce geometrisinde iki iplik arasındaki boşluk merkezler arası boşluk olarak tanımlanırken KTEX yazılımında Şekil 4.4'te gösterildiği gibi iplik çevre sınırları arasındaki boşluk uzunlukları dikkate alınmaktadır.



Şekil 4.4. KTEX modelleme yazılımında iplikler arasındaki boşluk gösterimi (Cedrem, 2015)

İplikler arası boşlukların hesaplanmasında Denklem 4.1., Denklem 4.2 ve Denklem 4.3 kullanılmıştır. Bezayağı örgü yapısında çözgü ve atkı ipliklerinin bağlantı noktaları arasında kalan boşluklar eşittir. Dimi 2/2 örgü yapısında yüzme yapan iplikler arasında boşluklar olmamasına rağmen KTEX programındaki sınırlamadan dolayı standart

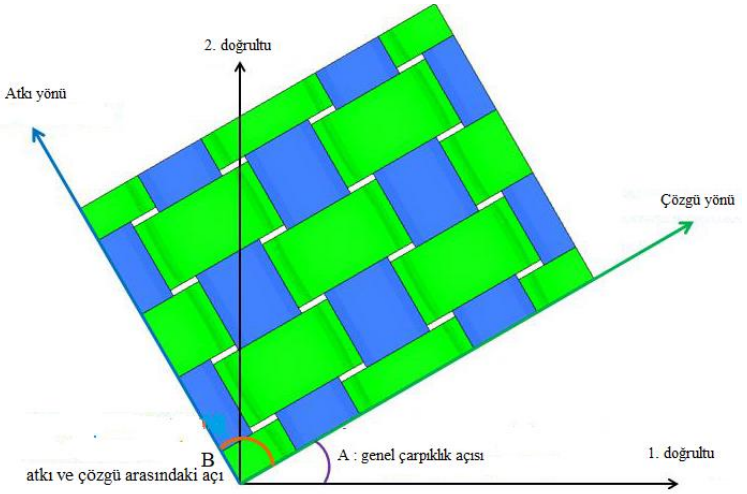
olarak iplikler arasında boşluklar tanımlanmıştır. Çizelge 4.4'te kumaş örgü yapısına göre geometrik modelin oluşturulmasında verilen boşluklar görülmektedir. Boşluklar mamul kumaşın 10 mm'deki çözgü ve atkı iplik sayılarına göre teorik hesaplamalar ile elde edilmiştir. Örgü dizilimde ''0'' kodu çözgü ipliğinin atkı ipliğinin üzerinde, ''1'' kodu ise atkı ipliğinin çözgü ipliğinin üzerinde olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.4. Çözgü ve atkı iplikleri arasındaki boşluk uzunlukları ve kumaş örgü dizilimi

Kumaş Örgüsü	Kumaş ismi	Çözgü iplikler arasındaki birim boşluk (mm)	Atkı iplikleri arasındaki birim boşluk (xy yönünde) (mm)	Atkı iplikleri arasındaki birim boşluk (Kumaş kalınlığı doğrultusunda) (mm)	Örgü dizilimi
Bezayağı	P14-9	0,134	0,479	0,03	0-1-0-1 1-0-1-0
	P14-11	0,155	0,321	0,09	0-1-0-1 1-0-1-0
Dimi 2/2	T27-16	0,187	0,31	0,27	0-0-1-1
	T29-17	0,151	0,271	0,27	0-1-1-0
	T31-18	0,075	0,265	0,31	1-1-0-0
	T32-20	0,153	0,235	0,32	1-0-0-1
	T34-20	0,135	0,231	0,35	

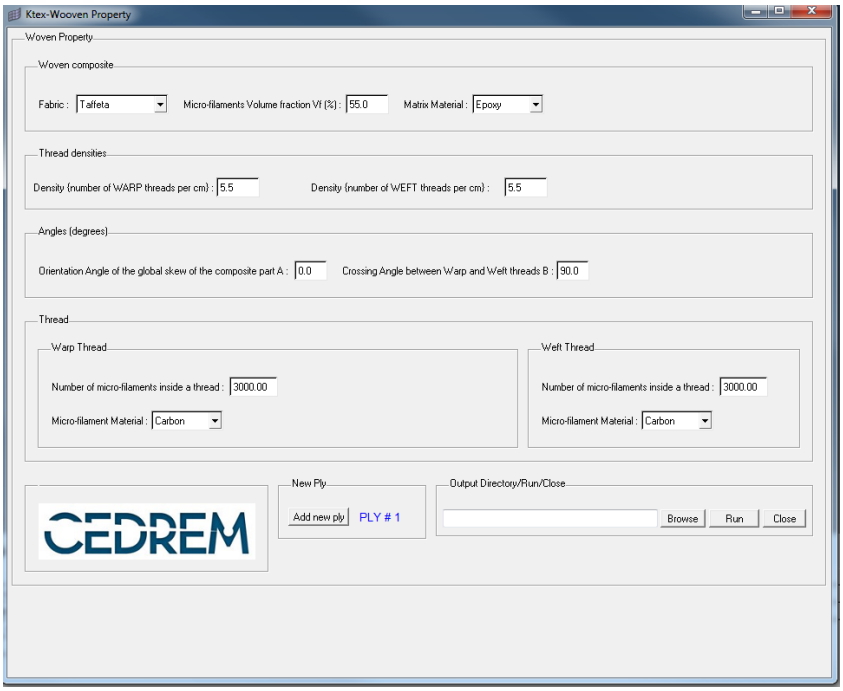
KTEX yazılımı iki varsayım yapar, birincisi; iplik çapı eliptik şekillidir, ikincisi ise sadece materyale bağlı olarak büyük çapın küçük çapa olan oranını dikkate alır. (Cedrem, 2015)

Genel çarpıklık açısı Şekil 4.5'te gösterilmiştir ve 0° olarak girilmiştir. Atkı ve çözgü iplikleri arasındaki kesişim açısı ise ideal durum olan 90° olarak belirlenmiştir. Kumaşlarda verev olarak isimlendirilen atkı ve çözgü arasındaki açının 90°' den küçük olması özel kumaşlar hariç bir hata çeşididir. Verev olması durumu kumaşların mekanik özelliklerini değiştirmektedir.



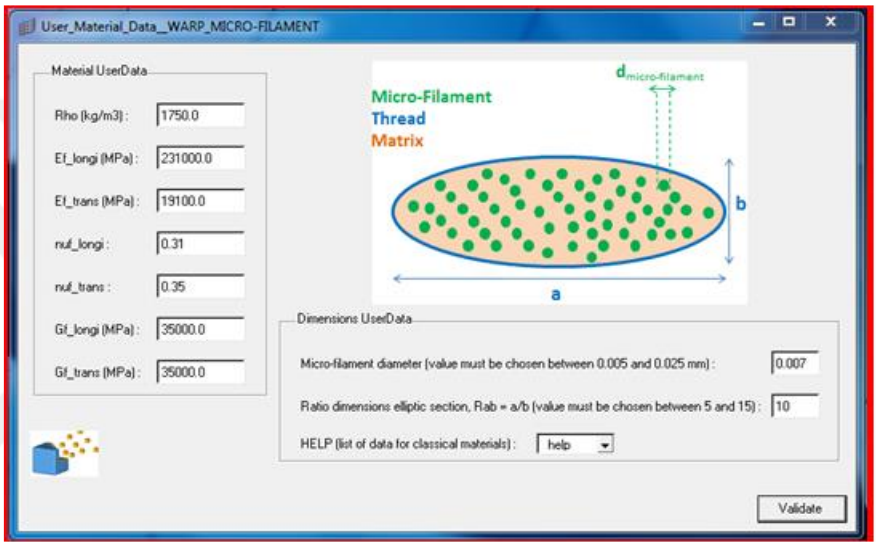
Şekil 4.5. Kumaşın genel çarpıklık açısı, atkı ve çözgü arasındaki kesişim açısı gösterimi (Cedrem, 2015)

KTEX grafik ara yüz ekranı, dokuma özellikleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Giriş verileri; kumaş örgüsü, paketleme sabiti, hammadde tipi, atkı ve çözgü sıklığı, atkı ve çözgü arasındaki kesişim açısı, kumaşın genel çarpıklık açısı, atkı ve çözgü ipliğinin içerdiği toplam filament sayısı ve hammadde tipi olarak 11 adettir.



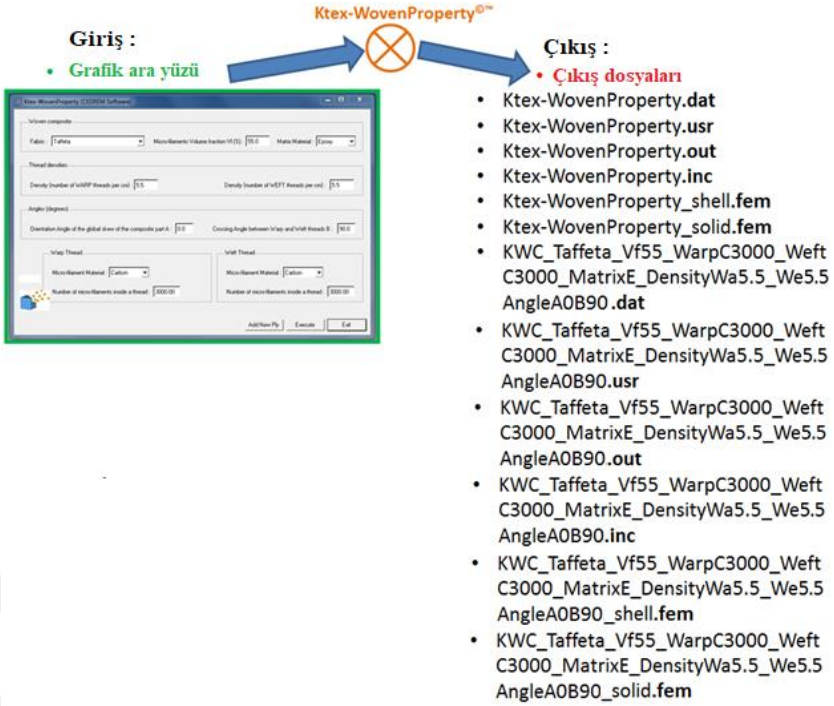
Şekil 4.6. KTEX ara yüzü ekranı, dokuma özellikleri (Cedrem, 2015)

KTEX grafik ara yüz ekranı, atkı ve çözgü iplikleri için malzeme verileri Şekil 4.7'de verilmiştir. Toplam 9 adet giriş verisi bulunmaktadır. Atkı ve çözgü ipliği olarak tek tipte iplik kullanılması sebebiyle aynı iplik mekanik özellikleri hem atkı hem de çözgü için kullanılmıştır. Giriş verileri; iplik yoğunluğu, Elastisite modülü (Young modülü), poisson oranı, kayma modülü, filament çapı, iplik yassılma oranı (R_{ab}). İpliğin boy yönündeki mekanik özellikler iplik mukavemet testlerinden elde edilen verilerin hesaplanması ile belirlenmiştir, en yönü (çap doğrultusunda) olan özellikler için ise belirlenen minimum değerler kullanılmıştır.



Şekil 4.7. KTEX ara yüz ekranı, atkı ve çözgü için malzeme verileri (Cedrem 2015)

KTEX yazılımına girişlerin tamamlanması ve ardından programın çalışılması sonucu 12 adet çıkış dosyası oluşturulmuştur. Şekil 4.8.' de çıkış dosyaları isimleri bulunmaktadır. Şekil 4.9. ve Şekil 4.10' da ise dimi 2/2 için oluşturulan malzeme kartı örnekleri görülmektedir.



Şekil 4.8. KTEX çıkış dosyaları ve uzantıları (Cedrem, 2015)

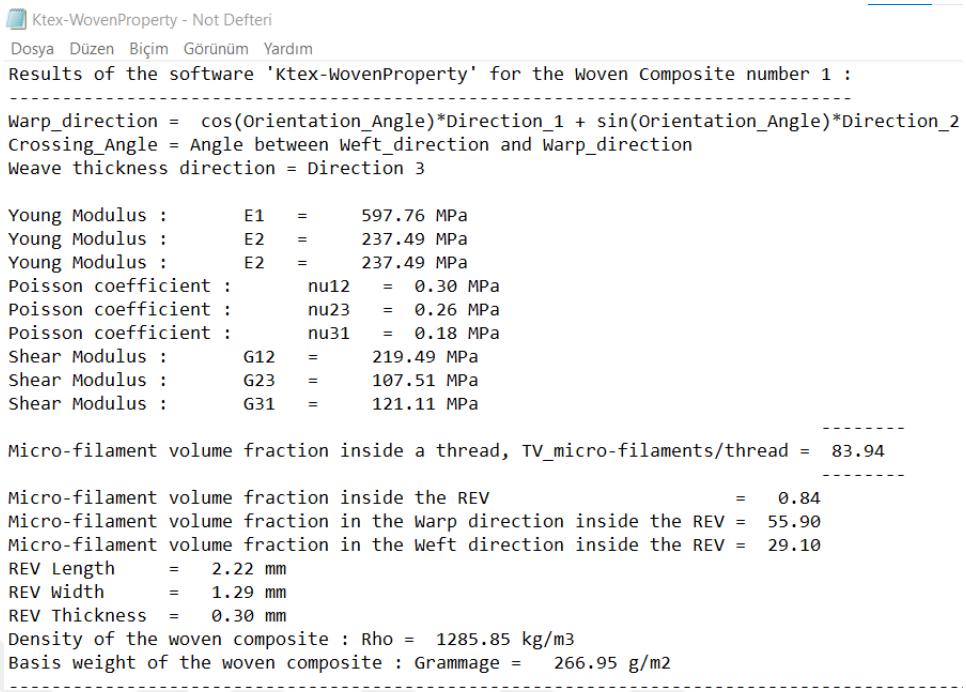
*Ktex-WovenProperty - Not Defteri

Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım

```
      --------------- "USER" WARP Micro-filament for the Woven Composite number 1---------------
Density of the "USER" Warp Micro-filament :                          Rho      =      1301.00 kg/m3
Longitudinal Young Modulus of the "USER" Warp Micro-filament :       E_longi  =     424.60 MPa
Transversal Young Modulus the "USER" Warp Micro-filament :           E_trans  =      20.00 MPa
Longitudinal Poisson coefficient of the "USER" Warp Micro-filament : nu_longi =       0.44
Transversal Poisson coefficient of the "USER" Warp Micro-filament  : nu_trans =       0.10
Longitudinal Shear Modulus of the "USER" Warp Micro-filament :       G_longi  =     147.30 MPa
Transversal Shear Modulus of the "USER" Warp Micro-filament :        G_trans  =       9.10 MPa
Warp Micro-filament diameter :  D_f   0.0194 mm
= Ratio "a/b" of the elliptic section of a Warp thread :  Rab = 1.20
```

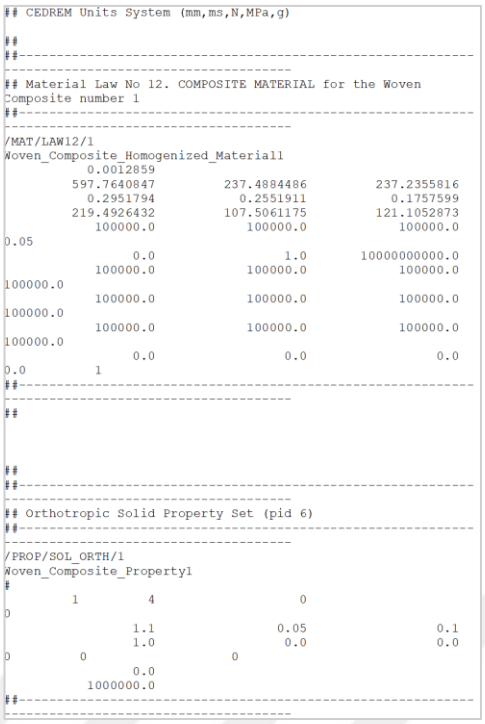
Şekil 4.9. KTEX çıktı dosyası, dimi 2/2 malzeme kartı (KTexWovenProperty.dat *output file*) (Cedrem, 2015)

KTEX yazılımı, giriş verilerini dikkate alarak kumaşın homojenleştirilmiş mekanik özelliklerinin değerlerini 3 yönü olarak hesaplar. KTexWovenProperty.out çıktı dosyasında veriler görüntülenir.



Şekil 4.10. KTEX çıktısı, dimi 2/2, KTexWovenProperty.out *output file* (Cedrem, 2015)

KTexWovenProperty.inc çıktı dosyası kumaşların özelliklerinin detaylı listesini içerir ve doğrudan RADIOSS FEA yazılımına kopyalanabilir, Şekil 4.11.' de çıktı dosyası gösterilmiştir. Malzeme kartı RADIOSS FEA yazılımındaki /MAT/LAW12 ile yazılmıştır. (Cedrem, 2015)



```
## CEDREM Units System (mm,ms,N,MPa,g)

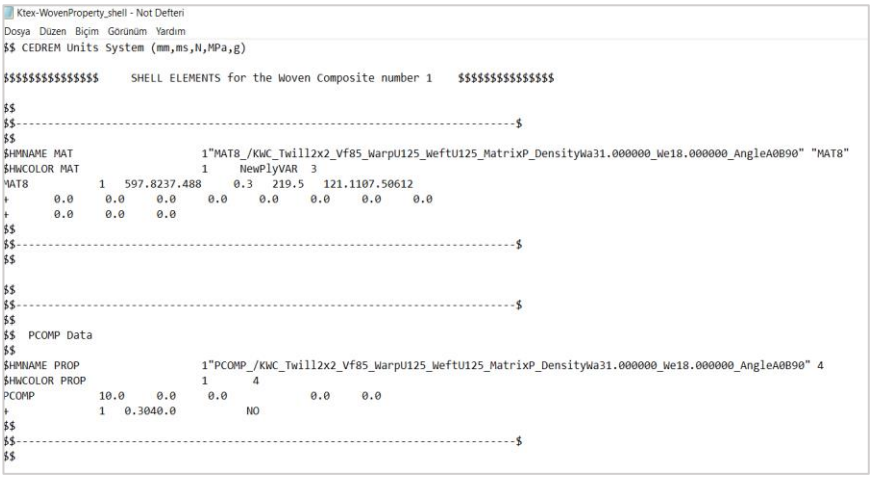
##
##-------------------------------------------------------------
-------------------------------------
## Material Law No 12. COMPOSITE MATERIAL for the Woven
Composite number 1
##-------------------------------------------------------------
-------------------------------------
/MAT/LAW12/1
Woven_Composite_Homogenized_Material1
              0.0012859
            597.7640847           237.4884486           237.2355816
              0.2951794             0.2551911             0.1757599
            219.4926432           107.5061175           121.1052873
               100000.0              100000.0              100000.0
0.05
                    0.0                   1.0         10000000000.0
               100000.0              100000.0              100000.0
100000.0
               100000.0              100000.0              100000.0
100000.0
               100000.0              100000.0              100000.0
100000.0
                    0.0                   0.0                   0.0
0.0           1
##-------------------------------------------------------------
-------------------------------------
##



##
##-------------------------------------------------------------
-------------------------------------
## Orthotropic Solid Property Set (pid 6)
##-------------------------------------------------------------
-------------------------------------
/PROP/SOL_ORTH/1
Woven_Composite_Property1
#
            1           4                     0
0
                    1.1                  0.05                   0.1
                    1.0                   0.0                   0.0
0           0                     0
                    0.0
                 1000000.0
##-------------------------------------------------------------
-------------------------------------
```

Şekil 4.11. KTEX çıktısı, dimi 2/2, KTexWovenProperty.inc *output file* (Cedrem, 2015)

KTexWovenProperty_shell.fem çıktı dosyası ayrıntılı olarak materyal özelliklerinin yığın olarak yazıldığı RADIOSS BULK formatıdır. Malzeme kartı /MAT/MAT8 kullanılarak yazılmıştır. Bu dosyada kabuk elemanlara ayrılan malzemenin mekanik özellikleri kabuk düzlemine uygun olacak şekildedir ve malzemenin kalınlığını da içerir. Şekil 4.12' de malzeme kartının gösterimi mevcuttur. (Cedrem, 2015)



```
Ktex-WovenProperty_shell - Not Defteri
Dosya  Düzen  Biçim  Görünüm  Yardım
$$ CEDREM Units System (mm,ms,N,MPa,g)

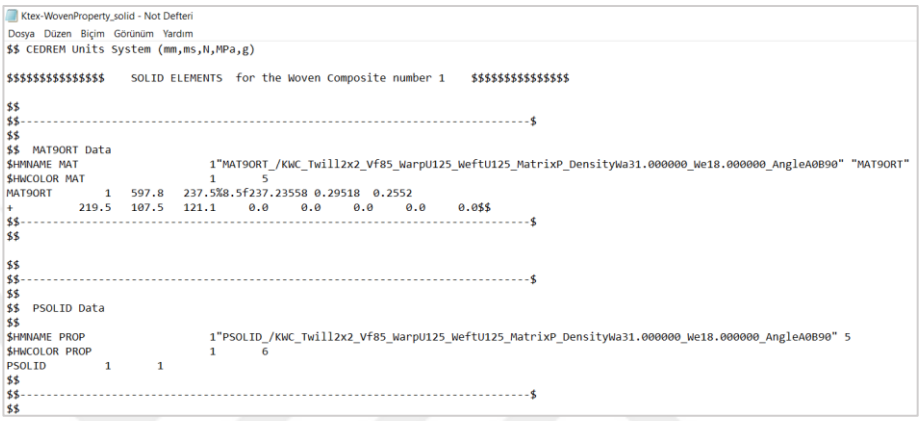
$$$$$$$$$$$$$$$     SHELL ELEMENTS for the Woven Composite number 1    $$$$$$$$$$$$$$$

$$
$$--------------------------------------------------------------------------$
$$
$HMNAME MAT                   1"MAT8_/KWC_Twill2x2_Vf85_WarpU125_WeftU125_MatrixP_DensityWa31.000000_We18.000000_AngleA0B90" "MAT8"
$HWCOLOR MAT                  1     NewPlyVAR  3
MAT8           1   597.8237.488     0.3   219.5   121.1107.50612
+       0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
+       0.0     0.0     0.0
$$
$$--------------------------------------------------------------------------$
$$


$$
$$--------------------------------------------------------------------------$
$$
$$  PCOMP Data
$$
$HMNAME PROP                  1"PCOMP_/KWC_Twill2x2_Vf85_WarpU125_WeftU125_MatrixP_DensityWa31.000000_We18.000000_AngleA0B90" 4
$HWCOLOR PROP                 1       4
PCOMP          10.0     0.0     0.0            0.0     0.0
+              1   0.3040.0          NO
$$
$$--------------------------------------------------------------------------$
$$
```

Şekil 4.12. KTEX çıktısı, dimi 2/2, KTexWovenProperty_shell.fem *output file* (Cedrem, 2015)

KTexWovenProperty_solid.fem çıktı dosyası ayrıntılı olarak malzeme özelliklerinin toplu bir şekilde RADIOSS BULK formatında yazılmış halidir. Doğrudan FEA hesaplamalarında kullanılabilecek bir dosyadır. Malzeme kartı /MAT/MAT9ORT kullanılarak yazılmıştır. Kabuk düzlemi dışındaki tüm mekanik özellikler bu kart içinde bulunmaktadır ve malzeme kalınlığı kullanılmaktadır. Şekil 4.13' de malzeme kartı gösterimi mevcuttur (Cedrem, 2015).



Şekil 4.13. KTEX çıktısı, dimi2/2, KTexWovenProperty_solid.fem *output file* (Cedrem, 2015)

FEA yazılımı için gerekli tüm malzeme kartları KTEX yazılımında yukarıdaki açıklanan giriş verileri kullanılarak ara yüz dosyalarında kumaşların birim hücre malzeme özellikleri tanımlandı. MAT LAW 12'de katı elemanlar için ortotropik malzeme kartları oluşmuştur. MAT LAW 12, 3D kompozit materyallerinin Tsai- Wu kriterlerine ulaşmadan önce elastik ortotropik katı olarak ve daha sonra materyali lineer olmayan katı olarak tanımlamaktadır (Altair Hyperworks, 2020). Malzeme kartlarında dokuma kumaşın x, y, z yönlerindeki malzeme özellikleri Denklem 3.6 ile ifade edilmektedir.

$$\varepsilon_{11} = \frac{1}{\mathrm{E}_{11}}\sigma_{11} - \frac{\nu_{21}}{\mathrm{E}_{22}}\sigma_{22} - \frac{\nu_{31}}{\mathrm{E}_{33}}\sigma_{33}$$
$$\varepsilon_{22} = \frac{1}{\mathrm{E}_{22}}\sigma_{11} - \frac{\nu_{12}}{\mathrm{E}_{11}}\sigma_{22} - \frac{\nu_{32}}{\mathrm{E}_{33}}\sigma_{33} \qquad (3.6)$$
$$\varepsilon_{33} = \frac{1}{\mathrm{E}_{33}}\sigma_{33} - \frac{\nu_{13}}{\mathrm{E}_{11}}\sigma_{11} - \frac{\nu_{23}}{\mathrm{E}_{22}}\sigma_{22}$$

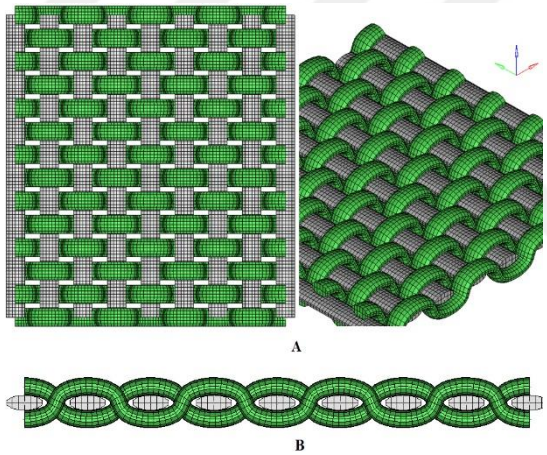
Dokuma kumaşın tüm yönlerdeki deformasyonları (distorsiyon) (γ) Denklem 3.7 ile verilmektedir.

$$\gamma_{12} = \frac{1}{2G_{12}}\sigma_{12} \quad , \quad \frac{\upsilon_{21}}{E_{11}} = \frac{\upsilon_{12}}{E_{22}}$$

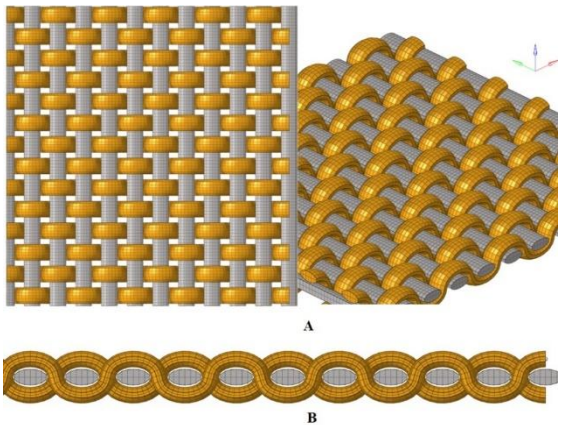
$$\gamma_{23} = \frac{1}{2G_{23}}\sigma_{23} \quad , \quad \frac{\upsilon_{32}}{E_{33}} = \frac{\upsilon_{23}}{E_{22}} \tag{3.7}$$

$$\gamma_{31} = \frac{1}{2G_{31}}\sigma_{31} \quad , \quad \frac{\upsilon_{13}}{E_{11}} = \frac{\upsilon_{31}}{E_{33}}$$

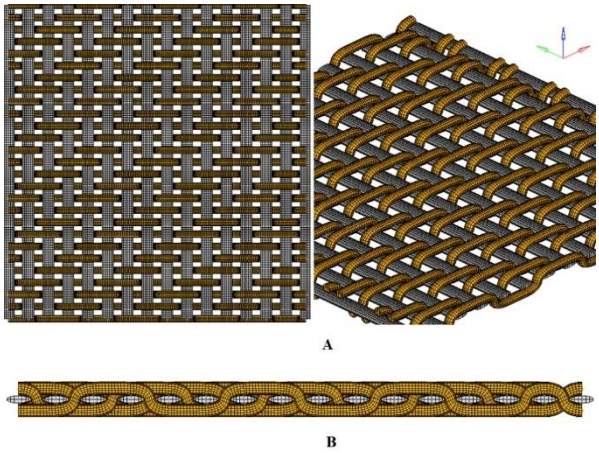
KTEX modelleme yazılımı ile oluşan kumaşların geometrik yapıları yüz görüntüleri ve kesit görüntüleri Şekil 4.14 A ve B, Şekil 4.15 A ve B, Şekil 4.16A ve B, Şekil 4.17A ve B, Şekil 4.18A ve B, Şekil 4.19A ve B, Şekil 4.20A ve B'deki gibi oluşmuştur.



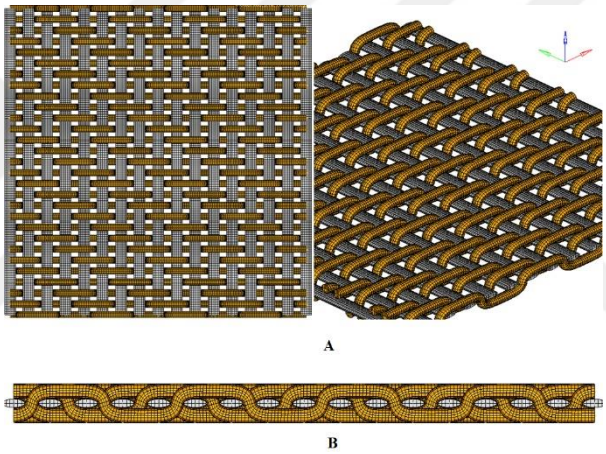
Şekil 4.14. KTEX geometrik modeli, A) P14-9 Bezayağı örgü, B) P14-9 Bezayağı örgü kesiti



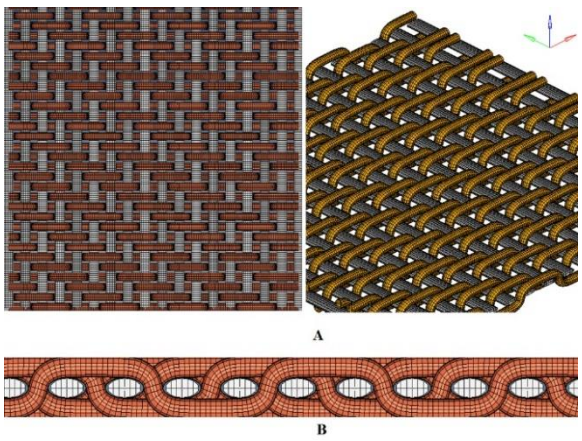
Şekil 4.15. KTEX geometrik modeli, A) P14-11 Bezayağı örgü, B) P14-11 Bezayağı örgü kesiti



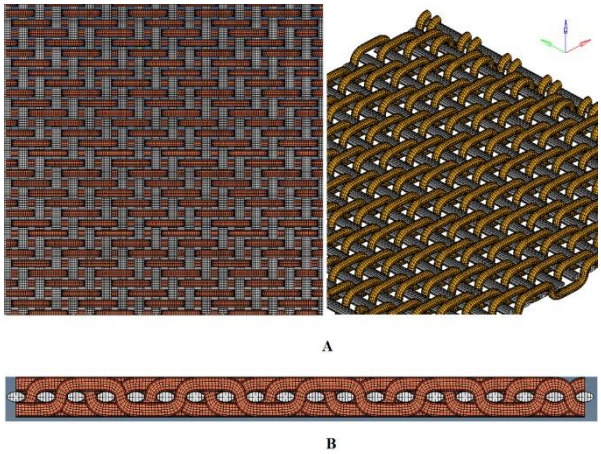
Şekil 4.16. KTEX geometrik modeli, A) T27-16 Dimi 2/2 örgü, B) T27-16 Dimi 2/2 örgü kesiti



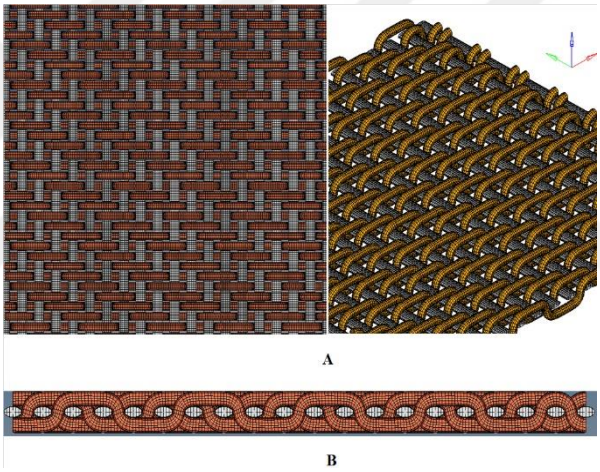
Şekil 4.17. KTEX geometrik modeli, A) T29-17 Dimi 2/2 örgü, B) T29-17 Dimi 2/2 örgü kesiti



Şekil 4.18. KTEX geometrik modeli, A) T31-18 Dimi 2/2 örgü, B) T31-18 Dimi 2/2 örgü kesiti



Şekil 4.19. KTEX geometrik modeli, A) T32-20 Dimi 2/2 örgü, B) T32-20 Dimi 2/2 örgü kesiti

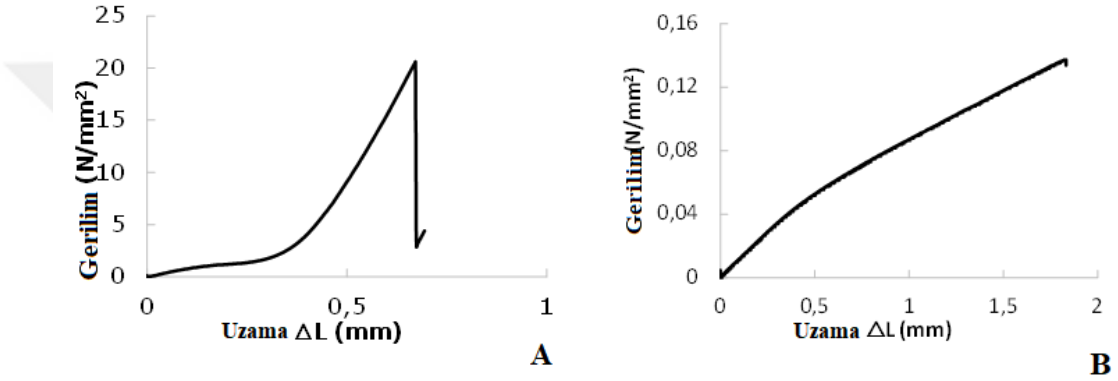


Şekil 4.20. KTEX geometrik modeli, A) T34-20 Dimi 2/2 örgü, B) T34-20 Dimi 2/2 örgü kesiti

4.3. Astar, Sünger ve Lamineli Kumaşların Kopma ve Yırtılma Mukavemetlerinin İncelenmesi

Şekil 4.21 A astar gerilim-uzama grafiğini göstermektedir. Şekil 4.21 B sünger gerilme-uzama grafiğini göstermektedir. Her iki malzeme için kopma mukavemeti test verilerinden mekanik özellikler hesaplanmıştır. Çizelge 4.5 astar ve süngerin kopma anındaki Young modülü, kayma modülü ve poisson oranını göstermektedir.

Astar kopma gerilim-uzama eğrisinde 2 lineer bölge olduğu görülmektedir. Bu iki bölgeye göre Young modülüsü hesaplanabilir. Laminasyonlu kumaş gerçek test sonucunda ortaya çıkan kopma eğrilerinde lineer davranışa benzerliğin yüksek olması nedeniyle astar alt bileşen malzemesi için ikinci lineer bölgedeki kopma noktasına göre E modülü hesaplanmıştır. Aynı varsayım sünger için de aynıdır. Sünger kopma gerilim-uzama eğrisinin lineer davranışa benzerliği astarınkinden çok daha fazladır. Çizelge 4.5'te hesaplanan tüm mekanik özellikler maksimum kopma kuvveti ve uzama noktaları dikkate alınarak hesaplanmış oldu.



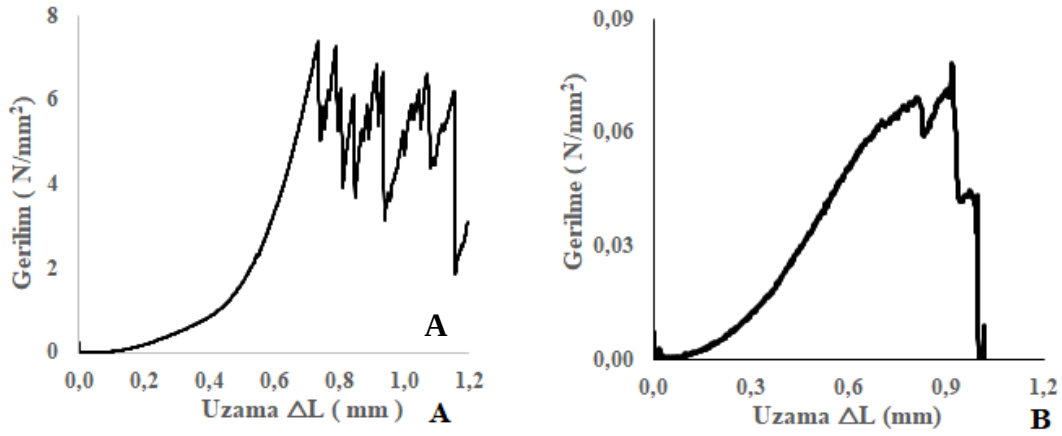
Şekil 4.21 Kopma mukavemeti testi grafikleri, A) Astar gerilim-uzama grafiği, B) Sünger gerilim-uzama grafiği

Çizelge 4.5. Sünger ve Astar mekanik özellikleri

Materyal Adı	Young modülüsü (E), Mpa	Kayma modülüsü (G), Mpa	Poisson oranı (v)	Kopma mukavemeti (N/mm^2)
Sünger (2. tabaka)	0,075	0,037	0,006	0,14
Astar (3. tabaka)	30,7	13,92	0,103	20,6

Astar ve süngerin ayrı ayrı yapılan yırtılma test gerilme-uzama grafikleri Şekil 4.22'de gösterildi. Yırtılma testinden elde edilen yırtılma testinin grafik verileri FEA modellemede astar ve süngeri modellemek için giriş verileri olarak kullanılmıştır. Grafik verileri FEA yazılımına yüklenmiştir. Simülasyon kumaş çözgü boyuna

yapılacağı için tim astar ve sünger testleri kumaşın boy yönü ile aynı yöndeki haliyle testler yapılmıştır.



Şekil 4.22. Yırtılma mukavemeti test grafikleri, A) Astar gerilim-uzama grafiği, B) Sünger gerilim-uzama grafiği

4.4. Test Hızının Kopma Mukavemeti Üzerine Etkisinin Belirlenmesi

Bölüm 3.2.6'da iplik ve laminasyonlu kumaşların hipotez testleri tanımlanmıştır. Kopma mukavemeti test hızının iplik (serbest halde) ve laminasyonlu kumaş deformasyonu üzerinde etkisi test edilmiştir. Testler her belirlenen hız için 10 kez tekrarlanmıştır. İplikler için hızlara göre gerçekleşen kopma kuvvetleri listesi EK 1 ve EK 2'de verilmiştir. İplik için hipotez testleri ve sonuçları Çizelge 4.6'da normallik testi 117 tex ve 55 tex iplik için, Çizelge 4.7'de değişkenlik testi ve ortalamaların eşitliği testinin hipotez testleri ve sonuçları 117 tex iplik için gösterilmiştir. Çizelgelerde yeşil boyalı alanlar H_0 hipotezinin kabul edildiğini, mavi alanlar ise H_a hipotezinin kabul edildiğini gösterir.

Çizelge 4.6. 117 tex-hava tekstüre, yuvarlak kesit şekilli ve 55 tex-friksiyon tekstüre, oktolobal kesit şekilli ipliğin normallik hipotez testi.

Normallik Testi H_0: Test sonuçları normal dağılım gösterir H_a :Test sonuçları dağılımları normal değildir.		KOPMA TESTİ HIZI (mm / dk)							
		100	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**	**700**	**800**
Anderson - Darling	**117 tex iplik**	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
	55 tex iplik	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_a	H_0

117 tex ipliğin tüm test hızlarında elde edilen kopma kuvvetleri dağılımları normaldir. 55 tex ipliğin 700 mm/dakika hızında elde edilen kopma kuvvetleri dağılımı normal dağılıma sahip değildir. Diğer tüm hızlarda ise normal dağılım olduğu sonucu vardır.

117 tex ipliğin farklı hızlarda test edilen kopma kuvvetlerini değişkenliklerinin eşit olduğu (H_0 kabul) fakat ortalamalarının farklı olduğu bulunmuştur (H_a kabul). Standart test hızı 500 mm/dakika ile 100, 200, 300 ve 400 mm/dakika olan test hızlarının kopma kuvvetlerinin ortalamaları aynıdır, buna rağmen 600, 700 ve 800 mm/dakika test hızında gerçekleşen kopma kuvvetleri ortalamaları ise 500 mm/ dakika test hızındaki kopma kuvveti farklı gerçekleşmiştir. EK 3'te verilen minitab istatistiksel analizine göre maksimum kopma kuvveti 600 mm/ dakika, minimum kopma kuvveti ise 100 ve 200 mm/dakika hızlarında oluşmuştur. Kopma kuvvetindeki toplam değişkenliğin R^2(adjusted)=%30,30 kadarı test hızındaki değişimden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.7. 117 tex-hava tekstüre, yuvarlak kesit şekilli ipliğin değişkenlik ve ortalamaların eşitliği hipotez testi

İSTATİSTİK SONUÇ MATRİSİ İplik: 117 tex - Hava tekstüre,yuvarlak kesitli filament											
Değişkenlik Analizi Tüm test hızlarında kopma kuvvetlerinin H_0: Tüm Varyanslar eşit H_a : Tüm varyanslar farklıdır. ***Test for Equal Variance***		**KOPMA TESTİ HIZI (mm / dk)**								Tüm test hızlarında kopma kuvvetlerinin H_0: Ortalamalar eşit H_a : Ortalamalar farklıdır. ***2 Sample t***	
		100	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**	**700**	**800**		
KOPMA TESTİ HIZI (mm/dk)	**100**		H_o	H_a	H_o	H_o	H_a	H_a	H_a	**100**	**KOPMA TESTİ HIZI (mm/dk)**
	200	H_o		H_a	H_o	H_o	H_a	H_a	H_a	**200**	
	300	H_o	H_o		H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	**300**	
	400	H_o	H_o	H_o		H_o	H_a	H_o	H_o	**400**	
	500	H_o	H_o	H_o	H_o		H_a	H_a	H_a	**500**	
	600	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o		H_o	H_o	**600**	
	700	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o		H_o	**700**	
	800	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o		**800**	

55 tex friksiyon tekstüre, oktolobal kesitli filamentli iplik için Çizelge 4.6'da normallik testi, Çizelge 4.8'de değişkenlik testi ve ortalamaların eşitliği testlerinin hipotez ve sonuçları gösterilmiştir.

55 tex ipliğin farklı hızlarda test edilen kopma kuvvetlerini değişkenliklerinin eşit olduğu aynı zamanda ortalamalarının da eşit olduğu bulunmuştur. H_0 kabul edilmiştir. Standart test hızı 500 mm/dakika ile tüm diğer test hızlarının kopma kuvvetlerinin ortalamaları aynıdır. EK 3'te verilen minitab istatistiksel analizine göre maksimum kopma kuvveti 700 mm/ dakika, minimum kopma kuvveti ise 400 mm/dakika hızlarında oluşmuştur. Kopma kuvvetindeki toplam değişkenlik, R^2(adjusted)=%6,57 oranında test hızındaki değişimden etkilenmektedir.

Çizelge 4.8. 55 tex-friksiyon tekstüre, oktolobal kesit şekilli ipliğin değişkenlik ve ortalamaların eşitliği hipotez testi.

İSTATİSTİK SONUÇ MATRİSİ İplik: 55 tex - friksiyon tekstüre, oktolobal kesitli filament											
Değişkenlik Analizi Tüm test hızlarında kopma kuvvetlerinin H_0: Tüm Varyanslar eşit H_a : Tüm varyanslar farklıdır. ***Test for Equal Variance***		KOPMA TESTİ HIZI (mm / dk)								Tüm test hızlarında kopma kuvvetlerinin H_0: Ortalamalar eşit H_a : Ortalamalar farklıdır. ***One Way Anova***	
		100	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**	**700**	**800**		
KOPMA TESTİ HIZI (mm/dk)	**100**		H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	**100**	**KOPMA TESTİ HIZI (mm/dk)**
	200	H_o		H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	**200**	
	300	H_o	H_o		H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	**300**	
	400	H_o	H_o	H_o		H_o	H_o	H_o	H_o	**400**	
	500	H_o	H_o	H_o	H_o		H_o	H_o	H_o	**500**	
	600	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o		H_o	H_o	**600**	
	700	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o		H_o	**700**	
	800	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o		**800**	

Laminasyonlu kumaşlarda test hızlarının etkisi P14-9 bezayağı ve T27-16 dimi 2/2 kumaşlarında gerçekleştirilmiş olup EK 4 E EK 5'te her iki kumaşın belirlenen hızlardaki kopma kuvvetleri verilmiştir. Çizelge 4.9'da her iki kumaş için normallik testi, Çizelge 4.10'da P14-9 kumaş için ve Çizelge 4.11'de T27-16 dimi 2/2 kumaşı için değişkenlik testi ve ortalamaların eşitliği testlerinin hipotez ve sonuçları gösterilmiştir.

Bezayağı P14-9 laminasyonlu kumaşta 200 mm/dakika hızda gerçekleşen kopma kuvvetleri normal dağılıma sahip olmayıp diğer hızlarda gerçekleşenler ise normal dağılıma sahiptir. Dimi 2/2 T27-16 laminasyonlu kumaşın ise tüm test hızlarında gerçekleşen kopma kuvvetleri normal dağılıma sahiptir.

Çizelge 4.9. Bezayağı P14-9 ve T27-16 laminasyonlu kumaşların normallik hipotez testi.

Normallik Testi H_0: Test sonuçları normal dağılım gösterir H_a :Test sonuçları dağılımları normal değildir.	**Test speed (mm / min)**				
	100	**200**	**300**	**400**	**500**
P14-9 bezayağı	H_o	H_a	H_o	H_o	H_o
T27-16 dimi 2/2	H_o	H_o	H_o	H_o	H_o

P14-9 bezayağı laminasyonlu kumaşın farklı hızlarda test edilen kopma kuvvetlerini değişkenliklerinin eşit olduğu aynı zamanda ortalamalarının da eşit olduğu bulunmuştur, H_0 kabul edilmiştir. Standart test hızı 200 mm/dakika ile tüm diğer test hızlarının kopma kuvvetlerinin ortalamaları aynıdır. EK 6'da verilen minitab istatistiksel analizine göre maksimum kopma kuvveti 500 mm/ dakika, minimum kopma kuvveti ise 300 mm/dakika hızlarında oluşmuştur. R^2(adjusted)=%0 gerçekleşmiş olup test hızındaki değişim kopma kuvvetini etkilememektedir.

Çizelge 4.10. P14-9 bezayağı laminasyonlu kumaşın değişkenlik ve ortalamaların eşitliği hipotez testi.

İSTATİSTİK SONUÇ MATRİSİ **Laminasyonlu kumaş: P14-9 Bezayağı**								
Değişkenlik Analizi Tüm test hızların tüm kopma kuvvetlerinin H_0: Tüm Varyanslar eşit H_a : Tüm varyanslar farklıdır. ***Equal Variance Test***		**KOPMA TESTİ HIZI (mm / dk)**					Tüm test hızlarında kopma kuvvetlerinin H_0: Ortalamalar eşit H_a : Ortalamalar farklıdır. ***One Way Anova***	
		100	**200**	**300**	**400**	**500**		
KOPMA TESTİ HIZI (mm/dk)	**100**		H_o	H_o	H_o	H_o	**100**	**KOPMA TESTİ HIZI (mm/dk)**
	200	H_o		H_o	H_o	H_o	**200**	
	300	H_o	H_o		H_o	H_o	**300**	
	400	H_o	H_o	H_o		H_o	**400**	
	500	H_o	H_o	H_o	H_o		**500**	

Dimi 2/2 laminasyonlu kumaşın farklı hızlarda test edilen kopma kuvvetlerini değişkenliklerinin ve ortalamalarının farklı olduğu bulunmuştur, H_a kabul edilmiştir. EK 6'de verilen minitab istatistiksel analizine göre maksimum kopma kuvveti standart test hızı olan 200 mm/ dakika, minimum kopma kuvveti ise 400 mm/dakika hızlarında oluşmuştur. Kopma kuvvetindeki toplam değişkenlik, R^2(adjusted)=%28,73 oranında test hızındaki değişimden etkilenmektedir.

Çizelge 4.11. T27-16 dimi 2/2 laminasyonlu kumaşın değişkenlik ve ortalamaların eşitliği hipotez testi.

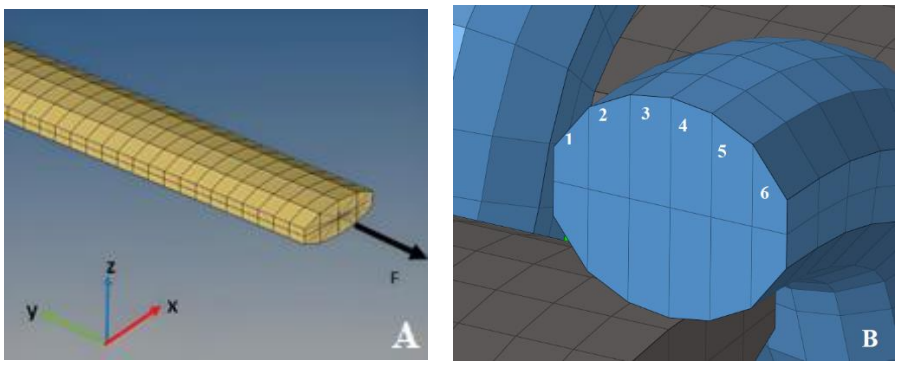
İSTATİSTİK SONUÇ MATRİSİ **Laminasyonlu kumaş: T27-16 Dimi 2/2**								
Değişkenlik Analizi Tüm test hızların tüm kopma kuvvetlerinin H_0: Tüm Varyanslar eşit H_a : Tüm varyanslar farklıdır. ***2 Variance Test***		**KOPMA TESTİ HIZI (mm / dk)**					Tüm test hızlarında kopma kuvvetlerinin H_0: Ortalamalar eşit H_a : Ortalamalar farklıdır. ***2 - Sample t***	
		100	**200**	**300**	**400**	**500**		
KOPMA TESTİ HIZI (mm/dk)	**100**		H_o	H_o	H_o	H_a	**100**	**KOPMA TESTİ HIZI (mm/dk)**
	200	H_o		H_a	H_a	H_a	**200**	
	300	H_o	H_o		H_o	H_o	**300**	
	400	H_o	H_a	H_o		H_o	**400**	
	500	H_a	H_o	H_a	H_a		**500**	

4.5. FEA Modelleme ve Çıktıları

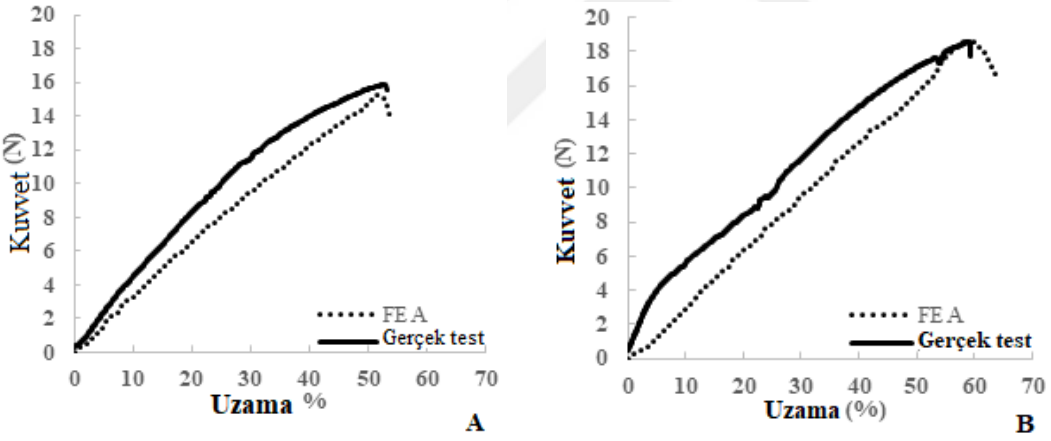
4.5.1 FEA modeli oluşturma

KTEX yazılımında iplik mekanik özelliklerini içeren malzeme kartları ve kumaş geometrisi birim hücresi oluşturulup FEA analizi için hazır duruma getirilmiştir. İplik modeli FEA analizinde 8 düğümlü hekzahedral element seçilerek 3D olarak ağ örgü (mesh) uygulandı (Şekil 4.23) ve iplik filamanları malzeme kartında tanımlandığı gibi lineer ortotropiktir. İplik kopma testleri FEA' de sabit hızla eksenel olarak uygulandı,

gerçek iplik testi grafiği ve FEA iplik kopma testi grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 4.24 A ve B'de gösterildi. İpliğin kopma noktasındaki uzama oranı laminasyonlu kumaş için hata limiti olarak tanımlandı.

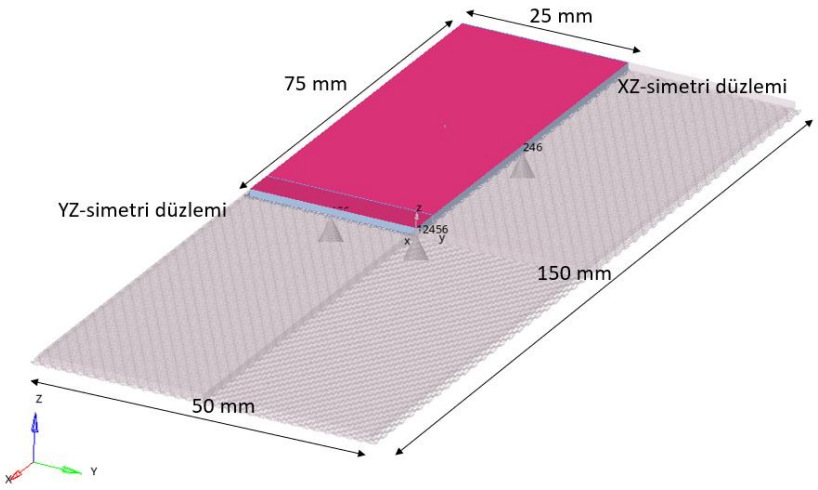


Şekil 4.23. İplik için FEA modeli, A) 3D mesh, B) 6-element tanımlaması ve simetrik 12 eleman görüntüsü.



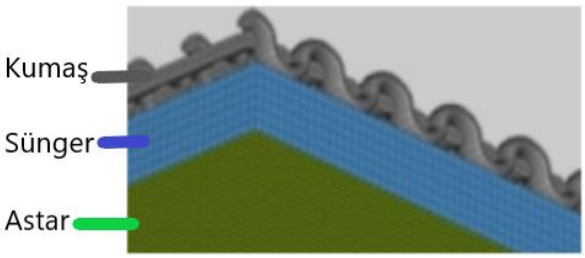
Şekil 4.24. Gerçek test ve FEA testin Kuvvet-uzama grafiği, A) 55 tex friksiyon tekstüre iplik, B) 117 tex hava tekstüre iplik

KTEX yazılımda oluşturulan birim hücre kumaş geometrisinin FEA Altair Hypermesh yazılımı ile genişletilerek gerçek test numunesi boyutlarına getirilmiştir. Laminasyonlu kumaşın FEA modeli (75x25mm) sanal testte ¼ ile orantılı olarak simetriktir ve simetri sınır koşulları x ve y yönlerinde tanımlanmıştır. Şekil 4.25'te simetrik olarak gerçek numune boyutlarına getirilen FEA modeli gösterilmiştir ve gerçek test alanı olan 150x50 boyutları sağlanmıştır. Böylece gerçek mukavemet testlerinde olduğu gibi FEA analizlerinde eksenel kuvvetlerin gerçek test numunesine etkisi sağlanmıştır.



Şekil 4.25. Gerçek test boyutlarına getirilen FEA modeli, simetrik yapı oluşumu

Laminasyon işleminde PU süngerin alevle yakılarak erimesinin sağlanması ve birinci tabakayı oluşturan PES yüz kumaşa, üçüncü tabaka olan PA astara yapışması sağlanarak kompozit tekstil malzemesi ortaya çıkmaktadır. Laminasyonda kumaş ve sünger arasında ayrışma olmayacak şekilde üretilmesi sağlanmıştır ve modellenmiştir. Sünger ve astar arasında ise gerçekte ayrışma mevcut olup modelde katmanlar arası kayma ihmal edilmiştir. FEA' de aynı yapıyı oluşturmak üzere yüz kumaş ve sünger 3D ağ örgü (mesh) ve 8 düğümlü hekzahedral elementli katı olarak modellenmiş ve iki tabaka arasındaki yapışma ise bağ temas (tied contact) olarak tanımlanmıştır. Üçüncü tabaka olan astar FEA'de 2D kabuk eleman olarak modellenerek sünger ile olan bağlantısı yapışma (bonded) olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.26'da FEA'de oluşturulan laminasyonlu kumaş yapısı görülmektedir. FEA modelinde kumaş için 1.476.163, sünger için 319.500, astar için ise 53.250 adet element oluşturulmuştur.



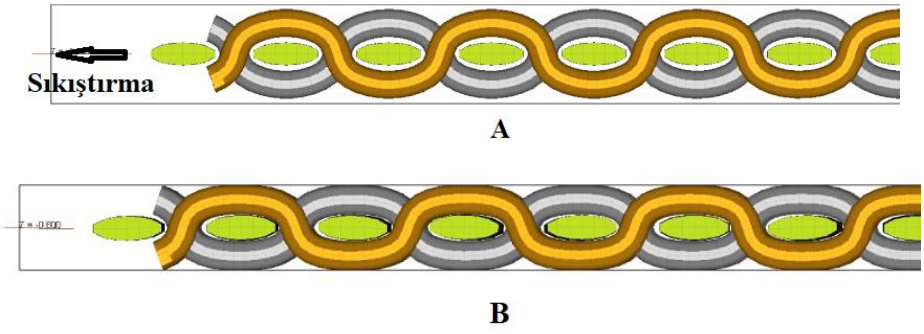
Şekil 4.26. Laminasyonlu kumaşın FEA modeli

Astar ve sünger, laminasyonlu kumaşın alt bileşenlerinin kopma mukavemeti testinden elde edilen maksimum kopma değerleri malzeme kartlarına ayrı ayrı kopma sınır değeri ve MAT/LAW1 ELAST lineer elastik olarak FEA'de tanımlanmıştır. Ayrıca alt bileşenlerinin hata kartlarında da lineer elastik malzeme seçimi yapılmıştır.

Çözgü ve atkı ipliklerinin kesişim noktalarında ve paralel olma durumundaki filamentlerin ve ipliklerin sürtünme özelliği kumaş kopma deformasyonu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İpliklerin sürtünme katsayısı FEA için önemli bir girdidir. FEA modelde Altair Radioss INTER/TYPE7 kontakt tipi çözgü ve atkı iplikleri arasındaki sürtünme modeli için seçilmiştir. TYPE7 Coloumb statik sürtünme yasalarını içermektedir (Altair Hyperworks, 2020). İplikler arasındaki temas aralığı kuralı 0,004 olarak tanımlanmıştır. Yüzeyler arasında girişimi (penetrasyon) engellemek için INTER/TYPE7 simetrik olarak çalıştırılmıştır.

Kopma mukavemeti test yöntemi FEA'de tanımlanmıştır. FEA'de eksenel yük analizleri yarı statik (quasi-static) olduğundan test hızı gerçek test hızına göre arttırılmıştır. 200 mm/dakika gerçek test hızı yerine 120 mm/dakika ile test yapılmıştır. Böylece uzun süren analiz sürelerinin kısaltılması hedeflenmiştir.

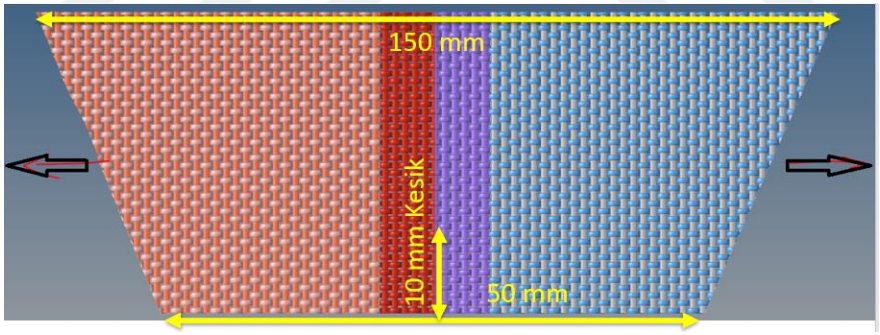
Kumaşlar üretimin her aşamasında gerilimlere maruz kalır. Gerilimler, ipliklerin örgü yapısına eşit olarak yerleştirilmesine ve ipliklerin birbirlerine tutunması için sıkıştırılmasını sağlar. Sanal çalışmalarda çözgü ve atkı yönlerinin yanı sıra kalınlıkta daha gerçekçi olması için bir sıkıştırma adımı gerektirir. Bu çalışmada FEA testi ile eş zamanlı olarak kumaşın kalınlık yönünde sıkıştırma (compaction) başlatılmıştır. Şekil 4.27 A'da sıkıştırma öncesi kumaş kesit görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.27 B'de ise FEA 'de gerçekleştirilen sıkıştırılmış kumaş görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.27. Kumaş ipliklerinin sıkıştırılması (compaction), A) Sıkıştırılmamış kumaş görüntüsü, B) Sıkıştırılmış kumaş görüntüsü

Kumaş geometrileri, malzeme kartları, test metotları FEA analizinde tanımlanmasından sonra başlayan analiz süreci yaklaşık olarak 1 analiz için 5 ile10 gün arasında gerçekleşmektedir.

FEA'de oluşturulan laminasyonlu kumaş modeli, malzeme kartları ve iplik FEA kopma testi verileri, yırtılma mukavemeti testi için de aynı şekilde kullanılmıştır. Yırtılma test numunesinin boyutları gerçek test boyutlarında ve Şekil 4.28'deki gibi modellenmiştir.



Şekil 4.28. FEA yırtılma testi boyutları

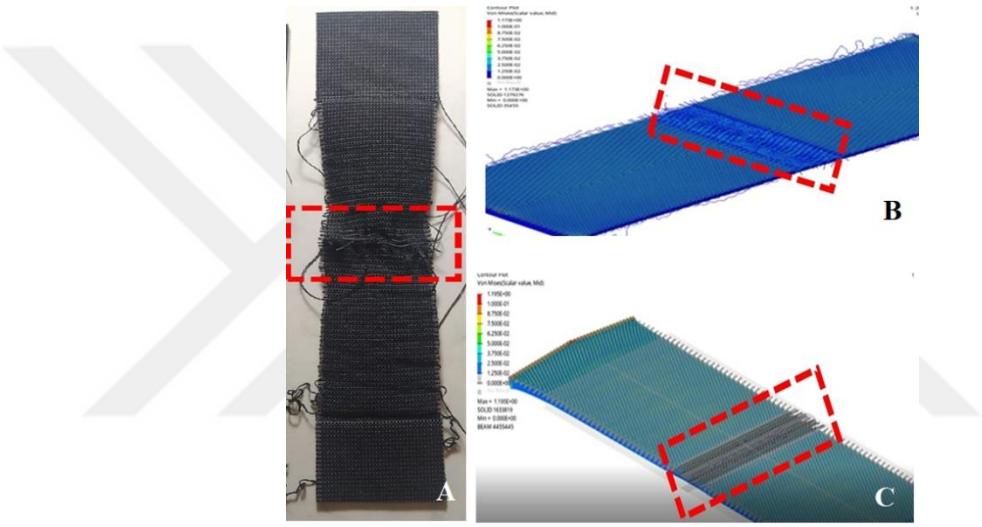
Laminasyonlu kumaşı oluşturan alt bileşenler astar ve sünger için ayrı ayrı gerçekleştirilen yırtılma gerilim-uzama test verileri FEA modeline aktarılmıştır. FEA kopma mukavemeti testinde ise astar ve süngerin gerçek kopma gerilimi-uzama verileri modele aktarılmıştı.

Gerçek yırtılma testinde numunenin test cihazı çenelerine yerleştirilmesi sonucu Şekil 3.4'teki gibi oluşan gevşeklik (potluk) FEA modellemesinde yapılamamıştır. Diğer tüm gerçek test şartları FEA analizinde sağlanmıştır.

4.5.2. FEA analiz çıktılarının ve gerçek test çıktılarının karşılaştırılması

Kopma Mukavemetleri:

Gerçek numuneye uygulanan kopma testi sonucunda kopma deformasyonu test numunesinin ortasında meydana gelmiştir. Şekil 4.29'da gösterilen bezyağı ve dimi 2/2 sanal test numunelerinde de gerçek kopma deformasyonu test numunesinin orta bölgesinde meydana gelmiştir. (Kopma oluşan bölge Şekil 4.29'da kırmızı çerçeve içine alınmıştır). FEA modelinde kopma beklenen yerlere hata oluşumu için tanımlama yapılmaktadır.



Şekil 4.29. Kopma mukavemeti testi sonrasında kopma deformasyonu oluşan bölge, A) Gerçek test numunesi, B) P14-9 bezayağı sanal test numunesi, C) T27-16 dimi 2/2 sanal test numunesi.

Laminasyonlu kumaşların kopma mukavemetleri gerçek testleri 10 kez tekrarlanmış ve ortalama kopma testi sonucu test sonucu olarak raporlanmıştır. Uygulanan 10 testin içerisinde, ortalama kopma kuvveti değerine en yakın testin kuvvet-uzama verileri dikkate alınmıştır ve ana veri olarak kullanılmıştır. Çizelge 4.12'de 10 kez tekrar edilen kopma testleri sonuçları yer almaktadır. Yeşil alanlarda gösterilen kopma kuvvetleri ortalamaları ve dikkate alınan ölçümleri göstermektedir. Örneğin P14-9 kumaşı için ortalama kopma kuvveti 1608 N 'dur. Bu ortalamaya en yakın 1 numaralı testin sonucu 1615 N' dur, bu nedenle kuvvet-uzama eğrisi ve verileri söz konusu kumaşı temsil etmek için seçilmiştir. Diğer kumaşlar için de aynı yöntemle seçim yapılmıştır.

Çizelge 4.12. Kopma mukavemeti test sonuçları

Kumaş İsmi	**P 14 -9 BEZAYAĞI**	**P14 -11 BEZAYAĞI**	**T27-16 DİMİ 2/2**	**T29-17 DİMİ 2/2**	**T31-18 DİMİ 2/2**	**T32-20 DİMİ 2/2**	**T34-20 DİMİ 2/2**
Ölçüm No	**KOPMA KUVVETİ F_{max} (N)**						
1. Ölçüm	**1615**	1628	2073	2094	2421	2468	2518
2. Ölçüm	1632	1640	2032	**2142**	2480	2365	2570
3. Ölçüm	1560	1573	2074	2046	2514	2367	2610
4. Ölçüm	1567	1612	2032	2087	2485	2419	2617
5. Ölçüm	1590	1554	2068	2131	2584	**2481**	**2530**
6. Ölçüm	1577	**1589**	**2075**	2046	2479	2575	2555
7. Ölçüm	1587	1658	2066	2078	**2437**	2576	2708
8. Ölçüm	1657	1561	2136	2160	2408	2536	2681
9. Ölçüm	1627	1498	1997	2195	2366	2619	2625
10. Ölçüm	1672	1482	2033	2201	2364	2530	2713
Ortalama	**1608**	**1580**	**2059**	**2118**	**2454**	**2494**	**2613**

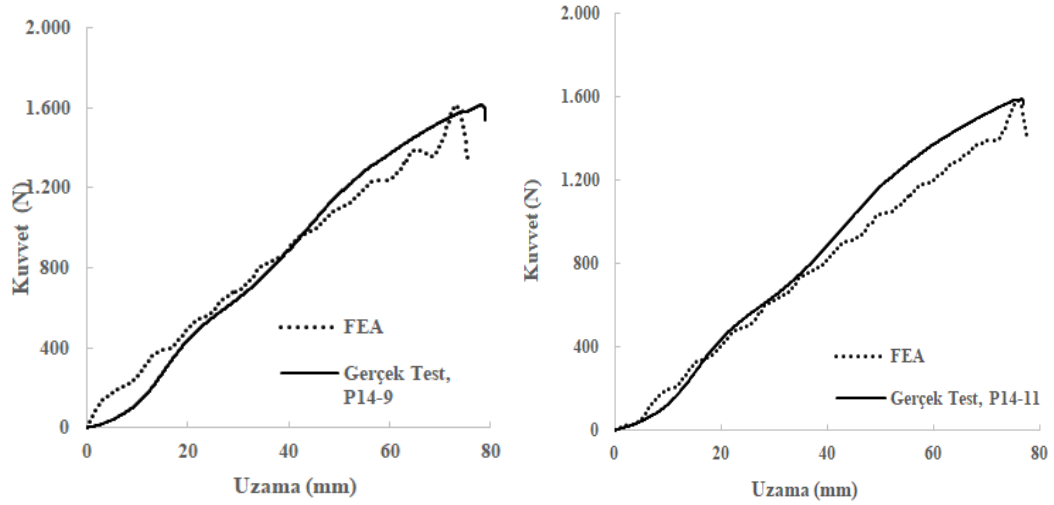
FEA analizi sonucu sanal laminasyonlu kumaş modelleri için elde edilen kopma kuvveti testi sonuçları ve gerçek test sonuçları, rölatif hata oranı, korelasyon katsayısı Çizelge 4.13'te, verilmiştir. Bölüm 3.2.5'te verilen hipotez test edilmiş olup P-değeri 0,05'ten küçük olarak bulunmuştur. Bu durumda ''H_a: FEA test grafiği verileri ve gerçek test grafiği verileri arasında korelasyon vardır'' hipotezi kabul edilmiştir.

Çizelge 4.13. Laminasyonlu kumaşların kopma kuvveti, gerçek ve FEA sonuçlarının rölatif hata oranı, gerçek ve sanal kuvvet-uzama eğrilerinin korelasyon katsayıları ve hipotez testi

Kumaş Örgüsü	Kumaş İsmi	Gerçek test sonucu (N)	FEA test sonucu (N)	Rölatif Hata (%)	Korelasyon Katsayısı	P-Değeri (value)	Kabul edilen Hipotez	İstatistik Karar
Bezayağı, laminasyonlu kumaş	P14-9	1615	1610	0,3%	0,998	0,000	H_a	FEA testi ve Gerçek test verileri arasında korelasyon vardır.
	P14-11	1589	1580	1%	0,998	0,000	H_a	
Dimi 2/2, laminasyonlu kumaş	T27-16	2075	1782	14%	0,995	0,000	H_a	
	T29-17	2142	1823	15%	0,978	0,000	H_a	
	T31-18	2437	1967	19%	0,870	0,000	H_a	
	T32-20	2481	2267	9%	0,992	0,000	H_a	
	T34-20	2610	2328	11%	0,989	0,000	H_a	

Laminasyonlu bezayağı kumaşlar için kopma kuvvet-uzama grafikleri Şekil 4.30 A ve B'de verilmiştir. FEA simülasyon eğrileri, gerçek test eğrilerine paraleldir, fakat bazı alanlarda küçük farklılıklar ve dalgalanmalar görülmektedir. Laminasyonlu bezayağı çözgü sıklığı 14 ve atkı sıklığı 9 olan (P14-9) kumaşın FEA kopma test sonucu ile gerçek test sonucu arasındaki rölatif hata oranı %0,3 gerçekleşmiş olup diğer kumaşlara göre en az hata oluşan kumaştır. P 14-9 kumaşının çözgü ve atkılarının bağlantı sayısı, çözgü sayısı 14 ve atkı sayısı 11 olan (P14-11) kumaşında gerçekleşen bağlantı sayısından daha azdır. Böylece yapı içerisindeki tüm ipliklerin birbirleri ile temas nedeniyle oluşturdukları sürtünme kuvvetleri sayısı P 14-9 kumaşında, P14-11 kumaşına göre daha azdır. Bu nedenle kumaş yapısının daha basit duruma gelmesi FEA çözümlemesini kolaylaştırmakta ve hata oranını azaltmaktadır. Laminasyonlu bezayağı kumaşların kopma kuvvet-uzama eğrilerinin simülasyon ve gerçek test eğrilerinin korelasyon katsayıları 0,998 gerçekleşmiştir, korelasyon eğrileri EK 7' de verilmiştir.

Laminasyonlu bezayağı kumaşların kopma kuvvetleri, test hızındaki değişimden etkilenmemektedir. Bundan dolayı FEA' deki test hızının gerçek test hızına göre yüksek olması kopma kuvvetlerinin gerçek ve simülasyonu arasındaki rölatif hata oranına etkilememektedir.



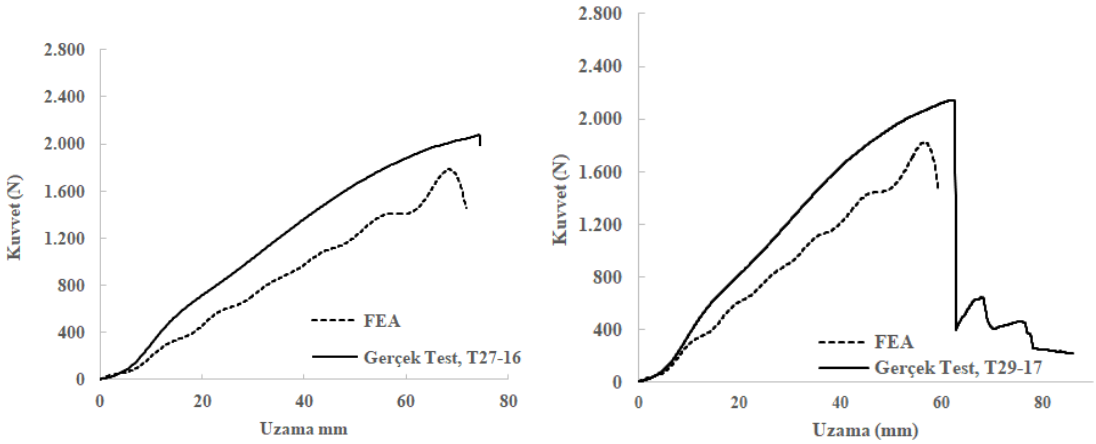
(A) (B)

Şekil 4.30. Laminasyonlu bezayağı kumaş FEA ve gerçek kopma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, A) P14-9, B) P14-11

Laminasyonlu dimi 2/2 kumaşlar için kopma kuvveti-uzama eğrileri karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.31 A ve B., Şekil 4.32 A ve B., Şekil 4.33'te verilmiştir. Ayrıca FEA ve gerçek test verilerinin korelasyon eğrileri EK 1' de verilmiştir.

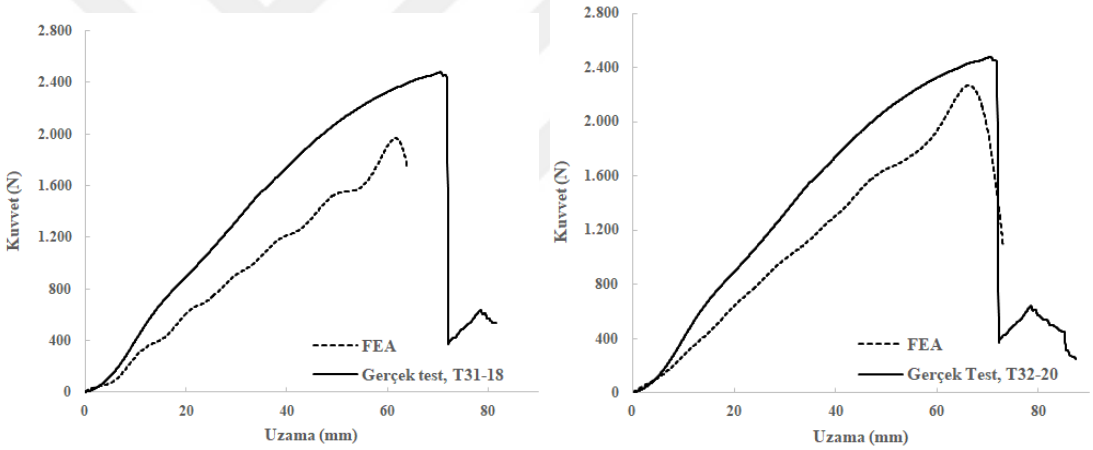
Bezayağı kumaşlarda olduğu gibi aynı durum dimi 2/2 kumaşlar olan T27-16, T29-17, T31-18 kumaş yapıları içerisindeki çözgü ve atkıların kesişim noktaları sayısının ve birbirlerine paralel olarak sürtünen iplik sayısının artması nedeniyle rölatif hata oranı artmaktadır. Rölatif hata oranı çözgü sıklığı 27 ve atkı sıklığı 16 olan (T27-16) kumaşında, çözgü sıklığı 29 ve atkı sıklığı 17 olan (T29-17) kumaşı ve çözgü sıklığı 31 ve atkı sıklığı 18 olan (T31-18) iki kumaşa göre daha azdır. Kumaşların sıklık nedeniyle atkı ve çözgü ipliklerindeki bağlantı sayıları arttıkça korelasyon katsayıları azalmaktadır. Korelasyon eğrileri EK 7'de verilmiştir.

Çözgü sıklığı 32, atkı sıklığı 20 olan (T32-20) ve çözgü sıklığı 34, atkı sıklığı 20 olan (T34-20) kumaşları da kendi içlerinde değerlendirildiğinde T32-20'nin T34-20' ye göre bağlantı sayısının az olması nedeniyle rölatif hata oranı daha düşüktür. Atkı ve çözgü sıklıklarının artması nedeniyle korelasyon katsayısı da azalma eğilimi göstermiştir.



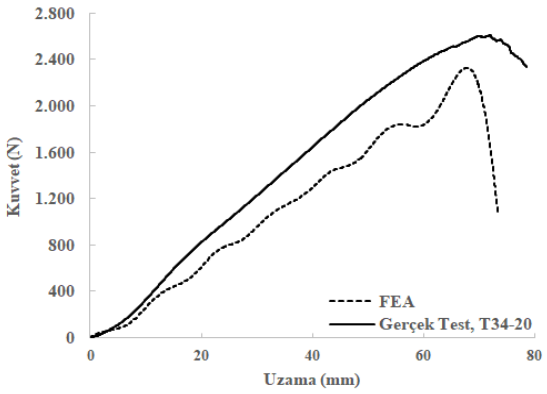
(A) (B)

Şekil 4.31. Laminasyonlu dimi 2/2 FEA ve gerçek kopma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, A) T27-16, B) T29-17



(A) (B)

Şekil 4.32. Laminasyonlu dimi 2/2 FEA ve gerçek kopma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, A) T31-18, B) T32-20



Şekil 4.33. Laminasyonlu dimi 2/2 FEA ve gerçek kopma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, T34-20

Laminasyonlu dimi 2/2 kumaşların kopma kuvvetleri, test hızındaki değişimlerden %28 oranında etkilenmektedir. Bundan dolayı FEA' deki test hızının gerçek test hızına göre yüksek olması kopma kuvvetlerinin gerçek ve simülasyonu arasındaki rölatif hata oranını arttırmaktadır.

Bezayağı ve dimi 2/2 kumaş yapılarında, geometrik olarak çözgü iplikleri arasındaki ve atkı iplikleri arasındaki boşluklar arttığında rölatif hata oranı azalmıştır. Atkı ve çözgü sıklıklarının kumaşlarda artması korelasyon katsayısını azaltmaktadır. Dimi T32-20 ve T34-20 kumaşlarında sıklıklar diğer dimi kumaşlara göre daha fazla olduğundan iplik çapı değeri modelde küçültülmüştür ve buna bağlı olarak paketleme sabiti arttırılmıştır. Bu nedenle iplikler arası boşlukların artması ile rölatif hata oranı, örneğin seyrek olan T31-18 kumaşına göre daha az hesaplanmıştır.

Laminasyonlu dimi 2/2 kumaşların çözgü ve atkı sıklıklarının artması ile kopma mukavemetleri artmaktadır. Kumaş sıklığı, kopma kuvveti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Öte yandan bezayağı laminasyonlu kumaşların FEA sanal eğrilerinin gerçek testlere benzeme oranı dimi 2/2'ye göre yüksektir. Uygulanan test hızları ve test şartları aynıdır. Kumaşın mekanik özellikleri esas olarak ipliğin mekanik özelliklerinden etkilenmiştir. İplik kopma mekanik davranışı ise lif tipi, lif çap şekillerinden etkilenmektedir (Öznur, 2008). Aynı zamanda bahsedilen iki etken liflerin ve ipliklerin sürtünme özelliklerini de

etkilemektedir. FEA analizlerinin sonuçlarına göre yuvarlak kesitli filamanlardan oluşan ipliklerin kumaş yapısı içerisinde daha düzgün yapı oluşturduğu fark edilmektedir.

Kumaş örgü deseni, çözgü ve atkı ipliklerinin kumaş yapısı içerisinde geometrik şekillerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bezayağı deseni düz örgü olarak, dimi örgüler ise diyagonal örgü olarak isimlendirilirler. Dimi 2/2 örgüde kumaş yapısı içerisindeki ipliklerin desen örgüsü nedeniyle yüzmeler yapmaktadır. Kumaş örgü deseni ipliklerin bağlantı şekillerini ve geometrilerini etkilemesi nedeniyle kumaşların mekanik özelliklerini etkilemektedir. Bezayağı kumaşlar dimi 2/2 kumaşlara göre daha düzgün ve stabil mekanik özelliklere sahip olduğu söylenilebilir.

Yırtılma Mukavemetleri:

Laminasyonlu kumaşların yırtılma mukavemeti testleri 10 kez tekrar edilmiştir. Ortalama yırtılma kuvvetinin en yakın olduğu ölçümün kuvvet- uzama grafiği verileri ilgili kumaşı temsil etmek üzere dikkate alınmıştır. Çizelge 4.14'teki yeşil alanlarda gösterilen yırtılma kuvvetleri ortalamaları ve dikkate alınan ölçümleri göstermektedir.

Çizelge 4.14. Yırtılma mukavemeti test sonuçları

Kumaş İsmi	**P 14 -9 BEZAYAĞI**	**P14 -11 BEZAYAĞI**	**T27-16 DİMİ 2/2**	**T29-17 DİMİ 2/2**	**T31-18 DİMİ 2/2**	**T32-20 DİMİ 2/2**	**T34-20 DİMİ 2/2**
Ölçüm No	**YIRTILMA KUVVETİ F_{max} (N)**						
1. Ölçüm	420	**436**	**423**	448	539	549	651
2. Ölçüm	412	434	425	503	658	541	633
3. Ölçüm	417	466	431	489	604	528	637
4. Ölçüm	449	446	356	513	563	555	660
5. Ölçüm	483	452	388	**468**	512	552	673
6. Ölçüm	**444**	425	336	457	522	518	630
7. Ölçüm	461	428	**395**	495	464	571	**650**
8. Ölçüm	436	429	382	479	493	579	684
9. Ölçüm	479	442	437	458	463	506	633
10. Ölçüm	411	428	493	411	**536**	**541**	647
Ortalama	**441**	**439**	**407**	**472**	**535**	**544**	**650**

FEA analizi sonucu sanal laminasyonlu kumaş modelleri için elde edilen yırtılma kuvveti testi sonuçları ve gerçek test sonuçları, rölatif hata, korelasyon katsayıları, P-değeri, hipotez test sonucu ve kararı Çizelge 4.15'te verilmiştir. Bölüm 3.2.5'te verilen

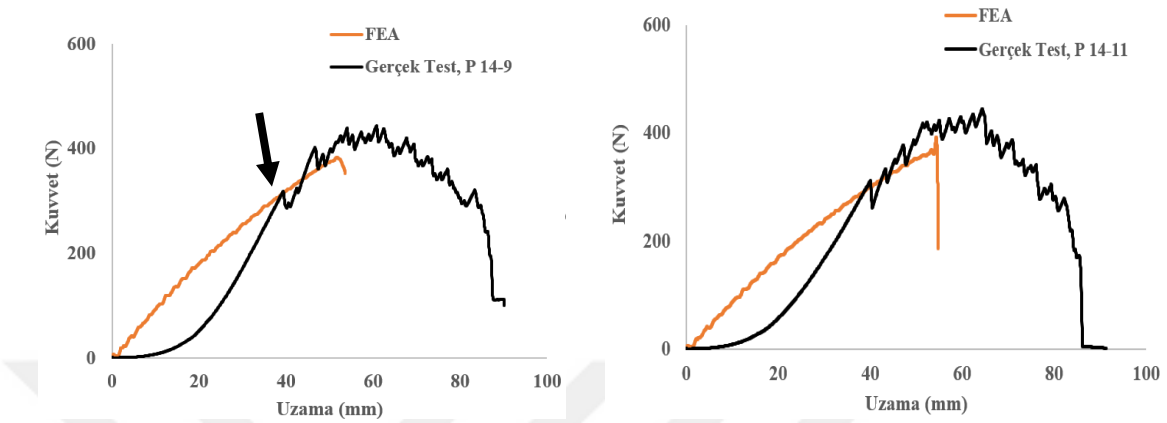
hipotez test edilmiş olup tüm laminasyonlu kumaşlar için P-değeri 0,05'ten küçüktür. Bu durumda ''H_a: FEA test grafiği verileri ve gerçek test grafiği verileri arasında korelasyon vardır'' hipotezi kabul edilmiştir.

Çizelge 4.15. Laminasyonlu kumaşların yırtılma testi, gerçek ve FEA sonuçlarının rölatif hata oranı, gerçek ve sanal kuvvet-uzama eğrilerinin korelasyon katsayıları ve hipotez testi

Kumaş Örgüsü	Kumaş İsmi	Gerçek test sonucu (N)	FEA test sonucu (N)	Rölatif Hata (%)	Korelasyon Katsayısı	P- Value	Kabul edilen Hipotez	İstatistik Karar
Bezayağı, laminasyonlu kumaş	P14-9	444	383,1	14%	0,729	0,000	H_a	FEA testi ve Gerçek test verileri arasında korelasyon vardır.
	P14-11	436	392,9	10%	0,535	0,000	H_a	
Dimi 2/2, laminasyonlu kumaş	T27-16	395,3	355,5	10%	0,770	0,000	H_a	
	T29-17	468	403,8	14%	0,589	0,000	H_a	
	T31-18	536	467,8	13%	0,571	0,000	H_a	
	T32-20	540,6	468,4	13%	0,759	0,000	H_a	
	T34-20	650	537,34	17%	0,516	0,000	H_a	

Laminasyonlu bezayağı kumaşlar için yırtılma kuvvet-uzama grafikleri karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.34 A ve B'de verilmiştir. FEA simülasyon eğrileri, gerçek test eğrilerine kısmi olarak benzemektedir, buna rağmen grafiklerdeki gerçek test yırtılma eğrisinin başlangıç sıfır nokrasından itibaren ilk koptuğu yer olan ilk tepe (Şekil 4.34 A'da ok ile gösterilen tepe noktası) arasındaki bölge yırtılma testi numunesinin test çeneleri arasındaki pozisyonundan gelen gevşeklik (potluk) duruşun, test başlatılmasından itibaren gergin olduğu pozisyona kadar olan kısmın eğrisini göstermektedir. FEA simülasyonunda ise numune teste gergin başlatılmıştır. Bu nedenle FEA ve gerçek test grafiklerinin korelasyon katsayıları P14-9 için 0,729, P14-11 için ise 0,535 gerçekleşmiştir, korelasyon eğrileri EK 8'de verilmiştir. Grafik eğrilerinin son bölümlerindeki farklılıklar, laminasyonlu kumaşın üçüncü tabakası olan astarın etkisinin kumaş ipliklerinin etkisinden daha baskın hale geldiği testler esnasında gözlemlenmiştir. Astarın yuvarlak örme olması ve ipliklerin ilmek yapısı ile birbirlerine bağlanmaları nedeniyle oluşan yırtılma davranışı, laminasyonlu kumaşın yırtılma deformasyonu sırasında mukavemeti arttırmakta fakat mekanik davranışı değişken olmasına sebep olmaktadır. Laminasyonlu bezayağı çözgü sıklığı 14 ve atkı sıklığı 9 olan (P14-9) kumaşın FEA kopma test sonucu ile gerçek test sonucu arasındaki rölatif hata oranı %14, çözgü sıklığı 14 ve atkı sıklığı 11 olan (P14-11) kumaşın ise rölatif hata

oranı %10 hesaplanmıştır. Her iki kumaşın çözgü sıklıklarının aynı sayıda ve atkı sıklıklarının da yakın sayılar olması nedeniyle yırtılma testi mukavemeti sonuçları birbirlerine benzerdir.



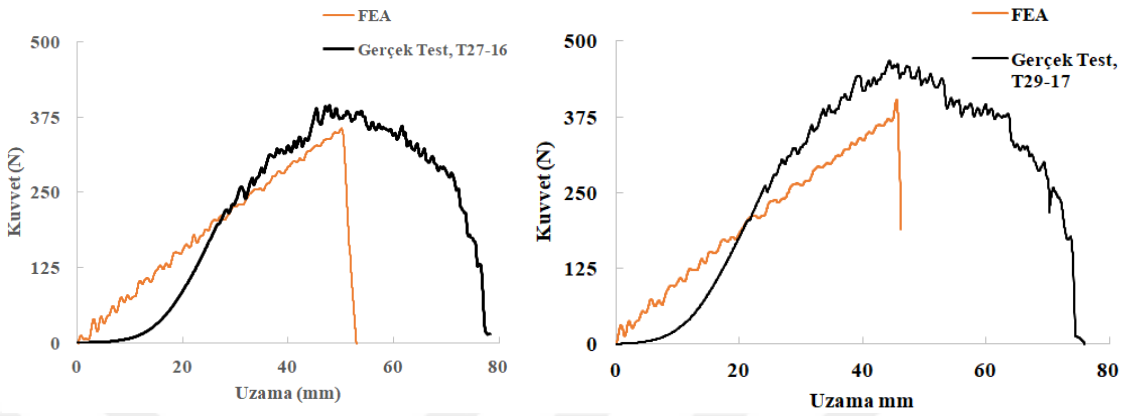
(A) (B)

Şekil 4.34. Laminasyonlu bezayağı FEA ve gerçek yırtılma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, A) P14-9, B) P14-11

Laminasyonlu dimi 2/2 kumaşlar için kuvvet-uzama karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.35 A ve B., Şekil 4.36 A ve B., Şekil 4.37'de verilmiştir. Laminasyonlu dimi 2/2 kumaşların yırtılma grafiklerindeki farklılıklar yukarıda bezayağı kumaşlar için açıklandığı gibidir. Dimi 2/2 kumaşlar için Çizelge 4.9'da belirtilen korelasyon katsayıları T27-16 ve T32-20 laminasyonlu kumaşları için sırasıyla 0,77 ve 0,759, T29-17, T31-18 ve T34-20 laminasyonlu kumaşları için ise sırasıyla 0,589, 0,571 ve 0,516 gerçekleşmiştir. Astarın yırtılma davranışının etkisi nedeniyle laminasyonlu dimi 2/2 kumaşların korelasyon katsayıları arasında kumaş geometrisine bağlı olarak anlamlı ilişki kurulamamıştır. FEA ve gerçek test sonuçlarının karşılaştırılması ile atkı ve çözgü sıklığı artışı nedeniyle rölatif hata oranının da artma eğiliminde olduğu görülmektedir. İplik sıklık artışına bağlı olarak ipliklerin kumaş yapısı içerisinde sıkışıklığının artması kaynaklı iplikler arası boşlukların azalması birbirine temas eden lif ve iplik sayısını arttırmaktadır ve kumaş yapısı içerisindeki kuvvet etkisi ile oluşan sürtünme kuvvetleri daha fazla karmaşık hale gelmektedir.

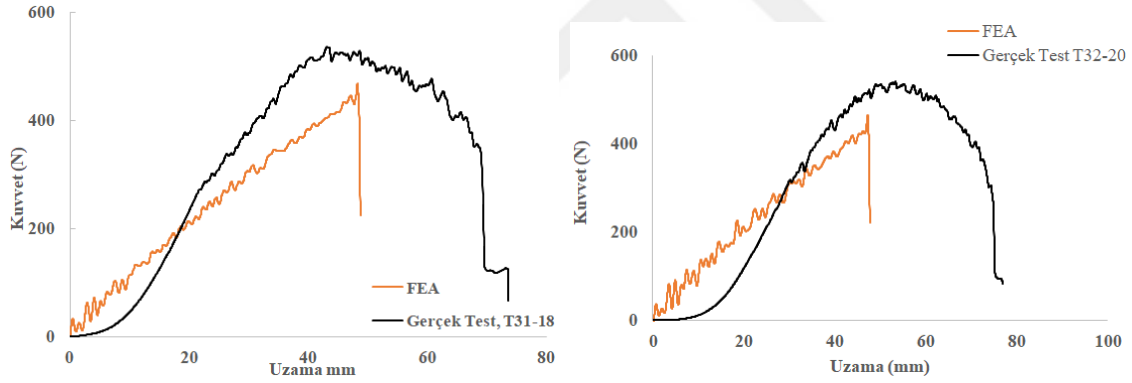
Laminasyonlu kumaşların atkı ve çözgü sıklığı arttıkça yırtılma kuvvetleri artmaktadır. Kumaş sıklıkları, kumaş yırtılma kuvvetlerine üzerinde oldukça etkilidir. FEA test sonuçları da gerçek test sonuçlarında olduğu gibi kumaş sıklık artışı ile yırtılma

kuvvetlerinde artış meydana gelmiştir. Bu sebeple oluşturulan modelin doğruluğunun kanıtlanmasında önemli bir göstergedir.



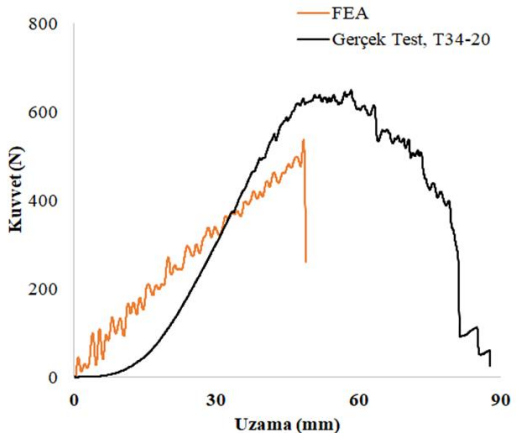
(A) (B)

Şekil 4.35. Laminasyonlu dimi 2/2 FEA ve gerçek yırtılma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, A) T27-16, B) T29-17



(A) (B)

Şekil 4.36. Laminasyonlu dimi 2/2 FEA ve gerçek yırtılma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, A) T31-18, B) T32-20



Şekil 4.37. Laminasyonlu dimi 2/2 FEA ve gerçek yırtılma mukavemeti testi kuvvet-uzama grafikleri, T34-20

5. SONUÇ

Bu tezde laminasyonlu bezayağı ve dimi 2/2 kumaşların geometrik modelleri KTEX yazılımında oluşturularak FEA simülasyonlarından elde edilen kuvvet-uzama grafikleri ve gerçek test sonuçları karşılaştırılmıştır. Geometrik model, kumaşı oluşturan ipliklerin mekanik özelliklerinin test edilmesi, test verileri ve sonuçlarının hesaplamaları sonucu elde edilen veriler ile oluşturulmuştur. İki farklı sıklıkta bezayağı ve beş farklı sıklıkta dimi 2/2 kumaşlar KTEX yazılımında modellenmiştir. FEA'de kumaşın, astar ve sünger ile yapıştırılması modellenip laminasyonlu kumaş modeli elde edilmiştir. Test metotları FEA' de tanımlanarak kopma ve yırtılma mukavemeti testleri, FEA'de sanal olarak ve gerçek kumaşlarla da deneysel olarak test edilmiştir.

Laminasyonlu kumaş; yüz dokuma kumaş, astar ve sünger olarak farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip katmanlardan oluşmaktadır. Katmanların laminasyon işlemi ile bir araya getirilerek katmanların özelliklerinin birbirlerinden etkilendiği bir yapı ortaya çıkmaktadır. Bu yapı, tek başına yüz kumaşa göre mekanik, fiziksel, mukavemet özellikleri astar ve sünger ile geliştirilmiştir. Birden fazla farklı yapıların bir arada ve laminasyonlu olarak FEA analizlerinin yapılması bu tezin özgünlüğünü ortaya çıkarmaktadır. FEA analizlerinde kullanılan Radioss yazılımı karmaşık yapılar için geniş bir analiz yeteneğine sahiptir. Sünger ve astar katmanlarının FEA yazılımında oluşturulabilmesinden dolayı laminasyonlu kumaşların kopma ve yırtılma analizleri için uygunluğu yüksektir ve akademik araştırmalarda ilk kez bu tez ile çalışılmıştır.

Kumaş yapısında bulunan çözgü ve atkı ipliklerinin birbirleri ile seçilen örgüye göre bağlantı yapmaları nedeniyle ayrı modelleme yazılımlarının kullanılmasını gerektirir. Literatürde yapılan araştırmalara göre KTEX yazılımı dokuma kumaş yapılarının simülasyonunda ilk olarak akademik çalışmada bu tez ile kullanılmıştır. Yazılımdaki kumaş geometrisi oluşturmadaki sınırlamalara rağmen FEA analiz sonuçlarının gerçek sonuçlar ile olan iyi korelasyonu KTEX'in uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca çoklu filamentli ve tekstüreli ipliklerin geometrik modellemesinin yapılabilirliği KTEX 'in olumlu özelliği olarak gösterilebilir.

Laminasyonlu kumaş; üç tabakadan oluşan, lineer olmayan, viskoelastik ve anizotropik olan kompozit tekstil malzemesidir. Simülasyonu basitleştirmek için sanal olarak

laminasyonlu kumaş lineer, elastik ve izotropik modellenmiştir. Bu yaklaşımlardan dolayı simülasyon ve gerçek test kuvvet-uzama grafiklerinde bazı sapmalar meydana gelmiştir ve rölatif hata oranlarına yansımıştır.

KTEX geometrik modelleme yazılımında giriş verileri olarak iplik mekanik özellikleri değerleri iplik gerilme-uzama verilerinden hesaplanmıştır. Giriş verisi olarak kullanılan iplik Poisson oranı, iplik hammaddesi olan poy içerisindeki lif çapı ve son nihai ürün iplik içerisindeki lif çapı arasındaki fark ile tekstüre prosesindeki % çekim oranı nedeniyle lif boyundaki uzama dikkate alınarak boyutsal değişim katsayısı hesaplanarak tahminlenmiştir. Bu nedenle simülasyon sonuçlarının gerçek sonuçlardan sapmasında etkisi olabilir.

Kopma mukavemeti kuvvet-uzama simülasyon grafikleri, gerçek test grafikleri ile uyumludur. Simülasyon test sonuçları gerçek test sonuçlarından daha düşük değerlerde gerçekleşmiştir. Bezayağı laminasyonlu kumaşın rölatif hata oranları dimi 2/2 kumaşa göre daha düşük hesaplanmıştır. Dimi 2/2 kumaşın yapısında desenden dolayı iplik yüzmeleri (atlamaları) mevcuttur ve bezayağı kumaşa göre daha sık bağlantı yapmaktadır. Bu nedenle dimi 2/2 kumaşta rölatif hata oranı artmıştır. Her iki kumaşta bağlantı sayılarında farklılıklar olmasına rağmen her iki örgü düzenli bir yapıya sahiptir. Bezayağı kumaş rijit bir yapı oluştururken dimi 2/2 kumaşı ise esnek bir yapı oluşturmaktadır. KTEX geometrik model oluşturma yazılımının rijit kumaş yapıları için daha başarılı olduğu sonucuna varılmaktadır. Esnek kumaş yapıları için geliştirilmelidir. Ayrıca yazılımda bulunan her iplik arasında standart boşluk tanımlama zorunluluğu dimi 2/2 örgüsünde yan yana olan ipliklerin arasında boşluk tanımlama mecburiyetini getirmiştir. Bu nedenle dimi 2/2 kumaşlarda rölatif hata oranının yüksek olmasına neden olmuştur.

Kumaş geometrisinin simülasyon sonuçlarına etkisini ve aynı zamanda kumaş yapı parametrelerinin kumaş mekaniği üzerine etkisini gözlemleyebilmek için farklı atkı ve çözgü sıklıklarında dokunan kumaşlar ile çalışma yapılmıştır. Sıklığı yüksek olan kumaşlarda atkı ve çözgü kesişim noktalarının daha fazladır, aynı zamanda ipliklerin yapı içerisindeki sıkışıklığı artmaktadır. Böylece simülasyonlardaki iplik temas modellemesi ve iplikler arası boşluk değerlerinin etkisi sonucu simülasyon ve gerçek

arasındaki sapma artma eğilimindedir. Sıklık arttıkça kumaş yapısı daha karmaşık hale gelmesi modelde sapmaya neden olmaktadır. Bu nedenle rölatif hata oranının artması geometrik modelleme yazılımının geliştirilmeye açık noktasıdır. Sıklık artışı ile mukavemetin arttığı gözlemlenmesi ise modelin uygunluğunu göstermektedir.

Kopma mukavemeti test hızlarının azalması ya da artması dimi 2/2 kumaşlar üzerinde etkisi vardır. Yüksek hızlardaki testlerde kopma kuvveti değeri düşmektedir. Dimi 2/2 kumaşlar için simülasyon ve gerçek testler arasında oluşan sapmanın yaklaşık %30'u FEA simülasyonlarındaki çekme hızının gerçek hızdan daha yüksek olması nedeniyle oluştuğu sonucunu varılmıştır.

İpliklere tek başlarına uygulanan kopma mukavemetinin faklı test hızlarında, 117 tex ipliğin kopma kuvvetinin değiştiğini, 55 tex iplikte ise kopma kuvvetinin değişmediği görülmüştür. İpliğin serbest halden kumaş yapısı içerisine belirli geometrilerde dahil olması, atkı ve çözgü olarak bağlantı noktaları oluşturması ve sıkışık yapıda bulunması sonucu, test hızının değişkenliğinin 117 tex iplikten dokunmuş bezayağı kumaşların kopma kuvvetini etkilemediği, 55 tex iplikten dokunmuş kumaşları ise etkilediği gözlemlenmiştir. Bundan dolayı iplik kesit şekli, iplik tekstüre yöntemi ve kumaş örgü deseni kumaşların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde etken faktörlerdir. Ayrıca tekstil malzemelerinin form değiştirdiklerinde mekanik özelliklerinde değişeceği de anlaşılmalıdır. Bu da iplikleri oluşturan liflerin sürtünme özelliklerinin ve oluşan sürtünme kuvvetlerinin tekstil malzemesinin ana mekanik davranışlarını belirleyici en önemli etken olduğunu göstermektedir.

Laminasyonlu kumaşların mekanik davranışları, gerçek ve simülasyon test grafikleri ile karşılaştırıldı. Gerçek test eğrilerinin başlangıçları, sıkıştırma (compaction) adımından dolayı simülasyon eğrilerinin başlangıç kısımlarından farklılık göstermiştir. Yırtılma testi modellemesinde görüldüğü gibi numune pozisyonlarının gerçekteki gibi oluşturulması simülasyon doğruluğu açısından önemlidir. Bundan dolayı modellemede giriş verilerinin ve test uygulamasının gerçeğe yakın olması ana hedef olmalıdır.

Geometrik modellemenin kumaşın mekanik davranışı üzerindeki etkisini incelenmiştir. Her iki dokuma kumaş için farklı atkı ve çözgü sıklıkları ile kopma ve yırtılma mukavemeti testleri yapılmıştır. Atkı ve çözgü sıklıklarının artması ile kopma ve

yırtılma kuvvetinde artış gözlemlenmiştir. Aynı artışın FEA simülasyonlarında da görülmesi simülasyon doğruluğu açısından önemli bir göstergedir.

Kumaş örgü yapısı, filament kesiti, iplik çapı, iplik tekstüre yöntemleri, çözgü ve atkı sıklıkları gibi kumaş yapı özellikleri simülasyonların gerçekle iyi korelasyonu açısından önemli faktörlerdir. Geometrik modelleme yazılımlarında bu faktörlere göre hesaplama algoritmaları farklılık göstermelidir. Buna karşılık karmaşık yapıların analizi ancak tekstil yapılarını basitleştirerek elde edilebilmektedir.

Geometrik modelleme simülasyonlarının, gerçeğe yakın iplik ve kumaş yapı oluşumu sağlamak için kumaş geometrik modelleme yazılımlarının geliştirilmesine devam edilmeli ve yazılımın getirdiği kısıtlamalar üzerinde çalışılmalıdır.

Kopma ve yırtılma mukavemeti simülasyonlarında elde edilen yakın değerler, diğer deformasyon çeşitleri olan tek ve çift yırtma, balistik sarkaç yırtılma testleri, patlama mukavemeti, kumaş aşınma testleri, çok yönlü kuvvet etkisindeki deformasyonlar, farklı iplik tiplerinin ve kumaş örgülerinin simülasyon çalışmaları için iyi bir örnek teşkil edebilir.

KAYNAKLAR

Altair Hyperworks, (2021). Overview reference guide RADIOSS. https://2021.help.altair.com/2021/hwsolvers/rad/topics/solvers/rad/pre_processing_intro_rad_c.htm

Başer, G. (2017). Tekstil Mekaniğinin Temelleri (Cilt 1). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları. İzmir.

Bulut, Y., Sülar, V. (2010). Kaplama veya laminasyon teknikleri ile üretilen kumaşların genel özellikleri ve performans testleri. *Tekstil ve Mühendis.* 15(71).

Cedrem, (2015). KTEX Wovenproperty user's guide, Neung Sur Beuvron, pp.27

Chen, X. (Ed.). (2009). *Modelling and predicting textile behaviour*. Elsevier.

Dietmar, G., Werner, H., Jörg, S., Wolfgang, A., & Javier, B. 2018. Engineering Mechanics 2. Spinger

Eltayib, H. E., Ali, A. H., & Ishag, I. A. (2016). The prediction of tear strength of plain weave fabric using linear regression models. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, *3*(11), 236921.

Eryuruk, S. H., & Kalaoğlu, F. (2015). The effect of weave construction on tear strength of woven fabrics. *Autex Research Journal*. 15(3), 207-214.

Fung, W., Hardcastle, M. (2001). *Textiles in Automotive Engineering.* Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.

Gao, X., & Wang, L. (2015). Finite element modelling for tensile behaviour of thermally bonded nonwoven fabric. *Autex Research Journal*, 15(1), 48-53.

Hari, P. K. (2020). *Types and properties of fibres and yarns used in weaving*. Woven Textiles, 3-34.

Hasçelik, B. (2015). *Dokuma kumaşların viskoelastik özelliklerinin araştırılması* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Uludağ Üniveristesi.

Havelka, A., Nagy, L., Tunak, M., Antoch, J. (2021). Testing the effect of textile materials of on car seat comfort in real traffic. *Journal of Industrial Textiles*. 51(5), 740-767. doi: 10.1177/1528083719889692

Hearle, J. W., Grosberg, P., & Backer, S. (1969). *Structural mechanics of fibers, yarns, and fabrics.* John Wiley & Sons, Inc., USA

Hearle, J. W., Hollick, L., & Wilson, D. K. (Eds.). (2001). *Yarn texturing technology*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.

Hearle, J. W., Morton, W. E. (2008). *Physical properties of textile fibres*. Elsevier.

Hearle, J. W. S., Potluri, P., & Thammandra, V. S. (2001). Modelling fabric mechanics. *Journal of the Textile Institute*, 92(3), 53-69.

Hockenberger, A. (2004). *Tekstil fiziği*. Alfa.

Hu, J. (Ed.). (2008). *Fabric testing*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.

Hu, J. (2004). *Structure and mechanics of woven fabrics*. Elsevier.

Kyosev, Y. K. (2012). *The finite element method (FEM) and its application to textile technology*. *In Simulation in Textile Technology*. pp. 172-222. Woodhead Publishing.

Lawrence, C. (2015). *Fibre to yarn: filament yarn spinning*. In Textiles and fashion (pp. 213-253). Woodhead Publishing.

Lin, H., Clifford, M. J., Long, A. C., Lee, K., & Guo, N. (2012). A finite element approach to the modelling of fabric mechanics and its application to virtual fabric design and testing. *Journal of the Textile Institute*, 103(10), 1063-1076.

Lin, H., Sherburn, M., Crookston, J., Long, A. C., Clifford, M. J., & Jones, I. A. (2008). Finite element modelling of fabric compression. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 16(3), 035010.

Lin, J. J. (2014). Applying GM to predicting elastic property and FEM to analyzing tensile damage behavior for woven fabric. *The Journal of The Textile Institute*, 105(10), 1029-1041.

Lord, P. R. (Ed.). (2003). Handbook of yarn production: Technology, science and economics. Elsevier.

Miao, M., McDonnell, J., Vuckovic, L., & Hawkins, S. C. (2010). Poisson's ratio and porosity of carbon nanotube dry-spun yarns. *Carbon*, 48(10), 2802-2811.

Önder, E. (1989). *İplik kopma mekanizmasının istatistiksel mekanik bir modelinin geliştirilerek dokuma verimliliğinin tahminlenmesinde kullanım olanaklarının araştırılması* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Ege Üniversitesi.

Önder, E. (1985). *Dokuma kumaşlarda örgü tipinin ham kumaşın boyutları ve geometrik özellikleri üzerindeki etkilerin araştırılması.* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Ege Üniversitesi.

Özkan, S. (2008). *Filament kesit şeklinin, sayısının ve lineer yoğunluğunun POY ve tekstüre iplik özelliklerine etkisi* [FBE Yüksek Lisans Tezi], Çukurova Üniversitesi.

Pavlinić, D. Z., & Geršak, J. (2004). Design of the system for prediction of fabric behaviour in garment manufacturing processes. International Journal of Clothing Science and Technology. 16(1/2), 252-261

Peirce, F. T. (1937). 5—The geometry of cloth structure. *Journal of the Textile Institute Transactions*, *28*(3), T45-T96.

Sarier, N., Onder, E. (2007). Thermal characteristics of polyurethane foams incorporated with phase change materials. *Thermochimica Acta*. 454(2), 90-98.

Saville, B. P. (1999). *Physical Testing of Textiles*. Cambridge, England: Woodhead, Ltd. Association with the Textile Institute.

Seaqual Initiative. (2022, May). *Seaqual® Marine Plastic.* *https://www.seaqual.org/seaqual-yarn/*

Shen, Y., Meir, A. J., Cao, Y., & Adanur, S. (2015). Finite element analysis of monofilament woven fabrics under uniaxial tension. *The Journal of The Textile Institute*, 106(1), 90-100.

Smith, J. C., McCrackin, F. L., Schiefer, H. F., Stone, W. K., & Towne, K. M. (1956). Stress-strain relationships in yarns subjected to rapid impact loading: part IV: transverse impact tests. Textile research journal, 26(11), 821-828.

Smith, W. C. (Ed.). (2010). *Smart textile coatings and laminates*. Elsevier.

Steele, R., & Gruntfest, I. J. (1957). An analysis of tearing failure. *Textile Research Journal*, *27*(4), 307-313.

Takatera, M., Arichi, T., Peiffer, J., Zhu, C., & Kim, K. (2017). Continuous measurement of apparent Poisson's ratio for yarn based on omni-directional diameters. *Textile Research Journal*, 87(6), 739-746.

Tarfaoui, M., & Akesbi, S. (2001). A finite element model of mechanical properties of plain weave. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 187, 439-448.

Triki, E., Dolez, P., & Vu-Khanh, T. (2011). Tear resistance of woven textiles–criterion and mechanisms. *Composites Part B: Engineering*, 42(7), 1851-1859.

Tok, O. (2011). *Farklı Pet ipliklerle oluşturulan otomotiv döşemelik kumaşların mukavemet aşınma dayanımı ve ışık haslığı açısından incelenmesi* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi]. Bursa Uludag University.

Veit, D. (2012). *Introduction to modelling and simulation in textile technology*. *In Simulation in Textile Technology*. pp. 1-8. Woodhead Publishing.

Visiual Thesaurus (t.y). Deformation. In Thinkmap visiual thesaurus. 27 Mayıs 2022'de https://www.visualthesaurus.com/app/view' den alındı.

Wang, Z., Zhong, Y., & Wang, S. (2012). A new shape factor measure for characterizing the cross-section of profiled fiber. *Textile Research Journal*, *82*(5), 454-462.

Zeydan, M. (2010). *Prediction of fabric tensile strength by modelling the woven fabric*. Woven Fabric Engineering, 155.

Zheng, Z., Zhao, X., Wang, C., & Sun, X. (2015). Investigation of automated geometry modeling process of woven fabrics based on the yarn structures. *The Journal of The Textile Institute*, 106(9), 925-933.

EKLER

EK 1 117 tex hava tekstüre, yuvarlak kesitli filamentli ipliğin farklı hızlarda kopma mukavemeti testi sonuçları

EK 2 55 tex friksiyon tekstüre, oktolobal kesitli filamentli ipliğin farklı hızlarda kopma mukavemeti testi sonuçları

EK 3 117 tex, hava tekstüre, yuvarlak kesitli filamentli iplik ve 55 tex, friksiyon tekstüre,oktolobal kesitli filamentli iplik için Minitab çıktıları, 2-sample-t testi, One way anova testi

EK 4 P14-9 bezayağı laminasyonlu kumaşının farklı hızlarda kopma mukavemeti testi sonuçları

EK 5 T27- 16 dimi 2/2 laminasyonlu kumaşının farklı hızlarda kopma mukavemeti testi sonuçları

EK 6 P14-9 bezayağı laminasyonlu kumaş ve T27-16 dimi 2/2 laminasyonlu kumaş için Minitab çıktıları, One way anova testi, 2-sample-t testi

EK 7 Kopma kuvvetlerinin FEA ve gerçek test verilerinin korelasyon katsayılarının ve Korelasyon eğrilerinin grafikte gösterimi. %95 güven aralığında Pearson korelasyonu

EK 8 Yırtılma kuvevtleri FEA ve gerçek test verilerinin korelasyon katsayılarının ve Korelasyon eğrilerinin grafikte gösterimi. %95 güven aralığında Pearson korelasyonu

EK 1

117 tex Hava Tekstüre İpliğin Farklı Hızlarda Kopma Mukavemeti Testi Sonuçları

Kopma Mukavemeti Testi	100 mm/dk		200 mm/dk		300 mm/dk		400 mm/dk		500 mm/dk (ISO DIN 2062 standart test hızı)		600 mm/dk		700 mm/dk		800 mm/dk	
Ölçüm No	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)
1. Ölçüm	1872,1	31,67	**1914,5**	30,97	1935,2	33,99	1833,8	30,52	1933,6	31,99	2073	36,83	2011,1	34,53	2039,2	34,64
2. Ölçüm	1830	32,25	1858,1	30,97	1992	32,81	1891,2	31,84	**1972,8**	32,89	1970,3	32,05	2052,3	36,98	1877,6	31,09
3. Ölçüm	1899,5	31,34	1993	33,98	1942,4	32,79	1957,5	32,83	1970,1	33,88	2106,9	36,41	1967,5	32,9	1963,7	32,77
4. Ölçüm	1836,2	29,99	1824	31,11	2070,4	36,51	2048,8	35,36	1889,5	33,03	2088,4	35,47	1962,8	32,31	1957,4	32,8
5. Ölçüm	1988,2	34,97	1784,1	28,33	1926,7	32,16	2027,5	33,82	2015,6	35,29	2023,8	33,73	**2015,9**	34,23	2042,6	36,08
6. Ölçüm	1873,9	32,23	1970,7	35,4	**1976,8**	33,7	2004,1	34,32	1882,2	30,53	**2020,5**	34,29	2059,9	36,49	**2000**	35,09
7. Ölçüm	**1894,8**	32,02	1996,8	33,73	1996	35,48	2031,1	35,18	2015	34,96	1985,4	33,33	2043,8	35,51	2086,6	35,81
8. Ölçüm	1929,2	35,22	1980,6	33,95	2035,7	35,1	1866,1	30,52	1937,3	33,31	2027,2	33,65	2044,6	35,14	2043,7	36,08
9. Ölçüm	1953,7	33,62	1905,8	33,91	2025,2	35,43	**1930,8**	32,75	1985,6	34,71	2045	35,13	1908	32,92	2072,2	36,37
10. Ölçüm	1972,3	35,96	1828,1	30,15	2040,4	34,34	2012,9	35,04	1838	30,06	1963,2	35,03	1941,3	31,38	1974,9	32,37
Ortalama	1904,99	32,927	1905,57	32,25	1994,08	34,231	1960,38	33,218	1943,97	33,065	2030,37	34,592	2000,72	34,239	2005,79	34,31

EK 2

55 tex Friksiyon Tekstüre İpliğin Farklı Hızlarda Kopma Mukavemeti Testi Sonuçları

Kopma Mukavemeti Testi	100 mm/dk		200 mm/dk		300 mm/dk		400 mm/dk		500 mm/dk (ISO DIN 2062 standart test hızı)		600 mm/dk		700 mm/dk		800 mm/dk	
Ölçüm No	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)
1. Ölçüm	1636	20,32	**1618,9**	18,74	1624	19	1684,1	19,88	1570,7	17,95	1595,4	18,04	1716,4	20,49	1621,1	18,55
2. Ölçüm	1433,5	16,31	1468,4	16,7	1704,8	21,02	1351,1	14,24	**1535**	17,2	1625,7	18,68	1729,1	20,52	1741,6	21,4
3. Ölçüm	1622,2	19,92	1648,6	20,18	1657,1	19,46	1387,8	15,16	1675,3	20,75	1596,5	18,56	1699,4	20,19	1601,2	18,65
4. Ölçüm	1643,8	19,58	1684,4	20,64	1670,4	20,44	1568,6	17,93	1649,9	19,57	1657,7	20,6	1690,6	19,4	1650,8	19,24
5. Ölçüm	1668,3	20,31	1584,3	18,85	1507,6	16,69	1695,3	19,88	1598,4	18,18	1585,7	17,96	**1716,4**	20,35	1696,8	20,6
6. Ölçüm	1587,1	20,02	1590,5	19,37	**1708,2**	22,01	1536,8	18,55	1609,8	18,75	**1586,4**	18,5	1586,2	18,58	**1639,2**	19,85
7. Ölçüm	**1534,4**	18,69	1507,9	17,96	1674,2	21,73	1636,7	20,1	1587,1	19,25	1659,3	20,62	1716,4	21,82	1551	18,25
8. Ölçüm	1576,8	19,59	1615,3	19,78	1611,1	19,64	1642,2	19,12	1679,8	20,5	1681,1	20,78	1507	16,85	1689,8	20,36
9. Ölçüm	1566,1	19,23	1636,7	20,5	1604,9	19,39	**1663,1**	20,41	1626,7	19,5	1704,5	21,2	1604,2	18,88	1561,2	18,73
10. Ölçüm	1589,3	19,62	1535,5	17,84	1599,8	19,42	1585,5	19,01	1701,8	21,65	1676,6	20,46	1587,1	18,6	1693,3	21,06
Ortalama	1585,75	19,359	1589,05	19,056	1636,21	19,88	1575,12	18,428	1623,45	19,33	1636,89	19,54	1655,28	19,568	1644,6	19,669

EK 3



117 tex, hava tekstüre, yuvarlak kesitli filamentli iplik
Minitab Çıktısı
One Way Anova Testi

Factor Information

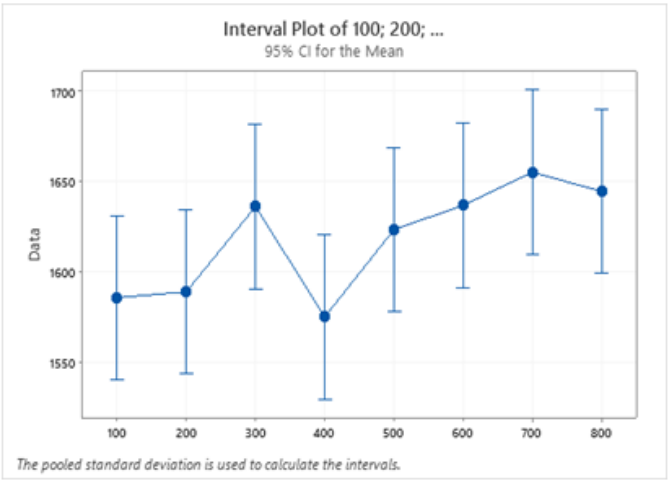
Factor	Levels	Values
Factor	8	100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
61,3769	36,47%	30,30%	21,57%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	7	155717	22245	5,91	0,000
Error	72	271233	3767		
Total	79	426950			



55 tex, friksiyon tekstüre, oktolobal kesitli filamentli iplik
Minitab Çıktısı
One Way Anova Testi

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	8	100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
72,1148	14,85%	6,57%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	7	65317	9331	1,79	0,102
Error	72	374439	5201		
Total	79	439756			

P14-9 Bezayağı Laminasyonlu Kumaşının Farklı Hızlarda Kopma Mukavemeti Testi Sonuçları

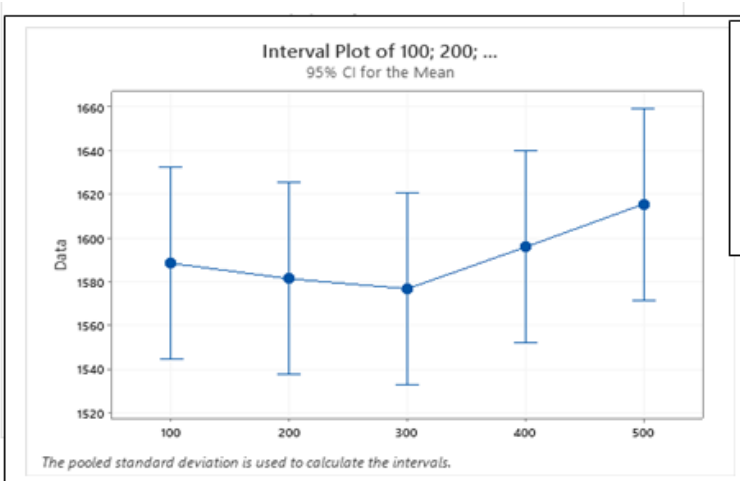
Kopma Mukavemeti Testi	100 mm /dk		200 mm /dk (TSL2105 G Standartı hızı)		300 mm /dk		400 mm /dk		500 mm /dk	
Ölçüm No	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması ε (%)
1. Ölçüm	1661	62	1655	64	1654	58	1669	57	1637	61
2. Ölçüm	1678	59	1653	58	1608	61	1672	57	1605	60
3. Ölçüm	1642	58	1650	58	1615	58	1639	60	1586	62
4. Ölçüm	1616	55	1646	59	1553	60	1620	59	1594	64
5. Ölçüm	1608	57	1701	60	1569	57	1614	58	1607	57
6. Ölçüm	1618	58	1464	59	1527	55	1553	59	1552	61
7. Ölçüm	1537	58	1489	60	1496	61	1536	57	1514	55
8. Ölçüm	1587	61	1492	60	1575	59	1581	58	1718	62
9. Ölçüm	1513	56	1478	59	1624	62	1531	58	1685	62
10. Ölçüm	1424	56	1585	57	1546	59	1523	58	1657	62
Ortalama	1588	58	1581	59,4	1576,7	59	1596	58	1616	61

EK 5

T27- 16 Dimi 2/2 Laminasyonlu Kumaşının Farklı Hızlarda Kopma Mukavemeti Testi Sonuçları

Kopma Mukavemeti Testi	100 mm /dk		200 mm /dk (TSL2105 G Standartı hızı)		300 mm /dk		400 mm /dk		500 mm /dk	
Ölçüm No	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması Ɛ (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması Ɛ (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması Ɛ (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması Ɛ (%)	KOPMA KUVVETİ F max. (N)	Kopma Uzaması Ɛ (%)
1. Ölçüm	1982	42	2073	45	1986	51	1909	41	1957	40
2. Ölçüm	**2034**	43	2032	48	**1984**	47	1899	46	1940	44
3. Ölçüm	1947	42	2074	48	2047	48	1990	47	1976	42
4. Ölçüm	1882	39	2032	49	2060	50	1814	41	1937	38
5. Ölçüm	2013	46	2068	48	2046	48	2025	45	1994	44
6. Ölçüm	2089	45	**2075**	49	1906	44	1891	43	**1951**	43
7. Ölçüm	2057	42	2066	50	2016	49	1897	45	1939	44
8. Ölçüm	2025	43	2136	52	1977	41	**1994**	45	1925	46
9. Ölçüm	2086	44	1997	51	1891	43	2030	45	1944	47
10. Ölçüm	2027	43	2033	47	2073	49	2067	45	1998	44
Ortalama	2014	42,9	2059	49	1998,6	47	1952	44	1956	43

EK 6



P14-9 Bezayağı laminasyonlu kumaş Minitab çıktısı. One Way Anova Testi

Factor Information

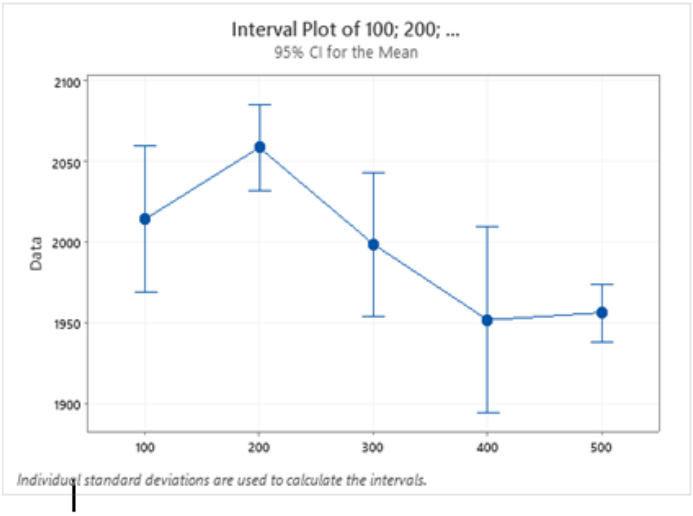
Factor	Levels	Values
Factor	5	100; 200; 300; 400; 500

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
68,9726	4,15%	0,00%	0,00%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	9272	2318	0,49	0,745
Error	45	214075	4757		
Total	49	223346			



T27-16 Dimi 2/2 lamiansyonlu kumaş Minitab çıktısı One Way Anova Testi

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	5	100; 200; 300; 400; 500

Model Summary

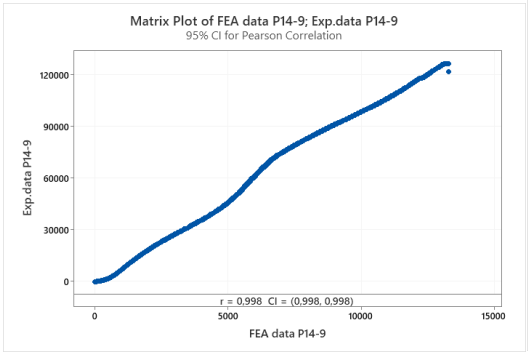
R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
34,55%	28,73%	19,20%

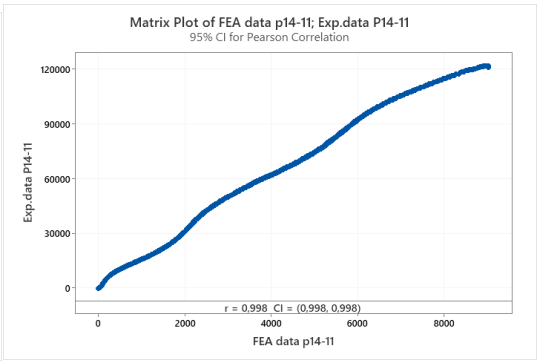
Welch's Test

Source	DF Num	DF Den	F-Value	P-Value
Factor	4	21,4005	12,69	0,000

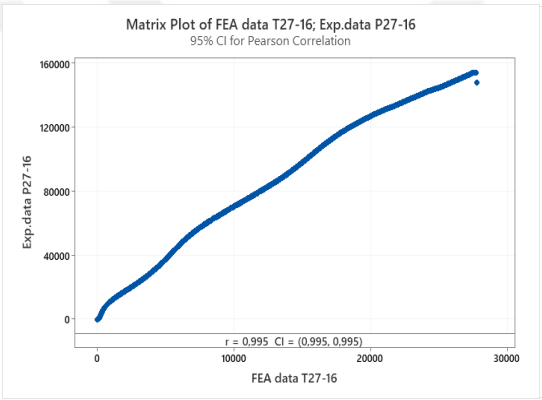
EK 7

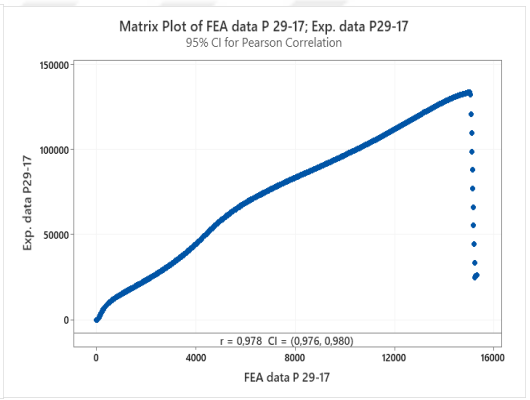
Bezayağı kumaşların korelasyon eğrileri:

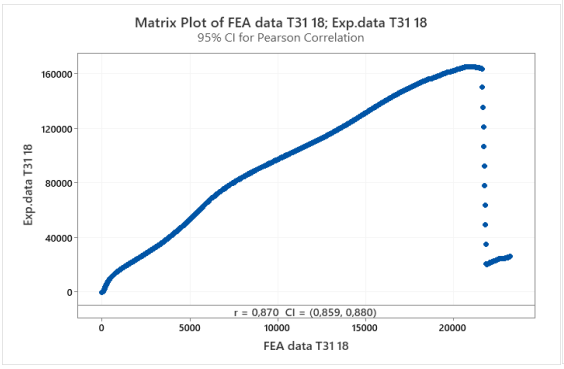


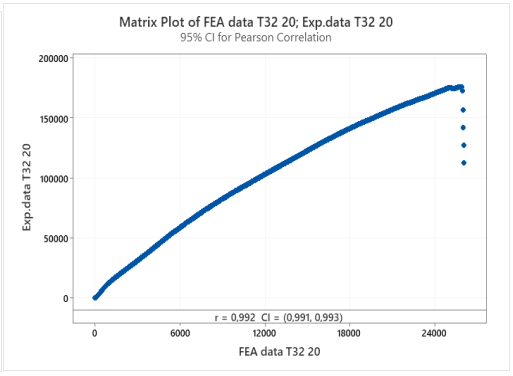


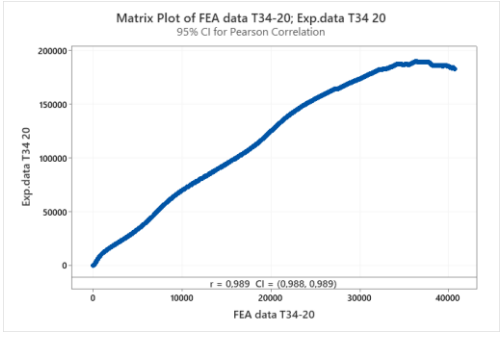
Dimi 2/2 kumaşların korelasyon eğrileri:





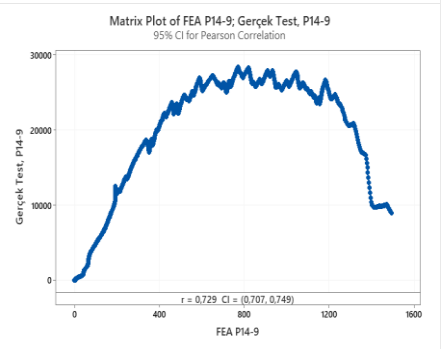


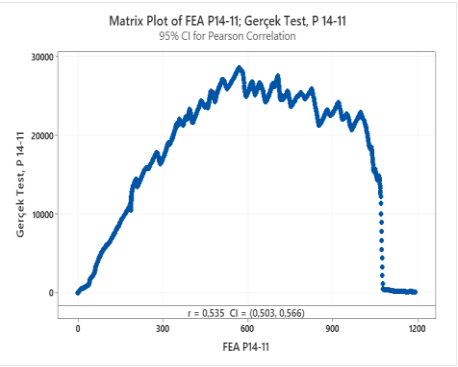




EK 8

Bezayağı kumaşların yırtılma korelasyon eğrileri





Dimi 2/2 kumaşların yırtılma korelasyon eğrileri

