

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ BOYUTLU DOKUMA KUMAŞLARIN
MODELENMESİ VE ANALİZİ

Mehmet KORKMAZ

Mart, 2021

İZMİR

ÜÇ BOYUTLU DOKUMA KUMAŞLARIN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Mehmet KORKMAZ

Mart, 2021

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

MEHMET KORKMAZ, tarafından **PROF. DR. AYŞE OKUR** yönetiminde hazırlanan “**ÜÇ BOYUTLU DOKUMA KUMAŞLARIN MODELLENMESİ VE ANALİZİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Ayşe OKUR

Yönetici

.....
Prof. Dr. Emine Çınar YENİ

Tez İzleme Komitesi Üyesi

.....
Doç. Dr. Tuba ALPYILDIZ

Tez İzleme Komitesi Üyesi

.....
Prof. Dr. Abdulkadir BİLİŞİK

Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Arzu MARMARALI

Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim sırasında bana destek olan, yardımlarını esirgemeyen ve fikirleri ile beni yönlendiren çok değerli kişiler oldu. Bu kişiler sayesinde eğitim sürecimin sonunda mesleki ve kişisel anlamda önemli kazanımlar elde ettim. Öncelikle, bu süreçte engin bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren ve karşılaştığım her zorlukta bana destek olan tez danışmanım Prof. Dr. Ayşe OKUR' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimim sırasında Gemtex Laboratuvarı/ Ensait/ Roubaix/ Fransa' da Prof. Dr. François BOUSSU ile çalışma fırsatı yakaladım ve kendisinden çok değerli bilgiler edindim. Doktora eğitimime sağladığı büyük katkılardan dolayı kendisine şükranlarımı sunarım. Ayrıca, değerli fikirleri ve bilgi birikimi ile tezimin birçok aşamasında bana yardımcı olan Doç. Dr. Ahmad Rashed LABANIEH' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Teşekkürlerime doktora tez izleme komitesinde bulunan ve eğitimim süresince engin bilgi birikimleri ile beni yönlendiren Prof. Dr. Emine Çınar YENİ ve Doç. Dr. Tuba ALPYILDIZ' ile devam etmek isterim. Ayrıca kumaşlarımın üretilmesi ve test edilmesi aşamalarında önemli yardımları olan Gemtex Laboratuvarı çalışanları Müh. Frederick VEYET, Tekn. Nicolas DUMONT ve Tekn. Valentin LAURENT' e teşekkürlerimi sunarım. Doktora eğitimim süresince bana her zaman destek ve yardımcı olan değerli arkadaşım ve meslektaşım Murat DEMİR' e de teşekkürü borç biliyorum.

Eğitim hayatımda ve mesleki kariyerimde ailemin desteğini her zaman yanımda hissettim. Elde edebildiğim başarılarda çok büyük katkıları olan babam H. Hüseyin KORKMAZ, annem Nuray KORKMAZ ve kardeşim Melih KORKMAZ' a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Son olarak, 2211 kodlu burs ile doktora eğitimi almamı sağlayan ve 2214-A kodlu burs programı ile bilimsel açıdan daha nitelikli ve derinlikli tez hazırlamam için bana destek olan Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet KORKMAZ



ACKNOWLEDGEMENT

During my doctoral studies, there have been so valuable people who are supported, helped and directed me. I achieved the lots of precious gains which are professional and personal thanks to them. First of all, I would like to thank my PhD supervisor, Prof. Dr. Ayşe OKUR, guiding me with her immense knowledge and experiences and supporting me whenever I encounter every difficulty throughout this work.

I had an opportunity to work with Prof. Dr. François BOUSSU in the Gemtex Laboratory/ Ensait/ Roubaix/ France and acquired inestimable knowledge from him during my PhD. I appreciate to him for his enormous contribution on my PhD. I also would like to express my thank to Assoc. Prof. Dr. Ahmad Rashed LABANIEH who helped me with his precious ideas and knowledge in the good deal of sections of my PhD.

I would like to expand my appreciation with Prof. Dr. Emine Çınar YENİ and Assoc. Prof. Dr. Tuba ALPYILDIZ who are served in my PhD committee and directed me with their invaluable knowledge during my education. I also would like to thanks Eng. Frederick VEYET, Techn. Nicolas DUMONT and Techn. Valentin LAURENT, who are work in Gemtex Laboratory, for their helps the production and testing of my fabrics. I own another thank to my friend and colleague Murat DEMİR for his support and help during my PhD.

I have always felt my family support with me in my educational and professional life. I appreciate to my father, H. Hüseyin KORKMAZ, my mother, Nuray KORKMAZ and my brother, Melih KORKMAZ, who have great contributions on my obtained successes.

Lastly, I would like to give my thanks to The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) provided me with a scholarship, which is 2211, to begin my PhD and supported me with a scholarship, which is 2214-A, to prepare scientifically more qualified and comprehensive PhD thesis.

Mehmet KORKMAZ



ÜÇ BOYUTLU DOKUMA KUMAŞLARIN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

ÖZ

Üç boyutlu (3B) kumaşlar, iplik ya da liflerin birbirine dik üç düzlemin tümünde yer aldığı tek bir kumaş sistemi olarak tanımlanmaktadır. 3B dokuma kumaşlar entegre ve mukavim yapıları ile bu kumaş türleri içerisinde ayrı bir öneme sahiptir. 3B dokuma kumaşlar ve kompozitleri düzlem ve kalınlıkları yönündeki üstün özellikleri sayesinde havacılık, savunma, medikal ve otomotiv gibi farklı sektörlerde kullanılabilir. Doktora tez çalışması kapsamında farklı yapısal özelliklere sahip 3B örgü interlok karbon dokuma kumaşların üretilmesi ve çeşitli yükler altındaki davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Eksenel örgü ipliğinin kumaştaki mevcudiyeti, bağlayıcı örgü ipliğinin açı ve derinlik parametreleri ve kumaş örgü raporuna göre farklılaştırılan kumaşlara uzama, eğilme, kayma ve şekil alabilirlik testleri uygulanmıştır. Kumaşların karmaşık şekil alabilirlik davranışlarının aydınlatılabilmesi için maksimum şekil alabilirlik yükü, çekilme miktarları, bölgesel kayma açısı ve kilitlenme açısı değerleri analiz edilmiş ve şekil alabilirlik açısından en uygun kumaş yapısı belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca istatistiksel yöntemler kullanılarak 3B örgü interlok karbon dokuma kumaşların mekanik özelliklerinin detaylı olarak analiz edilebilmesi sağlanmış ve şekil alabilirlik özelliklerinin tahminlenebilmesi için modeller geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu örgü interlok dokuma kumaş, karbon lifi, mekanik özellikler, şekil alabilirlik davranışı, çekme, eğilme, kayma

MODELLING AND ANALYSIS OF THREE DIMENSIONAL WOVEN FABRICS

ABSTRACT

Three dimensional (3D) fabrics can be defined as a single fabric system, where constituent yarns are disposed in three perpendicular directions of the structure. 3D woven fabrics have a particular importance among these type of fabrics with their integrated and resistance structure. 3D woven fabrics and their reinforced composites can be used in various industries such as aviation, defense, medical and automotive thanks to their outstanding properties in- plane and out- of- plane directions. It was purposed in this PhD thesis that producing the 3D warp interlock carbon fabrics, which have different structural properties and investigating their behaviors under distinct types of loads. The tensile, shear, bending and formability tests were applied to the fabrics, which were diversified according to the presence of stuffer warp yarns, the parameters of binding warp yarns and the weave report. As the complex formability behavior of fabrics could be clarified, the maximum formability load, draw- in distances, local shear angle and locking angle values were analyzed and the optimal structure was determined. Additionally, the further analyses were carried out on the mechanical properties of 3D warp interlock carbon fabrics using the statistical methods and the models were developed to predict the formability properties.

Keywords: Three dimensional warp interlock woven fabric, carbon fibre, mechanical properties, formability behavior, tensile, bending, shear

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ACKNOWLEDGEMENT	v
ÖZ	vii
ABSTRACT.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiv

BÖLÜM BİR- GİRİŞ VE GENEL BİLGİLER 1

1.1 Giriş	1
1.2 Genel Bilgiler ve Önceki Çalışmalar.....	2
1.2.1. Üç Boyutlu Kumaşlar	2
1.2.1.1 Üç Boyutlu Kumaş Üretim Yöntemleri	3
1.2.2 Üç Boyutlu Dokuma Kumaşlar.....	7
1.2.2.1 Üç Boyutlu Çözümler İnterlok Dokuma Kumaşlar.....	7
1.2.3.Üç Boyutlu Çözümler İnterlok Kumaşların Mekanik Özellikleri.....	11
1.2.3.1 3B Çözümler İnterlok Kumaşların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Yapılmış Olan Çalışmalar	12
1.2.4 Üç Boyutlu Çözümler İnterlok Kumaşların Şekil Alabilirlik Özellikleri	21
1.2.4.1. Tekstil Malzemelerine Uygulanan Şekil Alabilirlik Testleri.....	23
1.2.4.2. Şekil Alabilirlik Testi ile Belirlenen Kumaş Özellikleri.....	26
1.2.4.3 Kumaşların Şekil Alabilirlik Özellikleri Üzerine Yapılmış Olan Çalışmalar	28
1.2.5. Üç Boyutlu Çözümler İnterlok Kumaşların Şekil Alabilirlik Özelliklerinin Modellenmesi.....	35
1.2.5.1 Üç Boyutlu Çözümler İnterlok Kumaşların Şekil Alabilirlik Özelliklerinin Bilgisayar Destekli Numerik Yöntemler ile Modellenmesi.....	35
1.2.5.2 Üç Boyutlu Çözümler İnterlok Kumaşların Şekil Alabilirlik	

Özelliklerinin Bilgisayar Destekli Numerik Yöntemler ile Modellenmesi Üzerine Yapılmış Olan Çalışmalar	39
1.3 Çalışmanın Amacı	43
BÖLÜM İKİ- MATERYAL VE METOT	45
2.1 Materyal.....	45
2.1.1 Ham madde	45
2.1.2 Prototip Dokuma Makinesi.....	45
2.1.3 Çalışma kapsamındaki 3B Çözümlü İnterlok Kumaşların Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi.....	51
2.1.4 Kumaş Üretimi.....	54
2.1.4.1 Çözgü Çözme İşlemi	54
2.1.4.2 Tahar İşlemi	56
2.1.4.3 Kumaş Üretimine Başlanması ve Karşılaşılan Sorunlar	57
2.2 Metot	58
2.2.1 Kumaş Testleri.....	58
2.2.1.1 Kumaş Birim Alan Ağırlığının Belirlenmesi	59
2.2.1.2 Kumaş Kalınlık Değerinin Belirlenmesi	59
2.2.1.3 Kumaş Lif/ Hacim Oranlarının Belirlenmesi	59
2.2.1.4 İplik Çekme Testi.....	61
2.2.1.5 Kumaş Çekme Testi	61
2.2.1.6 İplik Kıvrım Oranının Belirlenmesi	62
2.2.1.7 Kumaş Eğilme Testi.....	63
2.2.1.8 Kumaş Kayma Testi.....	64
2.2.1.9 Kumaş Şekil Alabilirlik Testi.....	67
2.2.2 İstatistiksel Analiz	71
BÖLÜM ÜÇ- BULGULAR VE TARTIŞMA.....	73
3.1 Bulgular	73
3.1.1 Kumaş Birim Alan Ağırlığı Sonuçları	73

3.1.2 Kumaş Kalınlık Ölçümü Sonuçları.....	74
3.1.3 Kumaş Lif/ Hacim Oranı Sonuçları.....	76
3.1.4 Karbon İpliği Çekme Testi Sonuçları	76
3.1.5 İplik Kıvrım Oranı Ölçüm Sonuçları	79
3.1.6 Kumaş Çekme Testi Sonuçları	80
3.1.7 Kumaş Eğilme Testi Sonuçları	91
3.1.8 Kumaş Kayma Deformasyonu Ölçüm Sonuçları.....	93
3.1.9 Kumaşların Şekil Alabilirlik Test Sonuçları.....	96
3.1.9.1 Kumaşların Belirlenen Maksimum Şekil Alabilirlik Yük Değerleri .	96
3.1.9.2 Kumaşların Maksimum Çekilme Miktarı Analizi Sonuçları	99
3.1.9.3 Kumaşların Bölgesel Kayma Açısı Analizi Sonuçları	100
3.1.10 Kumaş İstatistiksel Analiz Sonuçları.....	106
3.1.10.1 Kumaşların Yapısal ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi	107
3.1.10.2 Kumaşların Şekil Alabilirlik ve Diğer Parametreleri Arasındaki İlişki	109
3.1.10.3 Kumaş Şekil Alabilirlik Özelliğinin Tahminlenmesi.....	111
3.2 Tartışma.....	112
BÖLÜM DÖRT- SONUÇ VE ÖNERİLER.....	116
KAYNAKLAR	119

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Çeşitli Örme Sandviç Kumaşlar.....	3
Şekil 1.2 3B Diyagonal Dokuma Makinesi	4
Şekil 1.3 Dişli Katlayıcı ile Kumaş Üretimi	5
Şekil 1.4 İğneleme (Tufting) İşlemi	5
Şekil 1.5 3B kumaş üretimi yapabilen dikiş makinesi	6
Şekil 1.6 3B kumaş üretimi yapabilen dokuma makinesi	7
Şekil 1.7 3B Çözümlü İnterlok Kumaş	8
Şekil 1.8 Bağlayıcı ipliğin kumaş içerisinde sahip olduğu parametrelere göre 3B çözümlü interlok kumaşlar	8
Şekil 1.9 Farklı örgü raporlarına sahip 3B çözümlü interlok kumaş simülasyonları	9
Şekil 1.10 İnterlok A-L 5-3 4 {1x5 dimi}	10
Şekil 1.11 Kompozit malzeme üretiminde tekstil malzemelerinin şekillendirilmesini sağlayan otomatik sistem	22
Şekil 1.12 Şekil Alabilirlik Test Düzenliği	23
Şekil 1.13 Şekil alabilirlik testinde uygulanan farklı yöntemler ve kumaş- plaka boyutları	24
Şekil 1.14 Bası kafası türleri	25
Şekil 1.15 Dörtüzlü bası kafası kullanımı ile kumaşa şekil alabilirlik testinin Uygulanması	27
Şekil 1.16 Farklı kumaş türlerinin sahip olduğu şekil alabilirlik enerjileri.....	28
Şekil 1.17 Kayma deformasyonu uygulanan dokuma kumaşa kıvrım oluşumu	30
Şekil 1.18 Şekil alabilirlik testi esnasında oluşan kıvrım ve burkulma bölgeleri	32
Şekil 1.19 Tarama işlemi ve analiz sonucu.....	35
Şekil 1.20 Yarım küre ile şekil verilen kumaş	38
Şekil 2.1 Prototip dokuma makinesi	46
Şekil 2.2 Makine kafa kısmı ve kol mekanizması.....	47
Şekil 2.3 Kontrol cihazı, güç ünitesi, armür mekanizması	47
Şekil 2.4 DB Weave, pointcarre yazılımları ve transfer işlemi.....	48
Şekil 2.5 Pnömatik sistem, pedallar ve atkı atma mekanizması	49

Şekil 2.6 Levent cağılığı ve levent ağırlıkları	50
Şekil 2.7 Birinci ve ikinci çelik bar grupları	51
Şekil 2.8 Kumaş numune planı	54
Şekil 2.9 Çözgü çözme aparatı ve cağılık	56
Şekil 2.10 Kumaş üretiminde karşılaşılan sürtünme kaynaklı kopuş sorunu.....	57
Şekil 2.11 Üretimi tamamlanan bir 3B çözgü interlok karbon kumaş	58
Şekil 2.12 Hazırlanan test numuneleri	59
Şekil 2.13 Instron 5900 Çekme test cihazı ve düzeneğı	62
Şekil 2.14 O-KB 5-4 4 {3x3 Dimi} kumaşın iplik gruplarının kıvrım oranları.....	63
Şekil 2.15 Eğilme testi numunesi ve test aparatı.....	63
Şekil 2.16 İplikler arası kayma problemi	64
Şekil 2.17 Test numunesi, boyutları ve kayma yükü altında deforme olmuş hali	65
Şekil 2.18 Kayma deformasyonunun gerçekleştirildiğı test cihazı ve test düzeneğı .	66
Şekil 2.19 GOM Correlate 2018 programı arayüzü	67
Şekil 2.20 İplikler arası kayma probleminin gözlemlendiğı ve gözlemlenmediğı testlerin kayma yükü- kayma açısı grafikleri	67
Şekil 2.21 Şekil alabilirlik test cihazı.....	68
Şekil 2.22 Şekil alabilirlik testi uygulanan 3B çözgü interlok karbon kumaş	69
Şekil 2.23 İnterlok O-KB 3-4 4 {3x3 Panama} kumaşın deforme olmuş ve olmamış durumlarına ait fotoğraflar	70
Şekil 2.24 Şekil alabilirlik testi uygulanmış kumaş ve analiz noktaları	71
Şekil 2.25 IBM SPSS Statistics 24 programı arayüzü	72
Şekil 3.1 Kumaşların birim alan ağırlık değeri.....	74
Şekil 3.2 Kumaşların kalınlık değeri	75
Şekil 3.3 Karbon ipliğinin kopma önce ve sonrasına ait görünümüleri	77
Şekil 3.4 Karbon ipliğı çekme yükü- uzama grafiğı	78
Şekil 3.5 Karbon ipliğı maksimum çekme yükü değeri.....	79
Şekil 3.6 3B çözgü interlok karbon kumaşın kopma davranışına ait fotoğraflar.....	80
Şekil 3.7 Kumaşların çözgü yönündeki yük- uzama grafikleri.....	82
Şekil 3.8 Kumaşların çözgü yönündeki kopma yük değeri	83
Şekil 3.9 Kumaşların çözgü yönündeki uzama modül değeri.....	84
Şekil 3.10 Kumaşların atkı yönündeki yük- uzama grafikleri	86

Şekil 3.11 Kumaşların atkı yönündeki kopma yük değerleri.....	87
Şekil 3.12 Kumaşların atkı yönündeki uzama modül değerleri.....	88
Şekil 3.13 Kumaşların çözgü ipliği yönünde kopma enerjisi ve katsayı değerleri	89
Şekil 3.14 Kumaşların atkı ipliği yönünde kopma enerjisi ve katsayı değerleri.....	90
Şekil 3.15 Kumaşların atkı ve çözgü iplikleri yönündeki eğilme rijitliği değerleri...	92
Şekil 3.16 Kumaşların kayma yükü- kayma açısı grafikleri	94
Şekil 3.17 O-KB 5-4 4 {3x3 dimi} kumaşın teorik olarak hesaplanan ve ölçülen açı değerleri.....	95
Şekil 3.18 Kumaşların kilitleme açısı değerleri	95
Şekil 3.19 Kumaşların şekil alabilirlik yükü- zaman grafikleri	97
Şekil 3.20 Kumaşların maksimum şekil alabilirlik kuvveti değerleri.....	99
Şekil 3.21 Kumaşların çözgü ve atkı yönlerinde maksimum çekilme miktarları	100
Şekil 3.22 Farklı şekil alabilirlik davranışı gösteren kumaşların deformasyon alanlarının şematik dağılımı	101
Şekil 3.23 Eksenel çözgü ipliği içeren kumaş grubunun bölgesel kayma açısı değerleri.....	102
Şekil 3.24 Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaş grubunun bölgesel kayma açısı değerleri.....	104
Şekil 3.25 Eksenel çözgü ipliği içeren kumaş grubunun farklı deformasyon bölgelerine ait oranlar	105
Şekil 3.26 Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaş grubunun farklı deformasyon bölgelerine ait oranlar	105
Şekil 3.27 Kumaşları kopma enerjisi ve maksimum şekil alabilirlik yük değerleri.	114
Şekil 3.28 Kumaşların kilitleme açısı değerleri	115

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Üretici firma tarafından verilen iplik mekanik özellikleri	45
Tablo 2.2 Eksenel çözgü ipliği içermeyen 3B çözgü interlok kumaşlar.....	52
Tablo 2.3 Eksenel çözgü ipliği içeren 3B çözgü interlok kumaşlar.....	53
Tablo 3.1 Kumaşların birim alan ağırlık değerleri.....	74
Tablo 3.2 Kumaşların kalınlık değerleri	76
Tablo 3.3 Kumaşların lif/ hacim oranları.....	77
Tablo 3.4 Kumaşların iplik gruplarının kıvrım oranı değerleri.....	79
Tablo 3.5 Kumaşların kopma enerjisi değerleri ve katsayıları	90
Tablo 3.6 Kumaşların atkı ve çözgü iplikleri yönündeki eğilme rijitliği değerleri....	92
Tablo 3.7 Kumaşların kilitlenme açısı değerleri	96
Tablo 3.8 Kumaş üzerinde oluşan deformasyon bölgeleri ve renkleri.....	101
Tablo 3.9 İstatistiksel analizlerde kullanılan kısaltmaların tam açıklamaları	106
Tablo 3.10 Kumaş yapısal ve mekanik özellikleri arasında hesaplanan korelasyon katsayıları	109
Tablo 3.11 Kumaşların şekil alabilirlik ve diğer parametreleri arasında belirlenen korelasyon katsayıları.....	111

BÖLÜM BİR

GİRİŞ VE GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Üç boyutlu (3B) kumaşlar, iplik ya da liflerin birbirine dik üç düzlemin tümünde yer aldığı tek bir kumaş sistemi olarak tanımlanmaktadır. Kalınlıkları doğrultusunda bulunan iplikler, 3B kumaşların geleneksel tekstil ürünlerine nazaran bu yönde daha iyi mekanik özelliklere sahip olmalarını sağlamaktadır. 3B kumaşlar farklı üretim yöntemleri ile elde edilebilmektedir. Dokuma işlemi, entegre ve mukavim 3B kumaşların üretimine olanak sağladığı için bu yöntemler arasında önemli bir yere sahiptir.

Çeşitli mekanizmaları modifiye edilmiş ya da baştan tasarlanmış dokuma makineleri ile üretilebilen 3B çözgü interlok kumaşlarda bağlayıcı çözgü iplikleri ile kumaş katmanlarının birbirlerine bağlanması sağlanmaktadır. Kalınlıkları yönünde ayrı bir boyuta sahip olan 3B çözgü interlok kumaşlar geleneksel dokuma kumaşlara göre daha fazla sayıda yapısal parametreye (kumaş kat sayısı, iki veya daha fazla sayıda farklı iplik grubu, bağlayıcı çözgü ipliğinin açısı ve derinlik parametreleri vs.) sahiptir.

3B çözgü interlok kumaşlar ile düzlemsel ve kalınlıkları yönünde iyi mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilebilmekte ve yapısal özelliklerinin farklılaştırılması ile hedeflenen mekanik özelliklere sahip son ürün elde edilebilmektedir. Bu durum, kumaş ya da kompozit malzeme üreticileri için önemli bir tasarım avantajı ve esnekliği sunmaktadır.

3B kumaşların fazla sayıda kumaş yapısal parametresi içermeleri, istenen son ürün özelliklerinin elde edilebilmesi için optimum yapısal özelliklerin belirlenebilmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca dokuma teknolojisi açısından yeni sayılabilecek bir üretim yöntemine sahip olmaları da mekanik özelliklerinin aydınlatılabilmesi için daha fazla test sonucuna ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır.

3B çözgü interlok kumaşlar genellikle kompozit ve balistik amaçlı uygulamalar için kullanıldıklarından üretimlerinde cam, karbon, para- aramid ve yüksek molekül ağırlıklı polietilen gibi fonksiyonel lifler tercih edilmektedir. Karbon lifleri sahip oldukları yüksek kopma mukavemeti ve düşük uzama oranı ile özellikle kompozit malzemeler için önemli ham maddelerden birini oluşturmaktadır. Bu duruma karşın düşük aşınma direnci gösterdikleri için dokunmaları sırasında önemli mukavemet kayıpları ortaya çıkabilmektedir. 3B dokuma kumaşların üretildiği makinelerde iplikler yüksek derecede gerginlik değişimi ve sürtünmeye maruz kalabildikleri için karbon ipliğinin mukavemet kaybı oldukça yüksek seviyelere ulaşabilmektedir. Karbon lifleri ile 3B çözgü interlok kumaşların üretilmesi aşamasında karşılaşılan problemler, literatürde yapılan çalışmaların ve test sonuçlarının diğer ham madde türlerine göre daha az sayıda olmasına yol açmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında 3B çözgü interlok karbon kumaşların prototip dokuma makinesi ile üretilmesi ve karmaşık mekanik davranışlarının aydınlatılabilmesi hedeflenmiştir.

1.2 Genel Bilgiler ve Önceki Çalışmalar

1.2.1 Üç Boyutlu Kumaşlar

Sahip olduğu üç temel eksenin tümünde lif veya iplik grupları içeren üç boyutlu (3B) kumaşlar; geleneksel tekstil üretim yöntemleri ile elde edilmiş kumaşlara göre kalınlıkları yönünde daha iyi mekanik özellikler göstermektedir. Geleneksel tekstil üretim yöntemleri ile elde edilen kumaşlar yeterli yakınlık derecesinde incelendiğinde; doğal olarak üç boyutlu bir içyapıya sahip oldukları gözlemlenebilmektedir. 3B kumaşlar ile kastedilen; makro geometrik açıdan üç boyutlu olan ya da ipliklerin kalınlık yönünde yer aldığı kumaş türleridir.

Üç boyutlu kumaşlar genel olarak:

- i) Makro geometrik açıdan üç boyutlu olan tek katlı kumaşlar,
- ii) Çok katlı ve katları arasında boşluklara sahip olan kumaşlar,
- iii) Çok katlı ve kalınlığı eni boyunca değişim göstermeyen kumaşlar,

iv) Çok katlı ve makro geometrik açıdan üç boyutlu şekle sahip olan kumaşlar olarak sınıflanmaktadır (Hearle, 2015).

3B kumaşlar aşağıdaki bölümde özetlenen farklı tekstil üretim yöntemleri ile elde edilebilmektedir.

1.2.1.1 Üç Boyutlu Kumaş Üretim Yöntemleri

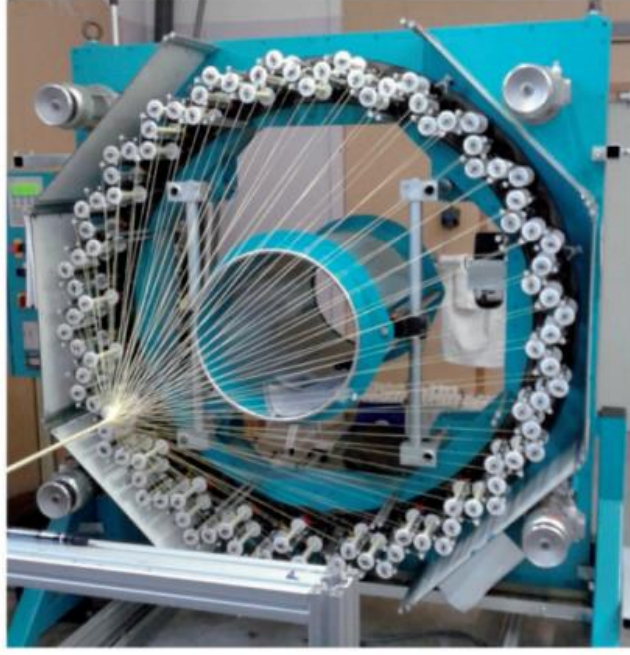
3B kumaşlar örme, diyagonal dokuma (braiding), dokusuz yüzey oluşturma (non-woven), kumaş katlarının iplik kullanılarak ya da kullanılmadan iğnelenmesi (tufting), dikme ve dokuma yöntemleri ile üretilebilmektedir.

1.2.1.1.1 Örme. 3B örme kumaşlar atkı ve çözgü örmeciliği yöntemleri ile üretilebilmektedir. Atkı örmeciliği ile karmaşık şekillere sahip 3B kumaşlar kolay bir şekilde elde edilebilmektedir. Çözgü örmeciliği ise genellikle sandviç ve çok eksene sahip 3B örme kumaşların üretilmesinde tercih edilmektedir. Şekil 1.1’ de çeşitli sandviç örme kumaşlar gösterilmektedir.



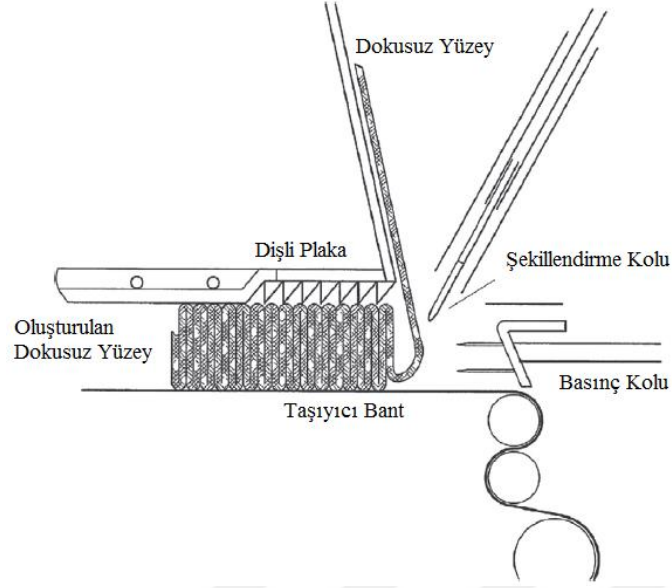
Şekil 1.1 Çeşitli örme sandviç kumaşlar (Ertekin ve Marmaralı, 2010)

1.2.1.1.2 Diyagonal Dokuma (Braiding). Diyagonal dokuma (saç örgüsü) yöntemi ile ipliklerin kumaşın farklı eksenlerinde yer aldığı, son ürün şekline sahip 3B kumaşlar kolay ve hızlı bir şekilde üretilebilmektedir. Diyagonal dokuma makineleri; bobin hareket mekanizması çeşidi, makine yatağı şekli, yapısında bulunan iplik gruplarının sayısı ve ipliklerin birbirleri ile yaptığı bağlantı şekline göre sınıflandırılabilir. Şekil 1.2’ de 3B diyagonal dokuma makinesi gösterilmektedir.



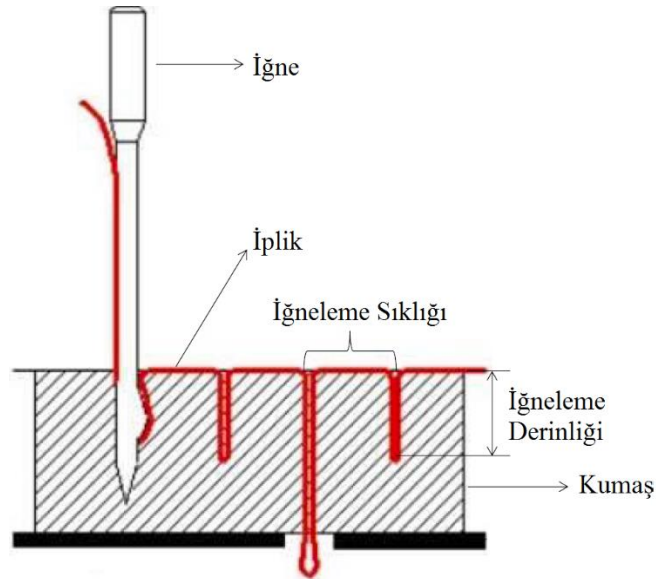
Şekil 1.2 3B diyagonal dokuma makinesi (Boris, Xavier ve Damien, 2018)

1.2.1.1.3 Dokusuz Yüzey Oluşturma (Non- Woven). 3B kumaş üretiminde, geleneksel dokusuz yüzeylerin üretiminde olduğu gibi istenen kalınlık derecesine sahip yüzey oluşturulmakta ve sağlamlaştırma işlemi uygulanmaktadır. Kumaş kalınlığı yönünde lif oryantasyonunun sağlanabilmesi için farklı üretim yöntemleri de kullanılabilmektedir. Şekil 1.3' te dişli katlayıcı (Vertical lapper with shark plate) ile 3B dokusuz yüzey oluşumu gösterilmektedir.



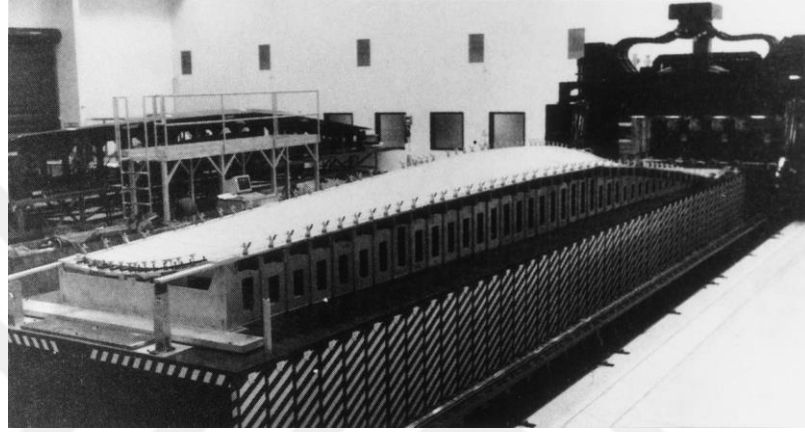
Şekil 1.3 Dişli katlayıcı ile kumaş üretimi (Cooper ve Roberts, 2008)

1.2.1.1.4 İğneleme (Tufting). 3B kumaş oluşumu açısından oldukça basit ve etkili bir yöntem olan iğneleme; temelde dikim işlemi esasına dayanmaktadır. Katlar halinde bulunan kumaşlara bir iğne vasıtası ile kalınlıkları yönünde iplik yerleştirilmektedir. İşlemde kullanılan ipliğin sürekli olarak beslenmesi sağlanmakta, dikiş işleminden farklı olarak kumaşta iplik halkası oluşturulmamaktadır. Şekil 1.4.' te iğneleme işlemi gösterilmektedir.



Şekil 1.4 İğneleme (tufting) işlemi (Hui, Wang ve Legrand, 2019)

1.2.1.1.5 Dikme. Bir araya getirilen kumaş katlarının dikilmesi ile 3B kumaş oluşumu sağlanmaktadır. Dikim işlemi ile kalınlıkları yönünde yüksek mukavemete sahip kumaşlar üretilebilmektedir. Şekil 1.5’ te NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından kompozit malzeme üretimi için geliştirilen bir dikiş makinesi gösterilmektedir. 28 m uzunluğa sahip bu makine ile 15 m uzunluk, 3 m genişlik ve 40 mm kalınlık değerine kadar kumaş üretimi yapılabilmektedir.



Şekil 1.5 3B kumaş üretimi yapabilen dikiş makinesi (Brown, 1997)

1.2.1.1.6 Dokuma. Geleneksel dokuma makinelerinin modifiye edilmesi ya da 3B kumaş üretimi için tasarlanan makineler ile kumaş üretimi sağlanabilmektedir. İplik grupları yapıya oldukça düşük bir kıvrım oranı ile dahil olabildikleri ve entegre bir yapı oluşturdıkları için düzlemsel ve kalınlığı yönünde mukavim kumaşlar elde edilebilmektedir. Şekil 1.6’ da jakarlı ağızlık açma sistemine sahip, 3B kumaş üretimi yapan bir dokuma makinesi gösterilmektedir.



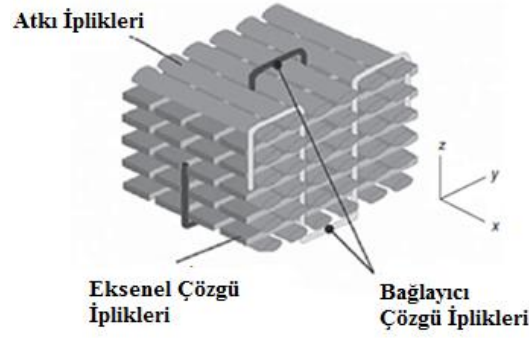
Şekil 1.6 3B kumaş üretimi yapabilen dokuma makinesi (Composite System, 2020)

1.2.2 Üç Boyutlu Dokuma Kumaşlar

3B dokuma kumaşlar iki ya da daha fazla sayıdaki iplik grubunun birbirleri ile bağlantı yapması sonucu oluşturdukları entegre yapılardır. Geleneksel dokuma kumaşlardan farklı olarak kumaş katları bağlayıcı iplikler yardımı ile birbirlerine bağlanmaktadır. Çok katlı ve kalınlığı eni boyunca değişim göstermeyen 3B dokuma kumaşlar bağlayıcı iplik grubunun atkı ya da çözgü ipliği yönünde bağlantı yapması durumuna göre atkı interlok veya çözgü interlok dokuma kumaşlar olarak adlandırılırlar.

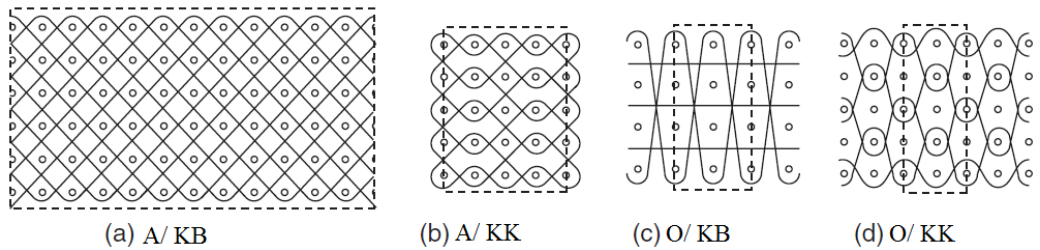
1.2.2.1 Üç Boyutlu Çözgü İnterlok Dokuma Kumaşlar

Bağlayıcı iplik grubunun çözgü ipliği yönünde yer aldığı 3B dokuma kumaş çeşididir. Kumaşın elde edilmek istenen yapısal ve mekanik özelliklerine göre yüzey çözgü ya da eksenel çözgü iplikleri yapılarına dâhil edilebilmektedir. Şekil 1.7’ de bağlayıcı çözgü, eksenel çözgü ve atkı iplikleri içeren 3B çözgü interlok kumaş yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.7 3B çözgü interlok kumaş (Hu, 2008)

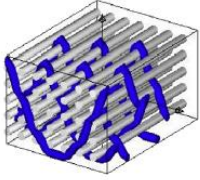
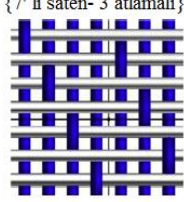
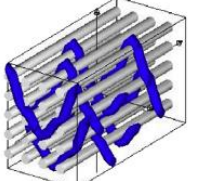
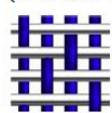
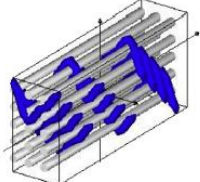
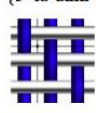
1.2.2.1.1 Üç Boyutlu Çözgü İnterlok Kumaşların Sınıflandırılması. 3B dokuma kumaşlar çeşitli parametrelere bağlı olarak sınıflandırılabilir. Bu parametreler ipliklerin çeşidi ve oluşumu, ipliklerin oryantasyonu ve birbirlerine bağlanma şekilleri, kumaş mikro- meso birim hücreleri ve kumaş makro geometrisi olabilmektedir (Bilisik, 2012). Literatürde 3B dokuma kumaşların sınıflandırıldığı farklı çalışmalar yer almaktadır (Bilisik, 2011; Chen, 2007; Khokar, 1996). Hu (2008) tarafından yapıldığı gibi 3B çözgü interlok dokuma kumaşları, en genel anlamda, bağlayıcı ipliğin kumaş içerisinde sahip olduğu parametrelere göre dört temel sınıfa ayırabilmek mümkündür. Bağlayıcı ipliğin önemli parametrelerinden biri açısıdır ve 3B çözgü interlok kumaşlar ortogonal ve açılı interlok olarak ayrılmaktadır. İkinci parametre ise bağlayıcı ipliğin kumaş içerisindeki bağlama derinliğidir. Bu parametreye göre ortogonal ve açılı interlok kumaşlar kattan kata (KK) veya kalınlık boyu (KB) bağlamalı olarak iki ayrı sınıfa ayrılmaktadır. Şekil 1.8’ de bağlayıcı ipliği parametrelerinin farklı konfigürasyonlarına göre oluşturulan temel 3B çözgü interlok kumaş çeşitleri (3B örgü türleri) gösterilmektedir.



(A: Açılı interlok, O: Ortogonal, KK: Kattan kata bağlamalı, KB: Kalınlık boyu bağlamalı)

Şekil 1.8 Bağlayıcı ipliğin kumaş içerisinde sahip olduğu parametrelere göre 3B çözgü interlok kumaşlar (Hu, 2008)

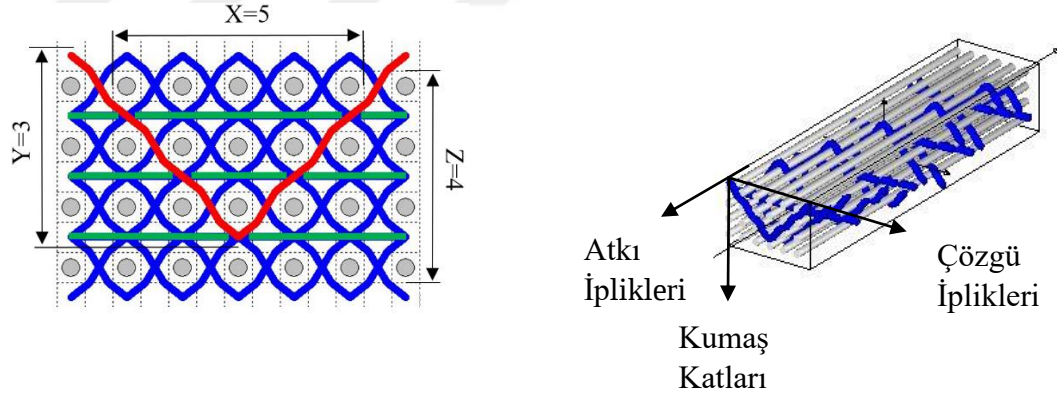
3B çözgü interlok kumaşlarda bağlayıcı çözgü iplikleri kumaşın eni ve boyu doğrultularında örgü raporuna göre tekrar etmektedir. Şekil 1.9’ da farklı örgü raporlarına sahip kumaş simülasyonları gösterilmektedir.

3B Görünüm	Kumaşların Genel Adlandırılması	Bağlayıcı İplik Örgü Raporu
	3B çözgü interlok A- KB 5 6-5 Bağlayıcı {7' li saten- 3 atlamalı} {1 2 3 4 5 6 7 - # - # - # - #}	{7' li saten- 3 atlamalı} 
	3B çözgü interlok A- KK 5 3-3 Bağlayıcı {4' lü saten- atkı efekti} {1 3 5 7 - # - 2 4 6 8 - # - # - #}	{4' lü saten- atkı efekti} 
	3B çözgü interlok A- KK 5 2-2 Bağlayıcı {3' lü dimi- atkı efekti} {1 5 9 - 2 6 10 - 3 7 11 - 4 8 12 - # - #}	{3' lü dimi- atkı efekti} 

Şekil 1.9 Farklı örgü raporlarına sahip 3B çözgü interlok kumaş simülasyonları (Boussu ve diğer., 2015)

1.2.2.1.2 Üç Boyutlu Çözgü İnterlok Kumaşların Adlandırılması. 3B çözgü interlok kumaşlar sahip oldukları kumaş kat sayısı, bağlayıcı çözgü ipliğinin parametreleri, kumaşın içerdiği iki veya daha fazla sayıdaki iplik grupları ile yapısal özellikleri bakımından geleneksel dokuma kumaşlara göre önemli farklılıklar içermektedir. Sözü geçen yapısal özelliklerin çeşitlendirilmesi ile birçok farklı 3B çözgü interlok kumaşın üretilmesi mümkündür. Aynı zamanda bu parametreler kumaşların mekanik özelliklerinin şekillenmesinde oldukça etkilidirler. Bu durumun bir sonucu olarak 3B çözgü interlok kumaşların adlandırılması aşamasında temel yapısal parametrelerin belirtilmesi kumaşın doğru bir biçimde tanımlanabilmesi açısından önemlidir. Boussu ve diğer. (2015) tarafından 3B çözgü interlok dokuma kumaşların adlandırılabilmesi için genelleştirilmiş bir tanımlama sistemi geliştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında üretilen kumaşların tanımlanmasında sözü geçen sistemin eşitlik 1.1’ de gösterilen daha kısa bir formu kullanılmıştır.

Eşitlikte bağlayıcı çözgü ipliğinin adımı X, bir çözgü ipliği tarafından birbirine bağlanan atkı ipliği kat sayısı Y ve kumaşı oluşturan toplam kat sayısı Z ile ifade edilmektedir. Şekil 1.10(a)’ da 3B çözgü interlok kumaşların sahip olabildikleri çeşitli iplik grupları gösterilmektedir. Eksenel çözgü iplikleri (yeşil) kumaş boyunca düz bir formda yer almakta ve bu yöndeki mekanik özellikleri etkilemektedir. Atkı iplikleri (gri), eksenel çözgü ipliklerine dik bir konumda bulunmakta ve kumaş içerisinde katları oluşturmaktadır. Kumaş atkı katlarının bağlayıcı çözgü iplikleri (mavi) ile birbirlerine bağlanması sağlanarak entegre kumaş yapısı elde edilmektedir. Şekil 1.10(a)’ da tek bir bağlayıcı çözgü ipliği kırmızı ile renklendirilerek ipliğin kumaş içerisindeki yolunun daha anlaşılır bir şekilde ifade edilebilmesi amaçlanmıştır. Şekil 1.10(b)’ de kumaşın üç boyutlu simülasyonu gösterilmektedir. Şekil yardımı ile kumaşın ‘1x5 Dimi’ örgü raporuna ile oluşturulduğu görülmektedir. ‘Açılı interlok (A)- kattan kata bağlamalı (KK)’ 3B örgü türündeki kumaş ‘A-L 5-3 4 {1x5 dimi}’ kısa tanımına sahiptir.



Şekil 1.10 İnterlok A-KK 5-3 4 {1x5 dimi} (a) kumaş şematik boyuna kesiti ve farklı iplik grupları, (b) 3B kumaş simülasyonu

1.2.3 Üç Boyutlu Çözümler İnterlok Kumaşların Mekanik Özellikleri

3B çözgü interlok kumaşlar farklı yapısal ve üstün mekanik özellikleri sayesinde havacılık, savunma, medikal ve otomotiv gibi birçok sanayi alanında kumaş ya da kompozit malzeme formunda kullanılabilmektedir.

Geleneksel dokuma kumaşlara göre yapısal özellikleri bakımından daha fazla sayıda kumaş parametresi içermeleri mekanik özelliklerinin farklılaşmasını sağlamıştır. Söz konusu kumaş yapısal parametreleri, istenen mekanik özelliklere sahip 3B çözgü interlok kumaşların üretilmesine olanak sağlamakta ve bu durum kumaş ve kompozit malzeme üreticileri için önemli tasarım avantajları sunmaktadır.

Yapılarında bulunan bağlayıcı çözgü iplikleri kumaş katlarını birbirine bağladığı için 3B çözgü interlok kumaşlar ve kompozitleri kalınlıkları yönünde iyi mekanik özellikler göstermektedir. Bu durumun bir sonucu olarak 3B çözgü interlok kompozit malzemeler katlar arası yüksek kırılma tokluğuna sahiptir (Hu, 2008), ayrıca yüksek katlar arası ayrılma dayanımı, balistik zarar dayanımı ve darbe zarar toleransı göstermektedirler (Ünal, 2012).

Kalınlıkları yönündeki üstün mekanik özelliklerden dolayı 3B çözgü interlok kumaşlar üzerine yapılmış olan çalışmalar balistik (Abtew, Boussu, Bruniaux, Loghin ve Cristian, 2019; Bilisik, 2017; Chu, Ha-Minh ve Imad, 2017; Min, Chai, Chu ve Chen, 2019) ve kompozit malzemeler (Arjmandi ve diğer., 2018; Bilisik, 2012; Tao, Liu, Zhu, Zhu ve Chen, 2017; Xu ve Qiu, 2016) üzerine yoğunlaşmıştır. Dokuma teknolojisi açısından yeni sayılabilecek bir üretim yöntemine sahip olmaları; mekanik özelliklerinin detaylı olarak aydınlatılabilmesi için daha fazla sayıda test sonucunun literatüre kazandırılması ihtiyacını doğurmaktadır.

1.2.3.1 3B Çözü Interlok Kumaşların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Yapılmış Olan Çalışmalar

3B çözgü interlok kumaşların yapısal özelliklerinin mekanik özellikleri üzerine etkileri son yıllarda çalışmaların yoğunlaştığı araştırma konularından birini oluşturmaktadır. Ham madde, kumaş mekanik özelliklerinin şekillenmesi açısından önemli yapısal özelliklerden biridir. Karbon lifleri yüksek mukavemet ve düşük uzama oranı ile kompozit malzemeler için en çok tercih edilen ham maddelerden birini oluşturmaktadır. Bu duruma karşın, düşük aşınma direnci gösterdikleri için dokuma işlemi sırasında mukavemet kaybı yaşanabilmektedirler. 3B çözgü interlok kumaşların üretilmesi aşamasında iplikler yüksek derecede gerginlik değişimi ve sürtünmeye maruz kalabilmektedir. Bu durum karbon ve cam gibi kırılğan liflerin mukavemet kaybının önemli seviyelere ulaşabilmesine neden olmaktadır.

Kırılğan liflerde 3B dokuma işleminin neden olduğu mukavemet kaybının belirlenebilmesi için Rudov- Clark ve diğer. (2003) tarafından bir çalışma yapılmış, mukavemet kayıp miktarları belirlenmiştir. Çalışmada E- cam lifleri kullanılarak kalınlık boyu bağlamalı ortogonal 3B çözgü interlok kumaş üretilmiş ve dokuma işleminin farklı kademelerinde ipliklerin mukavemet değerleri test edilerek kayıp oranı hesaplanmıştır. İplik bobininden, çözgü çözme işlemi sonrası, makine iplik gerginlik mekanizması sonrası ve kumaş formundan iplik örnekleri alınarak çekme testi uygulanmıştır. Kumaşın içerdiği tüm iplik gruplarının (atki, aksenel çözgü ve bağlayıcı çözgü) mukavemetleri aynı işlem sırası ile belirlenmiştir. Çalışmada 3B dokuma işleminin iplikte mukavemet kaybına neden olduğu gözlenmiş ve bu kaybın ipliklerin birbirleri ve makine parçaları ile sürtünmeleri nedeniyle oluştuğu tespit edilmiştir. Aksenel ve bağlayıcı çözgü ipliklerinin en yüksek mukavemet kaybı yaşayan iplik grupları olduğu saptanmıştır. İpliklerin mukavemet kayıp oranları sırası ile %30 ve %50 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca ipliklerin elastisite modüllerinde meydana gelen kayıp miktarları da incelenmiş ve dokuma işlemi ile iplik gruplarının elastisite modül değerlerinde önemli oranda azalma meydana gelmediği, kayıp oranının ortalama %5- 7 civarında olduğu ifade edilmiştir.

3B çözgü interlok kumaşların üretilmesi aşamasında karbon ipliklerinde meydana gelen mukavemet kaybının belirlenebilmesi için Lee ve diğer. (2002) tarafından bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada karbon lifleri ile kalınlık boyu bağlamalı ortogonal 3B çözgü interlok kumaşlar üretilmiş ve iplik mukavemet değerleri aşamalı olarak test edilmiştir. Ayrıca ipliklerden ve üretilen kumaştan kompozit malzeme üretilerek, iplikte oluşan mukavemet kaybının kompozit malzemeye etkileri de gözlemlenmiştir. İki farklı üreticiye ait karbon iplikleri kullanılmış ve yapılarında meydana gelen mukavemet kayıpları her iki iplik markası için ayrı ayrı belirlenmiştir. İplik mukavemet kaybının saptanabilmesi için bobinden, iplik gerginlik mekanizması sonrası ve üretilen kumaştan örnekler alınarak test edilmiştir. 3B dokuma işleminin karbon ipliklerinde %12 oranında mukavemet kaybına yol açtığı belirlenmiştir. İpliklerin kompozit malzeme formuna getirilmesi aşamasında makinenin iplik gerdirme mekanizması sonrası ve tarak sonrası bölgelerinden örnekler alınmıştır. Ayrıca kumaşların yüzeyini ve iç bölgesini oluşturan iplik gruplarından da örnekler alınarak kompozit hale getirilmeleri ve test edilmeleri sağlanmıştır. Aşınma kaynaklı olarak zarar gören ipliklerin kompozitlerinin benzer mukavemet değerlerine sahip oldukları saptanmıştır. Sadece dokuma işlemi sırasında ileri derecede zarar gören ipliklerin kullanıldığı kompozit malzemelerde önemli mukavemet kayıplarının olduğu belirtilmiştir. Çalışmada 3B çözgü interlok kumaş ile üretilen kompozit malzemenin iplik mukavemetine göre kayda değer ölçüde kayıp yaşadığı belirlenmiştir, bu durumun temel sebebinin aşınma kaynaklı değil, iplik kıvrım oranından ileri geldiği sonucuna varılmıştır.

Karbon lifleri ile 3B çözgü interlok kumaşların üretimi aşamasında iplik mukavemetinde meydana gelen değişimin belirlenebilmesi için bir diğer çalışma Archer ve diğer. (2010) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada üç farklı karbon ipliği (12k, 6k, 3k) kullanılarak kattan kata ve kalınlık boyu bağlamalı açılı interlok 3B çözgü interlok kumaşlar üretilmiştir. Bobinden, çözgü çözme sonrası, gücü gözleri sonrası ve kumaştan iplik numuneleri alınarak mukavemetleri belirlenmiştir. Karbon ipliklerinde oluşabilecek aşınma kaynaklı mukavemet kaybının azaltılabilmesi için dokuma makinesi endüstriyel tarzda bir makineye göre daha düşük devirde (120 atk/dk) çalıştırılmıştır. İpliğin çözgü çözme işleminde ortalama %5, gücü gözü sonrasına

kadar %1,5 ve gücü gözleri ile kumaş arasında %2,8 olmak üzere toplamda %9,4 oranında mukavemet kaybı yaşadığı belirlenmiştir. Kullanılan karbon iplikleri arasında mukavemet kaybı farkı %3' ün altında bulunmuştur. Ayrıca bu ipliklerin elastisite modülü değerlerinde herhangi bir kayıp gözlemlenmemiştir. Dokuma makinesi üretim hızının karbon ipliklerin mukavemet kaybını etkileyen önemli bir parametre olduğu, hız değerinin azaltılması ile kayıp oranının aşağı seviyelere çekilebileceği sonucuna varılmıştır.

Hedeflenen kumaş mekanik özelliklerinin elde edebilmesi açısından ham madde türüne göre optimum kumaş yapısal özelliklerinin belirlenebilmesi; çözümü amaçlanan problemlerden biri konumundadır. Konunun aydınlatılabilmesi için farklı ham maddeler kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Behera ve Dash (2013) tarafından yapılmış olan bir çalışmada para- aramid ve PBO (poli-p- fenilenbenzobisoksazol) lifleri ile bağlayıcı ipliğin kalınlık boyu bağlantı yaptığı ortogonal 3B çözgü interlok kumaş ve bezayağı örgü türüne sahip geleneksel dokuma kumaşlar üretilmiştir. Sonrasında tüm kumaş türlerine çekme, eğilme, balistik ve bıçak penetrasyonu testleri uygulanmıştır. Geleneksel dokuma kumaşın maksimum çekme yükü ve eğilme uzunluğu açısından daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu duruma karşın toplam enerji ve absorbe edilen enerji gibi parametreler göz önünde bulundurulduğunda balistik ve bıçak penetrasyonu açısından 3B çözgü interlok kumaşların daha iyi bir koruma sağladıkları sonucuna varılmıştır.

Corbin ve diğer. (2018) tarafından yapılmış olan bir çalışmada kalınlık boyu bağlamalı ortogonal ve açılı interlok 3B çözgü interlok kumaşlar, para- aramid, E- cam ve keten lifleri ile üretilmiştir. Üretim tamamlandıktan sonra tüm kumaş tiplerine çekme testi uygulanmıştır. Ham maddenin tek değişken olarak değerlendirildiği test sonuçlarında para- aramid ile üretilen kumaşların çözgü ipliği yönünde en yüksek kopma yüküne sahip olduğu, keten lifi ile üretilen 3B çözgü interlok kumaşın ise en yüksek kopma uzaması değerini gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Yüksek performanslı lifler ile 3B çözgü interlok kumaşların üretilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenebilmesi amacı ile bir diğer çalışma Li ve diğer. (2019) tarafından yapılmıştır. Yüksek molekül ağırlıklı polietilen iplikleri (Spektra 900) kullanılarak 3B çözgü interlok kumaşlar üretilmiş, atkı ve çözgü yönlerinde çekme mukavemetleri test edilmiştir. Çalışmada farklı örgü türlerinin iplik kıvrım oranını etkilediği ve bu durumun bir sonucu olarak kumaş kopma davranışının farklılaştığı sonucuna varılmıştır.

Bağlayıcı çözgü ipliği örgü raporu ve kumaş içerisinde sahip olduğu parametreler, kumaş iplik sıklık değerleri, kumaş kat sayısı, kumaşın içerdiği iplik grubu sayısı ve türü gibi faktörler kumaş mekanik özelliklerini etkileyen diğer önemli yapısal özelliklerdir.

Minapoor ve diğer. (2019) tarafından yapılmış olan bir çalışmada karbon iplikleri kullanılarak kalınlık boyu bağlamalı ortogonal 3B çözgü interlok kumaşlar üretilmiş ve kumaşlara çekme testi uygulanmıştır. Karbon ipliği kalınlığı (6k ve 12k) ve bağlayıcı çözgü ipliği sıklık değeri değiştirilerek kumaşların çekme mukavemetine etkileri gözlemlenmiştir. Test edilen kumaşların yüksek lif/ hacim oranına sahip oldukları ve çekme testinde iyi değerler gösterdikleri belirtilmiştir. 3B dokuma yöntemi ile karbon ipliklerin düşük bir kıvrım oranı ile yapıya dâhil edilebildikleri, bu durumun kumaşların lif/ hacim oranını ve maksimum çekme yükü değerlerini arttırdığı ifade edilmiştir. Çalışmada ayrıca karbon ipliği kalınlığı ve bağlayıcı çözgü ipliği sıklık değerlerinin değiştirilmesinin 3B çözgü interlok karbon kumaşların lif/ hacim oranı ve kopma yükü değerlerini değiştirdiği saptanmıştır. 3B çözgü interlok karbon kumaşlarda bağlayıcı çözgü ipliği sıklık değerinin arttırılmasının kumaş kopma yükü ve kopma uzaması değerlerini arttırdığı sonucuna varılmıştır.

3B çözgü interlok karbon kumaşlar üretilerek mekanik özelliklerinin belirlendiği bir diğer çalışmada, Minapoor ve diğer. (2018), kalınlık boyu bağlamalı ortogonal 3B çözgü interlok kumaşlar üretilmiş ve eğilme özellikleri test edilmiştir. Kumaşlar karbon ipliği kalınlığı (6k ve 12k), iplik sıklık değerleri ve kumaş üretiminde eksenel çözgü ipliklerine uygulanan gerilim değerine göre farklılaştırılmıştır. Eğilme

özelliğinin belirlenmesi aşamasında üç nokta eğilme testi uygulanmış ve test sonrasında yük- yer değişimi grafiği elde edilmiştir. Test grafiği kullanılarak kumaşların eğilme modülleri belirlenmiştir. Karbon ipliğinde bulunan filament sayısının arttırılmasının eğilme modülünde herhangi bir değişikliğe neden olmadığı saptanmıştır. Bu duruma karşın iplik enine kesit ve geometrisinin 3B çözgü interlok kumaşın lif/ hacim oranı ve eğilme modülü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. İplik sıklık değerinin ve kumaş üretiminde eksenel çözgü ipliklerine uygulanan gerilim miktarının arttırılmasının 3B çözgü interlok karbon kumaşların lif/ hacim oranı ve eğilme modül değerlerini arttırdığı belirlenmiştir. Çalışmada sonuçlara uygulanan istatistiksel analiz ile 3B çözgü interlok karbon kumaşların lif/ hacim oranları ve eğilme modülleri üzerinde önem sırası ile iplik kalınlığı, iplik sıklık değerleri ve kumaş üretiminde ipliğe uygulanan gerginlik değerinin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Endruweit ve Long (2010) tarafından yapılmış olan bir çalışmada karbon iplikleri ile 3B çözgü interlok kumaşlar üretilmiş, sıkıştırılabilirlik ve sıvı geçirgenliği özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Kumaşların karbon ipliği kalınlığı, kumaş kat sayısı ve 3B dokuma örgü türüne göre farklılaştırıldığı çalışmada kalınlık boyu bağlamalı açılı interlok ve ortogonal 3B çözgü interlok kumaşlar üretilmiştir. Çalışmada 1k, 6k ve 12k karbon iplikler kullanılmış, kumaş sıkıştırılabilirlik özelliğinin 3B örgü türü ile yakından ilişkili olduğu belirlenmiştir. Açılı interlok kumaşlarda sıkıştırılabilirlik özelliğinin kumaş yapısından bulunan boşluklara göre şekillendiği saptanmıştır. Düşük seviyeli sıkıştırma işleminde iplikler kumaş içerisindeki boşluklara yerleşmekte ve sonrasında konumları değişmemektedir. Sıkıştırma seviyesinin arttırılması ile ipliklerde sıkışma meydana gelmekte ve enine kesitleri değişmektedir. Açılı interlok 3B çözgü interlok kumaşların saten örgü raporuna sahip geleneksel dokuma kumaşlar ile benzer sıkıştırılabilirlik özellik gösterdiği sonucuna varılmıştır. Ortogonal kumaşlar ise yapılarında büyük boşluklar içermedikleri için sıkıştırılabilirlik özelliğinin iplik sıkıştırılabilirliği tarafından şekillendiği belirtilmiştir. Sıkıştırma seviyesinin arttırılması kumaş davranışında önemli bir değişikliğe yol açmamıştır. Çalışmada kumaşların sıvı geçirgenlik özellikleri hem kumaş düzlemi hem de kalınlığı doğrultusunda belirlenmiştir. 3B

      interlok kumaşların düzlemsel sıvı geçirgenlik özelliği bakımında geleneksel dokuma kumaşlar ile benzer davrandığı saptanmıştır. Bu duruma karşın 3B       interlok karbon kumaşların kalınlıkları doğrultusunda geleneksel dokuma kumaşlara göre daha iyi değerlere sahip oldukları sonucuna varılmıştır. Bağlayıcı       ipliğinin boyutu, sıklığı ve kumaş eksenini ile yaptığı a ı gibi parametrelerin kumaş kalınlık yönünde sıvı geçirgenlik özelliğini belirleyen temel faktörler olduğu ifade edilmiştir.

Henri ve diğer. (2018) tarafından yapılmış olan bir çalışmada keten ipliği kullanılarak bağlayıcı       ipliği parametreleri farklılaştırılarak 3B       interlok kumaşlar (O-KK, O-KB, A-KK, A-KB)   retilmiş, kalınlık, atkı sıklığı, iplik kıvrım oranları ve uzama özellikleri test edilmiştir. Bağlayıcı       ipliği parametreleri değişiminin kumaş kalınlığı, atkı sıklığı ve çekme yükü değerlerinde fark yarattığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca üretilen tüm kumaşlar içerisinde bağlayıcı       ipliğinin kalınlık boyu bağlantı yaptığı kumaş   eitlerinin (O-T ve A-T) yük- uzama grafiklerinde çift tepe oluştuğu gözlenmiştir.

Kashif ve diğer. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise kattan kata ve kalınlık boyu bağlamalı ortogonal 3B dokuma kumaşlar atkı interloğu,       interloğu ve hibrit olarak üretilmişlerdir. Sonrasında kumaşların kalınlık, hava geçirgenliği, eğilme ve uzama gibi özellikleri test edilmiştir. İplikler arasındaki bağlantı sayısı diğer kumaşlara göre daha fazla olduğu için hibrit kumaşların kalınlık değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Hibrit 3B dokuma kumaşların eğilme rijitliği açısından kalınlık boyu bağlamalı ortogonal kumaşlara göre daha düşük değerlerde olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapılan hava geçirgenliği testinde hibrit kumaşların diğer 3B interlok kumaşlara göre daha yüksek değerler gösterdiği saptanmıştır. Sonuç olarak, hibrit 3B dokuma kumaşların mekanik özellikleri açısından 3B atkı ve       interlok kumaşlara göre daha iyi performans gösterdikleri tespit edilmiştir. Bu durumun yanı sıra 3B atkı ve       interlok kumaşların mekanik özellikleri açısından önemli farklılıklar içermedikleri test sonuçları ile belirlenmiştir.

Bağlayıcı       ipliği farklı örgü raporlarının kumaş mekanik özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği bir diğer çalışmada, Dash ve Behera (2018), kalınlık boyu

bağlamalı ortogonal ve açılı interlok 3B çözgü interlok kumaşlar üretmiş ve bu kumaşlara çekme, balistik ve bıçak penetrasyonu testlerini uygulamışlardır. İplik lineer yoğunluğunun kumaş uzama özellikleri üzerinde iplik kıvrım oranı kadar etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bağlayıcı çözgü ipliğinin bezayağı örgü raporuna sahip olduğu ortogonal ve açılı interlok kumaşlarda maksimum çekme yükü açısından açılı interlok kumaşın daha yüksek değerde olduğu belirlenmiştir. Bağlayıcı çözgü ipliği örgü raporunun 3B çözgü interlok kumaşların balistik dayanımı üzerine etkili olduğu, bezayağı gibi dengeli örgü türlerinin daha iyi bir dayanım sağladığı saptanmıştır. İplikler arasındaki kesişme sayısının kumaş balistik dayanımını etkileyen en önemli parametre olduğu, bu duruma karşın bıçak penetrasyonu açısından iplik lineer yoğunluğunun ön plana çıktığı belirtilmiştir.

Dash ve Behera (2019) tarafından yapılan çalışmada 3B çözgü interlok kumaşlar; eksenel çözgü ipliği kat sayısı ve lif/ hacim oranları bakımından farklılaştırılmış ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada kalınlık boyu bağlamalı ortogonal ve açılı interlok kumaşlar (O- KB ve A- KB) üretilmiş, uzama, balistik ve bıçak penetrasyonu özellikleri test edilmiştir. Aynı kat sayısı ve lif/ hacim oranında ortogonal kumaşların açılı interlok kumaşlara göre daha yüksek kopma yükü değerlerine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumun yanı sıra aynı koşullar altında ortogonal kumaşların balistik açıdan daha iyi bir koruma sağladığı belirlenmiştir. Bıçak penetrasyonu testinde maksimum enerji değerinin iplik sıklığı ve lineer yoğunluğu parametrelerine bağlı olduğu, iplik kesişme sayısından ise etkilenmediği saptanmıştır.

Abtew ve diğer. (2018) tarafından yapılan çalışmada kattan kata bağlamalı ortogonal kumaşlar farklı atkı ve çözgü sıklık değerlerine sahip olarak, beş ve yedi atkı katı içerecek şekilde üretilmişlerdir. Böylece dört farklı 3B çözgü interlok kumaşın üretilmesi sağlanmıştır. Sözü geçen kumaşlara çekme, eğilme ve şekil alabilirlik testleri uygulanarak farklı iplik sıklığı değerlerinin kumaş mekanik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Atkı ve çözgü ipliği yönlerinde iplik sıklığının arttırılmasının kumaşın eğilme rijitliği değerini arttırdığı sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda iplik sıklığının arttırılmasının kumaş kopma kuvveti ve kopma uzaması değerlerini arttırdığı

belirlenmiştir. İplik sıklık değerlerinin kumaşın şekil alabilirlik özelliğini etkileyen önemli bir parametre olduğu, ulaşılan bir diğer sonucu oluşturmaktadır.

Zhang ve diğer. (2013) tarafından yapılmış olan bir çalışmada iplik sıklık değerlerinin 3B çözgü interlok kumaşların düzlemsel ve katlar arası kayma deformasyonları üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada cam lifi kullanılarak, kalınlık boyu bağlamalı açılı interlok 3B çözgü interlok kumaşlar üretilmiştir. Kumaşlar üç farklı iplik sıklık değerinde üretilerek test sırasında gösterdikleri performans ve hasar mekanizmaları analiz edilmiştir. Düzlemsel kayma deformasyonunun belirlenebilmesi için çerçeve yöntemi seçilmiş, katlar arası kayma deformasyonu için ise yeni bir test metodu geliştirilmiştir. Yapılan çalışma sonrasında 3B çözgü interlok kumaşın sıklık değerinin her iki deformasyon türü için de önemli bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Kumaş iplik sıklık değerinin azaltılmasının kumaşın test sırasında gösterdiği kayma performansını arttırdığı ifade edilmiştir. Hasar mekanizması açısından, katlar arası kayma deformasyonu uygulanan 3B çözgü interlok kumaşlarda bağlayıcı çözgü ipliğinin hasar gördüğü ve kumaş yapısından ayrılma eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır.

Kumaş yapısal özelliklerinin kayma deformasyonu üzerine etkilerinin incelendiği bir diğer çalışmada cam liflerinden katlar arası bağlamalı açılı interlok 3B çözgü interlok kumaş üretilmiş ve düzlemsel kayma özellikleri belirlenmiştir (Sun, Zhang, Chen, Zhang ve Pan, 2017). Kumaşlar iplik lineer yoğunluğu, sıklığı ve kumaş kat sayısına göre farklılaştırılmıştır. Kayma testinin uygulanması aşamasında çerçeve yöntemi seçilmiş ve test aparatı üzerinde çeşitli modifikasyonlar yapılmıştır. Belirlenen kumaş parametreleri arasında iplik sıklık değerinin kumaş deformasyonunu etkileyen en önemli yapısal faktör olduğu sonucuna varılmıştır. İplik sıklık değerinin azaltılmasının kumaşın lif/ hacim oranını düşürdüğü, bu durumun bir sonucu olarak kumaşın kayma testinde daha kolay bir şekilde deforme edilebildiği belirtilmiştir.

Carvelli ve diğer. (2012) tarafından yapılmış olan bir çalışmada E- cam lifinden üretilmiş, kalınlık boyu bağlamalı ortogonal 3B çözgü interlok kumaşa çift eksenli uzama ve kayma testleri uygulanmış, kumaşın kuvvet altındaki davranışı detaylı olarak

incelenmiştir. Çift eksenli uzama testinde k değeri ($k = \text{çözümlü yönü makine hızı} / \text{atki yönü makine hızı}$) değiştirilerek kumaşın farklı koşullar altındaki davranışı analiz edilmiştir. Böylece test sırasında kumaşın sahip olduğu davranışın aydınlatılabilmesi sağlanmıştır. 3B çözümlü interlok kumaşın kayma özelliğinin analiz edilebilmesi için iki farklı test yöntemi de uygulanmış (çapraz uzama ve çerçeve yöntemleri) ve kumaşın kalınlık değişimi eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Ayrıca kumaşın kayma açısı teorik olarak belirlenmiş ve ölçülen değerler ile karşılaştırılmıştır. Yaklaşık 30° ye kadar değerlerin birbirlerine yakın olduğu, bu değer sonrasında farkın giderek arttığı sonucuna varılmıştır.

Hou ve diğer. (2013) tarafından yapılmış olan bir çalışmada 3B çözümlü interlok kumaşların çekme testinde, yüksek uzama oranı altında sahip oldukları davranış incelenmiş, yarı statik (Quasi- Static) test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada karbon lifinden üretilmiş, kalınlık boyu bağlamalı ortogonal 3B çözümlü interlok kumaş kullanılmıştır. Karbon lifinin uzama davranışının çekme oranından bağımsız olduğu yapılmış olan çeşitli çalışmalar ile belirlenmiştir (Zhou, Jiang ve Xia 2001; Zhou, Wang, Jeelani ve Xia, 2007). Bu duruma karşın, 3B çözümlü interlok kumaşın farklı çekme oranlarında farklı davranış sergilediği sonucuna varılmıştır. Çekme oranının 2308/s' ye kadar arttırıldığı çalışmada kumaşın iki bölgeye yük- uzama eğrisine sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca kumaşa uygulanan yarı statik (0,003/s) test ile tamamen farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Bu durumun kumaş üzerinde gerilim yayılım dalgalarının iletimi ile ilgili olduğu ve kumaş yapısal özelliklerinin bu noktada temel faktör konumunda bulunduğu ifade edilmiştir.

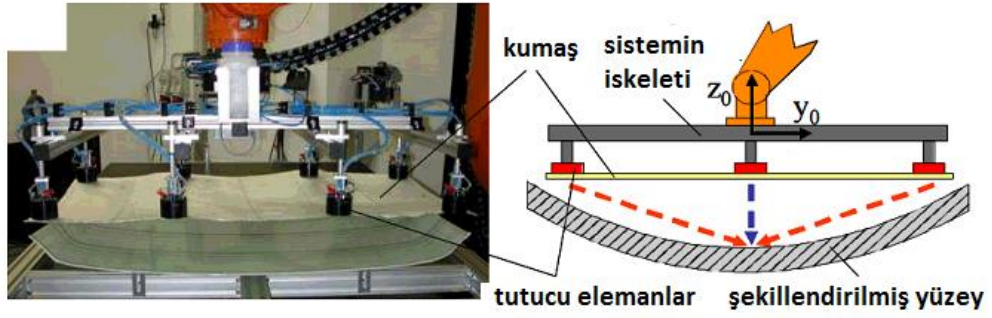
Hou ve diğer. (2013) tarafından yapılan bir diğer çalışmada karbon lifinden üretilmiş, kattan kata bağlamalı açılı interlok 3B çözümlü interlok kumaşın yüksek çekme oranı altında sahip olduğu hasar mekanizması incelenmiştir. Kumaşa yarı statik ve yüksek çekme oranında testler uygulanmış, oluşan hasar incelenmiştir. Yarı statik olarak gerçekleştirilen çekme testinde gerilim dalgaları tüm kumaşa yayılabilmek için gerekli zamanı bulabilmesine rağmen yüksek çekme oranında gerilim dalgalarının iplik kesişim noktalarında toplandığı belirtilmiştir. Bu durumun kumaş içerisinde testin uygulandığı iplik yönünün yanı sıra diğer iplik gruplarının da hareket etmesine

ve deforme olmasına sebep olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca farklı çekme oranında (1180/s, 1370/s, 1910/s, 2040/s) yükler uygulanarak kumaşa etkileri gözlemlenmiştir. 3B çözgü interlok kumaşın farklı katlarında farklı hasar morfolojilerinin oluştuğu, bu durumun temel sebeplerinin ise kumaş katmanlarında bulunan ipliklerde eş zamanlı olmayan kopmaların gözlemlenmesi ve gerilim dalgalarının iplik kesişim noktalarında yoğunlaşması olduğu sonucuna varılmıştır.

1.2.4 Üç Boyutlu Çözgü İnterlok Kumaşların Şekil Alabilirlik Özellikleri

Tekstil malzemelerinin farklı deformasyonlarının birleşimi olarak ortaya çıkan şekil alabilirlik özelliği, kompozit malzemelerin üretim aşamasında önem kazanmaktadır. Tekstil malzemesinin herhangi bir kalıcı deformasyona uğramadan ve kıvrım gibi problemler gözlemlenmeden şekil alabilmesi kompozit malzemenin istenen özelliklere sahip olarak üretilebilmesi açısından oldukça önemlidir.

Tekstil kompozit malzemelerinin mukavemet/ ağırlık ve sertlik/ ağırlık oranları metaller ve benzeri malzemelere göre oldukça yüksektir. Bu durumun yanı sıra paslanmama, yüksek enerji sönümleme ve üreticilere sunduğu geniş tasarım olanağı gibi birçok avantaja da sahiptirler. Sözü geçen avantajlara karşın üretimlerinin yoğun işçilik gerektirmesi maliyetlerini yükseltmekte ve seri üretimlerinin sağlanabilmesi açısından önemli engellerden birini oluşturmaktadır. Kompozit malzemelerin seri üretiminin sağlanabilmesi için tekstil malzemelerinin şekillendirilmesi esnasında otomatik ya da yarı otomatik sistemlerin kullanımı üzerine çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Corves ve diğer., 2015; Kordi, Hüsing ve Corves, 2007). Sözü geçen sistemlerin kullanılabilmesi ve gelişiminin sağlanabilmesi açısından tekstil malzemelerinin şekillendirilmesi sırasındaki mekanik davranışının bilinmesi veya tahminlenebilmesi büyük önem taşımaktadır. Şekil 1.11' de kompozit malzeme üretiminde kullanılan ve tekstil malzemelerinin şekillendirilmesini sağlayan otomatik bir sistem gösterilmektedir.



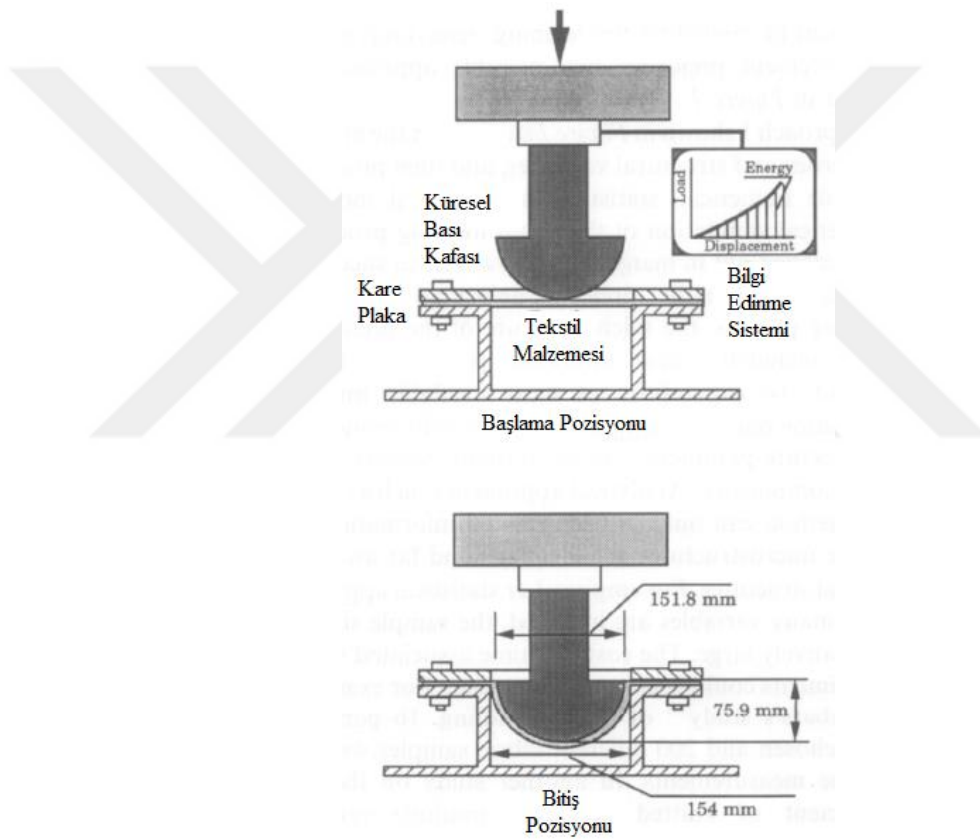
Şekil 1.11 Kompozit malzeme üretiminde tekstil malzemelerin şekillendirilmesini sağlayan otomatik sistem (Kordi ve diğer., 2007)

Metal ve benzeri malzemelerin şekillendirilmesinde mekanik ve geometrik olmak üzere iki farklı türdeki özellikler şekil alabilirlik işlemini karakterize etmektedir. Malzemenin uzama modülü, kayma modülü, poisson oranı ve akma sınırı gibi özellikleri mekanik özellikleri oluşturmaktadır. Malzemenin geometrik özellikleri ise en, boy ve kalınlık gibi boyutsal parametreler ile ifade edilmektedir.

Tekstil yapılarının şekillendirilmesinde malzeme özellikleri olarak mekanik ve geometrik özelliklerin yanı sıra yapısal özellikler de önem kazanmaktadır. Tekstil malzemesini oluşturan lifin çapı, iplik paketlenme oranı, iplik lineer yoğunluğu, kumaş gözeneklilik oranı, örgü türü ve ipliklerin birbirleri ile kesişme açısı gibi özellikler yapısal özellikleri oluşturmaktadır. Tekstil malzemelerinin sahip olduğu yapısal özellikler şekil alabilirlik işleminin metal ve benzeri malzemelere göre daha karmaşık olmasına yol açmaktadır. Tekstil malzemelerinin şekillendirilmesi esnasında liflerde yüksek oranda uzama meydana gelmemektedir, lif veya ipliklerin malzeme içerisinde hareket etmesi ve birbirlerine göre konumlarının yeniden düzenlenmesi temel mekanizmayı oluşturmaktadır (Cai, Yu ve Ko, 1994). Lif veya ipliklerin birbirlerine göre konumlarının değişmesi sonrasında tekrar bir denge durumu sağlanmaktadır. Meydana gelen değişim tekstil malzemesinin bölgesel lif/ hacim oranını değiştirmekte, bu durum geçirgenlik özelliklerinin farklılaşmasına yol açmaktadır. Tekstil malzemesinin geçirgenlik özelliğinin değişmesi üretilmek istenen kompozit malzemenin lif/ hacim oranını değiştirmekte ve sonuç olarak malzeme farklı mekanik özelliklere sahip olmaktadır.

1.2.4.1 Tekstil Malzemelerine Uygulanan Şekil Alabilirlik Testleri

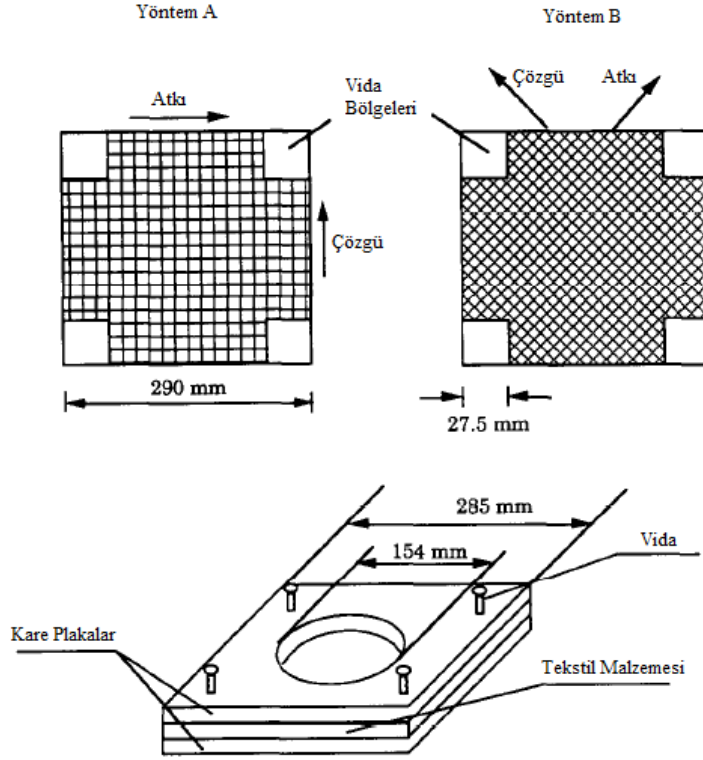
Günümüzde kullanılan şekil alabilirlik testleri genellikle metaller ve benzeri malzemeler için geliştirilmiş olan basınç veya ısı yardımı ile şekillendirme yöntemlerinin türevleri konumundadır. Tekstil malzemelerinin şekil alabilirlik özellikleri çeşitli yöntemler ile simule edilerek değerlendirilebilmektedir. Şekil 1.12’ de Cai ve arkadaşları tarafından yapılmış olan bir çalışmada kullanılan test düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 1.12 Şekil alabilirlik test düzeneği (Cai ve diğer., 1994)

Test Instron cihazında gerçekleştirilmiştir ve yarım küre şekline sahip bası kafası kullanılmıştır. Şekil 1.13’ te gösterildiği gibi 290 x 290 mm boyutlarına sahip kare numune hazırlanmıştır. Kumaşın plakalar arasında vidalar vasıtası ile sıkıştırılabilmesi için numune köşeleri 27,5 x 27,5 mm kare boyutlarında kesilmiştir. Yöntem A ve

yöntem B’ de gösterildiği gibi kumaşın iki farklı yerleştirilme düzeni ile test işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

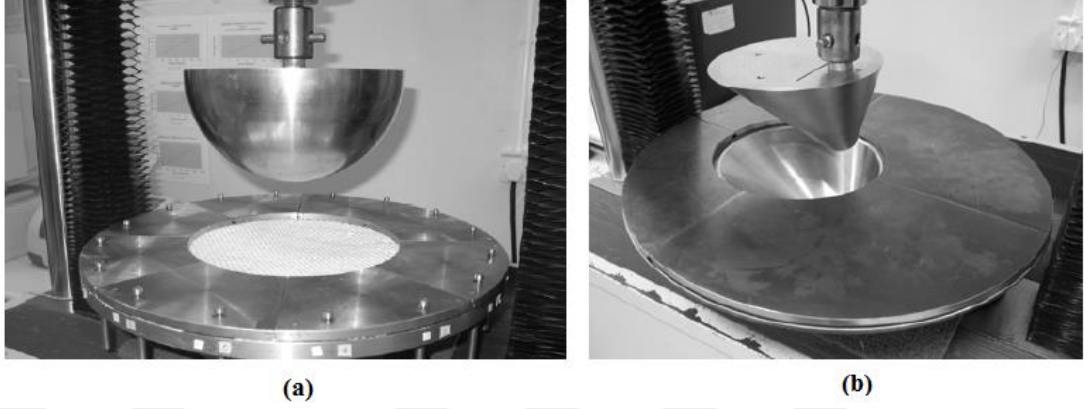


Şekil 1.13 Şekil alabilirlik testinde uygulanan farklı yöntemler ve kumaş- plaka boyutları (Cai ve diğer., 1994)

Şekil alabilirlik testi, kullanılan kumaşın yapısal özellikleri ve elde edilmek istenen test parametrelerine göre farklılaştırılabilir. Bu kapsamda bası kafasının şekli, tutucu mekanizmanın çeşidi ve uygulanan basınç miktarı gibi test parametrelerinde değişiklik yapılabilir.

Şekil alabilirlik testinde küresel, dikdörtgen prizma, çift tepeli, dörtyüzlü gibi birçok farklı bası kafası türleri kullanılabilir. Küresel kafa gibi düzgün yüzeye sahip bası kafasının kullanılması ile uygulanan kuvvetin kumaşın tüm eksenlerine homojen olarak dağıtılması sağlanabilir. Bu durumun yanı sıra karmaşık şekle sahip bası kafası kullanılarak tekstil malzemesinin bölgesel deformasyonu belirlenebilir ve kumaşın şekil alabilirlik özelliği hakkında yorum

yapılabilmektedir. Şekil 1.14’ te küresel ve eksantrik koni şekline sahip bası kafası türleri gösterilmektedir.



Şekil 1.14 Bası kafası türleri (a) Küresel bası kafası (b) Eksantrik koni şekline sahip bası kafası (Zhu, 2007)

Şekil alabilirlik testinde, test düzeneği içerisinde çoğunlukla kumaş tutucular da yer almaktadır. Bu durumun yanı sıra kumaş özellikleri ve elde edilmek istenen test parametreleri göz önünde bulundurularak kumaş tutucuların yer almadığı test düzenekleri de tasarlanabilmektedir. Kumaş tutucu sistemler olarak pnömatrik veya mekanik mekanizmalar kullanılabilmektedir. Kumaş tutucu sistemlerin farklılaştırılmasında rol oynayan önemli etkenlerden biri, test edilen kumaşın yapısal özellikleridir.

Örme kumaşlar kuvvet altında diğer kumaş türlerine göre daha kolay bir şekilde deforme olabilmektedir. Kolay şekil alabildikleri için kumaş tutucuları ile tamamen sabitlenmeleri sağlanabilmektedir. Dokuma kumaşlar örme kumaşlara göre daha az esneme yeteneğine sahiptir. Şekil alabilirlik testi esnasında dokuma kumaşların tamamen sabitlenmesi bu kumaş türlerinin kuvvet altında kalıcı deformasyona uğramasına yol açabilmektedir. Bu durum dokuma kumaşların şekil alabilirlik testi esnasında genellikle tam olarak değil, kısmi olarak sabitlenmelerine neden olmaktadır. Kısmi sabitleme işleminde tutucular tarafından kumaşa sabit bir oranda kuvvet uygulanması sağlanmakta ve kumaşın hareket etmesine izin verilmektedir. Tutucular

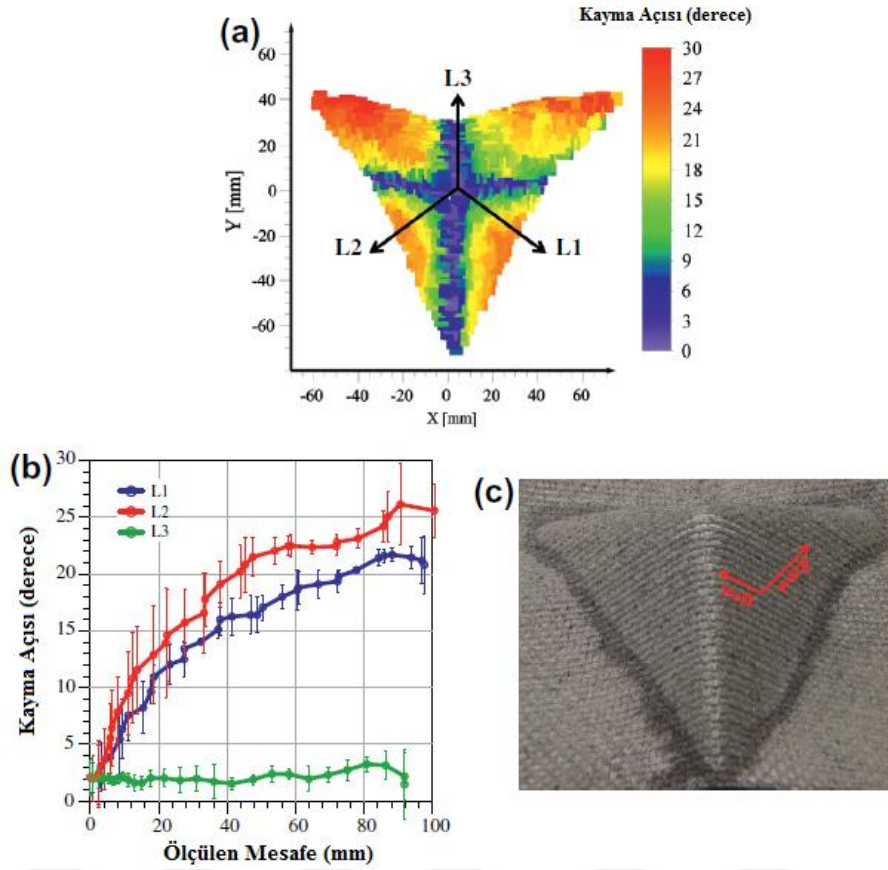
tarafından kumaşa uygulanan kuvvet değeri ve tutucu yüzey özellikleri sonuçların değerlendirilmesi aşamasında önem kazanmaktadır.

1.2.4.2 Şekil Alabilirlik Testi ile Belirlenen Kumaş Deformasyonları

1.2.4.2.1 Bölgesel Deformasyonun Belirlenmesi. Şekil alabilirlik testi esnasında kumaş içerisinde yer alan ipliklerin birbirlerine göre konumları değişmektedir. Test sonrasında iplikler arasındaki açı değeri ilk konumlarına göre farklılaşmakta ve denge durumu sağlanmaktadır.

İplikler arasındaki açı, test sonrasında kumaşın farklı bölgelerinde farklı değerlere sahip olmaktadır. Çeşitli görüntü analizi yöntemleri (DIC- Digital Image Corelation) ile bu değerler belirlenebilmekte, kumaşın şekil alabilirlik özelliği hakkında yorum yapılabilmektedir. Şekil alabilirlik testi sonrasında kumaş ve görüntü analizine dair fotoğraflar Şekil 1.15' te gösterilmektedir.

Kumaş kayma deformasyonu; birbirleri ile kesişen iplikler arasındaki sürtünmeden kaynaklanmaktadır (Gereke, Döbrich, Hübner ve Cherif, 2013). İplikler arasındaki açı değerinin değişimi kumaşın kayma deformasyonu ile yakından ilişkilidir. Bu durum kumaşın bölgesel açı değerinin değişiminde kayma deformasyonunun temel deformasyon olarak rol almasına yol açmaktadır.

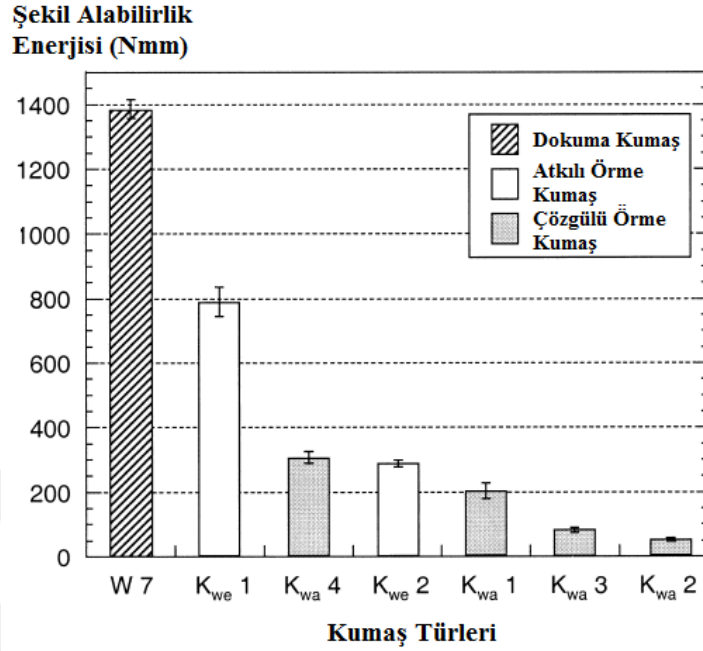


Şekil 1.15 Dörtüzlü bası kafası kullanımı ile kumaşa şekil alabilirlik testinin uygulanması (a) kumaş bölgesel kayma açısı değerlerinin görüntü analizi ile belirlenmesi (b) kumaşın farklı doğrultularına ait kayma açısı değerleri (c) kumaşın şekil alabilirlik testi sonrası sahip olduğu görünüm (Pazmino, Carvelli ve Lomov, 2014)

1.2.4.2.2 Maksimum Şekil Alabilirlik Yükü ve Enerjisi. Şekil alabilirlik testi sırasında kumaşa yük uygulanmakta ve yük- uzama eğrisi elde edilmektedir. Test sırasında ulaşılan en yüksek yük değeri maksimum şekil alabilirlik yükünü, eğrinin altında kalan alan ise kumaşın şekil değişimi sırasında yapılan işi ifade etmektedir. Sözü geçen eğrinin integralinin alınması ile şekil alabilirlik enerjisi hesaplanmaktadır. Şekil 1.16’ da farklı tekstil yapılarının sahip olduğu şekil alabilirlik enerjileri gösterilmektedir.

Şekil 1.16 incelendiğinde, dokuma kumaşın şekil alabilirlik enerjisinin örme kumaş türlerine göre daha yüksek bir seviyede olduğu görülmektedir. Bu durum dokuma

kumaşların şekil alabilmesi için örme kumaşlara göre daha fazla miktarda enerji harcanması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 1.16 Farklı kumaş türlerinin sahip olduğu şekil alabilirlik enerjileri (Rozant, Bourban, ve Månson, 2000)

1.2.4.2.3 Kumaş Çekilme Miktarı. Şekil alabilirlik testi öncesinde kumaş üzerinde bir nokta belirlenmekte ve ardından test uygulanmaktadır. Deforme olmuş kumaşta önceden belirlenmiş olan noktanın konumu tekrar saptanmakta ve meydana gelen yer değişiminin ölçümü ile kumaş çekilme miktarı hesaplanmaktadır.

Çekilme oranı kumaşların atkı ya da çözgü ipliği yönleri için ayrı ayrı belirlenebilmektedir. Bu değer, şekil alabilirlik özelliğinin bölgesel olarak yorumlanabilmesi açısından önemli bir parametredir.

1.2.4.3 Kumaşların Şekil Alabilirlik Özellikleri Üzerine Yapılmış Olan Çalışmalar

Dokuma kumaşların şekil alabilirlik özellikleri üzerine yapılan ilk çalışmalardan biri Cai ve diğer. (1994) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bezayağı, 5' li atkı sateni, 8' li atkı sateni ve çok katlı dokuma kumaş olmak üzere dört farklı kumaş tipinin şekil alabilirlik özellikleri analiz edilmiştir. Çalışmada farklı dokuma kumaş tiplerinin şekil

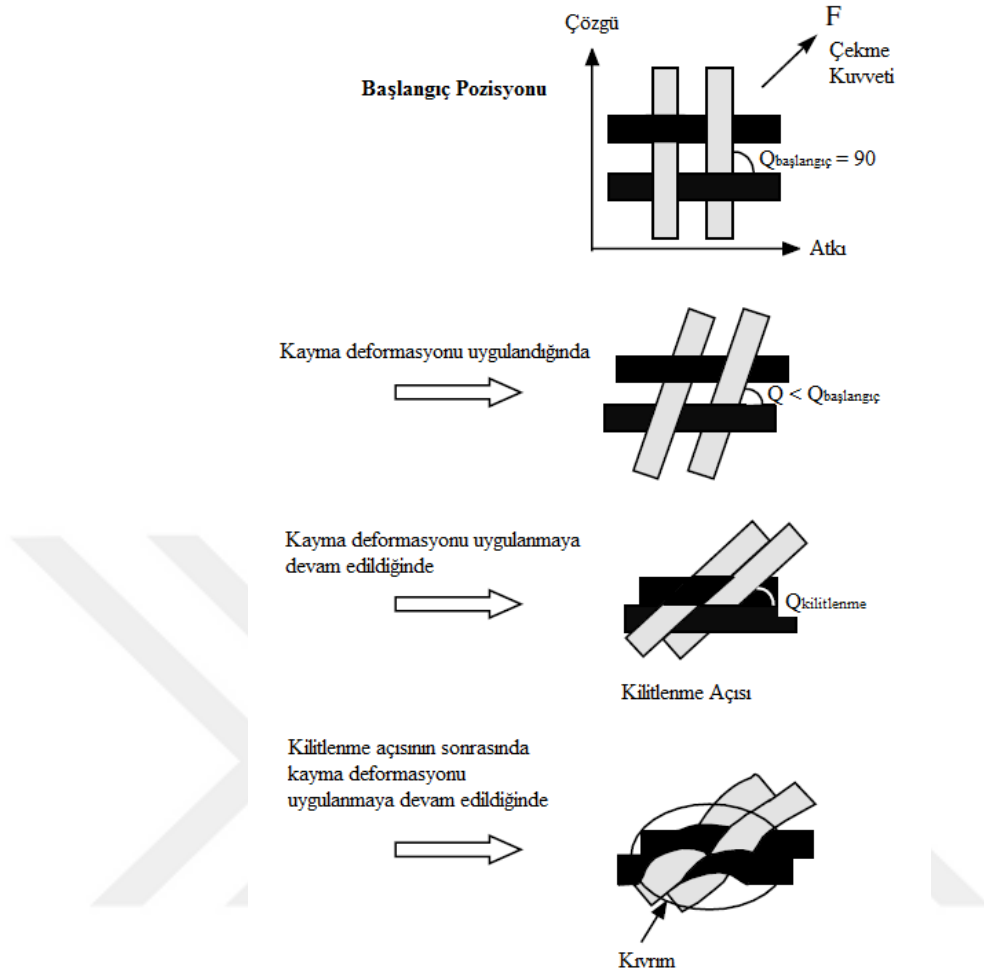
alabilirlik özellikleri ile sahip oldukları farklı deformasyonlar arasındaki ilişki incelenmiştir. Kumaşların uzama, kayma, eğilme ve sıkıştırılabilirlik deformasyonlarına ait test değerleri başka bir çalışmadan alınmıştır (Yu, Cai ve Ko, 1994). Şekil alabilirlik testi küresel bası kafası ve vidalı tutucu mekanizma kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kumaşların yük- uzama eğrileri oluşturularak şekil alabilirlik enerjileri hesaplanmıştır. Şekil alabilirlik özelliği ile en yüksek korelasyona sahip kumaş deformasyon tipinin eğilme olduğu saptanmıştır. Şekil alabilirlik enerjisi ile eğilme rijitliği arasında amprik bir formül geliştirilmiştir. Eşitlik 1.2' de bu denklem gösterilmektedir.

$$Uf = 2 \times 10^5 (Eb) \quad (1.2)$$

Denklemden Uf kumaş şekil alabilirlik enerjisini, Eb kumaş eğilme rijitliğini ifade etmektedir. Test edilen kumaşlar içerisinde bezayağı dokuma kumaşın en yüksek, çok katlı dokuma kumaşın ise en düşük şekil alabilirlik enerjisine sahip olduğu belirlenmiştir.

Tekstil ürünlerinin şekillendirilmesi sırasında meydana gelen kıvrım, üretilmek istenen kompozit malzemenin bölgesel lif/ hacim oranını etkilemekte, mekanik özelliklerini olumsuz yönde değiştirmektedir. Boisse ve diğer. (2011) kumaş üzerinde meydana gelen tüm uzama ve gerilmelerin kıvrım oluşumuna neden olan başlıca faktörler olduğunu belirtmiştir.

Kayma deformasyonunun etkisi ile birbirlerine dik konumda bulunan atkı ve çözgü ipliklerinde dönme meydana gelmekte, temas sağlanana kadar aralarındaki açı değeri azalmaktadır. Kumaşa kayma deformasyonu uygulanmaya devam edildiğinde kilitlenme açısı değerine ulaşılmakta ve ipliklerde dönme meydana gelmemektedir (Rozant ve diğer., 2000). Sonuç olarak, ipliklerde dönme meydana gelmediği için kayma deformasyonunun etkisi ile kumaş üzerinde kıvrım oluşumu gözlemlenmektedir. Şekil 1.17' de kayma deformasyonu uygulanan dokuma kumaş üzerinde kıvrım oluşumunun aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 1.17 Kayma deformasyonu uygulanan dokuma kumaşta kıvrım oluşumu (Rozant ve diğer., 2000)

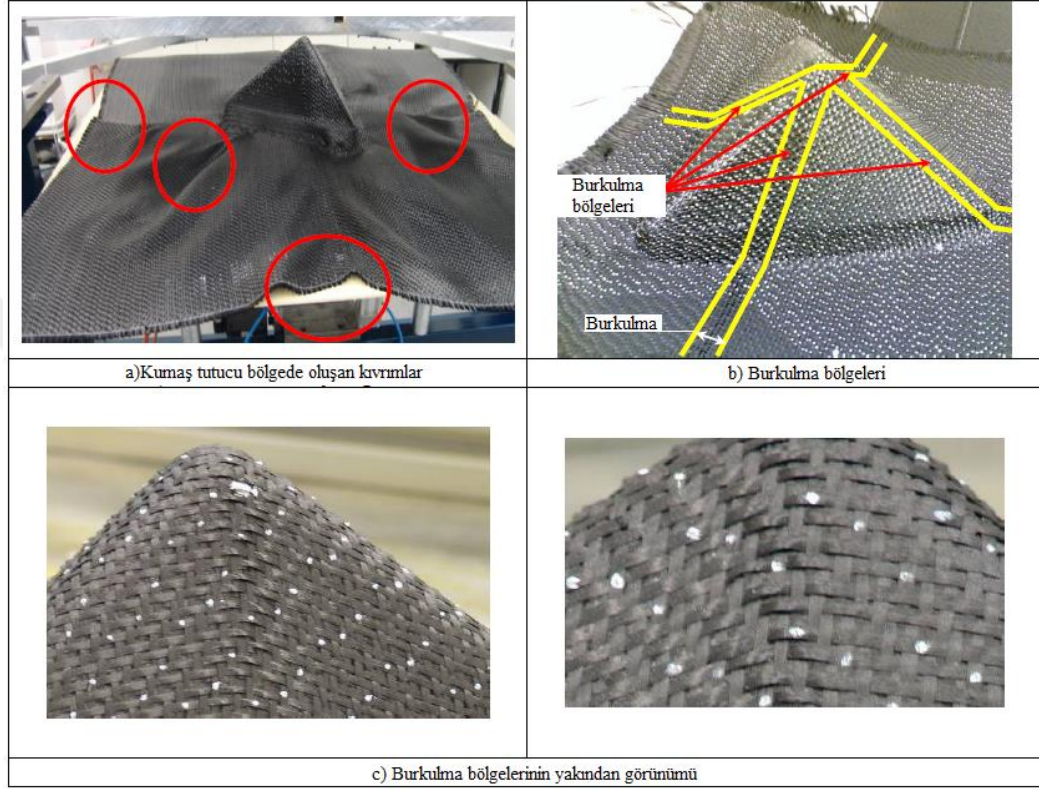
Rozant ve diğer. (2000) tarafından yapılmış olan bir çalışmada sandviç kompozit malzeme üretimi için şekil alabilirlik açısından en uygun kumaş türünün belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında bezayağı, dimi, 4' lü atkı sateni ve 8' li atkı sateni örgü düzenine sahip dokuma kumaşlar ve farklı yapısal özelliklere sahip atkılı ve çözgülü örme kumaşlar kullanılmıştır. Çalışmada pim modeli ile dokuma kumaşların kilitlenme açısı değerleri ve kıvrım oluşturma eğilimleri belirlenmeye çalışılmıştır. Pim modelinde ipliklerin uzayamaz, sıkıştırılamaz ve pim bağlantıları etrafında dönebilir oldukları kabul edilmekte, iplik temasının sağlanması ile kilitlenme açısı değeri elde edilmektedir. Kullanılan pim modeli ile kilitlenme açısı değerleri test değerlerine yakın olarak belirlenebilmiştir. Kilitlenme açısı düşük olan kumaşta ipliklerin kolay bir şekilde hareket edebilecekleri düşünülerek şekil alabilme

özelliklerinin daha iyi olacağı belirtilmiştir. Bu kapsamda 4' lü atkı sateni örgü raporuna sahip dokuma kumaşın kilitlenme açısı en düşük olan kumaş olduğu saptanmıştır. Çalışmada kilitlenme açısının yanı sıra şekil alabilirlik enerjisi ve çekilme alanı oranı değerleri belirlenmiştir. Çekilme alanı oranı, şekil alabilirlik yükü altında deforme olmuş ve deforme olmamış haldeki kumaşın yüzey alanı değerlerinin belirlenmesi ve birbirlerine göre oranının hesaplanması ile elde edilmektedir. Test edilen kumaşlar içerisinde 8' li atkı sateni örgü raporuna sahip dokuma kumaşın en yüksek çekilme alanı oranına sahip kumaş olduğu tespit edilmiştir.

Şekil alabilirlik özelliğinin belirlenebilmesi için yapılan kilitlenme açısı ve çekilme alanı oranı ölçümleri sonrasında farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Kilitlenme açısının belirlenmesinde etkin olan deformasyon sadece kayma deformasyonu iken şekil alabilirlik özelliği eğilme, uzama, sıkıştırılabilirlik gibi farklı kumaş deformasyonlarından da etkilenmektedir. Bu durum bir kumaşın şekil alabilirlik özelliğinin belirlenebilmesi açısından sadece kayma deformasyonunun göz önünde bulundurulmasının doğru bir yaklaşım olmayacağını ifade etmektedir. Yapılan çalışma sonrasında ulaşılan bir diğer önemli sonuç ise kumaş geometrisi ile şekil alabilirlik özelliği arasındaki ilişkinin belirlenmesi olmuştur. Kumaşta iplik sıklığı ve çap değeri parametrelerinin şekil alabilirlik açısından önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil alabilirlik enerjisi ve mekanik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda, sandviç kompozit malzeme üretimi için çözümlü örme kumaşın test edilen kumaşlar arasındaki en uygun kumaş olduğu saptanmıştır.

Allaoui ve diğer. (2010) tarafından yapılmış olan bir çalışmada dokuma kumaşların şekil alabilirlik özellikleri tasarlanan test düzeneği ile belirlenmiştir. Prizmatik, kübik ve dört yüzü bası kafası türlerinin kullanılabildiği test düzeneğinde kumaş tutucu sistemler olarak pnömatik mekanizma veya sabit gerginlik sağlayan tutucu sistem kullanılabilmektedir. Geliştirilen test düzeneği diğer tasarımlardan farklı olarak kamera sistemi içermektedir. Kamera sistemi vasıtası ile şekil alabilirlik testi sırasında kumaş üzerinde meydana gelen değişimler kaydedilebilmektedir. Görüntü analizi yönteminin kullanımı ile kumaş şekil değişim özelliği detaylı olarak incelenebilmektedir. Görüntü analizi yönteminin kumaşa uygulanabilmesi için

kumaşın belirli bölgelerinin işaretlenmesi sağlanmaktadır. Yapılan çalışmada kıvrım oluşumunun yanı sıra farklı bir hata türü olarak ipliklerde burkulma meydana gelmiştir. Şekil 1.18’ de, kumaşta oluşan kıvrımlar ve iplik burkulma bölgeleri gösterilmektedir.



Şekil 1.18 Şekil alabilirlik testi esnasında oluşan kıvrım ve burkulma bölgeleri (Allaoui ve diğer., 2010)

Liu ve diğer. (2016) tarafından yapılmış olan bir çalışmada iğneleme yöntemi ile üretilen 3B kumaşların şekil alabilirlik özellikleri incelenmiştir. Dikiş mesafesi ve oryantasyonu gibi parametreler değiştirilerek kumaşların şekil alabilirlik özellikleri ve kıvrım oluşturma eğilimleri analiz edilmiştir. Küresel bası kafasının kullanıldığı çalışmada pnömatik kumaş tutucu sistem tercih edilmiştir. Bası kafasının hareket mesafesi ve katlar arası kayma problemi optik sistem vasıtası ile belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonrasında dikiş mesafesinin azaltılması ile kumaşların şekil alabilirlik kabiliyetlerinin azaldığı ve katlar arası kayma probleminin daha az gözlemlendiği belirtilmiştir. Dikiş parametrelerinin değiştirilmesi ile kumaşların şekil alabilirlik özelliklerinin ve kıvrım oluşturma eğilimlerinin değiştiği ifade edilmiştir.

Diğer taraftan dikiş oryantasyonunun değiştirilmesinin kumaşın genel şekil alabilirlik özelliğinde herhangi bir fark yaratmadığı belirtilmiştir.

3B çözgü interlok kumaşlar iyi derecede şekil alabilme özelliğine sahiptir (Dufour, Wang, Boussu ve Soulat, 2014). Bu duruma karşın, üçüncü boyutlarında bir kalınlık değerine sahip oldukları için şekil alabilirlik işlemi sırasında davranışlarını tahmin edebilmek geleneksel dokuma kumaşlara göre daha karmaşıktır.

Literatürde 3B çözgü interlok kumaşların şekil alabilirlik özelliğinin incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılmış olan çalışmalar genellikle test yöntemleri ve numerik matematiksel modelleme çalışmaları üzerine yoğunlaşmış durumdadır. 3B çözgü interlok kumaşların şekil alabilirlik özelliğinin analiz edilmesinde DIC yöntemi, in- situ sensörleri ya da elektriksel ölçüm yöntemleri kullanılabilmektedir.

Geleneksel dokuma kumaşların analiz edilmesinde oldukça etkili bir yöntem olan DIC yöntemi, 3B kumaşların analizi konusunda çeşitli eksiklikler içermektedir (Khan, Mabrouki, Vidal-Sallé ve Boisse, 2010; Lin, Wang, Long, Clifford ve Harrison, 2007; Stepan V. Lomov ve diğer., 2008). DIC yöntemi ile sadece kumaş yüzeyinde meydana gelen yer değişim saptanabilmektedir. Belirli bir kalınlık değerine sahip 3B kumaşlarda şekil alabilirlik işlemi sırasında kumaşın iç kısımlarında da değişim meydana gelmekte ve bu değişim DIC yöntemi ile belirlenememektedir. Bu problem ‘gölgeleme etkisi’ olarak adlandırılmaktadır (Gereke ve diğer., 2013).

Kumaş iç kısımlarında meydana gelen yer değişimin belirlenebilmesi için 3B çözgü interlok kumaşlara in- situ sensörleri yerleştirilmekte, meydana gelen değişim bölgesel olarak veya kalınlık boyunca ölçülebilmektedir.

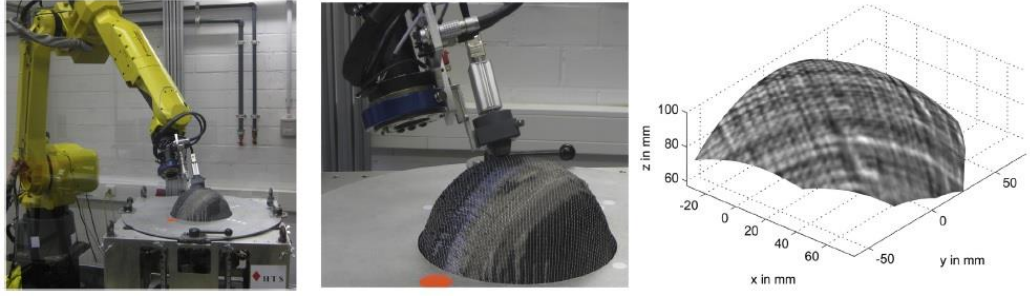
Zhu ve diğer. (2011) tarafından yapılmış olan bir çalışmada geleneksel dokuma kumaşta kayma açısının değişimi in-situ sensörleri ile ölçülmüş ve meydana gelen değişim %10 gibi bir fark ile belirlenebilmiştir. Belirlenen fark değeri sensörler tarafından yapılan ölçümün güvenilirliğini ifade etmektedir. In- situ sensörleri ile bir diğer çalışma Dufour ve diğer. (2016) tarafından yapılmıştır. Çalışmada sensörler 3B

     interlok kumaşın yüzeyi ve kalınlığı boyunca yerleştirilmiş, kumaşın şekil alabilirlik testi sırasındaki uzama davranışı analiz edilmiştir. şekil alabilirlik testi tamamlandıktan sonra sensörlerin ve kumaşın ölçüm yapılan bölgesinin benzer uzama davranışı gösterdiği sonucuna varılmıştır.

şekil alabilirlik davranışının analiz edilmesi konusunda son yıllar içerisinde kullanılmaya başlanan bir diğer yöntem ise elektriksel ölçüm yöntemleridir. Fukolt akımı vasıtası ile kumaş üzerinde elektriksel alan oluşturularak, kumaş içerisinde yer alan ipliklerin konumu ve birbirleri ile yaptıkları bölgesel a ı değerleri belirlenebilmektedir.

Bardl ve diğer. (2018) tarafından yapılmış olan bir çalışmada dikme yöntemi ile iki eksenli (+45/-45), kıvrımsız, farklı yapısal özelliklere sahip beş ayrı kumaş üretilmiş, şekil alabilirlik testi uygulanmış ve elektriksel ölçüm yöntemi ile analiz edilmiştir. Çalışmada şekil alabilirlik testi için bası kafası hızı, tutucu basınç miktarı ve kumaş yapısal özellikleri (dikiş boyu, dikiş gerginliği ve iplik lineer yoğunluğu) değiştirilerek test sonuçlarına etkileri gözlemlenmiştir. Fukolt akımı ile kumaş şekil alabilirlik özelliğinin test edilen cihaz şekil 1.19' da gösterilmektedir. Akımın iletildiği kısım bir robot koluna ba lanmış ve kumaşın bu robot kolu ile taranması sağlanmıştır. şekilde, tarama sonrasında elde edilen analiz sonucu da gösterilmektedir.

Fukolt akımı yöntemi ile kumaş  n ve arka yüzeyinde yer alan ipliklerin konumu tek bir analiz sonucu ile belirlenebilmektedir. Bu durum özellikle çok katlı kumaş türlerinde kumaş içerisinde meydana gelen değişiminin saptanabilmesi açısından oldukça önemlidir. Literatürde, Fukolt akımı kullanılarak karbon çok katlı kumaş ve kompozit malzemelerinin hatalarının belirlendiği çeşitli çalışmalar da yer almaktadır (Mizukami, Mizutani, Todoroki ve Suzuki, 2016; Schulze, Heuer, Küttner ve Meyendorf, 2010).



Şekil 1.19 Tarama işlemi (sol ve orta), analiz sonucu (sağ) (Bardl ve diğer., 2018)

1.2.5. Üç Boyutlu Çözümlü İnterlok Kumaşların Şekil Alabilirlik Özelliklerinin Modellenmesi

Literatürde geleneksel dokuma kumaşların analitik, numerik, istatistiksel ya da kinematik olarak kumaş modellerinin oluşturulduğu birçok çalışma bulunmaktadır. Oluşturulan modeller sayesinde kumaşların yapısal veya mekanik özellikleri detaylı olarak incelebilmekte ya da bu modeller çeşitli özelliklerin tahminlenmesi amacı ile kullanılabilmektedir.

3B çözgü interlok kumaşların şekil alabilirlik özelliklerinin modellenmesi üzerine yapılmış olan çalışmalar bilgisayar destekli numerik kumaş modelleri üzerine yoğunlaşmış durumdadır, literatürde istatistiksel ya da analitik kumaş modelinin oluşturulduğu bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bilgisayar desteği ile oluşturulan numerik kumaş modelleri ile şekil alabilirlik testi sonrasında kumaşın genel morfolojisi, hata ve kıvrım oluşumu gibi konularda bilgi sahibi olunabilmektedir.

1.2.5.1 Üç Boyutlu Çözümlü İnterlok Kumaşların Şekil Alabilirlik Özelliklerinin Bilgisayar Destekli Numerik Yöntemler ile Modellenmesi

3B çözgü interlok kumaşların şekil alabilirlik, geçirgenlik ya da balistik gibi karmaşık deformasyonları bilgisayar destekli numerik yöntemlerle modellenebilmektedir (Ha-Minh, Boussu, Kanit, Crépin ve Imad, 2012; Jia, Sun ve

Gu, 2012; Tahir, Stig, Åkermo ve Hallström, 2015; Zeng, Brown, Endruweit, Matveev ve Long, 2014). Deformasyonun türüne bağlı olarak kumaş modelinin oluşturulması aşamasında sonlu elemanlar, sonlu hacimler ya da sonlu farklar metotları kullanılabilir. Şekil alabilirlik özelliğinin incelenmesinde genellikle sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmektedir.

Sonlu elemanlar yönteminin temel prensibi, karmaşık problemleri çözümü bilinen sonlu parçalara ayırmak ve parça halinde olan çözümlerin bir araya getirilmesi ile sistemin genel çözümüne ulaşmaktır. Sonlu sayıdaki elemanların kendi içerisinde çözümü yapılarak elemanı ifade eden denklem oluşturulmaktadır. Eleman denklemlerinin bir araya getirilmesi ile tüm sistemin lineer denklem takımı elde edilmektedir.

Kumaşların şekil alabilirlik özelliğinin analiz edildiği çalışmalarda sonlu elemanlar modeli üç farklı yaklaşım ile oluşturulabilmektedir. Bunlar, süreklilik (continuous), ayrık (discrete) ve yarı ayrık (semi- discrete) yaklaşımlarıdır.

Süreklilik yaklaşımında kumaş modeli makroskobik boyutta oluşturulmaktadır. Tek ve bütün bir yapıya sahip olan kumaşa büyük deformasyonlar meydana gelmektedir. Modelin sahip olduğu mekanik özellikler kumaş ile aynı olacak şekilde oluşturulmaktadır.

Süreklilik yaklaşımı ile sonlu elemanlar modelinin oluşturulması aşamasında hipoelastik ve hiperelastik olmak üzere iki farklı malzeme modeli tercih edilebilmektedir. Bu iki modelin kullanılmasındaki temel amaç; şekillendirme esnasında kumaş üzerinde büyük deformasyonların meydana gelmesi ve uygulanan kuvvetler ortadan kaldırıldığında kumaşın eski haline tekrar dönebilmesidir. Hiperelastik malzeme modeli, kauçuk gibi lineer olmayan elastik özelliklere sahip malzemelerin ifadesinde kullanılmaktadır. Bu yöntemde malzemenin elastik özellikleri potansiyel enerji fonksiyonları ile ifade edilmektedir. Malzeme üzerinde meydana gelen her deformasyon türünün farklı bir enerji fonksiyonuna sahip olduğu kabulü yapılmaktadır. Sözü geçen enerji fonksiyonlarının toplanması ile sistemin

genel enerji denklemi oluşturulmaktadır. Eşitlik 1.3' te bir kumaşın enerji eşitliği gösterilmektedir.

$$W = W_1(I_1) + W_2(I_2) + W_s(I_{12}) \quad (1.3)$$

Eşitlikte W_1 ve W_2 sırası ile çözü ve atkı ipliklerinin uzama gerilmesinden dolayı sahip oldukları potansiyel enerjileri, W_s kayma gerilmesinden dolayı kumaşta oluşan potansiyel enerjiyi, I_1 , I_2 , ve I_{12} ise uzama ve kayma deformasyonu sabitlerini ifade etmektedir (Aimène, Vidal-Sallé, Hagège, Sidoroff ve Boisse, 2010).

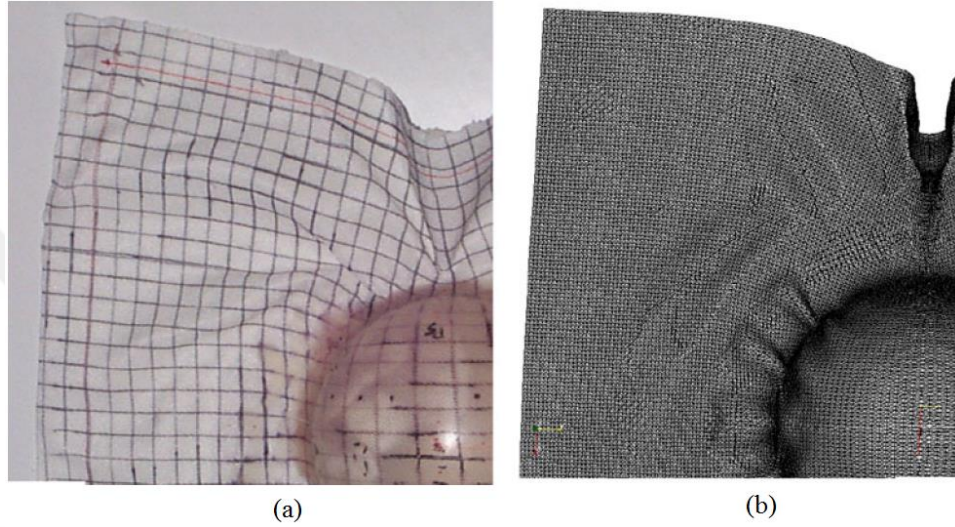
Büyük deformasyonlara sahip malzemelerin modellenmesinde kullanılan bir diğer yaklaşım ise hipoelastik malzeme modelidir. Eşitlik 1.4' te hipoelastik malzemelerin tanımlanmasında kullanılan eşitlik gösterilmektedir. Eşitlikte σ^V gerilim vektörünü, C malzeme özelliklerinin belirtildiği vektörü, D ise deformasyon vektörünü ifade etmektedir (Boisse ve diğer., 2010).

$$\sigma^V = C : D \quad (1.4)$$

Ayrık (discrete) sonlu elemanlar yaklaşımı, kumaş özelliklerinin mezoskopik boyutta oluşturulan kumaş birim hücresi ile belirlendiği bir yöntemdir. Kumaşların çok sayıda iplikten oluşması, iplikler arasında bulunan temas noktaları ve ipliklerde meydana gelen kayma kumaş birim hücresinin oluşturulması aşamasını oldukça zorlaştırmaktadır. Kumaş birim hücresi modelinin kumaş mekanik özelliklerini doğru bir şekilde temsil etmesi gerekmektedir. Kumaş şekil alabilirlik özelliğinin ayrık yaklaşım ile belirlendiği çalışmalar diğer yaklaşımlar ile yapılmış olan çalışmalara göre daha az sayıdadır.

Yarı ayrık (semi- discrete) yaklaşımda, makroskobik boyutta oluşturulan kumaşın sonlu sayıda hücrelere bölünmesi ile modellenmesi sağlanmaktadır. Bu yöntem ile süreklilik yaklaşımında yaşanan kumaşı tek ve bütün bir yapı olarak modelleme ve ayrık yaklaşımda gözlemlenen ipliklerin ayrı olarak oluşturulması gibi zorluklar giderilmiştir.

Şekil alabilirlik özelliğinin incelendiği bir çalışmada farklı modelleme yaklaşımları arasındaki fark irdelenmiştir (Boisse ve diğer., 2010). Yarı ayırık yaklaşım ile oluşturulan modelin diğer yaklaşımlara göre test değerlerine daha yakın sonuçlar verdiği saptanmıştır. Şekil 1.20’ de yarım küre ile şekil verilen kumaşın deney sonucu ve yarı- ayırık yaklaşım ile oluşturulan model sonucu gösterilmektedir.



Şekil 1.20 Yarım küre ile şekil verilen kumaş (a) deney sonucu, (b) yarı ayırık yaklaşım ile oluşturulan model sonucu (Boisse ve diğer., 2010)

Şekil alabilirliğin belirlendiği sonlu elemanlar modelinde, üç boyutlu dokuma kumaş yapı üç boyutlu (Solid) ya da iki boyutlu (Shell) eleman ile oluşturulabilmektedir. Modellenmesi planlanan yapının kalınlığı yönündeki özellikleri (atkı ve çözgü kalınlığı yönündeki kayma deformasyonu ve sıkıştırılabilme) saptanmak istendiğinde üç boyutlu eleman kullanımı daha doğru bir tercih olarak görünmektedir. Diğer yandan, iki boyutlu eleman ile oluşturulan yapıların çözümleri daha kısa sürede tamamlanabilmektedir.

Sonlu elemanlar modeli ile elde edilen simülasyon sonuçlarının güvenilirliği, şekil alabilirlik özelliğinin test edilmesi ile sağlanabilmektedir. Sonuçların doğrulanması işleminde, kumaş içerisinde yer alan ipliklerin konumunda meydana gelen değişimin belirlenebilmesi için DIC yöntemi ya da in- situ sensörleri kullanılmaktadır.

1.2.5.2 Üç Boyutlu Çözümler İnterlok Kumaşların Şekil Alabilirlik Özelliklerinin Bilgisayar Destekli Numerik Yöntemler ile Modellenmesi Üzerine Yapılmış Olan Çalışmalar

3B çözgü interlok kumaşların şekil alabilirlik özelliklerinin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi üzerine yapılan ilk çalışmalardan biri Luycker ve diğer. (2009) tarafından gerçekleştirilmiştir. Malzeme özelliğinin hipoeplastik olduğu kabul edilen çalışmada, yapı hegzahedral sonlu elemanı ile yarı ayırık yaklaşımla modellenmiştir. Yapıya uygulanan kayma testinin modellendiği çalışmada, bölgesel kayma açısı değerleri saptanmış, test ile model sonuçlarının büyük oranda benzerlik gösterdiği görülmüştür. Düzlemsel kayma açısının, yapının şekil alabilirlik özelliğini belirleyen temel deformasyon türü olduğu belirtilmiştir. Şekil alabilirlik, yapının bölgesel kayma açısı değerleri analiz edilerek değerlendirilmiştir. 3B çözgü interlok dokuma yapının şekil alabilirlik özelliği, ilk olarak bir küre ile modellenmiştir. İkinci aşama olarak yapı, oldukça yüksek kıvrım değerlerine sahip motor bıçağı şeklinde oluşturulmuştur. Her iki sonlu elemanlar modelinde yapının şekil alabilirliği incelenmiş, iplik oryantasyonu belirlenmiştir. Çalışmada, şekil alabilirlik birebir test edilemediği için simülasyon sonuçlarının gerçeğe yakınlığı değerlendirilememiştir. Luycker ve diğer. (2010) tarafından yapılan bir diğer çalışmada küre ile yapıda meydana gelen şekil değişimi, test sonuçları ile morfolojik açıdan karşılaştırılmış, yakın sonuçlar elde edilmiştir. Test verileri, şekil alabilirliğin deneysel olarak gözlemlendiği başka bir çalışmadan alınmıştır (Lomov ve diğer., 2008).

Belirli bir kalınlık değerine sahip yapıların, geniş ölçüde eğilmeye maruz kaldığı çalışmalarda model ile test sonuçları arasında birtakım kinematik farklar oluşmaktadır. Bu durumun yanı sıra hipoeplastik denklemlerin çözümünde diferansiyel geometrinin karmaşık çözüm gruplarına ihtiyaç duyulması, şekil alabilirliğin hiperelastik malzeme özellikleri ile modellenmesi sonucunu doğurmuştur.

Charmetant ve diğer. (2012) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, 3B çözgü interlok kumaş hiperelastik malzeme özellikleri ile modellenmiştir. Çalışmada, yapının şekil alabilirlik özelliğine düzlemsel ve kalınlık yönlerinde olmak üzere

toplam altı farklı deformasyon mekanizmasının (atki ve çözgü yönündeki uzamalar, düzlemsel kayma deformasyonu, kalınlık doğrultusunda atki ve çözgü yönündeki kayma deformasyonları, kalınlık yönündeki sıkıştırılabilme) etkili olduğu belirtilmiştir. Belirtilen her deformasyon türünün enerji- uzama fonksiyonları saptanmış, yapılan deneyler ile deformasyon sabitleri belirlenmiştir. Bulunan sabitler sonlu elemanlar modeli için giriş verilerini oluşturmuştur. Şekillendirme sonrası yapının bölgesel kayma açısı ve sıkıştırılma miktarı saptanmıştır. Simülasyon ve test verilerinin büyük oranda benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Yapının sonlu elemanlar programında üç boyutlu eleman ile modellenmesi, kalınlık yönünde meydana gelen sıkışma miktarının belirlenmesi açısından avantaj sağlamıştır. Kumaşın genel şekil alabilirlik özelliği açısından morfolojik olarak test sonuçlarına yakın sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma kapsamında 3B çözgü interlok kumaşın şekil alabilirlik özelliğinin yanı sıra eğilme davranışı incelenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Morfolojik açıdan simülasyon ve test sonuçları arasında birtakım farkların olduğu belirlenmiştir. Oluşturulan kumaş modelinin bölgesel eğilme rijitliğini içermemesi bu durumun temel sebebi olarak belirtilmiştir.

Üç boyutlu sonlu eleman kullanımı ile elde edilen kumaş modellerinde hiperelastik malzeme özellikleri, sürekli ortam mekaniği birinci eğim teorisi (first gradient theory) kapsamında oluşturulmaktadır. Eşitlik 1.3' de de gösterildiği gibi bu yaklaşım tipi üç boyutlu elemanlar için eğilme rijitliğini içermemektedir. Oluşturulan modeller yüksek derecede eğilme deformasyonuna maruz bırakıldıklarında test değerleri ile aralarında birtakım farklar oluşmaktadır.

Mathieu ve diğer. (2015) tarafından yapılmış olan bir çalışmada üç boyutlu sonlu eleman ve hiperelastik malzeme özellikleri kullanılarak üç boyutlu dokuma kumaş modellenmiş, eğilme ve şekil alabilirlik özellikleri analiz edilmiştir. Bu durumun yanı sıra hegzagonal bir üç boyutlu sonlu eleman için eğilme rijitliği tanımlanmış ve bu eleman ile kumaşın modellenmesi sağlanmıştır. Eğilme rijitliğinin üç boyutlu sonlu elemene tanımlanması geometrik olarak sağlanmış, birbirine komşu olan elemanların pozisyonlarından kumaş modelinin bölgesel eğimi hesaplanmıştır. Yapılan eğilme testi sonrasında morfolojik açıdan test sonuçlarına göre daha yakın sonuçlar elde

edilmiştir. Çalışmada eğilme testinin yanı sıra şekil alabilirlik testi de farklı elemanların kullanımı ile analiz edilmiştir. Eğilme rijitliğinin tanımlandığı kumaş modeli ile kıvrım oluşturma eğilimi açısından test değerlerine daha yakın sonuçlara ulaşılmıştır.

Sürekli ortamlar mekaniği birinci eğim teorisine göre oluşturulan kumaş modellerinde gözlemlenen problemler, sonlu elemanın eğilme rijitliği yönünden modifiye edilmesinin yanı sıra ikinci eğilme teorisi (second gradient theory) gibi farklı yaklaşım türleri ile de kumaş modellerinin oluşturulması üzerine çalışmaların yapılmasına yol açmıştır. Eşitlik 1.5' te ikinci eğim teorisine göre kumaşın enerji eşitliği gösterilmektedir.

$$W_{II}(C) = \frac{1}{2} \alpha_1 i_{12,1}^2 + \frac{1}{2} \alpha_2 i_{12,2}^2 + \frac{1}{2} \beta_1 i_{13,1}^2 + \frac{1}{2} \beta_2 i_{23,2}^2 \quad (1.5)$$

Denklemden kumaşın sahip olduğu potansiyel enerji $W_{II}(C)$, düzlemsel yönde çözgü ve atkı ipliği doğrultularında kumaş eğilme rijitlikleri sırası ile α_1, α_2 , kumaş kalınlığı yönünde çözgü ve atkı ipliği doğrultularında eğilme rijitlikleri sırası ile β_1, β_2 ve bu yönlerde meydana gelen yer değişimi i ile ifade edilmektedir.

Barbagallo ve diğer. (2017) tarafından yapılmış olan bir çalışmada üç boyutlu dokuma kumaş hem birinci eğim teorisi hem de ikinci eğim teorisi ile modellenerek aralarındaki fark irdelenmiştir. Çalışmada her iki yaklaşım türü ile oluşturulan kumaş modellerinin kıvrım oluşturma eğilimleri analiz edilmiştir. İkinci eğim teorisi ile oluşturulan kumaş modelinde deney sonuçlarına daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca kumaş modelinin sahip olduğu eleman sayısı ile kıvrım oluşturma eğilimi arasındaki ilişki de incelenmiştir. Eleman sayısının farklılaştırılmasının birinci eğim teorisi ile oluşturulan kumaş modelinin kıvrım oluşturma eğilimini değiştirdiği belirlenmiştir. Bu duruma karşın ikinci eğim teorisi ile oluşturulan kumaş modelinde kıvrım oluşturma eğiliminde bir değişiklik olmadığı saptanmıştır.

Pazmino ve diğer. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada 3B çözgü interlok kumaşların kompleks kalıplar üzerinde (dört yüzölçüm kalıp, çift kubbeli kalıp) şekil

alabilme kabiliyeti sonlu elemanlar metodu ile modellenmiştir. Hiperelastik malzeme özellikleri kullanılarak, makroskobik boyutta bir modelin oluşturulması sağlanmıştır. Charmetant ve diğer. (2012) tarafından yapılan çalışmaya benzer olarak yapının şekil alma kabiliyetinin altı farklı deformasyon mekanizmasından oluştuğu belirtilmiş, deformasyon sabitleri belirlenmiştir. Bu amaçla ihtiyaç duyulan test değerleri başka bir çalışmadan alınmıştır (Pazmino ve diğer., 2014). Bölgesel kayma açısı bakımından büyük ölçüde benzerlik elde edilmiştir. Çalışmada, şekil alabilirliğin yanı sıra kayma testi de modellenmiştir. Kayma testinde, yapı üzerinde üç farklı kayma bölgesi oluşmaktadır ve her kayma bölgesi farklı bir açı değerine sahiptir. Sonlu elemanlar yönteminde, yapı üzerinde açı değerlerinde meydana gelen süreksizlik ifade edilememektedir. Sonlu elemanlar modelinde yaşanan bu problem, yapının gereğinden fazla miktarda gerilime sahip olmasına neden olmaktadır. Yaşanan problem, modeli oluşturan elemanların köşelerinin ipliklerin yapı içerisinde oryante oldukları doğrultuda yönlendirilmesi ile çözümlenmiştir. Model, iki tür eleman boyutu ile kurulmuş, açı değerinin dağılımı ve kuvvet- yer değişim değerleri incelenmiştir. Eleman boyutunun küçülmesi, kayma açısı dağılımının daha iyi gözlemlenebilmesini sağlamış fakat kuvvet ve yer değişim değerlerinde herhangi bir değişime neden olmamıştır.

Sonlu elemanlar modelinin çözümünde, yapının içerdiği ayrıntı miktarı ve kullanılan bilgisayarın donanımı sarf edilen süre açısından oldukça önemli parametrelerdir. Tekstil yüzeylerinin şekil alabilme kabiliyetinin modellendiği çalışmalar, uzun işlem süreleri gerektirmektedir.

Hübner ve diğer. (2016), 3B çözümler için interlok kumaşı iki boyutlu eleman ile modelleyerek işlem süresini kısaltmayı hedeflemişlerdir. İki boyutlu eleman kullanımı, yapının kalınlığı yönünde sahip olduğu deformasyonların şekil alabilirliğe olan etkisinin gözlemlenememesine neden olmuştur. Belirli bir kalınlık değerine sahip ve katlı iki boyutlu eleman kullanımı ile bu problemin çözümlenebileceği ayrıca belirtilmiştir. Şekillendirme esnasında kalıba uygulanan basınç değeri ve yapı ile kalıp arasında meydana gelen sürtünmenin şekil alabilme üzerine etkisine, literatürde yer alan diğer çalışmalarda değinilmemiştir. Yapılan çalışma ile kalıba uygulanan basınç

miktarı ve sürtünme kuvveti değerlerinin arttırılmasının şekillendirme esnasında kıvrım oluşumunu azalttığı belirlenmiştir. Genel anlamda şekil alabilirlik açısından test değerleri ile oldukça yakın sonuçlara ulaşılmıştır.

Wang ve diğer. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, şekillendirme esnasında meydana gelen kıvrım, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve analiz edilmiştir. 3B çözgü interlok kumaşlar belirli bir kalınlık değerine sahip düz kumaş formunda üretilebildikleri gibi bir şekle sahip olarak da elde edilebilmektedir. Çalışmada, kumaş üzerinde oluşan kıvrımı engelleyebilmek için dikdörtgen prizma şekline sahip 3B çözgü interlok kumaş üretimi yapılmıştır. Diğer yandan düz kumaş formuna sahip üç boyutlu çözgü interlok kumaşın şekillendirilmesi sağlanarak aralarındaki fark irdelenmiştir. Yarı ayırık sonlu elemanlar yaklaşımının kullanıldığı çalışmada yapı iki boyutlu eleman ile oluşturulmuştur. Dikdörtgen prizma şeklinde üretilen dokuma kumaşta, kompozit üretim aşamasında herhangi bir kıvrım oluşumu gözlemlenmemiştir fakat şekillendirme yönteminin üretim açısından daha etkili ve hızlı olduğu saptanmıştır. Dokuma kumaşların belirli bir şekle sahip olarak üretilmesi, karmaşık geometrili malzemelerin üretimi açısından çeşitli avantajlara sahiptir. Bu durumun yanı sıra üretim hızının düşük olması ve her çeşit şeklin üretilmemesi önemli eksik noktalarını oluşturmaktadır.

1.3 Çalışmanın Amacı

Tez çalışması kapsamında 3B çözgü interlok karbon kumaşların üretilmesi ve farklı yükler altındaki mekanik davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, karbon iplikleri kullanılarak farklı yapısal özelliklere sahip kumaşlar üretilmiş, planlanan mekanik testler uygulanmış ve test sonuçları değerlendirilerek yorumlanmıştır.

3B çözgü interlok kumaşların üretiminde Gemtex Laboratuvarı/ ENSAIT' de bulunan prototip dokuma makinesi kullanılmış ve kumaşlar bağlayıcı çözgü ipliğinin parametreleri ve eksenel çözgü ipliğinin kumaştaki mevcudiyetine göre farklılaştırılmıştır.

Çözgü özme ve dokuma gibi iplik mukavemetini etkileyen işlemler sırasında kayıp yaşanmaması için gerekli önlemler alınmış, böylece kumaşların oldukça düşük bir hata oranına sahip olarak üretilebilmeleri sağlanmıştır.

Kumaşların yük altındaki davranışlarının belirlenmesi aşamasında çekme, eğilme, kayma ve şekil alabilirlik gibi mekanik özellikleri test edilmiş, elde edilen sonuçlar detaylı olarak analiz edilmiştir.

Kumaş yapısal ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin matematiksel olarak ifade edilebilmesi için istatistiksel analizler uygulanmış, ilişkinin yönünü ve derecesini gösteren korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Kumaş mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler de aynı yöntem ile analiz edilmiştir.

Çalışmada ayrıca 3B özgü interlok karbon kumaşların şekil alabilirlik özelliklerinin tahminlenebilmesi için istatistiki yöntemler kullanılarak matematiksel kumaş modelleri oluşturulmuştur.

BÖLÜM İKİ

MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

2.1.1 Ham madde

Çalışmada ham madde olarak Toho Tenax firmasının 6K- 400 Tex (HTA40) karbon ipliği kullanılmıştır. İpliğin firma tarafından belirtilen mekanik özellikleri Tablo 2.1’ de gösterilmektedir.

Tablo 2.1 Üretici firma tarafından verilen iplik özellikleri (“Toho Tenax,” b.t.)

İplik Kodu	Filament Sayısı	İplik No.	Yoğunluk	Kopma Muk.	Kopma Uzama
		Tex	g/cm ³	MPa	%
HTA40	6000	400	1,77	4100	1,7

2.1.2 Prototip Dokuma Makinesi

Tez çalışmasında kumaşların üretilmesi için Gemtex Laboratuvarı/ ENSAIT’ te bulunan prototip dokuma makinesi kullanılmıştır. Bu makine 3B çözgü interlok kumaşların yüksek performanslı lifler ile üretilebilmeleri amacıyla tamamen kurumda tasarlanmış ve üretilmiştir.

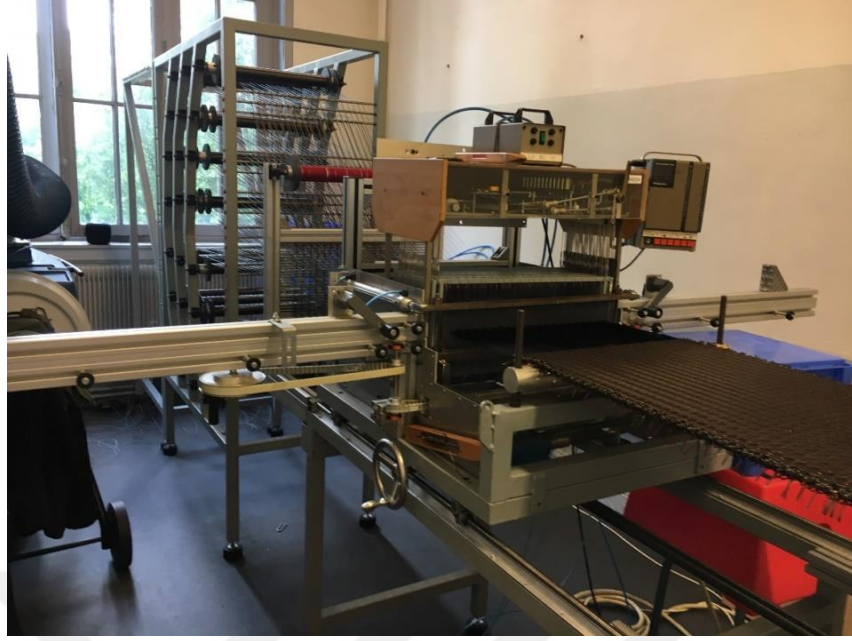
Karbon lifleri elektrik iletibildikleri ve insan sağlığına zararlı oldukları için makine dış çevreye yalıtılmış bir ortamda muhafaza edilmiş ve koruyucu giysiler ile çalışılmıştır. Şekil 2.1’ de çalışma yapılan prototip dokuma makinesi gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Prototip dokuma makinesi (Gemtex Laboratuvarı/ ENSAIT) (Kişisel arşiv, 2021)

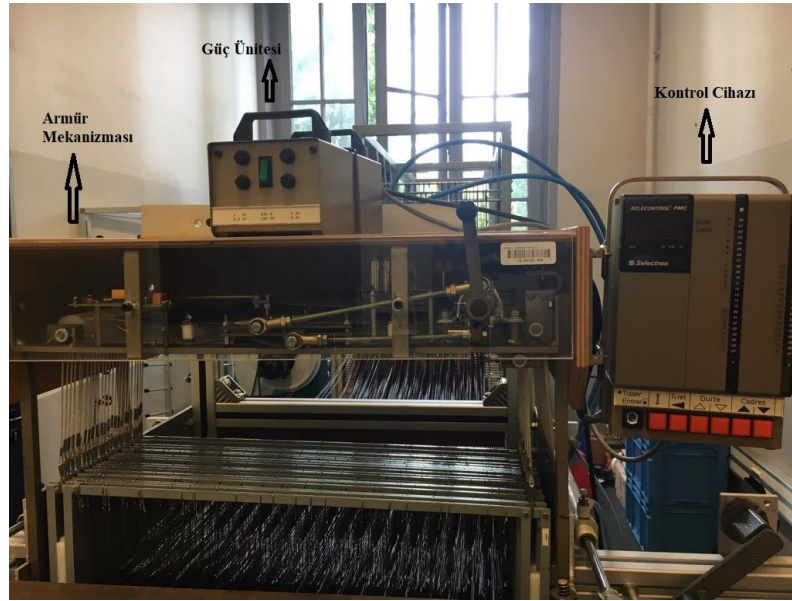
Çalışma yapılan dokuma makinesi sanayi ve laboratuvar tarzı geleneksel makinelerden mekanizmaları ve çalışma sistematığı açısından birçok farklılıklar içermektedir.

3B çözgü interlok dokuma kumaşlar belirli bir kalınlık değerine sahip oldukları ve iç kısımlarında iplikler içerdikleri için geleneksel makinelerde olduğu gibi kumaş leventlerine sarılmaları halinde ipliklerin konumu değişmekte ve kumaşın hatalı üretilmesine yol açmaktadır. Bu nedenle makinede çerçeveler, armür mekanizması ve tarakların yer aldığı kafa kısmı bir kızak üzerine oturtulmuştur ve hareketi için bir kol mekanizması kullanılmaktadır. Böylece kumaşın düz bir formda üretilmesi sağlanabilmektedir. Şekil 2.2’ de makinenin kafa kısmı ve kol mekanizması gösterilmektedir.



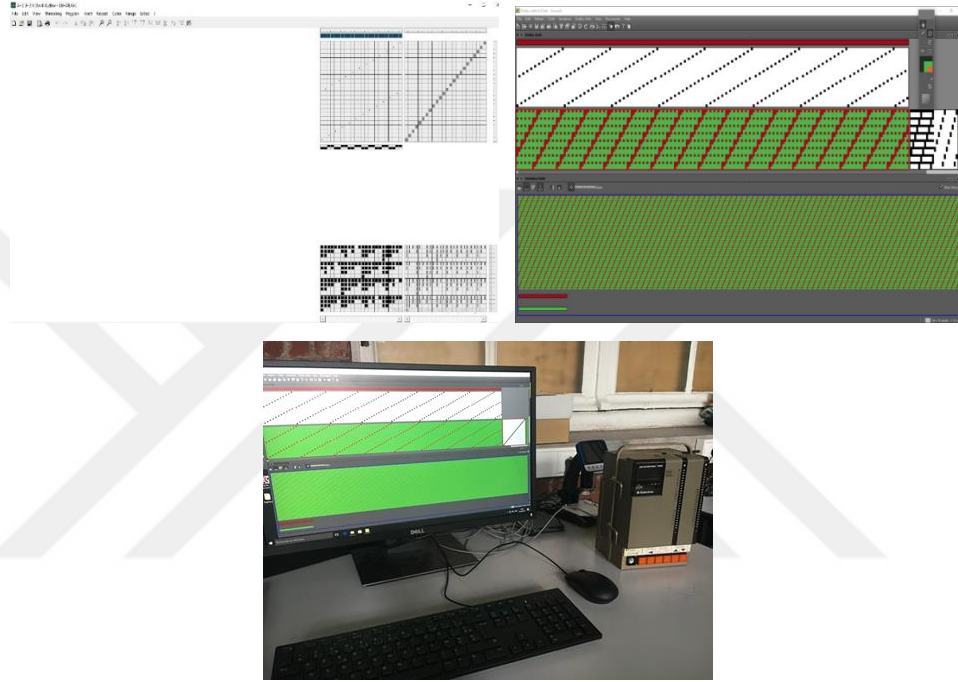
Şekil 2.2 Makine kafa kısmı ve kol mekanizması (Gemtex Laboratuvarı/ ENSAIT) (Kişisel arşiv, 2021)

Makinede ağızlık açma işlemi için armür mekanizması ve yirmi dört adet çerçeve kullanılmaktadır. Armür mekanizmasında çerçevelerin seçimi elektromanyetik olarak çalışan sistem ile sağlanmaktadır. Armür mekanizmasına kumaş üretimi için bilgilerin aktarımı bir kontrol cihazı vasıtasıyla yapılmaktadır. Şekil 2.3’ te armür mekanizması, güç ünitesi ve kontrol cihazı gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Kontrol cihazı, güç ünitesi, armür mekanizması (Gemtex Laboratuvarı/ ENSAIT) (Kişisel arşiv, 2021)

Kontrol cihazına bilgilerin aktarımı bilgisayar ve DB weave (“Brunold Software - DB-WEAVE,” n.d.), Pointcarre (“Dobby Weaving Design Program - Pointcarre CAD Textile Software,” n.d.) gibi dokuma programları ile sağlanmaktadır. Bu programlar ile kumaş tiplerine ait armür ve tahar planları oluşturularak bir kablo vasıtası ile cihaza transferi yapılmaktadır. Şekil 2.4’ te sözü geçen bilgisayar programları ve aktarım işlemi gösterilmektedir.



Şekil 2.4 DB weave (“Brunold Software - DB-WEAVE,” b.t.), pointcarre (“Dobby Weaving Design Program - Pointcarre CAD Textile Software,” b.t.) yazılımları ve transfer işlemi (Kişisel arşiv, 2021)

Makinede çerçevelerin ve tefe mekanizmasının hareketi pnömomatik bir sisteme bağlanmıştır ve hareketleri bir çift pedal vasıtası ile sağlanmaktadır. Atkı atma işlemi ise insan gücü ile çalışan bir mekanizma ile yapılmaktadır. Şekil 2.5’ te makine pnömomatik sistemi, kullanılan pedallar ve atkı atma mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Pnömatik sistem, pedallar ve atkı atma mekanizması (Gemtex Laboratuvarı/ ENSAIT) (Kişisel arşiv, 2021)

Karbon gibi yüksek kopma mukavemetine sahip lif ve ipliklerde uzama oranı çok düşük olduğu için dokuma makinelerinde ağızlığın açılması sırasında iplik gerginliğini dengeleyen sistemlerin kullanılması gerekmektedir. Çalışılan makinede ipliklerin sisteme birden fazla levant ile beslenmesi sağlanmaktadır. Her çözgü levendi kendine ait ağırlık içermekte, bu ağırlıklar vasıtası ile ağızlığın açılması sırasında gerginliğin kontrolü mümkün olmaktadır. Şekil 2.6' da makine levant cağılığı ve levant ağırlıkları gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Levent cağılığı ve levent ağırlıkları (Gemtex Laboratuvarı/ ENSAIT) (Kişisel arşiv, 2021)

Karbon lifleri iplik ekseninde oldukça yüksek kopma mukavemeti değerine sahip olmalarına rağmen çok düşük aşınma direnci göstermektedir. Makine metal aksamı ile sürtünmeleri halinde karbon ipliklerinde ciddi derecede mukavemet kaybı oluşmaktadır. Ayrıca iplik filamentlerinde kopuşların meydana gelmesi dokuma işlemi sırasında çeşitli problemlerin oluşmasına, üretim verimliliğinin düşmesine ve kumaşların hatalı üretilmesine yol açabilmektedir. Makinede ipliklerin belirli bir düzen içerisinde dokuma bölgesine aktarılmasını sağlayacak ve iplikler arası sürtünmeyi azaltacak çelik barlar yer almaktadır. Şekil 2.7’ de söz konusu çelik barlar gösterilmektedir.



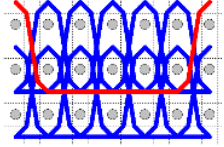
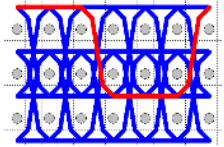
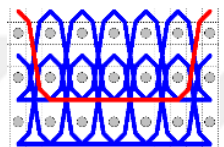
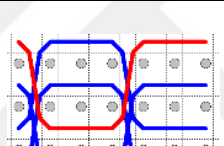
Şekil 2.7 Birinci ve ikinci çelik bar grupları (Gemtex Laboratuvarı/ ENSAIT) (Kişisel arşiv, 2021)

2.1.3 Çalışma kapsamındaki 3B Çözümlü İnterlok Kumaşların Yapısal Özellikleri

Tez kapsamında üretilecek olan kumaş grubunun 3B çözgü interlok kumaşların tüm çeşitlerinden örnekler içermesine dikkat edilmiştir. İlk aşama olarak, kumaşlar eksenel çözgü ipliği içeren ve içermeyen olmak üzere iki farklı sınıfa ayrılmıştır.

Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaşlar bağlayıcı çözgü ipliğinin birbirine göre konumunu belirleyen örgü raporu göz önünde bulundurularak farklılaştırılmış, dört kumaş türünün üretilmesine karar verilmiştir. Sözü geçen kumaşlar Tablo 2.2’ de gösterilmektedir. Kumaş şematik boyuna kesitlerinin oluşturulması için WiseTex programı (Lomov, Gusakov, Huysmans, Prodromou, ve Verpoest, 2000) kullanılmıştır.

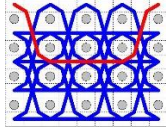
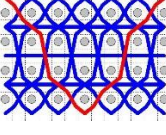
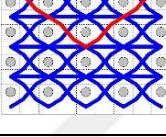
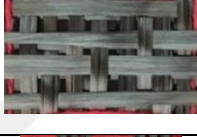
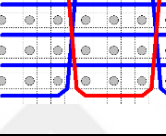
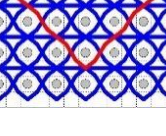
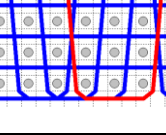
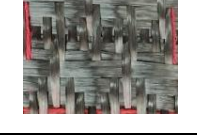
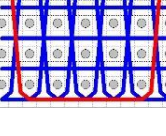
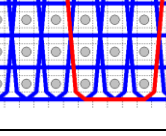
Tablo 2.2 Eksenel çözgü ipliği içermeyen 3B çözgü interlok kumaşlar

Tanım	Kat Sayısı	Örgü Raporu	3B Örgü Türü	Boyuna Kesit	Yüzey Görünümü
O-KK 5-2 3 {1x5 Dimi}	3	1x5 Dimi	O-KK		
O-KK 3-2 3 {3x3 Dimi}	3	3x3 Dimi	O-KK		
O-KK 5-2 3 {6' lı Saten}	3	6' lı Saten	O-KK		
O-KK 3-2 3 {3x3 Panama}	3	3x3 Panama	O-KK		

Eksenel çözgü ipliği içeren 3B çözgü interlok kumaşların farklılaştırılmasında ilk aşama olarak en genel sınıflandırma türü göz önünde bulundurulmuş, bağlayıcı çözgü ipliğinin kattan kata ve tüm kalınlık boyunca bağlantı yaptığı ortogonal ve açılı interlok kumaşlar gruba dâhil edilmiştir. Ayrıca bağlayıcı çözgü ipliğinin farklı örgü raporlarını içeren örnekler de gruba eklenerek kumaşların çeşitlendirilmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda dokuz farklı kumaş türüne karar verilmiştir, sözü geçen kumaşlar Tablo 2.3' te gösterilmektedir.

Kumaş tiplerine karar verildikten sonra her kumaş için armür ve tahar planlarının oluşturulması aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada DB Weave ve PointCarre bilgisayar programları kullanılmıştır.

Tablo 2.3 Eksenel örgü ipliği içeren 3B örgü interlok kumaşlar

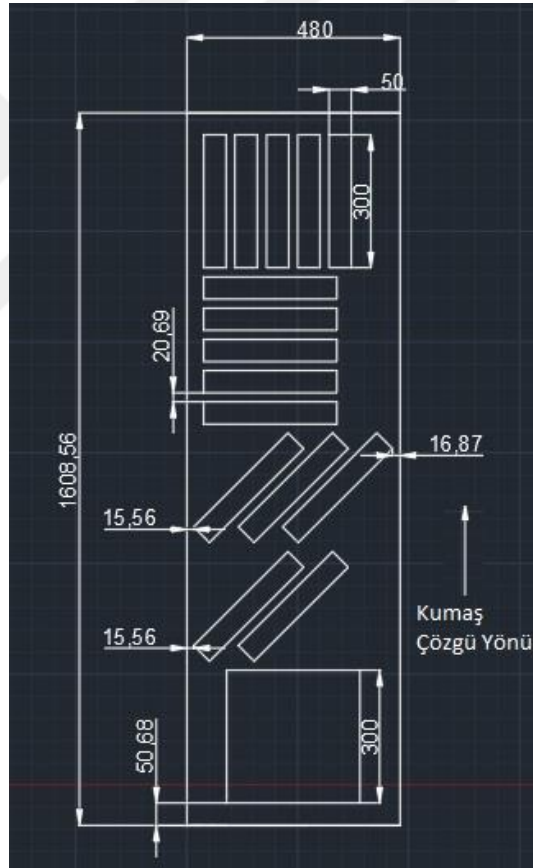
Tanım	Kat Sayısı	Örgü Raporu	3B Örgü Türü	Boyuna Kesit	Yüzey Görünümü
O-KK 3-2 4 {1x3 Dimi}	4	1x3 Dimi	O-KK		
A-KB 5-4 4 {1x5 Dimi 1Y5A- 3A- 1Y- 2A}	4	1x5 Dimi	A-KB		
A-KK 3-2 4 {1x3 Dimi}	4	1x3 Dimi	A-KK		
O-KB 3-4 4 {3x3 Panama}	4	3x3 Panama	O-KB		
A-KK 5-3 4 {1x5 Dimi}	4	1x5 Dimi	A-KK		
O-KB 3-4 4 {3x3 Dimi balıksırtı}	4	3x3 Dimi balıksırtı	O-KB		
O-KB 5-4 4 {1x5 Dimi 1Y5A- 3A1Y5A}	4	1x5 Dimi	O-KB		
O-KB 3-4 4 {3x3 Dimi}	4	3x3 Dimi	O-KB		

Eksenel örgü ipliği içeren kumaşlarda örgü iplikleri sırası ile bir bağlayıcı ve bir eksenel düzeninde ve toplamda eşit sayıda yer almaktadır. Tüm kumaşlar dokuma tezgâhı üzerinde eşit atkılı ve örgü iplik sıklık değerlerinde (10 iplik/ cm) üretilmiştir. Eksenel örgü ipliği içermeyen kumaşlar üç atkılı katından oluştukları için her kumaş

katında 3.3 atkı ipliği bulunmaktadır. Eksenel çözgü ipliği içeren kumaşlarda ise bu değer 2.5 atkı ipliği/ kumaş katı' dır.

2.1.4 Kumaş Üretimi

Kumaş üretim aşamasına geçilmeden önce uygulanacak olan mekanik testler ve makine en değeri göz önünde bulundurularak numune planı oluşturulmuştur. Numune planı ile kumaşların üretim uzunluk değerleri belirlenebilmiştir. Şekil 2.8' de oluşturulan numune planı gösterilmektedir, plan üzerinde birimler mm cinsinden ifade edilmiştir.



2.1.4.1 Çözgü Çözme İşlemi

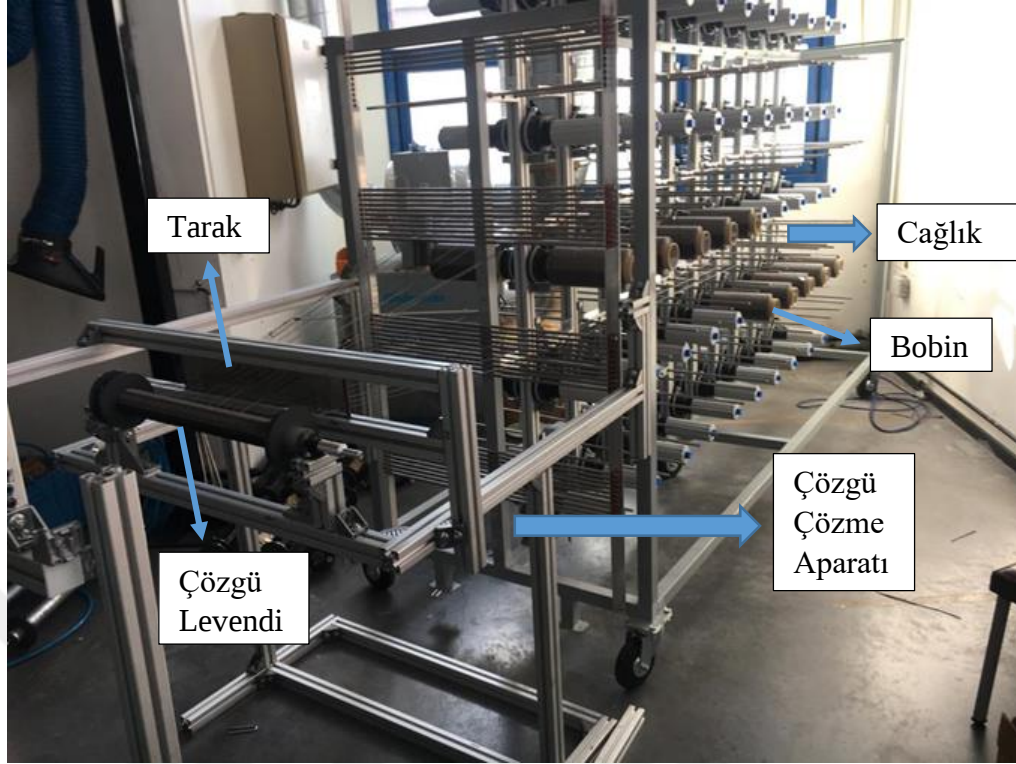
Kumaş numune planının oluşturulmasının ardından üretim için kullanılacak olan iplik miktarı belirlenmiş ve bobinlerden leventlere aktarılması işlemine geçilmiştir.

Dokuma makinesi levent cağığı toplam yirmi dört adet levent kapasitesine sahiptir. Makinede levent cağığının tüm kapasitesi kullanılacak şekilde her levendin hazırlanması planlanmıştır.

Çözgü ipliklerinin bobinlerden leventlere aktarılması için bir aparat tasarlanmış ve imal edilmiştir. Karbon ipliklerinin herhangi bir zarar görmeden bobinlerden çözgü leventlerine aktarılması kumaşın düşük hata oranı ile üretilebilmesi ve dokuma işleminin yüksek verimlilikle yürütülebilmesi açısından çok büyük bir öneme sahiptir.

İpliklerin levende belirli bir düzende aktarılabilmesi için aparatın dokuma tarağı içermesi, levent eni boyunca homojen bir sarımın yapılabilmesi için levendin dönüşü esnasında tek eksen üzerinde iki yönlü hareketinin sağlanabilmesi ve sarım sırasında tüm ipliklerin eşit gerginlikte olması önem kazanmaktadır.

Çözgü çözme işlemi sırasında önemli olan bir diğer teçhizat ise iplik cağığıdır. Çalışma yapılan cağık yüksek performanslı liflerin dokunabilmesi ve çözgü çözülmesi işlemleri için Gemtex Laboratuvarı/ ENSAIT' te özel olarak tasarlanmıştır. İçerdiği düzenekler vasıtası ile ipliğin bobinden çözülmesi sırasında ipliğe gerginlik kazandırmakta ve bu gerginlik değeri ayarlanabilmektedir. Şekil 2.9' da çalışma kapsamında tasarlanarak ürettirilen çözgü çözme aparatı ve cağık gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Çözümlü çözme aparatı ve cağlık (Gemtex Laboratuvarı/ ENSAIT) (Kişisel arşiv, 2021)

2.1.4.2 Tahar İşlemi

Tasarlanan ve imal edilen çözümlü çözme aparatı kullanılarak oldukça düşük bir hata (fibrilasyon, iplik kopuşu vs.) oranı ile karbon ipliklerinin bobinlerden leventlere aktarılabilmesi sağlanmıştır. Tüm leventlerin hazırlanması ile makine üzerinde taharlama işlemine geçilmiştir.

Taharlama işlemine başlamadan önce iplik numarasına uygun olarak gücü teli seçilmiş ve her çerçeve için sayısı ayarlanmıştır. Ayrıca iplik numarası ve çözümlü ipliği sıklığına bağlı olarak uygun ön ve arka tarakların seçilmesi ve makineye sabitlenmesi sağlanmıştır.

Tahar işlemi kapsamında çözümlü leventleri cağlığa yerleştirilmiş, levent ağırlıkları makinenin ilgili bölümüne aktarılacak ayarlanmış ve iplikler sırası ile birinci çelik barlar, ikinci çelik barlar, arka tarak, gücü gözleri ve ön taraktan geçirilerek işlem tamamlanmıştır.

2.1.4.3 Kumaş Üretimine Başlanması ve Karşılaşılan Sorunlar

İlk kumaş üretim denemesinde karbon ipliklerin filamentlerinde kopuşlar meydana gelmiş ve üretime devam edilememiştir. Filamentlerde kopuşların meydana gelmesi kumaş düzgünsüzlüğünü arttırdığı gibi üretim verimliliğini de azaltmaktadır. Filament kopuşu meydana geldiğinde, kopan iplik filamentleri her makine devrinde tarak gözlerinden geçemedikleri için hata büyümekte ve bu durum ipliğin kopması ile sonuçlanmaktadır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Kumaş üretiminde karşılaşılan sürtünme kaynaklı kopuş sorunu (Kişisel arşiv, 2021)

Problemin çözümlenebilmesi için dokuma işlemi esnasında ipliklerin sahip oldukları gerginlik değerleri azaltılmış ve makine tarağı üzerinde sürtünmeyi azaltıcı önlemler alınmıştır. Yapılan düzenlemeler ve alınan önlemler sayesinde karşılaşılan kopuş problemi giderilmiş ve üretime başlanabilmiştir. Her kumaş tipi için üretim tamamlandıktan sonra yüzey düzgünlüğü ve hata kontrolleri yapılmıştır.

Üretimi tamamlanan bir 3B çözgü interlok karbon kumaş Şekil 2.11’ de gösterilmektedir. Tüm kumaşlar numune planı boyutları göz önünde bulundurularak

üretilmiştir. Üretilen kumaşların eğilmesi halinde ipliklerin konumu ve doğrultusunun değişebileceği göz önünde bulundurularak, kumaşlar düz bir formda muhafaza edilmiştir.



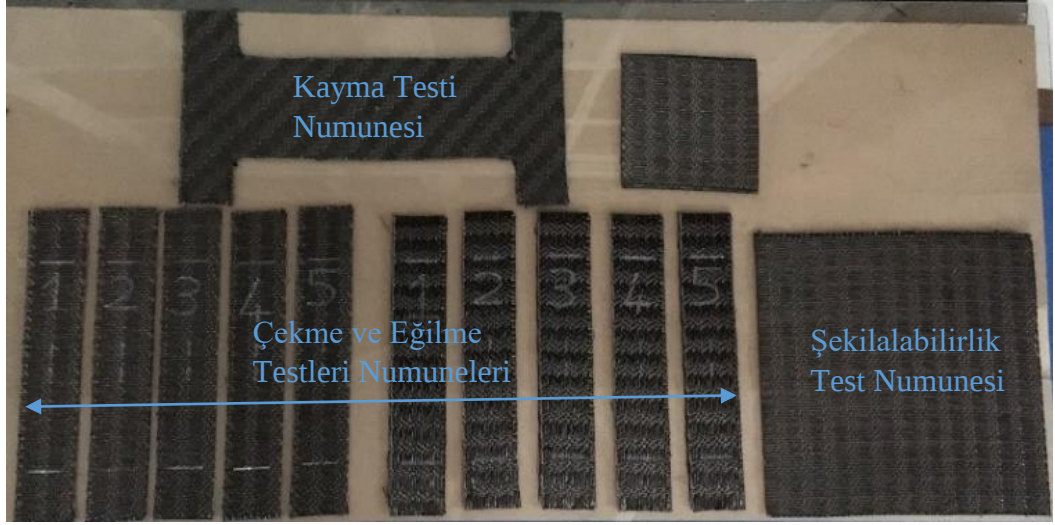
Şekil 2.11 Üretimi tamamlanan bir 3B çözümlü interlok karbon kumaş (Kişisel arşiv, 2021)

2.2 Metot

2.2.1 Kumaş Testleri

Üretim aşaması tamamlandıktan sonra, ilk olarak kumaşların kalınlık ve birim alandaki ağırlık değerleri belirlenmiş, sonrasında planlanan mekanik testler uygulanmıştır. Üretilen tüm kumaşlara çekme, eğilme, kayma deformasyonu ve şekil alabilirlik testleri yapılmıştır.

Kumaş numunelerinin hazırlanmasında Robuso Solingen firması tarafından üretilmiş olan ve pnömatik sistem ile çalışan bir makas kullanılmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan test numuneleri Şekil 2.12’ de gösterilmektedir.



Şekil 2.12 Hazırlanan test numuneleri (Kişisel arşiv, 2021)

2.2.1.1 Kumaş Birim Alan Ağırlığının Belirlenmesi

Üretilen tüm kumaşların birim alanının ağırlığı ISO 12127 test standardına göre belirlenmiş ve her kumaş türü için on adet test numunesinin ölçümü yapılmıştır.

2.2.1.2 Kumaş Kalınlık Değerinin Belirlenmesi

Üretilen tüm kumaşların kalınlık değerleri ISO 4603 test standardına göre belirlenmiş ve her kumaş türü için on adet test numunesinin ölçümü yapılmıştır.

2.2.1.3 Kumaş Lif/ Hacim Oranının Belirlenmesi

Kumaşların lif/ hacim oranları farklı yaklaşımlar ile hesaplanabilmektedir. Seyam ve İnce yapmış oldukları çalışmada (Seyam ve İnce, 2013) 3B ortogonal dokuma kumaşların birim rapor boylarını temel alarak iplik gruplarının hacim oranlarını eşitlik 2.1' e göre belirlemişlerdir. Eşitlikte iplik grubunun hacim değeri V_{fk} , örgü raporunda sahip olduğu uzunluk l_k , lineer yoğunluğu ρ_{lk} , hacimsel yoğunluğu ρ_{vk} ile ifade edilmiştir. İplik gruplarının hacimlerinin toplanması ve kumaş birim raporu hacmine bölünmesi ile kumaşların lif/ hacim oranları hesaplanmıştır.

$$V_{fk} = (l_k \rho_{lk}) / (\rho_{vk} 10^5) \quad (2.1)$$

Tez çalışması kapsamında ipliklerin kıvrım oranlarından yola çıkılarak ve ölçülen kalınlık ve birim alan ağırlığı gibi parametreler kullanılarak iki farklı şekilde kumaşların lif/ hacim oranları belirlenmiş, sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Kıvrım oranları ile kumaş lif/ hacim oranlarının belirlenmesi işleminde atkı ve çözgü iplik gruplarının hacim değerleri eşitlik 2.2 ve 2.3' e göre hesaplanmıştır. Eşitliklerde çözgü iplik grubunun hacim değeri V_{Ci} (m^3), atkı iplik grubunun hacim değeri V_{Ai} (m^3), ölçüm yapılan kumaş eni E , ölçüm yapılan kumaş boyu B , çözgü iplik grubu kıvrım oranı k_{ci} , atkı iplik grubu kıvrım oranı k_{Ai} , birim kumaş uzunluğunda bulunan ve ilgili iplik grubuna ait çözgü iplik sayısı a (iplik/cm), birim kumaş uzunluğunda bulunan ve ilgili iplik grubuna ait atkı iplik sayısı b (iplik/cm), iplik lineer yoğunluğu tex ve lif yoğunluğu d (g/cm^3) ile ifade edilmiştir.

$$V_{Ci} = (B + B \cdot k_{ci}) \times \left(tex \cdot \frac{a}{d} \right) \times 10^{-7} \quad (2.2)$$

$$V_{Ai} = (E + E \cdot k_{Ai}) \times \left(tex \cdot \frac{b}{d} \right) \times 10^{-7} \quad (2.3)$$

Çözgü ve atkı iplik gruplarının toplam hacim değerleri ise eşitlik 2.4 ve 2.5' e göre hesaplanmıştır. Eşitliklerde çözgü iplikleri toplam hacim değeri V_{CT} (m^3), atkı iplikleri toplam hacim değeri V_{AT} (m^3) ile ifade edilmiştir. İplik gruplarının lif/ hacim oranlarının hesaplanabilmesi için kumaş hacim oranı V_K (m^3) eşitlik 2.6' ya göre belirlenmiştir, eşitlikte t (m) değeri ölçülen kumaş kalınlığını ifade etmektedir. Eşitlik 2.7 ve 2.8' de atkı (LHO_{AT}) ve çözgü (LHO_{CT}) iplik gruplarının lif/ hacim oranlarının belirlenmesinde kullanılan formüller gösterilmektedir. Son aşama olarak iplik gruplarının lif/ hacim oranlarının toplanması ile kumaş lif/ hacim oranı (LHO_K) eşitlik 2.9' a göre hesaplanmıştır.

$$V_{CT} = \sum_{n=1}^i V_{C1} + V_{C2} + \dots + V_{Ci} \quad (2.4)$$

$$V_{AT} = \sum_{n=1}^i V_{A1} + V_{A2} + \dots + V_{Ai} \quad (2.5)$$

$$V_K = t \cdot E \cdot B \quad (2.6)$$

$$LHO_{CT} = (V_{CT}/V_K) * 100 \quad (2.7)$$

$$LHO_{AT} = (V_{AT}/V_K) * 100 \quad (2.8)$$

$$LHO_K = LHO_{CT} + LHO_{AT} \quad (2.9)$$

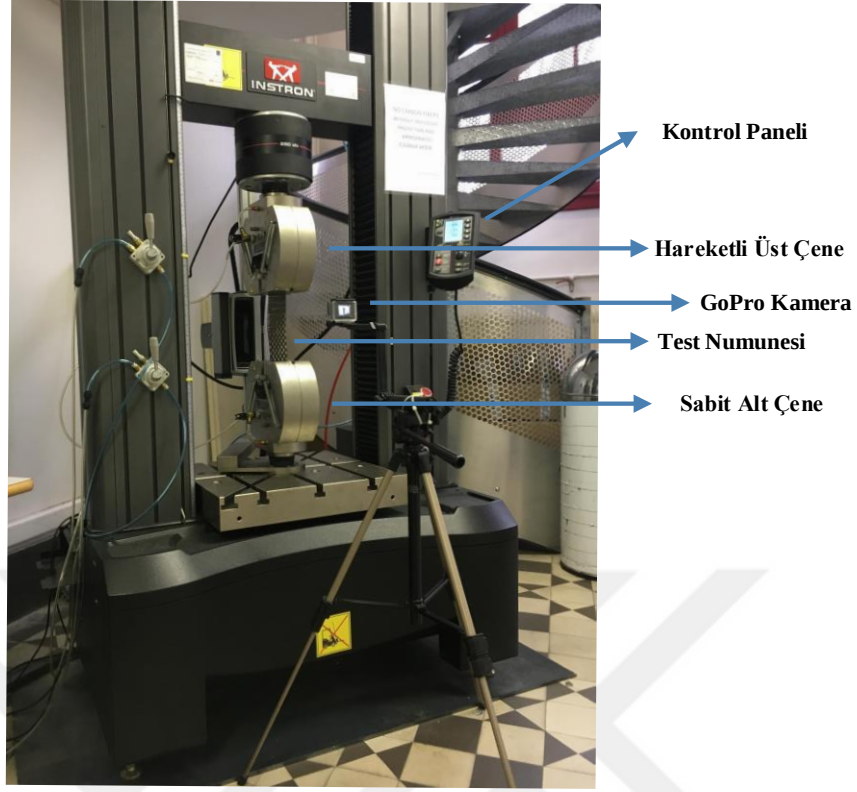
2.2.1.4 İplik Çekme Testi

Kumaş üretiminde kullanılan karbon ipliğe çekme testi uygulanarak yük altındaki kopma davranışı incelenmiş, kopma yükü ve uzaması değerleri belirlenmiştir. İpliklerin çekme testi NF EN 2062 standardına göre yapılmış ve her iplik tipi için 200 mm ölçüm uzunluğunda, beş adet numune test edilmiştir.

2.2.1.5 Kumaş Çekme Testi

Kumaşların çekme testi ISO 13934- 1 test standardına göre yapılmış, atkı ve çözgü yönlerinde her kumaş tipi için beşer adet örnek test edilmiştir. Ölçüm uzunluğu 200 mm'dir. Testler 250 kN yük kapasitesine sahip INSTRON 5900 kopma mukavemeti test cihazında gerçekleştirilmiş ve GoPro kamera ile kaydedilmiştir. Test cihazı ve düzeneği Şekil 2.13' te gösterilmektedir.

Maksimum çekme yükü ve kopma uzaması her kumaş tipi için belirlenmiş ve hesaplanmıştır. Üretilen tüm kumaş tiplerini birbiri ile kıyaslayabilmek için tüm değerler 'cm' bazında normalize edilmiştir.

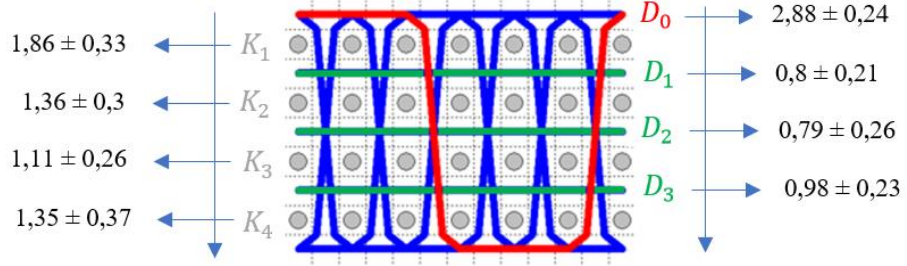


Şekil 2.13 Instron 5900 Çekme test cihazı ve düzeneği (Kişisel arşiv, 2021)

2.2.1.6 İplik Kıvrım Oranının Belirlenmesi

Üretilen tüm kumaşların bağlayıcı çözgü, eksenel çözgü ve atkı ipliklerinin kıvrım oranları ISO 7211-3 test standardına göre belirlenmiştir. 3B çözgü interlok kumaşların her atkı katı (K_i) ya da kesişme düzlemlerinde (D_i) iplik grubu yer alabilmekte ve bu gruplar farklı iplik kıvrım oranına sahip olabilmektedir. Üretilen kumaşların içerdiği tüm iplik grupları için kıvrım oranı ölçümü yapılmış ve bu kapsamda her grup için on adet numune test edilmiştir. Şekil 2.14’ te O-KB 3-4 4 {3x3 dimi} kumaşın farklı iplik grupları ve ölçülen kıvrım oranları gösterilmektedir. Kumaş, dört farklı kesişme düzleminde bir bağlayıcı (kırmızı) ve üç eksenel çözgü ipliği grubu (yeşil) içermektedir. Ayrıca kumaş katlarında farklı kıvrım oranlarına sahip dört atkı ipliği grubu (gri) yer almaktadır.

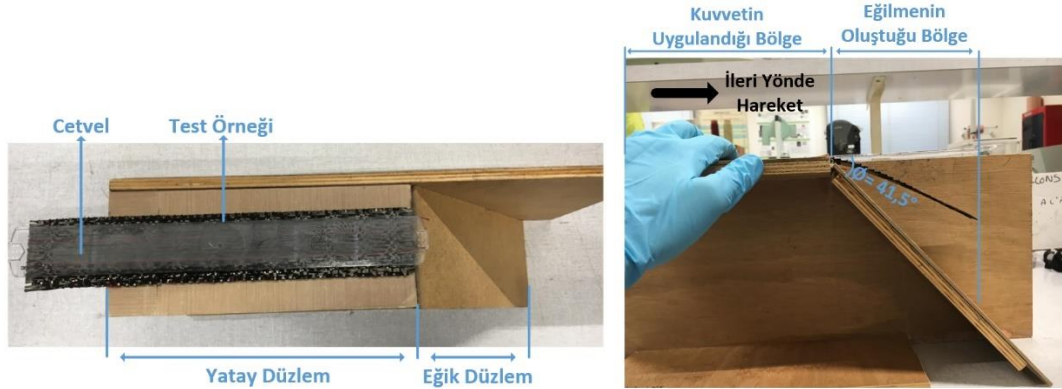
İplik Kıvrım Oranları



Şekil 2.14 O-KB 3-4 4 {3x3 Dimi} kumaşın iplik gruplarının kıvrım oranları

2.2.1.7 Kumaş Eğilme Testi

Kumaşların atkı ve çözgü yönlerinde eğilme uzunlukları belirlenmiş ve eğilme rijitliği değerleri hesaplanmıştır. Eğilme uzunluğunun belirlenmesi aşamasında Standard Test: WSP 90.5(05) metodu kullanılmıştır. Eğilme testi, kumaşın kendi ağırlığı ile eğilmesi temelinde gerçekleştirilmiştir. Metodun uygulanması aşamasında sabit açılı eğilme ölçeri kullanılmıştır (ISO 4604, Nisan 2014). Her kumaş tipi için atkı ve çözgü yönlerinde beşer adet numune test edilmiş ve ortalama eğilme uzunluğu hesaplanmıştır. Şekil 2.15’ te test numunesi ve aparatı gösterilmektedir.



Şekil 2.15 Eğilme testi numunesi ve test aparatı (Kişisel arşiv, 2021)

Kumaşların atkı ve çözgü yönlerindeki eğilme rijitlik değerleri eşitlik 2.10’ a göre hesaplanmıştır. Eşitlikte $G_{kumaş}$ atkı veya çözgü yönündeki eğilme rijitliğini (N.cm), W kumaş birim alanının ağırlığını (g/m²), C eğilme uzunluğu, ölçülen sarkma

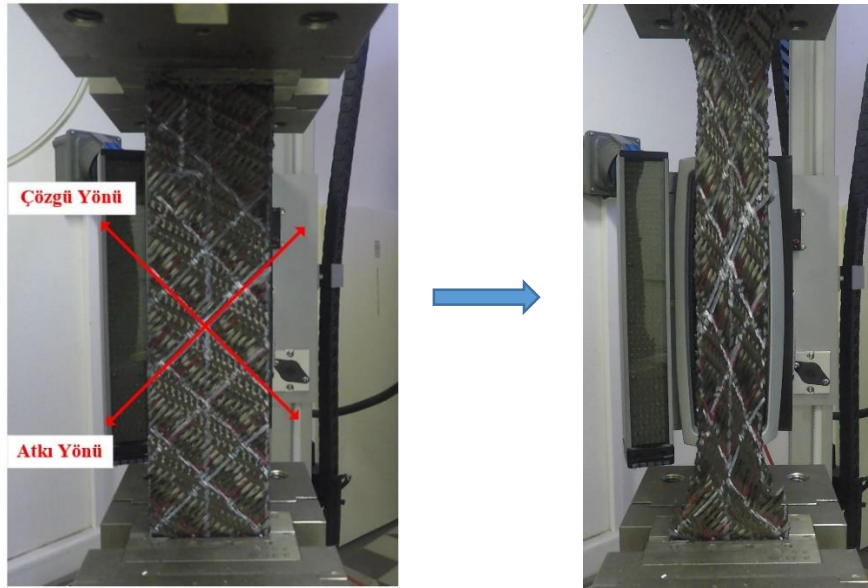
uzunluğu değerinin yarısını (cm) ve 9,81 ise yer çekimi ivmesini (m/s²) ifade etmektedir.

$$G_{Kumaş} = W \times C^3 \times 9,81 \times 10^{-6} \quad (2.10)$$

2.2.1.8 Kumaş Kayma Testi

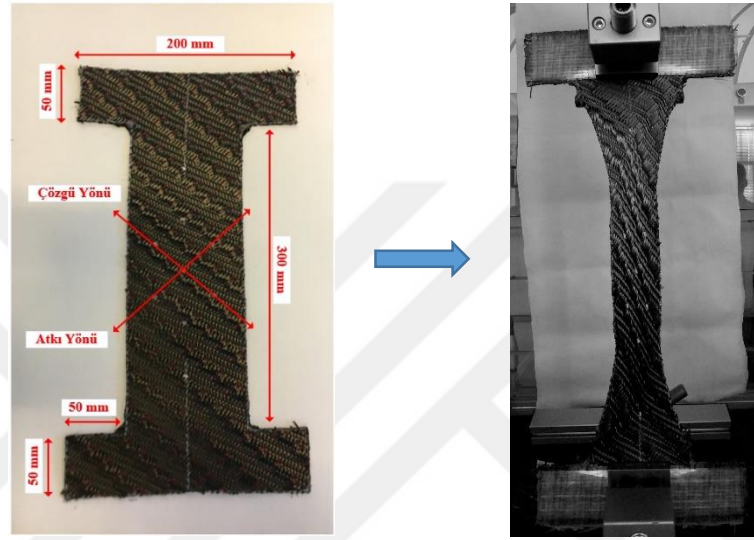
Kayma deformasyonunun belirlenmesi için 5 x 30 cm boyutlarına sahip kumaş numunesi hazırlanmış ve test uygulanmıştır. 10 kN yük kapasitesine sahip MTS Criterion, Model 43 test cihazı kullanılmış ve GoPro kamera ile test kaydedilmiştir.

Test cihazının çeneleri arasındaki mesafe 20 cm olarak ayarlanmış ve kuvvet kumaşa ön yüksüz olarak uygulanmıştır. Test hızı 10 mm/dk olarak belirlenmiştir. Test esnasında numunenin iplikleri arasında kayma problemi (slippage) meydana gelmiştir. İplikler arası kayma problemi kayma deformasyonu sırasında meydana gelen bir hata çeşididir (Zhu, Yu ve Tao, 2007). Test numunesinin iplikleri arasında yeteri derecede sürtünmenin olmamasından dolayı makine çenesinin yakın bir bölgesinde kopma meydana gelmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak maksimum kayma yükü ve aç değeri ulaşılamamaktadır. Sözü geçen problem Şekil 2.16' da gösterilmektedir.

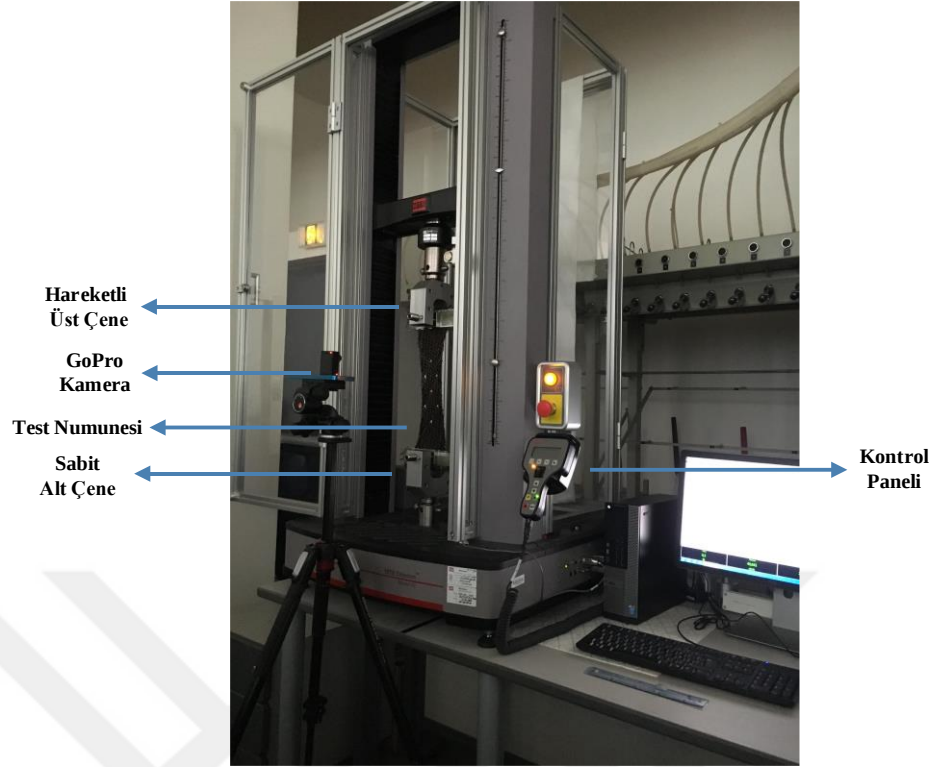


Şekil 2.16 İplikler arası kayma problemi (Kişisel arşiv, 2021)

Test esnasında gözlemlenen iplikler arası kayma probleminin giderilebilmesi için test numunesi 'I' şeklinde kesilmiş ve boy/ en oranı 3 olacak şekilde hazırlanmıştır. Test numunesi, boyutları ve kayma yükü altında deforme olmuş hali Şekil 2.17' de gösterilmektedir. Aynı cihaz ve koşullar (makine çeneleri arasındaki mesafe, makine hızı, yük kapasitesi, ön yük miktarı) kullanılarak test tekrarlanmış ve başarılı olduğu görülmüştür. Test cihazı ve düzeneği Şekil 2.18' de gösterilmektedir.



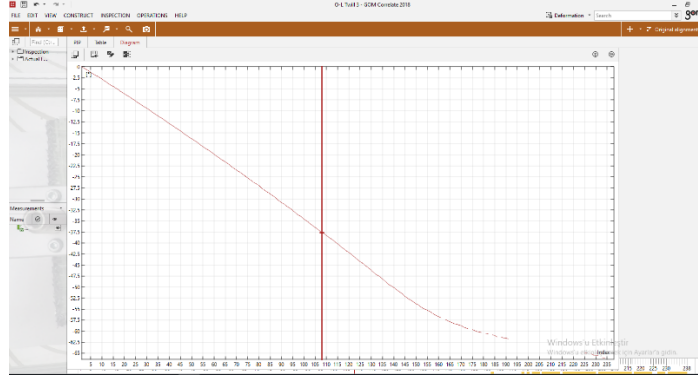
Şekil 2.17 Test numunesi, boyutları ve kayma yükü altında deforme olmuş hali (Kişisel arşiv, 2021)



Şekil 2.18 Kayma deformasyonunun gerçekleştirildiği test cihazı ve test düzeneği (Kişisel arşiv, 2021)

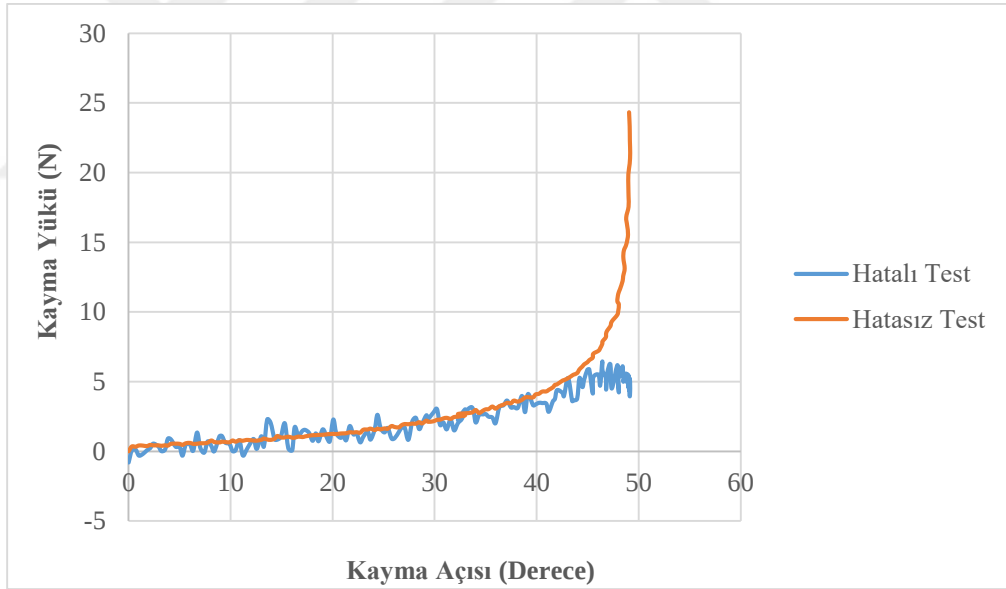
Kayma deformasyonu ‘I’ şeklinde hazırlanmış test numunesine uygulandığında iplikler arası kayma problemi gözlemlenmemiş ve maksimum kayma açısı değerine ulaşılabilmektedir. Test numunesinde toplam iplik kesişim miktarının arttırılması iplikler arasındaki sürtünmenin artmasını sağlamış ve böylece iplikler arası kayma problemi çözümlenmiştir.

Çalışmada ayrıca görüntü analizi yöntemi ile kayma açısı değerleri belirlenmiştir. Analiz işlemi için GOM Correlate 2018 programı (“GOM Correlate,” b.t.) kullanılmıştır. GOM Correlate 2018 programı arayüzü Şekil 2.19’ da gösterilmektedir.



Şekil 2.19 GOM Correlate 2018 programı arayüzü (“GOM Correlate,” b.t.)

İplikler arası kayma probleminin gözlemlendiği testte maksimum 49° kayma açısı değerine ulaşılmıştır. İplikler arası kayma probleminin gözlemlendiği ve hatanın meydana gelmediği kayma testlerine ait kayma yükü- kayma açısı grafikleri Şekil 2.20’ de gösterilmektedir.



Şekil 2.20 İplikler arası kayma probleminin gözlemlendiği ve gözlemlenmediği testlerin kayma yükü- kayma açısı grafikleri

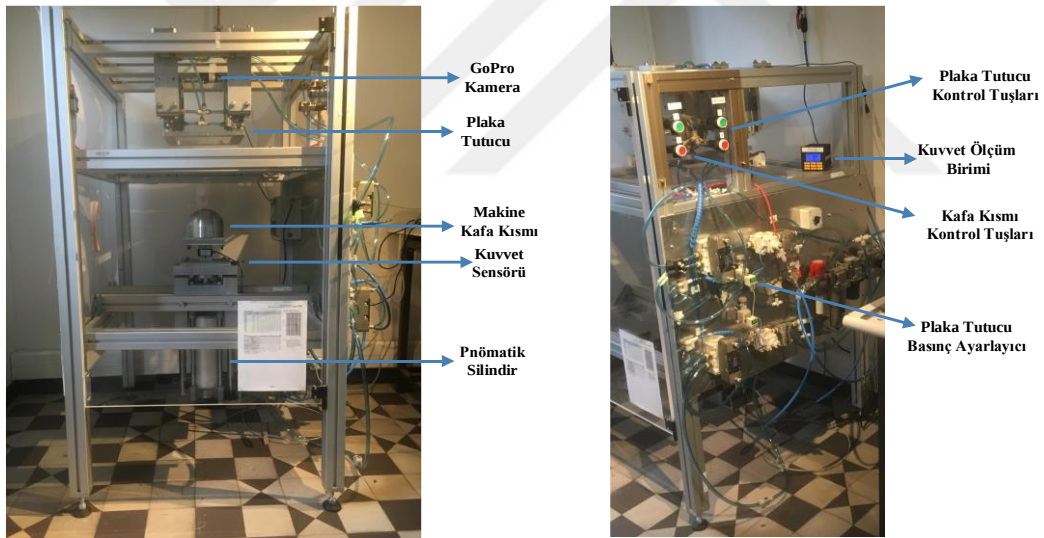
2.2.1.9 Kumaş Şekil Alabilirlik Testi

Şekil alabilirlik testlerinin gerçekleştirildiği cihaz, Gemtex Laboratuvarı/ ENSAIT’ te tasarlanmış ve üretilmiştir. Söz konusu Şekil Alabilirlik Test Cihazı Şekil 2.21’ de gösterilmektedir. Cihazda test numunesi alt ve üst plakalar arasına yerleştirilmekte,

plaka tutucular ile kumaşın basınç altında sabitlenebilmesi sağlanmaktadır. Plaka tutucular tarafından kumaşa uygulanan basınç miktarı değiştirilebilmektedir.

Yük, kumaşa bir kafa vasıtası ile uygulanmakta ve kumaşın şekil alması sağlanmaktadır. Test cihazı kafa kısmı ve plaka tutucular pnömatrik bir sistem tarafından hareket ettirilmektedir. Elde edilmek istenen deformasyon türüne göre farklı şekle sahip kafalar (küresel, üçgen prizma, dikdörtgen prizma vs.) kullanılabilmektedir.

Kumaş tutucular, makine üzerinde yer alan tuşlar yardımı ile kontrol edilmektedir. Yük değeri kuvvet ölçüm cihazı tarafından belirlenmekte ve bilgisayara transferi sağlanmaktadır. Test tamamlandıktan sonra tüm kuvvet değerlerine bilgisayar aracılığı ile ulaşılabilir.



Şekil 2.21 Şekil Alabilirlik Test Cihazı (Kişisel arşiv, 2021)

Test numuneleri 28 x 28 cm boyutlarında hazırlanmış ve üretilmiş olan tüm kumaşlar test edilmiştir. Makine kafa kısmının hızı 45 mm/ dk' dır ve tüm testler aynı hızda gerçekleştirilmiştir. Kumaşların test edilmesinde 150 mm çap değerine sahip küresel kafa kullanılmıştır.

Plaka tutucuların basınç değeri 2 bar (0,2 MPa) olarak ayarlanmış ve tüm kumaş numuneleri için aynı değerde kullanılmıştır. Makine kafa kısmının hareket mesafesi 65 cm' dir ve bu değer değiştirilememektedir. Tüm testler GoPro kamera ile kaydedilmiştir. Şekil 2.22' de şekil alabilirlik testi uygulanan bir 3B çözgü interlok karbon kumaş gösterilmektedir.

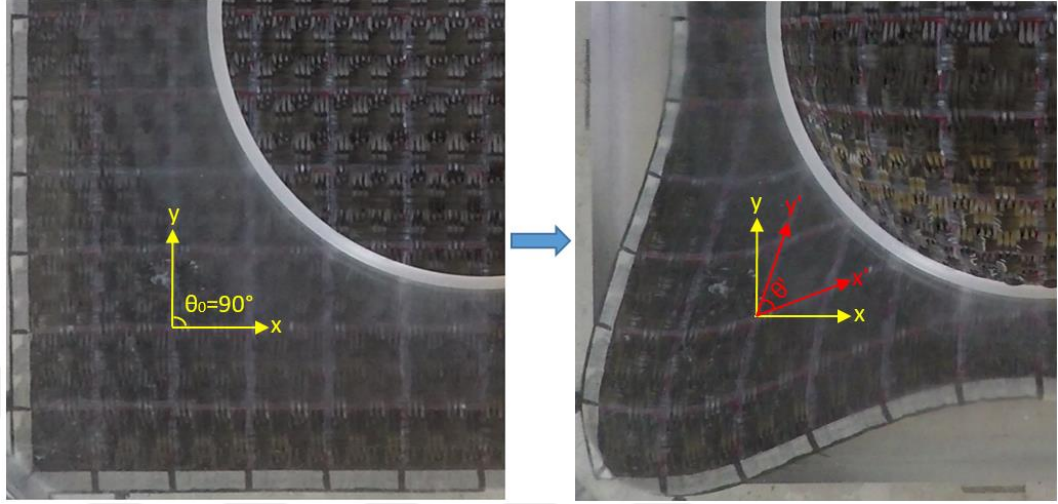


Şekil 2.22 Şekil alabilirlik testi uygulanan 3B çözgü interlok karbon kumaş (Kişisel arşiv, 2021)

Kayma deformasyonu kumaşların şekil alabilirlik özelliklerini etkileyen temel bir deformasyon çeşididir. Şekil alabilirlik yükü altında deforme olmuş kumaşın farklı bölgeleri kayma açısı yönünden değişiklik göstermektedir. Bölgesel kayma açısı değeri test sırasında kumaş üzerinde kıvrım gibi çeşitli hataların oluşmasına yol açan önemli bir etkidir. Tez çalışması kapsamında kumaşların bölgesel kayma açısı değerleri tespit edilmiştir.

Kayma açısı değerlerinin belirlenebilmesi için kumaş bölgelere ayrılmıştır. Bu aşamada, kumaş üzerinde atkı ve çözgü iplikleri üzerinde örgü raporuna göre çizgiler oluşturulmuş ve bu çizgiler yardımı ile kayma açısı değerleri saptanmıştır. Şekil alabilirlik testinde küresel bası kafası kullanıldığı için test örneğinin dört parçasında aynı deformasyon elde edilmiştir. Dolayısıyla kumaşların sadece dörtte bir parçasının

bölgesel kayma açısı değerleri belirlenmiştir. İnterlok O-KB 3-4 4 {3x3 Panama} kumaşın deforme olmuş ve olmamış durumdaki fotoğrafları Şekil 2.23’ te gösterilmektedir.



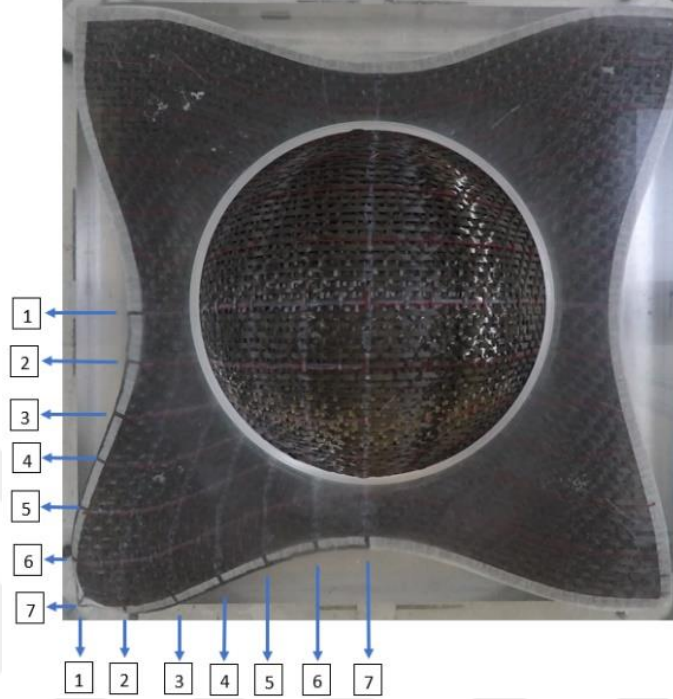
Şekil 2.23 İnterlok O-KB 3-4 4 {3x3 Panama} kumaşın deforme olmuş ve olmamış durumlarına ait fotoğraflar (Kişisel arşiv, 2021)

Deforme olmamış kumaşta atkı ve çözgü iplikleri birbirlerine dik konumdadır. Şekil üzerinde x eksenini çözgü ipliğini, y eksenini ise atkı ipliklerinin doğrultusunu temsil etmektedir. Kumaşa şekil alabilirlik yükü uygulandıktan sonra atkı ve çözgü ipliklerinin doğrultusu değişmekte (x' ve y' eksenleri) ve açı değeri (θ') farklılaşmaktadır. Oluşturulan çizgiler arasındaki açı görüntü analizi yöntemi ile belirlenmekte ve kayma açısı değeri (μ) aşağıda gösterilen eşitlik 2.11 ile hesaplanmaktadır.

$$\mu = \theta' - \theta_0 \quad (2.11)$$

Şekil alabilirlik yükü altında deforme olan kumaş üzerinde yapılan bir diğer analiz, atkı ve çözgü yönlerinde çekilme miktarlarının belirlenmesi olmuştur. Çekilme miktarlarının saptanabilmesi için test örneği üzerinde atkı ve çözgü ipliği yönlerinde analiz noktaları belirlenmiş ve bu noktalarda test sonrasında meydana gelen yer değişim miktarı görüntü analizi yöntemi ile tespit edilmiştir. Analiz için Image J

("ImageJ," b.t.) programı kullanmıştır. Şekil 2.24' te şekil alabilirlik testi sonrasında kumaşın aldığı genel form ve üzerindeki analiz noktaları gösterilmektedir.



Şekil 2.24 Şekil alabilirlik testi uygulanmış kumaş ve analiz noktaları (Kişisel arşiv, 2021)

2.2.2 İstatistiksel Analiz

Tez çalışması kapsamında elde edilen test sonuçlarına korelasyon analizi uygulanmış ve şekil alabilirlik özelliklerin tahminlenebilmesi için regresyon denklemleri geliştirilmiştir. Bu kapsamda 'IBM SPSS Statistics 24' programı kullanılmıştır. Programın ara yüzü Şekil 2.25' te gösterilmektedir.

Analizlerde kumaş yapısal özellikleri olarak birim alan ağırlığı, atkı ve çözgü iplikleri sıklık değerleri, kalınlık ve iplik kıvrım oranları kullanılmıştır. Kumaşların atkı ve çözgü yönündeki kopma yükleri, kopma enerjisi katsayıları, eğilme rijitlikleri, kayma yükleri, kilitlenme açısı değerleri ve maksimum şekil alabilirlik yükleri ise kumaş mekanik özellikleri olarak incelenen parametreleri oluşturmaktadır.

The screenshot displays the IBM SPSS Statistics 24 Data Editor window. The interface includes a menu bar at the top with options like File, Edit, View, Transform, Analyze, Window, and Help. Below the menu is a toolbar with various icons for file operations and data manipulation. The main area is a data grid with rows and columns. The first column contains case numbers (1 to 33). Subsequent columns contain numerical data. The right side of the window shows a list of variables, including 'Anasaygı', 'Ticaret', 'İstisnalar', 'İstisnalar1', 'İstisnalar2', 'İstisnalar3', 'İstisnalar4', 'İstisnalar5', 'İstisnalar6', 'İstisnalar7', 'İstisnalar8', 'İstisnalar9', 'İstisnalar10', 'İstisnalar11', 'İstisnalar12', 'İstisnalar13', 'İstisnalar14', 'İstisnalar15', 'İstisnalar16', 'İstisnalar17', 'İstisnalar18', 'İstisnalar19', 'İstisnalar20', 'İstisnalar21', 'İstisnalar22', 'İstisnalar23', 'İstisnalar24', 'İstisnalar25', 'İstisnalar26', 'İstisnalar27', 'İstisnalar28', 'İstisnalar29', 'İstisnalar30', 'İstisnalar31', 'İstisnalar32', 'İstisnalar33', 'İstisnalar34', 'İstisnalar35', 'İstisnalar36', 'İstisnalar37', 'İstisnalar38', 'İstisnalar39', 'İstisnalar40', 'İstisnalar41', 'İstisnalar42', 'İstisnalar43', 'İstisnalar44', 'İstisnalar45', 'İstisnalar46', 'İstisnalar47', 'İstisnalar48', 'İstisnalar49', 'İstisnalar50', 'İstisnalar51', 'İstisnalar52', 'İstisnalar53', 'İstisnalar54', 'İstisnalar55', 'İstisnalar56', 'İstisnalar57', 'İstisnalar58', 'İstisnalar59', 'İstisnalar60', 'İstisnalar61', 'İstisnalar62', 'İstisnalar63', 'İstisnalar64', 'İstisnalar65', 'İstisnalar66', 'İstisnalar67', 'İstisnalar68', 'İstisnalar69', 'İstisnalar70', 'İstisnalar71', 'İstisnalar72', 'İstisnalar73', 'İstisnalar74', 'İstisnalar75', 'İstisnalar76', 'İstisnalar77', 'İstisnalar78', 'İstisnalar79', 'İstisnalar80', 'İstisnalar81', 'İstisnalar82', 'İstisnalar83', 'İstisnalar84', 'İstisnalar85', 'İstisnalar86', 'İstisnalar87', 'İstisnalar88', 'İstisnalar89', 'İstisnalar90', 'İstisnalar91', 'İstisnalar92', 'İstisnalar93', 'İstisnalar94', 'İstisnalar95', 'İstisnalar96', 'İstisnalar97', 'İstisnalar98', 'İstisnalar99', 'İstisnalar100'. The status bar at the bottom indicates 'Data Editor - Variable View' and 'IBM SPSS Statistics 24.0.0.0 (64-bit)'.

Şekil 2.25 IBM SPSS Statistics 24 programı arayüzü (“IBM SPSS Statistics”, b.t.)

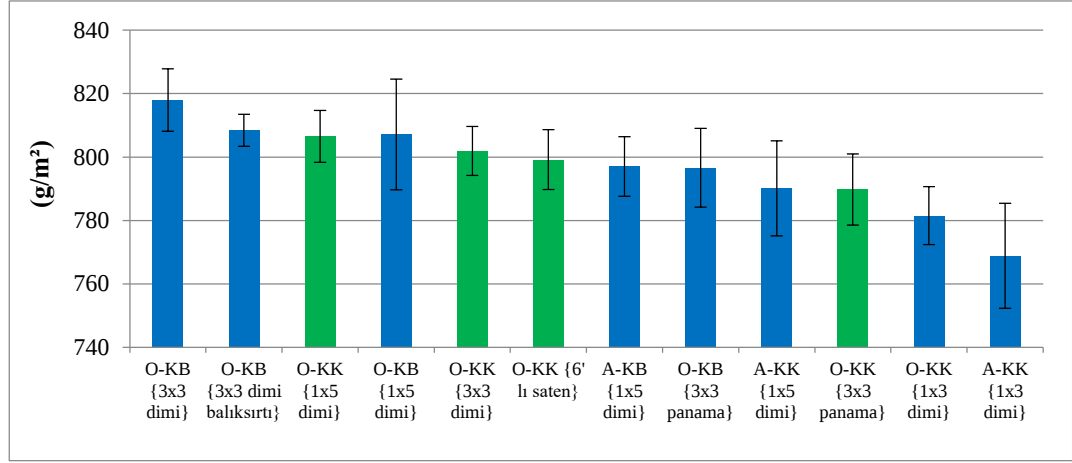
BÖLÜM ÜÇ

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Bulgular

3.1.1 Kumaş Birim Alan Ağırlığı Sonuçları

Kumaşların belirlenen birim alan ağırlığı değerleri Şekil 3.1 ve Tablo 3.1’ de gösterilmektedir. Bağlayıcı çözgü ipliği parametreleri ve eksenel çözgü ipliğinin kumaştaki mevcudiyetine göre çeşitlendirilen kumaşların birim alan ağırlığı yönünden farklı sonuçlara sahip oldukları tespit edilmiştir. Değerler 768 ve 815,43 g/m² arasında değişmektedir. En yüksek birim alan ağırlığı O-KB 3-4 4 {3x3 dimi} kumaşta, en düşük değer ise A-KK 3-2 4 {1x3 dimi} kumaşta ölçülmüştür. Eksenel çözgü ipliği içeren kumaş grubunda bağlayıcı çözgü ipliğinin kumaş içerisindeki derinliğinin arttırılmasının kumaş birim alan ağırlığında artışa yol açtığı belirlenmiştir. Ayrıca bağlayıcı çözgü ipliğinin bir diğer parametresi olan açi değerinin birim alan ağırlığını etkileyen diğer etken olduğu saptanmıştır. Ortogonal kumaşlarda bağlayıcı çözgü ipliği kumaş katlarında yer alan atkı ipliklerini aynı dikey eksen üzerinde tutma eğilimindedir. Açılı interlok kumaşlarda ise açi değerine sahip çözgü ipliği aynı dikey eksen üzerinde bulunan atkı ipliklerinin arasından geçmekte ve belirli bir seviyenin üzerinde sıkıştırılmalarına engel olmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak diğer parametreleri sabit tutulan kumaşlarda ortogonal yapıların birim alanlarının ağırlıkları daha yüksektir.



■: Eksenel çözgü ipliği içeren kumaşlar, ■: Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaşlar

Şekil 3.1 Kumaşların birim alan ağırlık değerleri

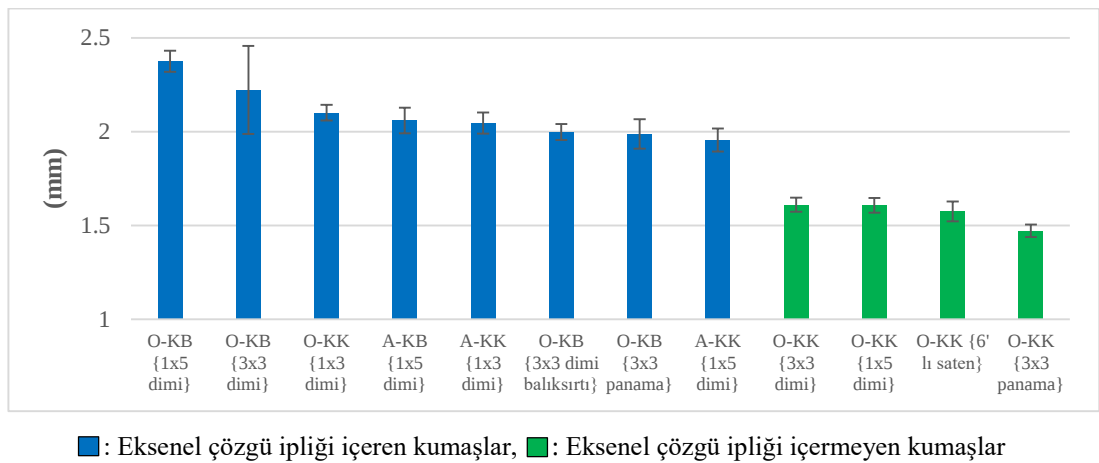
Tablo 3.1 Kumaşların birim alan ağırlık değerleri

Kumaşlar	Birim Alan Ağırlık (g/m²)	S.S.
O-KB {3x3 dimi}	817,96	9,86
O-KB {3x3 dimi balıksırtı}	808,40	5,06
O-KK {1x5 dimi}	806,49	8,17
O-KB {1x5 dimi}	807,09	17,48
O-KK {3x3 dimi}	801,94	7,71
O-KK {6' lı saten}	799,18	9,42
A-KB {1x5 dimi}	797,06	9,40
O-KB {3x3 panama}	796,62	12,40
A-KK {1x5 dimi}	790,14	14,97
O-KK {3x3 panama}	789,79	11,21
O-KK {1x3 dimi}	781,50	9,14
A-KK {1x3 dimi}	768,86	16,58

3.1.2 Kumaş Kalınlık Ölçümü Sonuçları

Kumaşların belirlenen kalınlık değerleri Tablo 3.2 ve Şekil 3.2' de gösterilmektedir. Eksenel çözgü ipliği içeren kumaşların kat sayısı eksenel çözgü ipliği içermeyen

kumaşlara göre fazla olduğu için kalınlık değerleri daha yüksek olarak bulunmuştur. Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaşların kalınlık değerlerinin 1,47 ve 1,61 mm arasında, eksenel çözgü ipliği içeren kumaşların kalınlık değerleri ise 1,95 ve 2,37 mm arasındadır. O-KK 3-2 4 {1x3 dimi} ve O-KK 5-2 3 {1x5 dimi} kumaşlar incelendiğinde kalınlıkları arasındaki oranın 1,3 (2,1/1,6) olduğu, bu değer ise kumaş kat sayıları arasındaki orana ($4/3=1,3$) eşit olduğu görülmektedir. Belirlenen oranlardan yola çıkılarak elde edilmek istenen kumaş 3B geometrisine uygun olarak atkı katlarının aynı dikey eksen üzerinde konumlandırılabilirdiği sonucuna varılmıştır. Aynı kumaşların birim alan ağırlık ve kalınlık değerleri karşılaştırılarak incelendiğinde O-KK 5-2 3 {1x5 dimi} kumaşın daha düşük kalınlık değeri göstermesine rağmen daha yüksek birim alan ağırlığında olduğu görülmektedir. 3B çözgü interlok kumaşlarda yüksek birim alan ağırlık değeri elde edilmek istendiğinde toplam atkı ipliği sayısı korunarak kumaş kat sayısının arttırılmasının etkili olmadığı, bağlayıcı/eksenel çözgü ipliği oranının arttırılmasının kumaş ağırlığını arttırdığı sonucuna varılmıştır. Eksenel çözgü iplikleri kumaş içerisinde düz bir formda bulunmaktadır. Bağlayıcı çözgü iplikleri ise atkı ipliği katlarını birbirlerine bağladığı için kıvrım kazanmakta ve belirli bir uzunluktaki kumaş eldesi için eksenel çözgü ipliğine göre daha fazla miktarda kullanılmaktadır. İplik lineer yoğunlukları eşit olduğu için, kumaş içerisindeki bağlayıcı/eksenel çözgü ipliği oranının arttırılması kumaş birim ağırlığında artışa yol açmaktadır.



Şekil 3.2 Kumaşların kalınlık değerleri

Tablo 3.2 Kumaşların kalınlık değerleri

Kumaşlar	Kalınlık (mm)	S.S
O-KB {1x5 dimi}	2,37	0,06
O-KB {3x3 dimi}	2,22	0,23
O-KK {1x3 dimi}	2,10	0,04
A-KB {1x5 dimi}	2,06	0,07
A-KK {1x3 dimi}	2,05	0,06
O-KB {3x3 dimi Bs.}	2,00	0,04
O-KB {3x3 panama}	1,99	0,08
A-KK {1x5 dimi}	1,96	0,06
O-KK {3x3 dimi}	1,61	0,04
O-KK {1x5 dimi}	1,61	0,04
O-KK {6' lı saten}	1,58	0,05
O-KK {3x3 panama}	1,47	0,03

3.1.3 Kumaş Lif/ Hacim Oranlarının Sonuçları

Kumaşların kıvrım oranlarından yola çıkılarak belirlenen ve birim alan ağırlığı ve kalınlık ölçüm sonuçları ile hesaplanan lif/ hacim oranları Tablo 3.3' te gösterilmektedir. Sonuçların normalize edilebilmesi için kumaş en (E) ve boy (B) değerleri 1 m olarak kabul edilmiş ve lif yoğunluğu için firma tarafından paylaşılan ("Toho Tenax," b.t.) $1,77 \text{ g/ cm}^3$ değeri kullanılmıştır. Tabloda bağlayıcı çözgü iplik grubunun lif/ hacim oranı LHO_{BCT} , eksenel çözgü iplik grubu oranı LHO_{ECT} , atkı iplik grubu oranı LHO_{AT} ve kumaş toplam lif/ hacim oranı LHO_T ile ifade edilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaş grubunun diğer kumaş grubuna göre daha yüksek lif/ hacim oranlarında oldukları görülmektedir. Eksenel çözgü iplikleri kumaş içerisinde düz bir formda yer alırken bağlayıcı çözgü iplikleri kıvrımlı bir yapıya sahiptirler. Kumaş içerisinde bağlayıcı çözgü ipliği sayısının artırılması birim hacimde yer alan lif oranının yükselmesine yol açmaktadır. Ayrıca oranlar bağlayıcı çözgü ipliğinin parametreleri açısından da incelenmiş,

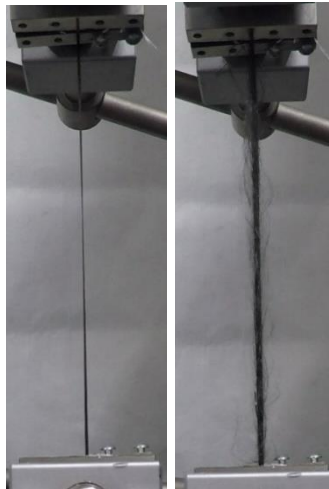
derinlik ve açı parametrelerinin sonuçlar üzerinde önemli farklar oluşturmamışları belirlenmiştir.

Tablo 3.3 Kumaşların lif/ hacim oranları

Kumaş	LHO_{BCT}	LHO_{ECT}	LHO_{AT}	LHO_T	Kumaş ağırlık ve kalınlık sonuçları ile belirlenen değer
A-KK {1x3 dimi}	5,58	5,56	11,19	22,34	21,23
A-KK {1x5 dimi}	5,90	5,85	11,72	23,47	22,83
A-KB {1x5 dimi}	5,65	5,55	11,18	22,38	21,87
O-KK {1x3 dimi}	5,44	5,44	10,91	21,79	21,02
O-KB {3x3 panama}	5,88	5,78	11,56	23,22	22,64
O-KB {3x3 dimi bs.}	5,85	5,73	11,50	23,08	22,87
O-KB {3x3 dimi}	5,24	5,13	10,32	20,69	20,63
O-KB {1x5 dimi}	4,87	4,82	9,73	19,43	19,20
O-KK {3x3 panama}	15,63	0,00	15,87	31,50	30,34
O-KK {6' lı saten}	14,55	0,00	14,62	29,17	28,67
O-KK {3x3 dimi}	14,27	0,00	14,27	28,54	28,13
O-KK {1x5 dimi}	14,24	0,00	14,30	28,54	28,36

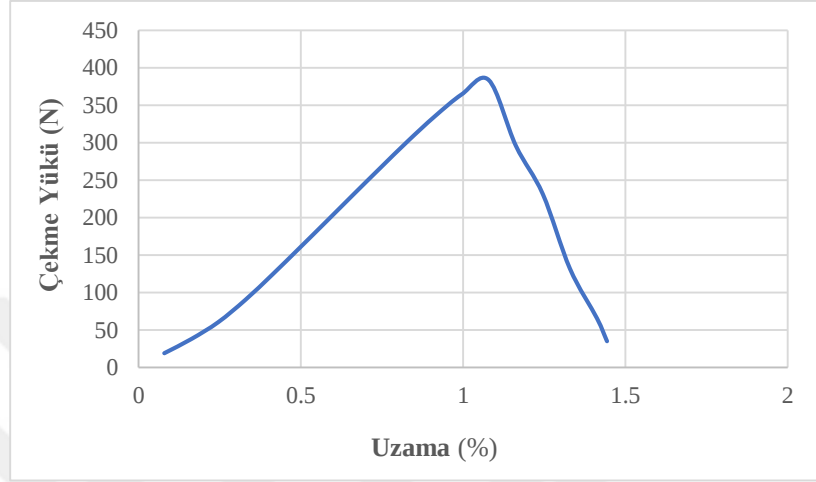
3.1.4 Karbon İpliği Çekme Testi Sonuçları

Çekme testi uygulanan karbon ipliğinde filamentlerin oldukça düşük bir uzama oranında ve eş zamanlı olarak koptukları gözlemlenmiştir. Karbon ipliğinin kopma öncesi ve sonrasındaki görünüşleri Şekil 3.3' te gösterilmektedir.



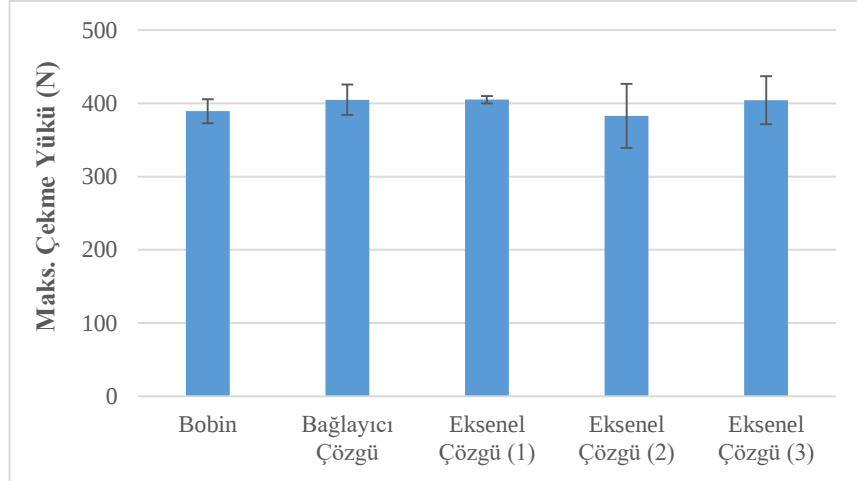
Şekil 3.3 Karbon ipliğinin kopma önce ve sonrasına ait görünüşleri (Kişisel arşiv, 2021)

Bobinden alınan karbon ipliği test örneğinin çekme yükü- uzama grafiği Şekil 3.4’ te gösterilmektedir. Grafikten de görülebileceği gibi test kumaşlarının üretiminde kullanılan karbon ipliği yaklaşık %1 kopma uzaması ve 400 N kopma yükü değerlerine sahiptir.



Şekil 3.4 Karbon ipliği çekme yükü- uzama grafiği

Karbon ipliğinin kopma mukavemeti değerleri bobinden kumaşa kadar test edilerek iplikte sürtünme kaynaklı herhangi bir mukavemet kaybının olup olmadığı incelenmiştir . Bu amaçla, O-KB 5-4 4 {3x3 Dimi} kumaşın bağlayıcı çözgü ve tüm eksenel çözgü iplikleri test edilmiştir. Şekil 3.5’ te farklı iplik gruplarının belirlenen kopma yük değerleri gösterilmektedir. Şekildeki güvenaralıklarından da görülebileceği gibi karbon ipliğinin istatistiki açıdan anlamlı bir mukavemet kaybı yaşamadığı belirlenmiştir.



Şekil 3.5 Karbon ipliği maksimum çekme yükü değerleri

3.1.5 İplik Kıvrım Oranı Ölçüm Sonuçları

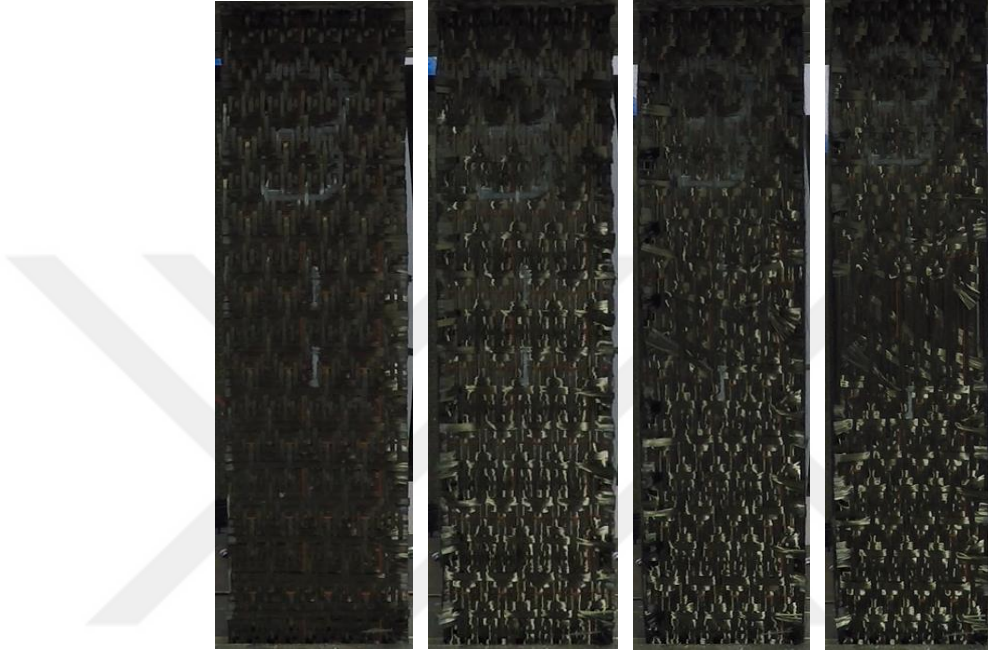
Kumaşların içerdiği tüm iplik gruplarının belirlenen kıvrım oranları değerleri Tablo 3.4' te gösterilmektedir. Tablodan da görülebileceği gibi kumaş içerisindeki iplik gruplarının ve bağlayıcı çözgü ipliğinin kumaş içerisindeki parametrelerinin değiştirilmesi ile iplik grupları farklı kıvrım oranı değerlerine sahip olmaktadır.

Tablo 3.4 Kumaşların iplik gruplarının kıvrım oranı değerleri

Kumaşlar	Bağlayıcı Çözgü İpliği			Eksenel Çözgü İpliği			Atkı İpliği			
	D_0	D_1	D_2	D_0	D_1	D_2	K_1	K_2	K_3	K_4
O-KK {1x5 dimi}	0,87 ± 0,31	0,82 ± 0,25	....	....	....	....	1,32 ± 0,29	1,88 ± 0,3	0,85 ± 0,12	....
O-KK {6' lı saten}	0,92 ± 0,27	1,2 ± 0,39	....	....	....	....	1,37 ± 0,25	2,3 ± 0,26	1,34 ± 0,18	....
O-KK {3x3 dimi}	1,56 ± 0,19	1,76 ± 0,27	....	....	....	....	1,30 ± 0,24	2,87 ± 0,32	1,05 ± 0,26	....
O-KK {3x3 panama}	1,55 ± 0,53	1,77 ± 0,44	....	....	....	....	2,9 ± 0,15	4,12 ± 0,29	2,95 ± 0,38	....
O-KK {1x3 dimi}	0,81 ± 0,09	1,12 ± 0,25	1,32 ± 0,23	0,85±0,2	1,13 ± 0,28	1,32 ± 0,41	1,40 ± 0,37	1,55 ± 0,25	1,62 ± 0,33	0,96 ± 0,24
A-KK {1x3 dimi}	0,97 ± 0,23	0,77 ± 0,26	0,39 ± 0,33	0,96 ± 0,43	0,41 ± 0,26	0,13 ± 0,15	0,86 ± 0,53	1,35 ± 0,34	1,31 ± 0,53	0,66 ± 0,39
A-KK {1x5 dimi}	1,8 ± 0,17	1,9 ± 0,33	....	0,83 ± 0,33	0,94 ± 0,38	1,01 ± 0,27	0,97 ± 0,34	1,32 ± 0,21	1,2 ± 0,41	1,16 ± 0,43
O-KB {1x5 dimi}	2,21 ± 0,19	....	....	1,3 ± 0,14	1,22 ± 0,2	1,2 ± 0,12	1,2 ± 0,12	1,86 ± 0,23	1,76 ± 0,21	2,23 ± 0,19
O-KB {3x3 dimi balıksırtı}	2,98 ± 0,21	....	....	0,98 ± 0,18	1,03 ± 0,19	1,03 ± 0,23	1,24 ± 0,3	1,31 ± 0,31	1,28 ± 0,31	1,26 ± 0,17
A-KB {1x5 dimi}	2,44 ± 0,27	....	....	0,87 ± 0,23	0,7 ± 0,2	0,71 ± 0,19	1,41 ± 0,19	1,41 ± 0,21	1,43 ± 0,26	1,36 ± 0,48
O-KB {3x3 dimi}	2,88 ± 0,24	....	....	0,8 ± 0,21	0,79 ± 0,26	0,98 ± 0,23	1,86 ± 0,33	1,36 ± 0,3	1,11 ± 0,26	1,35 ± 0,37
O-KB {3x3 panama}	3,04 ± 0,27	....	....	1,31 ± 0,14	1,44 ± 0,24	1,38 ± 0,18	1,4 ± 0,33	1,23 ± 0,19	1,22 ± 0,3	1,28 ± 0,26

3.1.6 Kumaş Çekme Testi Sonuçları

3B çözgü interlok karbon kumaşlara çekme testinin uygulanması aşamasında test sonuçlarının eldesinin yanı sıra kumaşların kopma davranışları da analiz edilmiştir. Çekme testinin farklı aşamalarından alınan fotoğraflar Şekil 3.6’ da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 3B çözgü interlok karbon kumaşın kopma davranışına ait fotoğraflar (Kişisel arşiv, 2021)

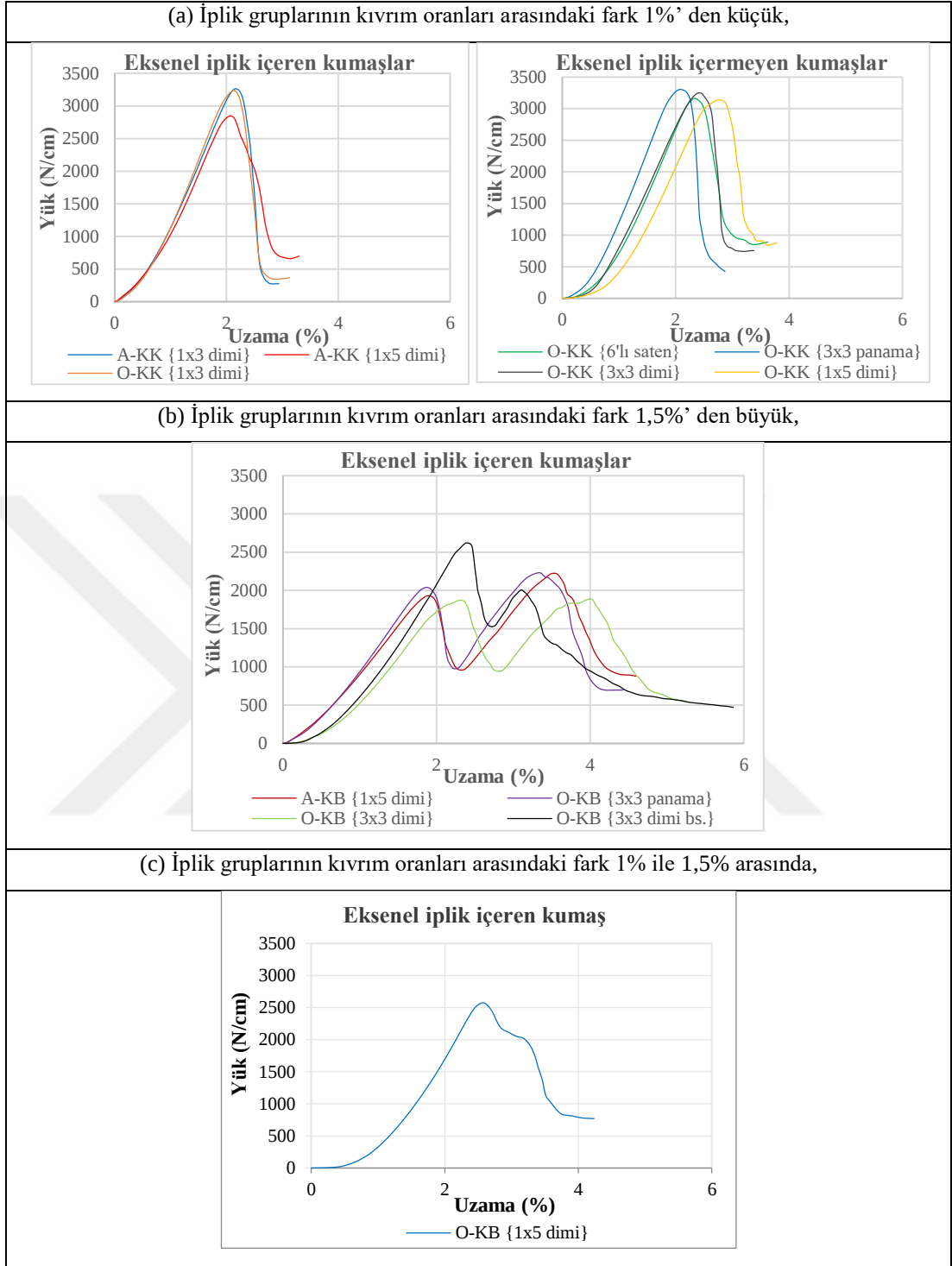
Kumaşların kopma davranışlarının iplik kıvrım oranları ile yakından ilişkili olduğu belirlenmiştir. İplik gruplarının kıvrım oranları arasındaki farka bağlı olarak çekme yükü- uzama grafiği farklılaşmaktadır. Şekil 3.7’ de test edilen kumaşların çözgü yönündeki yük- uzama grafikleri verilmiştir.

Çözgü ipliklerinin kıvrım oranları arasındaki fark %1’ den küçük ise bağlayıcı ve eksenel çözgü iplikleri eş zamanlı olarak kopmakta ve kumaşın kopma grafiği tek tepeli oluşmaktadır. Genellikle A-KK ve O-KK kumaşların bu tür kopma davranışı gösterdikleri belirlenmiştir. Belirtilen kumaşların çözgü yönündeki yük- uzama grafikleri Şekil 3.7(a)’ da gösterilmektedir.

İplik gruplarının kıvrım oranları arasındaki farkın %1,5’ ten büyük olması halinde kopma grafiğinde ayrı iki tepe oluşmaktadır. Bu durum bağlayıcı ve eksenel çözgü

ipliklerinin farklı zamanlarda kopmalarından kaynaklanmaktadır. A-KB ve O-KB kumaşların genellikle bu tür kopma davranışı gösterdikleri tespit edilmiştir. A-KK ve O-KK kumaşlarda çözgü ipliklerinin eş zamanlı olarak kopması maksimum çekme yükü açısından A-KB ve O-KB kumaşlara göre daha yüksek değerlere sahip olmalarını sağlamaktadır. Belirtilen kumaşların çözgü yönündeki yük- uzama grafikleri Şekil 3.7(b)' de gösterilmektedir.

İplik kıvrım oranları arasındaki fark %1- %1,5 arasında ise kopma grafiğinde birbirine yakın çift tepe gözlemlenmektedir. İplik kıvrım oranları arasındaki fark yeterince büyük olmadığı için tepeler birbirine yakın olarak oluşmaktadır. Şekil 3.7(c)' de çözgü yönünde bu davranışı gösteren O-KB 5-4 4 {1x5 dimi} kumaşın yük- uzama grafiği gösterilmektedir.

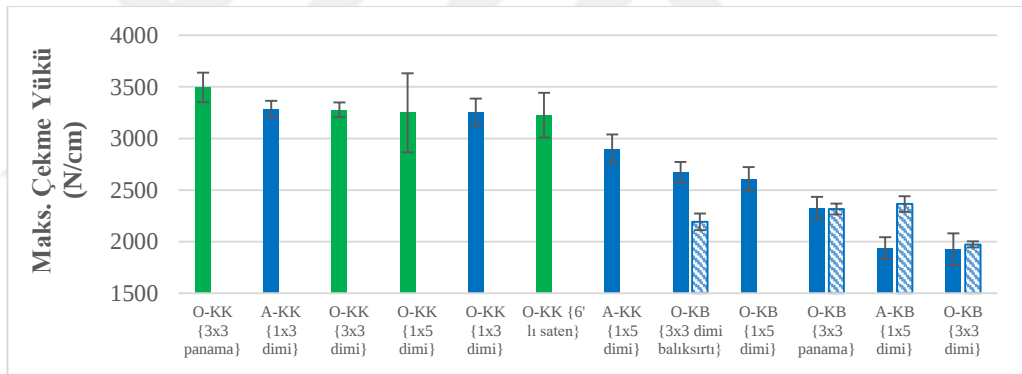


Şekil 3.7 Kumaşların çözgü ipliği yönündeki yük- uzama grafikleri

Kumaşların çözgü yönündeki maksimum çekme yükü değerleri Şekil 3.8' de verilmiştir. Grafik incelendiğinde eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaşların birbirlerine yakın değerlerde koptukları görülmektedir. 3B örgü türü ve bağlayıcı çözgü ipliği örgü raporuna göre çeşitlendirilen, eksenel çözgü ipliği içeren kumaşlar

kopma yük değerleri bakımında önemli farklar içermektedir. Bu durum bağlayıcı ve eksenel çözgü ipliklerinin kıvrım oranları arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Bağlayıcı çözgü ipliğinin kattan kata bağlantı yaptığı kumaşlarda (A-KK ve O-KK) tüm iplik grupları eş zamanlı olarak koptukları için yüksek kopma yük değerlerine ulaşılmaktadır. Bağlayıcı çözgü ipliğinin kumaş içerisindeki bağlantı derinliğinin artırılması iplik kıvrım oranları arasındaki farkı arttırdığı için iplik grupları farklı zamanlarda kopmakta ve kopma yük değerleri düşmektedir.

Bağlayıcı çözgü ipliğinin örgü raporu kumaşların kopma davranışlarını etkileyen bir diğer parametre olarak belirlenmiştir. A-KK {1x3 dimi} ve A-KK {1x5 dimi} kumaşlar aynı 3B örgü türünde olmalarına rağmen farklı örgü raporlarından dolayı kopma yük değerleri farklılaşmıştır. Sadece örgü raporu değiştirilen O-KB kumaşlar da benzer bir eğilim ile çözgü yönünde farklı kopma yük değerleri göstermiştir.

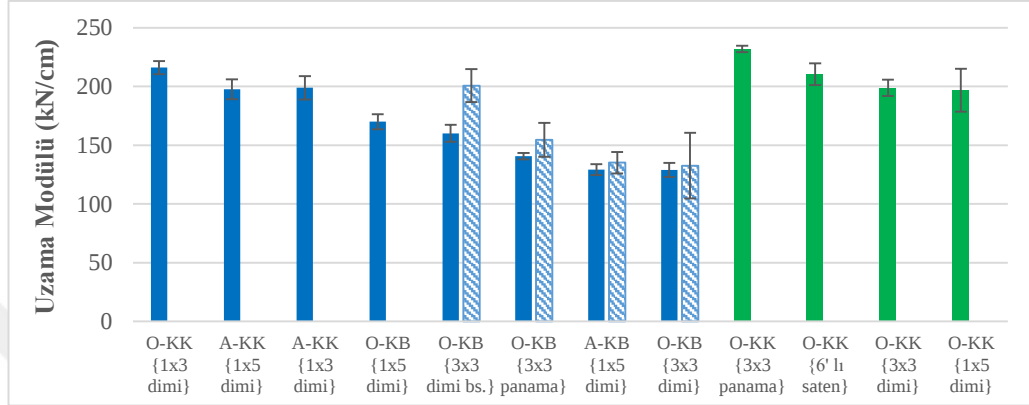


■: Eksenel çözgü ipliği içeren kumaşlar (1. tepe), ■: Eksenel çözgü ipliği içeren kumaşlar (2. tepe)
■: Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaşlar

Şekil 3.8 Kumaşların çözgü yönündeki kopma yük değerleri

Çalışma kapsamında ayrıca kumaşların uzama modül değerleri belirlenmiştir. Bu aşamada kumaşların yük- uzama grafiklerinin lineer değişim gösterdiği bölgelerinden iki nokta seçilmiş ve bu noktalar arasındaki eğim değeri hesaplanmıştır. Kumaşların çözgü yönünde hesaplanan uzama modül değerleri Şekil 3.9' da gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi yük- uzama grafiğinde iki ayrı tepe noktası içeren kumaşlar için iki farklı modül değeri hesaplanmıştır. Kalınlık boyu bağlamalı olan bu kumaş türlerinde ikinci modül değerinin birinci değer ile eşit ya da daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Birinci modül değerleri göz önünde bulundurulduğunda bağlayıcı

çözgü ipliğinin bağlama derinliğinin artırılması ile modül değerinin düştüğü sonucuna varılmıştır. Bu durum eş zamanlı olarak kopan iplik miktarı ile yakından ilişkilidir. Çözgü iplik gruplarının farklı zamanlarda kopması yük değerinin yanı sıra uzama modül değerinin de düşmesine yol açmaktadır.



Şekil 3.9 Kumaşların çözgü yönünde belirlenen uzama modül değerleri

■: Eksenel çözgü ipliği içeren kumaşlar (1. tepe), ■: Eksenel çözgü ipliği içeren kumaşlar (2. tepe), ■: Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaşlar

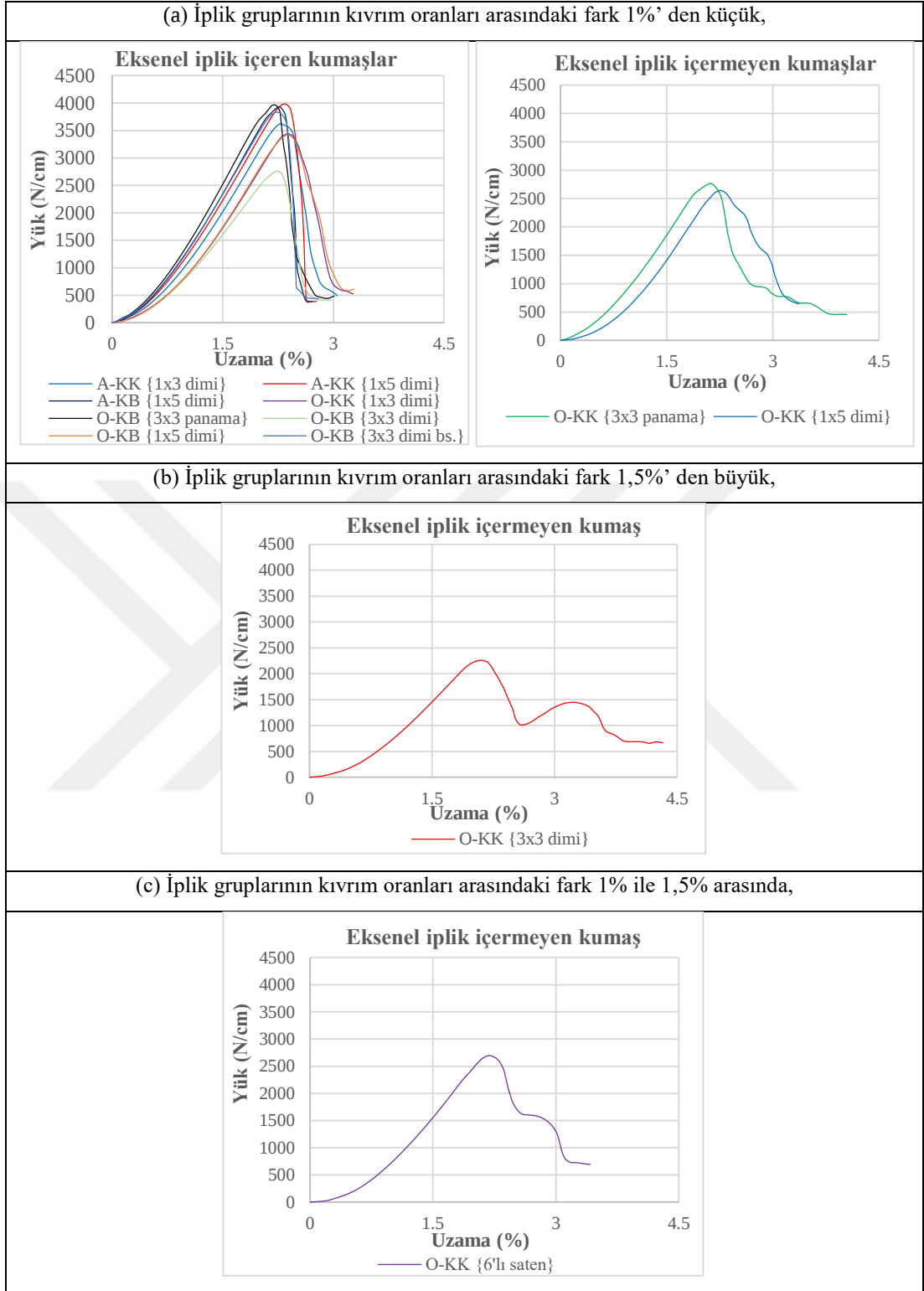
Kumaşların atkı ipliği yönündeki yük- uzama grafikleri Şekil 3.10' da gösterilmektedir. Atkı iplikleri bağlayıcı çözgü iplikleri ile oluşturdukları kesişme noktalarından dolayı kıvrım kazanmaktadır. Kumaşların atkı ipliği yönündeki yük- uzama grafiklerinin iplik gruplarının kıvrım oranları arasındaki farka bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir.

Eksenel çözgü ipliği içeren kumaşlarda atkı iplik gruplarının kıvrım oranları arasındaki fark 1%' den küçük olduğu için yük-uzama grafiklerinde tek tepe gözlemlenmiştir. Şekil 3.10 (a)' da sözü geçen kumaşların yük- uzama grafikleri verilmiştir.

Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaşlar O-KK 3B örgü türüne sahiptirler. O-KK kumaşlarda iplikler arasındaki kesişme sayısı katlara göre farklılık göstermektedir. Bu durum eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaş grubunun atkı yönündeki kopma davranışlarının farklılaşmasına yol açmıştır.

O-KK {3x3 panama} ve O-KK {1x5 dimi} kumaşların atkı kıvrım oranları arasındaki fark 1%' den küçük olduğu için yük- uzama grafiklerinde tek tepe oluşmuştur (Şekil 3.10 (a)). O-KK 3-2 3 {3x3 Dimi} kumaşta katlarda yer alan atkı ipliklerinin kıvrım oranları arasındaki fark %1,5' tan fazla olduğu için yük- uzama grafiğinde çift tepe gözlemlenmiştir (Şekil 3.10 (b)). O-KK 5-2 3 {6' lı Saten} kumaşta ise farklı katlarda yer alan ipliklerin kıvrım oranları arasındaki fark %1 ile 1,5 arasında olduğu için birbiri içerisinde geçmiş çift tepeli yük- uzama grafiği elde edilmiştir (Şekil 3.10 (c)).





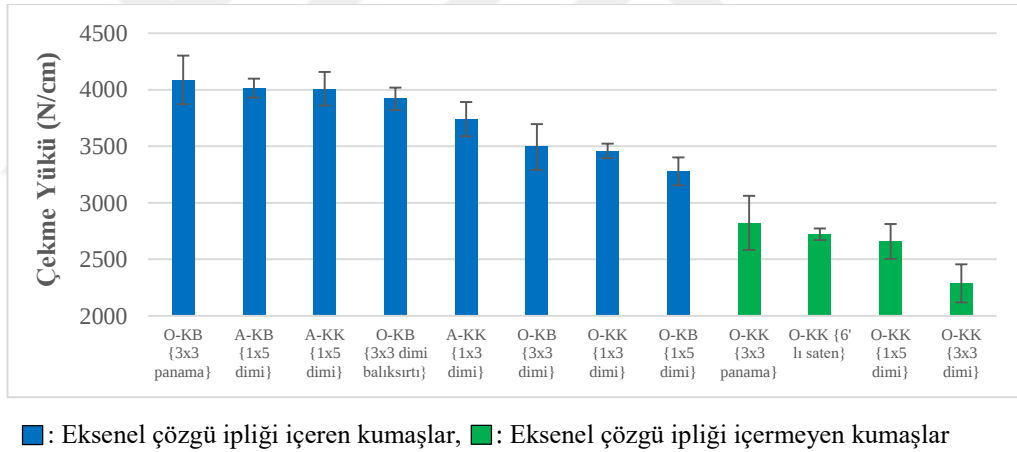
Şekil 3.10 Kumaşların atkı ipliği yönündeki yük- uzama grafikleri

Kumaşların atkı ipliği yönünde maksimum çekme yük değerleri Şekil 3.11' de gösterilmektedir. Eksenel çözgü ipliği içeren kumaşların kopma yükünün eksenel

çözü ipliği içermeyen kumaşlara göre daha yüksek değerlerde oldukları belirlenmiştir.

3B çözü interlok kumaşlarda bağlayıcı çözü ipliği sayısının artırılmasının iplikler arasındaki kesişme sayısını arttırdığı, bu durumun atkı ipliğinin daha fazla kıvrım kazanmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Karbon ipliğinin kıvrım oranının artması kopma yükünün azalmasına neden olmaktadır.

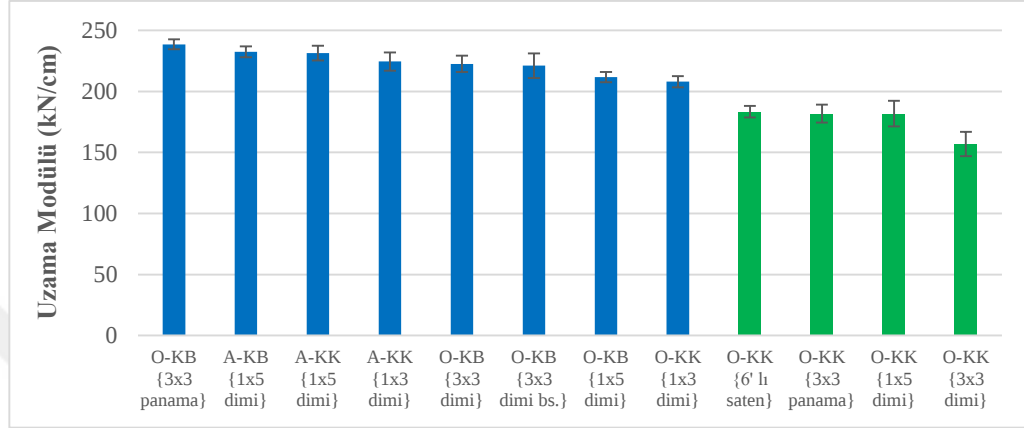
3B çözü interlok karbon kumaşların atkı ipliği yönünde maksimum çekme yüklerini etkileyen bir diğer etkenin bağlayıcı çözü ipliğinin aç parametresi olduğu belirlenmiştir. Kumaşların diğer tüm parametrelerinin sabit tutulması koşulu ile açılı interlok yapının tercih edilmesi atkı yönünde daha yüksek kopma yük değerinin elde edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.11 Kumaşların atkı ipliği yönündeki kopma yük değerleri

Kumaşların atkı yönünde belirlenen uzama modül değerleri de Şekil 3.12' de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde kopma yük değerlerine paralel olarak bağlayıcı çözü ipliği derinlik parametresinin değerler üzerinde anlamlı bir fark yaratmadığı fakat bu duruma karşın aç parametresinin etkili bir faktör olduğu tespit edilmiştir. 3B örgü türü ve kumaş örgü raporunun sabit tutulması koşulu ile ortogonal yerine açılı interlok yapının tercih edilmesi kumaşların atkı yönünde uzama modül değerlerinin artmasına yol açmaktadır. Grafik üzerinde belirlenen bir diğer önemli sonuç ise kumaş gruplarının modül değerleri arasında tespit edilen farktır. Eksenel

çözü ipliği içermeyen tüm kumaşlar diğer kumaş grubuna göre daha düşük modül değerine sahip olmuştur. Bu durum, eksenel çözü ipliği içermeyen kumaşların yüksek kesişme sayısından dolayı atkı ipliklerinin kıvrım kazanması ve modül değerlerinin düşmesi temeline dayanmaktadır.



Şekil 3.12 Kumaşların atkı yönünde belirlenen uzama modül değerleri

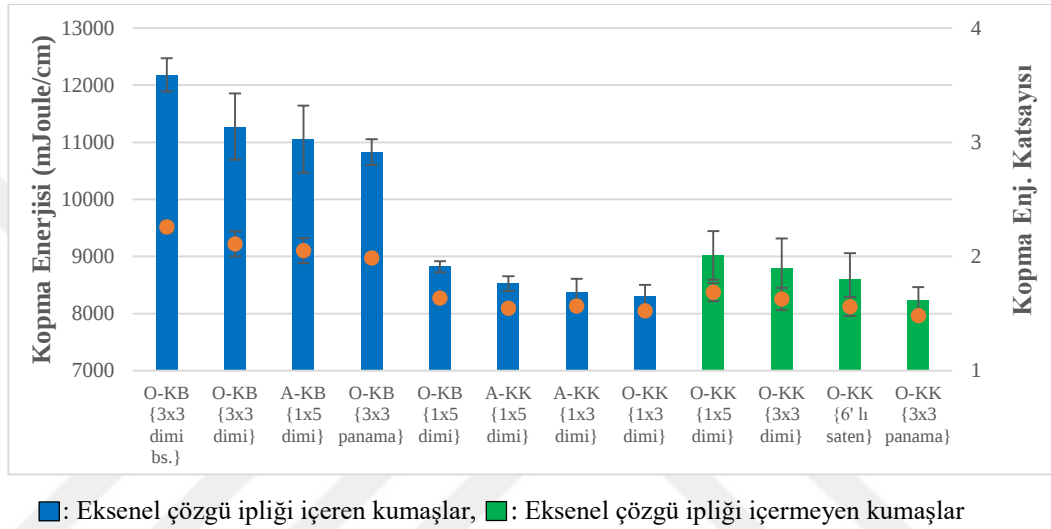
■: Eksenel çözü ipliği içeren kumaşlar, ■: Eksenel çözü ipliği içermeyen kumaşlar

Tez çalışması kapsamında çekme testi sonuçları ile belirlenen bir diğer parametre ipliğin ve kumaşların kopma enerjisi değerleri olmuştur. Bobinden alınan karbon ipliğin kopma enerjisi 545,26 mJoule olarak bulunmuştur. Kumaşların kopma enerjilerinin birbirleri ile kıyaslanabilmesi için test numunesinin en değerine göre normalize edilmiş ve 'mJoule/ cm' birimi ile ifade edilmiştir. Kumaş kopma enerjisinin yanı sıra atkı ve çözü yönleri için 'kopma enerjisi katsayı' değerleri eşitlik 3.1' e göre hesaplanmıştır. Eşitlikten de görülebileceği gibi öncelikle kumaşların iplik başına düşen kopma enerjileri belirlenmiş ve bu değer tek bir karbon ipliğin kopma enerjisi değerine bölünmüştür. Şekil 3.13 ve Tablo 3.5' te kumaşların çözü yönünde belirlenen kopma enerjisi ve katsayı değerleri gösterilmektedir.

Grafik incelendiğinde kopma enerjisi ve katsayı değerlerinin paralellik gösterdikleri görülmektedir. Bağlayıcı çözü ipliğinin derinlik parametresinin kumaşların çözü yönünde kopma enerjilerini etkileyen temel faktör olduğu belirlenmiştir. Bağlayıcı ipliğin kattan kata bağlantı yaptığı kumaşlarda (A-KK ve O-KK) yapısal tasarıma göre iki veya daha fazla sayıdaki atkı katları bağlanmaktadır.

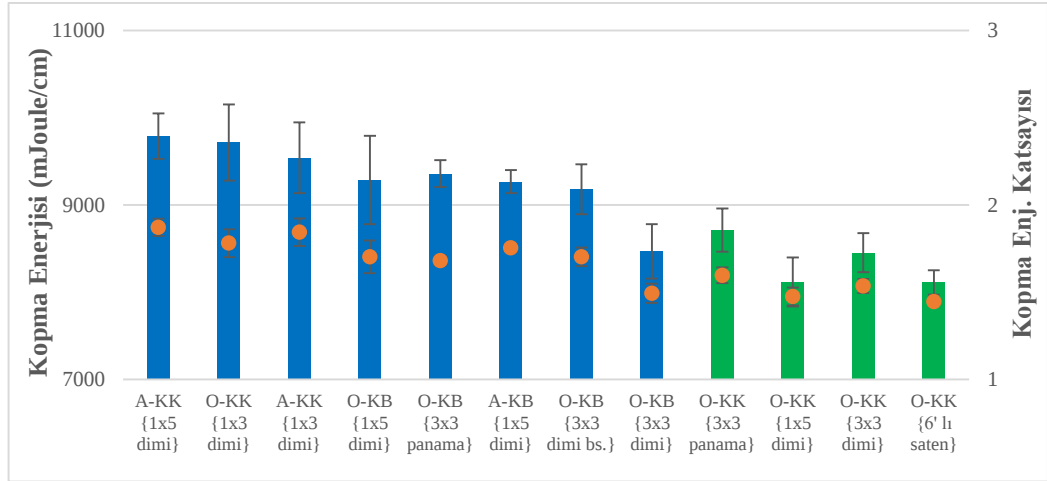
Kalınlık boyu bağlamalı kumaşlarda ise (A-KB ve O-KB) tüm atkı katları bağlandığı için daha kompakt bir kumaş yapısı elde edilmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak iplikler arasındaki kohezyon artmakta ve kumaşı koparmak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır.

$$\text{Kumaş Kopma Enerjisi Katsayısı} = \frac{\text{Kumaş iplik başına düşen kopma enerjisi} \left(\frac{\text{mJoule}}{\text{iplik}} \right)}{\text{Karbon ipliğin kopma enerjisi değeri (545,26 mJoule)}} \quad (3.1)$$



Şekil 3.13 Kumaşların çözgü ipliği yönünde kopma enerjisi ve katsayı değerleri

Kumaşların atkı yönünde belirlenen kopma enerjisi ve katsayı değerleri Şekil 3.14 ve Tablo 3.5' te gösterilmektedir. Bağlayıcı çözgü ipliğinin aç ve derinlik parametreleri enerji değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturamamıştır. Bu duruma karşın örgü raporu kumaş atkı yönünde iplikler arasındaki kohezyonu etkilediği için sonuçları farklılaştırdığı belirlenmiştir. Enerji grafikleri incelendiğinde ulaşılan bir diğer önemli sonuç ise kopma enerjisi katsayı değerlerinin 1' den büyük olduğudur. Bu durum, 3B örgü türü ve örgü raporuna göre farklılaşan iplikler arası kohezyonun kumaş kopma davranışı üzerindeki etkisinin iplik kopma davranışı kadar önemli olduğu sonucunu doğurmaktadır.



■ Eksenel çözgü ipliği içeren kumaşlar, ■ Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaşlar,

Şekil 3.14 Kumaşların atkı ipliği yönünde kopma enerjisi ve katsayı değerleri

Tablo 3.5 Kumaşların kopma enerjisi değerleri ve katsayıları

Kumaş	Kopma Enj. (Çözgü-mJoule)	S.S.	Kopma Enj. (Atkı-mJoule)	S.S.	Kopma Enj. Kat. (Çözgü)	S.S.	Kopma Enj. Kat. (Atkı)	S.S.
O-KK {1x5 dimi}	9019,5	426,5	8118,9	281	1,68	0,07	1,47	0,05
O-KK {6' lı saten}	8603,3	453,1	8111,4	139	1,56	0,08	1,44	0,02
O-KK {3x3 dimi}	8791	523,6	8453,8	224,2	1,62	0,09	1,53	0,04
O-KK {3x3 panama}	8236,2	225	8711,7	247,6	1,48	0,04	1,59	0,04
O-KK {1x3 dimi}	8313,2	190,1	9714,8	436,1	1,52	0,03	1,78	0,07
A-KK {1x3 dimi}	8378,6	232,3	9541,6	405,6	1,56	0,04	1,84	0,07
A-KK {1x5 dimi}	8525	129	9789,5	261,2	1,54	0,02	1,87	0,049

Tablo 3.5 devamı

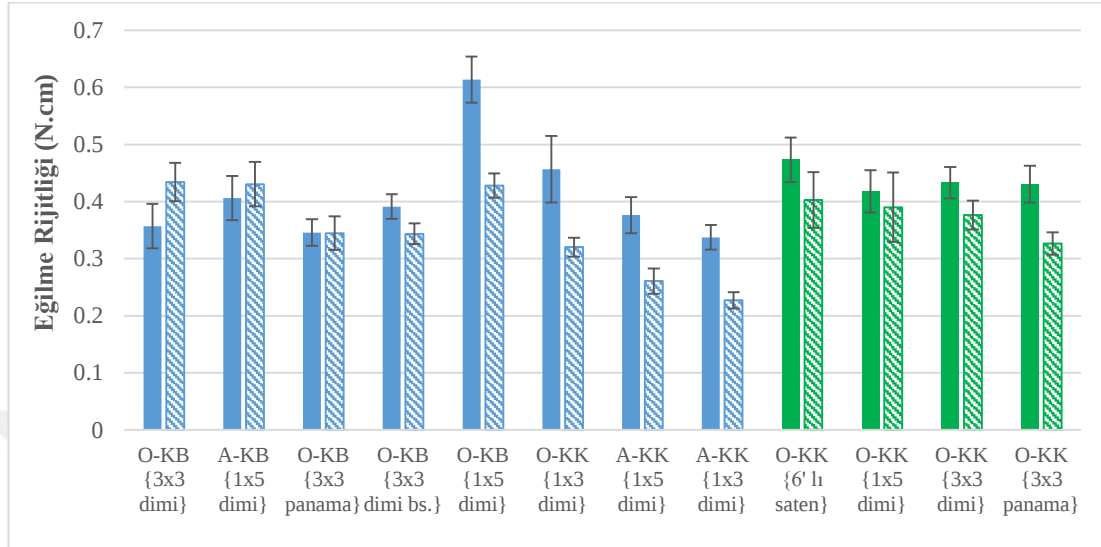
O-KB {1x5 dimi}	8820,1	99,1	9287,3	506,3	1,63	0,01	1,70	0,09
A-KB {1x5 dimi}	11056,8	588,5	9267,4	131,6	2,05	0,10	1,75	0,02
O-KB {3x3 panama}	10829,4	226,3	9358,5	153,8	1,98	0,04	1,68	0,02
O-KB {3x3 dimi balıksırtı}	12180,9	290,6	9180,5	286,5	2,25	0,05	1,7	0,05
O-KB {3x3 dimi}	11273,9	580	8470,3	311,7	2,10	0,1	1,49	0,05

3.1.7 Kumaş Eğilme Testi Sonuçları

Kumaşların atkı ve çözgü yönlerinde belirlenen eğilme rijitliği değerleri Şekil 3.15 ve Tablo 3.6’ da gösterilmektedir. Kattan kata bağlamalı kumaşlarda (A-KK ve O-KK) çözgü yönündeki eğilme rijitliği değerlerinin atkı yönüne göre daha yüksek olduğu, kalınlık boyu bağlamalı kumaşlarda (A-KB ve O-KB) ise değerlerin örgü raporuna göre önemli farklılıklar içerdikleri belirlenmiştir. Çözgü yönünde bağlayıcı ipliğin adım sayısının artırılması daha fazla sayıda atkı ipliğinin bağlanmasına ve çözgü ipliğinin sürtünme yüzeyinin artmasına yol açmaktadır. Sürtünme yüzeyinin artması ise kumaşın bu yöndeki eğilme rijitliği değerinin yükselmesine neden olmaktadır. Bağlayıcı çözgü ipliği aç parametresinin kumaşların çözgü ipliği yönünde eğilme rijitliklerini etkileyen bir diğer faktör olduğu belirlenmiştir. Bağlayıcı çözgü ipliğinin derinlik ve örgü raporu parametrelerinin sabit tutulması koşulu ile ortogonal yapılar açılı interlok yapılara göre bu yönde daha yüksek eğilme rijitliği değeri göstermektedir.

Bağlayıcı çözgü ipliğinin kumaş içerisindeki derinliğinin artırılması ile daha fazla sayıda kumaş katı bağlandığı için atkı iplikleri üzerindeki sıkıştırılma kuvvetleri artmaktadır. Bu durum atkı iplikleri arasındaki temas yüzeyini arttırmakta ve atkı

ipliğinin hareketi komşu iplikler tarafından engellenmektedir. Sonuç olarak kumaşın bu yöndeki eğilme rijitliği değeri yükselmektedir.



■: Eksenel iplik içeren kumaşların çözgü yönündeki eğilme rijitlikleri, ▨: Eksenel iplik içeren kumaşların atkı yönündeki eğilme rijitlikleri, ■: Eksenel iplik içermeyen kumaşların çözgü yönündeki eğilme rijitlikleri, ▨: Eksenel iplik içermeyen kumaşların atkı yönündeki eğilme rijitlikleri

Şekil 3.15 Kumaşların atkı ve çözgü iplikleri yönündeki eğilme rijitliği değerleri

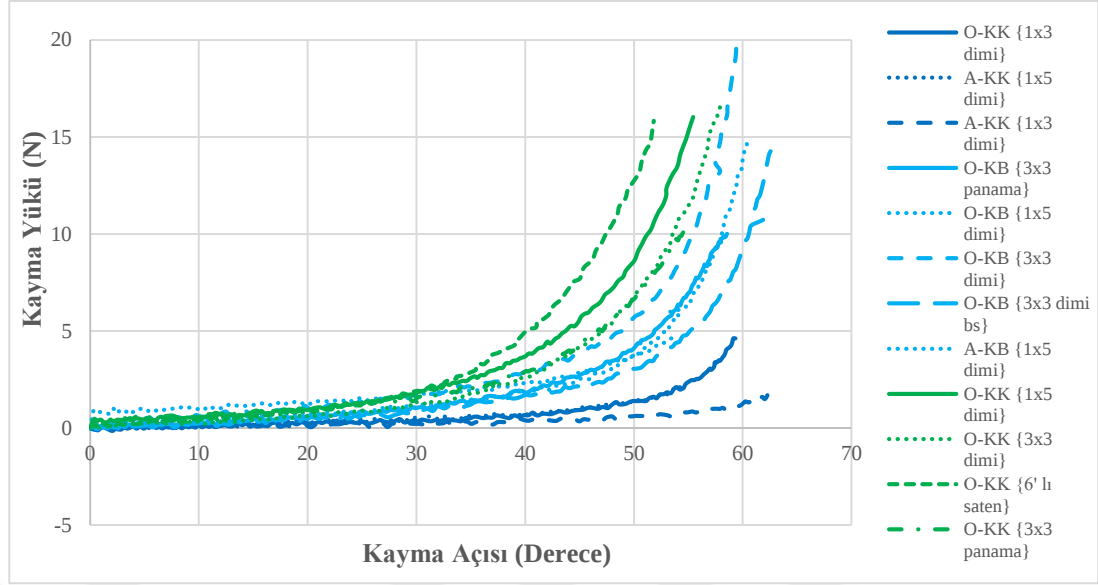
Tablo 3.6 Kumaşların atkı ve çözgü yönlerinde eğilme rijitliği değerleri

Kumaş	Eğilme Rijitliği (Çözgü-N.cm)	S.S	Eğilme Rijitliği (Atkı-N.cm)	S.S
O-KB {1x5 dimi}	0,61	0,04	0,42	0,02
O-KK {6' lı saten}	0,47	0,03	0,40	0,04
O-KK {1x3 dimi}	0,45	0,05	0,32	0,01
O-KK {3x3 dimi}	0,43	0,02	0,37	0,02
O-KK {3x3 panama}	0,43	0,03	0,32	0,01
O-KK {1x5 dimi }	0,41	0,03	0,39	0,06
A-KB {1x5 dimi }	0,40	0,03	0,43	0,03
O-KB {3x3 dimi balıksırtı}	0,39	0,02	0,34	0,01
A-KK {1x5 dimi}	0,37	0,03	0,26	0,02
O-KB {3x3 panama}	0,34	0,02	0,34	0,02
O-KB {3x3 dimi}	0,34	0,02	0,43	0,03
A-KK {1x3 dimi}	0,33	0,02	0,22	0,01

3.1.8 Kumaş Kayma Deformasyonu Ölçüm Sonuçları

Kumaşlara kayma deformasyonu uygulandıktan sonra her kumaş türü için kayma yükü- kayma açısı grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 3.16). Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaşların (grafik ve tabloda yeşil) eksenel iplik içeren kumaşlara (grafik ve tabloda mavi) göre kayma deformasyonu açısından daha rijit oldukları görülmektedir. İplikler arasındaki sürtünme, kayma deformasyonunun temel mekanizmasını oluşturmaktadır. Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaşlarda diğer gruba göre iki katı sayıda bağlayıcı çözgü ipliği yer almaktadır. Dolayısıyla iplikler arasındaki kesişme sayısı artmaktadır. Kesişme sayısının artması iplikler arası sürtünmeyi arttırdığı için kumaş daha rijit bir kayma davranışı göstermektedir. Ayrıca iki kumaş grubu karşılaştırıldığında, Bölüm 2.1.3’ te belirtildiği gibi, toplam atkı sayıları eşit olmasına rağmen eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaşlar daha az sayıda kumaş katına sahip oldukları için her kumaş katında daha fazla sayıda atkı ipliği içermektedir. Bu durum kayma deformasyonu sırasında atkı ipliğinin hareket edebilmesi için ihtiyaç duyduğu alanın eksenel çözgü ipliği içeren kumaş grubuna göre daha az olmasına ve sonuç olarak kayma rijitliğinin artmasına yol açmaktadır.

3B çözgü interlok karbon kumaşların kayma rijitliklerini etkileyen bir diğer önemli etkenin bağlayıcı çözgü ipliğinin derinlik parametresi olduğu belirlenmiştir. Kalınlık boyu bağlamalı kumaşlar (açık mavi) kattan kata bağlamalı kumaşlara (koyu mavi) göre daha rijit bir kayma davranışı göstermişlerdir. Derinlik parametresinin arttırılması ile iplikler arasındaki temas yüzeyi ve sürtünme artmaktadır. Bu durum kayma deformasyonunda aynı açı değerinin elde edilebilmesi için daha fazla yük uygulanmasına neden olmaktadır.



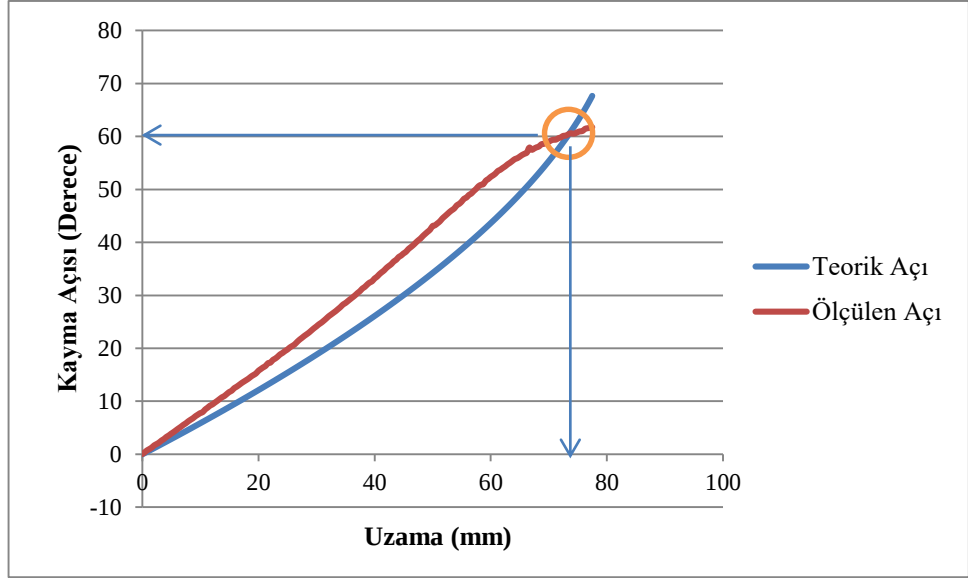
Şekil 3.16 Kumaşların kayma yükü- kayma açısı grafikleri

Tez çalışmasında ayrıca kumaşların kilitlenme açısı değerleri belirlenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak teorik kayma açısı değerleri hesaplanmış ve test değerleri ile karşılaştırılmıştır. Teorik kayma açısı değerlerinin hesaplanması için aşağı kısımda gösterilen eşitlik 3.2 ve eşitlik 3.3 kullanılmıştır (Cao ve diğer., 2008).

$$\cos\theta = \frac{(H+\delta)-W}{2(H-W)\cos\theta_0} = \cos\theta_0 + \frac{\delta}{2(H-W)\cos\theta_0} \quad (3.2)$$

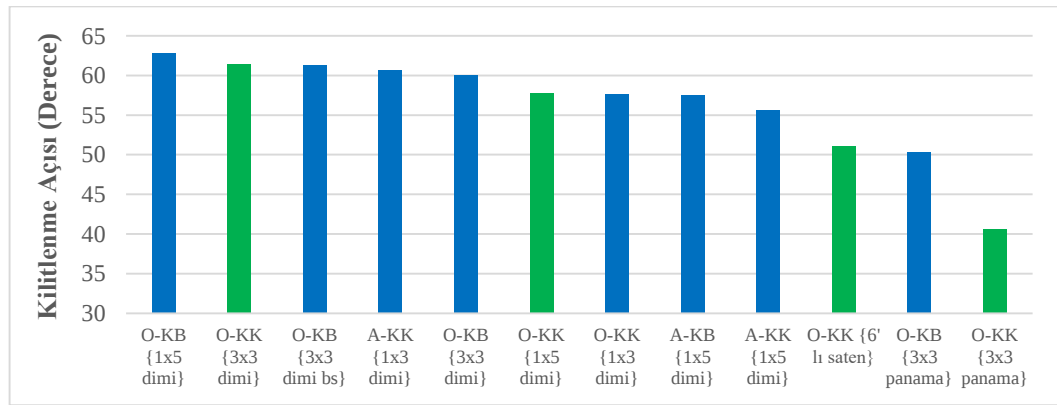
$$\gamma = 90^\circ - 2\theta \quad (3.3)$$

Eşitliklerde, deformasyon sonrası kumaş kayma açısı değeri γ , test esnasında meydana gelen uzama miktarı δ , numune boyu H , numune eni W , deformasyon öncesi açı değeri θ_0 ve deformasyon sonrası açı değeri θ ile gösterilmiştir. İnterlok O-KB 5-4 4 {3x3 dimi} kumaşın teorik olarak hesaplanan ve ölçülen kayma açısı değerleri Şekil 3.17' de gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi 60° kayma açısında ölçülen değer teorik olarak hesaplanan değerden farklılaşmaya başlamıştır. Bu açı değeri kumaşın kilitlenme açısı olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.17 O-KB 5-4 4 {3x3 dimi} kumaşın teorik olarak hesaplanan ve ölçülen açı değerleri

Aynı yöntem kullanılarak üretilen tüm kumaşların kilitlenme açısı değerleri tespit edilmiştir. Değerler Şekil 3.18 ve Tablo 3.7’ de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, kumaşların kilitlenme açısı değerlerinin birbirlerine göre farklılaştığı ve 40,59° ile 62,85° arasında değiştiği görülmektedir. Bağlayıcı çözgü ipliği örgü raporunun kumaş kilitlenme açısı üzerinde etkili bir parametre olduğu belirlenmiştir. Her iki kumaş grubu için de panama örgü raporlu kumaşlar en düşük, dimi örgü raporlu kumaşlar ise en yüksek açı değerindedirler.



■: Aksel çözgü ipliği içeren kumaşlar, ■: Aksel çözgü ipliği içermeyen kumaşlar

Şekil 3.18 Kumaşların kilitlenme açısı değerleri

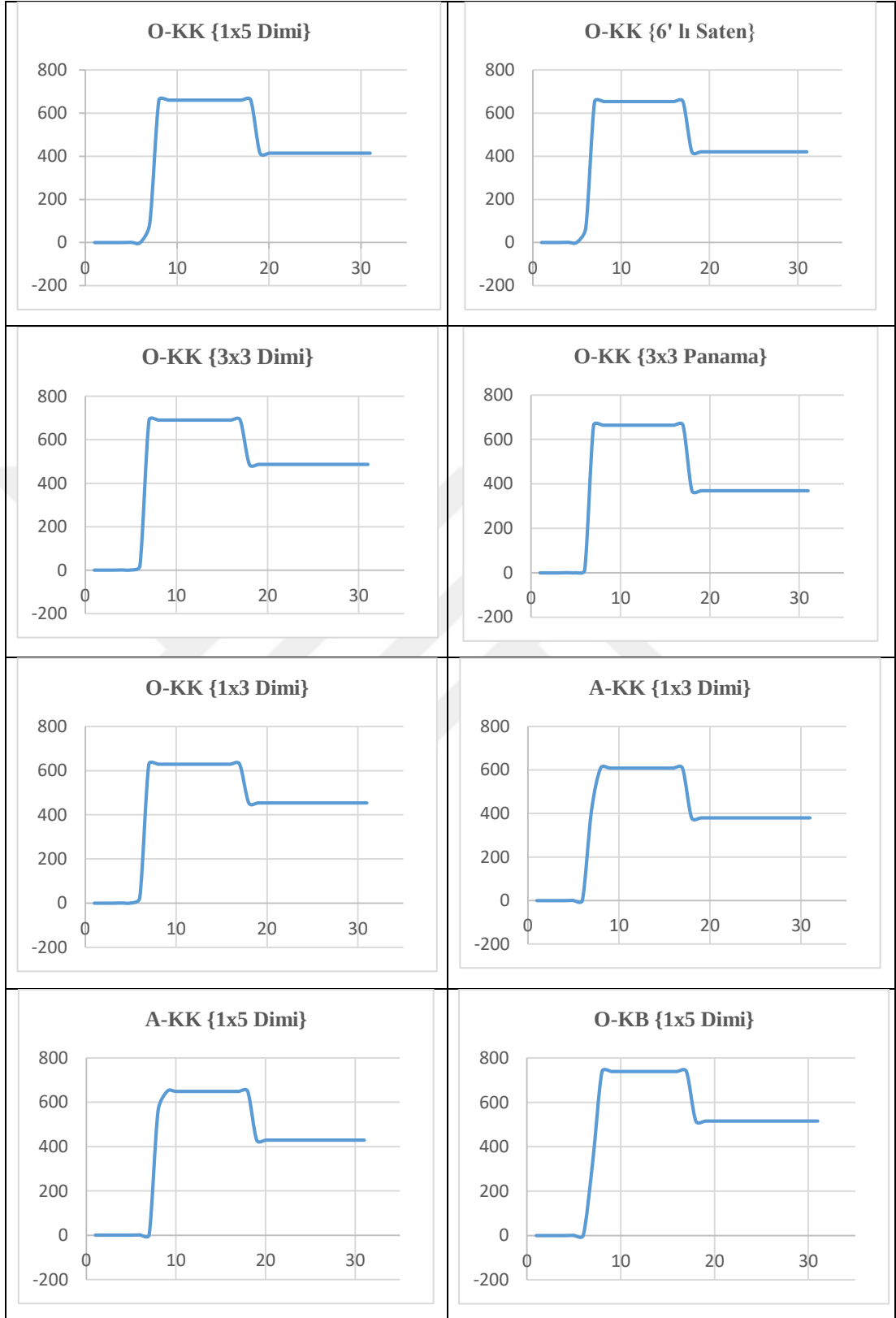
Tablo 3.7 Kumaşların kilitleme açısı değerleri

Kumaşlar	Kilitlenme Açısı (Derece)
O-KK {3x3 panama}	40,59°
O-KK {6' lı saten}	51,1°
O-KK {3x3 dimi}	61,5°
O-KK {1x5 dimi}	57,76°
A-KB {1x5 dimi}	57,47°
O-KB {1x5 dimi}	62,85°
O-KB {3x3 dimi}	60°
O-KB {3x3 dimi- bs}	61,32°
O-KB {3x3 panama}	50,37°
A-KK {1x5 dimi}	55,6°
A-KK {1x3 dimi}	60,7°
O-KK {1x3 dimi}	57,64°

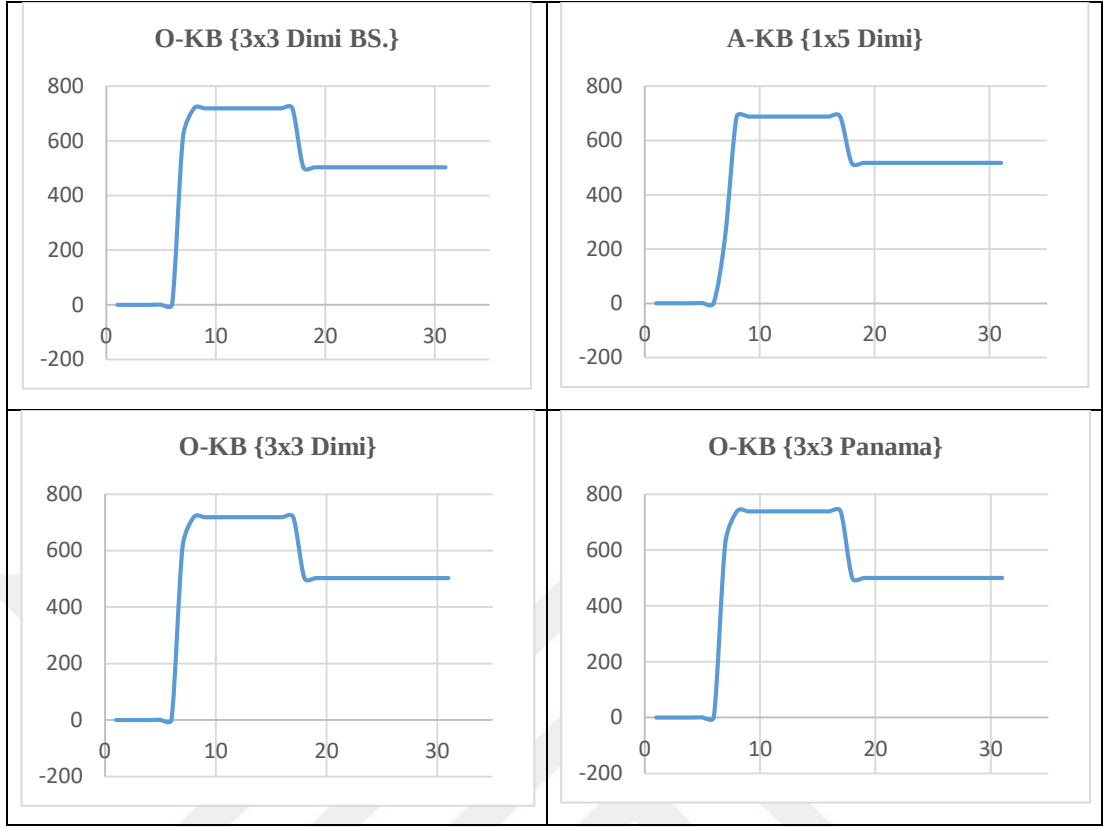
3.1.9 Kumaşların Şekil Alabilirlik Test Sonuçları

3.1.9.1 Kumaşların Maksimum Şekil Alabilirlik Yük Değerleri

Şekil alabilirlik testi sırasında ölçüm cihazının kafa kısmı kumaş numunesine temas ettikten sonra yük değeri hızlı bir şekilde yükselmekte, maksimum değerine ulaşmakta ve test tamamlandıktan sonra yük (N) -zaman (sn) grafiği elde edilmektedir. Kumaşların şekil alabilirlik testi sonrasında elde edilen yük- zaman grafikleri şekil 3.19' da gösterilmektedir.

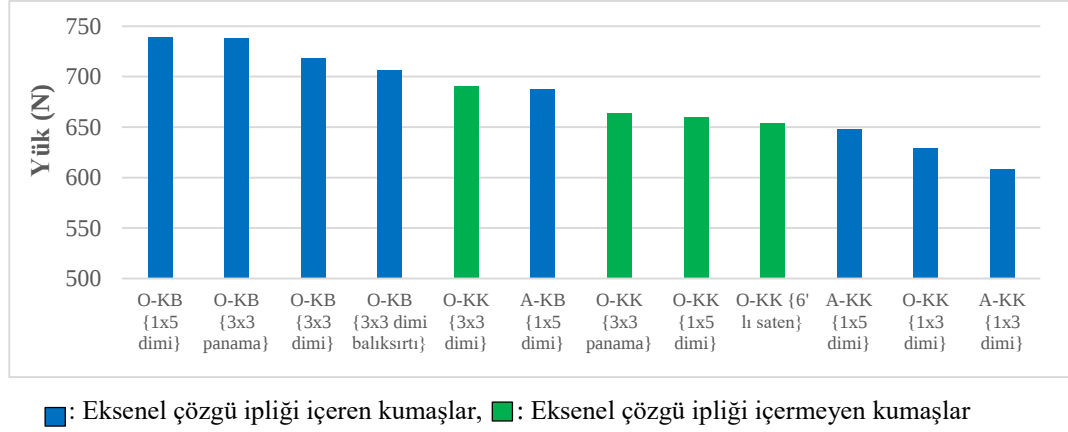


Şekil 3.19 Kumaşların şekil alabilirlik yükü- zaman grafikleri



Şekil 3.19 devamı

Kumaşların ölçülen maksimum şekil alabilirlik yük değerleri Şekil 3.20’ de gösterilmektedir. Bağlayıcı çözgü ipliği derinliğinin şekil alabilirlik yük değerlerini etkileyen temel bir parametre olduğu belirlenmiştir. Kalınlık boyu bağlamalı kumaşlarda (A-KB ve O-KB) kattan kata bağlamalı kumaşlara (A-KK ve O-KK) göre daha yüksek yük değerleri elde edilmiştir. Bu durumun yanı sıra bağlayıcı çözgü ipliği derinliği ve örgü raporu sabit tutulan kumaşların şekil alabilirlik yük değerlerinin aç parametresine göre de farklılaştığı saptanmıştır. Ortogonal kumaşlar açılı interlok kumaşlara göre yüksek bir yük değerinde deforme olmuşlardır. O-KB yapılar tüm kumaşlar arasında en yüksek şekil alabilirlik yük değerine sahip 3B örgü türleri olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.20 Kumaşların maksimum şekil alabilirlik kuvveti değerleri

3.1.9.2 Kumaşların Maksimum Çekilme Miktarı Analizi Sonuçları

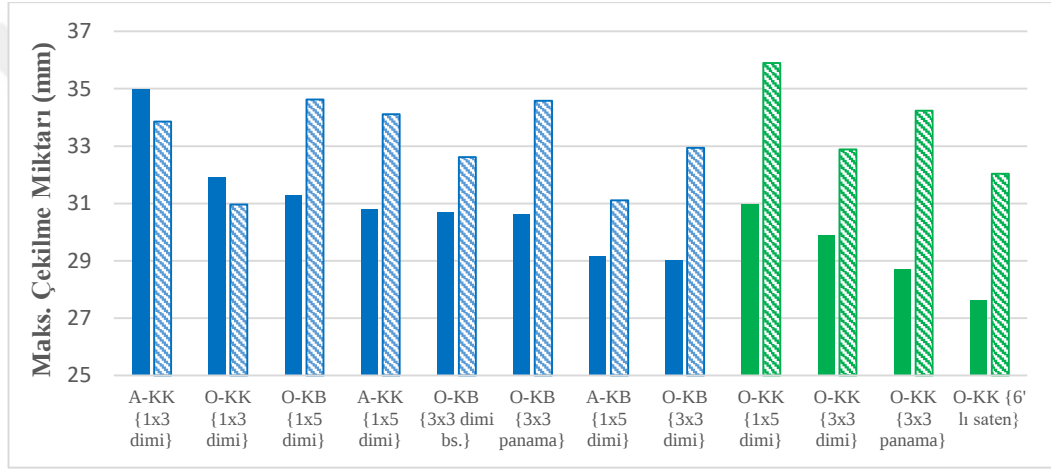
Kumaşların çözgü ve atkı ipliği yönlerinde belirlenen noktalarının maksimum çekilme miktarları Şekil 3.21’ de gösterilmektedir. Şekil alabilirlik testinde kumaşın gerginliği ve neden olan kuvvetler çekilme miktarlarını etkileyen önemli faktörlerdir (Labanieh ve diğer., 2018).

Şekil alabilirlik testinde küresel bası kafası kullanıldığı için atkı ve çözgü iplikleri yönlerinde kumaşa homojen bir deformasyon uygulanmıştır. Test sırasında kumaşın deforme olması ile kumaş ve makine plakaları arasındaki sürtünme kuvvetleri artmaktadır. Sürtünme kuvvetleri kumaş içerisinde yer alan iplikleri kıvrımlarının açılması yönünde zorlamaktadır. Sonuçlar incelendiğinde çözgü ipliği yönündeki çekilme miktarı değerlerinin atkı ipliği yönüne göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum çözgü ipliklerinin atkı ipliklerine göre daha yüksek kıvrım oranına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Sadece A-KK 3-2 4 {1x3 dimi} ve O-KK 3-2 4 {1x3 dimi} kumaşlarda tersi bir davranış gözlemlenmiştir. Sözü geçen kumaşların atkı ipliği kıvrım oranları çözgü ipliklerinden daha yüksektir.

Eksenel çözgü iplikleri kumaş içerisinde atkı iplikleri gibi düz bir formda yer almaktadır. Eksenel/ bağlayıcı çözgü ipliği oranının arttırılması kumaşın şekil alabilirliği açısından yönlerine göre daha dengeli bir davranış göstermesini

sağlamaktadır. Kumaş gruplarının yönlerine göre çekilme miktarları arasındaki fark bu durum için önemli bir örnek oluşturmaktadır.

Kumaşların çekilme miktarlarını etkileyen bir diğer önemli faktörün bağlayıcı çözgü ipliğinin örgü raporu olduğu belirlenmiştir. Örgü raporu kumaş yüzey özelliklerini etkilediği için kumaş ve plakalar arasındaki sürtünme kuvvetlerinin ve dolayısıyla çekilme miktarlarının farklılaşmasına yol açmaktadır. Örneğin A-KK 3-2 4 {1x3 dimi} ve A-KK 5-3 4 {1x5 dimi} kumaşlar aynı 3B örgü türünde olmalarına rağmen çekilme miktarları bakımından kumaş yönlerine göre farklı davranış göstermişlerdir.



■: Eksenel iplik içeren kumaşların çözgü yönündeki çekilme miktarları, ▨: Eksenel iplik içeren kumaşların atkı yönündeki çekilme miktarları, ■: Eksenel iplik içermeyen kumaşların çözgü yönündeki çekilme miktarları, ▨: Eksenel iplik içermeyen kumaşların atkı yönündeki çekilme miktarları

Şekil 3.21 Kumaşların çözgü ve atkı yönlerinde maksimum çekilme miktarları

3.1.9.3 Kumaşların Bölgesel Kayma Açısı Analizi Sonuçları

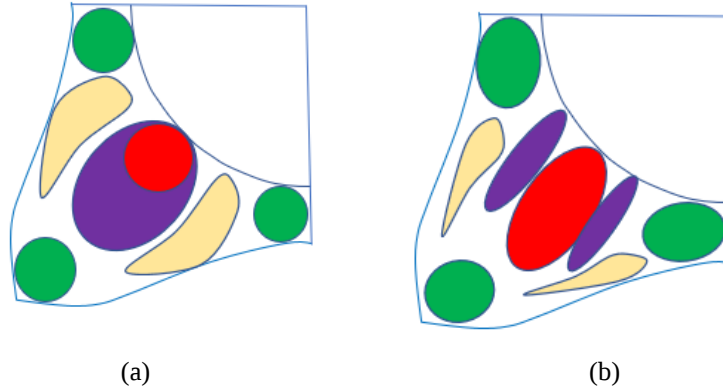
3B çözgü interlok karbon kumaşların karmaşık şekil alabilirlik özelliklerinin aydınlatılabilmesi için bölgesel kayma açısı değerleri belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Küresel bası kafası ile şekillendirilen kumaşlarda dört farklı deformasyon bölgesinin olduğu belirlenmiştir. Bu durumun yanı sıra deformasyon bölgelerinin dağılımının kumaş türüne göre değişiklik gösterdiği saptanmıştır. Sözü geçen deformasyon bölgelerinin görsel olarak daha iyi bir şekilde ifade edilebilmesi için kayma açısı

değerlerine göre renklendirilmişlerdir. Deformasyon alanları, kayma açısı değerleri ve belirlenen renkler Tablo 3.8’ de gösterilmektedir.

Tablo 3.8 Kumaş üzerinde oluşan deformasyon bölgeleri ve renkleri

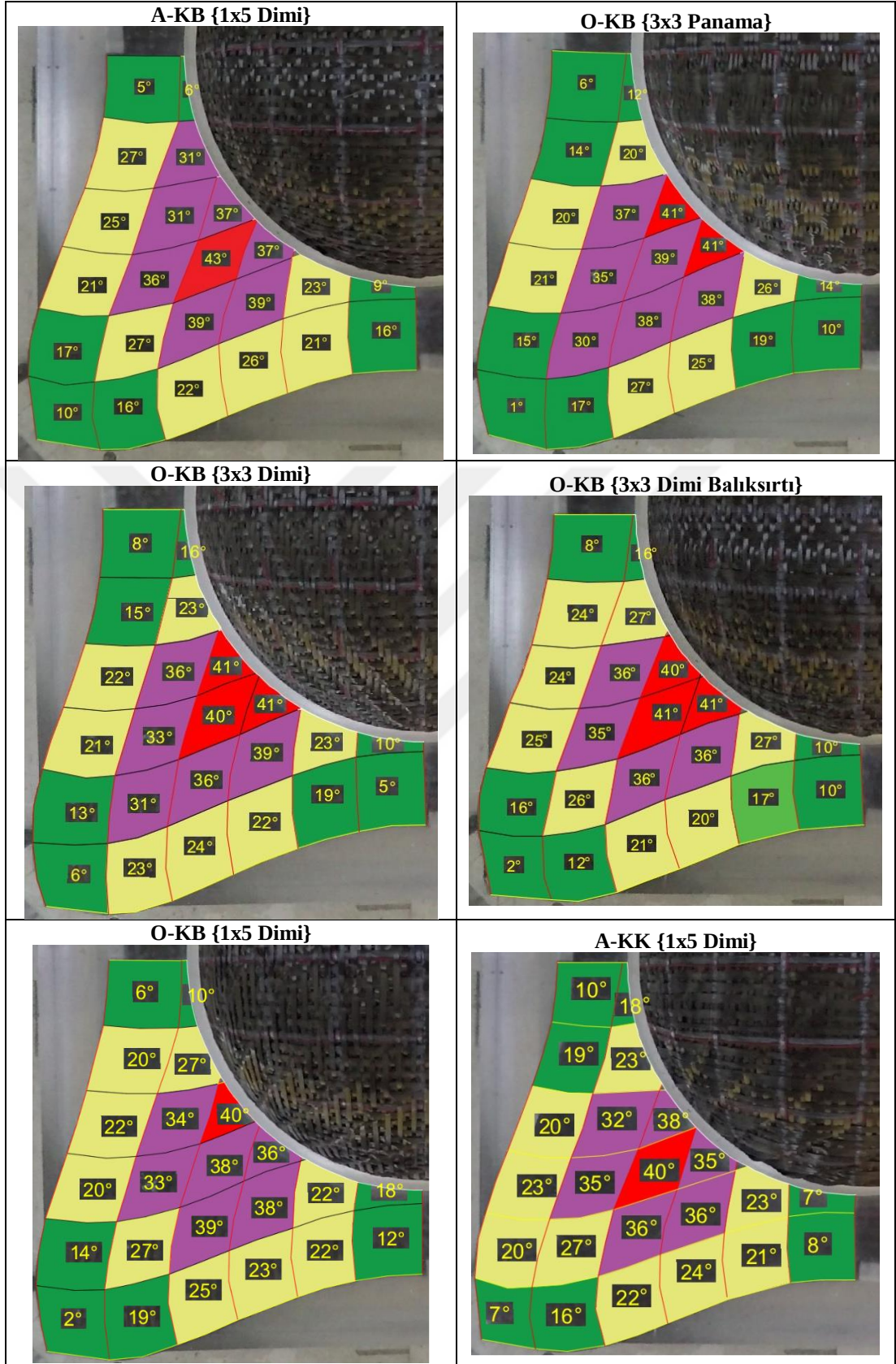
Deformasyon Bölgesi	Min. ve Maks. Kayma Açısı Değerleri	Renkler
1	0°-19°	Yeşil
2	20°-29°	Sarı
3	30°-39°	Mor
4	40° ve fazlası	Kırmızı

Tez kapsamında üretilen kumaşların şekil alabilirlik testi sonrası deformasyon alanları incelenmiş ve iki farklı davranış gösterdikleri tespit edilmiştir. Şekil 3.22’ de farklı davranış gösteren kumaşların deformasyon alanlarının şematik dağılımı gösterilmektedir.

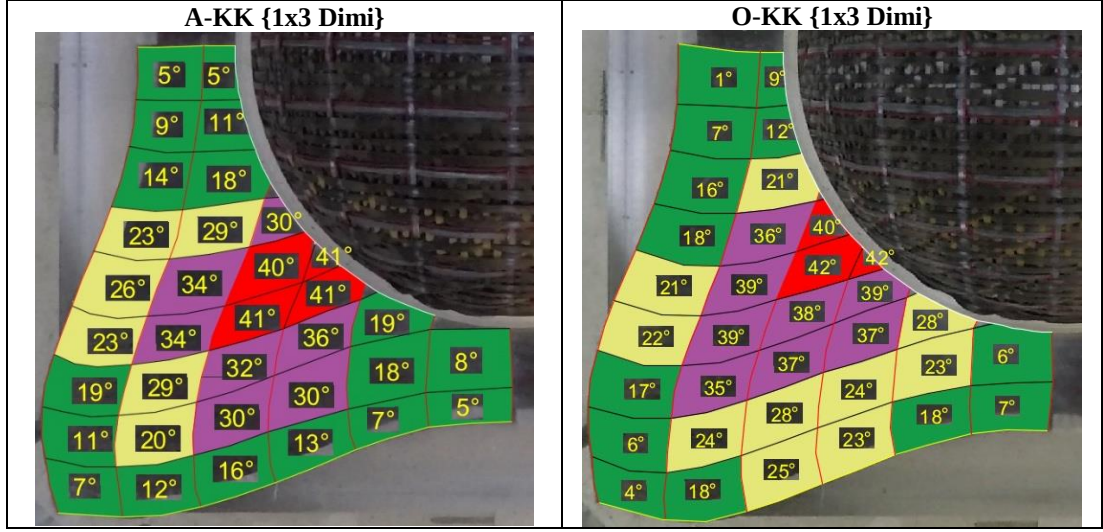


Şekil 3.22 Farklı şekil alabilirlik davranışı gösteren kumaşların deformasyon alanlarının şematik dağılımı (a) tip I (b) tip II

Eksenel çözümlü ipliği içeren kumaşların deformasyon alanları tip I formunda dağılım göstermiştir. Kumaş kenarları daha az deforme olan bu yapılarda bölgesel kayma açısı diyagonal eksen üzerinde artmakta ve bası kafasına yakın bölgede maksimum değerine ulaşmaktadır. Kumaş grubunun ölçülen bölgesel kayma açısı değerleri Şekil 3.23’ te verilmiştir.

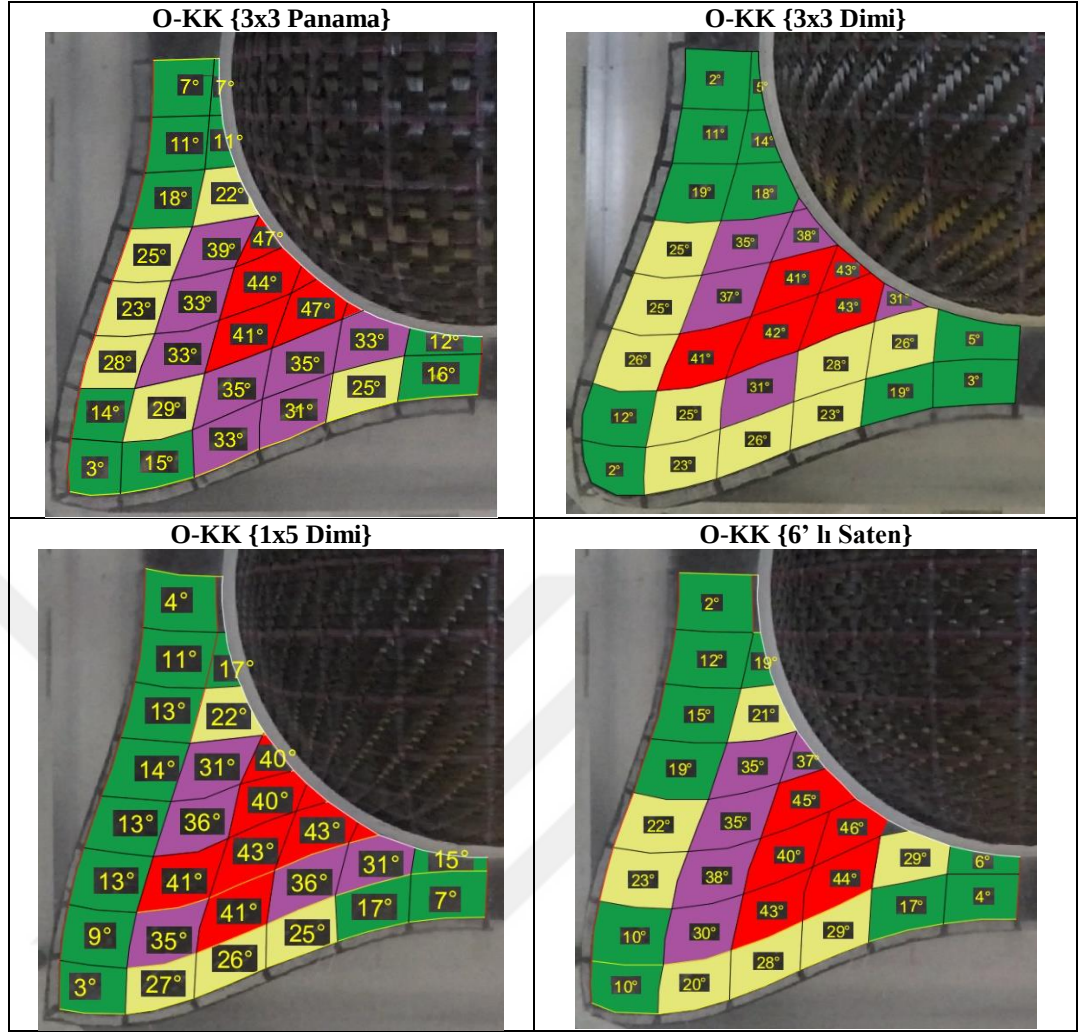


Şekil 3.23 Eksenel çözgü ipliği içeren kumaş grubunun bölgesel kayma açısı değerleri



Şekil 3.23 devamı

Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaş grubunun deformasyon alanları tip II formunda dağılım göstermiştir. Kumaş kenarlarında düşük değerlerde belirlenen kayma açısı diyagonal eksende artmakta ve bası kafasına yakın bölgelerde maksimum değerine ulaşmaktadır. İki farklı şekil alabilirlik davranışı karşılaştırıldığında eksenel çözgü ipliği içeren grubun daha simetrik bir biçimde deforme olduğu görülmektedir. Ayrıca eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaş grubu en fazla deforme olan bölge açısından (kırmızı) diğer kumaş grubuna göre daha geniş bir alana sahiptir. Şekil 3.24’ de eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaş grubunun ölçülen bölgesel kayma açısı değerleri gösterilmektedir.

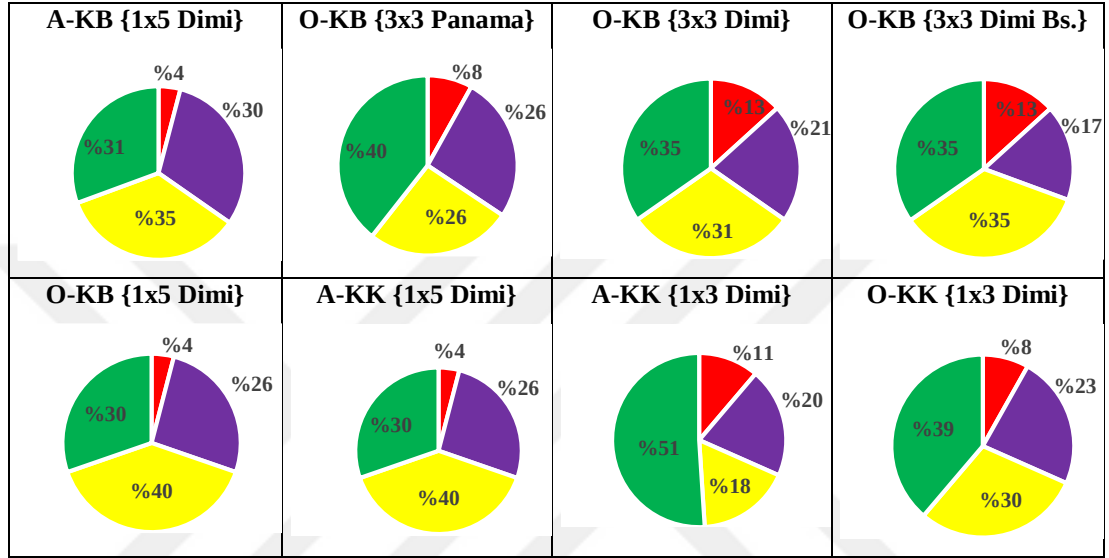


Şekil 3.24 Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaş grubunun bölgesel kayma açısı değerleri

Kumaşların şekil alabilirlik davranışlarının birbirleri ile kıyaslanabilmesi için farklı deformasyon alanlarına ait alt bölge sayısının ölçüm yapılan kumaş alanında yer alan toplam alt bölge sayısına oranı hesaplanmıştır. Farklı deformasyon bölgelerine ait oranlar, Tablo 3.8’ de belirtilen ilgili deformasyonun renginde, dairesel grafikler ile gösterilmiştir. Eksenel çözgü ipliği içeren kumaş grubuna ait oranlar Şekil 3.25’ te verilmiştir.

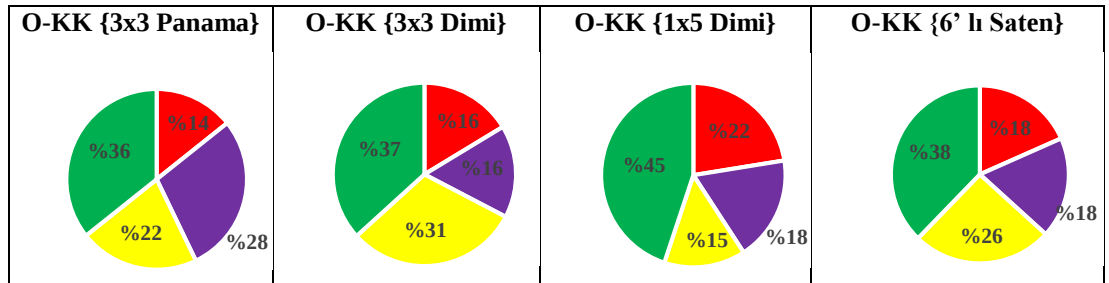
Bölgesel kayma açısı bakımından grup içerisinde en yüksek değer 43° ile A-KB 5-4 4 {1x5 dimi} kumaşta ölçülmüştür. Üretilen kumaşların tümünde şekil alabilirlik testi sırasında kıvrım oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu duruma karşın mor ve kırmızı renkler ile belirtilen bölgeler daha kompleks deformasyonlar açısından çeşitli hataların gözlemlenebileceği olası alanlar olarak değerlendirilmiştir. A-KB 5-4 4 {1x5 dimi},

O-KB 5-4 4 {1x5 dimi} ve A-KK 5-3 4 {1x5 dimi} kumaşlar 4% ile en düşük kırmızı bölge oranına sahiptirler. Ayrıca, kırmızı ve mor bölgelerin toplamından oluşan yüksek derecede deforme olmuş toplam bölgeler açısından O-KB 3-4 4 {3x3 dimi bs.}, O-KB 5-4 4 {1x5 dimi} ve A-KK 5-3 4 {1x5 dimi} kumaşların 30% ile en düşük oranda oldukları görülmektedir.



Şekil 3.25 Eksenel çözgü ipliği içeren kumaş grubunun farklı deformasyon bölgelerine ait oranlar

Eksenel çözgü ipliği içeren kumaş grubunda en yüksek bölgesel kayma açısı değeri 47° ile O-KK 3-2 3 {3x3 panama} kumaşta ölçülmüştür. Kumaşların farklı deformasyonlarına ait alansal oranları Şekil 3.26’ da gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaşlar eksenel çözgü ipliği içeren kumaş grubuna göre daha geniş kırmızı bölgelere sahiptirler.



Şekil 3.26 Eksenel çözgü ipliği içermeyen kumaş grubunun farklı deformasyon bölgelerine ait oranlar

3.1.10 İstatistiksel Analiz Sonuçları

Kumaş test sonuçlarına uygulanan korelasyon analizi ile kumaş özellikleri arasındaki ilişkinin yönünü ve önem derecesini ifade eden korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Ayrıca kumaş şekil alabilirlik özelliğine ait çeşitli parametrelerin tahminlenebilmesi için regresyon analizi yardımı ile istatistiksel modeller geliştirilmiştir. Kumaş yapısal ve mekanik parametrelerinin istatistiksel programda ifade edilebilmesi için birtakım kısaltmalar kullanılmıştır. Sözü geçen kısaltmaların tam açıklamaları Tablo 3.9’ da verilmiştir.

Tablo 3.9 İstatistiksel analizlerde kullanılan kısaltmaların tam açıklamaları

Kumaş Yapısal Parametreleri	Kumaş Mekanik Parametreleri
G: Kumaş birim alan ağırlığı (g/m ²)	MÇYÇ: Kumaş çözgü yönündeki maksimum çekme yükü (N)
K: Kumaş kalınlığı (mm)	MÇYA: Kumaş atkı yönündeki maksimum çekme yükü (N)
ÇS: Kumaş çözgü sıklığı (1/cm)	ERÇ: Kumaş çözgü yönündeki eğilme rijitliği (N.cm)
AS: Kumaş atkı sıklığı (1/cm)	ERA: Kumaş atkı yönündeki eğilme rijitliği (N.cm)
BÇKO (0): Kumaş 0. düzleminde yer alan bağlayıcı çözgü ipliğinin kıvrım oranı (%)	KY (20): Kumaşın 20° kayma yükünde sahip olduğu kayma yükü (N)
AKO (1): Kumaşın 1. katında yer alan atkı ipliğinin kıvrım oranı (%)	KEÇ: Kumaş çözgü yönündeki kopma enerjisi katsayısı
AKO (2): Kumaşın 2. katında yer alan atkı ipliğinin kıvrım oranı (%)	KEA: Kumaş atkı yönündeki kopma enerjisi katsayısı
AKO (3): Kumaşın 3. katında yer alan atkı ipliğinin kıvrım oranı (%)	MŞA: Kumaş maksimum şekil alabilirlik yükü (N)
	KİLA: Kumaş kilitlenme açısı (derece)
	KİLY: Kumaş kilitlenme açısına ulaştığında belirlenen kayma yükü değeri (N)

3.1.10.1 Kumaşların Yapısal ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Kumaş yapısal ve mekanik özellikleri arasında hesaplanan, istatistiksel açıdan anlamlı ve anlamsız olan tüm korelasyon katsayıları Tablo 3.10' da verilmiştir. Tablo üzerinde kumaş yapısal parametreleri kırmızı, mekanik parametreleri ise mavi renk ile belirtilmiştir. Ayrıca tabloda istatistiksel açıdan 0,05 ve 0,01 düzeyinde anlamlı olan katsayılar sarı ve yeşil renkler ile işaretlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında 3B çözgü interlok kumaşların uzama davranışları ve iplik kıvrım oranları arasındaki yakın ilişki tespit edilmiş ve Bölüm 3.1.5' te detaylı olarak açıklanmıştır. Bu ilişki, hesaplanan korelasyon katsayıları ile matematiksel olarak teyit edilmiştir. Kumaş çözgü ipliği yönündeki maksimum çekme yükü (MÇYÇ) ile kumaşın 0. düzleminde yer alan bağlayıcı çözgü ipliğinin kıvrım oranı (BÇKO(0)) arasında katsayı değeri (-0,843) olarak hesaplanmıştır. İstatistiki açıdan anlamlı olan bir diğer katsayı (-0,736) atkı ipliği yönündeki maksimum çekme yükü ve kumaş 2. katında bulunan atkı ipliği kıvrım oranı (AKO(2)) arasında belirlenmiştir. İlişkinin ters yönlü olduğu görülmektedir. Karbon ipliğinin kıvrım kazanması, mukavemetinin tamamını kumaşa aktaramamasına ve kumaş maksimum çekme yükü değerinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca kumaşın her iki yönündeki maksimum çekme yükü değerlerinin kalınlık parametresi ile yüksek katsayılara sahip olduğu görülmektedir. Kumaş uzama davranışının analizi bakımından bir diğer önemli katsayı (-0,626) kumaş yönleri arasındaki maksimum yükler arasında (MÇYA ve MÇYÇ) belirlenmiştir. Katsayı, 3B çözgü interlok karbon kumaşların yönlerine göre farklı ve ters ilişkili bir uzama davranışı gösterdiklerini ispatlamaktadır.

Kumaş çözgü ipliği yönünde kopma enerjisi katsayısı (KEÇ) ile maksimum çekme yükü (MÇYÇ) ve 0. düzleminde bulunan bağlayıcı çözgü ipliğinin kıvrım oranı (BÇKO(0)) arasında istatistiksel açıdan anlamlı korelasyon katsayıları hesaplanmıştır (0,782, 0,808). Kopma enerjisi katsayısı çekme testinde kumaş davranışı üzerine örgü yapısı ve iplikler arasındaki kohezyonun etkisini ifade etmektedir. Enerji katsayısı ve iplik kıvrım oranı arasında hesaplanan yüksek korelasyon katsayısı bağlayıcı çözgü

ipliğinin örgü yapısı içerisinde iplikler arası kohezyona etkisini göstermektedir. Eksenel çözgü iplikleri kumaş içerisinde düz bir formda bulundukları ve diğer iplik grupları ile kesişme noktası içermedikleri için iplikler arası kohezyona etkileri düşüktür. Kumaş atkı yönünde kopma enerjisi katsayısı (KEA) ve atkı ipliklerinin kıvrım oranları arasında yüksek korelasyon katsayısı elde edilememesine rağmen kumaş atkı sıklığı (AS) ile ters yönlü ve anlamlı bir katsayı (-0,725) hesaplanmıştır.

Kumaş atkı ipliği yönünde eğilme rijitliği (ERA) ile kumaş birim alan ağırlığı (G) ve atkı sıklığı (AS) arasında yüksek korelasyon katsayıları belirlenmiştir (0,81, 0,605). Çözgü ipliği yönünde eğilme rijitliği (ERC) ile atkı ipliklerinin kıvrım oranları arasında anlamlı korelasyon katsayıları hesaplanamamasına rağmen diğer kumaş parametrelerine göre daha yüksek katsayı değerleri elde edilmiştir. Bu durum, zayıf olsa da aralarında bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Kumaş kayma deformasyonu parametresi (KY(20°)) birim alan ağırlığı, 1. Katında yer alan atkı ipliğinin kıvrım oranı ve eğilme rijitliği ile istatistiksel açıdan anlamlı korelasyon katsayılarına sahiptir (0,747, 0,706, 0,801). Bölüm 3.1.7' de açıklandığı gibi kayma davranışı temelde iplikler arasındaki sürtünme ve kohezyona dayanmaktadır. Atkı ipliğinin bağlayıcı çözgü ipliği ile oluşturduğu kesişme noktaları ipliğe kıvrım kazandırmaktadır. Kumaş içerisinde kesişme noktalarının sayısının artması iplikler arası sürtünmeyi arttırmakta ve böylece kumaş kayma deformasyonu açısından daha rijit bir davranış kazanmaktadır. Kumaş kayma yükü ve atkı ipliğinin kıvrım oranı arasında hesaplanan yüksek korelasyon katsayısı bu ilişkinin teyidi niteliğindedir.

Tablo 3.10 Kumaş yapısal ve mekanik özellikleri arasında hesaplanan korelasyon katsayıları

	G	K	BÇKO(0)	AKO(1)	AKO(2)	AKO(3)	ÇS	AS	MÇYÇ	MÇYA	KEÇ	KEA	ERÇ	ERA	KY (20°)
G	1.00	0.07	0.54	0.26	-0.03	-0.27	-0.19	.610*	-0.48	-0.20	.667*	-0.52	0.26	.810**	.747**
K	0.07	1.00	0.47	-0.10	-.710**	-0.18	-0.32	-0.23	-.627*	.661*	0.32	0.50	0.11	0.09	-0.091
BÇKO(0)	0.54	0.47	1.00	0.15	-0.34	-0.08	-0.12	0.16	-.843**	0.56	.808**	0.10	-0.19	0.32	0.239
AKO(1)	0.26	-0.10	0.15	1.00	.679*	.807**	0.44	0.34	0.02	-0.32	-0.08	-0.20	0.47	0.36	.706*
AKO(2)	-0.03	-.710**	-0.34	.679*	1.00	.689*	0.51	0.22	.582*	-.736**	-0.46	-0.29	0.32	0.05	0.393
AKO(3)	-0.27	-0.18	-0.08	.807**	.689*	1.00	.666*	-0.09	0.29	-0.12	-0.38	0.17	0.33	-0.12	0.231
ÇS	-0.19	-0.32	-0.12	0.44	0.51	.666*	1.00	0.02	0.30	-0.08	-0.48	0.19	0.35	-0.16	0.112
AS	.610*	-0.23	0.16	0.34	0.22	-0.09	0.02	1.00	-0.15	-0.45	0.27	-.752**	0.10	.605*	0.574
MÇYÇ	-0.48	-.627*	-.843**	0.02	.582*	0.29	0.30	-0.15	1.00	-.626*	-.782**	-0.05	0.20	-0.48	-0.219
MÇYA	-0.20	.661*	0.56	-0.32	-.736**	-0.12	-0.08	-0.45	-.626*	1.00	0.40	0.56	-0.42	-0.29	-0.446
KEÇ	.667*	0.32	.808**	-0.08	-0.46	-0.38	-0.48	0.27	-.782**	0.40	1.00	-0.20	-0.25	0.52	0.264
KEA	-0.52	0.50	0.10	-0.20	-0.29	0.17	0.19	-.752**	-0.05	0.56	-0.20	1.00	0.13	-0.48	-0.521
ERÇ	0.26	0.11	-0.19	0.47	0.32	0.33	0.35	0.10	0.20	-0.42	-0.25	0.13	1.00	0.45	0.566
ERA	.810**	0.09	0.32	0.36	0.05	-0.12	-0.16	.605*	-0.48	-0.29	0.52	-0.48	0.45	1.00	.801**
KY (20°)	.747**	-0.09	0.24	.706*	0.39	0.23	0.11	0.57	-0.22	-0.45	0.26	-0.52	0.57	.801**	1
*. Korelasyon katsayısı 0.05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı															
**. Korelasyon katsayısı 0.01 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı															

3.1.10.2 Kumaşların Şekil Alabilirliği ile Diğer Özellikleri Arasındaki İlişki

Şekil alabilirlik oldukça karmaşık bir deformasyon türüdür ve birçok kumaş yapısal ve mekanik özelliği ile yakından ilişkilidir. 3B çözgü interlok karbon kumaşların şekil alabilirlik davranışlarının aydınlatılabilmesi ve diğer kumaş parametreleri ile ilişkilerinin yönü ve önem derecesinin belirlenebilmesi için korelasyon analizi uygulanmıştır. Analiz sonrasında elde edilen, istatistiksel açıdan önemli olan ve olmayan katsayılar Tablo 3.11’ de verilmiştir.

3B çözgü interlok kumaş içerisinde bağlayıcı çözgü ipliğinin derinliğinin artırılması kıvrım oranının artmasına ve daha fazla sayıda atkı katının birbirlerine bağlanmasına yol açmaktadır. Kumaş daha sıkı bir form kazanacağı için şekil alabilirlik testinde hedeflenen deformasyonun elde edilebilmesi için daha fazla yük uygulanması gerekmektedir. Kumaş maksimum şekil alabilirlik yükü (MŞY) ve bağlayıcı çözgü ipliği kıvrım oranı (BÇKO(0)) arasında belirlenen yüksek korelasyon katsayısı bu ilişkiyi matematiksel olarak ispat etmektedir. Ayrıca kumaş maksimum şekil alabilirlik yükü (MŞY) ile birim alan ağırlığı (G) ve çözgü yönündeki kopma enerjisi katsayısı (KEÇ) arasında hesaplanan yüksek korelasyon katsayıları (0,765, 0,682) elde edilen bulguyu destekleyen diğer sonuçlardır. Çeşitli yapısal tasarımlar ile

kumaşın daha kompakt bir hale getirilmesi üç parametrenin de doğru orantılı olarak artmasına neden olmaktadır.

Tablo 3.11’ de maksimum şekil alabilirlik yükünün (MŞY) kumaş çözgü ipliği yönünde maksimum çekme yükü (MÇYÇ), atkı ipliği yönünde eğilme rijitliği (ERA) ve kayma yükü (KY(20°)) ile istatistiksel açıdan anlamlı katsayılar (-0,695, 0,631, 0,624) sahip olduğu görülmektedir. Kumaş şekil alabilirlik davranışını belirleyen temel faktörün kayma deformasyonu olduğuna dair genel bir görüş bulunmaktadır (Luycker ve diğer., 2009; Gereke ve diğer., 2013). Bu duruma karşın şekil alabilirlik işlemi sırasında kumaşın farklı bölgeleri uzama, eğilme, kayma veya bu deformasyonların bileşimleri tarafından deforme edilmektedir. Dolayısıyla kompleks şekil alabilirlik davranışı birden fazla parametre tarafından etkilenmektedir. Şekil alabilirlik yükü sözü geçen deformasyonlara karşı kumaşın genel bir tepkisi olarak ortaya çıkmaktadır. Elde edilen anlamlı korelasyon katsayıları da kumaşın şekil alabilirlik davranışının uzama, eğilme ve kayma deformasyonları ile olan yakın ilişkisini göstermektedir.

Bölüm 1.2.4.3’ te açıklandığı gibi kilitlenme açısı değeri kumaşın şekil alabilirlik özelliğini etkileyen ve kumaşın kıvrılması gibi hataların oluşmasında rol oynayan önemli bir faktördür. Tez çalışması kapsamında kumaş kilitlenme açısı ve bu açıda ölçülen kayma yük değerleri istatistiksel analizlere dâhil edilerek detaylı bir şekilde incelenebilmesi sağlanmıştır. Kilitlenme açısı (KİLA) ile çözgü ipliği sıklığı (ÇS) arasında 0,01 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon katsayısı (-0,727) elde edilmiştir. Kumaş içerisinde toplam çözgü ipliği sayısının arttırılması iplikler arasındaki mesafenin azalmasına yol açacağı için ipliğin kayma deformasyonu sırasında hareketi komşu iplikler tarafından daha düşük açı değerinde engellenecektir. Kayma deformasyonunda kıvrım vb. hatalar daha düşük açı değerlerinde oluşacağı için kumaş şekil alabilirlik kabiliyeti azalacaktır.

Kumaş içerisinde yer alan toplam atkı ipliği sayısının sabit tutulması koşulu ile kumaş katının arttırılması, her kumaş katında yer alan atkı ipliği sayısının azalmasına neden olacaktır. İplikler arasındaki mesafe artacağı için daha yüksek kilitlenme açısı

değerleri elde edilecektir. Bu ilişki kilitlenme açısı (KİLA) ile kumaş kalınlık (K) parametreleri arasında hesaplanan istatistiksel açıdan anlamlı korelasyon katsayısı ile (0,595) teyit edilmiştir.

Tablo 3.12’ de kilitlenme açısı (KİLA) ile kumaşın ikinci ve üçüncü katlarında bulunan atkı iplikleri kıvrım oranları (AKO(2) ve AKO(3)) arasında istatistiksel açıdan anlamlı katsayılar (-0,605 ve -0,663) hesaplandığı görülmektedir. Atkı ipliği kumaş içerisinde düz bir formda yer almasına rağmen bağlayıcı çözgü iplikleri ile yaptığı kesişmelerden dolayı kıvrım kazanmaktadır. Elde edilen katsayı ile 3B çözgü interlok kumaşlarda kesişme sayısının arttırılmasının kilitlenme açısında azalmaya neden olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 3.11 Kumaşların şekil alabilirlik ve diğer özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları

	G	K	BÇKO(0)	AKO(1)	AKO(2)	AKO(3)	ÇS	AS	MÇYÇ	MÇYA	KEÇ	KEA	ERÇ	ERA	KY (20°)
MŞY	.765**	0.343	.829**	0.361	-0.106	-0.072	-0.062	0.452	-.695*	0.131	.682*	-0.070	0.235	.631*	.624*
KİLA	0.222	.595*	0.117	-0.508	-.605*	-.663*	-.727**	-0.211	-0.237	0.133	0.301	0.215	0.111	0.147	-0.159
*. Korelasyon katsayısı 0.05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı															
**. Korelasyon katsayısı 0.01 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı															

3.1.10.3 Kumaş Şekil Alabilirliğinin Tahminlenmesi

Kumaşların şekil alabilirlik özelliklerini belirleyebilmek için standart bir metot bulunmamaktadır. Test işlemleri kendi cihazını tasarlamış ve üretmiş oldukça az sayıdaki araştırma kurumu ya da üniversitelerde yürütülebilmektedir. Bu duruma karşın çeşitli modeller kullanılarak kumaşların şekil alabilirlik özellikleri hakkında fikir sahibi olunabilir. Tez kapsamında bu noktadan yola çıkılarak şekil alabilirlik açısından önemli olan çeşitli parametrelerin tahminlenebilmesi için istatistiksel modeller geliştirilmiştir. Böylece ayrı bir test cihazına ihtiyaç duyulmadan ve basit laboratuvar ölçümleri ile kumaşın şekil alabilirlik davranışı hakkında bilgi sahibi olunabilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca 3B çözgü interlok kumaşların şekil alabilirlik davranışı tez çalışması ile ilk defa istatistiksel olarak modellenmiştir. Modellerin geliştirilebilmesi için çalışma kapsamında ölçülen tüm parametreler spss programı tarafından değerlendirilmiş ve istatistiksel açıdan anlamlı olanlar seçilmiştir.

Şekil alabilirlik yükü test sırasında makine tarafından belirlenen önemli çıktılardan biridir. Çalışma kapsamında kumaş yapısal ve mekanik parametreleri ile regresyon analizi yapılmış ve şekil alabilirlik yükünün tahminlenebilmesini sağlayan bir denklem geliştirilmiştir. ‘stepwise’ yöntemi kullanılarak yapılan regresyon analizinde Kumaş 0. düzleminde yer alan bağlayıcı çözgü ipliğinin kıvrım oranı (BÇKO(0)) ve kayma yükü (KY(20°)) anlamlı değişkenler olarak belirlenmiştir. Geliştirilen denklem için hesaplanan düzeltilmiş R² değeri 0,852 dir. Bu durum denklemin şekil alabilirlik yükünün tahminlenebilmesi için istatistiksel açıdan anlamlı ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Geliştirilen denklem eşitlik 3.4’ te verilmiştir.

$$\text{ŞK} = 577,411 + (0,721) * \text{BÇKO0} + (0,451) * \text{KY}(20^\circ) \quad (3.4)$$

Şekil alabilirlik testi sırasında kumaş üzerinde kıvrım ya da diğer hataların oluşumunda rol oynayan önemli faktörlerden biri kilitlenme açısı değeridir. Kilitlenme açısı değerinin tahminlenebilmesi için denklem geliştirilmeye çalışılmış fakat istatistiksel açıdan güvenilir denklemler elde edilememiştir. Bu duruma karşın kumaşın kilitlenme açısında ölçülen kayma yükünün tahminlenebilmesi için bir denklem geliştirilmiştir. Böylece yük değeri tahminlendikten sonra kumaş kayma yükü- kayma açısı grafiği kullanılarak kilitlenme açısı belirlenebilecektir. Kumaş birim alan ağırlığı, atkı ipliği yönündeki maksimum çekme yükü ve çözgü sıklığı değerleri spss programı tarafından anlamlı parametreler olarak tespit edilmiştir. Düzeltilmiş R² değeri 0,902 olan denklem eşitlik 3.5’ te gösterilmektedir.

$$\text{LOCKA} = 42,087 + (0,525) * (\text{AW}) - (0,562) * (\text{MTLWE}) - (0,418) * (\text{DWA}) \quad (3.5)$$

3.2 Tartışma

Şekil alabilirlik, kompozit malzeme üretiminde ön plana çıkan ve kumaşın yapısal ve mekanik özelliklerinden etkilenen önemli bir deformasyon çeşididir. Bölüm 1.2.4.2’ de detaylı olarak açıklandığı gibi farklı özellikler incelenerek kumaşın şekil alabilirlik davranışı hakkında yorum yapılabilmektedir. Kompozit üretiminde

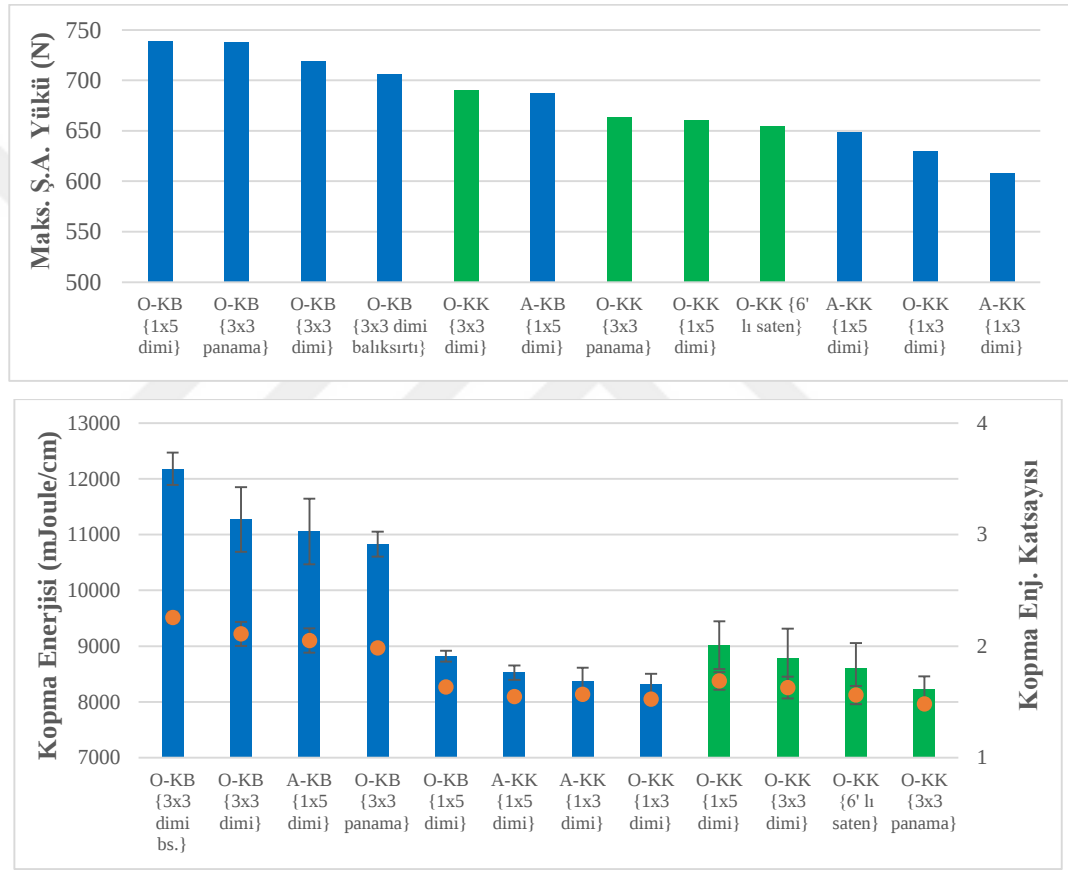
deformasyona maruz kalan kumaşta bölgesel kayma açısı bakımından yüksek dereceli bölgelerin az olması, iplik oryantasyonlarının konumlarını koruması ve kumaş kıvrımı gibi hataların oluşmaması beklenmektedir. Sözü geçen problemlerin kompozit üretiminde ortaya çıkması malzemenin hatalı olarak nitelendirilmesine ya da mukavemet değerlerinin beklenenden az olmasına yol açabilmektedir. Yapılan tez çalışması kapsamında 3B çözgü interlok karbon dokuma kumaşların örgü türlerinin farklı etkilerinin incelenebilmesi ve en uygun yapının belirlenebilmesi amacı ile karmaşık şekil alabilirlik özellikleri detaylı olarak analiz edilmiştir. Bu kapsamda kumaş kilitlenme açısı, maksimum şekil alabilirlik yükü, bölgesel kayma açısı ve maksimum çekilme miktarı gibi farklı özellikleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonrasında kumaşların bağlayıcı çözgü ipliği sayılarına göre iki farklı şekil alabilirlik davranışı gösterdiği belirlenmiştir.

Kumaş içerisinde bağlayıcı çözgü ipliği sayısının artırılması yönlerine göre maksimum çekilme miktarı değerlerinin farklılaşmasına ve yüksek kayma açısı değerine sahip bölgelerin alansal olarak genişlemesine yol açmaktadır. Sonuç olarak, kumaşların şekil alabilirlik kabiliyetleri azalmaktadır. Eksenel çözgü iplikleri atkı iplikleri gibi düz bir formda oldukları için sayılarının artırılması kumaşın yönlerine göre daha dengeli bir davranış göstermesini sağlamaktadır.

Kumaşların şekil alabilirlik davranışı ayrıca bağlayıcı çözgü ipliğinin parametreleri ve örgü raporuna göre de incelenmiştir. Bağlayıcı çözgü ipliğinin derinlik parametresinin artırılması çözgü yönündeki çekilme miktarı değerinin düşmesine ve kumaşın daha yüksek yük değerlerinde deforme olmasına yol açmaktadır. A-KK 3-2 4 {1x3 dimi} 35 cm ile eksenel çözgü ipliği içeren kumaş grubunda, çözgü yönünde en yüksek çekilme miktarına sahiptir. Bu duruma karşın aynı grupta bulunan O-KB 3-4 4 {3x3 dimi} 29,02 ile en düşük çekilme miktarı gösteren kumaş olmuştur. Maksimum şekil alabilirlik yükü açısından ise O-KB 5-4 4 {1x5 dimi}, üretilen tüm kumaşlar içerisinde en yüksek değere sahiptir.

Kumaşların şekil alabilirlik yükü ve çözgü ipliği yönündeki kopma enerjisi değerleri Şekil 3.27' de gösterilmektedir. Bağlayıcı çözgü ipliğinin kalınlık boyu

bağlantı yaptığı kumaşlar (A-KB ve O-KB) kattan kata bağlantı yaptığı kumaşlara göre (A-KK ve O-KK) kopma enerjisi ve şekil alabilirlik yükü bakımından daha yüksek değerlere sahiptir. Kopma enerjisi kumaşın düzlemsel, şekil alabilirlik yükü ise kalınlık yönündeki davranışı ile ilgilidir. Sonuçlardan görülmektedir ki bağlayıcı çözgü ipliğinin aç ve derinlik parametreleri ve kumaş içerisinde izlediği yol 3B çözgü interlok kumaşların gerek düzlemsel gerekse de kalınlıkları yönündeki davranışlarını önemli derecede etkilemektedir.



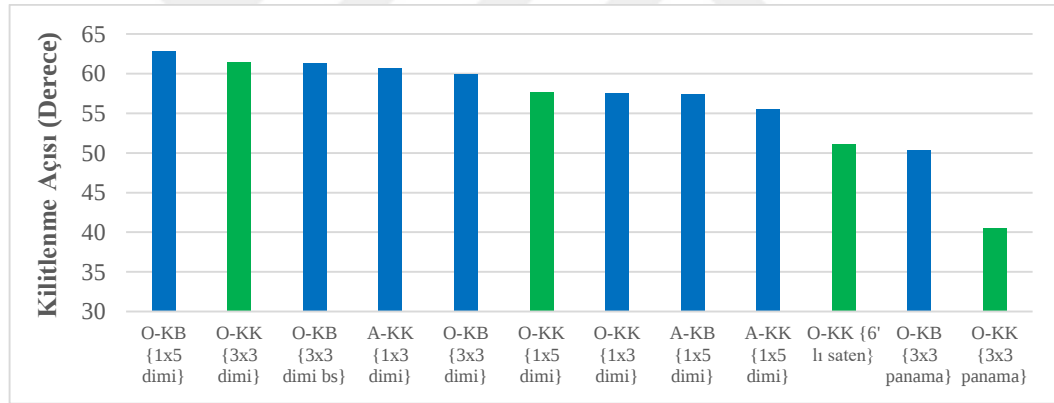
Şekil 3.27 Kumaşları kopma enerjisi ve maksimum şekil alabilirlik yük değerleri

Tez çalışması kapsamında, kumaş örgü raporunun 3B çözgü interlok karbon dokuma kumaşların şekil alabilirlik davranışı etkileyen bir diğer önemli faktör olduğu belirlenmiştir. Örgü raporu kumaş yüzey özelliklerini değiştirdiği için kumaş ve test cihazı plakaları arasında oluşan sürtünme kuvvetlerini etkilemektedir. Yapılan analizler sonrasında kırmızı ve yüksek derecede deforme olmuş bölgeler (kırmızı ve mor) açısından '1x5 dimi' örgü raporundaki kumaşların (A-KB {1x5 dimi}, O-KB

{1x5 dimi}, A-KK {1x5 dimi}, O-KK {1x5 dimi}) en düşük oranlara sahip oldukları görülmüştür. Bu duruma karşın, ‘3x3 panama’ örgülü kumaşlar (O-KB {3x3 panama} ve O-KK {3x3 panama}) en yüksek oranda yüksek derecede deforme olmuş bölgeler (kırmızı ve mor) içermektedir.

Kumaşların şekil alabilirlik davranışları bakımından belirlenen tüm özelliklerinin değerlendirilmesi sonucunda O-KB 5-4 4 {1x5 dimi} kumaş incelenen kumaş tipleri arasında şekil alabilirlik açısından en uygun yapı olarak tespit edilmiştir.

Sonuçlar, kilitlenme açısı değerleri ile de desteklenmiştir. Her iki kumaş grubunda da ‘3x3 panama’ örgü türündeki kumaşlar en düşük kilitlenme açısı değerine sahiptir. Şekil 3.28’ den de görülebileceği gibi, en yüksek kilitlenme açısı değerine sahip olan kumaş ise O-KB 5-4 4 {1x5 dimi} kumaştır.



■ : Eksenel çözümlü ipliği içeren kumaşlar, ■ : Eksenel çözümlü ipliği içermeyen kumaşlar

Şekil 3.28 Kumaşların kilitlenme açısı değerleri

BÖLÜM DÖRT

SONUÇ VE ÖNERİLER

3B çözgü interlok karbon kumaşların farklı yükler altındaki mekanik davranışlarının incelenmesinin amaçlandığı bu tez çalışması kapsamında aynı karbon ipliği kullanılarak prototip dokuma makinesi ile eşit atkı ve çözgü sıklıklarına sahip 3B çözgü interlok karbon kumaşlar üretilmiştir. Kumaşlar sadece bağlayıcı çözgü ipliğinin parametreleri ve eksenel çözgü ipliğinin kumaştaki mevcudiyetine göre farklılaştırılmıştır. Kumaşların birim alan ağırlık ve kalınlık değerleri belirlendikten sonra uzama, eğilme, kayma ve şekil alabilirlik özellikleri test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiki yöntemler kullanılarak detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve ayrıca şekil alabilirlik özelliklerinin tahminlenebilmesi için istatistiksel modeller oluşturulmuştur.

Karbon ipliklerinin mukavemet değerleri bobinden ve kumaştan alınan örnekler ile test edilmiş, istatistiksel açıdan herhangi bir kayıp olmadığı belirlenmiştir. İzlenen hazırlık ve kumaş üretim işlemleri ile karbon ipliklerinin mukavemetlerinin kumaşa aktarılabilirdiği tespit edilmiştir. Karbon ipliklerinin çözgü çözme işlemi sırasında leventlere oldukça düşük bir hata oranı (fibrilasyon, iplik kopuşu vb.) ile aktarılabilmesi ve üretimde prototip dokuma makinesinin kullanımı ile genel düzgünlük ve hata içermeme durumu bakımından yüksek kalitede kumaşlar üretilenmiştir.

Eksenel çözgü ipliğinin kumaş içerisindeki mevcudiyetine göre iki farklı kumaş grubu oluşturulmuş, böylece kumaşta yer alan bağlayıcı çözgü ipliği sayısının yapısal, mekanik ve şekil alabilirlik özelliklerine etkileri incelenebilmiştir. Kumaşların kopma davranışlarının iplik gruplarının kıvrım oranları ile yakından ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Maksimum ve minimum iplik kıvrım oranları arasındaki farka bağlı olarak kumaşlar tek tepeli, çift tepeli ya da birbiri içerisine geçmiş çift tepeli çekme yükü-uzama grafiğine sahip olabilmektedir. Kumaşın içerdiği toplam kesişme sayısı bağlayıcı çözgü ipliği sayısı ile yakından ilişkilidir. Bağlayıcı çözgü ipliği sayısının artırılması iplikler arasındaki kesişmeyi arttırdığı için atkı ipliği kıvrım kazanmakta

ve kopma yük değeri düşmektedir. Bu duruma karşın kesişme sayısının artması iplikler arasındaki sürtünmeyi arttırdığı için kumaşlar daha rijit bir eğilme ve kayma davranışı göstermektedir. Ayrıca bağlayıcı çözgü ipliği sayısının kumaş şekil alabilirlik özelliği üzerinde oldukça etkili bir parametre olduğu belirlenmiştir. 3B çözgü interlok karbon kumaşların bağlayıcı çözgü ipliği sayısına göre iki farklı şekil alabilirlik davranışı gösterebildikleri tespit edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında kumaşların yapısal, mekanik ve şekil alabilirlik özellikleri bağlayıcı çözgü ipliğinin parametreleri ve örgü raporuna göre de incelenmiştir. Bağlayıcı çözgü ipliğinin derinlik parametresinin artırılması daha fazla sayıda atkı ipliği katının bağlanmasına yol açacağı için iplikler arasındaki sürtünme yüzeyi ve kohezyon artmakta, böylece kumaş daha kompakt bir form kazanmaktadır. Sonuç olarak kumaşın birim alan ağırlığı artmakta, kayma ve eğilme davranışları daha rijit bir hale gelmektedir. Bu durumun yanı sıra bağlayıcı çözgü ipliği derinlik parametresinin kumaş şekil alabilirlik özelliğini maksimum şekil alabilirlik yükü ve çekilme miktarları bakımından etkilediği belirlenmiştir. Bağlayıcı çözgü ipliğinin açılma parametresinin, derinlik parametresi ile karşılaştırıldığında, mekanik ve şekil alabilirlik özelliklerine etkileri bakımından ikincil bir önemde olduğu tespit edilmiştir. Kumaşın diğer yapısal parametrelerinin sabit tutulması koşulu ile ‘ortogonal’ yerine ‘açılı interlok’ yapının tercih edilmesi kumaş birim alan ağırlığının azalmasına, atkı yönündeki kopma yük değerinin artmasına ve çözgü yönündeki eğilme rijitliği değerinin yükselmesine neden olmaktadır.

Örgü raporu kumaş mekanik özelliklerini diğer yapısal özellikler ile karakterize eden tamamlayıcı bir parametre olmasına karşın kumaş şekil alabilirlik davranışı üzerinde çok etkili bir faktör haline gelmektedir. Kumaş kilitlenme açısı, çekilme miktarı değerleri, maksimum şekil alabilirlik yükleri ve bölgesel kayma açısı değerleri analiz edilerek O-KB 5-4 4 {1x5 dimi} kumaşın, tez kapsamında incelenen kumaşlar arasında, şekil alabilirlik davranışı açısından en uygun yapı olduğu belirlenmiştir.

3B çözgü interlok karbon kumaşların çeşitli yükler altındaki davranışları yapısal ve mekanik özellikler ile ilgili birçok kumaş parametresinden etkilenmektedir. Kumaş

özellikleri arasındaki ilişkiler korelasyon analizi ile incelenmiş ve böylece ilişkinin yönü ve önem derecesi bir katsayı ile ifade edilebilmiştir. Yürütülen istatistiksel analiz sayesinde bağlayıcı çözgü ipliği kıvrım oranının temel mekanik özelliklerin yanı sıra şekil alabilirlik davranışını da etkileyen önemli bir yapısal parametre olduğu belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen istatistiksel açıdan anlamlı katsayılar sayesinde şekil alabilirlik davranışının kumaş uzama, eğilme ve kayma davranışları ile yakından ilişkili olduğu teyit edilmiştir. Çalışmada şekil alabilirlik davranışının tahminlenebilmesi için kumaş maksimum şekil alabilirlik yükü ve kilitlenme açısı değerleri etkili parametreler olarak belirlenmiş ve regresyon analizi yapılmıştır. Her iki parametrenin de tahminlenebilmesi için istatistiksel açıdan anlamlı ve güvenilir modeller geliştirilmiştir.

Sonraki dönemlerde yapılabilecek çalışmalar açısından, 3B çözgü interlok karbon kumaşların çift eksenli çekme ve katlar arası kayma gibi farklı yükler altındaki mekanik davranışlarının incelenmesi düşünülebilir. 3B çözgü interlok karbon kumaşlar genellikle kompozit malzeme üretiminde kullanıldıkları için kompozit formundaki mekanik özellikleri de araştırılmaya değer bir başka konudur. Bu çalışma ile kumaş yapısal ve mekanik özellikleri detaylı olarak incelenmiş olduğu için kompozit malzemenin mekanik davranışı üzerine etkileri de göreceli olarak kısa zamanda sonuçlandırılacak bir araştırma olarak değerlendirilmektedir.

Diğer taraftan 3B kumaş mekanik özelliklerinin çeşitli malzeme özellikleri ile numerik olarak modellenmesi sağlanarak yeni kumaş modellerinin oluşturulması da olası çalışmalar arasındadır. Tez çalışması ile elde edilen mekanik test bulguları numerik kumaş modelleri için sonuçların doğrulanması amacı ile kullanılabilir.

Yapısal ve mekanik özellikleri açısından geleneksel dokuma kumaşlara göre önemli farklılıklar içeren 3B çözgü interlok karbon kumaşların davranışlarının daha iyi aydınlatılabilmesi ile yeni kullanım alanları yaratılmasına katkı sağlanabilecektir. Kumaş özellikleri ve kompozit malzemelere kazandırdıkları üstün mekanik özellikler göz önünde bulundurulduğunda söz konusu kumaşların üretim ve kullanımlarının giderek artacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abtew, M. A., Boussu, F., Bruniaux, P., Loghin, C., ve Cristian, I. (2019). Ballistic impact mechanisms – A review on textiles and fibre-reinforced composites impact responses. *Composite Structures*, 223, 110966.
- Abtew, M. A., Boussu, F., Bruniaux, P., Loghin, C., Cristian, I., Chen, Y., ve diğer. (2018). Influences of fabric density on mechanical and moulding behaviours of 3D warp interlock para-aramid fabrics for soft body armour application. *Composite Structures*, 204, 402–418.
- Aimène, Y., Vidal-Sallé, E., Hagège, B., Sidoroff, F., ve Boisse, P. (2010). A hyperelastic approach for composite reinforcement large deformation analysis. *Journal of Composite Materials*, 44(1), 5–26.
- Allaoui, S., Hivet, G., Wendling, A., Soulat, D., ve Chatel, S. (2010). Experimental approach for optimizing dry fabric. *14th European Conference On Composite Materials*, 1–10.
- Archer, E., Buchanan, S., McIlhagger, A., ve Quinn, J. (2010). The effect of 3D weaving and consolidation on carbon fiber tows, fabrics, and composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(20), 3162–3170.
- Arjmandi, M., Ramezani, M., Bolle, T., Köppe, G., Gries, T., ve Neitzert, T. (2018). Mechanical and tribological properties of a novel hydrogel composite reinforced by three-dimensional woven textiles as a functional synthetic cartilage. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 115, 123–133.
- Barbagallo, G., Madeo, A., Morestin, F., ve Boisse, P. (2017). Modelling the deep drawing of a 3D woven fabric with a second gradient model. *Mathematics and Mechanics of Solids*, 22(11), 2165–2179.

- Bardl, G., Nocke, A., Hübner, M., Gereke, T., Pooch, M., Schulze, M., ve diğer. (2018). Analysis of the 3D draping behavior of carbon fiber non-crimp fabrics with eddy current technique. *Composites Part B: Engineering*, 132, 49–60.
- Behera, B. K., ve Dash, B. P. (2013). An experimental investigation into structure and properties of 3D-woven aramid and PBO fabrics. *Journal of the Textile Institute*, 104(12), 1337–1344.
- Bilisik, K. (2011). Multiaxis Three Dimensional (3D) Woven Fabric. S. G. Vassiliadis (Ed.), *Advances in Modern Woven Fabrics Technology* (1. Baskı) (79–106). Hırvatistan: IntechOpen.
- Bilisik, K. (2012). Multiaxis three-dimensional weaving for composites: A review. *Textile Research Journal*, 82(7), 725–743.
- Bilisik, K. (2017). Two-dimensional (2D) fabrics and three-dimensional (3D) preforms for ballistic and stabbing protection: A review. *Textile Research Journal*, 87(18), 2275–2304.
- Boisse, P., Hamila, N., Vidal-Sallé, E., ve Dumont, F. (2011). Simulation of wrinkling during textile composite reinforcement forming. Influence of tensile, in-plane shear and bending stiffnesses. *Composites Science and Technology*, 71(5), 683–692.
- Boisse, P., Aimène, Y., Dogui, A., Dridi, S., Gatouillat, S., Hamila, N., ve diğer. (2010). Hypoelastic, hyperelastic, discrete and semi-discrete approaches for textile composite reinforcement forming. *International Journal of Material Forming*, 3(SUPPL. 2), 1229–1240.
- Boris, D., Xavier, L., ve Damien, S. (2018). The tensile behaviour of biaxial and triaxial braided fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 47(8), 2184–2204.

- Boussu, F., Cristian, I., ve Nauman, S. (2015). General definition of 3D warp interlock fabric architecture. *Composites Part B: Engineering*, 81, 171–188.
- Brown, A. S. (1997). Cutting composite costs with needle and thread. *Aerospace America*, 24–25.
- Brunold Software - DB-WEAVE. 13 Eylül 2018, <https://www.brunoldsoftware.ch/dbw.html>
- Cai, Z., Yu, J. Z., ve Ko, F. K. (1994). Formability of textile preforms for composite applications. Part 2: Evaluation experiments and modelling. *Composites Manufacturing*, 5 (2), 123-132.
- Cao, J., Akkerman, R., Boisse, P., Chen, J., Cheng, H.S., de Graaf, E.F. ve diğer. (2008). Characterization of mechanical behavior of woven fabrics : Experimental methods and benchmark results. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(6), 1037-1053.
- Carvelli, V., Pazmino, J., Lomov, S. V., ve Verpoest, I. (2012). Deformability of a non-crimp 3D orthogonal weave E-glass composite reinforcement. *Composites Science and Technology*, 73(1), 9–18.
- Charmetant, A., Orliac, J. G., Vidal-Sallé, E., ve Boisse, P. (2012). Hyperelastic model for large deformation analyses of 3D interlock composite preforms. *Composites Science and Technology*, 72(12), 1352–1360.
- Chen, X. (2007). Technical aspect: 3D woven architectures. *NWTexNet 2007 Conference*, Blackburn, İngiltere.
- Chu, T. L., Ha-Minh, C., ve Imad, A. (2017). Analysis of local and global localizations on the failure phenomenon of 3D interlock woven fabrics under ballistic impact. *Composite Structures*, 159, 267–277.

Composite System. (b.t.). 7 Nisan 2020,
<https://www.lindauerdornier.com/en/composites-systems/3d/>

Cooper, J. I., ve Roberts, E. (2008). Textile lapping machine. *US2008155787*.

Corbin, A. C., Kececi, A., Boussu, F., Ferreira, M., ve Soulat, D. (2018). Engineering Design and Mechanical Property Characterisation of 3D Warp Interlock Woven Fabrics. *Applied Composite Materials*, 25(4), 811–822.

Corves, B., Brinker, J., Prause, I., Hüsing, M., Abbas, B., Krieger, H., ve diğer. (2015). AutoHD- Automated Handling and Draping of Reinforcing Textiles. B. Corves, E. C. Lovasz, ve M. Hüsing (Ed.), *Mechanisms, Transmissions and Applications: Proceedings of the Third MeTrApp Conference 2015*, 301- 309.

Dash, A. K., ve Behera, B. K. (2018). Role of weave design on the mechanical properties of 3D woven fabrics as reinforcements for structural composites. *Journal of the Textile Institute*, 109(7), 952–960.

Dash, A. K., ve Behera, B. K. (2019). Role of stuffer layers and fibre volume fractions on the mechanical properties of 3D woven fabrics for structural composites applications. *Journal of the Textile Institute*, 110(4), 614–624.

De Luycker, E., Morestin, F., Boisse, P., ve Marsal, D. (2009). Simulation of 3D interlock composite preforming. *Composite Structures*, 88(4), 615-623.

De Luycker, E., Orliac, J. G., Morestin, F., Boisse, P., Marsal, D., ve Otin, S. (2010). Experimental and numerical analyses of 3D interlock composite preforming. *International Journal of Material Forming*, 3(SUPPL. 1), 719–722.

Dobby Weaving Design Program - Pointcarre CAD Textile Software. 13 Eylül 2018,
<http://www.pointcarre.com/dobby.html>

- Dufour, C., Jerkovic, I., Boussu, F., Wang, P., Soulat, D., Grancaric, A. M., ve diğ er. (2016). Global and local observations of 3D warp interlock fabric behaviour during forming process. *AIP Conference Proceedings*, 1769, (1), 170017.
- Dufour, C., Wang, P., Boussu, F., ve Soulat, D. (2014). Experimental Investigation About Stamping Behaviour of 3D Warp Interlock Composite Preforms. *Applied Composite Materials*, 21(5), 725–738.
- Endruweit, A., ve Long, A. C. (2010). Analysis of compressibility and permeability of selected 3D woven reinforcements. *Journal of Composite Materials*, 44(24), 2833–2862.
- Ertekin, G., ve Marmaralı, A. (2010). Sandviç Kumaşlar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(1), 84–98.
- Gereke, T., Döbrich, O., Hübner, M., ve Cherif, C. (2013). Experimental and computational composite textile reinforcement forming: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 46, 1-10.
- GOM Correlate. 6 Mayıs 2019, <https://www.gom-correlate.com/>
- Ha-Minh, C., Boussu, F., Kanit, T., Crépin, D., ve Imad, A. (2012). Effect of frictions on the ballistic performance of a 3D warp interlock fabric: Numerical analysis. *Applied Composite Materials*, 19(3–4), 333–347.
- Hearle, J. W. S. (2015). Definition of 3D textiles. X. Chen, (Ed.), *Advances in 3D Textiles* (1. Baskı) (1–18). Londra: Woodhead
- Hou, Y., Hu, H., Sun, B., ve Gu, B. (2013). Strain rate effects on tensile failure of 3-D angle-interlock woven carbon fabric. *Materials and Design*, 46, 857–866.

- Hou, Y., Jiang, L., Sun, B., ve Gu, B. (2013). Strain rate effects of tensile behaviors of 3-D orthogonal woven fabric: Experimental and finite element analyses. *Textile Research Journal*, 83(4), 337–354.
- Hu, J. (2008). *3-D fibrous assemblies : properties, applications and modeling of three-dimensional textile structures (1. Baskı)*. Londra: Woodhead
- Hübner, M., Rocher, J. E., Allaoui, S., Hivet, G., Gereke, T., ve Cherif, C. (2016). Simulation-based investigations on the drape behavior of 3D woven fabrics made of commingled yarns. *International Journal of Material Forming*, 9(5), 591–599.
- Hui, C., Wang, P., ve Legrand, X. (2019). Improvement of tufting mechanism during the advanced 3-dimensional tufted composites manufacturing: To the optimisation of tufting threads degradation. *Composite Structures*, 220, 423–430.
- IBM SPSS Statistics. 7 Nisan 2020, <https://www.ibm.com/tr-tr/products/spss-statistics>.
- ImageJ. 4 Haziran 2019, <https://imagej.net/Welcome>.
- Jia, X., Sun, B., ve Gu, B. (2012). A numerical simulation on ballistic penetration damage of 3D orthogonal woven fabric at microstructure level. *International Journal of Damage Mechanics*, 21(2), 237–266.
- Kashif, M., Hamdani, S. T. A., Nawab, Y., Asghar, M. A., Umair, M., ve Shaker, K. (2019). Optimization of 3D woven preform for improved mechanical performance. *Journal of Industrial Textiles*, 48(7), 1206–1227.
- Khan, M. A., Mabrouki, T., Vidal-Sallé, E., ve Boisse, P. (2010). Numerical and experimental analyses of woven composite reinforcement forming using a hypoelastic behaviour. Application to the double dome benchmark. *Journal of*

Materials Processing Technology, 210(2), 378–388.

Khokar, N. (1996). 3D Fabric-forming Processes: Distinguishing Between 2D-weaving, 3D-weaving and an Unspecified Non-interlacing Process. *Journal of the Textile Institute*, 87(1), 97–106.

Kordi, M. T., Hüsing, M., ve Corves, B. (2007). Development of a multifunctional robot end-effector system for automated manufacture of textile preforms. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM*, 1-6.

Labanieh, A. R., Garnier, C., Ouagne, P., Dalvernay, O., ve Soulat, D. (2018). Intra-ply yarn sliding defect in hemisphere preforming of a woven preform. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 107, 432-446.

Lansiaux, H., Soulat, D., Boussu, F., ve Labanieh, A. R. (2018). Manufacture and characterization of 3D warp interlock fabric made of flax roving. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 406(1), 012040.

Lee, B., Leong, K.H. ve Herszberg, I. (2002). Effect of weaving damage on the tensile properties of three-dimensional woven composites. *Composite Structures*, 57(1–4), 405–413.

Li, M., Wang, P., Boussu, F., ve Soulat, D. (2019). Tensile Properties Characterization of Dry High Molecular- Weight Polyethylene 3D Warp Interlock Fabrics for Composite Reinforcements. *AUTEX2019- 19th World Textile Conference on Textiles at the Crossroads*, 1-6.

Lin, H., Wang, J., Long, A. C., Clifford, M. J., ve Harrison, P. (2007). Predictive modelling for optimization of textile composite forming. *Composites Science and Technology*, 67(15–16), 3242–3252.

- Liu, L. S., Wang, P., Legrand, X., ve Soulat, D. (2016). Formability of tufted 3-dimensional composite reinforcement. In *AIP Conference Proceedings*, 1769,(1), 170041.
- Lomov, S. V., Boisse, P., Deluycker, E., Morestin, F., Vanclooster, K., Vandepitte, D., ve diğ. (2008). Full-field strain measurements in textile deformability studies. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(8), 1232–1244.
- Lomov, S. V., Gusakov, A. V., Huysmans, G., Prodromou, A., ve Verpoest, I. (2000). Textile geometry preprocessor for meso-mechanical models of woven composites. *Composites Science and Technology*, 60(11), 2083–2095.
- Lomov, Stepan V., Ivanov, D. S., Verpoest, I., Zako, M., Kurashiki, T., Nakai, H., ve diğ. (2008). Full-field strain measurements for validation of meso-FE analysis of textile composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(8), 1218–1231.
- Mathieu, S., Hamila, N., Bouillon, F., ve Boisse, P. (2015). Enhanced modeling of 3D composite preform deformations taking into account local fiber bending stiffness. *Composites Science and Technology*, 117, 322–333.
- Min, S., Chai, Y., Chu, Y., & Chen, X. (2019). Effect of panel construction on the ballistic performance of multiply 3D through-the-thickness angle-interlock fabric reinforced composites. *Polymers*, 11(2), 198.
- Minapoor, S., Ajeli, S., ve Salmani Tehrani, M. (2019). Investigation into tensile strength of noncrimp three-dimensional orthogonal woven structure. *Journal of Industrial Textiles*, 49(2), 200–218.
- Minapoor, S., Ajeli, S., ve Sheikhzadeh, M. (2018). Evaluation of flexural modulus of

carbon 3d orthogonal woven fabric using a trilinear model. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 43(3), 301–307.

Mizukami, K., Mizutani, Y., Todoroki, A., ve Suzuki, Y. (2016). Detection of in-plane and out-of-plane fiber waviness in unidirectional carbon fiber reinforced composites using eddy current testing. *Composites Part B: Engineering*, 86, 84–94.

Pazmino, J., Carvelli, V., ve Lomov, S. V. (2014). Formability of a non- crimp 3D orthogonal weave E- glass composite reinforcement. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 61, 76-83.

Pazmino, J., Mathieu, S., Carvelli, V., Boisse, P., ve Lomov, S. V. (2015). Numerical modelling of forming of a non-crimp 3D orthogonal weave E-glass composite reinforcement. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 72, 207–218.

Rozant, O., Bourban, P. E., ve Månson, J. A. E. (2000). Drapability of dry textile fabrics for stampable thermoplastic preforms. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31(11), 1167–1177.

Rudov-Clark, S., Mouritz, A. P., Lee, L., ve Bannister, M. K. (2003). Fibre damage in the manufacture of advanced three-dimensional woven composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 34(10), 963–970.

Schulze, M. H., Heuer, H., Küttner, M., ve Meyendorf, N. (2010). High-resolution eddy current sensor system for quality assessment of carbon fiber materials. *Microsystem Technologies*, 16(5), 791–797.

Seyam, A. F., ve İnce, M. E. (2013). Generalized geometric modeling of threedimensional orthogonal woven preforms from spun yarns. *Journal of The Textile Institute*, 104 (9), 914- 928.

- Sun, F., Zhang, Y., Chen, L., Zhang, M., ve Pan, N. (2017). Shear Properties of Three-Dimensional Woven Composite Reinforcements. *Polymer Composites*, 38(2), 244–251.
- Tahir, M. W., Stig, F., Âkermo, M., ve Hallström, S. (2015). A numerical study of the influence from architecture on the permeability of 3D-woven fibre reinforcement. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 74, 18–25.
- Tao, W., Liu, Z., Zhu, P., Zhu, C., ve Chen, W. (2017). Multi-scale design of three dimensional woven composite automobile fender using modified particle swarm optimization algorithm. *Composite Structures*, 181, 73–83.
- Toho Tenax. (b.t.). 7 Nisan 2020, <https://www.teijinacarbon.com/products/tenaxr-carbon-fiber/tenaxr-filament-yarn>
- Ünal, P. (2012). 3D Woven Fabrics. H. Y. Jeon (Ed.), *Woven Fabrics*. Hırvatistan: IntechOpen
- Wang, P., Legrand, X., Boisse, P., Hamila, N., ve Soulat, D. (2015). Experimental and numerical analyses of manufacturing process of a composite square box part: Comparison between textile reinforcement forming and surface 3D weaving. *Composites Part B: Engineering*, 78, 26–34.
- Xu, F., ve Qiu, Y. (2016). Simulation and electromagnetic performance of cylindrical two-element microstrip antenna array integrated in 3D woven glass fiber/epoxy composites. *Materials and Design*, 89, 1048–1056.
- Yu, J. Z., Cai, Z., ve Ko, F. K. (1994). Formability of textile preforms for composite applications. Part 1: Characterization experiments. *Composites Manufacturing*, 5(2), 113–122.
- Zeng, X., Brown, L. P., Endruweit, A., Matveev, M., ve Long, A. C. (2014).

Geometrical modelling of 3D woven reinforcements for polymer composites: Prediction of fabric permeability and composite mechanical properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 56, 150–160.

Zhang, Y., Sun, F., Wang, Y., Chen, L., ve Pan, N. (2013). Study on intra/inter-ply shear deformation of three dimensional woven preforms for composite materials. *Materials and Design*, 49, 151–159.

Zhou, Y., Jiang, D., ve Xia, Y. (2001). Tensile mechanical behavior of T300 and M40J fiber bundles at different strain rate. *Journal of Materials Science*, 36(4), 919–922.

Zhou, Y., Wang, Y., Jeelani, S., ve Xia, Y. (2007). Experimental study on tensile behavior of carbon fiber and carbon fiber reinforced aluminum at different strain rate. *Applied Composite Materials*, 14(1), 17–31.

Zhu, B. (2007). *Sheet forming of woven textile composite preforms : formability and wrinkling*. Doktora Tezi, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong.

Zhu, B., Yu, T. X., ve Tao, X. M. (2007). Large deformation and slippage mechanism of plain woven composite in bias extension. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(8), 1821–1828.

Zhu, B., Yu, T. X., Zhang, H., ve Tao, X. M. (2011). Experimental investigation of formability of commingled woven composite preform in stamping operation. *Composites: Part B*, 42(2), 289–295.