

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖRME KUMAŞ TAKVİYELERİNİN
KOMPOZİT MALZEMENİN DARBE
DAVRANIŞINA ETKİLERİ



İlkkar KARAOĞLU

Ocak, 2020
İZMİR

ÖRME KUMAŞ TAKVİYELERİNİN KOMPOZİT MALZEMENİN DARBE DAVRANIŞINA ETKİLERİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

İlkkar KARAOĞLU

Ocak, 2020

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

İLKKAR KARAOĞLU, tarafından **DOÇ. DR. TUBA ALPYILDIZ** yönetiminde hazırlanan **“ÖRME KUMAŞ TAKVİYELERİNİN KOMPOZİT MALZEMENİN DARBE DAVRANIŞINA ETKİLERİ”** tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Tuba ALPYILDIZ

Yönetici



Prof. Dr. Yusuf ARMAN

Jüri Üyesi



Dr. Dr. Nurhan Özoğlu

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Benden desteğini esirgemeyen ve bu tezin oluşmasına büyük desteği olan Danışman Hocam Doç. Dr. Tuba ALPYILDIZ' a müteşekkirim. Bu tip araştırmaların devam ettirilmesi dileği ile...

İlkkar KARAOĞLU



ÖRME KUMAŞ TAKVİYELERİNİN KOMPOZİT MALZEMENİN DARBE DAVRANIŞINA ETKİLERİ

ÖZ

Boyutları ve hafifliklerine nazaran gösterdiği yüksek performans ve sağladığı önemli avantajlar sayesinde çeşitli uygulamalar için kompozit malzemelerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Kompozitlerde takviye olarak tekstil malzemeleri kullanılması ise kullanılan tekstil yapısına ve elyaf çeşidine bağlı olarak kompozite mukavemet, daha yüksek darbe ve eğilme dayanımı gibi özellikler kazandırmaktadır. Aramid elyafı gibi yüksek performanslı liflerin kompozitlerde kullanımı yaygınlaşmış ve sağladıkları avantajlar kanıtlanmıştır. Örme kumaşların takviye malzemesi olarak kullanılmasıyla kompozitlerin darbe dayanımları gibi mekanik performanslarının iyileşmesi üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Örme kumaş yapıların içinde düz şekilde yerleştirilen yatırım iplik formlarının mukavemeti artırıcı etkisi üzerine çalışmalar ise devam etmektedir.

Bu çalışmada takviye malzemesi olarak kullanılan örme kumaşların yapısında bulunan yatırım ipliğinin kompozit malzemenin darbe dayanımına etkilerinin araştırılması hedeflenmektedir. Bu amaç doğrultusunda Aramid lifi kullanılarak V yataklı el örme makinasında üretilen ribana ve yatırımlı ribana örme kumaşların takviye malzemesi olarak kullanılmasıyla kompozit üretimi gerçekleştirilmiş ve bu kompozitlerin darbe, darbe sonrası bası ve eğilme performansları incelenmiştir. Böylece yatırım iplikleri içeren örme kumaş yapısının ve tabaka yerleşim açısının kompozit malzemenin mekanik performansına etkileri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, örme, yatırım, kumaş, aramid, darbe

EFFECTS OF KNITTED FABRIC REINFORCEMENTS ON IMPACT PERFORMANCE OF COMPOSITES

ABSTRACT

The use of composite materials for various applications is increasing day by day thanks to their high performance and significant advantages compared to its dimensions and weight-lightness. The use of textile materials as reinforcements in the composites provides properties such as strength and higher impact depending on the textile structure and fiber type used. The use of high performance fibers such as aramid in composites has become widespread and their advantages have been proven. There are studies on the enhancement of the impact performances of the composites provided by the knitted fabrics as reinforcement and studies on the effect of inlay yarns, which stay straight in the knitted fabric, on the strength of the composites are still continuing.

In this study, it is aimed to investigate the effect of inlay yarns, which stay straight among the loops of the knitted reinforcement fabric, on the impact performances of the composites reinforced with the knitted fabric. With this aim, composites are obtained using knitted fabrics manufactured from Aramid filament yarns on v ben knitting machine with two different structures (rib and inlaid rib) and impact, compression after impact and bending performances of these composites are analyzed. The effect of inlay yarn and stacking sequence on the impact performances of the composites are determined.

Keywords: Composite, knit, inlay, fabric, aramid, impact

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLOLAR LİSTESİ.....	xii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Kompozit Malzeme	1
1.2 Kompozitlerin Sağladığı Avantajlar ve Dezavantajlar	2
1.2.1 Avantajlar.....	2
1.2.2 Dezavantajlar	2
1.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	3
1.3.1 Polimer Matrisler	4
1.3.2 Tanecikli Kompozitler	5
1.3.3 Lifli (Elyaf Takviyeli) Kompozitler	5
1.3.4 Tabakalı Kompozitler	6
1.4 Kompozit Üretim Yöntemleri.....	7
1.4.1 Elle Yatırma Yöntemi.....	7
1.4.2 Püskürtme Yöntemi	8
1.4.3 Elyaf Sarma	8
1.4.4 Reçine Transfer Kalıplama RTM / Reçine Enjeksiyonu	9
1.4.5 Profil Çekme / Pultrüzyon (Pultrusion)	9
1.4.6 Hazır Kalıplama / Compression Molding (SMC, BMC).....	10
1.4.7 Vakum İnfüzyon Kalıplama (VARTM)	10
1.5 Tekstil Takviyeli Kompozitlerde Kullanılan Yüksek Performans Lifler	11

1.5.1 Aramid Lifleri	13
1.5.1.1 Meta-Aramidler.....	14
1.5.1.2 Para-Aramidler	14
1.5.2 Cam Lifleri.....	16
1.5.3 Polietilen Lifleri	18
1.5.4 Karbon Lifleri.....	19
1.6 Kompozitlere Takviye Malzemesi Olarak Kullanılan Tekstil Yapıları.....	20
1.6.1 Örme Kumaşlar.....	20
1.6.1.1 Örme Kumaş Takviyeli Kompozitler.....	21
1.6.2 Kompozitlerde Takviye Olarak Örme Kumaş Kullanmanın Avantajları	29
1.7 Çalışmanın Amacı	30
BÖLÜM İKİ - METARYAL VE METOT.....	31
2.1 Kumaş Üretimi	32
2.1.1 Kumaş Özelliklerinin Belirlenmesi	33
2.1.1.1 Kumaşların Gramajının Hesaplanması	33
2.1.1.2 Sıra ve çubuk sıklıkları	34
2.2 Kompozit Üretimi.....	34
2.2.1 Takviye kumaşlar.....	35
2.2.2 Reçine	36
2.2.3 Vakum İnfüzyon yöntemi	37
2.3 Kompozit özelliklerinin belirlenmesi	41
2.3.1 Kompozitlerin Lif Hacim Oranı	42
2.4 Kompozit Numunelerinin Kesimi	42
2.5 Üç Nokta Eğilme Testi	45
2.6 Darbe Testi	47
2.7 Darbe Sonrası Bası (CAI) Testi.....	48

BÖLÜM ÜÇ - BULGULAR.....51

3.1 Eğilme Performansı	50
3.1.1 Yatırım İpliği Etkisi	50
3.1.2 Takviye kumaş oryantasyonunun etkisi.....	51
3.1.3 Eğilme Rijitlikleri	53
3.2 Darbe Performansı	55
3.2.1 Yatırım İpliği Etkisi	55
3.2.2 Takviye kumaş oryantasyonunun etkisi.....	57
3.3 Darbe Sonrası Bası Testi (CAI).....	62
3.3.1 Yatırım İpliği Etkisi	62
3.3.2 Yerleşim Açısı Etkisi	63

BÖLÜM DÖRT - SONUÇLAR.....65

KAYNAKLAR.....67

EKLER..... 73

Ek-1:Eğilme grafikleri	73
Ek-2: Darbe Grafikleri	75
Ek-3: Darbe Sonrası Bası Grafikleri	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Lifli Kompozitlerde kullanılan takviye yapıları	6
Şekil 1.2 Tabakalı kompozitlerin farklı takviye yönlerindeki yatırım elemanlarıyla üretimi	7
Şekil 1.3 Yüksek performanslı liflerle belli başlı bilinen liflerin yük-uzama grafikleri	13
Şekil 1.4 Twaron'un kimyasal yapısı	15
Şekil 1.5 Meta aramid Para aramid	16
Şekil 1.6 Örme yapıları	21
Şekil 1.7 Tekstil takviyeli kompozit yapılarının karşılaştırılması	22
Şekil 2.1 Örme kumaşların örgü planı	32
Şekil 2.2 Kumaş oluşumu ve örülmüş kumaş	33
Şekil 2.3 Tabaka Açılışları.....	35
Şekil 2.4 Kompozit üretim masası	37
Şekil 2.5 Kalıp ayırıcı torbanın serilişi ve sızdırmazlık macununun uygulanması ...	38
Şekil 2.6 Vakum torbası uygulanmadan önce son durum.....	39
Şekil 2.7 Reçine ilerleyişi ve VARTM Sistemi	40
Şekil 2.8 24 saatlik kürlenmeden çıkmış para-aramid iplikten örme kumaş takviyeli kompozit levhası	41
Şekil 2.9 Üretilen Kompozitlerin kesimden önceki son durumu	43
Şekil 2.10 Rubi Diamant DS-300-1300 sulu kesme makinası.....	44
Şekil 2.11 Kesici disk.....	44
Şekil 2.12 Standartlara göre kesilmiş numuneler.....	45
Şekil 2.13 3 Nokta eğilme testi	46
Şekil 2.14 Eğilme numunelerinin kodlanması	47
Şekil 2.15 CEAST 9350 Fractovis Plus serbest düşme darbe testi cihazı	47
Şekil 2.16 Darbe numunesi kodlama tekniği	48
Şekil 2.17 Darbe sonrası bası testi düzeneğinin kurulması.....	49

Şekil 3.1 Kompozit numunelerinin Eğilme Rijitlikleri	51
Şekil 3.2 Kompozit numunelerinin Eğilme Dayanımları.....	51
Şekil 3.3 B numunelerinin eğilme grafikleri a) Çubuk doğrultusunda b) Sıra doğrultusunda.....	52
Şekil 3.4 BCW numunelerinin eğilme grafikleri a) Çubuk doğrultusunda b) Sıra doğrultusunda.....	53
Şekil 3.5 C numunelerinin eğilme grafikleri a) Çubuk doğrultusunda b) Sıra doğrultusunda.....	54
Şekil 3.6 Hasar görmüş eğilme testi numunesi	54
Şekil 3.7 CW ve BCW eğilme grafikleri a) Çubuk doğrultusunda b) Sıra doğrultusunda.....	55
Şekil 3.8 Yatırım ipliğinin çubuk yönünde çıkartılan test numunelerindeki etkisi ...	56
Şekil 3.9 Yatırım ipliğinin sıra yönünde çıkartılan test numunelerindeki etkisi.....	56
Şekil 3.10 Takviye yerleşim açısının yatırımsız kompozitlerde sıra yönündeki etkisi	57
Şekil 3.11 Takviye yerleşim açısının yatırımsız kompozitlerde çubuk yönündeki etkisi.....	58
Şekil 3.12 Takviye yerleşim açısının yatırımlı kompozitlerde sıra yönündeki etkisi.....	59
Şekil 3.13 Takviye yerleşim açısının yatırımlı kompozitlerde çubuk yönündeki etkisi	59
Şekil 3.14 Numunelerin Eğilme kuvveti altındaki Kuvvet-Çökme grafikleri	60
Şekil 3.15 60J'da B, C ve CW numunelerinin darbeden oluşan Kuvvet-Çökme grafiği	61
Şekil 3.16 60J'da B, C ve CW numunelerinin darbeden oluşan Kuvvet-Çökme grafiği.....	61
Şekil 3.17 60J Darbe enerjisi sonrası hasar fotoğrafları a) B numunesi b) C numunesi c) CW numunesi.....	62
Şekil 3.18 75J'da B, C ve CW numunelerinin darbeden oluşan grafikleri	63
Şekil 3.19 75J'da B, C ve CW numunelerinin darbeden oluşan Enerji-Zaman Grafiği	64

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	3
Tablo 1.2 Sarı renkli (Para-aramid) Twaron çeşitlerinin bazı mekanik özellikleri	16
Tablo 1.3 Ağırlık oranı (%) olarak, E-cam ve S-cam'ın madde içerikleri	17
Tablo 2.1 Kullanılan Twaron Marka para-aramid ipliğin özellikleri	31
Tablo 2.2 Takviye kumaşların gramajları	34
Tablo 2.3 Takviye kumaş ilmek sıklıkları	34
Tablo 2.4 Kompozit yapıları	36
Tablo 2.5 Reçine ve sertleştirici Yoğunluk ve viskozite değerleri	36
Tablo 2.6 Reçinenin çekme ve eğilme mukavemeti	37
Tablo 2.7 ASTM- D3171 – 15'e göre hesaplanan yoğunluklar.....	42
Tablo 2.8 ASTM Standardına göre hesaplanmış % lif-kütle ve % lif-hacim oranları.....	42

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Kompozit Malzeme

Farklı üstün özelliklere sahip malzemelerin bir matris malzemesi ile makro düzeyde birleştirilmesinden ortaya çıkan ve kullanım alanına uygun şekillendirilen yeni malzemelere kompozit denir. Kompozitlerde makro boyutlu takviye malzemeleri olarak tekstil takviye yapıları kullanılabilir (Şahin ve Öksüz, 2012) Bu yapıları bir arada, tek malzeme halinde tutan bağlayıcı malzemelere matris malzemesi ya da reçine denir. Kompozit malzemelerin hacimsel olarak çoğunluğunu oluşturan matris malzemeleri, fonksiyon olarak lifleri paralel tutmak, malzemeyi bir tabaka halinde tutmak, yükleri dağıtmak, malzeme bütünlüğünü korumak ve takviye malzemesi şeklini korumak işlevlerini görmektedir. Takviye malzemesi olan elyaf ise yükü taşımak ve mukavemeti arttırmak görevini üstlenir (Subhash Anand ve Richard Horrocks, 2016). Kompozitlerde takviye elemanı olarak tekstil malzemeleri üstün interlaminer mukavemetleri, yüksek hasar toleransları ve düşük maliyetleri nedeniyle yük taşımada en iyi tercih olarak kullanılmaktadırlar (Padaki ve diğer., 2016).

Kompozitler düşük yoğunluklarına rağmen yüksek mekanik özellik göstermektedir. Bu malzemeler yüksek dayanım, yüksek rijitlik, yüksek yorulma dayanımı, yüksek aşınma direnci, yüksek sıcaklık dayanımı, iyi korozyon direnci, iyi termal ve ısı iletkenliği, düşük ağırlık ve kolay tasarım nedeniyle gün geçtikçe daha çok önem kazanmaktadır. Diğer yandan başka malzemelere göre hafif, kimyasal maddelere karşı dirençli, uygun elektrik ve ısı yalıtımına sahip olması çelik ve alüminyum alaşımlarına göre yorgunluk direncinin yüksek olması kompozitleri diğer malzemelerden farklı kılan en belirgin özellikleridir. Kompozit malzemeler, değişik doğrultularda farklı mekanik özellikler göstermektedirler. Kompozit malzeme, avantajlarının yanında dezavantajlara da sahiptir. Bu dezavantajların başlıcaları tasarım, analiz ve standart parça üretimindeki güçlüklerdir. Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz

etkilemektedir. Ancak dezavantajlarının yanında avantajlarının üstün etkisi nedeniyle kompozit malzemeler uzay/roket sanayi, havacılık, otomotiv sanayi, savunma sanayi ve spor endüstrisi gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Chung, 2010).

1.2 Kompozitlerin Sağladığı Avantajlar ve Dezavantajlar

Kompozitlerin kullanım alanının bu denli yoğun ve araştırmaya açık oluşu, onların avantaj ve dezavantajlarının belirlenmesinin önemini ortaya çıkartmıştır (Aktas, 2018).

1.2.1 Avantajlar

- Kompozitler küçük parçaların birleştirilmesiyle bir bütün malzeme haline getirilebilir ve tasarım ve dizayn esnekliği oluştururlar.
- İçlerine üretim aşamasında sensör v.b. elektronik kontrol sistemleri ya da elektronik bağlantı aparatları yerleştirilebilir, elektrik akımı geçişi sağlayabilecek kablolarla entegre olarak üretilebilirler.
- Kompozitler yüksek sertlik değerlerine sahiplerdir.
- Kompozit malzemeler ağırlıklarına nazaran yüksek mukavemet sergilemektedirler
- Kompozit malzemelerin korozyon dirençleri, yorulma dayanımları ve darbe dayanımları çok iyidir (Buket, 2015).

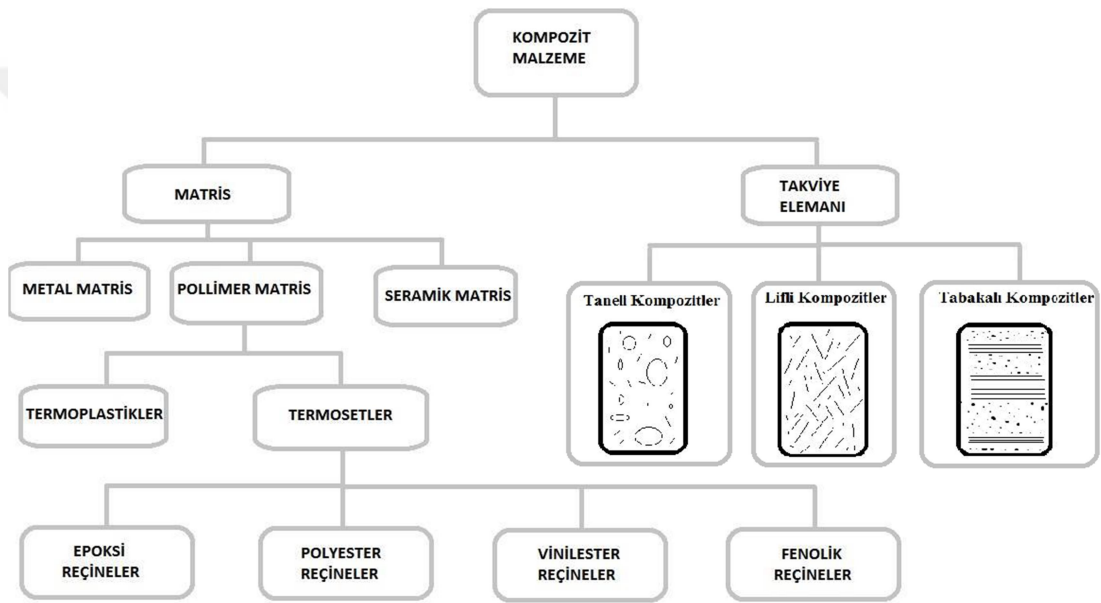
1.2.2 Dezavantajlar

- Hammadde, reçine ve yatırım malzemesi maliyetleri yüksektir.
- Otomasyon ve kesiksiz üretim süreci kısıtlı ve maliyetlidir.
- Kompozitlerin sıcaklık dayanımları genellikle reçinenin ısı dayanımıyla sınırlıdır.
- Kompozitlerin yatırım malzemelerinin nem alma olasılığı bulunmaktadır. Bu da boyutsal stabilite ve kompozit özelliklerinin bir miktar değişmesine neden olabilir (Ertekin ve Marmaralı, 2010).

1.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler matris ve takviye malzemesi olarak iki ana bileşenden oluşmaktadır. Bu nedenle bu iki ana başlık altında incelenmektedir. Sınıflandırılmalarında matris malzemelerinin çeşitlerinden ve takviye malzemesi yapılarından faydalanılmaktadır. Kompozit malzemeler Tablo 1.1'deki gibi sınıflandırılabilirler (Nejabati, 2014).

Tablo 1.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması (Nejabati, 2014)



Matrisler; Metal, Polimer ve Seramik olmak üzere 3 ayrı yapıda incelenir. Bunların arasında en çok kullanılan reçine olarak adlandırılan Polimer matrislerdir. Metal ve Seramik matrisler eriyikten direk olarak takviye malzemesinin eklenmesi ile oluşmaktadırlar. Çeşitli mühendislik uygulamalarında metallerin yerini tercihen kullanılan polimer kompozitler sadece hafiflik, mekanik dayanım gibi özellikler değil, insan dokuları ile uyum sağlayan ve sertlik derecesi ayarlanabilen yapay doku ve organlar gibi uygulamaların dışında "optik elyaf" ve basınç ile elektrik üretebilen" piezo elektrik özellikli ve istenildiği gibi işlenebilen özel sistemlerin yapımında da metal ve seramik malzemelerin yerlerine kullanılmaktadır.

Polimer kompozitler, üç ana kategoride incelenebilir. Parçacık dolgulu kompozitler, lif takviyeli kompozitler, tabakalı kompozitler. Özellikle sürekli elyaf içeren kompozitler yüksek performans istenen alanlarda giderek daha çok kullanılmaktadır. Polimer matrislerin çeşitli uygulama metotları vardır (Akdoğan Eker, 2008).

1.3.1 Polimer Matrisler

Yüksek esnekliğe sahip bu matrisler üç boyutlu ağ yapısına sahip polimerlerin takviye malzemesini kaplamasıyla kompozit oluşturur. Polimer matrisler termoset ve termoplastik reçineler olmak üzere 2 grupta incelenir.

Termoset reçineler kürlenme(genellikle sertleştirici adı verilen kimyasallarla belirli oranlarda karıştırılarak bağ oluşturma işlemi) sürecinde oluşturdukları yüksek çapraz bağ yapısı sayesinde sıcaklığa maruz kaldıklarında faz değişikliği olmaz. Ancak çok yüksek sıcaklıklarda yakılarak bozunabilir. Bu onları termoplastik reçinelerden ayıran birincil özelliktir. Kürlenme sürecinde oluşan tepkimeler tek yönlü tepkimelerdir ve bu tepkimeler sonrasında polimer yumuşayamaz veya eriyemez. Epoksi, PET ve Fenolformaldehit reçineler termoset reçinelerdendir (Vinson ve Sierakowski, 2002).

Termoplastik reçineler yapılarında yan gruplar ve bağlar barındırır. Isıya maruz kaldıklarında yumuşama ve erime eğilimindedir. İlk olarak daha çok amorf yapılı termoplastik polimerler kullanılmıştır (örn. PES,PEI). Daha sonra havacılık sektörünün ihtiyaçlarına yönelik daha dayanıklı termoplastik polimerlere ihtiyaç duyulmuştur ve yarı kristal yapılı reçineler geliştirilmiştir (örn.PEEK,PPS). Bu matrisler sıcaklık karşısında şekil değişikliğine uğrar ancak kimyasal yapılarında herhangi bir değişiklik olmaz. Bu nedenle rijit bir yapıya sahip değildirler (Vinson ve Sierakowski, 2002).

Polimer kompozitler takviye elemanları açısından da 3 ayrı bölümde incelenirler. Bunlar tanecikli, lifli ve tabakalı kompozitlerdir.

1.3.2 Tanecikli Kompozitler

Tanecikli yapıdaki takviye malzemesinin bir matris malzemesi ile birleştirilmesinden oluşurlar. Metalik veya metalik olmayan matrislerin veya parçacıkların birleşmesi sonucu tanecik yapılı kompozit meydana gelir. Metal olmayan matrisli tanecikli kompozitlere beton örneği verilebilir. Çimento ve kum parçacıklarından oluşan betonda kum tanecikli takviye elemanı olarak iş görürken, çimento matris malzemesidir. Metal tanecikli kompozitlerin kullanım alanlarına ise roket kanatları örnek verilebilir (Çolak, 2012).

1.3.3 Lifli (Elyaf Takviyeli) Kompozitler

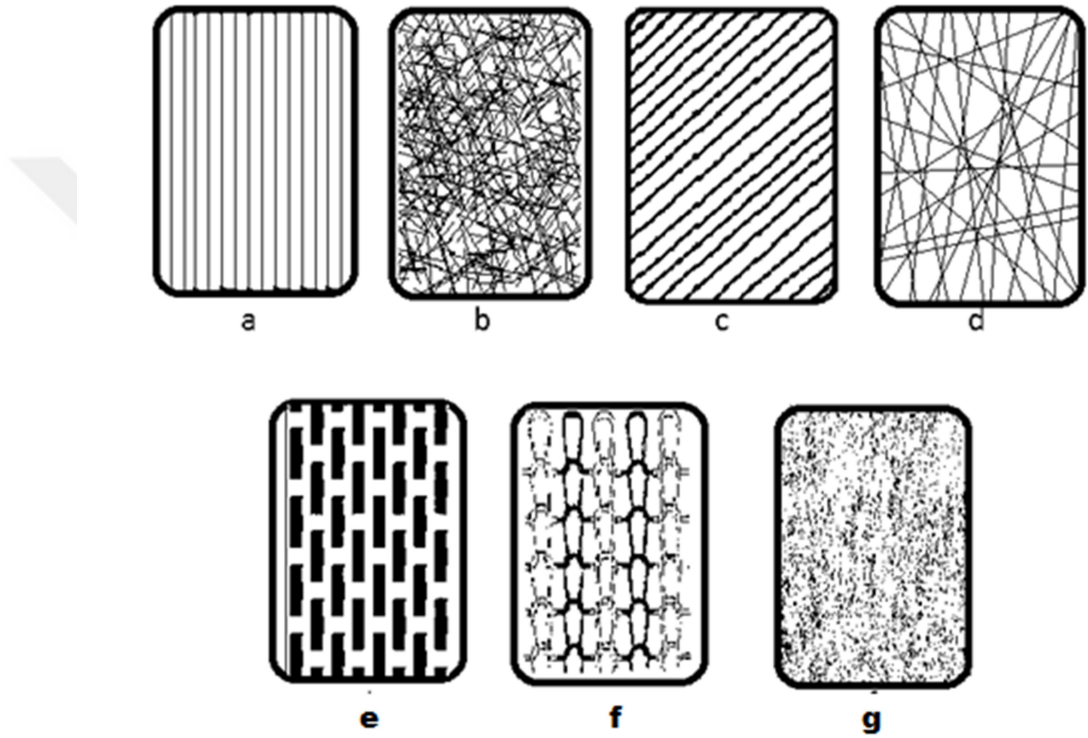
Lifli kompozitler kullanım alanına göre üstün özelliklere sahip lif ya da liflerin bir matris malzeme ile birleştirilmesi ile elde edilirler. Genellikle yüksek mukavemet, yüksek elastisite modülüne sahip lifler daha düşük mukavemete sahip matrislerle birleştirilir. Lifler istenilen bir eksen boyunca yerleştirilebilir ya da rastgele yerleştirilir. Liflerin malzemesel/içsel kusurları azdır. Bu kompozit yapının daha mukavim olmasını sağlar. (Subhash Anand ve Richard Horrocks, 2016)

Liflerin yönlendirilmesi yük taşıma özelliklerinin malzeme ekseninde belirli yönlerde üstün özellik göstermesine neden olur ve bu malzemede izotropik olmayan bir durum sergiler. Mekanik özelliklerin liflerin yönlendirildiği doğrultu dışındaki davranışı genellikle matris özelliklerinin sonucudur. Bu durumu ortadan kaldırmak için lifleri rastgele yerleştirmek ya da çok yönlü lif yerleşimi uygulamak çözüm olabilir (Nejabati, 2014).

Elyaf takviyeli kompozitlerde takviye malzemesi olarak cam, aramid, bazalt, karbon ve hatta birçok doğal lifler de kullanılabilir. Elyaf takviyeli kompozitler için çeşitli formlarda takviye malzemesi kullanımı mümkündür. Bunlar;

- Tek yönlü sürekli elyaf
- Kırılmış elyaf

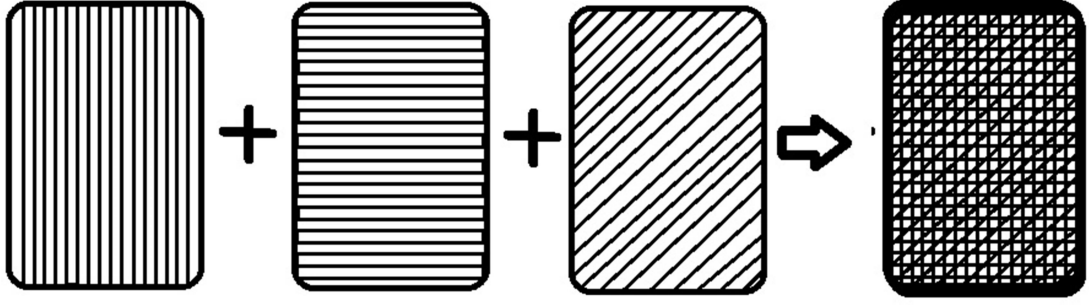
- Açılı dizilmiş sürekli elyaf
- Rastgele dizilmiş sürekli elyaf
- Dokuma kumaş
- Örme kumaş
- Dokusuz yüzey dir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Lifli Kompozitlerde kullanılan takviye yapıları şematik gösterimi a)Tek yönlü sürekli elyaf, b)Kırpılmış elyaf, c)Açılı dizilmiş sürekli elyaf, d)Rastgele dizilmiş sürekli elyaf, e)Dokuma kumaş, f)Örme kumaş, g)Dokusuz yüzey

1.3.4 Tabakalı Kompozitler

Tabakalı kompozitler, lifli, tanecikli vb. kompozit üretim metotlarının yanı sıra tabakalama ve istifleme metodlarından da yararlanılarak üretilen kompozitlerdir. Bu melez gruba ait kompozitler genellikle farklı yönlerde takviye kumaş yatırım elemanları ile farklı yönlerde dayanım ve rijitlik sağlaması amacı doğrultusunda üretilmişlerdir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Tabakalı kompozitlerin farklı takviye yönlerindeki yatırım elemanlarıyla üretimi

1.4 Kompozit Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemelerin geniş kullanım alanları ve malzeme beklentileri nedeniyle, bu malzemelerden beklenen kullanım alanına uygun, daha yüksek performans ihtiyacı artmıştır. Performans arttırmaya yönelik çalışmaların yalnızca takviye elemanı ve matris malzemesine bağlı olmadığı, ayrıca kompozitin üretim yöntemlerinin malzeme özelliklerine etkili olması, farklı üretim metotlarının geliştirilmesi ve araştırılması ihtiyacını oluşturmuştur. Kompozitler kullanım alanlarına göre ve olanaklarına göre elle yatırma, püskürtme, elyaf sarma, reçine transfer kalıplama, profil çekme, hazır kalıplama ve vakum infüzyon gibi farklı üretim metotlarıyla üretilebilirler (Vinson ve Sierakowski, 2002).

1.4.1 Elle Yatırma Yöntemi

Üretimi istenilen şekillerdeki kalıplara öncelikle reçinenin yapışmasını önlemek için ayırıcı bir tabaka vaks ya da kalıp ayırıcı torba uygulaması yapılır. Daha sonra reçineleme ve elyaf yatırma işlemleri elle kalıp üstüne uygulanır. Reçinenin elyafa emdirilmesi için basit el aletleri, fırçalar ya da püskürtme tabancaları kullanılır, kalınlık istenilen miktara gelene kadar reçineleme ve elyaf yatırma işlemleri tekrarlanır. Son olarak reçinenin sertleşme ve kürleşme süreci beklenir (Akdoğan Eker, 2008). İşçilik ve insan gücünün yoğun kullanıldığı bu yöntem seri üretim için uygun bir yöntem değildir. Genellikle düşük miktardaki üretimlerde elle yatırma yöntemi kullanılır.

Poliester ve epoksi reçinelerin yoğun olarak kullanıldığı bu yöntemde vinilester ve fenolik reçineler de tercih edilebilmektedir. Lif-hacim oranının düşük olduğu bu yöntemde, lif oranını yükseltmek amacı ile prepreg denilen önceden hazırlanıp tamamen kürlenmemiş kompozit parçaları kullanılır. Prepregler uzay sanayi, roketler ve uçak parçaları gibi alanlarda kullanılmaktadır (Anand ve Horrocks, 2016).

1.4.2 Püskürtme Yöntemi

Bu yöntemde elyafların reçine ile birlikte kırılarak bir kırma tertibatı entegre edilmiş püskürtme tabancası yardımıyla kalıp üzerine püskürtülmesiyle hızlı bir üretim elde edilmiş olur. Reçinenin yapışmasının engellenmesi için işlem yapılmış kalıba uygulanan püskürtme sonrasında, kompozit oluşumunda malzeme içindeki hava boşluklarını azaltmak için bir silindir yardımıyla elyaf-reçine karışımının üstüne baskı yapılır. Ayrıca uygulama yapılırken püskürtme tabancasının kalıbın uygulama yapılacak yüzeyine dik bir şekilde tutulması malzeme israfını en aza indirecektir. Bu işlem de elle yatırma yöntemi gibi yüksek lif-hacim oranının olmasına olanak sağlayamamaktadır. Otomobil, tekne, küvet, su depoları ve havuz gibi ürünler bu yöntemle üretilmektedir (Aktas, 2018).

1.4.3 Elyaf Sarma

Elyaf sarma yönteminde sürekli olarak ilerleyen elyaflar bir reçine banyosundan geçirilerek ıslatılır ve ayırıcı ile kaplanmış kalıba sarılır. Bu yöntem ile özel şekillere sahip kalıplardan sürekli üretim seri bir şekilde yapılabilir. Bu yöntem ile silolar, basınca dayanıklı kaplar, şarjlar, roket kasaları, kompozit mermiler, silindir biçimli tankerler üretilmektedir. Sarım genellikle kalıpların dış yüzeyine uygulandığı için, iç yüzü pürüzsüz ve daha hatasız kompozitler elde etmek mümkündür. Elyaf sarımının farklı yönlerde uygulanabilmesi ile istenilen mekanik özellikleri elde etmek mümkün hale gelmektedir. Elyaf sarımı ve kat sayısı arttıkça kompozit daha kalınlaşır. İstenilen mekanik özellik ve kalınlığa ulaşan kompozitin içinden kalıp genellikle çıkartılmaz ve sertleşme gerçekleştikten sonra isteğe göre

içeride kalan kalıp bertaraf edilebilir. Poliester, epoksi ve silikon reçinelerin kullanımına uygundur. Kuru veya yaş sarım yapılabilir (Aktas, 2018).

1.4.4 Reçine Transfer Kalıplama RTM / Reçine Enjeksiyonu

Bu üretim yönteminde elle yatırma ve püskürtme yöntemine göre daha hızlı ve daha dayanıklı parçalar elde edilir. Bunun yanı sıra iki parçalı kalıp kullanmak gerekmektedir. RTM çoğunlukla her iki yüzeyin de düzgün olması istenen durumlarda kullanılmaktadır.

Takviye malzemesi kalıbın içini dolduracak şekilde istenilen yönlerde ve miktarda doldurulur. Kalıp kapatıldıktan sonra reçine kalıp içine pompalanır. Kalıp içindeki havayı tahliye etmek için vakum uygulanabilir. Yöntemin dezavantajlarından biri yoğun emek ve işçilik gereksinimidir. Kalıbın kapalı olması epoksi gibi reçinelerin zehirli gaz salımını azaltarak daha düzgün ve gözeneksiz bir parça üretimine olanak sağlar. Uçak gövde parçalarının bir kısmında, yarış arabalarının parçalarında ve uzay sanayide bu yöntemin kullanımı görülmektedir (Yavaş, 2009).

1.4.5 Profil Çekme / Pultrüzyon (Pultrusion)

Pultrüzyon yöntemi sürekli ve az maliyetli ürün elde etmek için uygun seri üretim yöntemidir. Sisteme sürekli olarak istenilen özelliklere sahip elyaf beslenir. Elyaf reçine banyosundan geçirilerek hızlı bir sertleşme işlemi için entegre fırına sokularak 120-150 °C sıcaklığa maruz bırakılır. Sürekli elyaf kullanımı, yatırım yönünde üstün performans sağlamasına neden olurken aksi yönlerde de dayanımı arttırmak için farklı yapılarda elyaflar kullanılmaktadır. Yüksek mekanik mukavemete sahip kompozitlerin üretildiği bu yöntem kanal, boru, tüp, kolon, kiriş üretimi için uygundur (Aktas, 2018).

1.4.6 Hazır Kalıplama / Compression Molding (SMC, BMC)

Hazır kalıplama yönteminde kullanılan bileşikler çeşitlilik göstermektedir ancak temel olarak iki çeşit hazır kalıplama yöntemi kullanılmaktadır ve bunlar hazır kalıplama pestili olarak adlandırılan SMC ve hazır kalıplama hamuru adı verilen BMC'dir. Kalıp hazırlandıktan sonra kompozit üretimini hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilen bu üretim yöntemiyle sanayide sıkça karşılaşılmaktadır. Çocuk parkı ekipmanları, kompozit kutular ve kasalar, yüzey kalitesi yüksek araç parçaları, seyirci sandalye ve oturakları, geri dönüşüm kutuları bu üretim metodu ile yapılabilmektedir (Yavaş, 2009).

Hazır kalıplama ile karmaşık yapıların üretilmesi, kompozit içine farklı yapılar yerleştirilebilmesi, istenilen kalınlıklara sahip ürünler elde edilmesi, her iki yüzde de istenilen farklı şekillerin yapılabilmesi ayrıca vidalama ya da herhangi bir işlevsel delik açma gibi avantajlar mümkündür.

Bu üretim yönteminin dezavantajları ise kompozit kalıplama bileşenlerinin saklama koşullarının güç oluşu, kalıp ve kalıplama malzemelerinin maliyetlerinin yüksekliği ve büyük parçaların üretiminde karşılaşılan zorluklar olarak sayılabilir.

1.4.7 Vakum İnfüzyon Kalıplama (VARTM)

Bu üretim yönteminde takviye malzemeleri kalıba yüksek performans beklenen yönlerde üst üste serilir. Tüm takviye malzemelerini örtecek şekilde soyma kumaşı uygulanır. Takviye elemanlarının etrafına daha sonradan üstüne vakum torbası yerleştirilecek olan sızdırmazlık macunu yapıştırılır. Üretimin yapılacağı kalıbın yapışmaz yüzey özelliklerine sahip olması ya da bölgeye kalıp ayırıcı torba uygulanması daha sonra kompozitin kalıptan ayrılmasına yardımcı olur. Takviye elyafının üstüne reçinenin ilerlemesini sağlamak için reçine infüzyon filesi serilir. Reçine giriş çıkışı için belirli bölgelere spiral hortumlar yerleştirilir. Bu hortumların sayısı ve yerleştirileceği yerler kalıp şekline, üretim boyutuna ve üretim parametrelerine göre değişiklik göstermektedir. Vakum torbası sızdırmazlık

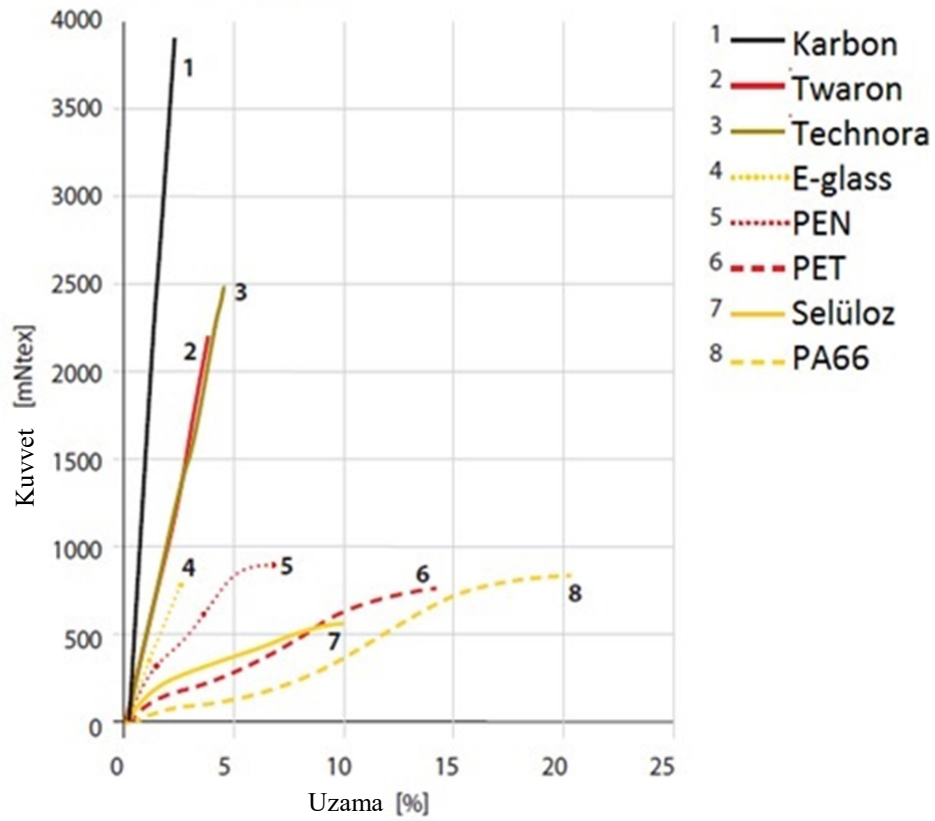
macununa yapıştırılır ve sisteme reçine giriş çıkışını sağlayacak delikler vakum torbasına açılır. Bu delikler T borular ile etrafları hava geçirmeyecek şekilde sızdırmazlık macunu ile kapatılarak vakum ve reçine borularının montajıyla hava geçirmez hale getirilir. Reçine verilmeden önce reçine hortumu kapatılır ve kalıba vakum uygulanır. Sistemin hava geçirmez olduğundan emin olunmalıdır. Hava geçirmezlik onaylandıktan sonra reçine hortumundan reçine akışı başlatılır. Vakum hortumu tarafından sistemin içindeki hava emilirken yerine reçine gelmektedir ve takviye elemanı vakum torbasının içinde reçineyle kaplanmaktadır. Reçine bütün takviye elemanlarını kaplayıp vakum borusuna reçine gelene kadar bu işlem devam eder. Daha sonra vakum ve reçine hortumları basınç altında kapatılarak reçine kürlenme süreci beklenmelidir. Reçine sertleşmesi (kürlenmesi) tamamlandıktan sonra vakum torbası, infuzyon filesi ve soyma kumaşı kompozitten soyulur. Bu üretim metodu için genellikle düşük yoğunluklu reçineler tercih edilmektedir (Sadeghian ve diğer., 2006)

Çok yüksek lif-hacim oranı elde edilebilen bu yöntemde yüksek mukavemet isteyen parçalar üretilmektedir. Üretim sarf malzemeleri çok maliyetlidir. Yoğun işçilik isteyen bir yöntemdir. Gelişmiş bir yöntemdir ve basamakları kısmen karışıktır ancak geleneksel yöntemlere göre çok daha üstün özellik göstermektedirler. Tek taraflı bir kalıba ihtiyaç duyar ve kalıba yüksek mukavemetler uygulanmadığından kalıp kalitesinin çok önemi yoktur. Büyük parçaların üretimine olanak verir. Birçok kalıp modifiye edilerek VARTM tekniği için uygun hale getirilebilir (Padaki ve diğer., 2016). Düşük yoğunluklu reçine kullanımı kompozit performansını düşürebilir. Reçine ilerleme hattında çıkan sorunlar nedeniyle reçineyle ıslanmamış alanlar kalabilir.

1.5 Tekstil Takviyeli Kompozitlerde Kullanılan Yüksek Performans Lifler

Yüksek mukavemet ve elastisite modülünün yanı sıra düşük yoğunluk ve yüksek mekanik özellikler sergileyen ve kullanım alanlarında beklenen, üstün mekanik performans özellikleri gösteren liflere yüksek performanslı lifler denilmektedir (Çelikkanat, 2002).

Tarih boyunca en çok bilinen ve kullanılan liflerin aksine yüksek performanslı lifler daha pahalı, çok yüksek mukavemetli, güç tutuşur ve kullanım alanlarına uygun şekilde opsiyonel özellikleriyle alanlarına uygun yüksek performans gösteren liflerdir. Normal lifler ile karşılaştırıldıklarında bu lifler oldukça pahalıdır. Günümüzde kullanılan Aramid, cam, karbon ve bazalt lifleri bu kapsamda incelenirler. Şekil 1.3’de karbon, Twaron (aramid), Technora (aramid), E-glass (cam), PEN, PET, Selüloz ve PA66 liflerinin yük-uzama grafiği verilmiştir. Yüksek performanslı lifler isteğe ve kullanım alanına göre filament olarak ya da kesikli elyaf olarak kullanılabilirler (Afshari ve diğer., 2008).



Şekil 1.3 Yüksek performanslı lifler ile belli başlı bilinen liflerin yük-uzama grafikleri (1,2,3,4 Yüksek performanslı lifler, 5,6,7,8 sıradan sentetik ve selülozik lifler) (Teijin, 2018)

1.5.1 Aramid Lifleri

Aromatik Poliamidler sınıfı alifatik poliamidlerden tamamen farklı özellikler gösterdiği için bunlara Amerika Federal Ticaret Komisyonu tarafından 1974'de "Aramid" ismi verilmiştir. Ticari olarak ilk Aramid lifi A.B.D.'de DuPont tarafından 1965'de tanıtılmıştır. Bu meta-aramid'in ismi Nomex'tir (Tunç, 2012).

Bu gruptaki lifler iki grupta incelenmişlerdir. Bunlar yanmaya ve tutuşmaya karşı dayanıklı güç tutuşur meta-aramid lifleri ve mukavemet ve modulus olarak yüksek performans göstermekte olan para-aramid lifleridir. Ancak aramidler grubunda her iki özelliğe de uygun lifler de bulunmaktadır.

1.5.1.1 Meta-Aramidler

Bu lifler genel olarak ısı dayanımı, güç tutuşurluk ve yüksek sıcaklıklarda moleküler yapılarını koruma özellikleriyle karşımıza çıkmaktadırlar. Bu sebepten genel olarak yanmaması, tutuşmaması, erimemesi istenen itfaiye elbiseleri gibi yüksek ısı ve sıcaklık altında çalışılması beklenen alanlarda kullanılmaktadırlar (Yang 1993). Bu lifler ortalama bir modüle sahip olan ancak mükemmel ısı dayanımı gösteren, yaklaşık olarak 600-800 derecelere kadar bozunma, erime, yanma gözlemlenmeyen liflerdir (Tanner ve Knoff, 1989). Dupont firmasının Nomex ve Teijin firmasının Conex ürünleri piyasada sıkça karşılaşılan güç tutuşur aramid lifleridir.

Meta- aramid lifleri üretim aşamasında pigment eklenmesi işlemi ile istenilen renklerde elde edilebilir. Bunun yanında kendi renkleri genel olarak sarı ve turuncu tonlarındadır (Mukhopadhyay ve Joyce, 1993).

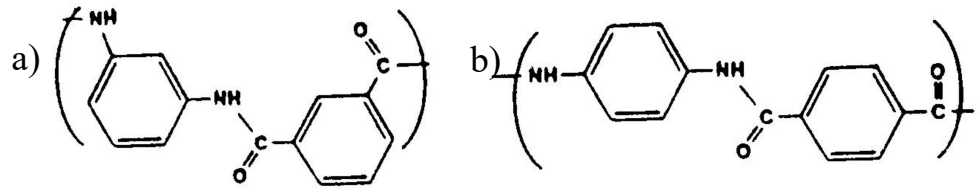
1.5.1.2 Para-Aramidler

Genellikle yüksek mukavemet gerektiren, darbelere, çekmelere, sürtünmelere ve bası kuvvetlerine karşı yüksek performans gösteren liflerdir. Uçak gövde ve parçaları, uzay ekipman ve roketleri, çelik yelekler, balistik dayanıklılık gerektiren ekipmanlar, kasklar, kesilmeye dayanıklı malzemeler, motorlu taşıt koruyucu kıyafetleri ve ekipmanları bu elyaf türünden üretimine uygundur ve piyasada bu elyaf çeşidinden üretilen ürünlere rastlanmaktadır (Teijin, 2018).

Para-aramidlerden Kevlar (ticari ismiyle)'ı Dupont 1970'lerde tanıtmıştır. Bu lif yüksek sıcaklıklara da dayanabilen, yüksek modüllü ve mukavemetli bir elyafır (Hongu ve Phillips, 1993). Dupont firmasının aramid lifleri temelde poli(p-fenilen tereftalamid) kimyasal yapısında olup, Kevlar 29, Kevlar 49, Kevlar 149 ve Kevlar 981 gibi opsiyonel özellikli farklı ticari isimlerde piyasada bulunmaktadır.

Bunun dışında Akzo Nobel'in Twaron'u ve Teijin firmasının kopolimer aramidi Technora piyasaya dahil olmuştur. Daha sonra 2000 yılında Teijin Twaron'u satın almış ve Teijin Twaron olarak piyasada yer almaya devam etmiştir. Twaron'un kimyasal yapısı Şekil 1.4'de gösterilmiştir. Technora poli(p-fenilen tereftalamid) ile poli(3,4-oksidifenilen tereftalamid) polimerlerinin kopolimerleşme tepkimesi ile oluşmuş bir aramid elyafıdır (Tanner ve Knoff, 1989).

Para-aramidler kimyasal yapı olarak meta-aramidlerden farklıdır. Şekil 1.4'de para-aramid ve meta aramid kimyasal yapı farklılıklarını göstermektedir (Teijin, 2018).



Şekil 1.4 Meta aramid Para aramid (a)Meta-aramid:poly(m-fenilenisoptalamid) (b)Para aramid: poly(p-fenilentereftalamid)

Para-aramid elyafın sahip olduğu yüksek mukavemet (mükemmel mukavemet-ağırlık özellikleri), yüksek modül, yüksek boyutsal stabilite, mükemmel ısı, kesme ve kimyasal madde dayanımı, erime dayanımı, güç Tutuşurluk, yalıtkanlık (Teijin, 2018) özelliklerin yanı sıra Tablo 1.2’de farklı çeşitlerdeki para-aramid Twaron iplik türlerinin bazı mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.2 Para-aramid Twaron çeşitlerinin bazı mekanik özellikleri (Teijin, 2018)

Twaron (Para- Aramid)	İplik no. (dtex)	Çekme Dayanımı (Nm/Tex)	Modül (Gpa)	Kopma Uzaması (%)
Standart	420-3.360	1.650 – 2.200	60 - 80	3,0 – 4,4
Yüksek Modüllü	420-24.150	2.100 – 2.300	100 - 120	2,2 – 3,0
Yüksek Çeki Dayanımlı	420-3.360	2.350 – 2.500	85 - 95	3,3 – 4,0

Aramid liflerinin genel kullanım alanları balistik koruma, kesilme dayanımı beklenen yerler, ısıya karşı koruma gerektiren yerler, filtreler, dokuma kayışlar, ısı geçirmez keçeler, yüksek performans beklenen elektrik şebekesi desteklemeleri, bağlayıcı torbalar, termoset kompozitler (uçak parçaları, spor eşyalar, basınç kapları, elektrik devre kartları), termo plastik kompozitler (iş makinası ve elektronik ekipman parçaları) ve fren debriyaj balatalarıdır. Bu lifler kullanım alanına göre filament, kesikli elyaf formlarında ya da dokusuz yüzey, dokuma, örme gibi yapılarda bulunabilirler.

1.5.2 Cam Lifleri

Bu lifler kompozit sanayide kullanım alanı en geniş yüksek performanslı liflerdir. Polimer matrislere en uygun lif türüdür. Hem termoset hem de termoplastik matrislerde kullanımı çok uygundur (Pamuk, 2009).

Cam lifleri normalde, silisyum (%50-60 SiO_2) esaslıdır ve ayrıca bor, alüminyum, kalsiyum, demir, sodyum gibi elementlerin oksitlerini içerebilir. Bor ve alüminyum gibi oksitler daha çok cam liflerinin belirli özelliklerini arttırmak ya da azaltmak için kullanılır. E ve S cam lifi çeşitlerinde K_2O ve Na_2O miktarı azdır. Cam lifleri rastgele diğer moleküllerin uzun silikon zincirlere bağlanması ile oluşmaktadır ve bu cam liflerine 3 boyutlu bir yapı kazandırır. Bu özellikler cam elyafını izotropik ancak kristal olmayan bir malzeme yapar (Pamuk, 2009). Ağırlık oranı olarak, E-cam ve S-cam'ın madde içerikleri Tablo 1.3'de verilmiştir.

Sürekli cam elyafı üretiminde cam eritilir ve çapı 5-25 mikron arasında değişen filamentler halinde düzelerden çekilerek sarılır. Kompozit imalatında cam elyafı çeşidi olarak en çok E ve S camlar kullanılır. E-cam kompozit üretiminde sanayide en çok kullanılan cam çeşididir ve iyi mukavemet özellikleri gösterir. S-cam ise lif çekimi uygulandıktan sonra filament formundayken oldukça mukavemetlidir ve gelişmiş kompozit üretimlerinde kullanılmasının yanı sıra kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Fiyat olarak S-cam E-camdan 3-4 kat fazladır (Pamuk, 2009).

Tablo 1.3 Ağırlık oranı (%) olarak, E-cam ve S-cam'ın madde içerikleri (Pamuk, 2009)

Molekül Çeşidi	E-cam	S-cam
Silikon dioksit	%52-56	%64-66
Kalsiyum oksit	%16-25	%0-0,3
Alüminyum oksit	%12-16	%24-26
Boron oksit	%5-10	-
Sodyum ve potasyum oksit	%0-2	%0-0,3
Demir oksit	%0-5	%9-11
Titanyum oksit	%0,05-0,4	%0-0,3
Fluorid	%0-0,8	-

Bir başka cam türü olan A-cam pencereler ve şişelerde kullanılırken kompozit sanayi için uygun görülmemektedir. C-cam ise yüksek kimyasal dayanım gösteren ve bu özelliği göstermesi beklenen kimyasal depolama tankları gibi yerlerde kullanılır.

Cam elyaflarının bileşiminde bulunan maddeler ve camın ısı geçmişi mukavemet özelliklerinin çoğunu kapsamaktadır. Aşındırıcılara, rutubete, biyolojik bozulmaya karşı dayanıklıdırlar. Cam liflerinin mukavemet özellikleri çapları, bileşimleri ve düzelerden çekim sıcaklıklarıyla oldukça bağlantılı olmasının yanı sıra farklı cam türleri birbirlerinden tamamen bağımsız ve bu parametrelere göre tamamen farklı özellikler göstermektedirler. A-camın mukavemeti çapına bağlı son derece farklılık gösterirken E-cam lif çapına göre mukavemetinde nerdeyse hiçbir farklılık göstermez. E-cam genel olarak bir yüksek performanslı lif olarak kabul edilir. Ancak mukavemetin üst düzeyde olması istendiği durumlarda maliyetine rağmen S-cam kullanılır (AGY, 2003).

Günümüzde cam elyaflarıyla yapılan kompozit çeşitlerinin mekanik özelliklerinin araştırılması için (Dev ve diğer., 2005) birçok araştırma yapılmaktadır. Bu araştırmalarla cam elyafının kompozit malzemelere yatırım malzemesi olarak kullanımının hem sarf malzemesi olarak uygun fiyatlı olması hem de cam elyafının mekanik özelliklerinin üstün performans göstermesi sonucu cam elyafının önemi belirtilmiştir.

1.5.3 Polietilen Lifleri

Polietilen lifleri genel olarak yüksek performanslı lifler değildir. Ancak molekül ağırlıkları değiştirilerek yüksek performanslı lif denebilecek üstün özelliklere ulaşabilirler. Bunlara “Yüksek molekül ağırlıklı Polietilen” lifleri denir. Bu lifler yüksek mukavemet ve sertlik değerlerinin yanı sıra iyi bir mukavemet/ağırlık oranına sahiptirler. Bu liflerin üretimi dünyanın birçok yerinde mevcuttur. PE liflerini bu denli yüksek performanslı lifler haline getirmek için belli başlı kriterler bulunmaktadır.

Bunlar ;

- PE ana molekülü olan etilen molekülünün yüksek kristalin yapıda bulunması ve makro molekül oryantasyonunun düzgün olması.
- Molekül zincirlerinin yapısında çok sayıda kıvrım bulundurması ve bu sayede yüksek esneklik gösterebilmesi.
- Bu denli yüksek molekül ağırlıklarına nazaran lineer bir makro molekül zinciri içermesi.

Son zamanlarda yapılan çalışmalar ile çeşitli özellikleri sağlayan birbirinden farklı PE lifleri üretilmiştir. Bu elyaf eriyikten çekilebildiği gibi çözeltiden de çekilebilen bir elyaf türüdür. Piyasada karşılaşılabileceğimiz yüksek molekül ağırlıklı PE lifleri Dyneema, Spectra, Tekmilon, Celanese ve Montefiber’dir (Çelikkanat, 2002).

1.5.4 Karbon Lifleri

Karbon lifleri (grafit veya grafit lifleri) çapı yaklaşık 5-10 mikrometredir ve çoğunlukla karbon atomlarından oluşur. Yüksek sertlik, yüksek gerilme mukavemeti, düşük ağırlık, yüksek kimyasal direnç, yüksek sıcaklık toleransı ve düşük termal genleşme gibi karbon elyaflarının özellikleri havacılık, inşaat mühendisliği, askeri ve motor sporlarında karbon elyafını diğer elyaflara göre popüler hale getirir. Bununla birlikte, cam elyafları veya sentetik elyaflar gibi benzer elyaflarla karşılaştırıldığında nispeten pahalıdır (Fung, 2000).

Karbon elyafı genellikle bir kompozit oluşturmak için çeşitli tek yönlü kumaş veya dokuma formlarına dönüştürülür. Plastik bir reçine ile birleştirildiğinde ve sarıldığında veya kalıplandığında, çok yüksek bir mukavemet / ağırlık oranına sahip olan ve bir şekilde kırılma olmasına rağmen son derece sert olan karbon fiber takviyeli kompoziti oluşturur. Bununla birlikte, karbon fiberler ayrıca, çok yüksek bir ısı toleransına sahip olan karbon-karbon kompozitlerini oluşturmak için grafit gibi başka malzemelerle de birleştirilir (Northolt ve diğer., 2005).

Her karbon filament, ham madde olarak bilinen poliakrilonitril (PAN), rayon veya petrol zifti gibi bir polimerden üretilir. PAN veya rayon gibi sentetik polimerler için, ilk önce tamamlanmış karbon fiberi bitmiş ürün fiziksel özelliklerini artıracak bir şekilde polimer atomlarını hizalamak için kimyasal ve mekanik işlemler kullanılarak, filament ipliklere dönüştürülür. İplik bükme sırasında kullanılan öncül bileşimler ve mekanik işlemler üreticiler arasında farklılık gösterebilir. Çekme veya eğirme işleminden sonra, polimer filament iplikleri karbon olmayan atomları uzaklaştırmak için (karbonizasyon) ısıtılarak nihai karbon fiber üretilir. Karbon elyafı filament iplikleri, kullanım özelliklerini geliştirmek için daha sonra işleminden geçirilebilir ve daha sonra bobinlere sarılır (Edie, 1997).

1.6 Kompozitlere Takviye Malzemesi Olarak Kullanılan Tekstil Yapıları

Günümüzde takviye malzemesi olarak tekstil yapılarının kullanımı kompozit üretiminde yaygındır. Dokuma, örme, dokusuz yüzeyler, saç örgüsü, tek yönlü kumaşlar ve iki yönlü kumaşlar kompozit üretiminde kullanılan tekstil yapılarıdır. Bu yapılar arasındaki tercih, istenilen özelliklere ve kompozit üretimi yapılacak olan şeklin biçim ve amacına göre değişiklik göstermektedir. Bu denli opsiyonel tercih aralığı sunması tekstil takviyeli kompozitleri hemen her alanda görmemize neden olmaktadır. Motosiklet kasklarından, roket kasalarına, koruyucu elbiselerden, tekne ve yat gövdelerine, uzay sanayinden, uçak gövdelerine ve spor malzemelerinin yapımında da kullanılan tekstil takviyeli kompozitlerin kullanımı üretim olanaklarının artması ve maliyet oranının azaltılmasıyla gün geçtikçe daha çok tercih edilmektedir.

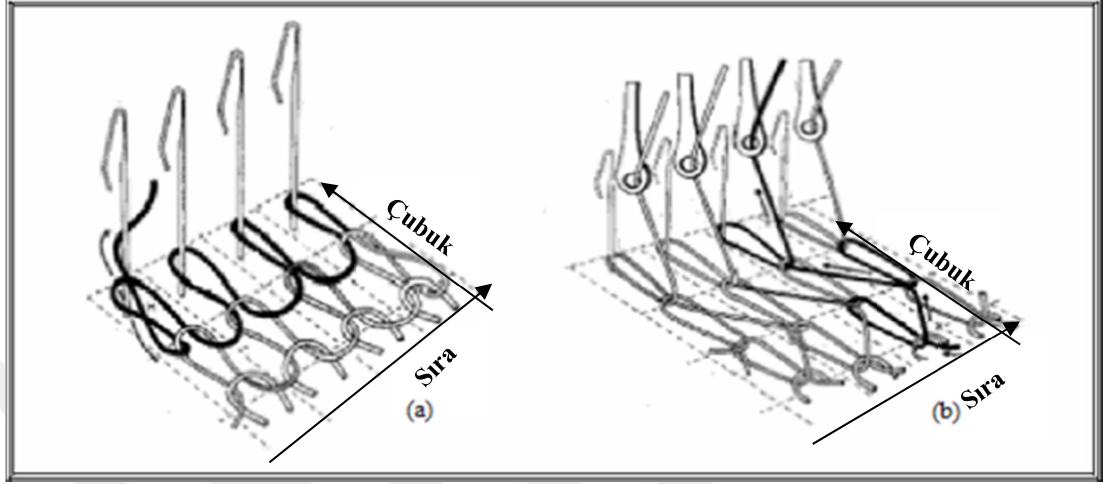
Bu alanda araştırılması ve fiziksel özelliklerinin anlaşılması önemli olan yapılardan biri örme kumaş yapılarıdır. Farklı örme yapılarının oluşturulması, örme yapılarının mukavemetinin güçlendirilmesi ve 3 boyutlu yapılarda(spacer) üretim olanağının geliştirilmesiyle örme kumaşların kullanım alanı git gide yaygınlaşmaktadır.

1.6.1 Örme Kumaşlar

İpliklerin tek başına ya da eş zamanlı birlikte beslenmesi ile örücü elemanların (iğnelerin) ipliklere ilmek formunu kazandırarak yan yana ve boylamasına bağlantılar oluşturulması sonucunda tekstil yüzeyi elde etme işlemine örme adı verilir (Ertekin ve Marmaralı, 2010).

Örme kumaşlar başlıca 2 grupta incelenirler. Bunlar çözgü örmeciliği ve atkı örmeciliği kumaşlarıdır. Çözgü örmeciliğinde çözgü levendinden gelen çözgü iplikleri her bir iğneye beslenir. Bunun sonucu olarak kumaş boyu yönünde birbiriyle bağlantılı ilmekler oluşturulur ve boyu yönünde de çözgü ipliklerinin beslenmesiyle kumaş oluşumu gerçekleşir (Power, 2018). Atkı örmeciliğinde ise tek bir bobinden

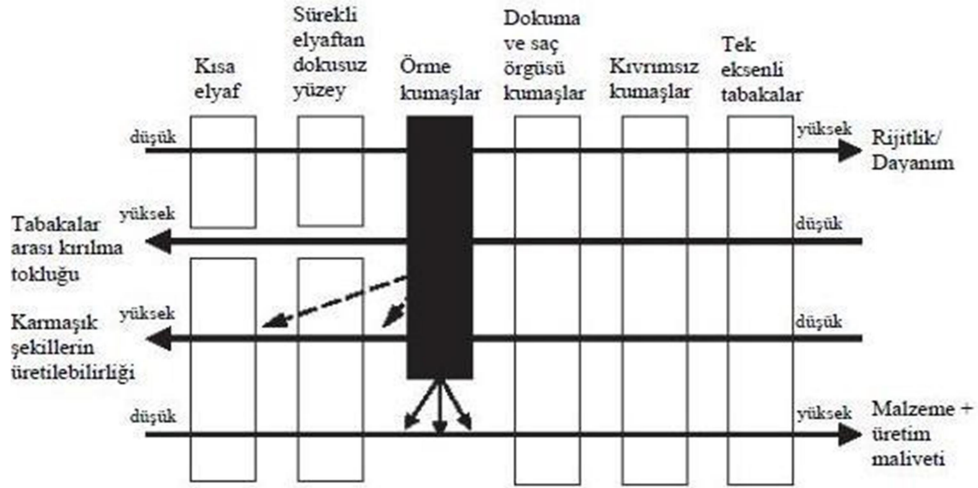
iğnelere iplik beslenerek ilmek oluşumu kumaş eni boyunca birbirleriyle bağlantılı olacak şekilde kumaş elde edilir. Şekil 1.6’da atkılı ve çözgülü örme yapıların oluşumu şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.6 Örme yapıları a) Atkılı örme yapısı b) Çözgülü örme yapısı (Pamuk, 2009)

1.6.1.1 Örme Kumaş Takviyeli Kompozitler

Kompozit yapılara bakıldığında güçlendirilmiş tekstil takviyeli kompozitler genellikle darbe yüklerindeki yüksek mukavemet, sertlik ve hasar toleransına sahip olmaları nedeniyle örme, dokuma, saç örgülü veya tek yönlü yapılar kullanılarak üretilirler. Şekil 1.7’de farklı kumaş yapılarının rijitlik, kırılma tokluğu, karmaşık şekiller üretilebilme ve malzeme üretim maliyeti ile ilgili karşılaştırma yapılmaktadır.



Şekil 1.7 Tekstil takviyeli kompozit yapılarının karşılaştırılması (Alpyıldız ve diğer., 2009)

Örme kumaş kompozitler diğer elyaf takviyeli kompozitlerle karşılaştırıldığında yüksek şekil alabilirlik ve yüksek darbe dayanımına sahiplerdir (Abounaim, 2006). Karmaşık şekillerde parça üretmek için, kesim, işçilik, montaj işlemleri gerekmektedir ve bu durum malzemenin israf olmasına, üretim maliyetlerinin artmasına, malzeme üretiminin süresizliğine ve montaj bölgelerinde zayıflığa yol açar. Örme kumaşların şekil alabilirliği kompozit üretimindeki karmaşık yapıların üretimindeki çözümleri karşılamıştır. Örme kumaşlarının ilmek şekillerinin değişebilmesi sayesinde dokuma kumaşlara kıyasla yüksek örtme kabiliyeti göstermişlerdir. Özellikle de istifleme ile kompozitlerde mükemmel özellikler elde edilebilmiştir (Luo ve Verpoest, 2002). Ayrıca örme kumaş içine yerleştirilen düz yatırımlar sayesinde örme kumaşların çeki dayanımı da yüksek oranda artırılabilir. Örme kumaşlar maliyetinin düşük olması ve şekil alabilme yeteneğinin yüksek olması nedeniyle birçok araştırmaya konu olmuştur (Pandita ve Verpoest, 2004). Örme ve dokuma kumaşların üstün özelliklerinin birlikte kombine edilip bir kompozit üretilmesi gibi çalışmalara da yer verilmiştir (Aktaş ve diğer., 2013). Ayrıca örme ve dokuma teknikleri birleştirilerek elde edilen 2 boyutlu tek katlı kumaşların üretilip test edildiği çalışmalar da bulunmaktadır (Xu ve diğer., 2014).

Anand Nahar ve Alagirusamy (1999), yaptıkları çalışmada cam elyafın sıra yönünde tek yatırımlı, iki yatırımlı ve yatırımsız 1x1 rib yapısında örme kumaş

takviyeli kompozitlerin çekme, eğilme ve darbe performanslarını incelemişler. VARTM yöntemi ile kompozit üretimi yapılmıştır. Hava baloncukları vakumlanarak alınmıştır. Darbe enerjisi olarak 25J da çalışılmıştır. Takviye kumaş içerisindeki sıra yönünde yatırım ile çubuk doğrultusundaki çekme dayanımları hariç çekme, eğilme ve darbe dayanımlarının arttığını görmüşlerdir. Performanslarda sağlanan iyileşme, lif hacim oranındaki artış ile açıklanmıştır. Takviye kumaşa yatırım sayısının artmasıyla kompozit performansında anizotropinin de arttığı ifade edilmiştir. Çalışmada hesaplanan hasar tolerans indeksine göre en iyi sonucunu tek yatırımlı takviye kumaş kullanımı ile elde edildiği belirtilmiştir; tek yatırımın optimum yatırım ipliği yapısına sahip olduğuyla ifade edilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak yatırım ipliklerin mukavemet artırıcı etkisi olduğu görülmüştür.

Sugun ve Rao (2000), çalışmalarında sıra yönünde yatırımlı 1x1 rib örme yapısında kumaş takviyeli kompozitlerin darbe davranışı incelenmiştir ve ağırlıkça aynı lif miktarına sahip 2x2dimi yapısında dokuma kumaş takviyeli kompozitlerin performansı ile karşılaştırılmıştır. 6 farklı numarada yatırım ipliği kullanılarak örme kumaş takviyeli kompozitler VARTM yöntemiyle üretilmiştir ve kompozitlere küresel darbe ucu ile 67J enerjide serbest düşme darbe testi yapılmıştır. Sonuç olarak 3000tex ve üzeri numaralarda yatırım ipliği içeren örme takviyeli kompozitlerin dokuma kumaşlardan daha iyi enerji sönümleme özelliğinin olduğu belirtilmiştir.

Pandita ve diğer. (2002), çalışmalarında cam elyafından 1x1 rib, Milano, tam Selanik, interlok ve yatırımlı rib yapısındaki atkılı örme kumaş takviyeli kompozitlerinin 3, 5, 7J/mm yüklemeleriyle darbe özellikleri araştırılmıştır. Darbe hasarı tespiti için ultrasonic C-arama ve X-ışını tomografisi yöntemleri kullanılmıştır. Örme kumaş takviyeli kompozitlerin eğilme modunda; çeki ve bası hasarları olarak hasara uğradığı tespit edilmiştir. Bir delaminasyon oluşturmak için gereken kuvvetlerin darbe kuvvetinden daha yüksek olması nedeniyle örme kumaş kompozitlerde delaminasyon gözlenmediği belirtilmiştir. Darbe hasar profilinin kompozitlerin çekme dayanımlarındaki anizotropi ile yüksek derecede ilintili olduğunu; rib gibi yüksek anizotropiye sahip örme kumaş takviyeli kompozitlerde

darbe hasarının çekme özelliklerindeki en zayıf yöne dik olarak sıra yönünde ilerlediği tespit edilmiştir. Milano gibi düşük anizotropiye sahip yapıdaki kumaş takviyeli kompozitlerde ise darbe hasarının tüm yönlere doğru yayıldığı gözlenmiştir. Dokuma kumaş kompozitlerine kıyasla örme kumaş kompozitleri daha fazla enerji sönümlendiği ifade edilmiştir. Her ne kadar incelenen örme kumaş yapıları arasında yatırımlı ribana olduğu belirtilse de bu çalışmada rib ve Milano yapılarında örme kumaş takviyeleri karşılaştırılarak incelenen tamamlanmıştır.

Khondker ve diğer. (2005), çalışmalarında E-camdan atkılı Milano rib, 1x1 rib ve düz örme kumaş takviyeli kompozitlerin darbe ve darbe sonrası bası performanslarını örme kumaş çeşidi ve örme kumaşın yapısal parametrelerini göz önünde bulundurarak incelemiştir. Darbe uygulanan malzemelerin hasar modunu ve hasar mekanizmalarını araştırdılar. Sonuç olarak örme kumaşlarda darbe dayanımını, kumaş parametrelerinin de kumaş çeşidinin de etkili olduğu sonucunu rapor ettiler. İlmek yoğunluğunun artmasıyla darbe dayanımının olumlu yönde etkilendiğini ve örgü yapısı açısından 1x1 rib kumaşın darbeye de darbe sonrası bası (CAI) testinde de daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Dev ve diğer. (2005), çalışmalarında bükülü ve bükümsüz cam filamentlerin yatırım ipliği olarak kullanmanın rib yapısında örme kumaş takviyeli kompozitlerin çekme, eğilme ve darbe dayanımlarına etkilerini incelemiştir. Tabakalı kompozit üretiminde [0/0] ve [0/90] takviye yerleşim yönleri kullanılmıştır. Kompozitler VARTM ile üretilmiştir. Kompozitlerin %WF (lif ağırlık oranı) değerleri verildi ve %25 takviyesiz, %28 tek takviyeli, %32 çift takviyelidir. Cam fitilinin örülmesiyle ilgili sorunlar yaşanmış ancak iplik besleme gerginliğini azaltılarak ve sürtünmeyi azaltarak kırılma en aza indirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca bükümlü cam fitilinin kullanılması, örme sırasında cam liflerinin kırılmasını azaltmak amaçlıdır. Yatırım ipliğinin sıra yönünde olması sebebiyle kompozitlerin sıra doğrultusundaki performanslarında iyileşme gözlenirken çubuk doğrultusundaki çekme dayanımları ve elastisite modüllerinde bir değişim gözlenmemiştir. Takviye yerleşim açısındaki farklılığın ise kompozitlerin çekme performanslarında bir değişime sebep olmadığı belirtilmiştir. Çekme performansları açısından yatırım ipliği olarak bükülü ya da

bükümsüz fitil kullanılması bir değişikliğe sebep olmamıştır. Yatırım ipliği ilavesi ile kompozitlerin sadece sıra yönündeki eğilme performansları iyileşirken sıra ve çubuk doğrultusundaki eğilme dayanımları birbirine yaklaşmıştır. Eğilme performansları açısından yatırım ipliği olarak bükülü ya da bükümsüz fitil kullanılması bir değişikliğe sebep olmamıştır. 0/90 takviye yerleşimi ile eğilme ve darbe performanslarında iyileşme gözlenmiştir. Bükümsüz cam elyaf takviyeli kompozitler bükümlülere göre daha iyi darbe performansı göstermiştir; bükümlü ipliklerin bükümsüz ipliklere göre daha az reçine yapışma yüzeyine sahip olması ile açıklanmıştır. Çalışma cam elyafı kullanılarak yapıldığı için örme işlemi esnasında oluşan elyaf hasarı göz önüne alındığında bu açıdan bükümlü fitil kullanılmasının sağlayabileceği avantajlar bulunmakla birlikte cam elyaf doğası gereği oluşan mukavemet düşüşü göz önünde bulundurulmalıdır;

Alpyıldız ve diğer. (2009), çalışmalarında 7E makine inceliğinde düz örme makinasında 2x68 cam iplik kullanarak ürettikleri 1x1 rib ve Selanik türevi kumaşları 4 kat olacak şekilde takviye malzemesi olarak kullanıp epoksi reçineyle vakuminfüzyon yöntemiyle ürettikleri kompozitlerin çeki, bası, darbe ve darbe sonrası bası performanslarını incelediler. Örgü yapısı askı ilmeği içeren Selanik türevi örme kumaş takviyeli kompozitlerde çekme dayanımının, rib kumaş yapısına sahip kompozitlerden sıra yönünde daha yüksek sonuç verdiğini rapor ettiler. Bunun sonucu olarak askıların kompozite takviye olarak kullanılan kumaş yapısında olmalarının, kompozitlerin sıra yönünde çeki dayanımı açısından olumlu bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı şekilde çubuk doğrultusunda yapılan testte ise Selanik türevi kumaş, rib kumaştan düşük performans sergilemiştir. Bunun sonucu olarak çubuk doğrultusundan yapılan çeki testlerinde askılı yapıların kompozit mukavemetine etkilerinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Yapılan bası testinde Selanik türevi kumaş takviyeli kompozit, her iki yönde de ribana yapısındaki örme kumaş takviyeli kompozite göre düşük bası dayanımı göstermiştir. Bunun sonucu olarak askıların çeki ve bası mukavemetine olumlu bir etkisi olmadığı ancak sıra ve çubuk doğrultularında birbirine yakın performanslar göstererek ribana takviyeli kompozitlere kıyasla daha izotropik davranış gösterdikleri tespit edilmiştir. Darbe dayanımları açısından ise Selanik türevi takviyeli kompozitlerin darbe

dayanımlarının daha yüksek olduğu, daha yüksek darbe enerjilerinde hasara uğradığı ve hasarın lokalize olduğu belirlenmiştir. Ribana kumaş takviyeli kompozitlere kıyasla askılı yapı(slanik) takviyeli kompozitlerin darbe sonrası bası performansları da daha yüksek bulunmuştur. Örme takviye malzemesi olarak askılı yapı kullanımının darbe davranışlarını geliştirdiği belirlenmiştir.

Abounaim ve diğer. (2011), yaptıkları çalışma Cam ve PP hibrit iplikleri kullanımı ile modifiye düz örme makinasında çok katmanlı farklı örme yapılarının geliştirilmesine yöneliktir. İplik olarak %52 cam elyafı ve %48 polipropilenden oluşan hibrit kullanılmıştır; böylece polipropilen reçine olarak davranması ile termoplastik kompozit elde edilebilmiştir. 7 farklı örme yapısında çift yüzöl, tek eksenli ve iki eksenli yatırım içeren sandviç örme kumaşlar geliştirilmiştir. Örme iplikleri 138tex ve yatırım iplikleri 1200 tex olarak seçilmiştir. Özel kalıp kullanılarak sıcak pres yöntemi ile lif hacim oranları $\%V_f = \%44-52,5$ ve kalınlıkları 0,45-0,75cm arasında değişen kompozitler üretilmiştir. Kompozitlerin çekme, eğilme ve darbe dayanımları incelenmiştir. Çekme ve eğilme performanslarının lif oryantasyonu (kumaş yapısı)nın yanında öme işlemi ile elyafa verilen zararlardan etkilendiği ifade edilmiştir. Darbe performansları açısından ise lif oryantasyonu kadar lif hacim oranının da etkili olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple de iki eksenli yatırım ipliğinin askı ilmekleri ile birlikte kullanımının hem darbe hem de çekme/eğilme performansları açısından etkili olabileceği ifade edilmiştir.

Balea ve diğer. (2014), çalışmalarında cam, bazalt ve karbon elyafı kullanılarak askı ve atlama ilmekleri ile bağlanmış yatırım ipliği içeren Futter yapısındaki takviye örme kumaş kullanımının kompozit malzemenin çekme performansına etkilerini irdelemiştir. Sıra doğrultusunda tüm tiplerde çekme performansında iyileşme gözlenmiştir. Ancak takviye kumaşların Futter iplik sayısı arttıkça şekil alabilirliğinin azaldığı ifade edilmiştir. Karbon elyaf kompozitlerin en iyi mekanik performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Futter ipliği kullanımının kompozit performansında anizotropiyi kontrol etme olanağı sağladığı belirtilmiştir.

Demircan ve diğer. (2015), çalışmalarında aramid ve poliamid filamentlerinin birlikte bükülmesiyle elde edilen ipliklerin kullanımı ile düz örme makinesinde ürettikleri sıra ve çubuk doğrultusunda yatırımlı düz örme kumaşların 0/0 ve 0/90 yerleşimleri ile 2 ve 10 tabakalı takviye olarak kullanılmasıyla elde edilen kompozitlerin çekme ve eğilme darbesi performanslarını incelemiştir. Polamid filamentler reçine olarak kullanılmıştır. Kompozit üretimi kalıp ve sıcak pres kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. ASTM-D303'e göre çekme ve JIS-K7084 standardına göre 3 nokta eğilme darbesi testleri gerçekleştirilmiştir. 3 nokta eğilme darbesi ile iki noktadan mesnetlenen düzlemsel numuneye 20J düşürme enerjisi ile darbe uygulanmıştır. Çalışma sonuçları 0/90 yerleşiminin çekme dayanımlarını düşürmekle birlikte darbe enerjisi sönümleme performansına olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir. Delaminasyonların çoğu maksimum yük sonrasındaki enerji tarafından oluşmuştur. Sonuç olarak 40 bükümlü yatırım ipliklerinin daha iyi sonuç verdiği ve aramid örme iplikli ve iki yönlü yatırımlı kumaş takviyeli kompozitlerin daha iyi enerji emme özelliğine sahip olduğu ifade edilmiştir.

Demircan ve diğer. (2015), yaptıkları çalışmada iki eksenli çözgülü örme kumaş takviyeli kompozitler için sıra ve çubuk doğrultularında yerleştirilen cam fitilinin farklı numaralarda kullanılmasının ve tabaka yerleşim açısının kompozitlerin darbe performansına etkilerini incelemiştir. İki farklı kumaş ağırlığına sahip (813 ve 1187 gr / m²) ve üç farklı takviye oryantasyonuna sahip [90we/0wa/90we/0wa]s, [90wa/0we/90wa/0we]s ve [90wa/0we/90we/0wa]s, kompozitler reçine transfer kalıplama yöntemi kullanılarak imal edilmiştir. Kompozit paneller üretildikten sonra numuneler üzerinde darbe testleri yapılarak hasar karakterizasyonu optik mikroskop ile belirlenmiştir. Daha numaralarda fitil yatırımlı takviye kumaşa sahip kompozitlerin daha yüksek darbe enerjileri sönümlendiği tespit edilmiştir. Kumaş katmanlarının takviye oryantasyonunun değiştirilmesi, kompozitlerin darbe özelliklerini etkilediği tespit edilmiştir. Lif yoğunluğunun 2 yönlü yatırımlı atkılı örme kumaş kompozitlerinin darbe özelliklerine etkisi, takviye oryantasyonunun dizilerinden daha baskın olduğu belirtilmiştir.

Hasani ve diğeri. (2017) yaptıkları çalışmalarında atkılı örme, 2 yönlü yatırımlı atkılı örme ve bu yapıların kompozit yapılarda takviye elemanı olarak kullanılması, geliştirilmesi, kullanım alanları ve avantaj dezavantajlarına değinerek, önceki çalışmalardan derlemeler yapıp, örme kumaş takviyeli kompozitlerin yorulma ömrü, kırılma tokluğu, şekillendirilebilirlik ve deformasyona karşı düşük direnç bakımından üstün olmakla birlikte, düzlem içi mukavemet ve sertlik açısından diğeri kompozitlere kıyasla düşük özelliklere sahip olduğu sonucu belirtilmiştir. Çalışmada örme kumaşların mukavemet eksikliğinin genellikle ilmek yapısından ve örme elemanlarının sürtünme ile ipliğe zarar vermesinden dolayı olduğuna değinilmiştir. Örme kumaşların ilmek kesişim/ayakları bölgeleri nedeniyle keskin kıvrımların ve örme işlemi sırasında örme elemanları ile iplik arasındaki sürtünmenin mukavemet düşürücü etkisi olduğu vurgulanmıştır. Örme kumaşlardan yapılan kompozitlerde düşük lif hacim oranı da mukavemette olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Bu eksikliği gidermek için kumaş aralarına düz atkı ve çözgü yönünde elyaf/lif yatırımı yapılması önerilmiştir ve bu iplik yatırımlarının kumaş yüzeyine çapraz şekilde yerleştirilebileceğine de yer verilmiştir. Bu düşünceler ve tasarımlarla 2 eksenli yatırımlı örme kumaşların (BWKF) geliştirildiği ve düz örme makinalarında çeşitli modifikasyonlarla bu kumaşların üretiminin mümkün olacağı ifade edilmiştir. BWKF'lerin geleneksel örme kumaş performansını arttırmak için en iyi yöntem olduğu görüşü savunulmuştur. Ancak çalışma kapsamında örme kumaş takviyeli kompozitlerin sadece düzlem içi yüklemeler karşısında performansları irdelenmiştir; düzlem dışı performansları olan darbe ve darbe sonrası bası gibi özelliklerine değinilmemiştir.

Hessami ve diğeri. (2019) yüksek mukavemetli poliestere ipliği kullanarak sıra ve çubuk yönünde yatırımlı rib yapısında örme kumaş takviyeli kompozit malzemenin eğilme ve çekme performanslarını incelemiştir. Yatırımlı rib kumaş takviyeli kompozitleri hem sıra hem de çubuk yönünde çekme ve eğilme dayanımları rib kumaş takviyeli kompozitlere kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Çalışma kapsamında ayrıca takviye kumaşın ve kompozit olarak performanslarının sonlu elemanlar ile modellenmesi de gerçekleştirilmiştir.

1.6.2. Kompozitlerde Takviye Olarak Örme Kumaş Kullanmanın Avantajları

Kompozit endüstrisinde örme kumaşlar takviye malzemesi olarak büyük avantajlar sağlamaktadır. Diğer tekstil takviyeleriyle kıyaslandığında dayanıklılık, sertlik, şekil alabilirlik ve kumaş üretim maliyetleri açısından örme kumaşlar multi-filament (kesiksiz elyaflar) dokusuz yüzeyler ile dokuma veya saç örgülü kumaşların arasında bulunmaktadır. Kompozitin mukavemeti ve rijitliği bakımından örme kumaş takviyeli kompozitler dokusuz yüzeylere göre daha üstün özellikler sergilemektedir. Dokuma kumaşlara göre ise nispeten daha az mukavemet göstermektedir. Örme kumaşların çeşitli takviye malzemelerine göre daha düşük performans göstermelerindeki parametrelerden en önemlisi lif-hacim oranıdır. Lif miktarının artırılması (iplik yoğunluğunun artırılması, dolgu veya sıklığın artırılması) ile veya ihtiyaç duyulan doğrultuda yatırım kullanımı ile mukavemet özellikleri güçlendirilebilmektedir (Abounaim ve diğer., 2011). Takviye ipliği atılan örme yapılarının içindeki takviye tek yönlü ise tek eksenli yapılar, iki yönlü atılmış yapılar ise iki eksenli ve daha fazla eksen kullanıldıysa çok eksenli yapılar olarak adlandırılırlar. Örme kumaşlar mukavemet ve rijitlik açısından incelenirse başka kumaş yapılarına göre daha izotropik bir davranış sergilemektedirler. Kompozit yapının içindeki ipliklerin/liflerin oryantasyonu örme yapıları ile belirlenebilmektedir. Daha karmaşık ve düzensiz yüzeyli yapıların üretimi incelenirse örme kumaş yapısına sahip kumaşlar, parçaların tamamının ek olmaksızın üretiminde kullanılabilmesinin yanı sıra köşeli, kenarlı ve keskin hatlı bölgelerde mükemmel örtme göstererek katlanma olmadan üretime olanak sağlamaktadırlar. Bu tür parçalar dokuma teknolojisiyle üretilecek olursa kesimden ya da katlanmadan kaçınmak çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu durum sarf malzemesi, işçilik, zaman ve birleşme bölgelerinde mukavemet düşüşüne neden olacaktır.

Teknik çalışmalarda kullanılacak atkılı örme kumaşlarda yapısal değişiklikler uygulamak gerekmektedir. Modifiye edilmiş makineler ile bu işlemler mümkün hale getirilebilmektedir. Yine de kompozit yapımında kullanılacak olduklarında sağladıkları değişik geometrik şekillerde üretilebilmeleri ve kolaylıkları yani üretim

serbestliği sağlamaları atkılı örme kumaşları şekilli kompozit uygulamalarında tercih edilen yapılar haline getirmektedir (Alpyıldız ve Kurbak, 2010).

Ayrıca darbe mukavemeti olarak incelenecek olursa örme kumaşların üstün özelliği birçok araştırmada kanıtlanmıştır. Enerji absorbe etme ve delaminasyon direnci olarak diğer yapılaraya göre çok daha mukavimdir. Ayrıca darbe direnci incelenirken takviyeli örme yapılarının kalın kumaşlardan üretilmektense ince birçok kattan üretilerek elde edilen kompozitlerin darbe dayanımlarının daha iyi olduğu rapor edilmiştir (Demircan ve diğer, 2015).

1.7 Çalışmanın Amacı

Aramid elyafından üretilen örme takviyeli kompozitler endüstride birçok alanda kullanılmaktadır ve etkinliği kanıtlanmıştır. Çeşitli tasarım olanağı, esnekliği, yüksek rijitliği, yüksek dayanımı ve düşük ağırlıkları nedeniyle kullanışlı olan bu kompozitleri uçak ve otomotiv sanayi başta olmak üzere birçok alanda metal ve ağır alaşımlı malzemelerin yerini alabilir durumda görmekteyiz. Genellikle ezilme, darbe enerjisini emme ve balistik savunma endüstrisinde karşılaşılan aramid elyafından yapılmış örme kumaş takviyeli kompozitlerin hali hazırda birçok çalışmaya konu olduğu ve bu çalışmaların devam ettiği bilinmektedir.

Bu çalışmada multi-filament aramid elyafından 1x1 rib düzeninde yatırımlı (dolgulu) ve yatırımsız (dolgusuz) takviye kumaşlar aynı makine ayarında V yataklı el örme makinasında üretilmiştir. 4 farklı tipte kompozit vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Her tip kompozitin üretiminde [0,0,0,0] ve [0,90,0,90] takviye yerleşim açılarında takviye kumaşlar 4 tabaka halinde kullanılmıştır. Örme kumaş takviyeli kompozitlerin eğilme, darbe ve darbe sonrası bası performanslarına yatırım ipliğinin etkisi ve yatırımlı kumaş yapısında yerleşim açısının etkisi irdelenmesi amaçlanmıştır. Üretilen kompozitlerin eğilme, darbe ve darbe sonrası bası (CAI) testleri yapılmıştır. Deney sonuçlarından grafiksel ve hasar modu yorumları yapılarak yatırım ve takviye yönüne bağlı olarak sonuçların irdelenmesi hedeflenmiştir

BÖLÜM İKİ

MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında para-aramid iplikten enine (sıra yönünde) yatırımı ve yatırımsız rib örme kumaşlar üretilmiştir. Aynı örgü yapısına sahip kumaşların farklı açılarda veya aynı açılarda serilmesiyle 4 katlı takviye kumaşları oluşturulmuştur, daha sonra da Vakum İnfüzyon metodu ile kompozit haline getirilmişlerdir. Elde edilen kompozit levhalardan standartlara uygun şekillerde kesim planı oluşturularak levhaların kesimi gerçekleştirilmiştir. Levhaların her birinden testler için uygun numuneler çıkartılmıştır. Eğilme ve darbe testleri için uygun boyutlara getirilen kompozit numuneleri eğilme, darbe ve CAI (darbe sonrası bası) testlerine tabi tutulmuştur.

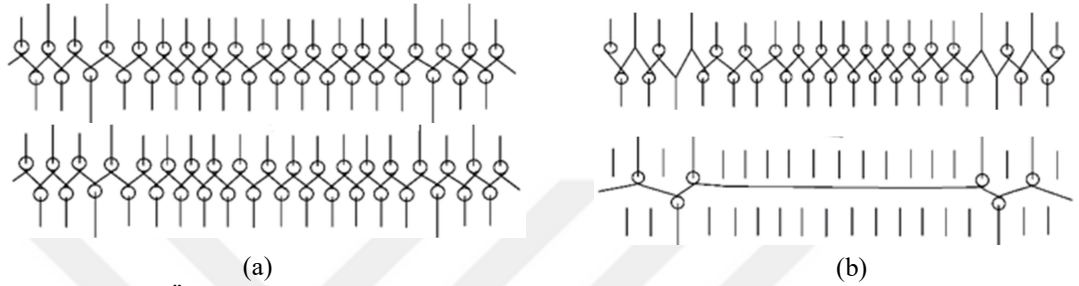
Kumaşları örmek için 1680 dtex para-aramid multifilament Twaron marka iplik kullanılmıştır. Kullanılan iplik özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir. Yatırımlı rib kumaşlarda da yatırım ipliği olarak aynı iplik kullanılmıştır.

Tablo 2.1 Kullanılan Twaron Marka para-aramid ipliğin özellikleri (Twaron datasheet, 2006)

Twaron Genel Özellikleri										
Elyaf çeşidi	Numara (nominal) (dtex)	Filament	Numara (efektif) (dtex)	Reklaksasyon Çekmesi (%)	Kopma Uzaması (%)	Kopma Yükü (Mpa)	Kopma Kuvveti (N)	Modül (Gpa)	Bobin Ölçüleri (mm)	Bobin Miktarı x Bobin Ağırlığı (kg)
Standart Modül İplik	1680	1000	1730	0,8	3,55	2916	350	71	290x94	2x9,0/0x4,5/54x9,0/90x4,5
Genel Özellikler			Birim	Değer						
Tutuşma			(%)	29						
Sıcak hava çekmesi (15dk 190 derece sıcaklık)			(%)	0,1						
Sıcaklık dayanımı (48x200 dereceden sonra kalın dayanım)			(%)	90						
Bozunma sıcaklığı			(°C)	>450°						
Yoğunluk			(g/cm3)	1,44						

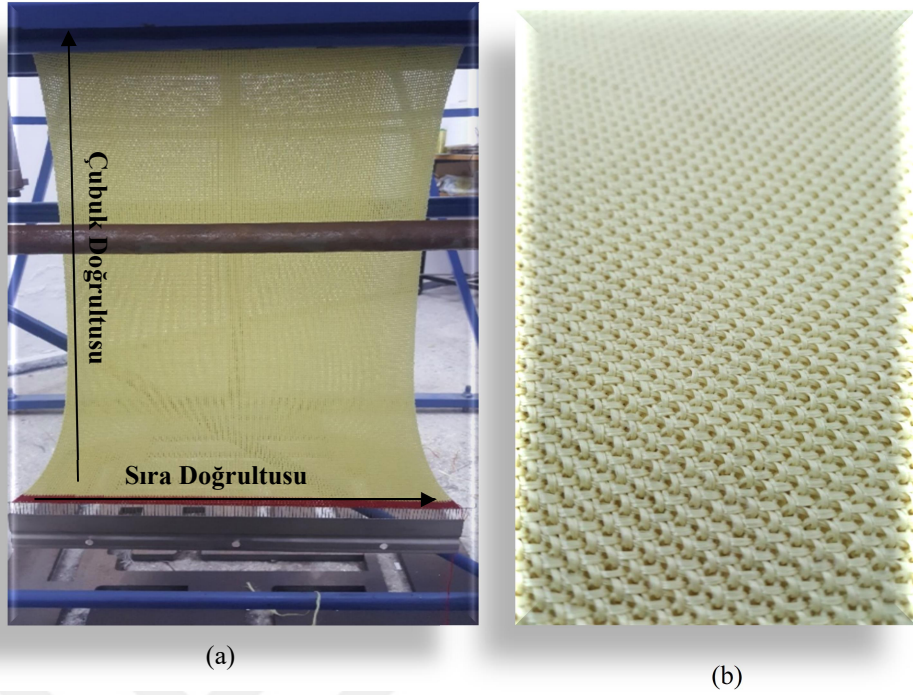
2.1 Kumaş Üretimi

1680dtex iplik Dokuz Eylül Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Örne Laboratuvarında bulunan 7E V yataklı düz örme makinasında, iplik gerginlikleri ve kumaş çekme ağırlıkları eşit tutularak yatırılmış ve yatırılmış rib örme (Şekil 2.1) yapısında kumaşlar üretilmiştir.



Şekil 2.1 Örne kumaşların örgü raporları: a) Rib örme kumaş b) Yatırılmış rib örme kumaş

Örne işlemi esnasında yatırım iplikleri sıra yönünde ilmeklerin içine yerleştirilmiştir; yatırım iplikleri kumaş eni boyunca askı ilmeği ile tutturulmamış olup düz durarak pozisyonlarını korumaları sağlanmıştır. Üretilen kumaşlarda lif sürekliliği vardır. Kumaş oluşumu ve üretilen kumaş Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 (a) Örmek makinası üzerinde kumaş oluşumu, (b)Çekim gerginliği altında kumaş görünümü (Kişisel arşiv, 2019)

2.1.1 Kumaş Özelliklerinin Belirlenmesi

Kumaşlar ölçümler yapılmadan önce düz bir zeminde oda sıcaklığında 48 saat kuru relakse edilmiştir.

Kumaşlardan yatırımsız rib yapısında üretilenler B(basic) ve sıra doğrultusunda yatırımlı rib yapısında üretilenler C (coursewise) kodu ile tanımlanmıştır.

2.1.1.1 Kumaşların Gramajının Hesaplanması

Elde edilen kumaşların gramajları, Dokuz Eylül Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında hassas tartı kullanılarak m^2 ağırlık hesapları yapılmıştır; her bir takviye kumaşının ağırlığı hassas terazide ölçülerek alan hesabından $1 m^2$ kumaşa göre hesaplanmıştır. 4 farklı kompozit tipi için 4er tabaka takviye kumaş kullanımı söz konusu olduğu için 16 tanesi yatırımlı ve 16 tanesi yatırımsız olmak üzere 32 adet takviye kumaşın gramajları ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Tablo 2.2’de

yatırımlı rib yapısındaki kumaşlar (C) ve yatırımsız rib yapısındaki kumaşlar(B) için birim alan ağırlıkları (gr/m^2) verilmiştir.

Tablo 2.2 Takviye kumaşların gramajları.

<u>Takviye kumaş</u>	<u>Gramaj (gr/m^2)</u>
B	723
C	744

2.1.1.2 Sıra ve çubuk sıklıkları

Kumaşların sıra ve çubuk sıklıkları ASTM D8007'ye göre 3 farklı yerden lup yardımıyla görünür ilmekler sayılarak yapılmıştır; 4 farklı kompozit tipi için 4er tabaka takviye kumaş kullanımı söz konusu olduğu için 16 tane yatırımlı (C) ve 16 tane yatırımsız rib (B) yapısında kumaş olmak üzere takviye kumaşların sıklık değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır ve Tablo 2.3'de verilmiştir.

Kumaşların düz bir zemine serildikten sonra loop ile sıra-çubuk yönlerindeki ilmek adetleri sayılmıştır. Yatırımlı kumaşlarda her sırada ekstra olarak yatırım ipliği olduğu için, yatırım ipliği sıklığı sıra sıklığı ile aynıdır.

Tablo 2.3 Takviye kumaş ilmek sıklıkları

<u>Takviye Kumaş</u>	<u>Sıra sıklığı (ilmek/cm)</u>	<u>Çubuk sıklığı (ilmek/cm)</u>
B	5,5	3,4
C	4,8	3,3

2.2 Kompozit Üretimi

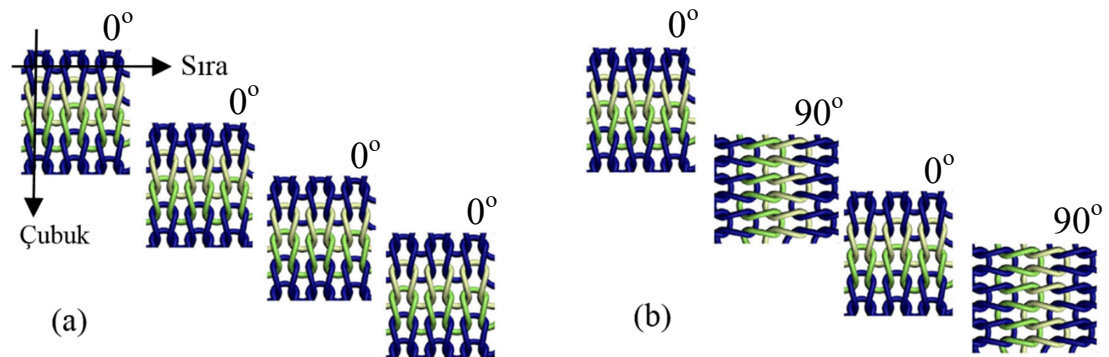
Kompozit üretimi Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Laboratuvarında yapılmıştır. Kompozit üretiminde VARTM yöntemi kullanılmıştır ve aramid örme kumaş takviyeler termoset reçine ile kompozit haline getirilmiştir.

Çalışma kapsamında aynı plakalardan 2 şer adet üretilmiştir. Bunun sebebi yeterli eğilme, darbe ve darbe sonrası bası numunelerinin, örme makinasının kumaş eni genişliği sebebiyle tek plakadan çıkarılamayacak olmasıdır. Üretilen plakaların takviye kumaş özellikleri aynı olsa da plakalar üretim sıralarına göre kodlandırılmıştır.

2.2.1 Takviye kumaşlar

Üretilen kumaşlar aynı kumaş özelliklerine sahip kumaşlarla üst üste serilmiştir. 4 katlı serilen kumaşların tabaka açıları değiştirilerek farklı lif oryantasyonlarına sahip takviye elemanları elde edilmiştir. Tabakaların çubuk doğrultusunda serildiği lif oryantasyonu “0” derece olarak ve tabakaların sıra doğrultusunda serildiği lif oryantasyonu durumu ”90” derece olarak tanımlanır. 90 derecelik tabakalar 0 derece olarak serilen takviye kumaşının saat yönünde 90 derece döndürülmesiyle elde edilir. [0,0,0,0] ve [0,90,0,90] tabaka açıları şematik olarak Şekil 2.3’de gösterilmiştir.

Yatırımlı rib yapısında olup [0,0,0,0] düzeninde serilmiş örme kumaş takviyeli kompozitlere C kodu, yatırımlı rib yapısında olup [0,90,0,90] düzeninde serilmiş örme kumaş takviyeli kompozitlere CW kodu, yatırımsız rib yapısında olup [0,0,0,0] düzeninde serilmiş örme kumaş takviyeli kompozitlere B kodu ve yatırımsız rib kumaş yapısında olup [0,90,0,90] düzeninde serilmiş örme kumaş takviyeli kompozitlere BCW kodu verilmiştir.



Şekil 2.3 Tabaka açıları a) [0,0,0,0] düzeninde, b) [0,90,0,90] düzeninde (Karaoglu ve Alpyıldız 2019)

Tablo 2.4 Kompozit yapıları

Kompozit kodu	Takviye kumaş yapısı	Tabaka yerleşimi
B	Yatırımsız rib	[0,0,0,0]
BCW	Yatırımsız rib	[0,90,0,90]
C	Yatırımlı rib	[0,0,0,0]
CW	Yatırımlı rib	[0,90,0,90]

2.2.2. Reçine

Kompozit üretiminde reçine olarak Huntsman Araldite LY1568 reçine ve Aradur 3489 sertleştirici kullanılmıştır. Reçine VARTM, el yatırma ve filament sarma metoduna uygun olarak üretilmiştir. 8 saat 80⁰ C kürlenmiş reçinenin ISO 1675 standardına göre yoğunluk ve ISO 12058-1 standardına göre viskozite değerleri Tablo 2.5’da ISO 178 standardına göre eğilme ve ISO 527 standardına göre çekme testi sonuçları Tablo 2.6’da, verilmiştir. Reçine ve Sertleştirici karışımı kullanıcı kitapçığında önerildiği üzere 1000ml reçineye 350ml reçine olarak oranda yapılmıştır.

Tablo 2.5 Reçine ve sertleştirici Yoğunluk ve viskozite değerleri

Malzeme	YoğunlukG/cm ³	Cps
Araldite® LY 1568	1,1 - 1,2	1300 - 1500
Aradur® 3489	0,92 - 0,93	5 – 20

Tablo 2.6 Reçinenin çekme ve eğilme mukavemeti

Çekme direnci N/mm²	66,9 - 71,0
Çekme uzaması [%]	4,4-5,0
Nihai kuvvet N/mm ²	53,8 - 57,9
Nihai uzama [%]	10,5-11,0
Gerilim modülleri N/mm ²	2847,5 - 2999,2
Eğilme mukavemeti N/mm²	120,0 - 129,6
Eğilme mukavemetinde uzama N/mm ²	5,5 – 6,5
Nihai kuvvet N/mm ²	100,0 - 114,5
Nihai uzama [%]	9,0-10,0
Eğilme modülü N/mm ²	422,0 - 435,7

2.2.3 Vakum İnfüzyon yöntemi

Tabaka yerleşimleri planlandığı üzere üretim masasına (Şekil 2.4) 4 tabaka halinde serilen takviye kumaşların aralarına matris malzemesi halinde (1:3 oranında Huntsman Araldite LY1568 reçine ve Aradur 3489 sertleştirici karıştırılarak) elle yatırma işlemi yapılmıştır ki hava gözeneklerini azaltması ve ıslanmayı arttırmak amaçlanmıştır.



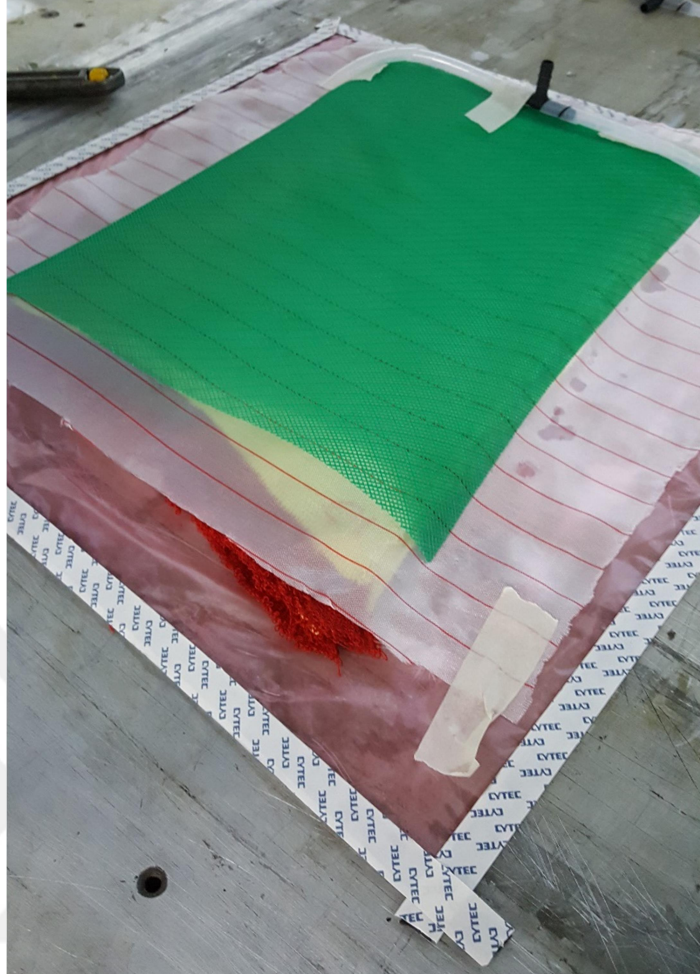
Şekil 2.4 Kompozit üretim masası (Kişisel arşiv, 2019)

Masaya serilmiş ve el yatırma işlemi ile ıslatılmış takviye kumaşlarının altına masaya yapışmalarının engellenmesi için kalıp ayırıcı torbalar serilmiştir ve kalıp ayırıcı torba etrafından sızdırmazlık macunu uygulanarak kalıp ayırıcı torba sabitlenmiştir (Şekil 2.5). Takviye kumaşlarının üstüne soyma kumaşı ve reçine filesi de serildikten sonra, reçine giriş ve reçine vakum spiral boruları yerleştirilmiştir (Şekil 2.6).



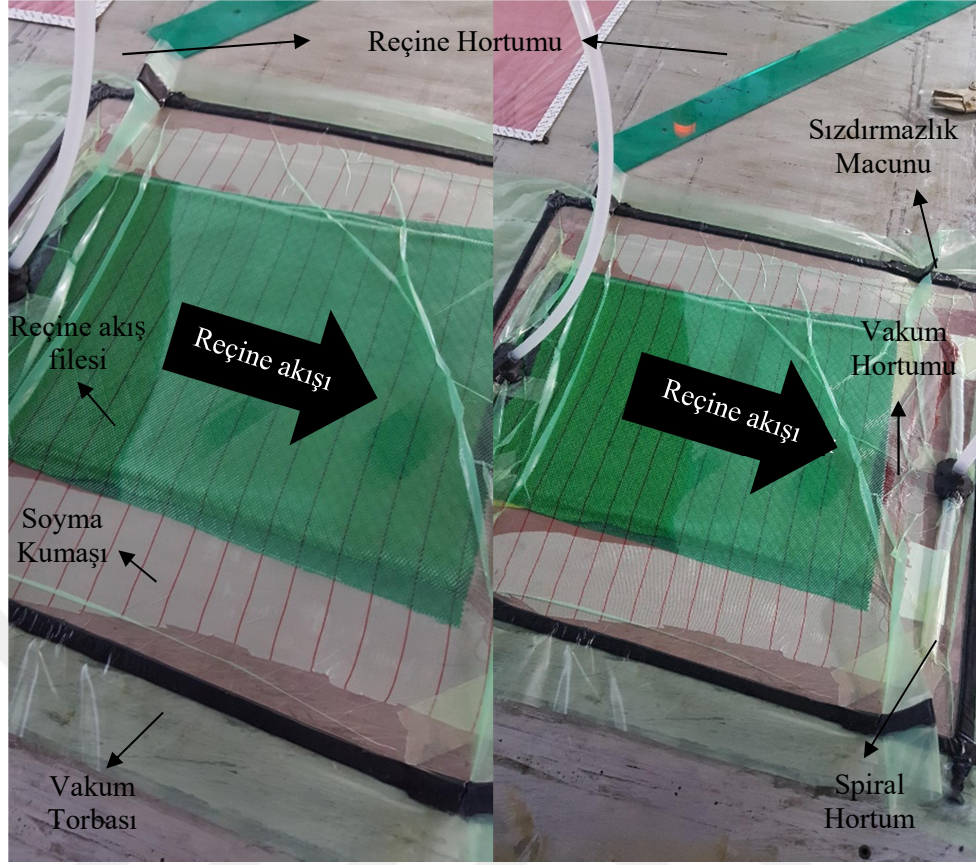
Şekil 2.5 Kalıp ayırıcı torbanın serilişi ve sızdırmazlık macununun uygulanması (Kişisel arşiv, 2019)

En son olarak reçine giriş ve vakum borularının geçiş yerleri vakum torbası üstünde kesilerek vakum torbası da kapatılmıştır ve boruların giriş yerleri sızdırmazlık macunu ile hava sızdırmazlığından emin oluncaya kadar kontrol edilip kapatılmıştır. Sistem vakum altında bir süre tutularak hava kaçağı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Vakum ve reçine hortumu açılarak, reçine hortumu daha önceden hazırlanıp iyice karıştırılmış olan reçine/sertleştirici kovanın içine sokulmuştur ve reçine akışı başlamıştır.



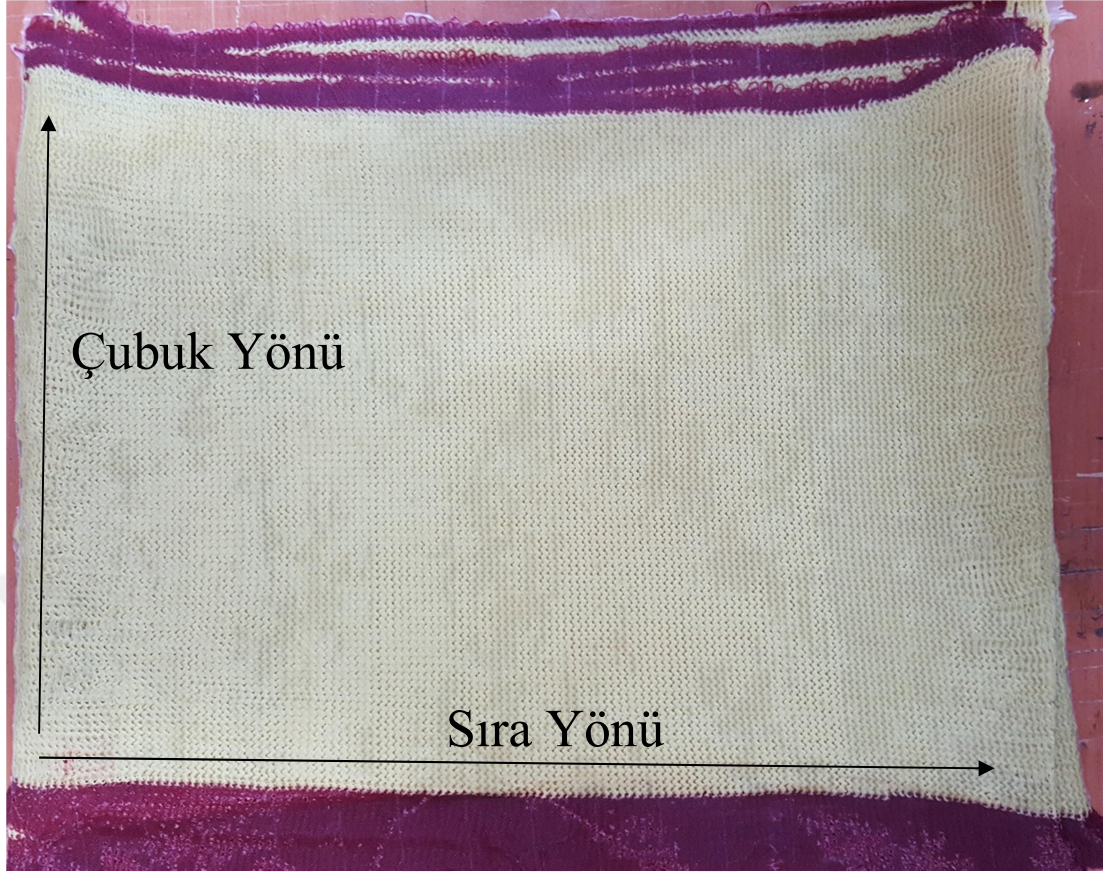
Şekil 2.6 Vakum torbası uygulanmadan önce son durum (Kişisel arşiv, 2019)

Reçinenin sistem içinde ilerleyişi Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Reçine akışı tamamlanıp, reçine vakum hortumunda görüldüğü zaman reçine hortumu kapatılmıştır ve sistemdeki fazlalık reçinenin de uzaklaştırılması için vakum uygulamasına bir süre daha devam edildikten sonra vakum kapatılıp, sistem vakum altında sızdırmaz bir şekilde bırakılmıştır. Reçinenin kürlenme sıcaklığı 80° olarak ayarlanmıştır ve sertleşmesi(kürlenmesi) için 24 saat beklenmiştir.



Şekil 2.7 Reçine ilerleyişi ve VARTM sistemi (Kişisel arşiv, 2019)

Kürlenmeden sonra kompozit haline gelen malzemeler tezgahtan ayrılmıştır ve üstünden soyma kumaşı soyularak yardımcı malzemeler kompozitten ayrılmıştır. 24 saatlik oda sıcaklığında kürlenmeden sonra elde edilen örme kumaş takviyeli kompozit Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Kürlenmesonrası aramid örme kumaş takviyeli kompozit levha (Kişisel arşiv, 2019)

Oda sıcaklığındaki kürleme sonrası “post-cure” olarak kompozit numunelere 80°C sıcaklıkta fırında 15 saat daha kürlenmeye bırakılmıştır.

2.3 Kompozit özelliklerinin belirlenmesi

Kompozitlerde reçine özelliği, elyaf özelliği, boyutsal özellikler, üretim tekniği, takviye kumaşı özellikleri ve lif oryantasyonu kompozit özelliklerini belirleyen özelliklerdendir. Ancak kompozitin bunlardan sonra özelliklerini belirleyecek ve yapısal verimliliğini arttıracak olan parametre, kompozitte bulunması gereken lif oranıdır. Önceki araştırmalarda bu oran % kütle üzerinden belirlenirken, ilerleyen araştırmalarda % hacim oranının daha belirleyici olduğu düşünülmüştür. Standartta göre %vf (lif-hacim oranı) belirleyebilmek için ASTM D3171 – 15’de bulunan yoğunluk hesaplama yöntemi ile elde edilen yoğunluklar Tablo 2.7’de gösterilmiştir.

Tablo 2.7 ASTM- D3171 – 15’e göre hesaplanan yoğunluklar

Kompozit Plaka	Kompozit Yoğunluğu (g/cm ³)
BCW1	1,10
BCW2	1,17
B1	1,25
B2	1,19
CW1	1,19
CW2	1,51
C1	1,29
C2	1,31

2.3.1. Kompozitlerin Lif Hacim Oranı

Kompozitlerin lif hacim oranları ASTM D3171 – 15’de bulunan 2. Metot ile hesaplanmıştır. Standarda uygun olarak lif-hacim oranı (%vf) hesaplanan kompozit plakalarının %vf’leri ve kumaş gramajları Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8 ASTM Standardına göre hesaplanmış %lif-kütle ve %lif-hacim oranları

Kompozit Plaka	Kalınlık (mm)	%Vf
BCW1	6,47	31
BCW2	6,18	32
B1	7,43	29
B2	7,77	28
CW1	6,96	29
CW2	7,26	31
C1	5,35	41
C2	6,44	35

2.4 Kompozit Numunelerinin Kesimi

Kompozit plakalardan test numunelerinin hazırlanabilmesi için öncelikle kompozit plakaların kalınlıkları ve boyutları ölçülmüştür. ASTM D7264/D7264M-15 standardına göre kalınlık/ölçüm uzunluğu 1:20 oranında ve numune boyutu ölçüm uzunluğundan en az %25 fazla olacak şekilde kompozit plakalarının üzerine eğilme numuneleri için kesim planı oluşturulmuştur. Aynı şekilde ASTM D7136/D7136M-15 standardına göre kompozit plakaları üzerine darbe numunesi

kesim planları da çizilmiştir. Kesilecek numunelerin kompozit plakalarının farklı yerlerinden çıkartılmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Kesimden önceki kompozit plaka (Kişisel arşiv, 2019)

Kompozit üretimi sonrası malzemeler Şekil 2.9’da görüldüğü formattadır; kesim planlarına uygun olarak standartlarda belirtilen boyutlarda kesim işlemi yapmak için Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Laboratuvarında Rubi Diamant DS-300-1300 sulu kesme makinası ile Şekil 2.10’daki gibi kesilerek Şekil 2.12’deki duruma getirildiler. Bütün numuneler ayrı ayrı kodlanmıştır.



Şekil 2.10 Rubi Diamant DS-300-1300 sulu kesme makinası (Kişisel arşiv, 2019)

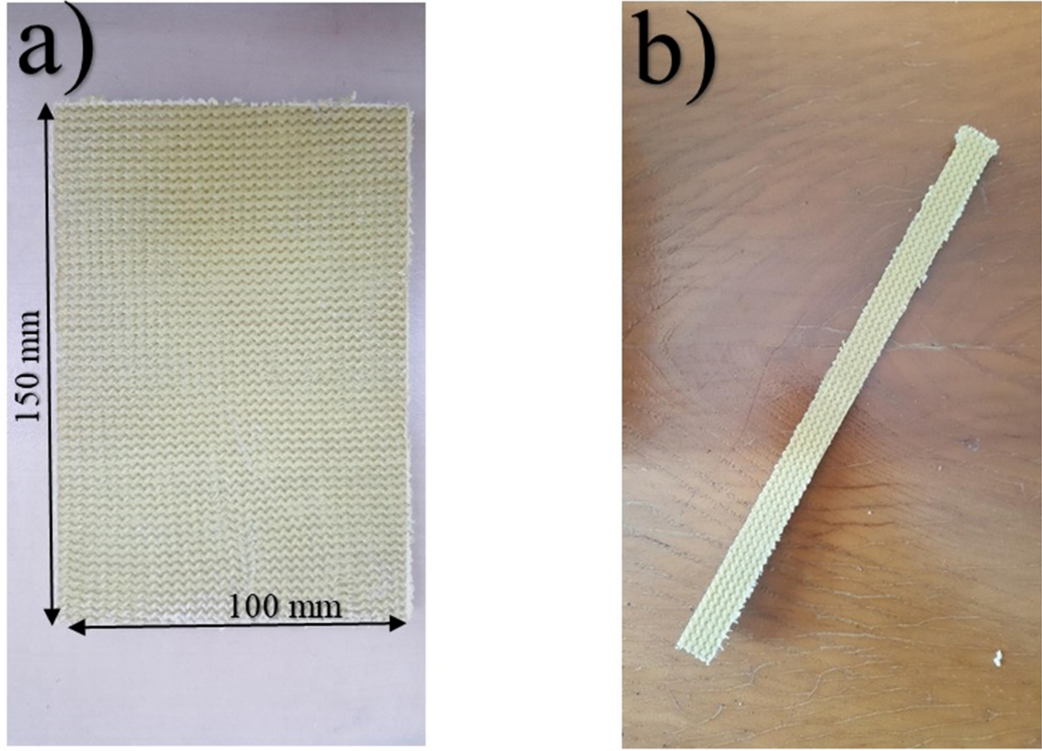
Rubi Diamant DS-300-1300 sulu kesim makinası tek eksende hareket edebilen raylı bir sisteme entegre dönen kesici disk ile (Şekil 2.11) ve kesilecek tabakayı sabit şekilde tutabilmek için mandallı bir sıkıştırma aparatına sahiptir.



Şekil 2.11 Kesici disk (Kişisel arşiv, 2019)

Kesim makinası kesim sırasında kesime bağlı sürtünme ısını ve bu ısıdan kaynaklı oluşabilecek istenmeyen deformasyonları önlemek için dönen disk (Şekil 2.11) ve kesilen tabaka arasındaki kesim bölgesine sürekli su beslemektedir ve bu su ihtiyacını altta bulunan su tankından almaktadır. Kesim sırasında püskürtülen su tekrar alttaki su tankına boşalmaktadır ve bu şekilde su devir daim şeklinde

kullanılmaktadır. Şekil 2.12’de Standartlara göre kesilmiş numunelerin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.12 Standartlara göre kesilmiş numuneler a) Darbe numunesi b) Eğilme numunesi (Kişisel arşiv, 2019)

2.5 Üç Nokta Eğilme Testi

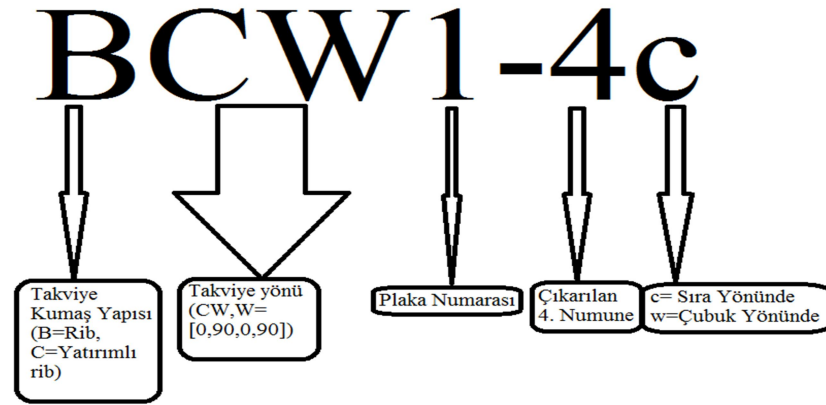
Kompozit numunelerin eğilme testleri kompozit numuneler üzerinde sıra ve çubuk doğrultusunda olmak üzere bu çalışma kapsamında yapılmıştır. Numuneler ASTM D7264/D7264M-15 standardına göre kalınlık/ölçüm uzunluğu 1:20 oranında olacak şekilde ve numune boyutu ölçüm (mesnetler arası mesafe) uzunluğundan en az %25 fazla olacak şekilde kesildi.

Eğilme testi cihazı Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Laboratuvarında olup Shimadzu marka AG – X modelidir. Shimadzu 3 nokta eğilme testi cihazı ile malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Cihaz 100 kN kapasiteye sahiptir. Eğilme test hızı olarak 2 mm/dk seçilmiştir. Şekil 2.13’de eğilme testi numunesinin test durumundaki hali gösterilmiştir.



Şekil 2.13 3 nokta eğilme testi esnasında numune (Kişisel arşiv, 2019)

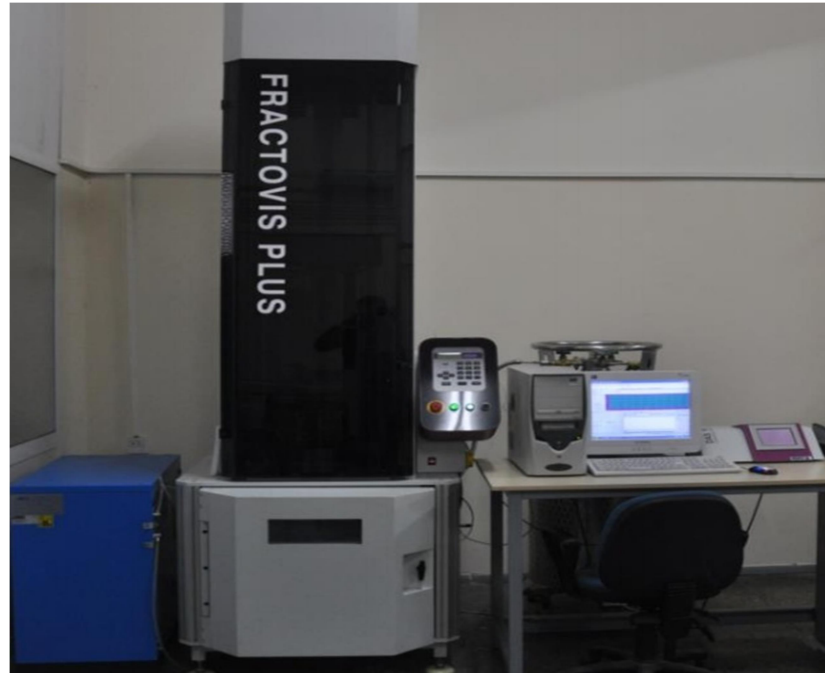
Standarda göre kesilen numunelerin üç nokta eğilme testi uygulanmadan önce en boy ve kalınlık gibi fiziksel ölçümleri yapılmıştır. Üretimi yapılan örme kumaş takviyeli kompozitler anizotropik yapıda oldukları ve üç nokta eğilme testi yön bağımlı bir test olduğu için, kompozit plakalarından çıkarılan numuneler sıra ve çubuk doğrultularında ayrılmıştır. Bunun sonucu olarak ise numune kodlarının sonuna yön belirtmek için sıra yönünde ise “c” ve çubuk yönünde ise “w” kısaltmaları kullanılmıştır. Eğilme numunelerinin kodlama tekniği Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Eğilme Numunelerinin Kodlanması

2.6 Darbe Testi

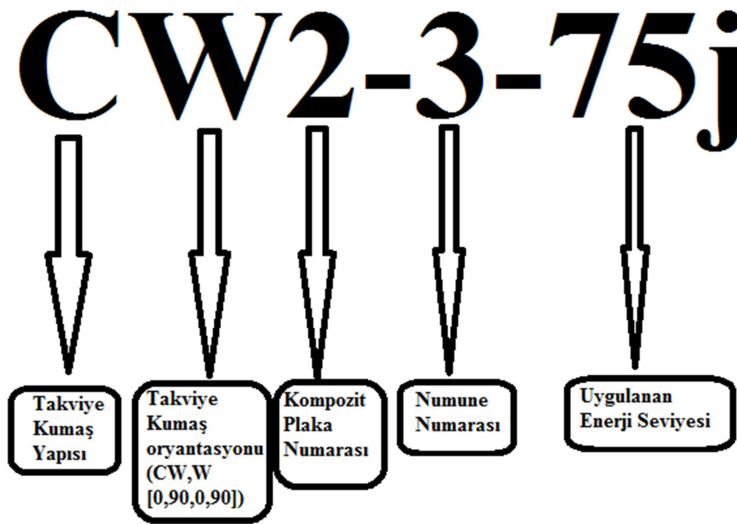
Darbe testi ASTM D7136/D7136M-15 standardına göre kesilen numuneler üstüne uygulanmıştır. Enerji seviyesi olarak 60J, 75J ve 90J seçilmiştir. Darbe seviyelerinin seçiminde kompozit numunelerinde oluşan hasar modunun ve delaminasyonun en net gözlemlendiği seviyelerin seçilmesine önem verilmiştir.



Şekil 2.15 CEAST 9350 Fractovis Plus serbest düşme darbe testi cihazı (Kişisel arşiv, 2019)

Darbe testi cihazı Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Laboratuvarında bulunan CEAST 9350 Marka Fractovis Plus (Şekil 2.15) darbe test cihazı kullanılarak, testlerde 5,02 kg kütleli 12,7 mm çapına sahip yarı küresel çelik bir darbe ucu kullanılmıştır. CEAST 9350 Fractovis Plus serbest düşme darbe testi cihazı Şekil 2.15’de gösterilmiştir. Cihaz, kütlesi belli bir cismi belirli bir yükseklikten darbe testi yapılmak istenen numune üzerine düşmesi ve buna bağlı enerjinin hesaplanıp numune üzerindeki etkisinin belirlenmesi prensibinden yola çıkarak çalışmaktadır.

Plakalardan elde edilen kompozit plakaların kodlanma yöntemi şekil 2.16’da gösterilmiştir. Darbe testi yön bağımlı bir yöntem değildir.



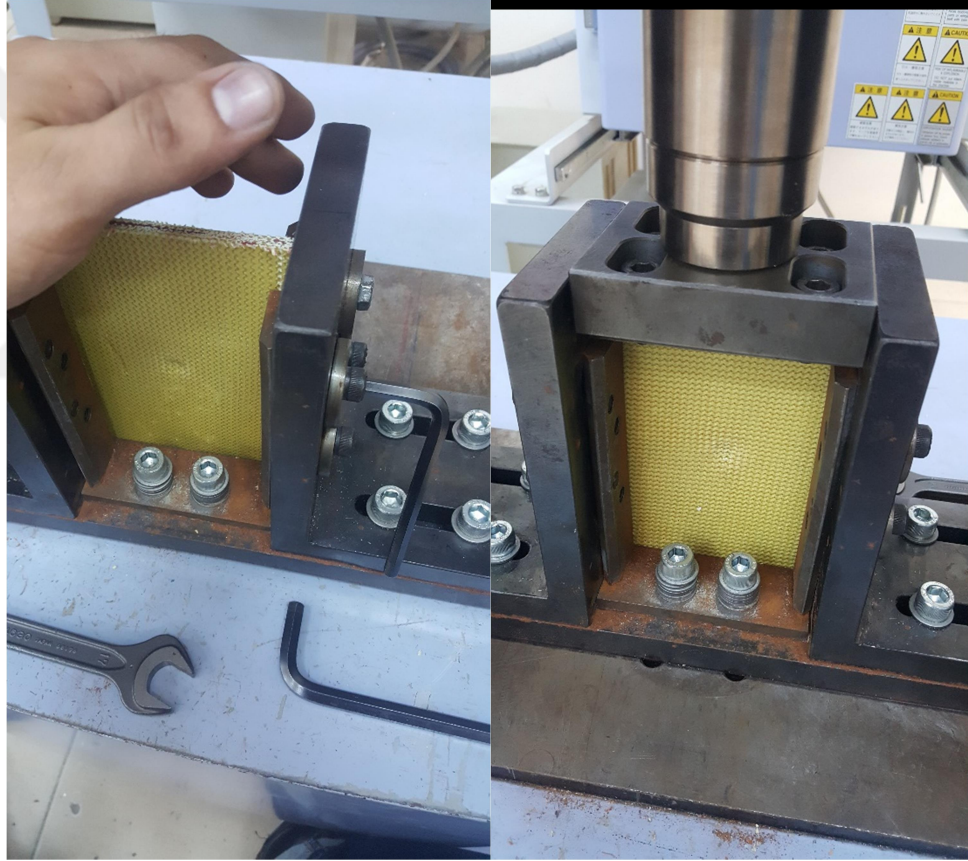
Şekil 2.16 Darbe Numunesi kodlama tekniği

2.7 Darbe Sonrası Bası (CAI) Testi

Bu test yöntemi ASTM D7137/D7137M-17 darbe sonrası bası standardına göre yapılmıştır. Test hızı olarak 2 mm/dk seçilmiştir. Test için kullanılan cihaz Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Laboratuvarında olup Shimadzu marka AG – X modelidir. 100 kN kapasitelidir. Yöntem genel olarak darbe kuvvetine maruz kalmış numunelere bası testi uygulayarak, uygulanan darbe

testinin plakada nasıl bir mukavemet kaybına neden olduğunu anlamak ve değerlendirmek amacıyla uygulanmaktadır.

Darbe sonrası bası testinde darbe testine maruz bırakılmış numune ölçüm aparatına yerleştirilip dört tarafından hareketli kızaklar ve vidalar yardımıyla sıkıştırılır. Şekil 2.17'deki gibi aparat içine yerleştirilen numuneye bası uygulanır ve kompozit numunenin grafiksel hasar modu gözlenene kadar test devam etmektedir. Aparat darbe numunelerinin yerleşebileceği yapıdadır ve test cihazı bası mukavemetini grafiksel olarak sunmaktadır.



Şekil 2.17 Darbe sonrası bası testi düzeneğinde numune yerleşimi (Kişisel arşiv, 2019)

BÖLÜM ÜÇ

BULGULAR

Bu bölümde aramid iplikten örülerek üretilen yatırımlı ve yatırımsız rib yapısındaki kumaşların kullanımı ile farklı kumaş oryantasyonlarında takviye edilerek elde edilen kompozitlere uygulanan eğilme, darbe ve darbe sonrası bası testleri sonucu elde edilen bulgular sunulmuş ve grafikler üzerinden açıklanmıştır. Hasar modları fotoğraflar üzerinden incelenmiştir.

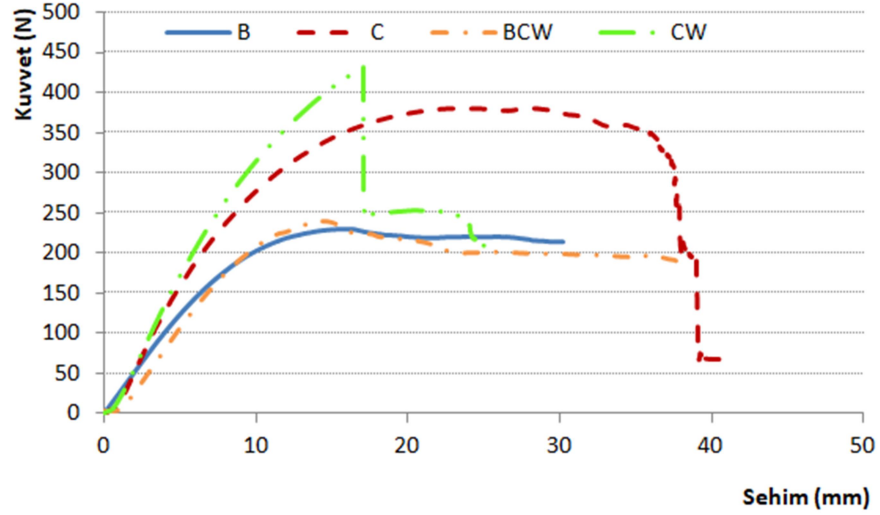
3.1 Eğilme Performansı

Kompozit numunelerinin eğilme davranışları yatırım ipliği etkisi ve takviye kumaş oryantasyonları açısından incelenmiştir.

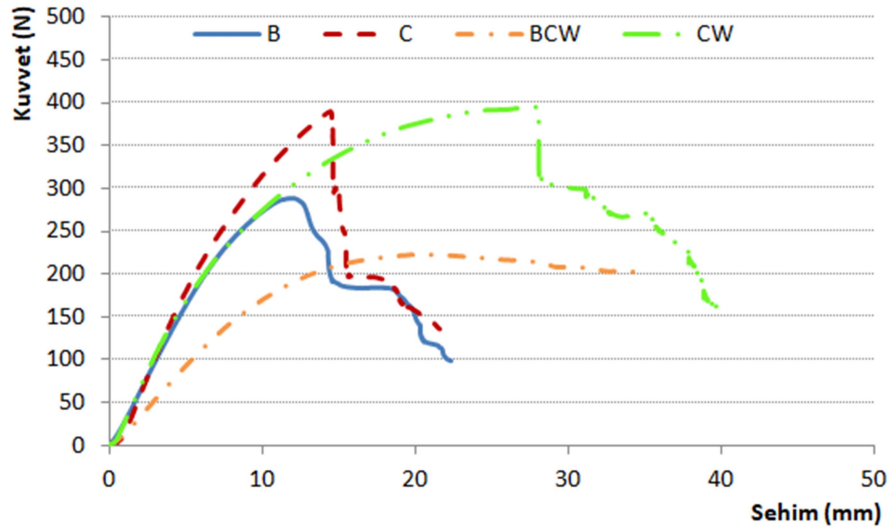
3.1.1 Yatırım İpliği Etkisi

B, BCW, C ve CW kodlu kompozit numunelerin sıra ve çubuk yönünde ayrı ayrı eğilme grafikleri üzerinden karşılaştırılarak yatırım ipliğinin etkisi araştırılmıştır.

Yatırımlı rib örme kumaş takviyeli kompozitlerin (C ve CW kodlu) takviye kumaşın çubuk ve sıra doğrultularında eğilme dayanımının yatırımsız rib örme kumaş takviyeli kompozitlere (B ve BCW kodlu) göre daha yüksek olduğu sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de görülebilmektedir. Yatırımlı takviye kumaş kullanılmış olan C ve CW numunelerinin, yatırımsız takviye kumaş kullanılmış olan B ve BCW kompozit numunelerine göre daha yüksek kuvvetlere dayanabildiği görülmüştür.



Şekil 3.1 Kompozit numunelerin çubuk yönünde eğilme yüklemesi karşısında performansı



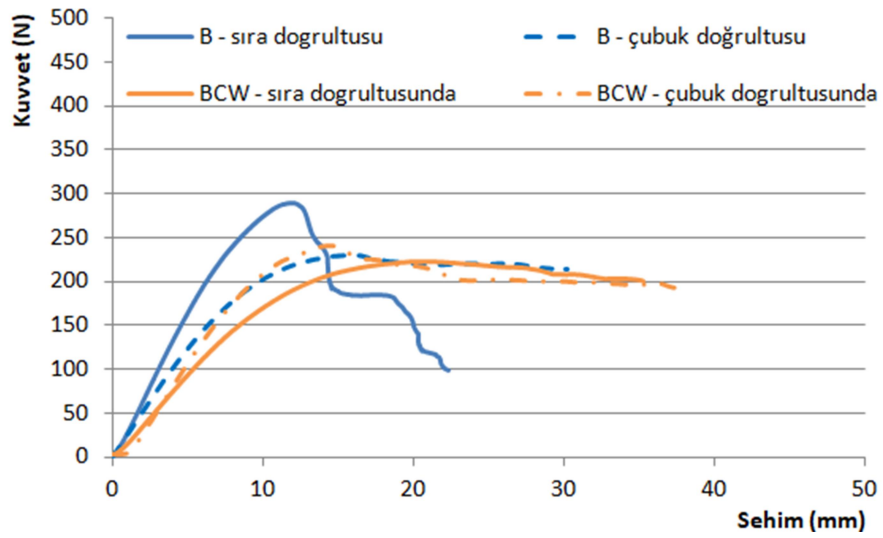
Şekil 3.2 Kompozit numunelerin sıra yönünde eğilme yüklemesi karşısında performansı

3.1.2 Takviye kumaş oryantasyonunun etkisi

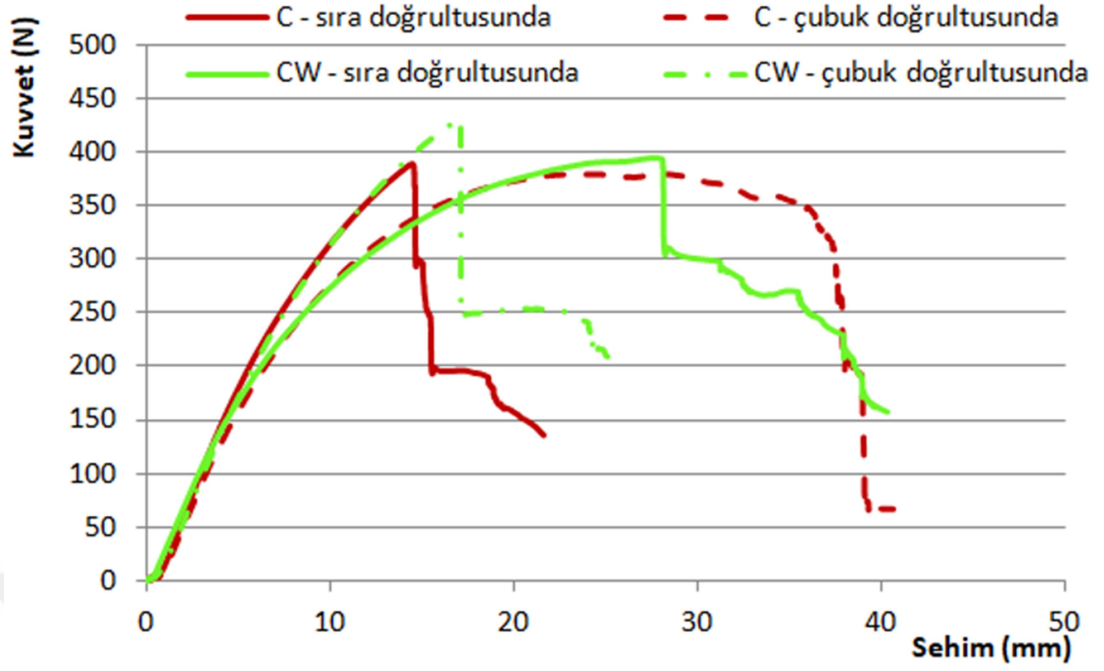
Kompozitlere takviye edilen kumaşların yerleşim açılarının eğilme kuvvetine etkisini araştırmak için B ile BCW ve C ile CW numuneleri çubuk ve sıra yönünde karşılaştırılmıştır.

Şekil 3.3’da takviye yerleşim açısının etkisi için yatırımsız rib örme kumaş takviyeli kompozitlerde sıra ve çubuk yönünden eğilme kuvvetine karşı performansı verilmiştir. Sıra yönünde B (yatırımsız rib takviyeli [0/0/0/0] takviye yerleşimi) numunesi BCW (yatırımsız rib takviyeli [0/90/0/90] takviye yerleşimi)

numunesinden daha yüksek kuvvete dayanım gösterirken B ve BCW numuneleri için çubuk yönündeki eğilme kuvvetine karşı davranışları benzer olduğu gözlenmiştir. Sıra ve çubuk doğrultularında BCW numunesi daha esnek bir yapı sergilemiştir. Şekil 3.4’de yatırımlı rib örme kumaş takviyeli kompozitlerde sıra ve çubuk yönünden eğilme kuvvetine karşı performansı verilmiştir. Sıra ve çubuk yönünde C (yatırımlı rib takviyeli [0/0/0/0] takviye yerleşimi) ve CW (yatırımlı rib takviyeli [0/90/0/90] takviye yerleşimi) numuneleri eğilme kuvvetlerine benzer davranış göstermiştir.



Şekil 3.3 Yatırımsız rib örme kumaş takviyeli olup [0/0/0/0] ve [0/90/0/90] yerleşime sahip B ve BCW kompozitlerin sıra ve çubuk doğrultularında eğilme yüklemesi karşısında davranışı



Şekil 3.4 Yatırımlı rib örme kumaş takviyeli olup [0/0/0/0] ve [0/90/0/90] yerleşime sahip C ve CW kompozitlerin sıra ve çubuk doğrultularında eğilme yüklemesi karşısında davranışı

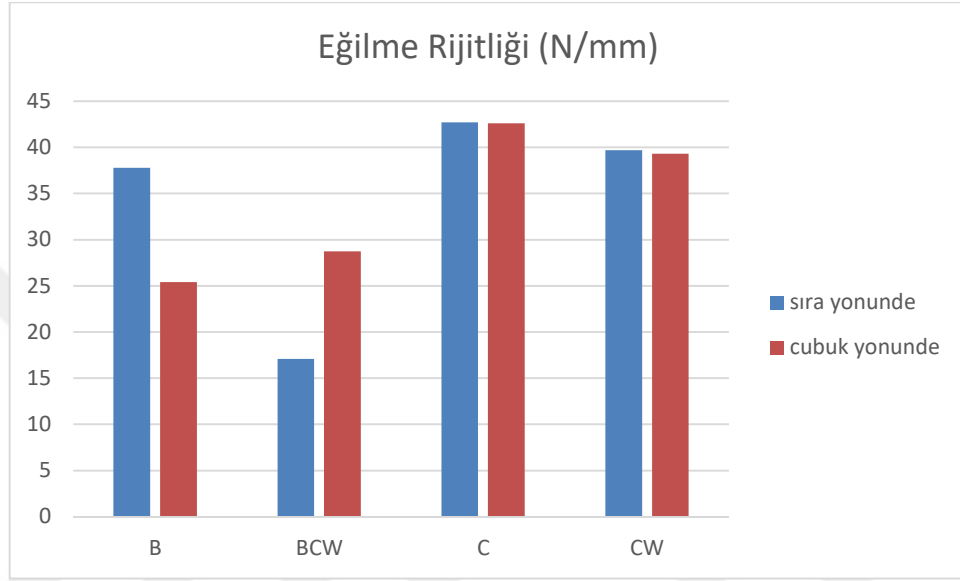
3.1.3 Eğilme Rijitlikleri

Şekil 3.5’de kompozit numunelerinin eğilme rijitlikleri grafik halinde gösterilmiştir. Grafiğe göre yatırımlı rib yapısındaki kumaş takviyesi bulunan kompozit numunelerin (C ve CW) rijitliklerinin, yatırım ipliği bulunmayan kompozit numunelere (B ve BCW kodlu) göre sıra ve çubuk yönünde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Rib örme yapısında yatırımsız kumaş takviye edilen B ve BCW numunelerinde ise [0/0/0/0] yerleşim takviyeli B numunesi sıra yönünde [0/90/0/90] yerleşimli BCW numunesine daha yüksek rijitlik gösterirken, yatırımlı kumaş takviyeli kompozit numunelerinden [0/0/0/0] yerleşimli C numunesi, [0/90/0/90] yerleşimli CW numunesine göre sıra ve çubuk yönünde daha yüksek rijitlik göstermiştir.

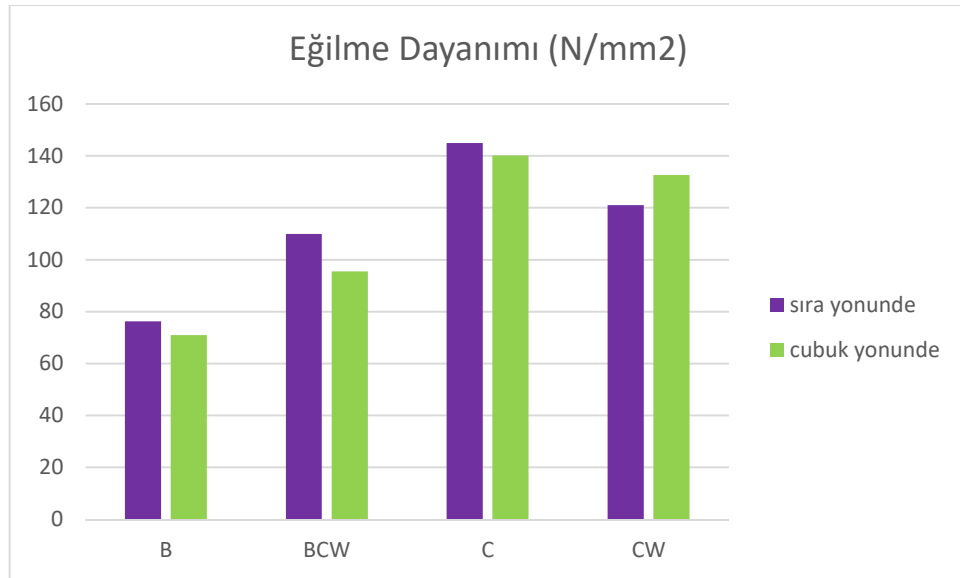
Şekil 3.6 de kompozit numunelerinin sıra ve çubuk yönündeki eğilme dayanımlarını göstermektedir. Yatırımlı rib kumaş takviyeli kompozit numuneler (c ve CW), yatırımsız rib kumaş takviyeli kompozit numunelerine (B ve BCW) göre daha yüksek dayanım sergilemiştir. Ayrıca BCW numunelerinin, B numunelerinden

her iki yönde de daha yüksek dayanım sergilediği ve C numunelerinin de her iki yönde de CW numunelerinden daha yüksek dayanım gösterdiği görülmüştür.

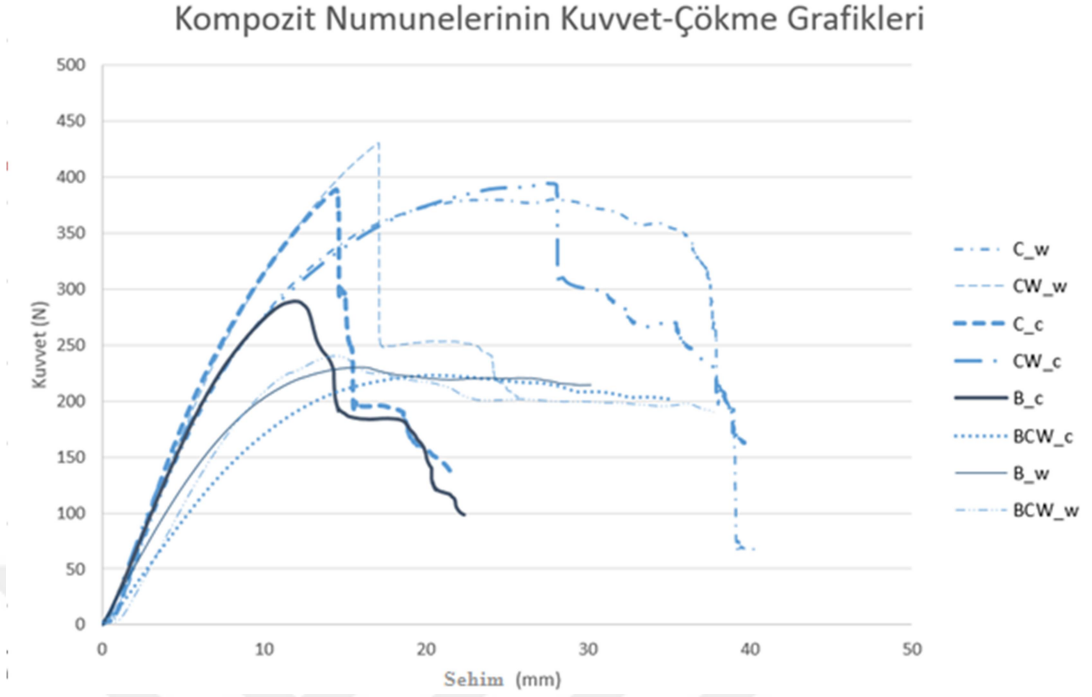
Karşılaştırmalı incelen kompozit numuneleri için yük-sehim grafikleri Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.5 Kompozit numunelerinin eğilme rijitlikleri



Şekil 3.6 Kompozit numunelerinin eğilme dayanımları



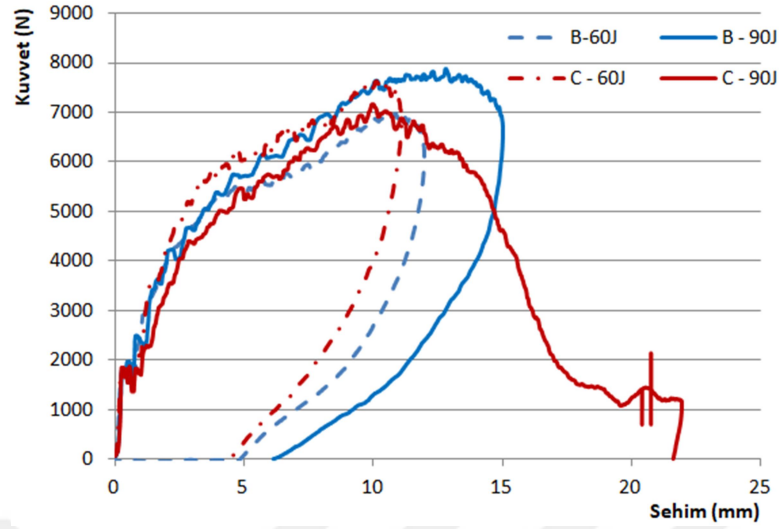
Şekil 3.7 Numunelerin Eğilme kuvveti altındaki Kuvvet-Sehim grafikleri

3.2 Darbe Performansı

Numunelerin darbe testleri 60J, 75J ve 90J seviyelerinde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar yatırım ipliği ve takviye kumaş açısı olmak üzere 2 başlıkta incelenmiştir.

3.2.1 Yatırım İpliği Etkisi

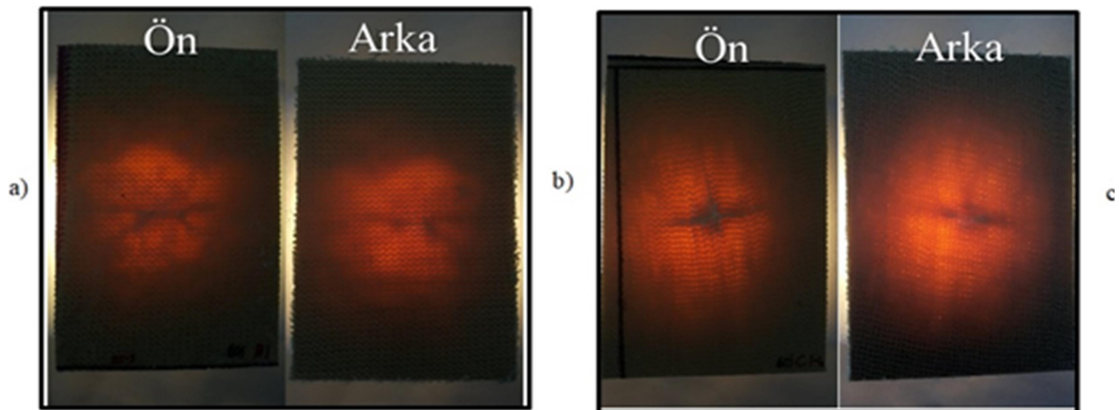
Yatırım ipliği etkisinin incelenebilmesi açısından [0/0/0/0] tabaka yerleşimi ile yatırımsız rib kumaş takviyeli B kodlu ve [0/0/0/0] tabaka yerleşimi ile yatırımlı rib kumaş takviyeli C kodlu kompozitlerin 60J ve 90J enerji seviyelerinde performansları karşılaştırmalı değerlendirildiğinde (Şekil 3.8) yatırımlı rib örme kumaş takviyeli kompozitlerin darbe dayanımlarının daha düşük olduğu görülebilmektedir; C kodlu numunelerin 90J enerji seviyesinde perforasyona uğradığı gözlenmektedir. Dolayısıyla her ne kadar yatırım ipliği ile kalınlık doğrultusundaki lif miktarı artırılmış olsa da yatırım ipliği kullanımının darbe performansına olumlu etkisi olduğu söylenemez.



Şekil 3.8 B ve C kompozitlerin 60J ve 90J enerjilerinde darbe davranışları

Numunelerin sönümledikleri enerji miktarları açısından C kodlu kompozitlerin 60J enerji seviyesinde darbe karşısında 48J'luk enerjiyi sönümlerken B kodlu kompozit aynı enerji seviyesi için 49J'luk enerji ve 90J enerji seviyesinde darbe karşısında ise 75J'luk enerji sönümlemiştir.

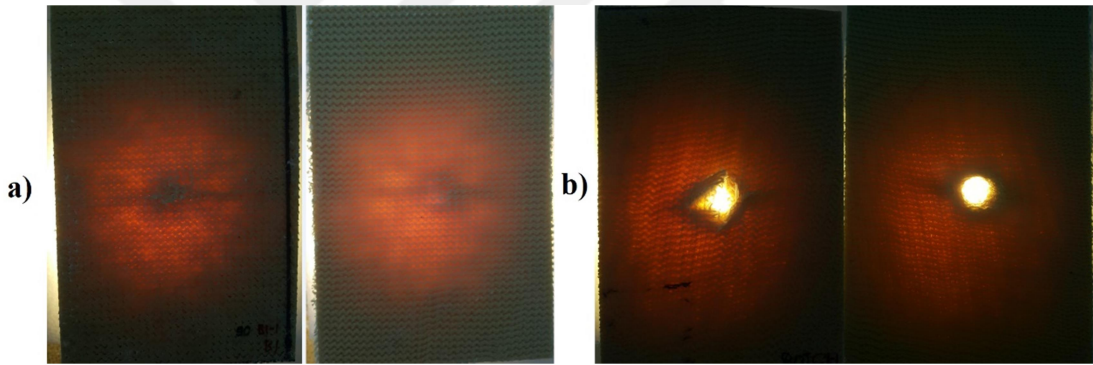
Numunelerin hasar miktarları karşılaştırıldığında 60J enerji seviyesinde oluşan hasarlar Şekil 3.9 ve 90J enerji seviyesinde oluşan hasarlar ise Şekil 3.10da görülebilmektedir.



Şekil 3.9 60J Darbe enerjisi sonrası hasar fotoğrafları a) B numunesi b) C numunesi (Kişisel arşiv, 2019)

B ve C numunelerinin 60J enerji seviyesinde darbeye maruz kalması sonrası görüntüleri (Şekil 3.9) incelendiğinde C numunesinde daha noktasal ve yoğun şekilde hasar etkileri görülürken, B numunesinin hasarı daha dağınık ve çatlaklar şeklinde görüntü oluşturduğu gözlemlenmiştir. B numunesinde hasar ilerlemesi gözlemlenirken, C numunelerinin hasar ilerlemesi daha düşük ve daha çok darbe bölgesinde gözlemlenmiştir. B numunesinde darbe sıra yönünde ilerlerken, C numunelerinde hem sıra hem çubuk yönünde ilerleme gözlemlenmiştir.

B ve C numunelerinin 90J enerji seviyesinde darbeye maruz kalması sonrası görüntüleri (Şekil 3.10) C numunesinin daha büyük hasar gördüğünü göstermiştir. B numunesinde hasar sıra yönünde ilerlerken, C numunesinde delinme gerçekleşmiş ve dairesel bir hasar gözlemlenmiştir.



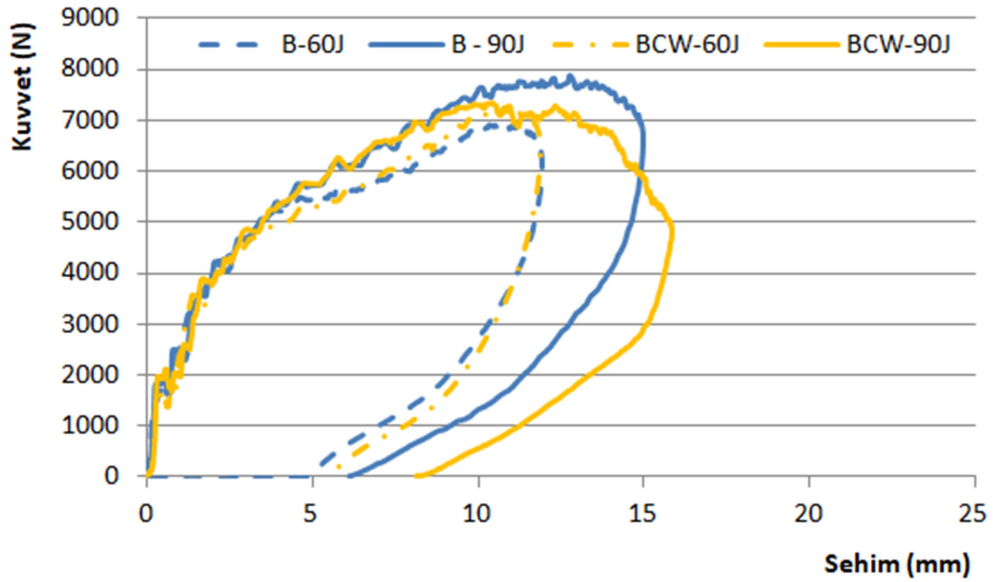
Şekil 3.10 90J Darbe enerjisi sonrası hasar fotoğrafları a) B numunesi b) C numunesi (Kişisel arşiv, 2019)

3.2.2 Takviye kumaş oryantasyonunun etkisi

Takviye kumaş yerleşiminin darbe performansına etkisinin incelenebilmesi açısından [0/0/0/0] tabaka yerleşimi ile yatırımsız rib kumaş takviyeli B kodlu ve [0/90/0/90] tabaka yerleşimi ile yatırımsız rib kumaş takviyeli BCW kodlu kompozitler birbirleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.11). Ayrıca [0/0/0/0] tabaka yerleşimi ile yatırımlı rib kumaş takviyeli C kodlu ve [0/90/0/90] tabaka yerleşimi ile yatırımlı rib kumaş takviyeli CW kodlu kompozitler birbirleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.12).

Yatırımsız rib örme kumaş takviyeli kompozitlerin darbe dayanımları açısından benzer davranış sergilemekle sönümlenen enerjiler açısından değerlendirildiğinde [0/90/0/90] tabaka yerleşimi ile yatırımsız rib kumaş takviyeli BCW kodlu kompozitlerin daha yüksek miktarda enerji sönümlendiği tespit edilmiştir.

Numunelerin sönümledikleri enerji miktarları açısından BCW kodlu kompozitlerin 60J enerji seviyesinde darbe karşısında 51J'luk ve 90J enerji seviyesinde darbe karşısında 81J'luk enerjiyi sönümlerken B kodlu kompozit aynı enerji seviyesi için 49J'luk enerji ve 90J enerji seviyesinde darbe karşısında ise 75J'luk enerji sönümlenmiştir.

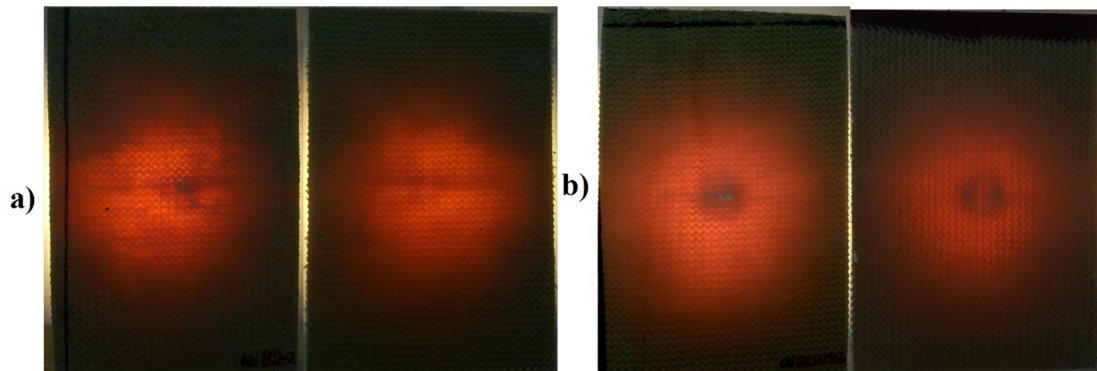


Şekil 3.11 B ve BCW kompozitlerin 60J ve 90J enerjilerinde darbe davranışları



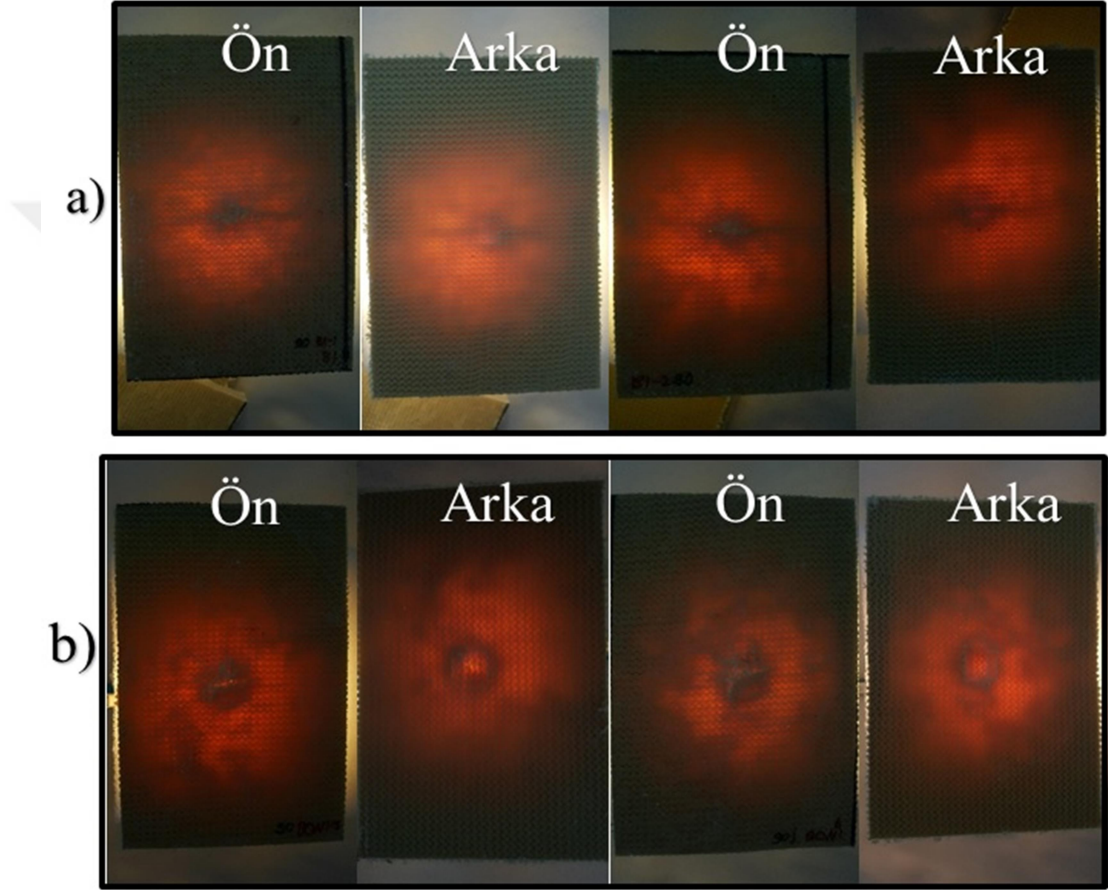
Şekil 3.12 C ve CW kompozitlerin 60J ve 75J enerjilerinde darbe davranışları

Yatırımlı rib örme kumaş takviyeli kompozitlerin darbe dayanımları ve sönümlenen enerjiler açısından benzer davranış sergilediği gözlenmiştir. Numunelerin sönümledikleri enerji miktarları açısından CW kodlu kompozitlerin 60J enerji seviyesinde darbe karşısında 49J'luk ve 75J enerji seviyesinde darbe karşısında 63J'luk enerjiyi sönümlerken C kodlu kompozit aynı enerji seviyesi için 48J'luk enerji ve 75J enerji seviyesinde darbe karşısında ise 63J'luk enerji sönümlemiştir.



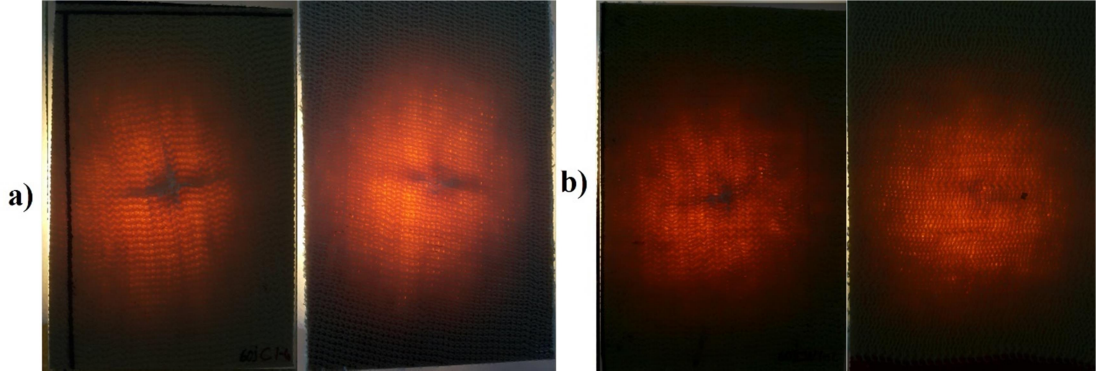
Şekil 3.13 60J Darbe enerjisi sonrası hasar fotoğrafları a) B numunesi b) BCW numunesi (Kişisel arşiv, 2019)

B ve BCW numunelerinin 60J enerji seviyesinde darbeye maruz kalması sonrası görüntüleri (Şekil 3.13) incelendiğinde BCW numunesinde hasar büyüklüğünün daha fazla olduğu görülmüştür. BCW numunesinde dairesel bir hasar oluşumu görülmüşken, B numunesinde sıra yönünde çizgi şeklinde bir hasar ilerlemesi gözlemlenmiştir.



Şekil 3.14 90 J Darbe enerjisi sonrası hasar fotoğrafları a) B numunesi b) BCW numunesi (Kişisel arşiv, 2019)

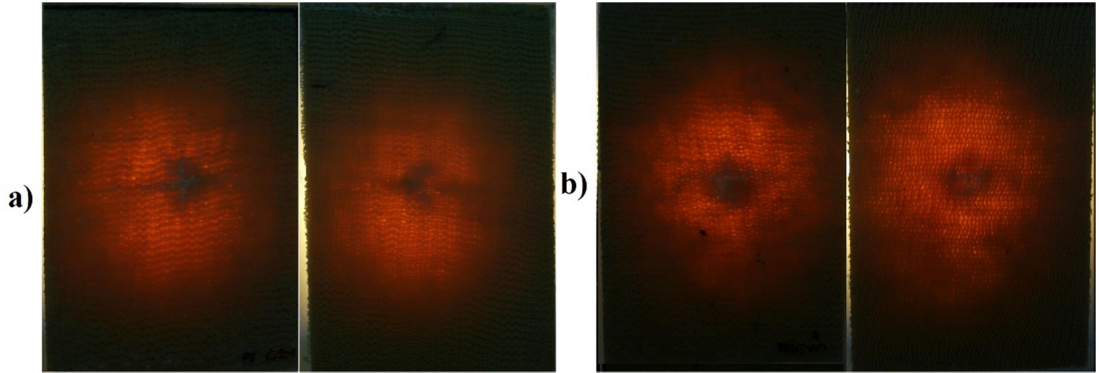
B ve BCW numunelerinin 90J enerji seviyesinde darbeye maruz kalması sonrası görüntüleri (Şekil 3.14) BCW numunelerinin daha büyük hasar aldığını ve daha dairesel hasar gördüğünü göstermiştir. BCW numunesinde bir çatlak ilerlemesi görülmezken, B numunesinde sıra yönünde hasar ilerlemesi görülmüştür.



Şekil 3.15 60J Darbe enerjisi sonrası hasar fotoğrafları a) C numunesi b) CW numunesi (Kişisel arşiv, 2019)

C ve CW numunelerinin 60J enerji seviyesinde darbeye maruz kalması sonrası görüntüleri (Şekil 3.15) incelendiğinde, iki numunede de çatlaklar gözlemlenmiştir. Numunelerde hasar hem sıra hem çubuk yönünde görülmüştür.

C ve CW numunelerinin 75J enerji seviyesinde darbeye maruz kalması sonrası görüntüleri (Şekil 3.16) iki numunede de benzer büyüklükte hasar göstermiştir. İki numunede de dairesel hasar oluşmuştur.



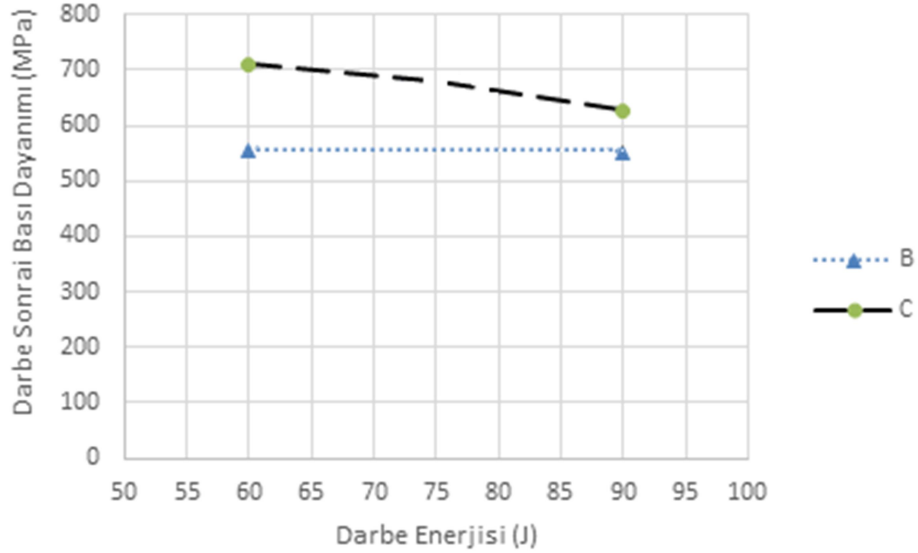
Şekil 3.16 75J Darbe enerjisi sonrası hasar fotoğrafları a) C numunesi b) CW numunesi (Kişisel arşiv, 2019)

3.3 Darbe Sonrası Bası Testi (CAI)

Numunelerin 60J, 75J ve 90J seviyelerinde darbeye maruz kalmasından sonra bası kuvvetlerine karşı performansları yatırım ipliği ve takviye yerleşimi açısından incelenmiştir

3.3.1 Yatırım İpliği Etkisi

Numunelerin CAI grafikleri Şekil 3.17’de verilmiştir.

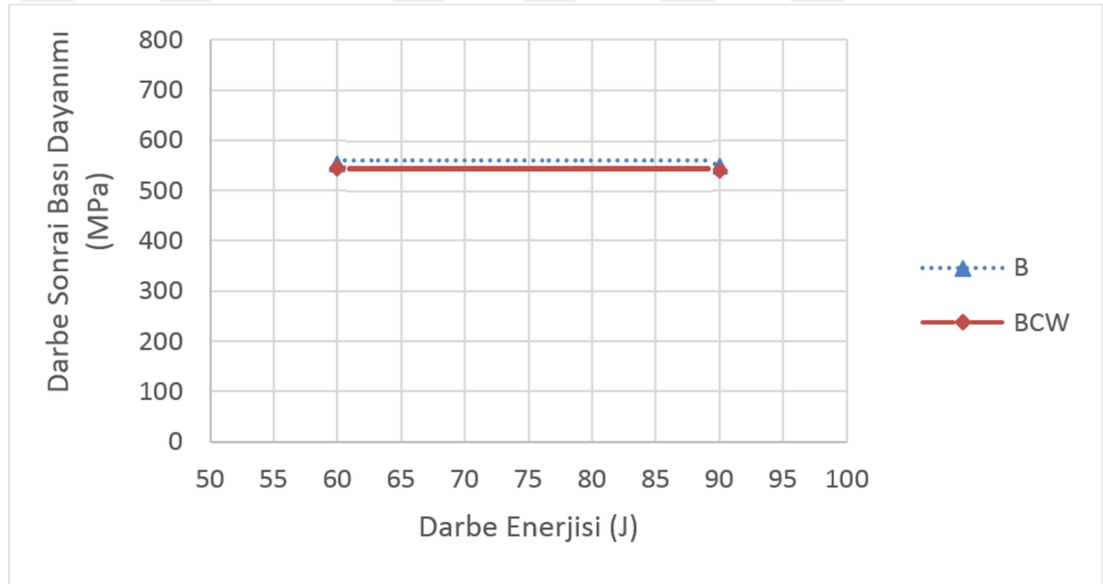


Şekil 3.17 60J ve 90J enerji seviyesinde darbe testi yapılan B ve C numunelerinin darbe sonrası bası testinden elde edilen Bası-Darbe Enerjisi grafiği

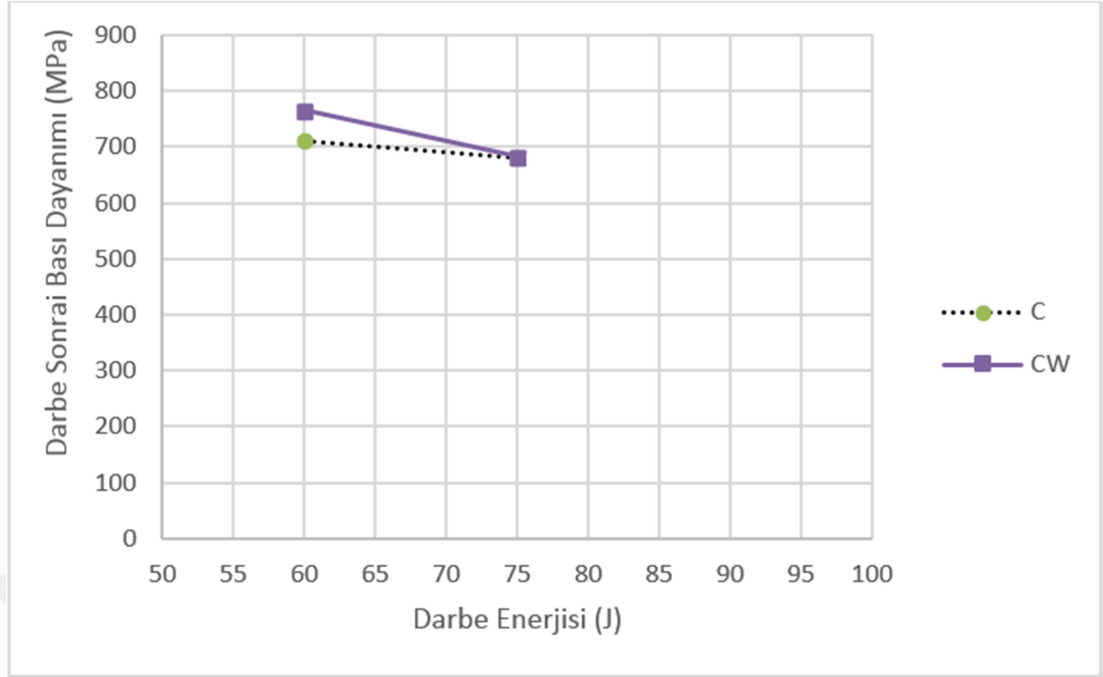
Grafiğe göre yatırım ipliği olan kumaş takviyeli kompozit numunelerinin 60J enerji seviyesinde, yatırımsız B numunelerinden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. 90J enerji seviyesinde yatırımlı ve [0/0/0/0] yerleşim kumaş takviyeli C numuneleri daha yüksek bası performansı göstermiştir.

3.3.2 Yerleşim Açısı Etkisi

Yerleşim açısının etkisinin darbe sonrası bası performansına etkisinin araştırılması için B ile BCW ve C ile CW numuneleri ayrı ayrı grafiklerde incelenmiştir. B ve BCW numunelerinin 60J ve 90J’de darbeye maruz kaldıktan sonra bası kuvvetleri karşı davranışı Şekil 3.18’de verilmiştir. B ve BCW numunelerinin farklı darbe enerjisi seviyelerinde benzer bası davranışı göstermiştir. C ve CW numunelerinin 60J ve 75J’de darbeye maruz kaldıktan sonra bası yüklemesi karşısında davranışı 3.19’da verilmiştir. C ve CW numunelerinin farklı darbe enerjisi seviyelerinde benzer bası davranışı göstermiştir.



Şekil 3.18 60J ve 90J enerji seviyesinde darbeye maruz kalan B ve BCW numunelerin darbe sonrası bası karşı davranışı



Şekil 3.19 60J ve 75J enerji seviyesinde darbeye maruz kalan C ve CW numunelerinin darbe sonrası bası karşısında davranışı

BÖLÜM DÖRT

SONUÇ

Bu tez çalışmasında takviye malzemesi olarak kullanılan örme kumaşların yapısında bulunan yatırım ipliğinin kompozit malzemenin darbe dayanımına etkilerinin araştırılması hedeflenmektedir. Bu amaç doğrultusunda Aramid lifi kullanılarak V yataklı el örme makinasında üretilen ribana ve yatırımlı ribana örme kumaşların takviye malzemesi olarak kullanılmasıyla kompozit üretimi gerçekleştirilmiş ve bu kompozitlerin darbe, darbe sonrası bası ve eğilme performansları incelenmiştir. İncelemelerin sonucunda;

1. Takviye malzemesi olarak yatırımlı örme kumaş kullanılması ile kompozitlerin, takviye kumaşın sıra ve çubuk doğrultusundaki daha yüksek eğilme kuvvetine karşı dayanım gösterebilmektedir. Örme takviye kumaşta sıra yönünde kullanılan yatırım ipliği ile kompozit malzemenin eğilme dayanımları sıra yönünde artış göstererek kompozit malzeme hem eğilme dayanımları hem de eğilme rijitliği açısından daha izotropik hale gelmiştir.
2. Örme takviye kumaşın tabaka yerleşim açısının [0/0/0/0] olması yerine [0/90/0/90] olarak tercih edilmesiyle yani ardı sıra üst üste yerleştirilen takviye kumaşların sıra ve çubuk doğrultuları birbiri ile 90 kesişerek tabaka diziliminin yapılmasıyla yatırımsız örme kumaş takviyeli kompozitlerde sıra doğrultusunda eğilme kuvveti dayanımında artış sağlanabilmektedir. Bu şekilde bir yerleşim ile kompozitin sıra yönünde rijitliği azalırken çubuk yönünde rijitlikleri ise atmaktadır, eğilme dayanımları ise hem sıra hem de çubuk yönünde artmaktadır. Yatırımlı örme kumaş takviyeli kompozitlerde ise yerleşim yönünün eğilme davranışına bir etkisi olamamaktadır.
3. Takviye malzemesi olarak yatırımlı örme kumaş takviye malzemesi kullanımı darbe performansını olumsuz etkilememektedir; daha düşük enerji seviyelerinde delinme gözlenmektedir. Ancak ilmek yapısı dolayısıyla örme kumaş takviyelerin sağladığı enerji sönümleme performansı etkilenmemektedir. Örme

takviye kumaşın tabaka yerleşim açısının $[0/0/0/0]$ ve $[0/90/0/90]$ olması darbe performansını etkilememektedir; tabaka yerleşim oryantasyonlarının kalınlık doğrultusunda elyaf miktarına bir etkisi olmadığı ve ilmek yapısı gereği sıra ve çubuk doğrultularının birbirine dik olarak değil de farklı açıda yerleşimi ile lif oryantasyonuna etkileri olabileceği belirtilebilir. Hasar görüntülerine bakıldığında kompozitlerde yerleşim açısının büyük bir etkisi olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte yatırım ipliği bulunan kompozitlerde, yatırım ipliği bulundurmayan kompozitlere göre daha çok hasar görülmektedir.

4. Takviye malzemesi olarak yatırımlı örme kumaş takviye malzemesi kullanımı her ne kadar darbe performanslarını olumsuz etkilemiş olsa da darbe sonrası bası performansları yatırımsız örme kumaş takviyeli kompozitlere göre daha yüksektir.

KAYNAKLAR

Abounaim, M., (2006). *Modelling of technical bindings and manufacturing of flat knitted and woven 'Spacer Fabrics' with hybrid (GF/PP) yarn as sandwich structure*. Yüksek Lisans Tezi, Dresden üniversitesi, Almanya.

Abounaim, M., Diestel O., Holfman G. ve Cherif C. (2011). High performance thermoplastic composite from flat knitted multi-layer textile preform using hybrid yarn. *Composites Science and Technology*, 71, 511–519

Afshari, M., Sikkema D. J., Lee K., Bogle M. (2008). High performance fibers based on rigid and flexible polymers. *Polymer Reviews*, 48 (2), 230–274

AGY (2003). *High strength glass fibers*. Technical Paper, Advanced Glassfiber Yarns LLC, 2-11, ABD

Akdoğan Eker, A. (2008) *Plastik matrisli kompozitler ders notları*. Yıldız Teknik Üniversitesi. 4 Kasım 2018
http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalattakompozit/Plastik_Matrisli_Kompozitler.pdf

Aktas, M. (2018). *Kompozit malzeme üretim yöntemleri*. 13 Kasım 2018
<http://debis.deu.edu.tr/userweb//mehmet.aktas>

Aktaş, A., Aktaş M. ve Turan F. (2013). The effect of stacking sequence on the impact and post-impact behavior of woven/knit fabric glass/epoxy hybrid composites. *Composite Structures* 103, 119-135

Alpyıldız, T. ve Kurbak, A. (2010). Atkı ve çözgü yatırımlı örme yapılarının atkılı düz örme makinelerinde üretimi. *The Journal Of Textiles and Engineers*, 75-76, 23-30

Alpyildiz, T., Icten, B. M., Karakuzu, R. ve Kurbak, A. (2009). The effect of tuck stitches on the mechanical performance of knitted fabric reinforced composites. *Composite Structures*, 89 (3), 391- 398.

Anand Nahar, G. ve Alagirusamy, R. (1999). Mechanical properties of glass composite based on knitted preforms with inlays. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 25, 115-120

ASTM D3171 – 15. *Standard test methods for constituent content of composite materials*

ASTM D7136/D7136M – 15. *Standard test method for measuring the damage resistance of a fiber-reinforced polymer matrix composite to a drop-weight impact event*

ASTM D7137 / D7137M – 17. *Standard test method for compressive residual strength properties of damaged polymer matrix composite plates*

ASTM D7264 / D7264M – 15. *Standard test method for flexural properties of polymer matrix composite materials*

Balea, L., Dusserre, G. ve Bernhart, G. (2014). Mechanical behaviour of plain-knit reinforced injected composites: Effect of inlay yarns and fibre type. *Composites: Part B*, 56, 20-29

Buket, A. (2015). *Tekstil kompozitlerinde takviye yapısı olarak kullanılmak üzere borusal kumaş yapısı tasarımı çalışmaları*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Chung, D. D. L. (E.d.). (2010) *Composite material science and applications*. İsviçre: Springer.

Çelikkanat, A. B. (2002). *Teknik Tekstiller*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Çolak, A. C. (2012). *Kompozit malzemelerin (cam epoksi) yapıştırılması ve çekme deneyi*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Demircan, O., Yilmaz, C., Kocaman, E.S., Tang, S., Hamada, H. ve Yildiz, M. (2015). Effect of fiber densities on impact properties of biaxial warp-knitted textile composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 34 (16), 1287–1297

Demircan, Ö., Ashibe, S., Kosui, T. ve Nakai, A. (2015) Mechanical properties of biaxial weft knitted and cross-pls thermoplastic composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 28 (7), 1058-1078

Dev, G.V.R., Swarna, A. ve Madhusoothanan, M. (2005). Mechanical properties of knitted composites using glass ply yarns. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 24 (13), 1425-1435

Edie, D. D. (1997). The effect of processing on the structure and properties of carbon fibers. *Carbon*, 36 (4), 345-362

Ertekin, G. ve Marmaralı, A. (2010). Sandviç kumaşlar. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergis*, 4 (1), 738-745

Fung, W. (2000). Textiles in transportation. Horrocks A. R. and Anand S. C., (Ed.), *Handbook of technical textiles*. İngiltere: Woodhead Publishing Ltd,

Hasani, H., Hassanzadeh, S., Abghary, M.J., Omrani, E. (2017). Biaxial weft-knitted fabrics as composite reinforcements: A review. *Journal of Industrial Textiles*, 46 (7) 1439–147

Hessami R., Yazdi, A.A. ve Mazidi, A. (2019). Investigation of tensile and flexural behaviour of biaxial and rib 1x1 weft knitted composite using experimental test and multi-scale finite element modelling. *Journal of Composite Materials*, 53 (23), 3201-3215.

Hongu, T. ve Phillips, G. O. (1993). *New Fibers*. İngiltere: Ellis Horwood Ltd.

Khondker, O. A., Leong, K. H., Herszberg, I. ve Hamada, H. (2005). Impact and compression-after-impact performance of weft-knitted glass textile composites, *Composites Part A*, 36, 638-648

Luo, Y. ve Verpoest, I. (2002). Biaxial tension and ultimate deformation of knitted fabric reinforcements. *Composites Part A*, 33, 197–203

Mukhopadhyay, S. K. ve Joyce, M. A. (1993). *High performance fibres*. İngiltere: The Textile Institute

Nejabati, A. (2014). *Kompozit levhaların darbeden sonra bası davranışının incelenmesi*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

Northolt, M., G. Decker, P., Picken, S. J., Baltussen, J. J. M. ve Schlatman, R. (2005). The tensile strength of polimes fibers. *Advanced Polymer Science*, 178, 1-108

Padaki, N. V., Alagirusamy, R. ve Sugun, B.S. (2016). Knitted preforms for composite applications. *Journal of Industrial Textiles*, 35, 295–321

Pamuk, G. (2009) *Düz örme makinelerinde üretilebilen örme kumaş takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine bir araştırma*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

- Pandita, S. D. ve Verpoest, I. (2004). Tension–tension fatigue behaviour of knitted fabric composites. *Composite Struct*, 64, 199–209
- Pandita, S. D., Falconet, D. ve Verpoest, I. (2002). Impact properties of weft knitted fabric reinforced composites. *Composites Science and Technology*, 62, 1113–1123
- Power, E. J. (2018) *Advanced knitting Technologies for high-performance apparel*. University of Huddersfield: Elsevier.
- Sadeghian, R., Gangireddy, S., Minaie, B. ve Hsiao, K. (2006). Manufacturing carbon nanofibers toughened polyester/glass fiber composites using vacuum assisted resin transfer molding for enhancing the mode-I delamination resistance. *Composites Part A Applied Science and Manufacturing*, 37, (10), 1787-1795
- Subhash Anand, C. (E.d.) ve Richard Horrocks, A. (E.d.) (2016). *Handbook of technical textiles Second edition* (2) (65-76). İngiltere: Woodhead Publishing Ltd,
- Sugun, B. S. ve Rao, R. M. V. G. K. (2000). Drop weight impact studies on rib-knit RTM laminates. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 19, 492
- Şahin, Y. ve Öksüz, E. (2012). Tm Metodu ile üretilen Al₂O₃ takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin aşınma davranışı için istatistiksel model oluşturması. (3), (442-455) *Balıkesir: 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, (3), 442-455
- Tanner, D. ve Knoff, W. F. (1989). *High Technology Fibers*. ABD: Marcel Dekker
- Teijin, (2018). *Twaron – a versatile high-performance fiber product brochure*. 22 Şubat 2019 http://www.teijinaramid.com/wp-content/uploads/2018/10/Product_brochure_Twaron.pdf

Tunç, S. (2012). *Meta aramid kumaşın boyanması, haslık yönünden elyaf boyalı meta aramid kumaşlarla karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ

Vinson, J.R. ve Sierakowski, R.I. (2002). The behavior of structures composed of composite materials. *Solid Mechanics and Its Applications*, 1 (2), 23-29

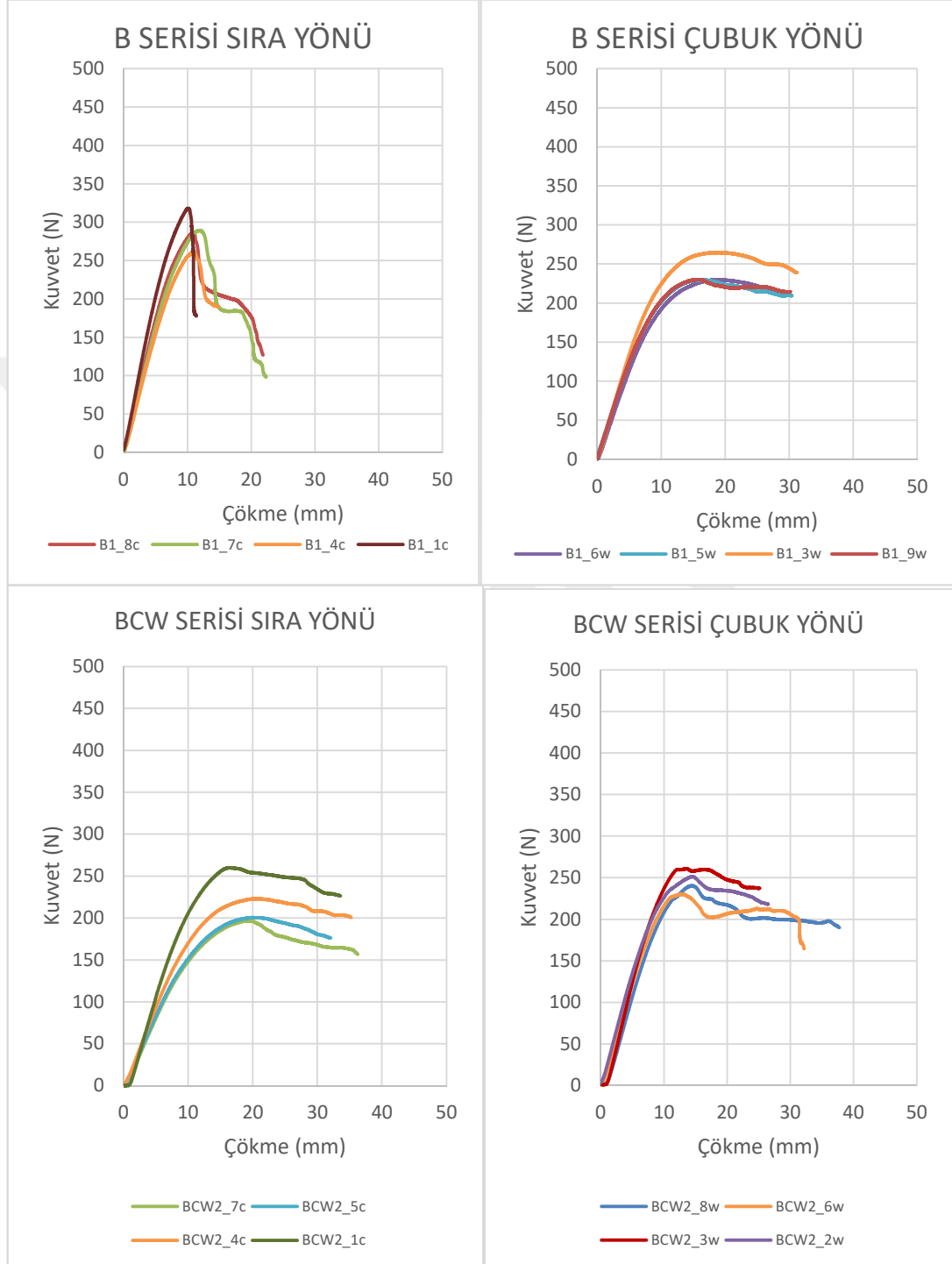
Xu, Y., Yuan, X. ve Wang, N. (2014). Comparison of bending properties co-woven-knitted and multi-layered biaxial weft-knitted fabric reinforced composites. *Fibers and Polymers*, 14 (6), 1006-1011

Yang, H. H. (1993) Kevlar aramid fiber. *Polymer Degradation and Stability*, 2 (74), 283-290

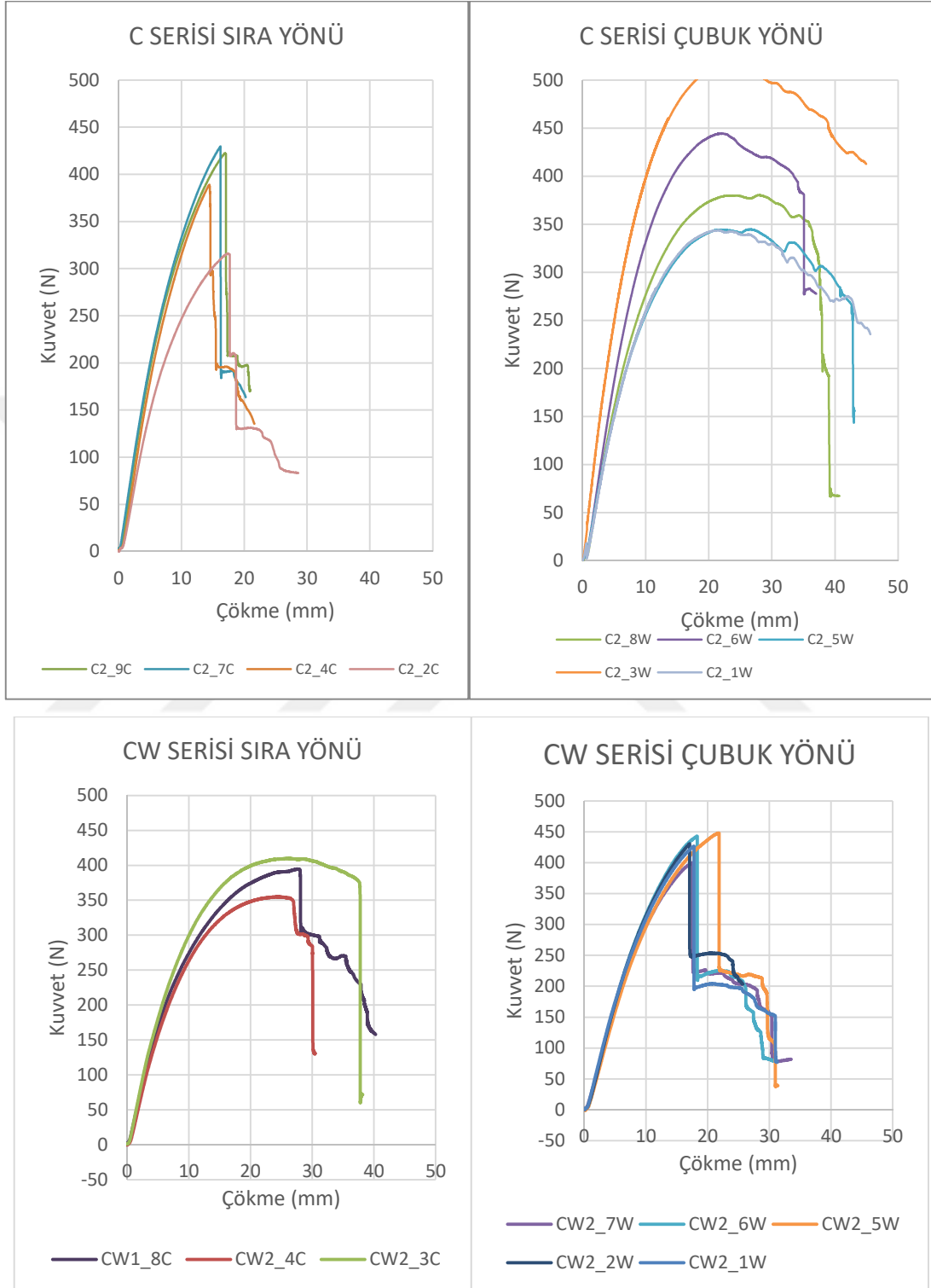
Yavaş, M. O. (2009). *Hafif silahlara karşı bireysel savunma amaçlı kompozit malzeme tasarımı ve balistik dayanımı*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya

EKLER

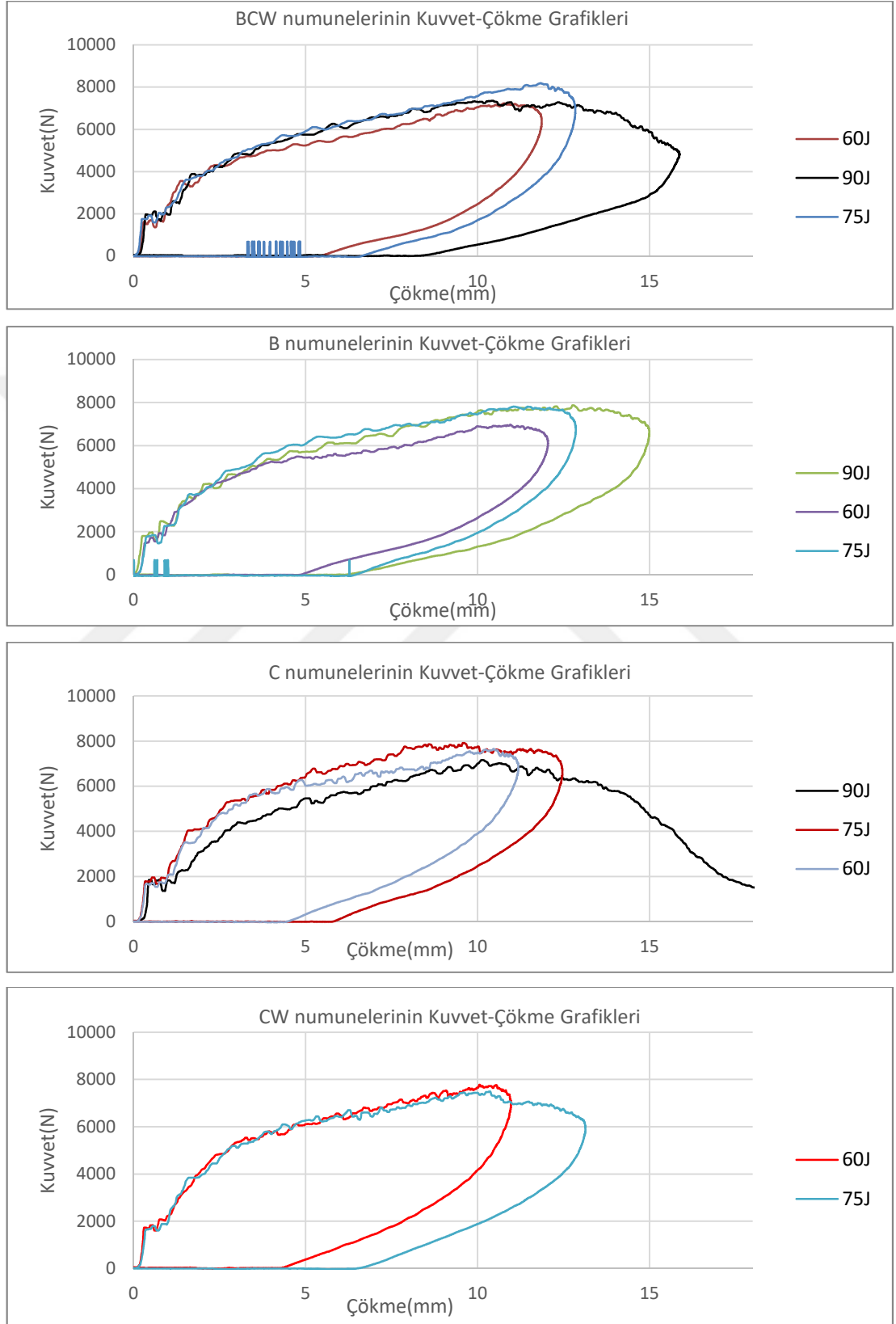
Ek-1: Eğilme Grafikleri



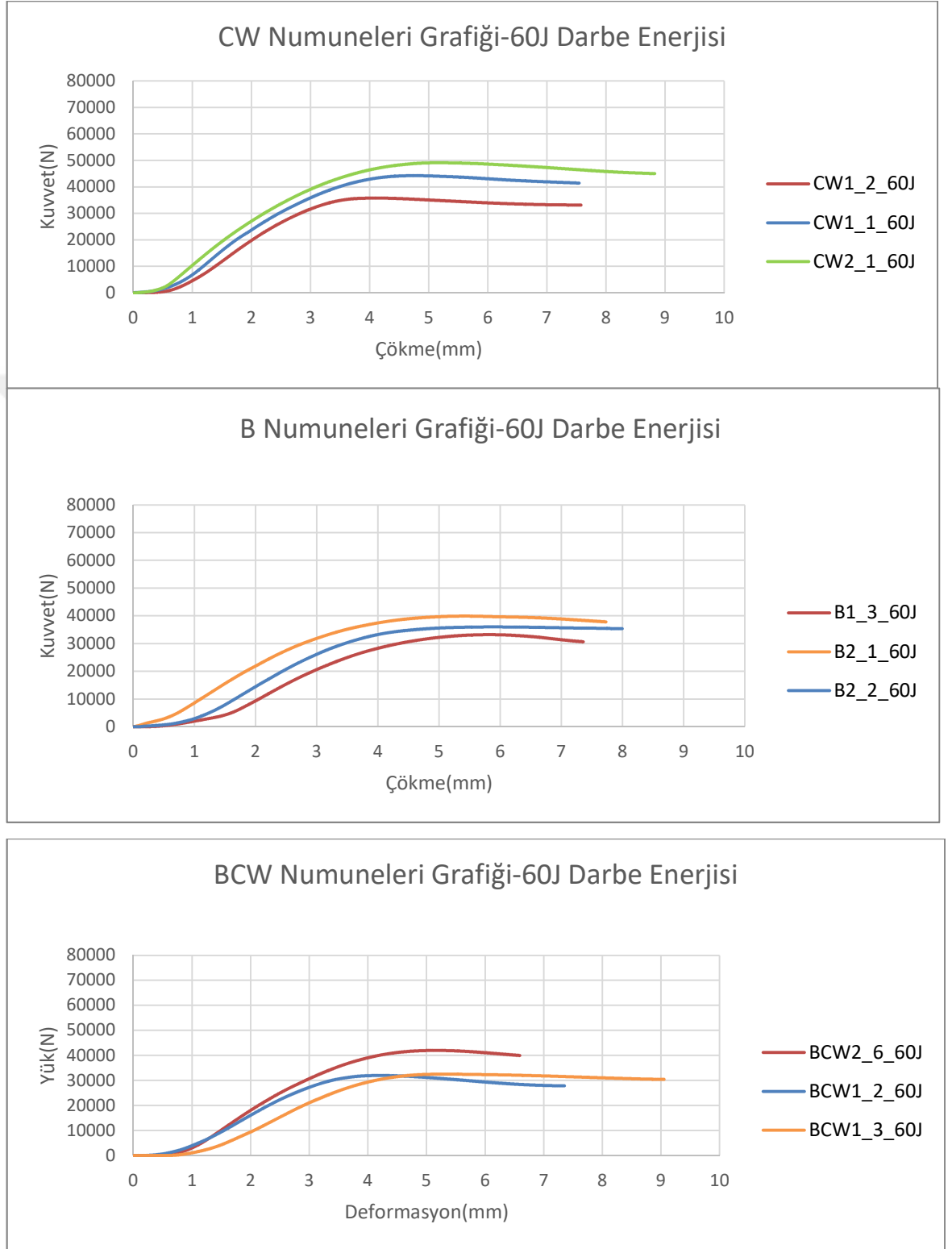
Ek-1: Eğilme Grafikleri Devamı



Ek-2: Darbe Grafikleri

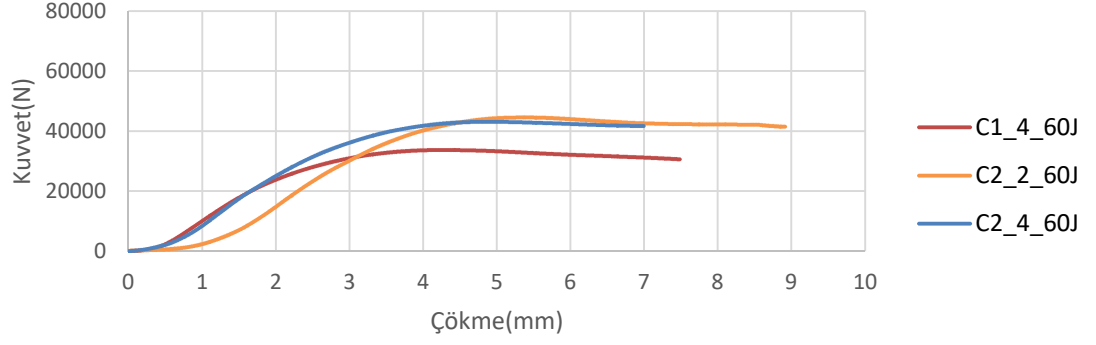


Ek-3: Darbe Sonrası Bası Grafikleri

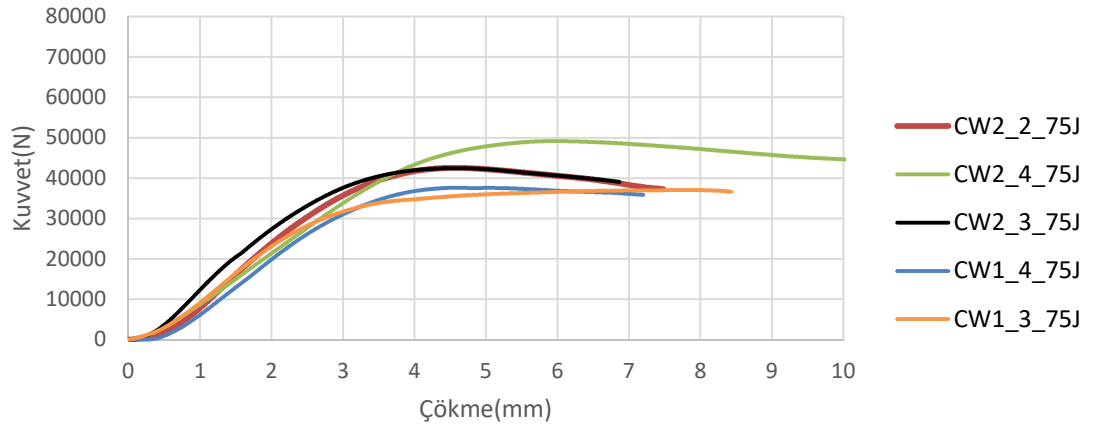


Ek-3: Darbe Sonrası Bası Grafikleri Devamı

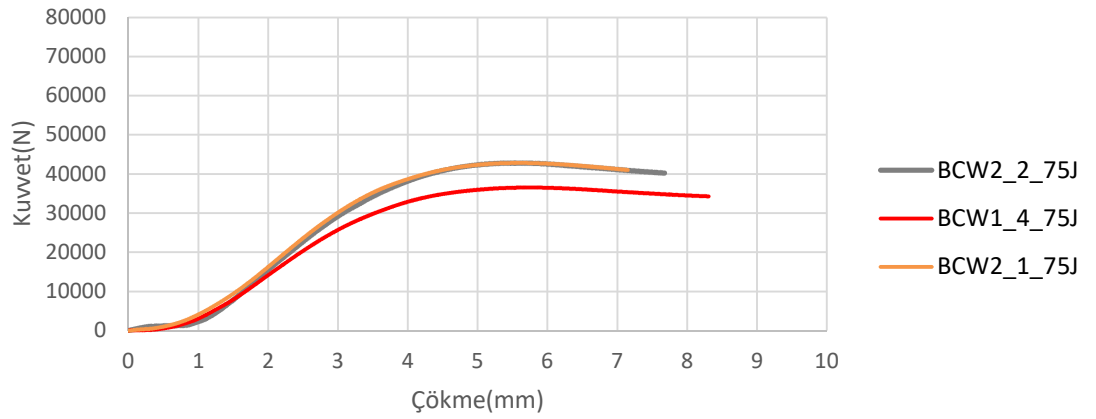
C Numuneleri Grafiği-60J Darbe Enerjisi



CW Numuneleri Grafiği-75J Darbe Enerjisi

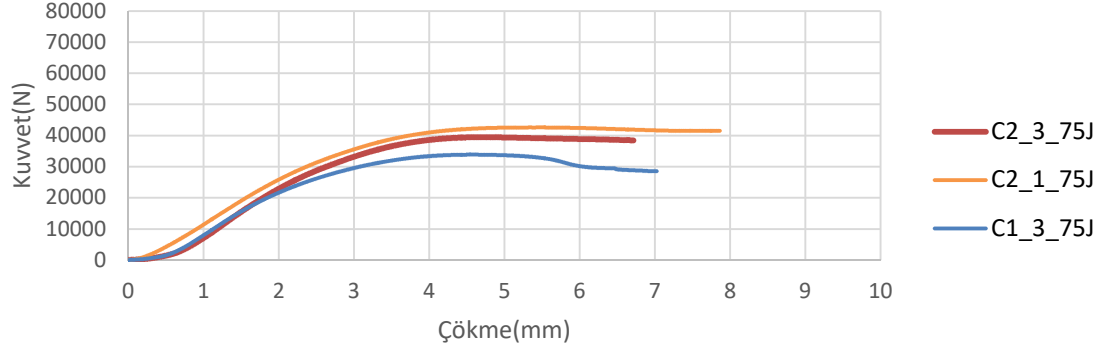


BCW Numuneleri Grafiği-75J Darbe Enerjisi

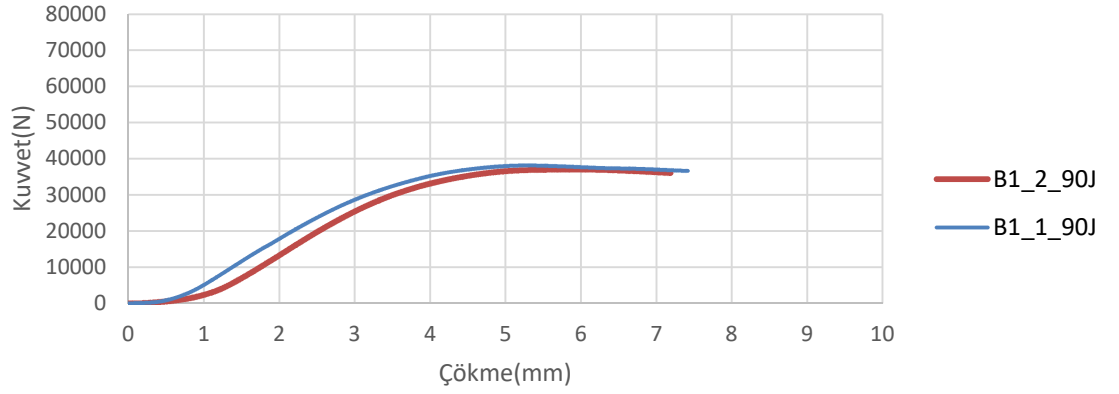


Ek-3: Darbe Sonrası Bası Grafikleri Devamı

C Numuneleri Grafiği-75J Darbe Enerjisi



B Numuneleri Grafiği-90J Darbe Enerjisi



C Numuneleri Grafiği-90J Darbe Enerjisi

