

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAKVİYE DOKUMA KUMAŞ GRAMAJININ
KOMPOZİTİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

Can SELVİ

Temmuz, 2016

İZMİR

TAKVİYE DOKUMA KUMAŞ GRAMAJININ KOMPOZİTİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı

Can SELVİ

Temmuz, 2016

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

CAN SELVİ, tarafından DOÇ. DR. BÜLENT MURAT İÇTEN yönetiminde hazırlanan “TAKVİYE DOKUMA KUMAŞ GRAMAJININ KOMPOZİTİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Bülent Murat İÇTEN

Yönetici



Doç. Dr. Yusuf ARMAN

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Tuba ALPYILDIZ

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Danışmanım Doç. Dr. Bülent Murat İÇTEN'e tezimi hazırlamam sürecindeki bütün katkılarından ötürü teşekkür ederim.

Laboratuvar ve kompozit üretim çalışmalarımındaki katkılarından ötürü arkadaşım ve Makine Mühendisliği Bölümü doktora öğrencisi Hüseyin Erdem YALKIN'a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde her türlü yardımı ve emeği olan aileme desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Her konuda sabırla yardımcı olan sevgili eşim Manolya SELVİ'ye teşekkür ederim.

Can SELVİ

TAKVİYE DOKUMA KUMAŞ GRAMAJININ KOMPOZİTİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZ

Bu çalışmanın amacı takviye kumaş gramajının kompozitin mekanik özelliklerine etkisini bulmak ve incelemektir.

Çalışma kapsamında vakum infüzyon yöntemi ile üç adet kompozit plaka üretilmiştir. Bu plakalar için farklı gramajda kumaşlar kullanılmıştır. Kumaş gramajları farklı olduğu için üretim neticesinde plakalarda aynı kalınlığı elde edebilmek için cam elyaf tabaka sayıları farklı tutulmuştur.

Üretilen kompozit plakalar uygun test standartlarına göre kesilerek gerekli test numuneleri elde edilmiştir. Numunelere çekme, basma, kayma ve darbe deneyleri uygulanmıştır.

Yatak mukavemetlerinin bulunabilmesi için numunelere delik açılıp pimli çekme testleri yapılmıştır. Pimli deneyler sonucunda hasar tipleri ve yatak mukavemetleri karşılaştırılmıştır.

Farklı enerji seviyelerinde darbe testleri yapılmıştır. Sonuçlar ve darbe davranışları incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kompozitler, cam elyaf, mekanik özellikler, dokuma kumaşlar, mekanik performans, takviye kumaş, takviye kumaş gramajı, kumaş katmanı, takviye katmanı

EFFECTS OF REINFORCEMENT WOVEN FABRIC WEIGHT ON THE MECHANICAL PERFORMANCE OF COMPOSITE

ABSTRACT

The aim of this study is finding and investigating the effects of woven fabric weight on the mechanical performance of composite.

In the scope of study three composite plates have been manufactured with vacuum infusion method. Fabrics with various weight per square meter have been used as reinforcements for these plates. Since the densities of fabrics are different, number of reinforcement layers have been made different to provide the same thickness of plates at the result of composite manufacturing.

Required test specimens were provided with cutting composite plates according to suitable test standarts. Tensile, compression, shear and impact tests were applied to the specimens.

Pin loaded tests have been performed for finding the bearing strengths. Failure types and bearing strengths have been compared in consequence of the pin loaded experiements.

Impact tests has been executed at different energy levels. Results and impact behaviors has been examined.

Keywords: Composites, glass fiber, mechanical properties, woven fabrics, mechanical performance, reinforcement fabric, reinforcement fabric weight, fabric layer, reinforcement layer

İÇİNDEKİLER

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

BÖLÜM BİR-GİRİŞ..... 1

1.1 Giriş	1
1.2 Kompozit Malzemenin Tanımı	1
1.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları.....	3
1.4 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları	4
1.5 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	5
1.6 Kompozitin Gelişimi	6
1.7 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	6
1.7.1 Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma.....	6
1.7.1.1 Metal Matrisli Kompozitler.....	7
1.7.1.2 Seramik Matrisli Kompozitler.....	7
1.7.1.3 Polimer Matrisli Kompozitler	7
1.7.1.3.1 Termoplastikler	7
1.7.1.3.2 Termosetler.....	8
1.7.2 Takviye Malzemesine Göre Sınıflandırma	9
1.7.2.1 Elyaf Takviyeli Kompozitler.....	9
1.7.2.2 Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	12
1.7.2.3 Tabakalı Kompozit Malzemeler.....	13
1.8 Cam Elyaf.....	14

BÖLÜM İKİ-BU ALANDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR 16

2.1 Bu Alanda Yapılmış Çalışmalar	16
2.2 Tezin Amacı	19
BÖLÜM ÜÇ-TEST NUMUNELERİNİN ÜRETİMİNDE KULLANILAN METOD VE MALZEMELER.....	20
3.1 Test Numunelerinin Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	20
3.1.1 Cam Elyaf	20
3.1.2 Epoksi Reçine ve Sertleştirici.....	21
3.2 Test Numunelerinin Üretim Metodu	21
3.2.1 Vakum İnfüzyon Yöntemi	21
3.2.2 Deneylerde Kullanılacak Kompozit Plakaların Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Üretilmesi	23
BÖLÜM DÖRT-MEKANİK PERFORMANSI BULMAK İÇİN YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI	24
4.1 Hazırlanan Kompozitlerin Mekanik Özelliklerini Bulmak Amacıyla Yapılan Testler.....	24
4.1.1 Fiber Yönündeki Çekme Mukavemetlerinin Bulunması.....	25
4.1.2 Fiber Yönündeki Basma Mukavemetlerinin Bulunması	27
4.2.3 Kayma Mukavemetlerinin Bulunması.....	28
4.2 Mekanik Testlerin Sonuçları	30
4.3 Yatak Mukavemetlerinin Bulunması.....	30
4.4 Pim Bağlantılı Deneylerde Meydana Gelen Hasar Tipleri.....	35
4.5 Darbe Testleri	37
4.5 Cam Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Darbe Dayanımının Belirlenmesi	38
BÖLÜM BEŞ-SONUÇLAR VE TARTIŞMA	54
KAYNAKLAR	56

EKLER 62

EK : A Çekme Testlerinin Sonuçları, Ortalamaları ve Standart Sapmaları 62

EK : B Bası ve Kayma Testlerinin Sonuçları, Ortalamaları ve Standart Sapmaları
..... 63

EK : C CA Kompoziti Pimli Deneyleerin Sonuçları, Ortalamaları ve Standart
Sapmaları..... 64

EK : D CB Kompoziti Pimli Deneyleerin Sonuçları, Ortalamaları ve Standart
Sapmaları..... 68

EK : E CC Kompoziti Pimli Deneyleerin Sonuçları, Ortalamaları ve Standart
Sapmaları..... 72

EK : F CA Kompoziti Pimli Deneyleerin Gerilme Deplasman Grafikleri 76

EK : G CB Kompoziti Pimli Deneyleerin Sonuçları, Ortalamaları ve Standart
Sapmaları..... 78

EK : H CC Kompoziti Pimli Deneyleerin Sonuçları, Ortalamaları ve Standart
Sapmaları..... 80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Değişik fiber malzemelerin gerilme-genleme eğrileri	11
Şekil 1.2 a) Kısa cam elyaf ile takviye edilmiş bir malzemenin kırılma yüzeyi b) Fiber takviyeli termoplastik matrisli bir kompozit	11
Şekil 1.3 Partikül takviyeli kompozitlere örnekler	13
Şekil 1.4 Tabakalı kompozit üretiminin şematik gösterimi	14
Şekil 3.1 Deney Numunesi üretmek için kesimi yapılmış cam elyaf kumaş	21
Şekil 3.2 Vakum destekli reçine transfer yöntemi	22
Şekil 3.3 Cam elyaf, ayırıcı kumaş, boru ve stoper düzeneği	23
Şekil 3.4 Vakum infüzyon düzeneği	24
Şekil 4.1 Shimadzu AG-X çekme cihazı.....	26
Şekil 4.2 Çekme deneyi düzeneği	27
Şekil 4.3 Çekme deneyi aparatı.....	28
Şekil 4.4 Datalogger veri cihazı ve poisson oranlarının ölçülmesi deneyi düzeneği.	28
Şekil 4.5 Strengçelerin çekme numunesine bağlanması	29
Şekil 4.6 Bası deneyi aparatı.....	30
Şekil 4.7 Kayma testi numunesinin boyutları	31
Şekil 4.8 Kayma testi için kullanılan aparat, datalogger veri cihazı.....	32
Şekil 4.9 Kayma testi için hazırlanan numuneye strengçelerin bağlanması	33
Şekil 4.10 Kayma deneyi aparatı	33
Şekil 4.11 Pimli deney için kullanılan numunelerin boyutlandırılması.....	35
Şekil 4.12 Pimli deney düzeneği.....	36
Şekil 4.13 CA kompozitindeki yatak mukavemetleri	38
Şekil 4.14 CB kompozitindeki yatak mukavemetleri	38
Şekil 4.15 CC kompozitindeki yatak mukavemetleri	39
Şekil 4.16 Net çekme hasar moduna ait gerilme-deplasman grafiği ve görüntüsü ...	40
Şekil 4.17 Kayma hasar moduna ait gerilme-deplasman grafiği ve görüntüsü	40
Şekil 4.18 Yatak hasar moduna ait gerilme-deplasman grafiği ve görüntüsü	40
Şekil 4.19 CEAST Fractovis Plus darbe cihazı	42
Şekil 4.20 10J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği ..	43
Şekil 4.21 10J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-zaman grafiği	43

Şekil 4.22 10J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe görüntüsü	44
Şekil 4.23 20J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği ..	45
Şekil 4.24 20J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-zaman grafiği .	46
Şekil 4.25 20J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe görüntüsü	46
Şekil 4.26 30J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği ..	47
Şekil 4.27 30J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-zaman grafiği .	48
Şekil 4.28 30J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe görüntüsü	48
Şekil 4.29 40J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği ..	49
Şekil 4.30 40J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-zaman grafiği	50
Şekil 4.31 40J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe görüntüsü	50
Şekil 4.32 50J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği ..	51
Şekil 4.33 50J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-zaman grafiği	52
Şekil 4.34 50J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe görüntüsü	52
Şekil 4.35 55J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği ..	53
Şekil 4.36 55J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-zaman grafiği	54
Şekil 4.37 55J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe görüntüsü	54
Şekil 4.38 60J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği ..	55
Şekil 4.39 60J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-zaman grafiği	56
Şekil 4.40 60J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe görüntüsü	56

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 Takviye malzemesi olarak kullanılan bazı elyaf malzemelerin özellikleri	10
Tablo 3.1 Kompozit plakalarda kullanılan kumaş gramajı ve tabaka sayısı.....	25
Tablo 4.1 Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri	34
Tablo 4.2 Deneylede kullanılmış cam elyafların özellikleri.....	34
Tablo 4.3 W/D=2 Yatak gerilmesi değerleri.....	36
Tablo 4.4 W/D=3 Yatak gerilmesi değerleri.....	37
Tablo 4.5 W/D=4 Yatak gerilmesi değerleri.....	37
Tablo 4.6 W/D=5 Yatak gerilmesi değerleri.....	37
Tablo 4.7 10J enerji uygulanan darbe testi sonuçları.....	45
Tablo 4.8 20J enerji uygulanan darbe testi sonuçları.....	47
Tablo 4.9 30J enerji uygulanan darbe testi sonuçları.....	49
Tablo 4.10 40J enerji uygulanan darbe testi sonuçları.....	51
Tablo 4.11 50J enerji uygulanan darbe testi sonuçları.....	53
Tablo 4.12 55J enerji uygulanan darbe testi sonuçları.....	55
Tablo 4.13 60J enerji uygulanan darbe testi sonuçları.....	57

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Giriş

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanımı yaygın hale gelmiştir. Kompozit malzemeler hafiflik, tasarım esnekliği, dayanım gibi avantajları sayesinde birçok sanayi alanında kullanılmaktadır. Malzeme yapısı gereği beraberinde birçok üretim tekniğininde geliştirilmesini sağlamaktadır.

Sanayide ve teknolojiye daha ekonomik, hafif ve dayanımlı malzeme üretim çalışmalarına ağırlık verilmelidir. Özellikle otomotiv, enerji, uçak ve uzay sanayinde kompozit kullanımı ve geliştirilmesi ağırlık kazanmıştır.

1.2 Kompozit Malzemenin Tanımı

İki veya daha fazla malzemenin makroskobik seviyede, birbiri içinde çözünmeyecek şekilde bir araya gelerek oluşturduğu yeni yapıya kompozit malzeme denir. Bu yeni yapı bileşenlerine göre daha üstün özelliklere sahiptir. Nihai yapıdan beklenen özellikler bileşenlerin nihai yapıya katkıları sayesinde sağlanır. Kompozit malzemelerin amacı bileşenlerin katkısı ile hafiflik, esneklik, dayanım gibi özelliklerin geliştirilmesidir.

Kompozit malzemeler makro ölçüde heterojen karakterli bir yapıya sahiptir. İç yapıları çıplak gözle incelendiğinde (makroskobik muayene) yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına karşılık mikro ölçüde (mikroskobik muayene ile seçilebilen) heterojen malzemelerdir (Eker, 2004).

Kompozit malzemelerde çekirdek olarak fiber kullanılmaktadır. Bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan matris kullanılmaktadır. Bu iki malzeme gurubundan fiber malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ve yük

taşıma özelliğini sağlamaktadır. Matris malzemenin iki ana rolü vardır. Plastik deformasyona geçişte olabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemelerin kopmasını geciktirmektedir. Diğer kullanım amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve kompozit malzemeye gelen yükün liflere homojen olarak dağılmasını sağlamaktadır (Çınar ve Elmas, 2007).

Kompozit malzeme kullanılarak üretilen parçalar tasarlanırken, parçanın hangi alanda kullanılacağı ve kullanıma yönelik spesifik ihtiyaçların neler olduğunun bilinmesi gerekir. Kompozit bir parça tasarlanırken maliyet, hammadde özellikleri, çevre koşullarının parçaya etkisi, imalat yöntemi, kalite kontrol metotları gibi bir dizi faktör birlikte değerlendirilmelidir. Tasarımda en büyük zorluklardan birisi kompozit malzemelerin izotropik özellikler göstermemesidir. Bu yüzden tasarımcı, parçaya her yönden ne kadar yük geleceğini ve parçanın hangi noktasında ne kadar mukavemete ihtiyacı olduğunu iyi anlayıp, fiberin yerleşim açılarını ona göre hesaplamalıdır. Kompozit malzemelerin, parça bütünlüğü, hafiflik, yüksek mukavemet, darbeye dayanımı ve uzun kullanım ömrü gibi özellikleri, geniş kullanım alanlarında avantajlar sağlamaktadır (Çınar ve Elmas, 2007).

Cam elyafı elastik bir malzemedir. Yük altında düzgün olarak kopma noktasına kadar uzayan cam elyaf, çekme yükünün kalkması sonucunda herhangi bir akma özelliği göstermeden başlangıç boyutuna döner. Diğer metallerde ve organik liflerde bulunmayan bu elastiklik ve yüksek mukavemet özellikleri; cam elyafına büyük miktarda enerjiyi, kayıtsız olarak depolama ve bırakma olanağı sağlamaktadır. Bu özellik, dinamik yorulma dayanımı, aşınmaya karşı korunması koşulu ile otomobil, kamyon amortisör yayları ve mobilya yayları gibi ürünlerin cam elyafı takviyeli plastik malzemeden yapılabilmesini sağlamaktadır. Cam elyafı takviyeli plastiklerde, cam elyafı takviyesinin yönü önemli bir etkidir ve bu cam elyafının reçine ile kaplanabilirliğini de etkiler. Dolayısıyla takviye miktarının artışı ile birlikte cam elyafının mukavemeti de artar (Çınar ve Elmas, 2007).

Kompozit malzemelerin bu üstün özelliklerine rağmen, yük taşıma kabiliyetinde zamanla azalma görülmektedir. Bu nedenle tasarım yapılırken uygun bir emniyet

faktörü ön görülerek, ani kırılmaların önüne geçilmesi gereklidir. Zamana bağlı olarak mukavemetin azalması, çekme dayanımının başlangıç değerinin 2/3' üne çok kısa sürede düşmesi ve 1/2'sine 50 yıl gibi bir sürede düşmesi şeklinde görülmektedir (Çınar ve Elmas, 2007).

1.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları

Kompozitler yüksek mukavemet değerleri sağlayan malzemeler arasında en etkin olanlardan birisidir. Çekme, eğilme, darbe ve basınç dayanımı gibi mekanik değerlerin sağlanmasına yönelik tasarlanabilmektedirler. Geleneksel malzemelerin aksine kompozitler, bir uygulamadaki özel tasarım beklentilerine uygun mukavemet değerlerini sağlayabilmektedirler (CTP teknolojisi, b.t.).

Kompozitler birim alan ağırlığında hem takviyesiz plastiklere, hem de metallere göre daha yüksek mukavemet değerleri sunmaktadırlar. Ürüne sağladığı yüksek mukavemet hafiflik özelliği etkin bir şekilde kullanılmasındaki en önemli nedenlerden biridir (CTP teknolojisi, b.t.).

Kompozitler bir tasarımcının aklında gelebilecek her türlü karmaşık, basit, geniş, küçük, yapısal, estetik ya da fonksiyonel şekle sokulabilirler. Maliyet düşürme çalışmalarının yanısıra, kompozit ürün tasarımcıları prototip üründen seri ürüne geçme yönünde yeni yaklaşımları denemektedirler (CTP teknolojisi, b.t.).

Çeşitli mekanik, çevresel baskılar altında termoset kompozit ürünler şekillerini ve işlevselliklerini korumaktadırlar. Kompozitler takviyesiz termoplastiklerin viskoelastik ve büzüşme özelliklerini sergileyemezler. Isıl genleşme katsayıları daha düşüktür. Kompozitlerin sünme noktası genel olarak kırılma noktasına eşdeğerdir (CTP teknolojisi, b.t.).

Kompozitlerin göze çarpan elektrik yalıtım özellikleri birçok komponentin üretimi konusunda açık bir tercih nedenidir. Ayrıca uygulama gereği uygun modifiye

edicilerin ve katkı malzemelerinin kullanılması durumunda kompozit ürüne elektriksel iletkenlik niteliği katmak da mümkündür (CTP teknolojisi, b.t.).

Kompozitler paslanmaz ve aşınmazdır. Çeşitli kimyasal ve ısı ortamlara dayanım sağlamak amacı ile geliştirilmiş birçok reçine sistemi mevcuttur. Uygun tasarlandığında kompozit ürünlerin en az bakımla, uzun süreli hizmet ömrüne sahip olmaları sağlanabilir (CTP teknolojisi, b.t.).

Kompozit ürünler çelik türündeki geleneksel malzemelerde karşılaşılan birçok parçanın birleştirilmesi ve sonradan monte edilmesi işlemini tek parçada kalıplama olanağı ile ortadan kaldırırlar. Böylece üretim maliyetlerinin daha düşük olmasını ve montaj sırasında karşılaşılabilecek sorunların azaltılması sağlanmaktadır (CTP teknolojisi, b.t.).

Kompozit uygulamaların çoğunda renk kalıplama sırasında ürüne kazandırılmakta ve uzun süre bakım gerektirmeden kullanılabilir (CTP teknolojisi, b.t.).

Genel bir kural olarak seçilen kalıplama yöntemi ne olursa olsun kompozit üretimi için seçilen araç ve gereçlerin maliyeti çelik, alüminyum ve metal alaşımli geleneksel malzemeler göre daha ucuzdur (CTP teknolojisi, b.t.).

1.4 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Kompozit malzemelerin hammaddesi ve üretim tekniği pahalı olabilmektedir. Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kayma dayanım özelliği bulunmaktadır (Vatangül, 2008).

Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur. Kompozitlerin gevrek malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarımları zordur (Vatangül, 2008).

Kompozit malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır. Bazı tür kompozitlerin soğutularak saklanmaları gerekmektedir. Sıcak kurutma gerekmektedir. Kompozitler onarılmadan önce çok iyi temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Bazı durumlarda bu zor olabilir. Bazı kurutma teknikleri uzun zaman alabilmektedir (Vatangül, 2008).

1.5 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Günümüzde kompozit malzemeler sanayinin birçok dalında geniş kullanım alanına sahiptir. Bu malzemeler yüksek dayanım, yüksek rijitlik, yüksek yorulma dayanımı, yüksek aşınma direnci, yüksek sıcaklık kapasitesi, iyi korozyon direnci, iyi termal ve ısı iletkenliği, düşük ağırlık ve kolay tasarım nedeni ile gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Diğer taraftan başka malzemelere göre hafif, kimyasal maddeler önünde dirençli, uygun elektrik ve ısı yalıtımına sahip olması, çelik ve alüminyum alaşımlarına göre yorulma direncinin yüksek olması kompozitleri diğer malzemelere göre üstün tutmaktadır. Bu nedenle kompozitlerin her ne kadar üretimi ve montajı diğer malzemelere göre pahalı olsa da verimi diğerlerine göre daha iyidir (Nejabati, 2014).

Bu verim ve uygunluktan ötürü kompozit malzemeler sanayide geniş kullanım alanı bulmuşlardır.

Havacılık ve Savunma Sanayi: Roket gövdesi, uçak gövdesi, savaş uçaklarının egzozları, uzay mekiklerinin farklı bölgeleri, tank atış odası, kompozit başlık.

Spor sanayi: Golf sopası, olta, sörf tahtası, bisiklet vb.

Otomotiv Sanayi: Kaporta, tampon vb.

Elektrik ve Elektronik Sanayi: Anahtarlar, Prizler vb.

Yol ve bina inşaat sanayi: Köprü tabanı, kompozit kolonlar, yüzme havuzları, soğutma kuleleri, kompozit asfalt vb.

Denizcilik sanayi: Kano, botlar, denizcilik yapıları ve iskeletler vb.

Tıp sanayi. Dişçilik malzemeleri, protezler, aletler vb.

Diğer sanayiler: bilgisayar parçaları, ev eşyaları, fotokopi cihazları, borular, tankerler, fenler, pompalar, su filtre cihazları vb (Nejabati, 2014).

1.6 Kompozitin Gelişimi

Kompozit malzemelerin bilinen en eski ve en geniş kullanım alanı, inşaat sektörüdür. Saman ile liflendirilmiş çamurdan yapılmış duvarlar ilk kompozit malzeme örneklerindedir. Sonraları taş, kum, kireç, demir ve çimento ile oluşturulan kompozit malzeme evlerimizi oluşturmaktadır. Otoyollar, asfalt, ve çakıl taşı karışımı ile daha lineer, dayanımlı bir duruma gelmiştir (Çınar ve Elmas, 2007).

Teknoloji gelişimine paralel olarak elektrik enerjisi naklinde kompozit malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. İyi bir iletken olan bakır fiberler ile hafif metal olan alüminyum matris kullanılarak, enerji nakli daha verimli bir hale getirilmiştir. Selüloz ve reçineden oluşan kağıt ise yaşamımızın her alanında eşsiz bir kullanım aracı olarak bilimin ve insanlığın hizmetine sunulmuştur. Deri ve bez parçalarından sonra kullanıma sunulan kağıt, bilimsel çalışmaların, sanatsal olayların, hatta toplumsal kültürlerin belgelenmesinde ve gelecek nesillere ulaştırılmasında en önemli araç olmuştur. Kompozitler her çağda geniş kullanım aracı bulmuştur ve sürekli gelişmektedir (Çınar ve Elmas, 2007).

1.7 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler takviye fazı, matris fazı gibi iki ana fazdan oluşmaktadır. Bu fazlarda kullanılan malzeme çeşitlerine göre sınıflandırılabilirler.

1.7.1 Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma

Kompozit malzemeleri kullanılan matris malzemesine göre üç sınıfta tanımlayabiliriz. Bunlar metal matrisli kompozitler, seramik matrisli kompozitler, polimer matrisli kompozitlerdir.

1.7.1.1 Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak, dökme demir, çelik, bakır, alüminyum ve bronz gibi metaller kullanılır. Takviye elemanı kullanılmayabilir veya metal bağlayıcılar kullanılabilir. Bu tür kompozitlerde takviye malzemesi olarak, metal, plastik, seramik, ağaç tozu, pudra kullanılabilir (Ekşi, 2007).

1.7.1.2 Seramik Matrisli Kompozitler

Matris malzemesi seramiktir. Bağlayıcı eleman kullanılmayabilir ya da metal, seramik ve diğer kimyasal bağlayıcılar kullanılır. Takviye elemanı olarak ise metal, plastik, seramik ve ağaç tozu kullanılabilir (Ekşi, 2007).

1.7.1.3 Polimer Matrisli Kompozitler

Plastik, monomer denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen zincir şeklinde bir yapıya sahip sentetik malzemedir. Bir monomer, polimerizasyon yoluyla başka monomer molekülleri ile birleşerek tekrarlanan ünitelerden oluşan çok uzun zincir şeklinde bir makro molekül meydana getirir. Bunların en basit şekli polietilendir. Plastikler hafif olması ve kolay işlenebilmelerinden dolayı geniş bir uygulama alanına sahiptirler (Ekşi, 2007).

Termoset ve Termoplastik olarak sınıflandırılabilirler.

1.7.1.3.1 Termoplastikler. Çizgisel moleküllü yapıya sahiptirler ve molekülleri Van Der Waals bağları ile birbirlerine bağlanır. Bağlantıları zayıf olduğu için rijit bir

yapıya sahip değildirler. Isıtıldıkları zaman yumuşarlar ve vikoiziteleri düşer. Kürleme işleminden sonra bir daha kullanılabilir hale gelebilirler bu nedenle ekonomiktirler. Akrilikler, fluoro karbon esaslı plastikler, asetol reçineler, polyamidler ve PVC gibi vinil esaslı plastikler bu guruba girmektedir (Nejabati 2014).

1.7.1.3.2 Termosetler. Polimerizasyonla elde edilirler ve molekül zincirleri üç boyutlu yapıya sahiptirler. Kürlemeden sonra tekrar kullanılamazlar ve rijittirler. Fiziksel ve mekaniksel özellikleri moleküllerin büyüklüğüne, yoğunluğuna ve çapraz bağın uzunluğuna bağlıdır. Epoksi reçineler, polyester reçineler, vinil ester reçineler ve fenolik reçineler bu guruba girmektedir (Nejabati, 2014).

Epoksi Reçineler ısıl işlem görmüş ve görmemiş olmak üzere iki kategoriye ayrılırlar. Isıl işlem görmemiş epoksiler düşük polimerizasyon derecesine sahiptir. Isıl işlem görmüş epoksiler ise yüksek dayanıma ve iyi ısıl ve kimyasal dirence sahiptir. Farklı sanayilerde geniş kullanım alanına sahiptir (Nejabati, 2014).

Kompozit malzemelerde kullanılan iki tür polyester reçine vardır. Birincisi isoftalik, ikincisi ise ortoftaliktir. Polyester reçineleri polimerizasyon süreçlerinin tamamlanması için katalizöre ihtiyaç duyarlar. Polyester reçinelerin avantajları; kolay kullanıma sahip olması ve düşük maliyetli olmasıdır (Nejabati, 2014)

Vinil ester reçineler bağ durumuna göre termoplastik ve termoset de olabilirler (Şahin, 2006). En önemli avantajları bileşenler arasında iyileştirilmiş bir bağ mukavemetine sahip olmalarıdır (Nejabati, 2014).

Fenolik reçinelerin ticari ismi bakalittir ve her zaman selüloz elyaflar ve kalıplama malzemesi olarak kullanılan mineraller gibi dolgu maddeler ile birleştirilir. Yüksek sıcaklıklar önünde dirençli olmalarına rağmen düşük mekanik özelliklere sahiptirler (Nejabati, 2014).

1.7.2 Takviye Malzemesine Göre Sınıflandırma

Kompozitin yapısını oluşturan ana bileşenlerden biri olan takviye malzemesine göre sınıflandırma yapılabilir. Bu sınıflandırma: elyaf takviyeli kompozitler, parçacık takviyeli kompozitler, tabakalı kompozitler şeklinde yapılabilir.

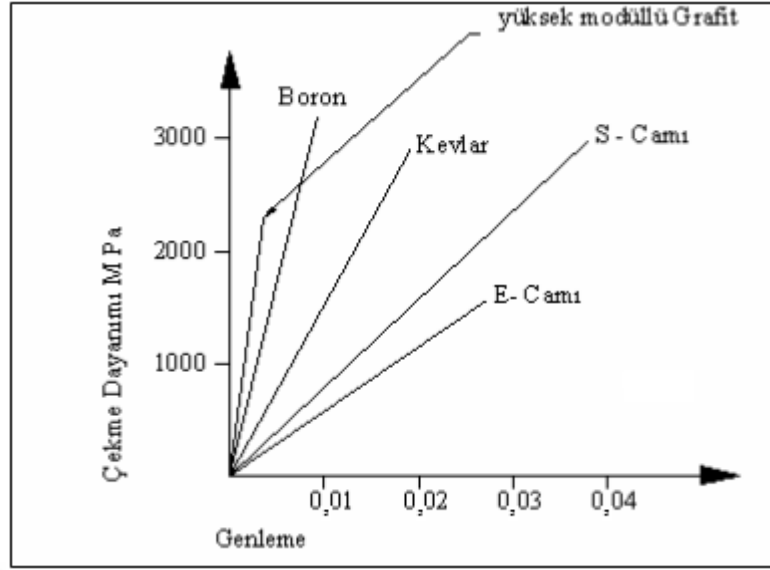
1.7.2.1 Elyaf Takviyeli Kompozitler

Elyaf takviyeli kompozitler, elastisite modülü ve dayanımı düşük matris malzemesi içine yüksek bükülmezlik ve rijitlik değerlerine sahip olan elyafların ilave edilmesiyle meydana getirilmektedir. Bu elyafların matris malzemesi içerisine ilave edilmesiyle elde edilen kompozit malzemenin çekme dayanımı yorulma dayanımı rijitlik bükülmezlik özelliklerinde iyi yönde artışlar olur. Kompozit malzeme içerisindeki elyaf yoğunluğu kompozit malzemenin özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Elyaf-Fiber takviyeli kompozit malzeme bir yüke maruz kaldığında matris malzemesi yükü takviye malzemesine iletir ve yükün büyük bir kısmı takviye malzemesi tarafından kaşılır. Elyaf takviyeli kompozitlerde kullanılan elyafların malzeme içerisindeki yönlenmeleri kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini direkt olarak etkilemektedir. Elyaf lar örme ve şerit fitil şeklinde olabilmekle beraber, tabakalar halinde yönlü elyaflarda bulunmaktadır. Mekanik özellikleri büyük gelişme gösteren ve en çok kullanılan kompozit malzemeler, elyaf takviyeli olanlardır. Elyaf lar, sürekli veya süreksiz olabilir. Cam, karbon, aramid, bor, SiC, Al₂O₃ ve metal gibi malzemeler elyaf olarak çok kullanılır. Takviye malzemesi olarak kullanılan bazı elyaf malzemelerin mekanik özellikleri tabloda gösterilmiştir (Ekşi, 2007).

Tablo 1.1 Takviye malzemesi olarak kullanılan bazı elyaf malzemelerin özellikleri

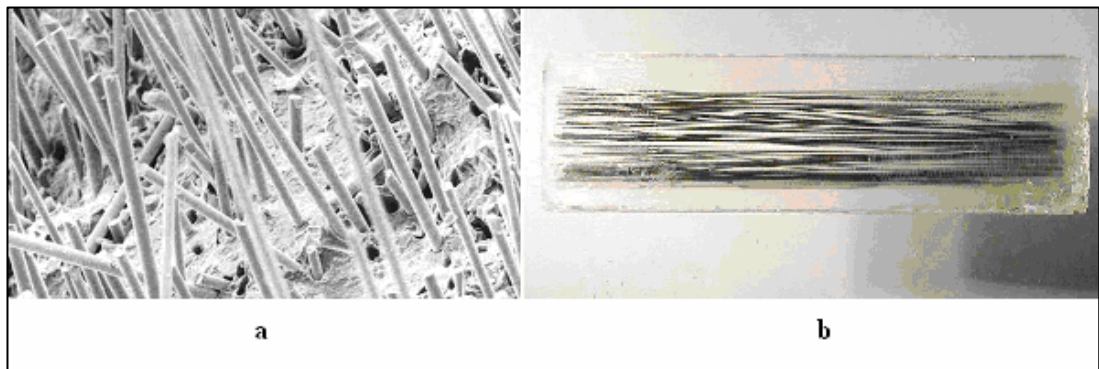
Malzeme	Yoğunluk (g/cm³)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastiklik Modülü (Gpa)	Kopma Uzaması (%)
E-camı	2,54	3448	72,4	2,75
S-camı	2,49	4585	85,5	-
Bor	2,68	3448	413,7	0,7
Karbon	1,85	2900-2000	520-220	0,5-1,3
Kevlar 49	1,44	2706	131	2,5

İlk üretilen sürekli elyaflar boron SiC olmasına rağmen sonrasında karbon ve alümina esaslı elyaflarda uzun olarak üretilmişlerdir. Elyaf takviyeli kompozitlerde genelde elyaf yönlendiği için elde edilen yeni malzeme anizotropiktir. Sürekli elyaflar yönlendirme özelliklerinden dolayı diğer takviye elemanlarına göre daha üstün özelliklere sahiptirler. Tek yönde çekme zorlamasına maruz kalan bölgelerde yönlendirilmiş uzun elyaflar nedeniyle maksimum dayanım özellikleri sergilenir. Ancak elyaf eksenine dik doğrultuda düşük özellikler elde edilir. Çünlü elyaf eksenine dik doğrultuda çekme zorlanmasına karşı direnç gösteren ve yükü taşıyan matris malzemesidir. Bu sorunu gidermek için hem elyaf eksenine dik hem de elyaf eksenine paralel doğrultuda kuvvet uygulandığında mekanik özellikleri iyileştirmek için ise değişik açılarda takviyelendirme yapılmak suretiyle bu doğrultularda daha yüksek özelliklerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir (Şahin, 2000).



Şekil.1.1 Değişik fiber malzemelerin gerilme-genleme eğrileri

Kısa elyaf olarak adlandırılan elyaflar yaklaşık olarak, 3-5 μm çapında ve yaklaşık 0,5 - 6 mm uzunluğunda üretilirler. Kısa elyaflarda takviye edilerek üretilen kompozit malzemeler, takviye elemanının ergiyik içinde malzeme ile birleşimi için sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile preformlara basınçlı olarak ergiyik emdirilir. Ergiyik içinde takviye elemanın hacimsel oranı, sıvının vizkositesinin yükselmesi ile sınırlandırılmıştır. Preform halindeki elyaflara sıvı metal emdirilirken hacim oranları önem arz ettiğinden elyaf oranı yaklaşık % 33 civarında olup bu değer üzerine çıkıldığında istenilen özellikleri elde etmek zorlaşmaktadır (Şahin, 2000).



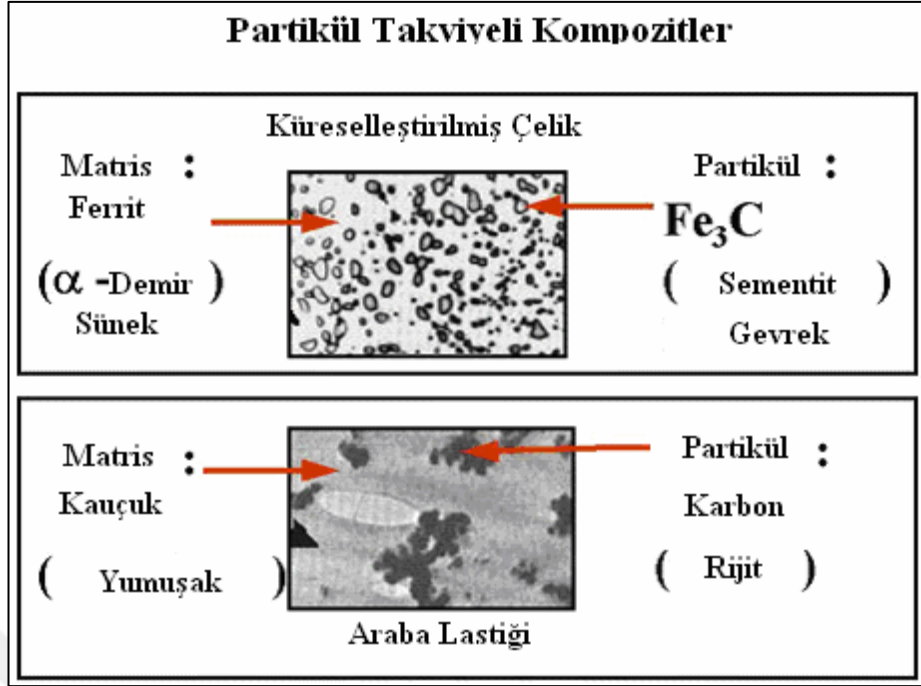
Şekil 1.2 a) Kısa cam elyaf ile takviye edilmiş bir malzemenin kırılma yüzeyi b) Fiber takviyeli termoplastik matrisli bir kompozit

Kısa elyaflar malzeme içerisinde rasgele yönlendirilmektedirler. Kısa elyaflı kompozit malzemeleri üretmenin en kolay yollarından biri sıkıştırılmalı döküm tekniğidir. Bu yöntemle motorlarda kullanılan piston başlığı üretimi yapılmaktadır. Pistonun baş kısmında sık karşılaşılan termal yorulmayı önlemek için genellikle kısa elyaf kullanılır. Toz metalürjisi ve plazma püskürtmeli çökertme metotları aracılığı ile kısa elyaflı kompozitler üretilmektedir. Toz metalürji metodunda mekanik yükler nedeniyle elyaflar hasar görebilmekteyken plazma püskürtme metodunda şekil ve ölçü faktörlerinin sınırlı olması nedeniyle, üretilen kompozitin özelliği düşük olabilmektedir. Ancak sürekli elyaf takviyeli kompozitlere nazaran kısa elyaflı kompozitlerin üretim işleminin hızlı olması ve şekil verme işleminin kolay olması nedeniyle kısa elyaflar takviye malzemesi olarak tercih edilmektedir. (Şahin, 2000)

Uzun elyaflar kompozit malzemelerde son yıllarda sıkça kullanılmaktadır. Uzun elyafla takviye edilmiş plastik kompozitlerin mekanik ve termo- mekanik özellikleri daha üstün bulunmuştur (Erdoğan, 2001).

1.7.2.2 Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler

Parçacık takviyeli kompozitler tek veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemeler olup ortalama gömülen parçacık boyutu 1 µm'den büyük ve elyaf hacim oranı % 25'ten fazla kullanılmamaktadır. En çok kullanılan parçacıklar ise Al₂O₃ ve SiC'den oluşan seramiklerdir (Şahin, 2000).

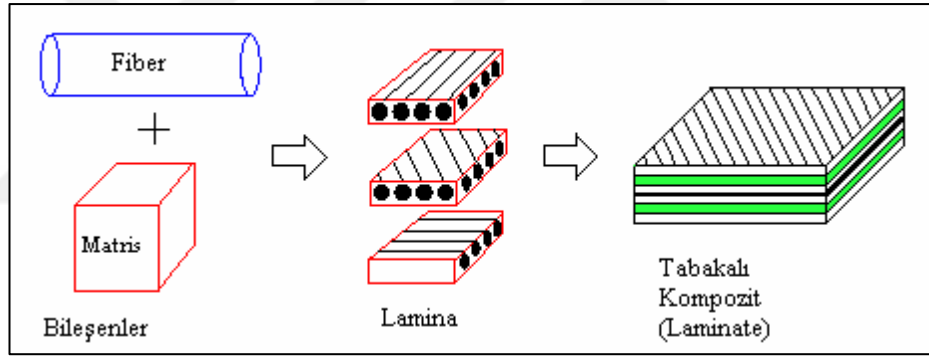


Şekil 1.3 Partikül takviyeli kompozitlere örnekler

1.7.2.3 Tabakalı Kompozit Malzemeler

Tabakalı kompozit malzemeler, temel malzeme eksenleri doğrultusunda yönlendirilmiş elyaf ve diğer takviye malzemeleriyle takviye edilmiş, değişik yönlerdeki tabaka ve katmanların üst üste konularak bir araya getirilmesi ile oluşmaktadır. Tabakalı kompozitler matris malzemesi içerisinde rasgele yönlendirilmiş elyaflar, tek yönlü elyaflar ve farklı yönlerde yönlendirilmiş elyaf takviyeli tabakalardan oluşabilirler. Tabakalı kompozitler için asıl ulaşılmaması gereken amaç kompozitin maruz kalacağı yüklere uyum sağlaması için dayanım ve rijitliğin doğrusal bağımlılığından avantaj sağlamaktır. Dolayısıyla tabakalı kompozitler bu amaç doğrultusunda geliştirilmelidirler. Tabakalı kompozit malzeme içerisindeki her tabaka istenen doğrultuda yönlendirilmiş elyaflarla takviye edilebilir ve bu tabakalar birbirlerine istenen açılarla birleştirilebilirler. Örneğin elimizde on tabakadan oluşan bir tabakalı kompozit malzemenin olduğunu ve altı adet tabakanın bir yönde ve diğer dört adet tabakanın ise bu tabakalara dik biçimde (90^0) konumlandırıldığını düşünelim. Sonuçta bir doğrultuda yönelimli kompozitin dayanım ve rijitliği yaklaşık % 50 değerinden fazla olacaktır. Her iki doğrultuda uzamalı rijitlik oranı yaklaşık

3/2'tir. Eğilme rijitliği orta yüzey için belli değildir. Tabakalı kompozitlerde her bir tabakanın bitişiğindeki tabakadan bağımsız olarak deforme olma eğilimi olduğu için kayma gerilmeleri oluşabilir. Bu bütün tabakalarda temel malzeme doğrultularındaki farklı yönelme kadar farklı özelliklerden de ileri gelebilir. Bu kayma gerilmeleri, tabaka kenarları yakınında en büyük olur ve delaminasyon başlama sebebi olur. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler geniş özelliklerine bağlı olarak tek veya çok katlı kompozit malzemeler olarak da sınıflandırılabilir. Tek katlı kompozitler birkaç farklı tabakadan yapılabilir. Her tabaka aynı yönelme ve özelliklere sahip, sonuçta tüm tabakalar tek katlı tabakalı malzeme olarak düşünülebilir. Kesikli elyaf takviye içeren ve kalıpla üretilen kompozitlerde elyaf dağılımı kalınlık boyunca üniform dağılmamasına rağmen farklı tabakalara sahip olarak değerlendirilmez ve tek katlı kompozit sayılır (Şahin, 2000).



Şekil 1.4 Tabakalı kompozit üretiminin şematik gösterimi

1.8 Cam Elyaf

Cam elyafı silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Cam elyafı, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve kullanılanıdır. Cam elyafı özel olarak tasarlanmış ve dibinde küçük deliklerin bulunduğu özel bir ocaktan eritilmiş camın itilmesiyle üretilir. Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak kompozit hammaddesi olarak nakliye edilir. Özellikle cam elyafı ile matris arası yapışma gücünü arttıran “silan” bazlı ve elyaf üzerinde ince film oluşturan kimyasalların sonra kullanım sahaları artmıştır (Arıcasoy, 2006).

Elyaf lar işlem sırasında dayanıklılıklarının yarısını kaybetmelerine rağmen son derece sağlandırlar. Cam elyafı halen aramid ve karbon elyaf larından daha y u ksek dayanıklılık ozelliklerine sahiptir. Elyaf kumaşları genellikle s u rekli cam elyaf ının lifleri ile u retilmektedir. İşlemler sırasında değişik kimyasalların eklenmesi ve bazı ozel uretim y o nte mleri ile farklı t u rde cam elyaf ı u retilebilmektedir (Arıcasoy, 2006).

A Cam - Pencerelerde ve şişelerde en c o k kullanılan cam c e şididir. Kompozitlerde c o k fazla kullanılmaz.

C Cam - Y u ksek kimyasal direnc g o sterir. depolama tankları gibi yerlerde kullanılır.

E Cam -Takviye elyaf larının uretiminde en c o k kullanılan cam t u r u d u r. D u ř u k maliyet, iyi yalıtım ve d u ř u k su emiş oranı ozelliklerine sahiptir.

S+R Cam – Y u ksek maliyetli ve y u ksek performanslı bir malzemedir. Yalnız u c a k sanayisinde kullanılır. Elyaf i c indeki tellerin c a pları E Cam'ın yarısı kadardır. B o ylelikle elyaf sayısı fazlalaşır dolayısıyla birleşme ozelliklerinin daha g u c l u olması anlamına gelen daha sert y u zey elde edilebilmektedir (Arıcasoy, 2006).

Cam elyaf ın kullanım amacına bağlı olarak elyaf sar ma bi cimleri farklı olabilir. Elyaf c a pı ve demetteki lif sayısı farklılaşabilir. Cam elyaf ı bi cimlendirildikten sonra yıpranmaya dayanımın artması i c in kimyasallarla bir kaplama işlemi yapılır. Kaplama malzemesi olarak genellikle elyaf ın kompozit malzemeye uygulanmasından o nce kolaylıkla kaldırılabilen ve suyla c o z u le bil en polimerler kullanılmaktadır. Elyaf ile re c inenin birbirine iyi yapışması c o k o n emlidir. İy i yapışmamaktan dolay ı birbirinden kayan takviye malzemesi ve matris, kompozit, malzemenin sertliğini ve sağamlık performansını d u ř u r u r. Bu durumun engellenmesi i c in elyaf kimyasallarla kaplanır (Arıcasoy, 2006).

BÖLÜM İKİ

BU ALANDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR VE TEZİN AMACI

2.1 Bu Alanda Yapılmış Çalışmalar

Takviye kumaş oryantasyonunun kompozitin mukavemetine ve hasar tipleri ve ilerlemesine etkisini incelemek amacıyla bu alanda olan bazı çalışmaları incelemek gerekirse;

Kompozitlerdeki yatak dayanımlarının nümerik ve deneysel olarak incelenmesi üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalarda nümerik ve deneysel çalışmaların sonuçlarının kıyaslanması yapılmıştır. Bu alanda yapılan diğer çalışmalarda ise kumaş oryantasyonunun hasar ilerleme ve hasar tiplerine etkisi incelenmiştir.

Chang, Liu ve Chang (1991) açık delik içeren tabakalı kompozitlerde çekme hasarı çalışması yapmışlardır. Çalışmada yükün etkisinin sonuçları incelenmiştir. Analizler ve deneyle grafit epoksi kompozitler üzerinde yapılmıştır. Deneylerde farklı grafit epoksi malzemeler kullanılmıştır. Problemi çalışmak için ilerleyen hasar analizi geliştirilmiştir. Nümerik hesaplamalar ve deneysel çalışmalarla geniş bir karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda hasarın tipine ve büyümesine kumaş dağılımının direk olarak etkisi olduğu bulunmuştur (K.Y.Chang, S.Liu ve F.K.Chang, 1991).

Lessard ve Shokrieh (1995) pim bağlantılı kompozitlerde iki boyutlu ilerleyen hasarı nümerik olarak modellemiştir. Fiber çekme, basma, kayma kriterlerini uygulamışlardır. Çalışmalarında pim deliği boyutu kenar uzaklığı ve numne genişliği oranlarının kompozitin mukavemetine etkileri araştırılmıştır. Hasar ilerleme analizini nümerik ve deneysel olarak inceleyip karşılaştırmışlardır (Lessard ve Shokrieh, 1995).

Camanho ve Matthews (1997) fiber takviyeli kompozitlerde mekanik bağlantılı mafsalların mukavemet analizleri üzerine yapılmış araştırmalar incelemiştir. Mekanik bağlantılı kompozitler için bağlantı şeklinin, kumaş oryantasyonunun, kalınlık boyuncaki basıncın bağlantı davranışı üzerine etkilerinin deneysel gözlemleri anlatılmıştır. Nümerik yaklaşımlar iki ve üç boyutlu modelleri içermiştir ve boşluk, sürtünme ve geometri etkilerini değerlendirmiştir. Hasarı tahmin etmek için kullanılacak metod hakkında genel bir kanıya varılamamıştır, fakat bağlantının davranışının önemli yönleri modellenebildiği için ilerleyen hasar modelleri umut vericidir. Üç boyutlu modellerin kullanımı önerilmiştir. Bu modellerin üç boyutlu hasar kriterine ve uygun özellikli bozulma kanuna ihtiyaç vardır (Camanho ve Matthews, 1997).

Camanho ve Matthews (1999) yatak, gerilme ve kopma hasar modunda olan karbon fiber takviyeli kompozitlerin dayanımlarını ve hasar yayılımlarını bulmak için üç boyutlu sonlu eleman modeli oluşturmuşlardır. Bu model üç boyutlu sonlu eleman modeli üstüne, hasarın malzemenin elastik özellikleri üstünde etkisini hesaba katan kurucu denklem ve üç boyutlu hasar kriteri üstüne baz alınmıştır. Bu hasarın fonksiyonları olan iç durum değişkenleri kullanılarak sağlanmıştır. Bu formülasyon bağlantılı bağlantılı mukavemetini tahmin etmek için bu formülasyon global hata kriteri ile birlikte kullanılmıştır. Hasar ilerlemesini, bağlantı rijitliğini ve mukavemetin içeren deney sonuçları bu tahminlerle karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar ve nümerik tahminler arasında iyi bir uyum elde edilmiştir (Camanho ve Matthews, 1999).

Okutan (2001) çalışmasında farklı takviye açıları ve farklı dokulara sahip cam elyaf tabakalı kompozitlerin pim yük etkisi altındaki davranışları nümerik ve deneysel olarak incelemiştir. Tek yönlü cam-epoksiye ait malzeme özellikleri statik yükler altında çekme, basma ve kayma deneyleri yapılarak tespit edilmiştir. Pim bağlantılı kompozitlerdeki hasarları belirlemek için farklı takviye açılarına sahip kompozit numunler hazırlanmış ve deneyler yapılmıştır. Pim delik merkezi ile numune ucundaki uzaklığın oranı birden beşe kadar tanımlanmış ve numune genişliğinin pim çapına oranı 2 den 5'e kadar olacak şekilde belirlenmiştir. Gerilme

dağılımı, hasar tipleri, hasar mukavemetlerini tespit etmek için Larry Lessard tarafından geliştirilmiş PDNLPIN sonlu eleman programı kullanılmıştır. ANSYS programından elde edilen sonuçlar PDNLPIN programından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Okutan, 2001).

İçten ve Karakuzu (2002) pim yükü taşıyan çeşitli oryantasyondaki karbon epoksi kompozit plakaların hasar modlarını ve yatak dayanımlarını bulmak ve incelemek için nümerik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Nümerik çalışmada hasar yükünü ve hasar modunu belirlemek için Hashin ve Hoffman Kriterlerini kullanmışlardır. Pim bağlantısının maksimum dayanımını ve hasarın ilerlemesini içeren deney sonuçları bu kriterlerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada deney numunlerinin genişliğinin delik çapına oranı ve deliğin merkezinden kenara olan uzaklığın delik çapına oranı belirlenmiştir. Çekme testleri yapılarak malzemenin boyutlarının delik çapına olan oranındaki değişimlerin sonuçlara etkisi karşılaştırılmıştır. Bunun haricinde bu çalışmada hasar yükünü, hasar modunu bulabilmek amacı ile sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir (İçten ve Karakuzu 2002).

Kelly ve Hallstrom (2004) kıvrımsız kumaştan üretilmiş karbon fiber epoksi kompozitlerin yatak mukavemetini incelemiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda mekanik bağlantılı mafsallarda pim delik arasındaki boşluğun önemli bir etkiye sahip olduğu çıkmıştır. Üç boyutlu nonlinear bir sonlu eleman modeli geliştirilip pim delik arasındaki boşluğun etkileri nümerik olarakta incelenmiştir (Kelly ve Hallstrom, 2004).

2.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada farklı gramajlarda ve farklı tabaka sayılarında cam elyaf kullanılarak 3 ayrı tip malzeme üretilmiştir. Bu malzemelerden üretilen kompozitler CA, CB, CC olarak adlandırılmıştır. CA kompozitinde 14 tabaka 300 g/m² gramajlı kumaş, CB kompozitinde 8 tabaka 500 g/m² gramajlı kumaş, CC kompozitinde 5 tabaka 800 g/m² gramajlı kumaş kullanılmıştır. CA, CB, CC kompozitlerinde aynı kalınlık elde edilmeye çalışılmıştır. Üretilen kompozitlerin çekme, basma, kayma, darbe deneyleri yapılarak mekanik performansları karşılaştırılmıştır. Pimli deneyler uygulanarak yatak mukavemetleri ve hasar tipleri incelenmiştir. Darbe deneyleri ile absorbe edilen enerjiler ve hasar dayanımları karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM ÜÇ

TEST NUMUNELERİNİN ÜRETİMİNDE KULLANILAN METOD VE MALZEMELER

3.1 Test Numunelerinin Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışma kapsamında test numunelerinin üretiminde ana malzeme olarak cam elyaf, reçine ve sertleştirici kullanılmıştır.

3.1.1 Cam Elyaf

Bu çalışmada deney numunelerinde kullanılmak üzere E-cam lifli elyaflardan oluşan düz dokuma kumaşlardan faydalanılmıştır.

Deneyleerde 3 tip numune karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyleer için yeterli numunenin üretilebilmesi için 1200 mm x 900 mm boyutlarında cam elyaf kumaşlar kesilmiştir.

Üretilen numuneler için 3 mm plaka kalınlığını yakalayabilmek için farklı birim alan gramajına sahip cam elyaf kumaşlardan farklı adetler kullanılmıştır. Bu çalışmada takviye kumaşın gramajının kompozitin mekanik özelliklerine etkisi araştırıldığı için üretilen kompozit plakaların içinde aynı tip ve aynı yoğunluğa sahip cam elyaf kullanılmıştır.

İlk kompozit plakanın üretimi için gramajı 300 g/m² olan kumaştan 14 adet, ikinci kompozit plakanın üretimi için birim gramajı 500 g/m² olan kumaştan 8 adet, üçüncü kompozit plakanın üretimi için gramajı 800 g/m² olan kumaştan 5 adet kullanılmıştır. Çeşitli gramajdaki kumaşların farklı katlarda kullanılması ile aynı kalınlıkta 3 adet kompozit plaka üretilmiştir.

Şekil 3.1’de deney numunesi üretmek için kesimi yapılmış cam elyaf kumaş gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Deney numunesi üretmek için kesimi yapılmış cam elyaf kumaş

3.1.2 Epoksi Reçine ve Sertleştirici

Vakum infüzyon tezgahındaki üretimden önce reçine ve sertleştirici bir kaba uygun oranlarda konularak karıştırılmıştır. Kullanılan reçine ve sertleştirici tipi ve miktarları aşağıdaki gibi belirtilmiştir.

Bu çalışmada reçine olarak Huntsman Araldite LY 1564 epoxy, sertleştirici olarak Huntsman Aradur 3487 BD UN2735 kullanılmıştır. Epoxy:Sertleştirici oranı gram olarak 3:1 şeklindedir.

3.2 Test Numunelerinin Üretim Metodu

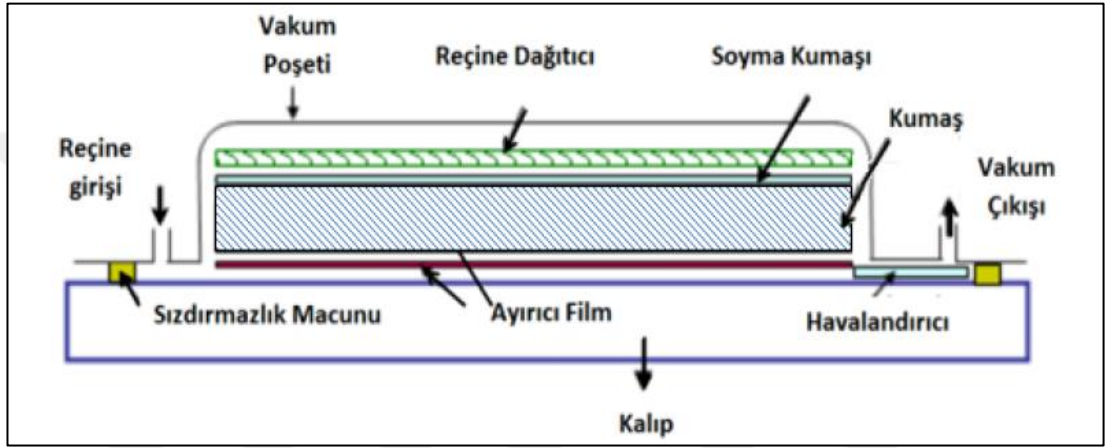
3.2.1 Vakum İnfüzyon Yöntemi

Vakum infüzyon, reçineyi vakum aracılığıyla elyaf içine emdiren bir tekniktir. İstenilen yapıya göre düzenlenmiş elyaflar kalıba yerleştirilir ve kalıp vakuma alınır. Genellikle düşük viskoziteli reçineler kullanılır, reçine vakumdan dolayı sistemde ilerler ve elyaflar reçine ile ıslanmış olur. Çok az boşluklu, yüksek mekanik özellikler sahip kompozitler üretilebilmektedir. Tek taraflı kalıbın kullanıldığı bu yöntem ile rüzgar türbin kanadı, yat gövdesi gibi çok büyük yapılar da üretilebilmektedir. Üretim kapalı kalıpta olduğu için kullanımı giderek artmaktadır.

Vakum infüzyon yönteminde öncelikle kalıba kumaşlar ve varsa çekirdek malzemeleri üretilemek istenilen yapıya göre istiflenir. Tüm kumaşı örtecek şekilde

soyma kumaşı serilir. Reçine akışını kolaylaştırmak için infüzyon filesi kullanılır. Kumaşların dışına kalıbın uygun yerlerine vakum macunu döşenir. Spiral hortumlar reçinenin verileceği kısım ve havanın çekileceği kısım uygun olarak yerleştirilir ve vakum torbası vakum macununa uygun şekilde yapıştırılır. Sistem vakuma alınır. Hava kaçağı yoksa sisteme reçine verilir (Kompozitsan, b.t.).

Vakum infüzyon yönteminin şematik gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 Vakum destekli reçine transfer yöntemi (Taşkın, 2015)

Vakum infüzyon yönteminin diğer polimer matrisli kompozit üretim yöntemlerine göre avantajları şunlardır:

- Tek taraflı bir kalıba ihtiyaç vardır.
- Çok sağlam bir kalıba ihtiyaç yoktur.
- Büyük parçalar bu yöntemle üretilebilir.
- El yatırma yönteminde kullanılan kalıplar bu yöntem için düzenlenerek kullanılabilir (Kompozitsan, b.t.)

Vakum infüzyon yönteminin diğer polimer matrisli kompozit üretim yöntemlerine göre dezavantajları şunlardır:

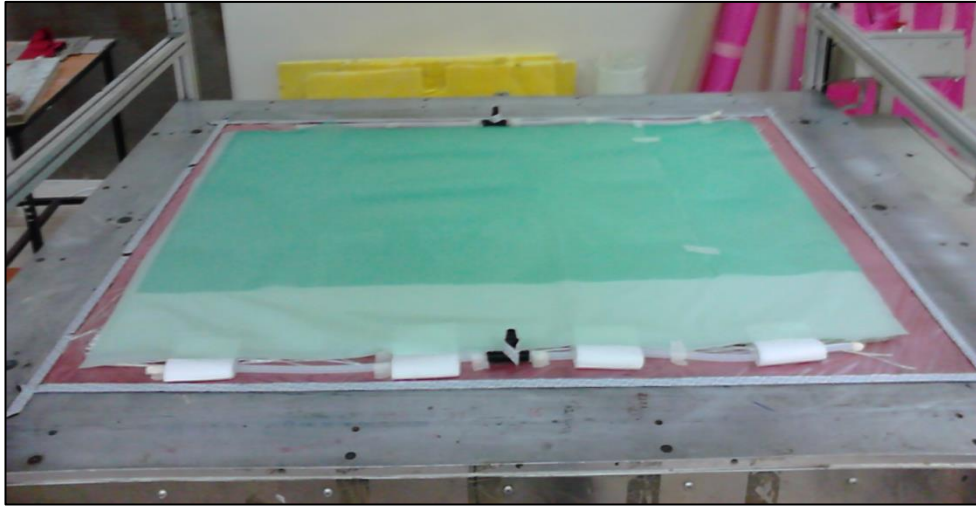
- İşlem basamakları kısmen karmaşıktır.
- Düşük viskoziteli reçine kullanımı mekanik özellikleri olumsuz etkileyebilir.

- Reçine ile ıslanmamış bölgeler kalabilir; bu da pahalı atık malzemeye neden olabilir (Kompozitsan, b.t.).

3.2.2 Deneylerde Kullanılacak Kompozit Plakaların Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Üretilmesi

Öncelikle cam elyaf kumaşlardan 900 mm x 1200 mm boyutlarında tabakalar kesilmiştir. İlk plaka için 300 g/m² gramajlı kumaştan 14 tabaka, 2. Plaka için 500 g/m² gramajlı kumaştan 8 tabaka, 3. plaka için 800 g/m² gramajlı kumaştan 5 tabaka kesilmiştir. Bu sayede üretilen kompozit plakaların aynı kalınlıkta olması sağlanmıştır.

Deney malzemeleri tezgaha konmadan önce tezgah yüzeyi temizlenmiştir. Tezgaha öncelikle ayırıcı film kesilen cam elyaf ebatlarından daha büyük olacak şekilde kesilmiş ve konmuştur. Çift taraflı yapışkan vakum macunu ayırıcı film kenarları düzgün bir şekilde kesildikten sonra ayırıcı torbanın kenarlarına yapıştırılmıştır. Cam elyaflar gereken katlarda ayırıcı filmin üzerine yerleştirilmiştir. Ayırıcı kumaş (peel ply) cam elyafların üstüne serilmiştir

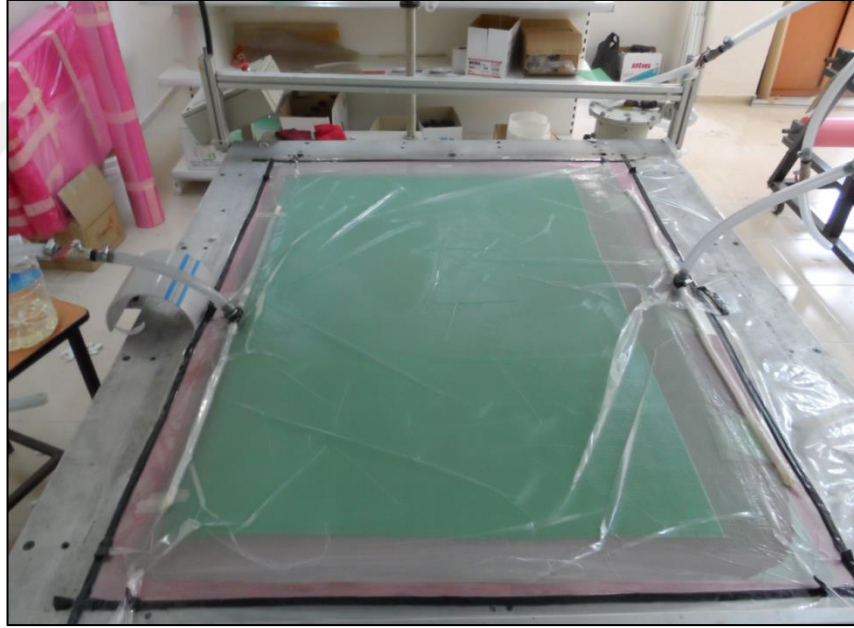


Şekil 3.3 Cam elyaf, ayırıcı kumaş, boru ve stoper düzeneği

Ayırıcı kumaşın üstüne reçine infüzyonunun sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi amacı ile dağıtıcı kumaş serilmiştir. Dağıtıcı kumaş sayesinde reçine infüzyonu hızlı ve homojen bir şekilde gerçekleşmiştir.

Vakum hattı ve reçine hattı için vanalar, T vanalar, spiral hortumlar, normal hortumlar kullanılmıştır. Bunlar Şekil 3.3 te gösterilmektedir. Vakum hattı tarafına reçine ilerleyişin düzenlemek amacıyla stoperler konmuştur.

Kullanılan malzemelerin üstü vakum torbasıyla örtülmüştür. Vakum torbası çift taraflı yapışkan macuna yapıştırılmıştır. Spiral hortumların normal hortumlarla bağlandığı girişlerde vakum torbası delinmiş ve torba macunlarla vanalara yapıştırılmıştır. Sertleştirici ve reçine, reçine kabına uygun oranda konmuş ve karıştırılmıştır.



Şekil 3.4 Vakum infüzyon düzeneği

Vakum infüzyon yönteminde en önemli nokta hava kaçağından sakınmaktır. Bu nedenle reçine verilmeden önce kontrol amaçlı vakum uygulanmış ve her bir plakanın üretiminde bir süre vakumda bekleme yapılmıştır.

Düzenek kontrol amaçlı olarak vakumda bekletilip hava kaçağının olmadığı tespit edildikten sonra vakumlu ortama reçine verme işlemi başlatılmıştır. Reçine verme işlemi yapıldıktan sonra kütleme işlemi uygulanmış ve vakum tezgahı 80 C’de 8 saat bekletilmiştir.

Bu çalışmada üretilen kompozitlerin kodlanması, gramajı ve bu tabaka sayısı, gramaj Tablo 3.1 de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Kompozit plakalarda kullanılan kumaş gramajı ve tabaka sayısı

Kompozit Plaka Kodu	Kullanılan Kumaş Gramajı (g/m ²)	Kullanılan Tabaka Sayısı
CA	300gr/m ²	14
CB	500gr/m ²	8
CC	800gr/m ²	5

BÖLÜM DÖRT

MEKANİK PERFORMANSI BULMAK İÇİN YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI

4.1 Hazırlanan Kompozitlerin Mekanik Özelliklerini Bulmak Amacıyla Yapılan Testler

Takviye kumaş gramajının kompozitin mekanik özelliklerine etkisini bulmak amacıyla bu çalışma kapsamında çekme, basma, kayma ve pimli deneyler Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Kompozit Araştırma ve Test Laboratuvarındaki Shimadzu AG - X model çekme cihazında yapılmıştır. Shimadzu çekme testi cihazı ile malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Cihaz 100kN kapasiteye sahiptir. Cihaza bağlı video ektensometre doğru sonuçlar elde etmede faydalı olmaktadır. Hazırlanan kompozit plakalar gerekli standartlara göre kesilip bu standartlar için deney numuneleri oluşturulmuştur. Hazırlanan numunelerin herbir deney tipi için gerekli aparatlar kullanılarak mekanik testleri yapılmıştır. Çekme cihazına bağlı bir bilgisayar yardımıyla deneylerin verileri alınmıştır.



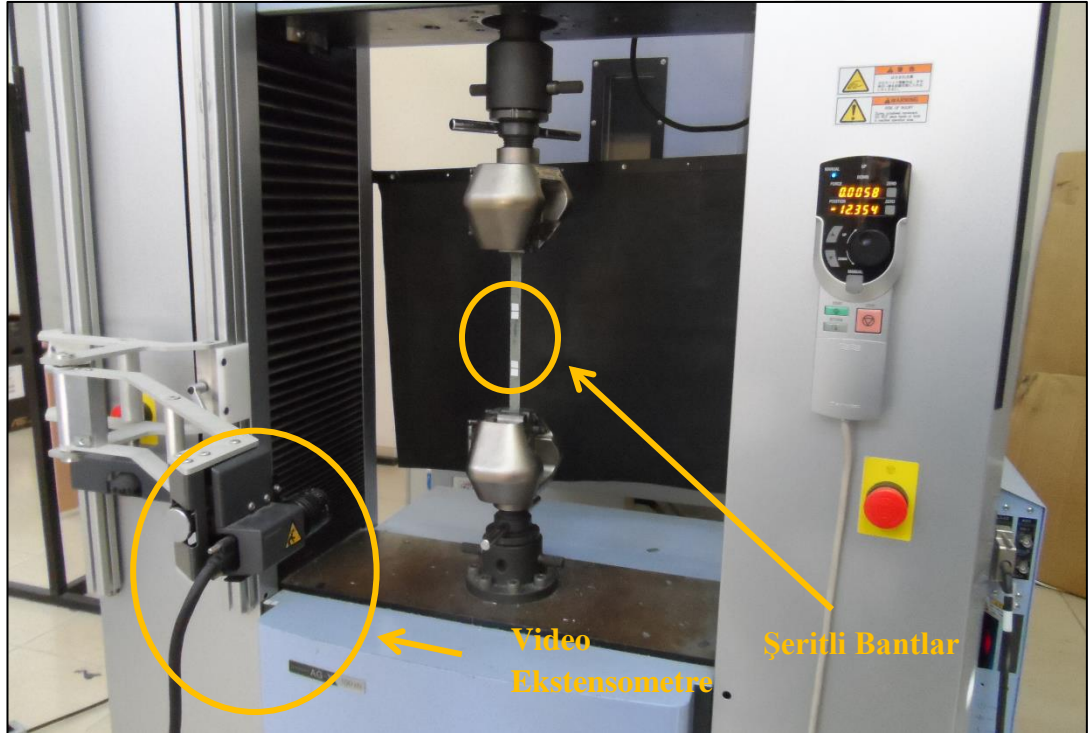
Şekil 4.1 Shimadzu AG-X çekme cihazı

4.1.1 Çözgü Yönündeki Çekme Mukavemetlerinin Bulunması

Bu deney için Kompozit ve Araştırma Laboratuvarındaki Shimadzu AG-X model çekme cihazı kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında CA, CB, CC şeklinde 3 ayrı kompozit plaka üretilmiştir. Deneyde kullanılmak üzere her bir tip kompozit plakadan kesilerek beşer adet numune hazırlanmıştır.

Numuneler ASTM D3039-76 standartına göre 12,7 mm x 300 mm boyutlarında hazırlanmıştır.

Video ekstensometre cihazı ile test esnasında numune üzerinden sürekli görüntü alarak malzemelerin gerilme-birim şekil değiştirme ölçümleri yapılmıştır. Numuneler üzerine şeritli bantlar yapıştırılmıştır. Bu şeritli bantlar sayesinde numunelerin birim şekil değiştirme ölçümü için video ekstensometrenin veri alması sağlanmıştır.



Şekil 4.2 Çekme deneyi düzeneği



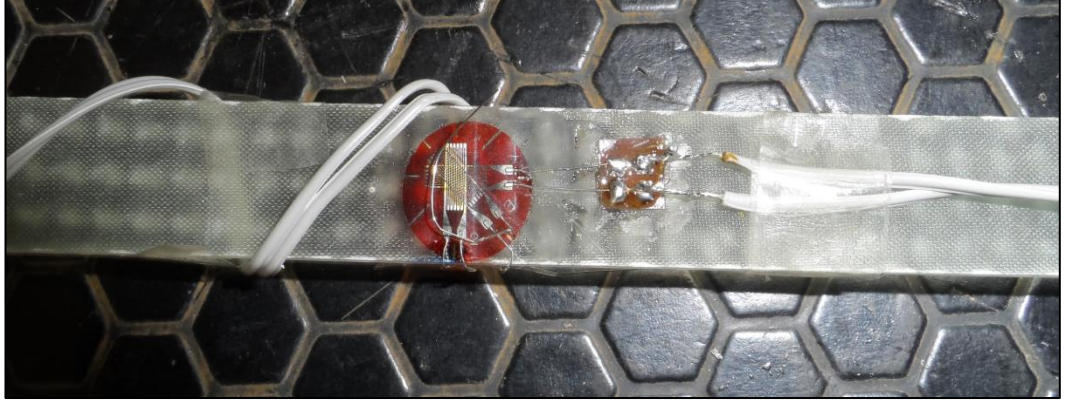
Şekil 4.3 Çekme Deneyi Aparatı

Numuneler tam eksenlerinden ölçü alınarak çekme cihazı aparatına yerleştirilmiştir. Çekme testinin hızı 2 mm/dk olarak belirlenmiştir.

Poisson Oranını belirlemek amacıyla her bir numune tipinden birer tanesine strengaçler yapıştırılmıştır. Strengaçler aracılığıyla veriler Data-Logger TDS-530 cihazından veriler alınmıştır.



Şekil 4.4 Datalogger veri cihazı ve Poisson Oranlarının ölçülmesi deneyi düzeneği



Şekil 4.5 Strengelerin çekme numunesine bağlanması

A numunenin çekme yönüne dik kesitinin alanıdır. Dokuma kumaş yapısı nedeniyle E_1 (Elastisite Modülü) ve X_φ (Çözgü yönündeki çekme mukavemeti) E_2 (Elastisite Modülü) ve Y_φ (Atkı yönündeki çekme mukavemeti) değerleri eşit alınmıştır.

X_φ (Çekme Mukavemeti), E_1 (Elastisite Modülü), ν_{12} (Poisson Oranı) için aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} \quad (4.1)$$

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1} \quad (4.2)$$

$$\nu_{12} = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (4.3)$$

$$X_\varphi = \frac{P_{kopma}}{A} \quad (4.4)$$

4.1.2 Çözgü Yönündeki Basma Mukavemetlerinin Bulunması

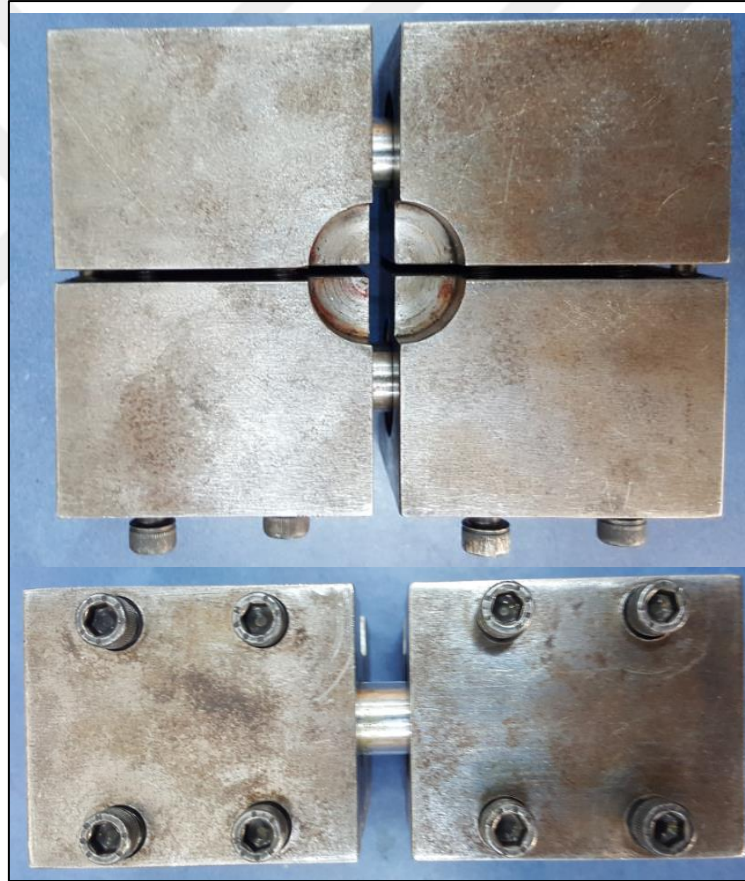
Bu deney için Kompozit ve Araştırma Laboratuvarındaki Shimadzu AG-X model çekme cihazı kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında CA, CB, CC şeklinde 3 ayrı kompozit plaka üretilmiştir. Deneyde kullanılmak üzere her bir tip kompozit plakadan kesilerek beşer adet numune hazırlanmıştır.

Numuneler ASTM D3410-75 standartına göre 12,7 mm x 140 mm boyutlarında hazırlanmıştır.

Basma mukavemeti aşağıdaki formül yardımıyla bulunmuştur.

Bu formülde X_b (basma mukavemeti), P (yük), A (fibere dik yöndeki kesit alanı) kullanılmıştır.

$$X_b = \frac{P}{A} \quad (4.5)$$



şekil 4.6 Bası deneyi aparatı

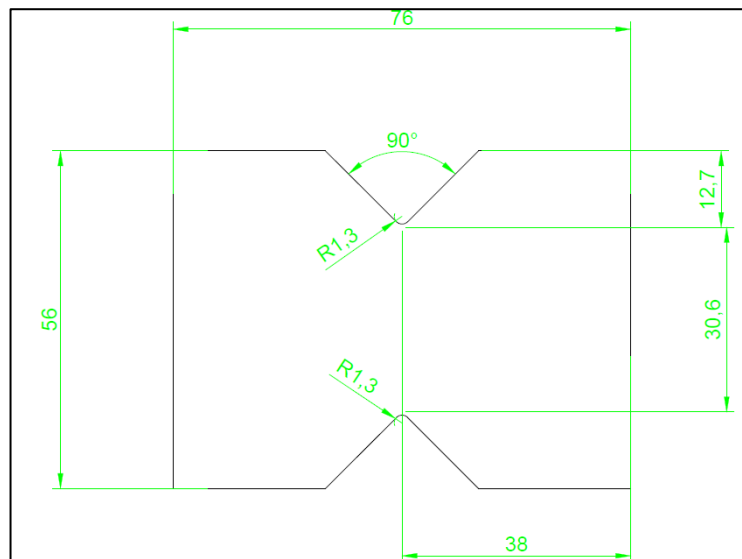
4.1.3 Kayma Mukavemetinin Bulunması

Bu deney için Kompozit ve Araştırma Laboratuvar'ındaki Shimadzu AG-X model çekme cihazı kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında CA, CB, CC şeklinde 3 ayrı kompozit plaka üretilmiştir. Deneyde kullanılmak üzere her bir tip kompozit plakadan kesilerek beşer adet numune hazırlanmıştır.

ASTM standartlarına uygun olarak yapılan bu deneyde bazı metodlar şunlardır.

- (ASTM D 2344) Polimer matriksli kompozitler ve onların tabakalarının kısa kiriş metoduyla kayma özelliklerinin bulunması.
- (ASTM D 3518) $\pm 45^0$ lik tabakalardan elde edilmiş polimer matriksli kompozitlerin kayma özelliklerinin tespiti
- (ASTM D 4255) Polimer Matriksli Kompozitlerin Ray Sistemi Metoduyla Kayma Özelliklerinin Tespiti
- (ASTM D 5379) V – Çentikli Kiriş ile Kompozit Malzemelerin Kayma Özelliklerinin Tespiti

Bu çalışmada V - Çentikli kayma metodu kullanılmıştır. Şekil 4.7 de deney numunesinin boyutları mm cinsinden gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Kayma testi numunesinin boyutları

Hazırlanan kompozit malzemelerin kayma modülünün bulunması için ASTM 7078 -05 standartına göre boyutları a=76mm b=56mm c=30mm d=38mm, kalınlığı t=3,1mm olan test numunesi hazırlanmıştır. Numunelerin eksenine bir adet strengçe yapıştırılarak 2mm/dk hızla numuneler çekilmiştir. G_{12} kayma modülü aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanacaktır.

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (4.6)$$

$$\gamma = 2\varepsilon \quad (4.7)$$

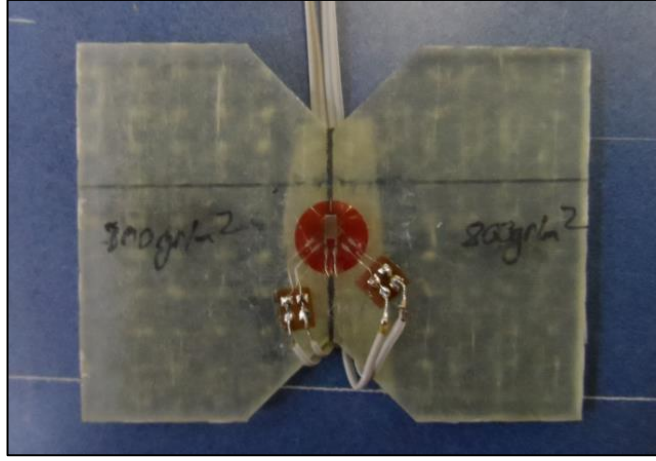
$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (4.8)$$

Kayma mukavemeti aşağıdaki formül ile elde edilmiştir.

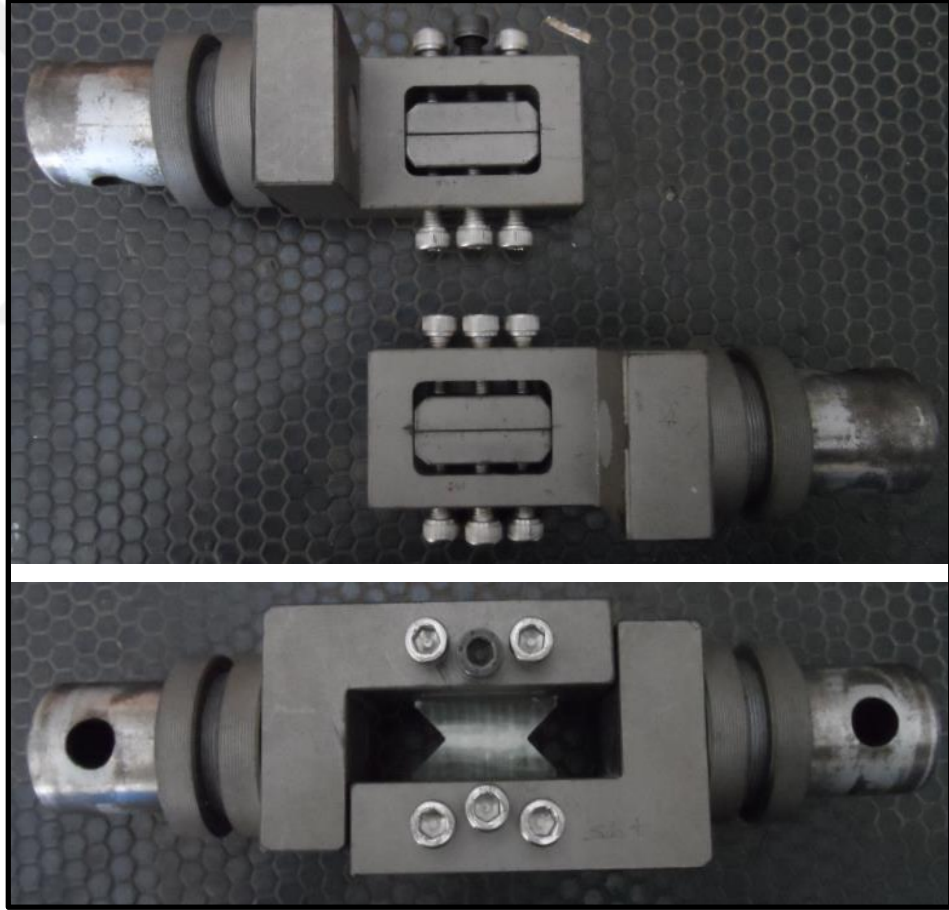
$$S_{12} = \frac{P_{max}}{t \cdot c} \quad (4.9)$$



Şekil 4.8 Kayma testi için kullanılan aparat, datalogger veri cihazı



Şekil 4.9 Kayma testi için hazırlanan numuneye strengelerin bağlanması



Şekil 4.10 Kayma deneyi aparatı

4.2 Mekanik Testlerin Sonuçları

Mekanik performansı bulmak amacıyla çekme, basma, kayma testleri yapılmıştır. Strengelerde bağlanarak deneylere yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen veriler Tablo 4.1'deki gibidir.

Tablo 4.1 Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri

Özellik	Birim	CA	CB	CC
Atkı Yönündeki Elastisite Modülü	E_1 (GPa)	18,5	20,87	21,30
Çözümlü Yönündeki Elastisite Modülü	E_2 (GPa)	18,5	20,87	21,30
Kayma Modülü	G (GPa)	5,56	4,43	3,53
Kayma Mukavemeti	S_{12} (MPa)	62	60	68
Poisson Oranı	ν	0,16	0,17	0,19
Çekme Mukavemeti	X_c (MPa)	390	441	466
Basma Mukavemeti	X_b (MPa)	290	314	326

Tablo 4.2 Deneylerde Kullanılmış Cam Elyafın Özellikleri

Birim Alan Ağırlığı (gr/m^2)	Fital Numarası		Sıklık (Adet/10cm)	
	Atkı Numarası	Çözümlü Numarası	Atkı Sıklığı	Çözümlü Sıklığı
300	600	600	24	25
500	1200	1200	19	22
800	2400	2400	16	18

4.3 Yatak Mukavemetlerinin Bulunması

Bu deney için Kompozit ve Araştırma Laboratuvarındaki Shimadzu AG-X model çekme cihazı kullanılmıştır.

Deneyde 2 mm/dk çekme hızı uygulanmıştır. Bu deney için herbir tip numuneden beşer tane üretilmiştir. Numunelerin üretiminde boyutsal değişken ve sabit parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler;

D: Numunede açılan deliğin çapı (Bütün numunelerde 5mm olarak açılmıştır.)

E: Delik çapının kısa kenara olan uzaklığı (Değişken Parametre)

W: Numunenin genişliği (Değişken Parametre)

Deney için numuneler hazırlanırken E ve W değişken parametrelerine göre markalama yapılmıştır. Ø5 mm çapı (D sabit parametresi) için herbir numunede öncelikle markalama yapılmıştır. Ahşap bir aparat yardımı ile numunelerdeki Ø5 mm ölçüye sahip delikler radyal matkap tezgahında açılmıştır.

Numuneler W/D 2,3,4,5 oranlarına göre E/D 1,2,3,4,5 oranlarında hazırlanmıştır. Yatak mukavemetleri aşağıdaki formülle bulunmuştur.

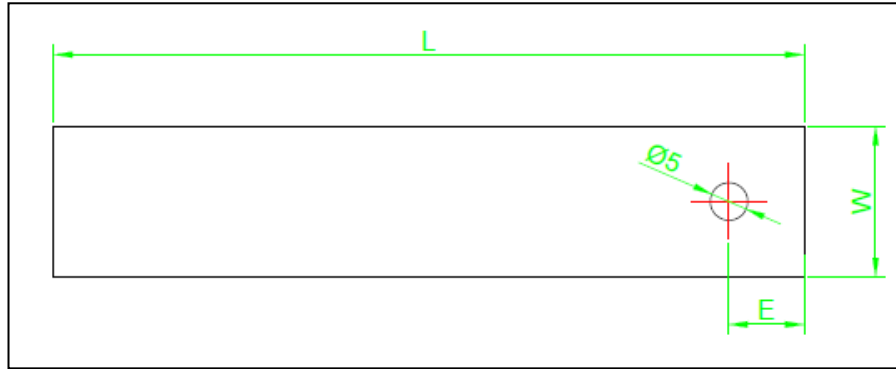
$$\sigma = \frac{P_{\max}}{A} \quad (4.10)$$

$$A=D.t \quad (4.11)$$

t: numunenin kesit alanının kalınlığı

D:delik çapı

A: izdüşüm alanı



Şekil 4.11 Pimli deney için kullanılan numunelerin boyutlandırılması

Deneyde çekme cihazın standart çekme aparatlarının haricinde Ø5 pimin eğrilmemesi ve rijit kalması için ek bir aparat daha kullanılmıştır.



Şekil 4.12 Pimli deney düzeneği

Herbir numune tipinden beşer adet deney yapılarak bu deneylerin ortalaması tablo 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 te gösterilmiştir.

Tablo 4.3 W/D=2 Yatak gerilmesi değerleri

W/D=2	CA Yatak Gerilmesi (MPa)	CB Yatak Gerilmesi (MPa)	CC Yatak Gerilmesi (MPa)
E/D=1	117	110	110
E/D=2	213	206	223
E/D=3	256	256	227
E/D=4	222	242	206
E/D=5	240	253	212

Tablo 4.4 W/D=3 Yatak gerilmesi değerleri

W/D=3	CA Yatak Gerilmesi (MPa)	CB Yatak Gerilmesi (MPa)	CC Yatak Gerilmesi (MPa)
E/D=1	119	124	122
E/D=2	242	236	223
E/D=3	303	307	236
E/D=4	344	355	246
E/D=5	357	363	248

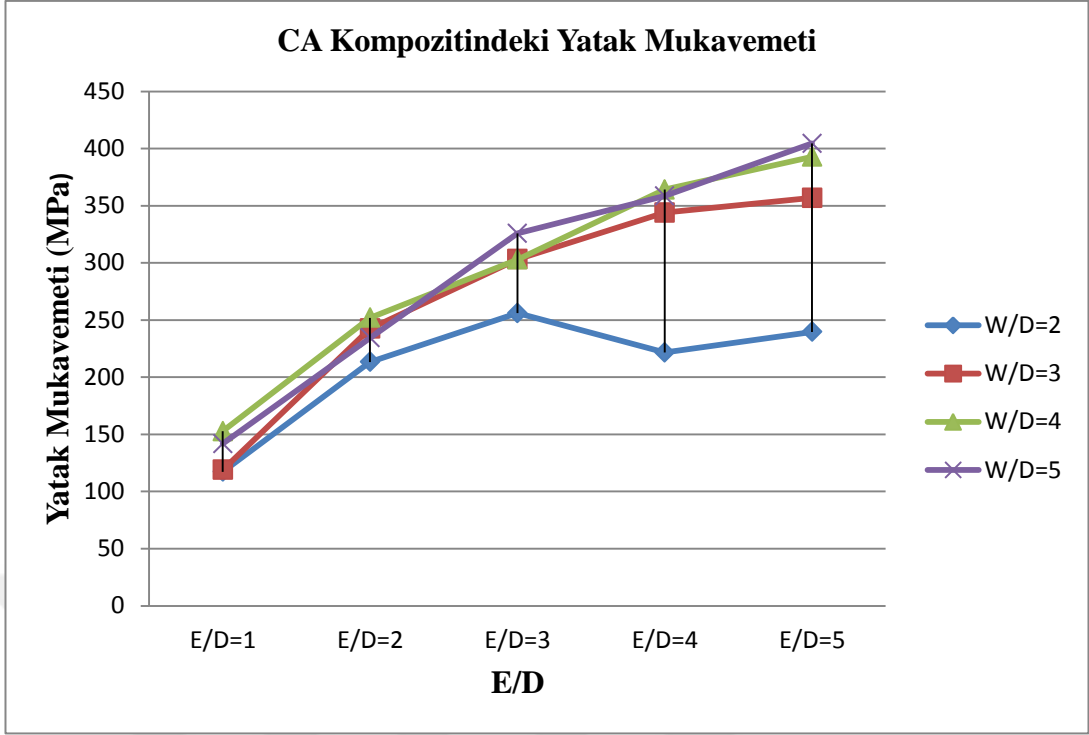
Tablo 4.5 W/D=4 Yatak gerilmesi değerleri

W/D=4	CA Yatak Gerilmesi (MPa)	CB Yatak Gerilmesi (MPa)	CC Yatak Gerilmesi (MPa)
E/D=1	153	132	122
E/D=2	252	253	226
E/D=3	303	317	238
E/D=4	364	356	287
E/D=5	393	367	259

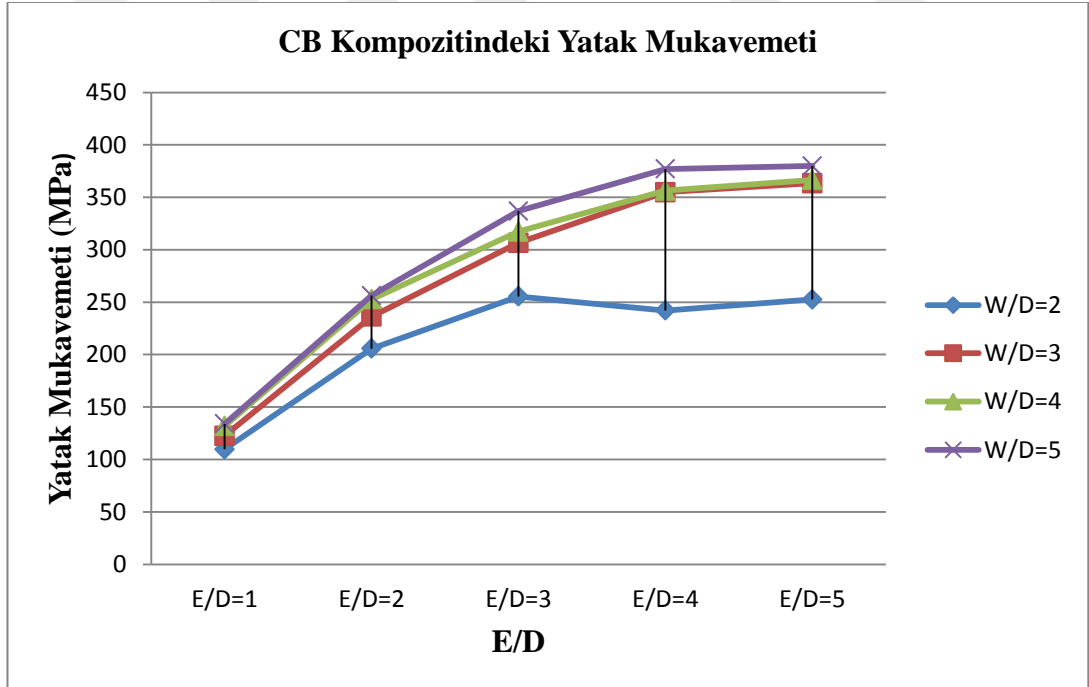
Tablo 4.6 W/D=5 Yatak gerilmesi değerleri

W/D=5	CA Yatak Gerilmesi (MPa)	CB Yatak Gerilmesi (MPa)	CC Yatak Gerilmesi (MPa)
E/D=1	142	134	131
E/D=2	234	256	255
E/D=3	326	337	310
E/D=4	359	377	361
E/D=5	404	380	394

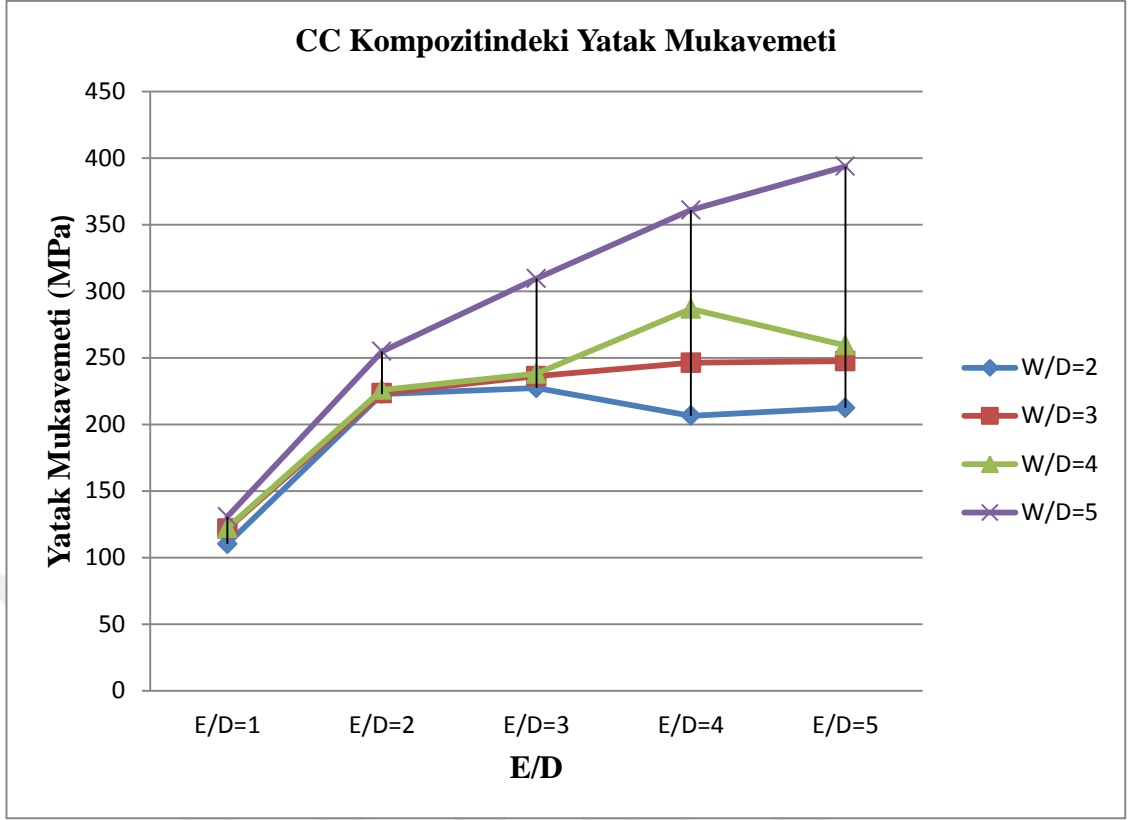
Aynı yoğunlukta kumaş kullanılan kompozitlerdeki yatak mukavemetlerinin karşılaştırmalı grafikleri Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12'deki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 4.13 CA kompozitindeki yatak mukavemetleri



Şekil 4.14 CB kompozitindeki yatak mukavemetleri

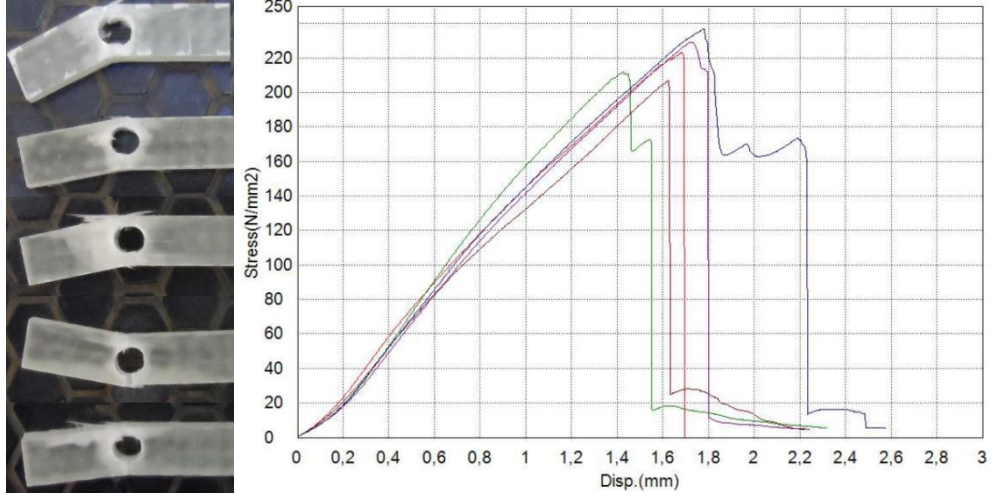


Şekil 4.15 CC kompozitindeki yatak mukavemetleri

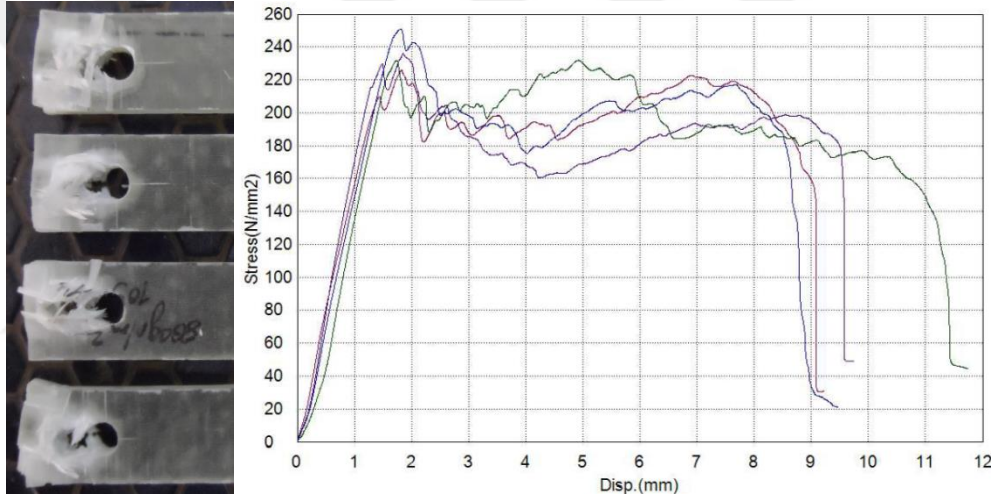
4.4 Pim Bağlantılı DeneYlerde Meydana Gelen Hasar Tipleri

Pimli bağlantılı deneYlerde net çekme, kayma, yatak hasar modları gözlemlenmiştir. Bunlara örnek olarak Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15' de grafik ve görüntülerle örnekler verilmiştir.

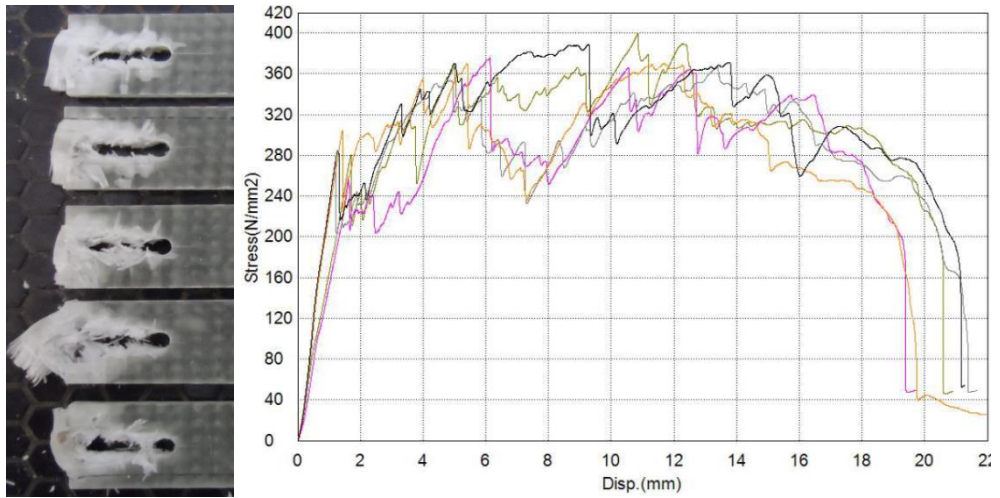
Net çekme hasa modunda yük belli bir değere kadar artmakta ve ani bir kırılma meydana gelmektedir. Kayma hasar modunda yük maksimum değere ulaştıktan sonra azalmaya ve deplasman artmaya devam etmektedir. Yatak hasar modunda ise hasar meydana geldikten sonra yük ve deplasman artmaya devam eder. Yük maksimum noktaya ulaştıktan sonra azalmaya başlar ve deplasman da azalır.



Şekil 4.16 Net çekme hasar moduna ait gerilme deplasman grafiği ve görüntüsü



Şekil 4.17 Kayma hasar moduna ait gerilme deplasman grafiği ve görüntüsü



Şekil 4.18 Yatak hasar moduna ait gerilme deplasman grafiği ve görüntüsü

4.5 Darbe Testleri

Darbe deneyleri Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümündeki Kompozit Araştırma Laboratuvarındaki CEAST Fractovis Plus darbe cihazı kullanılarak yapılmıştır. Cihaz ve bilgisayar düzeneği Şekil 4.13 de gösterilmiştir.

Darbe deneyleri için 300 g/m^2 , 500 g/m^2 , 800 g/m^2 gramaja sahip her bir plakadan $100 \times 100 \text{ mm}$ boyutlarında ASTM D3039 standartında göre numuneler hazırlanmıştır. Darbe ucu olarak ağırlığı $4,926 \text{ kg}$ olan $12,7 \text{ mm}$ çaptaki $22,4 \text{ kN}$ kapasiteli kuvvet sensörü olan bir vurucu uç kullanılmıştır.

Darbe cihazı DAS 16000 isimli gelişmiş bir veri toplayıcı sisteme sahiptir. Bu veri toplama sistemi ile darbe testi sırasında 10 milisaniyede 20000 adet veri alınabilmektedir. Veri toplama cihazı bir bilgisayara bağlanmıştır. Böylece bilgisayardaki yazılım ile temas kuvveti, temas süresi, çökme, absorbe edilen enerji değerleri elde edilmektedir (Doğan, 2014).

Vurucu ucun numuneye çarpmadan önceki hızını ölçmek ve geri sekme sırasında tekrarlı darbenin olmamasını sağlayan anti-rebound sistemini çalıştıran optik bir sensör bulunmaktadır (Doğan, 2014).

Yapılmış olan darbe deneylerinde numuneler $10, 20, 30, 40, 50, 55, 60$ Joule'lük darbe enerjilerine maruz bırakılmıştır. Deneyler neticesinde maksimum temas kuvveti, temas süresi, maksimum çökme, absorbe edilen enerji sonuçları elde edilip bu sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Darbe testleri için $\text{Ø}76 \text{ mm}$ çapa sahip sıkma aparatı ile numuneler sabitlenmektedir. Bu aparat darbe cihazının alt tarafında bulunmakta ve pnömatik olarak çalışmaktadır.

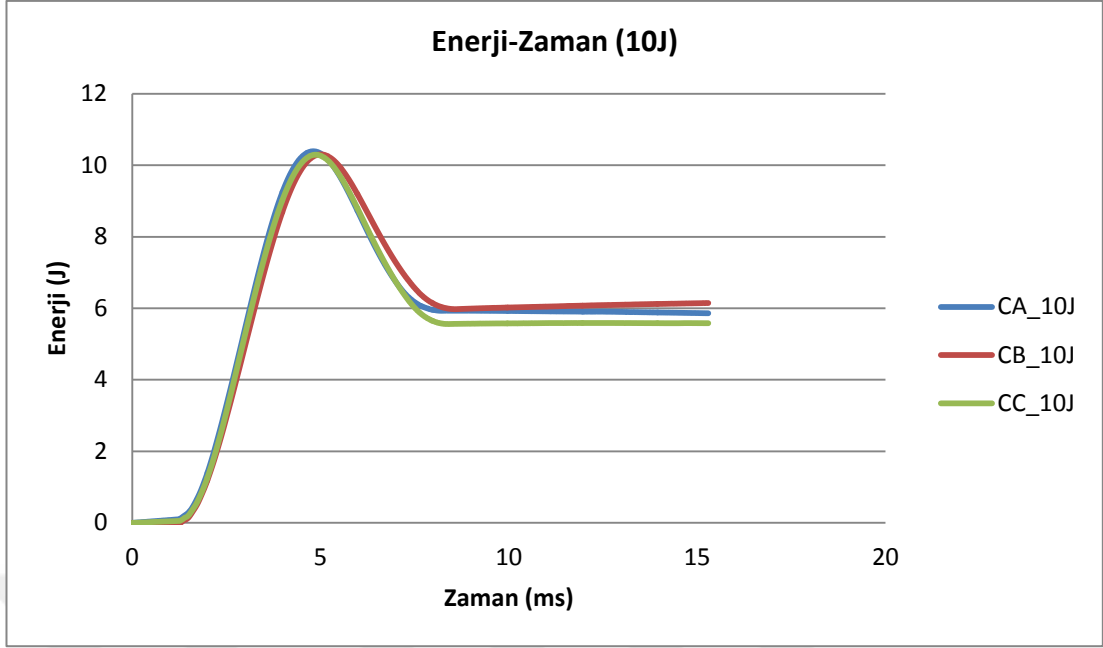


Şekil 4.19 CEAST Fractovis Plus darbe cihazı

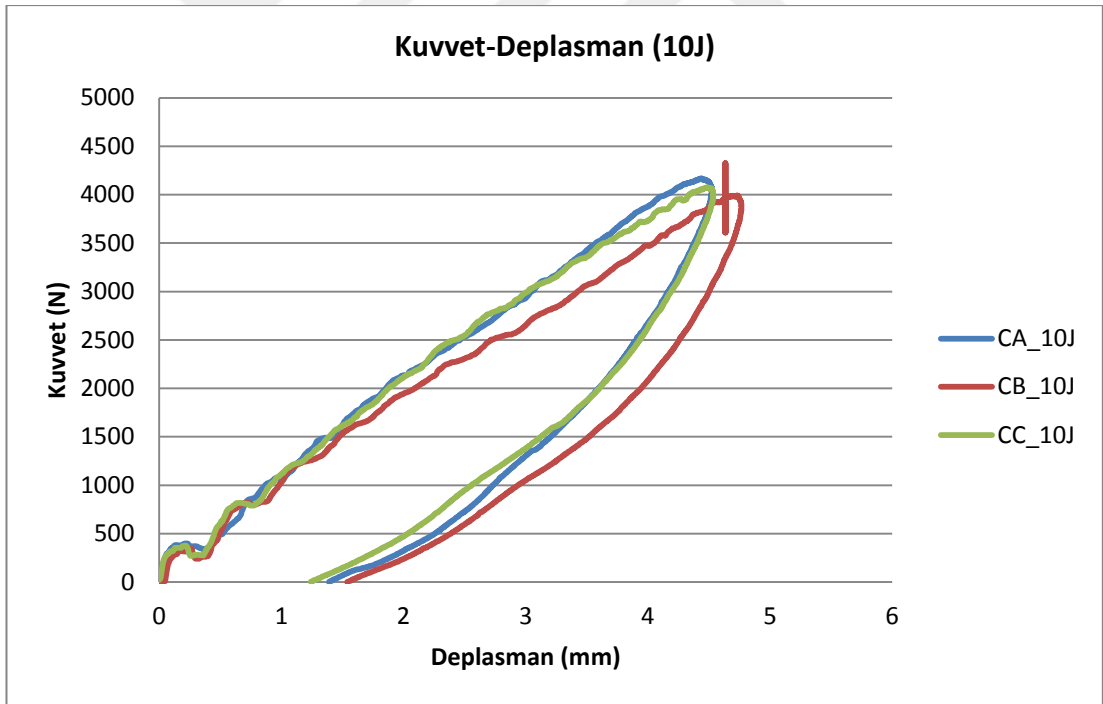
4.5.2 Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Numunelerin Darbe Dayanımının Belirlenmesi

Cam elyaf takviyeli kompozit numuneler farklı enerji seviyelerinde test edilmiştir. Delinme gerçekleşene kadar enerji seviyeleri arttırılmıştır. Sonuçlar grafik ve fotoğraflarla paylaşılmış ve herbir darbe testi yorumlanmıştır.

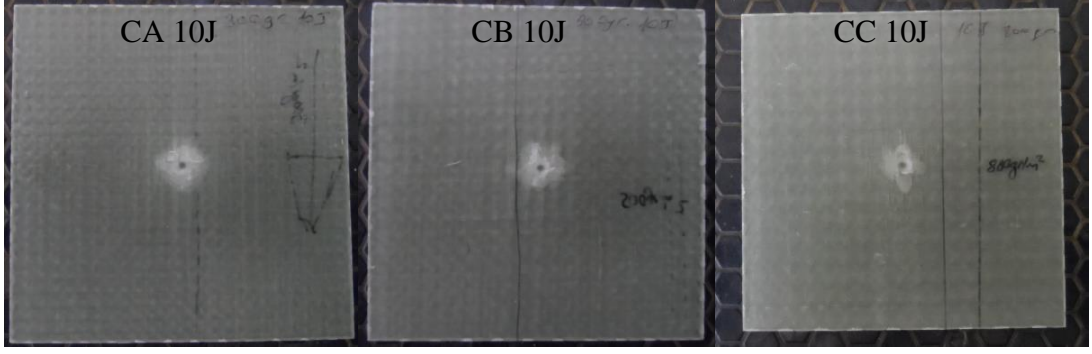
10J seviyesinde uygulanan darbe testlerinde elde edilen enerji-zaman, kuvvet-deplasman, grafikleri ve hasar görüntüleri Şekil 4.14, 4.15, 4.16' da gösterilmiştir.



Şekil 4.20 10J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği



Şekil 4.21 10J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.22 10J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe görüntüsü

10J değerindeki yapılan darbe testlerinde bütün numunelerde malzeme matrisinde çok küçük bir hasar oluşup darbe ucu geri sekmiştir. Yapılan darbe testi verilerine göre;

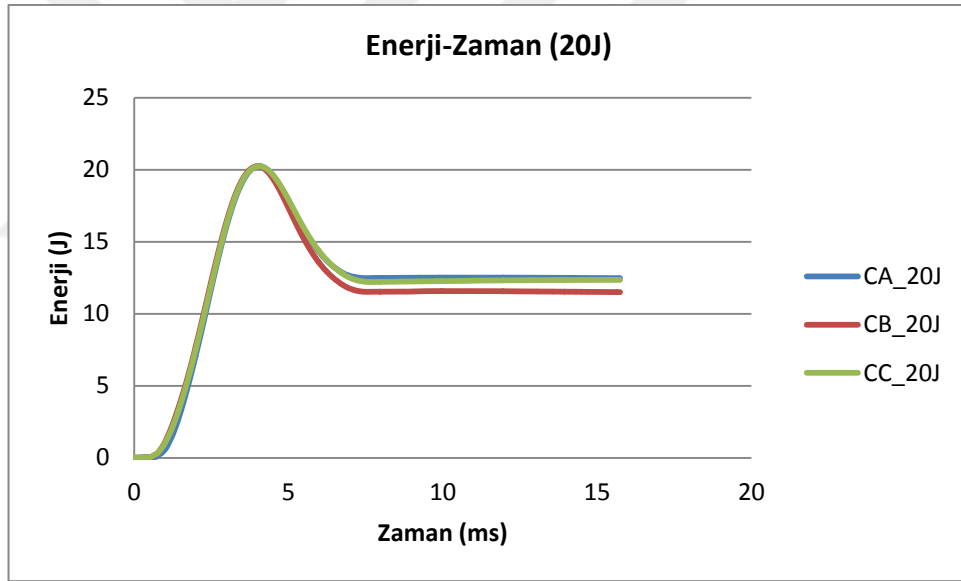
- CA: Maksimum enerji 10,39 J değerine çıkıp 5,94 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 4168 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 4,52 mm değerine ulaştıktan sonra 1,39 mm değerine gerilemiştir.
- CB: Maksimum enerji 10,30 J değerine çıkıp 5,98 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 4326 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 4,77 mm değerine ulaştıktan sonra 1,54 mm değerine gerilemiştir.
- CC: Maksimum enerji 10,29J değerine çıkıp 5,56J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 4076 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 4,53 mm değerine ulaştıktan sonra 1,24 mm değerine gerilemiştir.

10J enerji uygulanan numuneler için sonuçlar tablo 4.6' da özetlenmiştir.

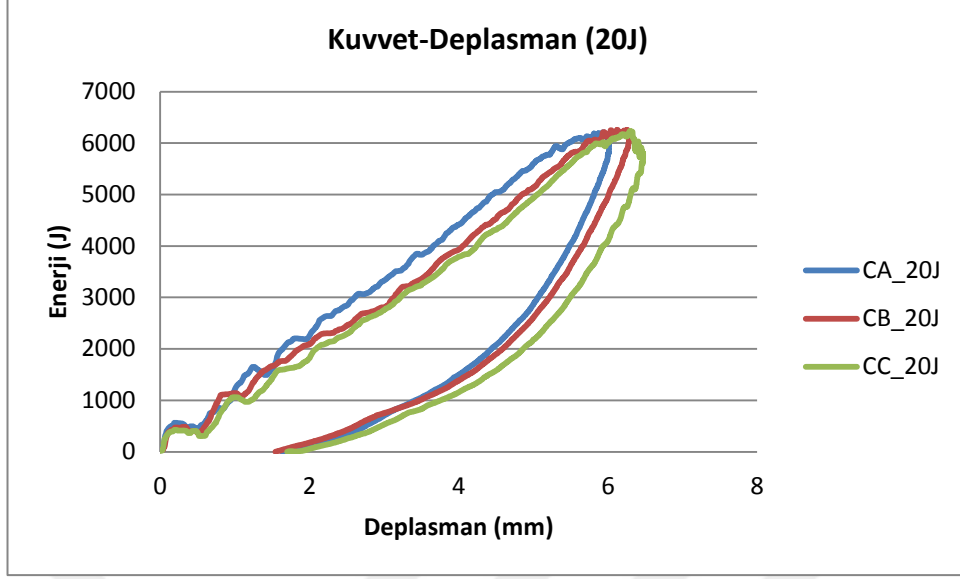
Tablo 4.7 10J enerji uygulanan darbe testi sonuçları

10J Enerji Uygulanan Darbe Testi Sonuçları			
Numune Tipi	CA	CB	CC
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	10	10	10
Absorbe Edilen Enerji (J)	5,94	5,98	5,56
Maksimum Temas Kuvveti (N)	4168	4326	4076
Maksimum Çökme (mm)	4,52	4,77	4,53

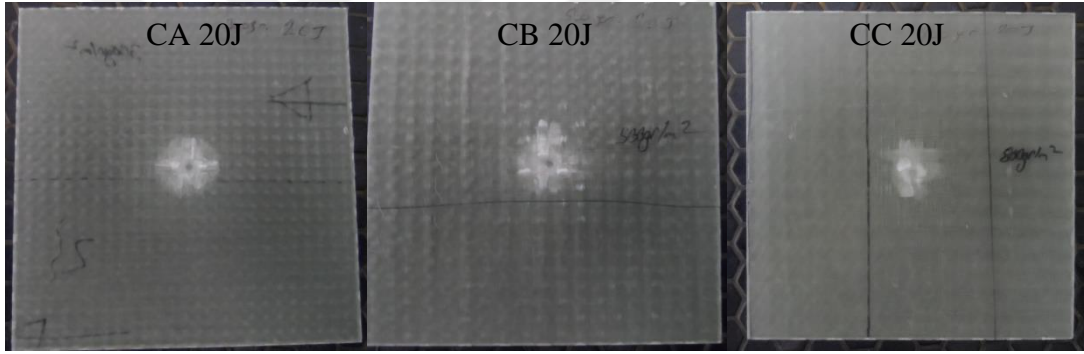
20J seviyesinde uygulanan darbe testlerinde elde edilen enerji-zaman, kuvvet-deplasman, grafikleri ve hasar görüntüleri Şekil 4.17, 4.18, 4.19' da gösterilmiştir.



Şekil 4.23 20J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği



Şekil 4.24 20J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.25 20J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe görüntüsü

20J değerindeki yapılan darbe testlerinde bütün numunelerde malzeme matrisinde çok küçük bir hasar oluşup darbe ucu geri sekmiştir. Yapılan darbe testi verilerine göre;

- CA: Maksimum enerji 20,25 J değerine çıkıp 12,49 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 6212 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 6,02 mm değerine ulaştıktan sonra 1,63 mm değerine gerilemiştir.
- CB: Maksimum enerji 20,24 J değerine çıkıp 11,54 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 6259 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir.

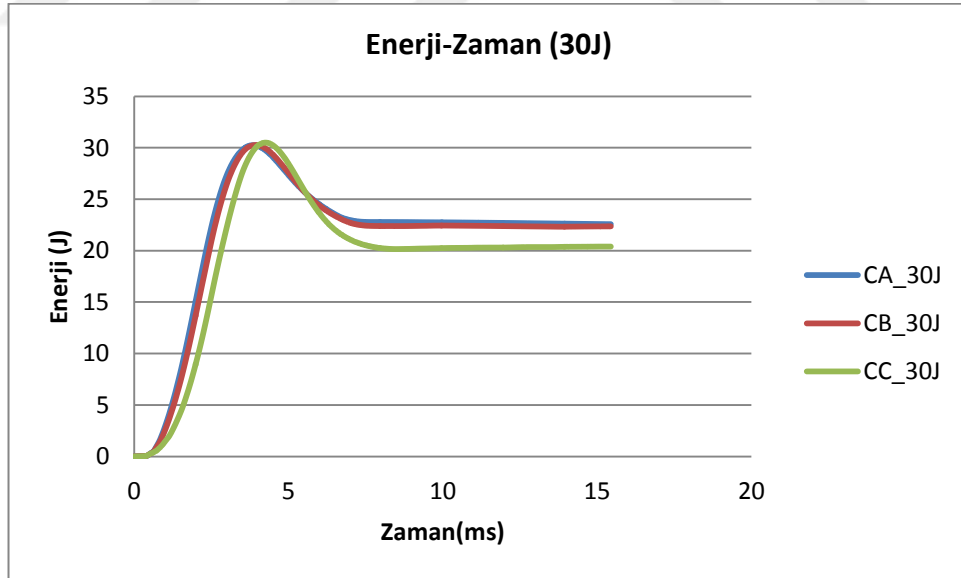
Deformasyon maksimum 6,29 mm değerine ulaştıktan sonra 1,54 mm değerine gerilemiştir.

- CC: Maksimum enerji 20,25 J değerine çıkıp 12,22 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 6238 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 6,47 mm değerine ulaştıktan sonra 1,7 mm değerine gerilemiştir.

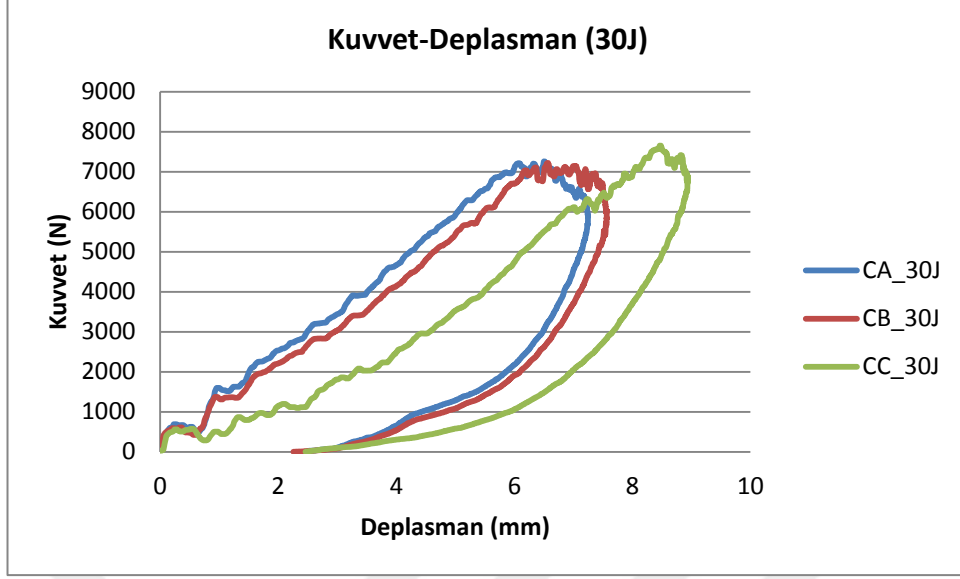
Tablo 4.8 20J enerji uygulanan darbe testi sonuçları

20J Enerji Uygulanan Darbe Testi Sonuçları			
Numune Tipi	CA	CB	CC
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	20	20	20
Absorbe Edilen Enerji (J)	12,49	11,54	12,22
Maksimum Temas Kuvveti (N)	6212	6259	6238
Maksimum Çökme (mm)	6,02	6,29	6,47

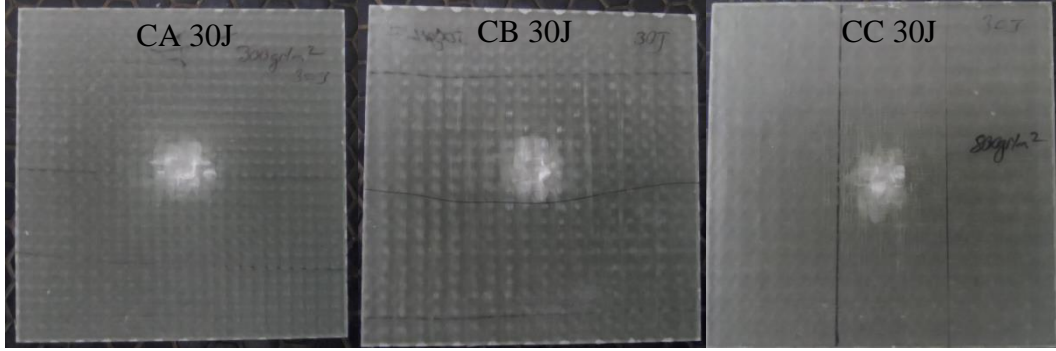
30J seviyesinde uygulanan darbe testlerinde elde edilen enerji-zaman, kuvvet-deplasman, grafikleri ve hasar görüntüleri Şekil 4.20, 4.21, 4.22' de gösterilmiştir.



Şekil 4.26 30J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği



Şekil 4.27 30J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.28 30J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe görüntüsü

30J değerindeki yapılan darbe testlerinde bütün numunelerde malzeme matrisinde hasar oluşup darbe ucu geri sekmiştir. Yapılan darbe testi verilerine göre;

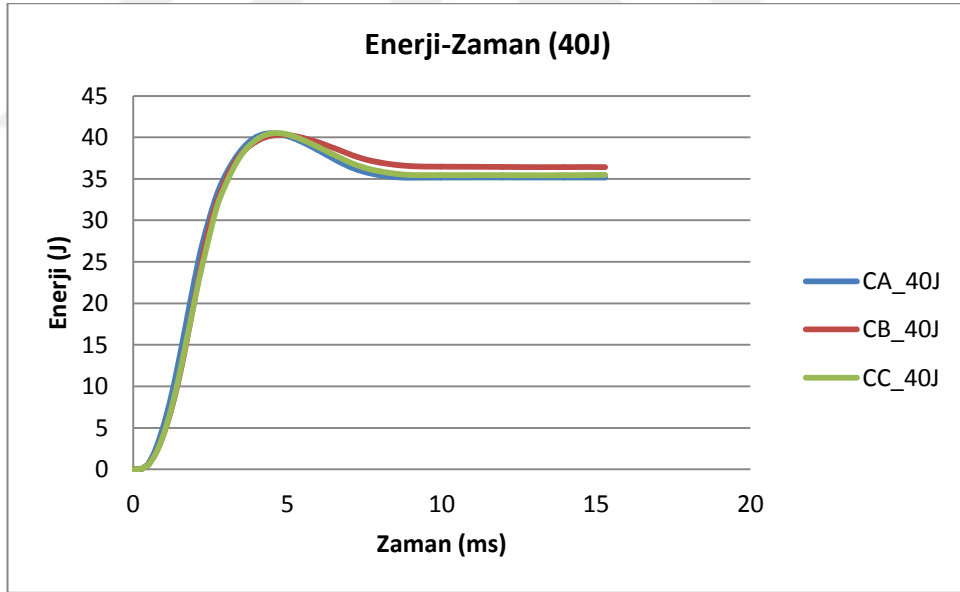
- CA: Maksimum enerji 30,25 J değerine çıkıp 22,82 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 7257 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 7,25 mm değerine ulaştıktan sonra 2,48 mm değerine gerilemiştir.
- CB: Maksimum enerji 30,26 J değerine çıkıp 22,43 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 7218 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 7,57 mm değerine ulaştıktan sonra 2,26 mm değerine gerilemiştir.

- CC: Maksimum enerji 30,5 J değerine çıkıp 20,22 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 7652 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 8,94 nmm değerine ulaştıktan sonra 2,46 mm değerine gerilemiştir.

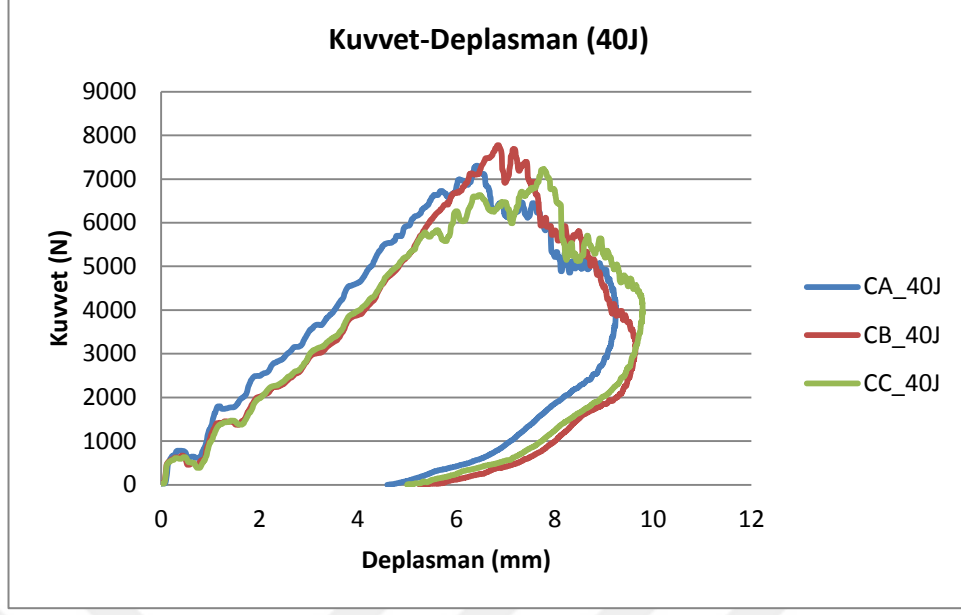
Tablo 4.9 30J enerji uygulanan darbe testi sonuçları

30J Enerji Uygulanan Darbe Testi Sonuçları			
Numune Tipi	CA	CB	CC
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	30	30	30
Absorbe Edilen Enerji (J)	22,82	22,43	20,22
Maksimum Temas Kuvveti (N)	7257	7218	7652
Maksimum Çökme (mm)	7,25	7,57	8,94

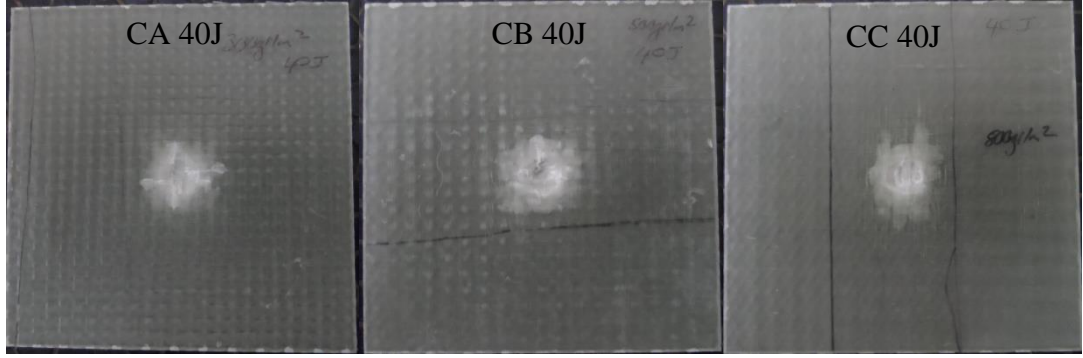
40J seviyesinde uygulanan darbe testlerinde elde edilen enerji-zaman, kuvvet-deplasman, grafikleri ve hasar görüntüleri Şekil 4.23, 4.24, 4.25' de gösterilmiştir.



Şekil 4.29 40J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği



Şekil 4.30 40J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği



Şekil 4.31 40J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe hasar görüntüsü

40J değerindeki yapılan darbe testlerinde bütün numunelerde malzeme matrisinde hasar oluşup darbe ucu geri sekmiştir. Yapılan darbe testi verilerine göre;

- CA: Maksimum enerji 40,50 J değerine çıkıp 35,17 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 7306 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 9,25 mm değerine ulaştıktan sonra 4,6 mm değerine gerilemiştir.
- CB: Maksimum enerji 40,32 J değerine çıkıp 36,53 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 7774 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir.

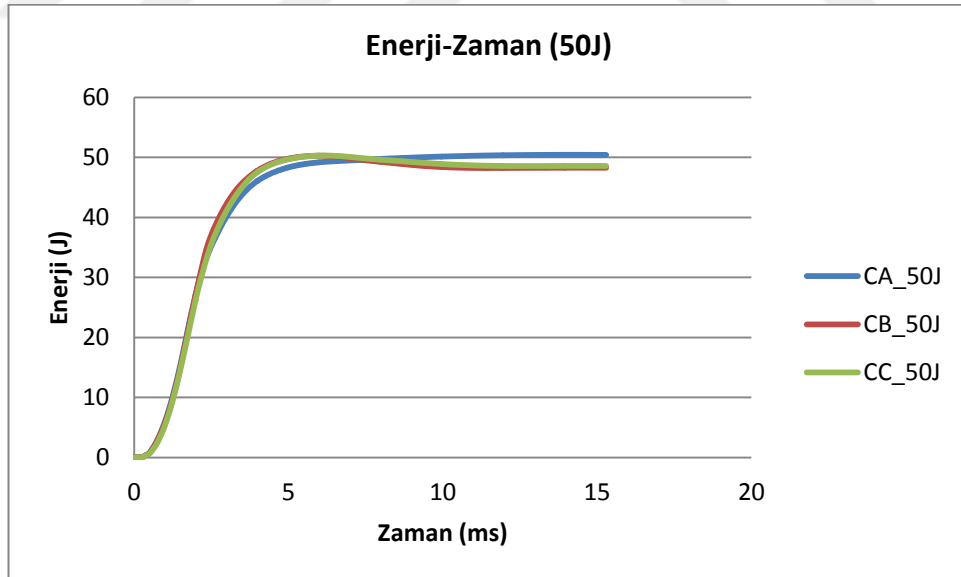
Deformasyon maksimum 9,65 mm değerine ulaştıktan sonra 5,25 mm değerine gerilemiştir.

- CC: Maksimum enerji 40,53 J değerine çıkıp 35,49 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 7230 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 9,79 mm değerine ulaştıktan sonra 5 mm değerine gerilemiştir.

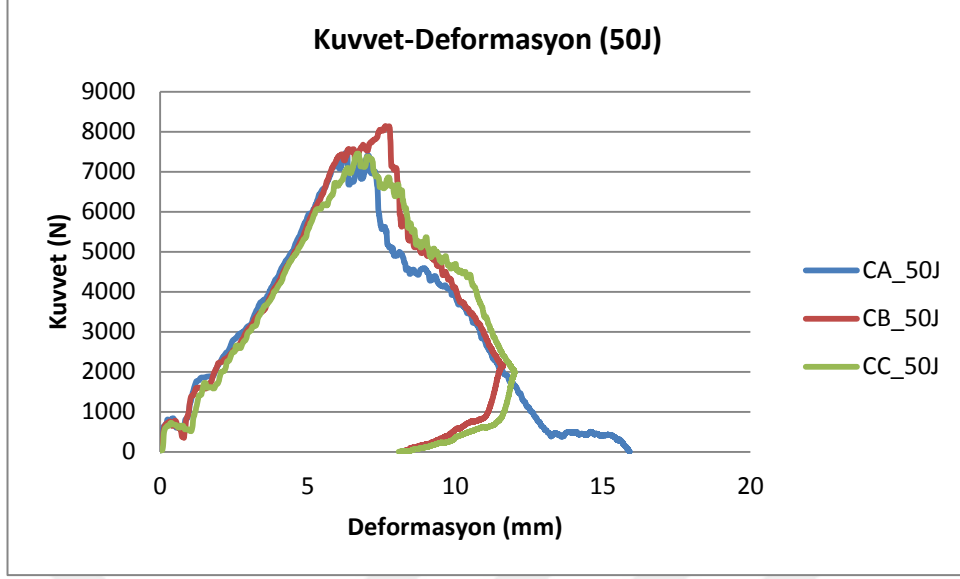
Tablo 4.10 40J enerji uygulanan darbe testi sonuçları

40J Enerji Uygulanan Darbe Testi Sonuçları			
Numune Tipi	CA	CB	CC
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	40	40	40,00
Absorbe Edilen Enerji (J)	35,17	36,53	35,49
Maksimum Temas Kuvveti (N)	7306	7774	7230
Maksimum Çökme (mm)	9,25	9,65	9,79

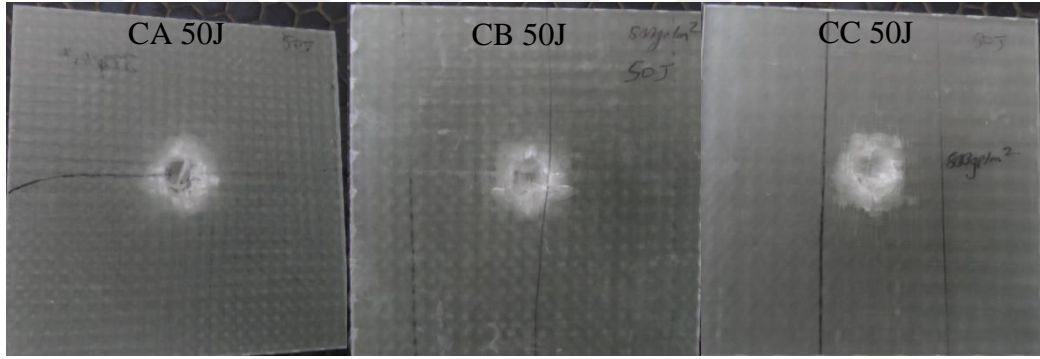
50J seviyesinde uygulanan darbe testlerinde elde edilen enerji-zaman, kuvvet-deplasman, grafikleri ve hasar görüntüleri Şekil 4.26, 4.27, 4.28' de gösterilmiştir.



Şekil 4.32 50J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği



Şekil 4.33 50J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.34 50J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe hasar görüntüsü

50J değerindeki yapılan darbe testlerinde CB, CC kompozitlerinde malzeme matrisinde ciddi bir hasar oluşup darbe ucu geri sekmiştir. CA kompozitinde delinme gerçekleşmiştir. Kuvvet değeri azalmasına rağmen deformasyon değeri artmıştır. Şekil 4.28'deki görüntüden de bu hasar gözlemlenebilmektedir. Yapılan darbe testi verilerine göre;

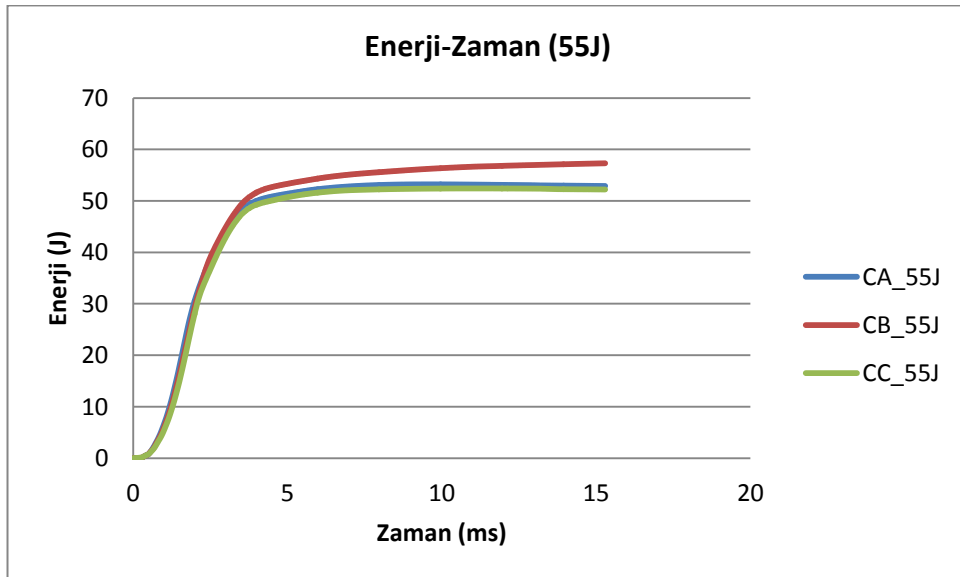
- CA: Maksimum enerji 50,42J değerine çıkıp 50,40J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 7478 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 15,91 mm değerine ulaşmıştır. Kuvvet değeri azalmasına rağmen deformasyon değeri sürekli azalmıştır.

- CB: Maksimum enerji 50,28 J değerine çıkıp 48,28 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 8140 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 11,62 mm değerine ulaştıktan sonra 8,16 mm değerine gerilemiştir.
- CC: Maksimum enerji 50,29 J değerine çıkıp 48,62 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 7452 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 12 mm değerine ulaştıktan sonra 8,08 mm değerine gerilemiştir.

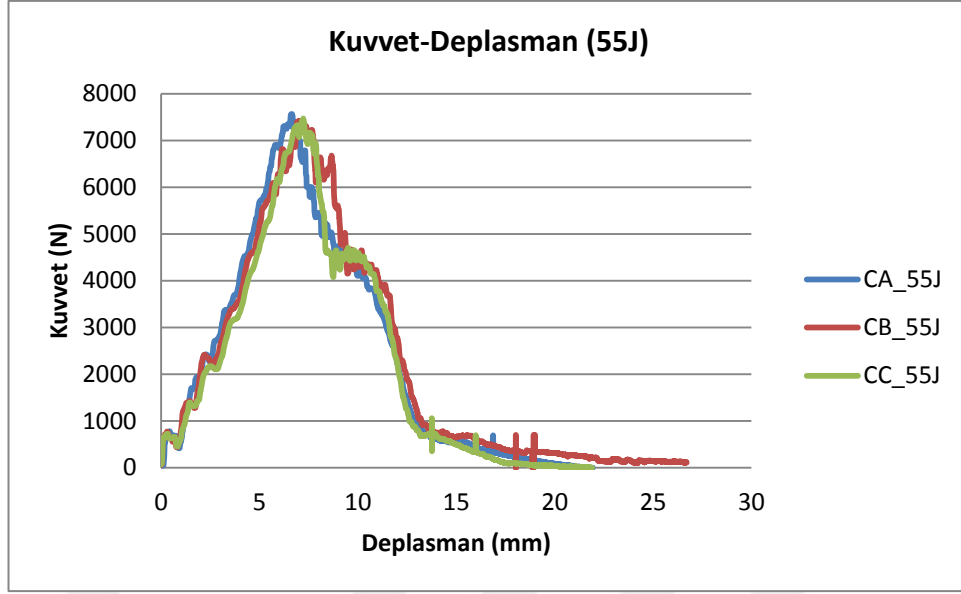
Tablo 4.11 50J enerji uygulanan darbe testi sonuçları

50J Enerji Uygulanan Darbe Testi Sonuçları			
Numune Tipi	CA	CB	CC
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	50	50	50
Absorbe Edilen Enerji (J)	50,4	48,28	48,62
Maksimum Temas Kuvveti (N)	7478	8140	7452
Maksimum Çökme (mm)	15,91	11,62	12,00

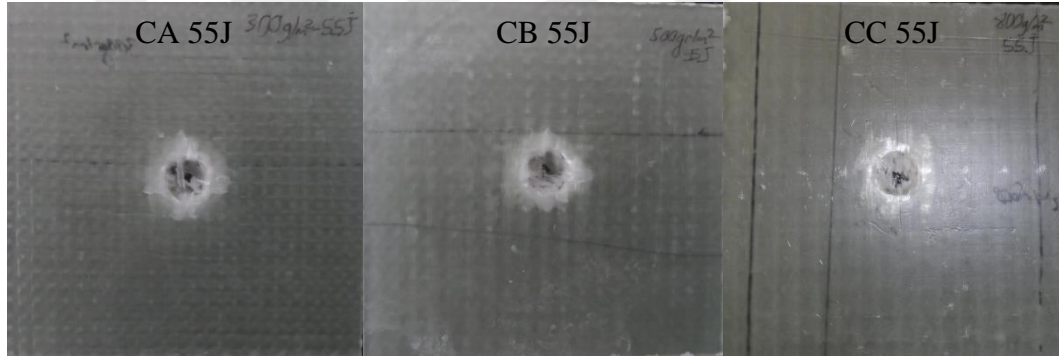
55J seviyesinde uygulanan darbe testlerinde elde edilen enerji-zaman, kuvvet-deplasman, grafikleri ve hasar görüntüleri Şekil 4.29, 4.30, 4.31' de gösterilmiştir.



Şekil 4.35 55J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği



Şekil 4.36 55J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.37 55J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe hasar görüntüsü

55 J değerindeki yapılan darbe testlerinde bütün numunelerde delinme gerçekleşmiştir. Kuvvet değeri azalmasına rağmen deformasyon değerleri artmıştır. Şekil 4.31'deki görüntüden de bu hasarlar gözlemlenebilmektedir. Yapılan darbe testi verilerine göre;

- CA: Maksimum enerji 53,21 J değerine çıkıp 53,03 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 7564 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 21,95 mm değerine ulaşmıştır. Kuvvet değeri azalmasına rağmen deformasyon değeri sürekli azalmıştır.
- CB: Maksimum enerji 57,31 J değerine çıkıp 56,7 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 7420 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir.

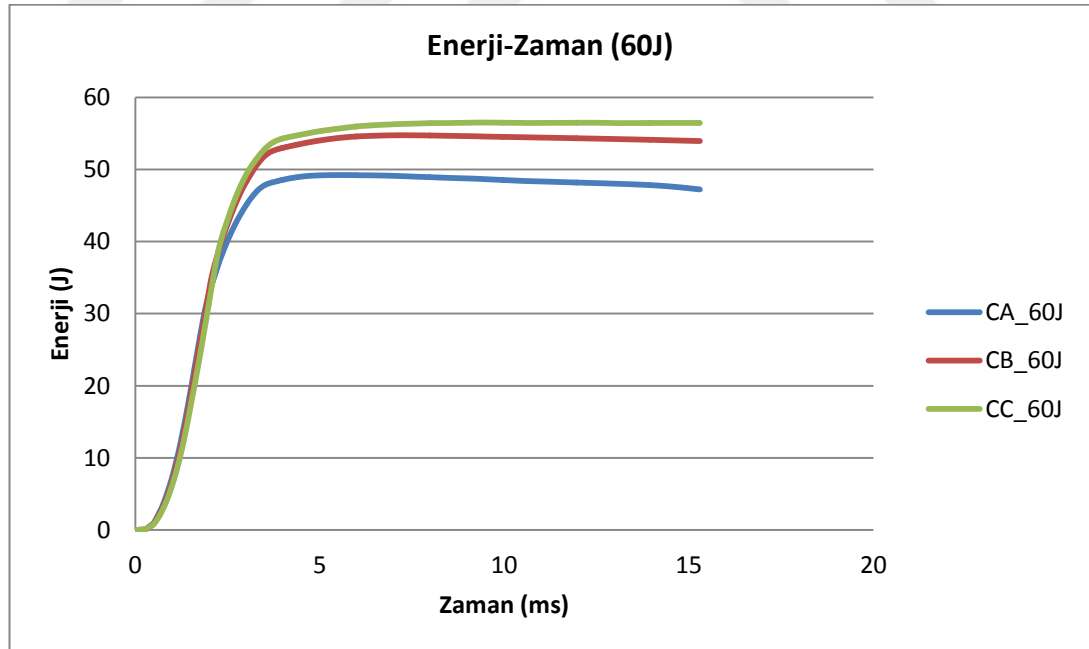
Deformasyon maksimum 26,71 mm değerine ulaşmıştır. Kuvvet değeri azalmasına rağmen deformasyon değeri sürekli azalmıştır.

- CC: Maksimum enerji 52,42 J değerine çıkıp 52,07 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 7469 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 25,04 mm değerine ulaşmıştır. Kuvvet değeri azalmasına rağmen deformasyon değeri sürekli artmıştır.

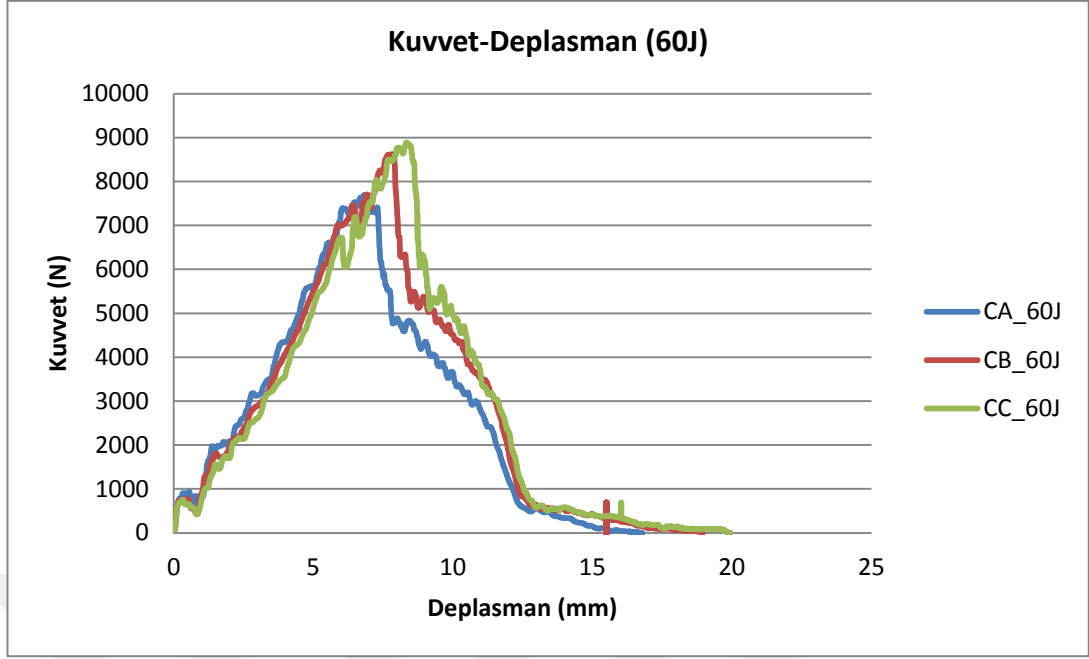
Tablo 4.12 55J enerji uygulanan darbe testi sonuçları

55J Enerji Uygulanan Darbe Testi Sonuçları			
Numune Tipi	300gr/m ²	500gr/m ²	800gr/m ²
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	55J	55J	55J
Absorbe Edilen Enerji (J)	53,03	56,70	52,07
Maksimum Temas Kuvveti (N)	7564	7420	7469
Maksimum Çökme (mm)	21,95	26,71	25,04

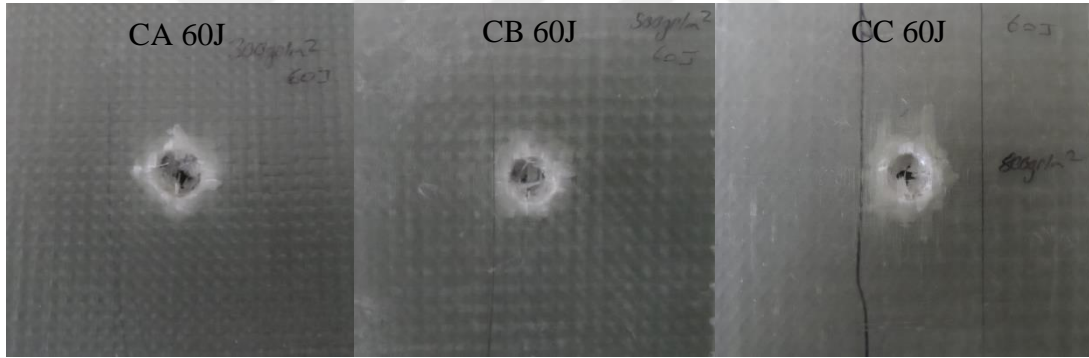
60J seviyesinde uygulanan darbe testlerinde elde edilen enerji-zaman, kuvvet-deplasman, grafikleri ve hasar görüntüleri Şekil 4.32, 4.33, 4.34' de gösterilmiştir.



Şekil 4.38 60J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için enerji-zaman grafiği



Şekil 4.39 60J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.40 60J seviyesinde enerji uygulanan numuneler için darbe hasar görüntüsü

60 J değerindeki yapılan darbe testlerinde bütün numunelerde delinme gerçekleşmiştir. Kuvvet değeri azalmasına rağmen deformasyon değerleri artmıştır. Şekil 4.34'deki görüntüden de bu hasarlar gözlemlenebilmektedir. Yapılan darbe testi verilerine göre;

- CA: Maksimum enerji 49,22 J değerine çıkıp 49,12 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 7693 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 16,8 mm değerine ulaşmıştır. Kuvvet değeri azalmasına rağmen deformasyon değeri sürekli azalmıştır.

- CB: Maksimum enerji 54,74 J değerine çıkıp 54,54 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 8617 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 18,96 mm değerine ulaşmıştır. Kuvvet değeri azalmasına rağmen deformasyon değeri sürekli azalmıştır.
- CC: Maksimum enerji 56,51 J değerine çıkıp 56,16 J değerine gerilemiştir. Kuvvet maksimum 8889 N değerine ulaştıktan sonra sıfır değerine gerilemiştir. Deformasyon maksimum 19,95 mm değerine ulaşmıştır. Kuvvet değeri azalmasına rağmen deformasyon değeri sürekli artmıştır.

Tablo 4.13 60J enerji uygulanan darbe testi sonuçları

60J Enerji Uygulanan Darbe Testi Sonuçları			
Numune Tipi	CA	CB	CC
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	60	60	60
Absorbe Edilen Enerji (J)	49,12	54,54	56,16
Maksimum Temas Kuvveti (N)	7693	8617	8889
Maksimum Çökme (mm)	16,80	18,96	19,95

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan mekanik testler sonucunda CC kompozitinin çekme, basma, kayma değerlerine ilişkin verileri daha yüksek çıkmıştır. Çekme, basma ve kayma mukavemetleri değerlerine takviye kumaşın gramajının artışı yani daha az tabaka sayısında daha yüksek gramajlı takviye malzemesi kullanmak direkt olarak olumlu yönde etkimiştir. Çekme ve Basma mukavemetlerinin artmasında daha çok sayıda ve daha düşük gramajda cam elyaf takviye malzemesi kullanmak etkili olmadığı gibi bu değerleri düşürmüştür.

Elastisite modülleri takviye kumaş gramajının artışıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Poisson değerlerinde kumaş yoğunluğunun artışına bağlı olarak bir artış gözlemlenmiştir.

Pimli deneyler sonucunda yatak, kayma, yırtılma hasar modları gözlemlenmiştir. Yatak mukavemeti olarak CA ve CB kompozitinin değerleri yüksek çıkmıştır. Yatak mukavemetlerindeki değerleri iyileştirmek için takviye dokuma kumaş yoğunluğu düşük fakat katman sayısı daha fazla olan kompozit yapısı etkili olmuştur.

W/D=2 parametresi için E/D değeri arttıkça CB kompozitinin yatak dayanımı CA ve CC kompozitlerine göre yüksek çıkmıştır. Bu parametrede yatak dayanımı açısından CA kompozitinin performansı CC kompozitine göre daha iyi çıkmıştır.

W/D=3 parametresi için E/D değerinden bağımsız olarak yatak dayanımları açısından avantaj sırası CB, CA, CC şeklinde olmuştur.

W/D=4 parametresi için E/D değerinden bağımsız olarak yatak dayanımları açısından avantaj sırası CA, CB, CC şeklinde olmuştur.

W/D=5 parametresi için E/D değerinin değişimine göre CC kompozitinin yatak mukavemeti değerleri düşük çıkmıştır.

W/D=2 parametresinde bütün E/D değerlerinde numunelerde en düşük yatak mukavemetleri oluşmuş ve net çekme hasar modu oluşmuştur.

E/D=3, E/D=4, E/D=5 parametrelerine sahip numunelerde W/D parametresinden bağımsız olarak yatak hasar modu gözlemlenmiştir.

W/D=5 oranının olduğu bütün numunelerde yatak mukavemetleri en yüksek çıkmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda mekanik performansı en yüksek olan kompozit CC kompozitidir. Fakat pimli deneyler sonucunda W/D ve E/D değerlerinin genelinde CC kompoziti diğer kompozitlere göre dezavantajlı duruma düşmüştür. Bunun sebebi olarak CC kompozitinde daha az tabak kumaş kullanılması ve bu kumaşın atkı ve çözgü sayısının diğer kumaş tiplerine göre düşük olması gösterilebilir.

Darbe testinde her numune 10J, 20J, 30J, 40J, 50J, 55J, 60J enerjilerinde test edilmiştir. 10J, 20J, 30J, 40J değerlerinde nüfuziyet ve zıplama davranışları gözlemlenmiştir. 50J değerinde delinme davranışı sadece CA kompozitinde gözlemlenmiştir. 55J ve 60J değerinde ise bütün numunelerde delinme gerçekleşmiştir. Enerji seviyelerinin arttırılmasıyla beraber absorbe edilen enerjiler karşılaştırıldığında avantaj sırası CC, CB, CA kompoziti şeklinde gelişmiştir.

Sonuç olarak CC kompozitinin yani 5 kat 800gr/m² gramajlı takviye kullanılan kompozitin mekanik test ve darbe testi sonuçları diğer numune tiplerine göre daha iyi çıkmıştır. Fakat pimli deneyler sonucunda bu durum tam tersidir. Bu nedenle bağlantılı elemanlarda, yatak kuvvetine maruz kalınabilecek durumlar için karşılaştırılan 3 tip kompozitten mekanik testler ve darbe testleri yönünden daha avantajlı gözükten CC kompoziti yerine CA ve CC kompozitlerinin kullanımı daha uygun olabilir.

KAYNAKLAR

Arıcasoy, O. (2006). *Kompozit sektörü raporu*. İstanbul: İstanbul Ticaret Odası Yayınları.

Camanho, P.P. ve Matthews, F. L. (1997). Stress analysis and strength prediction of mechanically fastened joints in FRP: A Review, *Composites Part A*, 28, 529-547

Camanho, P.P. ve Matthews, F.L. (1999). A progressive damage model for mechanically fastened joints in composite laminates. *Journal of Composite Materials*, 33, 2248-2280

Chang K. Y., Liu, S. ve Chang, F. K. (1991). Damage tolerance of laminated composites containing an open hole and subjected to tensile loadings. *Journal of Composite Materials*, 25, 274-301

CTP Teknolojisi (b.t.). *Cam elyaf*. 15 Ocak 2016.
<http://www.camelyaf.com.tr/images/pdf/CTPcamelyaf.pdf>

Çınar, M. ve Elmas, E. (2007). *Kompozit boruların patlatma cihazının ve panelinin tasarımı*. Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Doğan, A. (2014). *Farklı çevresel koşullara maruz kompozitlerin mekanik davranışları*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

Eker, A. A. (2014). *Kompozit malzemeler*. 25 Ocak 2016,
http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/akdogan_895a461f0c21a16f319f061a4e1f071e.pdf

Ekşi, O. (2007). *Plastik esaslı malzemelerin ısıl şekil verme özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

- İçten, B. M. (2002). *Bearing strength and damage progress in a pin-loaded composite plates*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Kelly, G. ve Hallström, S. (2004). Bearing strength of carbon fibre/epoxy laminates: Effect of bolt-hole clearance. *Composites : Part B*, 35, 331-343.
- Kompozitsan (b.t.). *Vakum infüzyon nasıl yapılır*. 24 Ocak 2016. <http://www.kompozitsan.com/tr/blog/vakum-infuzyon-nasil-yapilir-b17.html>
- Lessard, L. B. ve Shokrieh, M. M., (1995). Two-dimensional modeling of composite pinned-joint failure. *Journal of Composite Materials*, 29 (5), 671-697.
- Nejabati, A. (2014). *Kompozit levhaların darbeden sonra bası davranışının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Okutan, B. (2001). *Stress and failure analysis of laminated composite pinned joints*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Şahin, Y. (2006). *Kompozit malzemelere giriş*. (2. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Taşkın, A., E. (2015). *Jüt ve doğal keçe destekli kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Vatangül, E. (2002). *Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve ansys 10 programı ile ısıl gerilme analizi*. Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

EK:A Çekme Testlerinin Sonuçları, Ortalamaları ve Standart Sapmaları

Tablo A.1 Elastisite modülleri

Kompozit	E₁(GPa)	E₁Ortalama(GPa)	Std Sapma	
CA	CA-1	19,53	18,50	1,0
	CA-2	16,88		
	CA-3	18,28		
	CA-4	19,30		
CB	CB-1	20,67	20,87	0,5
	CB-2	20,32		
	CB-3	20,75		
	CB-4	21,76		
CC	CC-1	19,93	21,30	2,0
	CC-2	18,77		
	CC-3	23,22		
	CC-4	23,30		

Tablo A.2 Çekme mukavemetleri

Kompozit	X_c (MPa)	X_cOrtalama(Mpa)	Std Sapma	
CA	CA-1	348	390	38
	CA-2	425		
	CA-3	431		
	CA-4	357		
CB	CB-1	447	441	17
	CB-2	459		
	CB-3	413		
	CB-4	445		
CC	CC-1	403	466	40
	CC-2	514		
	CC-3	468		
	CC-4	481		

EK:B Bası ve Kayma Testlerinin Sonuçları, Ortalamaları ve Standart Sapmaları

Tablo B.1 Bası mukavemetleri

Kompozit	X_b (MPa)	X_bortalama (MPa)	Std Sapma	
CA	CA-1	333	290	30
	CA-2	277		
	CA-3	255		
	CA-4	317		
	CA-5	266		
CB	CB-1	320	314	25
	CB-2	303		
	CB-3	325		
	CB-4	345		
	CB-5	274		
CC	CC-1	350	326	21
	CC-2	329		
	CC-3	336		
	CC-4	286		
	CC-5	328		

Tablo B.2 Kayma mukavemetleri

Kompozit	S₁₂ (MPa)	S₁₂ortalama (MPa)	Std Sapma	
CA	CA-1	69	62	7
	CA-2	62		
	CA-3	66		
	CA-4	49		
CB	CB-1	61	60	5
	CB-2	53		
	CB-3	63		
	CB-4	65		
CC	CC-1	65	68	2
	CC-2	70		
	CC-3	66		
	CC-4	69		

EK:C CA Kompoziti Pimli Deneylerin Sonuçları, Ortalamaları ve Standart Sapmaları

Tablo C.1 CA Kompoziti yatak gerilmeleri W/D=2

CA Kompoziti Yatak Gerilmeleri W/D=2				
Kompozit		σ	Ortalama	Std Sapma
E/D=1	E/D=1-1	113	117	7
	E/D=1-2	111		
	E/D=1-3	124		
	E/D=1-4	127		
	E/D=1-5	110		
E/D=2	E/D=2-1	226	213	8
	E/D=2-2	208		
	E/D=2-3	219		
	E/D=2-4	204		
	E/D=2-5	210		
E/D=3	E/D=3-1	238	256	21
	E/D=3-2	279		
	E/D=3-3	230		
	E/D=3-4	252		
	E/D=3-5	281		
E/D=4	E/D=4-1	223	222	11
	E/D=4-2	207		
	E/D=4-3	229		
	E/D=4-4	212		
	E/D=4-5	237		
E/D=5	E/D=5-1	272	240	25
	E/D=5-2	201		
	E/D=5-3	256		
	E/D=5-4	224		
	E/D=5-5	246		

Tablo C.2 CA Kompoziti yatak gerilmeleri W/D=3

CA Kompoziti Yatak Gerilmeleri W/D=3				
Kompozit		σ	Ortalama	Std Sapma
E/D=1	E/D=1-1	119	119	6
	E/D=1-2	124		
	E/D=1-3	124		
	E/D=1-4	120		
	E/D=1-5	108		
E/D=2	E/D=2-1	252	242	16
	E/D=2-2	233		
	E/D=2-3	266		
	E/D=2-4	219		
	E/D=2-5	242		
E/D=3	E/D=3-1	295	303	7
	E/D=3-2	301		
	E/D=3-3	305		
	E/D=3-4	300		
	E/D=3-5	316		
E/D=4	E/D=4-1	339	344	12
	E/D=4-2	334		
	E/D=4-3	339		
	E/D=4-4	364		
E/D=5	E/D=5-1	380	357	19
	E/D=5-2	355		
	E/D=5-3	326		
	E/D=5-4	371		
	E/D=5-5	352		

Tablo C.3 CA Kompoziti yatak gerilmeleri W/D=4

CA Kompoziti Yatak Gerilmeleri W/D=4				
Kompozit		σ	Ortalama	Std Sapma
E/D=1	E/D=1-1	145	153	9
	E/D=1-2	160		
	E/D=1-3	154		
	E/D=1-4	164		
	E/D=1-5	139		
E/D=2	E/D=2-1	261	252	9
	E/D=2-2	238		
	E/D=2-3	262		
	E/D=2-4	250		
	E/D=2-5	249		
E/D=3	E/D=3-1	345	303	44
	E/D=3-2	298		
	E/D=3-3	323		
	E/D=3-4	327		
	E/D=3-5	221		
E/D=4	E/D=4-1	367	364	31
	E/D=4-2	385		
	E/D=4-3	323		
	E/D=4-4	338		
	E/D=4-5	407		
E/D=5	E/D=5-1	405	393	8
	E/D=5-2	380		
	E/D=5-3	390		
	E/D=5-4	394		
	E/D=5-5	396		

Tablo C.4 CA Kompoziti yatak gerilmeleri W/D=5

CA Kompoziti Yatak Gerilmeleri W/D=5				
Kompozit	σ	Ortalama	Std Sapma	
E/D=1	E/D=1-1	140	142	7
	E/D=1-2	151		
	E/D=1-3	144		
	E/D=1-4	144		
	E/D=1-5	129		
E/D=2	E/D=2-1	226	234	13
	E/D=2-2	216		
	E/D=2-3	249		
	E/D=2-4	232		
	E/D=2-5	248		
E/D=3	E/D=3-1	332	326	8
	E/D=3-2	328		
	E/D=3-3	316		
	E/D=3-4	335		
	E/D=3-5	317		
E/D=4	E/D=4-1	339	359	11
	E/D=4-2	354		
	E/D=4-3	361		
	E/D=4-4	369		
	E/D=4-5	368		
E/D=5	E/D=5-1	412	404	11
	E/D=5-2	412		
	E/D=5-3	384		
	E/D=5-4	400		
	E/D=5-5	414		

EK:D CB Kompoziti Pimli Deneylerin Sonuçları, Ortalamaları ve Standart Sapmaları

Tablo D.1 CB Kompoziti yatak gerilmeleri W/D=2

CB Kompoziti Yatak Gerilmeleri W/D=2				
Kompozit		σ (MPa)	σortalama (MPa)	Std Sapma
E/D=1	E/D=1-1	124	110	17
	E/D=1-2	89		
	E/D=1-3	134		
	E/D=1-4	97		
	E/D=1-5	105		
E/D=2	E/D=2-1	211	206	19
	E/D=2-2	181		
	E/D=2-3	188		
	E/D=2-4	213		
	E/D=2-5	235		
E/D=3	E/D=3-1	244	256	17
	E/D=3-2	281		
	E/D=3-3	261		
	E/D=3-4	261		
	E/D=3-5	230		
E/D=4	E/D=4-1	252	242	23
	E/D=4-2	206		
	E/D=4-3	265		
	E/D=4-4	261		
	E/D=4-5	226		
E/D=5	E/D=5-1	259	253	6
	E/D=5-2	262		
	E/D=5-3	246		
	E/D=5-4	246		
	E/D=5-5	250		

Tablo D.2 CB Kompoziti yatak gerilmeleri W/D=3

CB Kompoziti Yatak Gerilmeleri W/D=3				
Kompozit	σ (MPa)	σortalama (MPa)	Std Sapma	
E/D=1	E/D=1-1	128	123	9
	E/D=1-2	119		
	E/D=1-3	117		
	E/D=1-4	139		
	E/D=1-5	115		
E/D=2	E/D=2-1	215	236	16
	E/D=2-2	250		
	E/D=2-3	221		
	E/D=2-4	240		
	E/D=2-5	256		
E/D=3	E/D=3-1	297	307	16
	E/D=3-2	325		
	E/D=3-3	308		
	E/D=3-4	320		
	E/D=3-5	282		
E/D=4	E/D=4-1	358	355	13
	E/D=4-2	372		
	E/D=4-3	331		
	E/D=4-4	355		
	E/D=4-5	358		
E/D=5	E/D=5-1	353	363	18
	E/D=5-2	338		
	E/D=5-3	392		
	E/D=5-4	363		
	E/D=5-5	371		

Tablo D.3 CB Kompoziti yatak gerilmeleri W/D=4

CB Kompoziti Yatak Gerilmeleri W/D=4				
Kompozit	σ (MPa)	σortalama (MPa)	Std Sapma	
E/D=1	E/D=1-1	131	132	10
	E/D=1-2	126		
	E/D=1-3	136		
	E/D=1-4	148		
	E/D=1-5	119		
E/D=2	E/D=2-1	257	253	3
	E/D=2-2	248		
	E/D=2-3	251		
	E/D=2-4	254		
	E/D=2-5	254		
E/D=3	E/D=3-1	313	317	5
	E/D=3-2	326		
	E/D=3-3	319		
	E/D=3-4	316		
	E/D=3-5	313		
E/D=4	E/D=4-1	353	356	13
	E/D=4-2	369		
	E/D=4-3	344		
	E/D=4-4	373		
	E/D=4-5	341		
E/D=5	E/D=5-1	353	367	10
	E/D=5-2	362		
	E/D=5-3	381		
	E/D=5-4	375		
	E/D=5-5	362		

Tablo D.4 CB Kompoziti yatak gerilmeleri W/D=5

CB Kompoziti Yatak Gerilmeleri W/D=5				
Kompozit	σ (MPa)	σortalama (MPa)	Std Sapma	
E/D=1	E/D=1-1	125	134	10
	E/D=1-2	145		
	E/D=1-3	145		
	E/D=1-4	134		
	E/D=1-5	122		
E/D=2	E/D=2-1	252	256	8
	E/D=2-2	258		
	E/D=2-3	243		
	E/D=2-4	268		
	E/D=2-5	260		
E/D=3	E/D=3-1	333	337	9
	E/D=3-2	333		
	E/D=3-3	335		
	E/D=3-4	354		
	E/D=3-5	328		
E/D=4	E/D=4-1	354	377	23
	E/D=4-2	378		
	E/D=4-3	414		
	E/D=4-4	387		
	E/D=4-5	352		
E/D=5	E/D=5-1	399	380	12
	E/D=5-2	376		
	E/D=5-3	366		
	E/D=5-4	370		
	E/D=5-5	389		

EK:E CC Kompoziti Pimli Deneylerin Sonuçları, Ortalamaları ve Standart Sapmaları

Tablo E.1 CC Kompoziti yatak gerilmeleri W/D=2

CC Kompoziti Yatak Gerilmeleri W/D=2				
Kompozit	σ (MPa)	σortalama (MPa)	Std Sapma	
E/D=1	E/D=1-1	110	110	9
	E/D=1-2	127		
	E/D=1-3	111		
	E/D=1-4	102		
	E/D=1-5	101		
E/D=2	E/D=2-1	200	223	16
	E/D=2-2	238		
	E/D=2-3	239		
	E/D=2-4	206		
	E/D=2-5	229		
E/D=3	E/D=3-1	186	227	28
	E/D=3-2	235		
	E/D=3-3	267		
	E/D=3-4	206		
	E/D=3-5	242		
E/D=4	E/D=4-1	201	206	13
	E/D=4-2	226		
	E/D=4-3	199		
	E/D=4-4	190		
	E/D=4-5	216		
E/D=5	E/D=5-1	222	212	10
	E/D=5-2	198		
	E/D=5-3	202		
	E/D=5-4	221		
	E/D=5-5	219		

Tablo E.2 CC Kompoziti yatak gerilmeleri W/D=3

CC Kompoziti Yatak Gerilmeleri W/D=3				
Kompozit	σ (MPa)	σortalama (MPa)	Std Sapma	
E/D=1	E/D=1-1	146	122	16
	E/D=1-2	124		
	E/D=1-3	101		
	E/D=1-4	115		
E/D=2	E/D=2-1	197	223	17
	E/D=2-2	246		
	E/D=2-3	215		
	E/D=2-4	224		
	E/D=2-5	234		
E/D=3	E/D=3-1	226	236	9
	E/D=3-2	236		
	E/D=3-3	232		
	E/D=3-4	251		
E/D=4	E/D=4-1	236	246	16
	E/D=4-2	241		
	E/D=4-3	245		
	E/D=4-4	231		
	E/D=4-5	277		
E/D=5	E/D=5-1	246	247	11
	E/D=5-2	260		
	E/D=5-3	227		
	E/D=5-4	250		
	E/D=5-5	253		

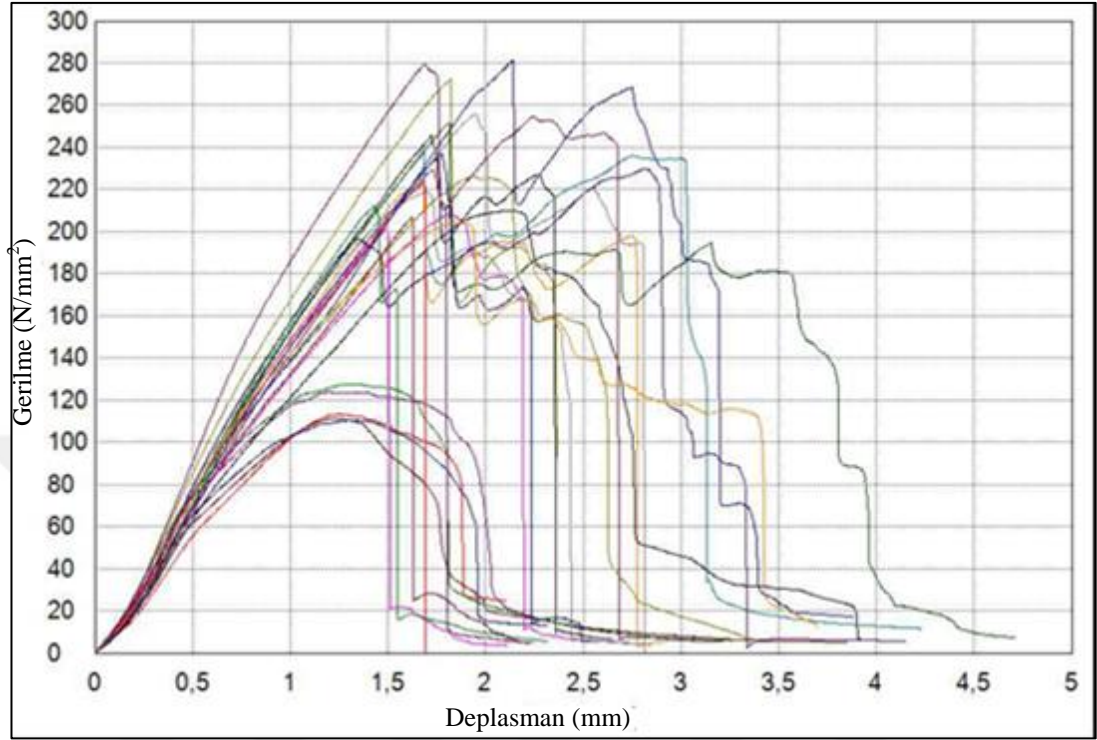
Tablo E.3 CC Kompoziti yatak gerilmeleri W/D=4

CC Kompoziti Yatak Gerilmeleri W/D=4				
Kompozit	σ (MPa)	σortalama (MPa)	Std Sapma	
E/D=1	E/D=1-1	122	122	25
	E/D=1-2	105		
	E/D=1-3	148		
	E/D=1-4	85		
	E/D=1-5	152		
E/D=2	E/D=2-1	232	226	8
	E/D=2-2	224		
	E/D=2-3	217		
	E/D=2-4	238		
	E/D=2-5	218		
E/D=3	E/D=3-1	251	238	9
	E/D=3-2	229		
	E/D=3-3	247		
	E/D=3-4	229		
	E/D=3-5	233		
E/D=4	E/D=4-1	275	287	17
	E/D=4-2	272		
	E/D=4-3	297		
	E/D=4-4	314		
	E/D=4-5	276		
E/D=5	E/D=5-1	242	259	14
	E/D=5-2	251		
	E/D=5-3	256		
	E/D=5-4	282		
	E/D=5-5	266		

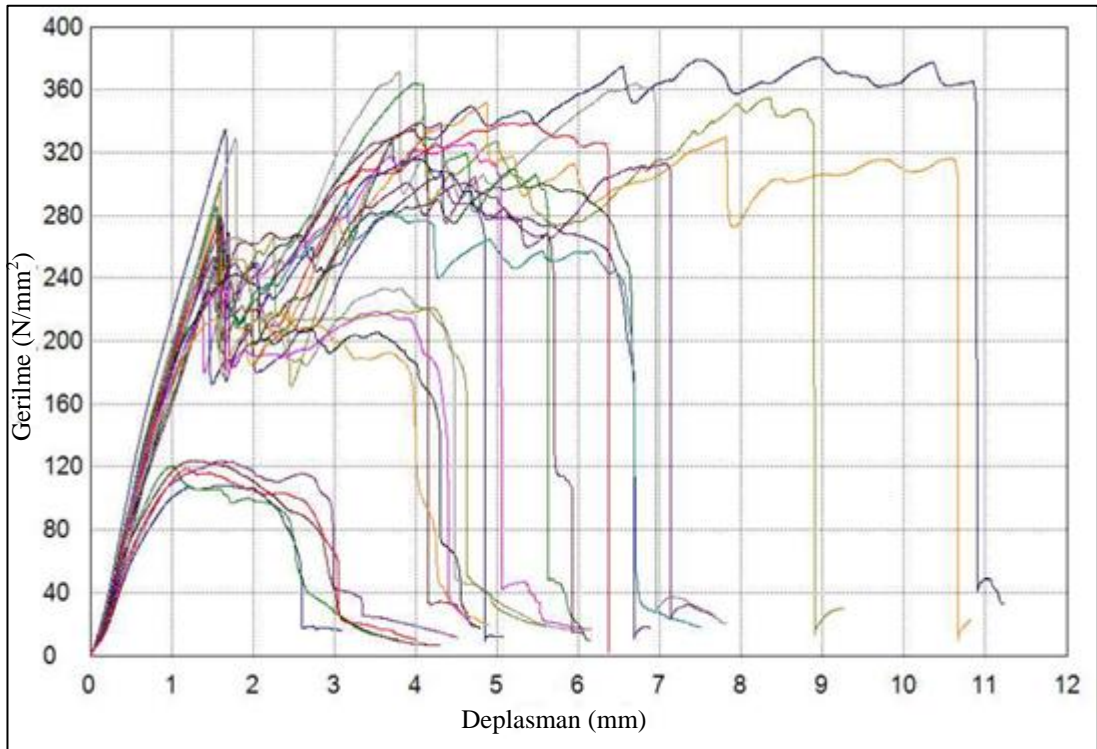
Tablo E.4 CC Kompoziti yatak gerilmeleri W/D=5

CC Kompoziti Yatak Gerilmeleri W/D=5				
Kompozit	σ (MPa)	σortalama (MPa)	Std Sapma	
E/D=1	E/D=1-1	113	131	13
	E/D=1-2	146		
	E/D=1-3	142		
	E/D=1-4	118		
	E/D=1-5	135		
E/D=2	E/D=2-1	229	255	15
	E/D=2-2	261		
	E/D=2-3	275		
	E/D=2-4	256		
	E/D=2-5	253		
E/D=3	E/D=3-1	275	309	20
	E/D=3-2	306		
	E/D=3-3	307		
	E/D=3-4	325		
	E/D=3-5	334		
E/D=4	E/D=4-1	343	361	11
	E/D=4-2	371		
	E/D=4-3	375		
	E/D=4-4	358		
	E/D=4-5	357		
E/D=5	E/D=5-1	366	394	19
	E/D=5-2	396		
	E/D=5-3	395		
	E/D=5-4	424		
	E/D=5-5	387		

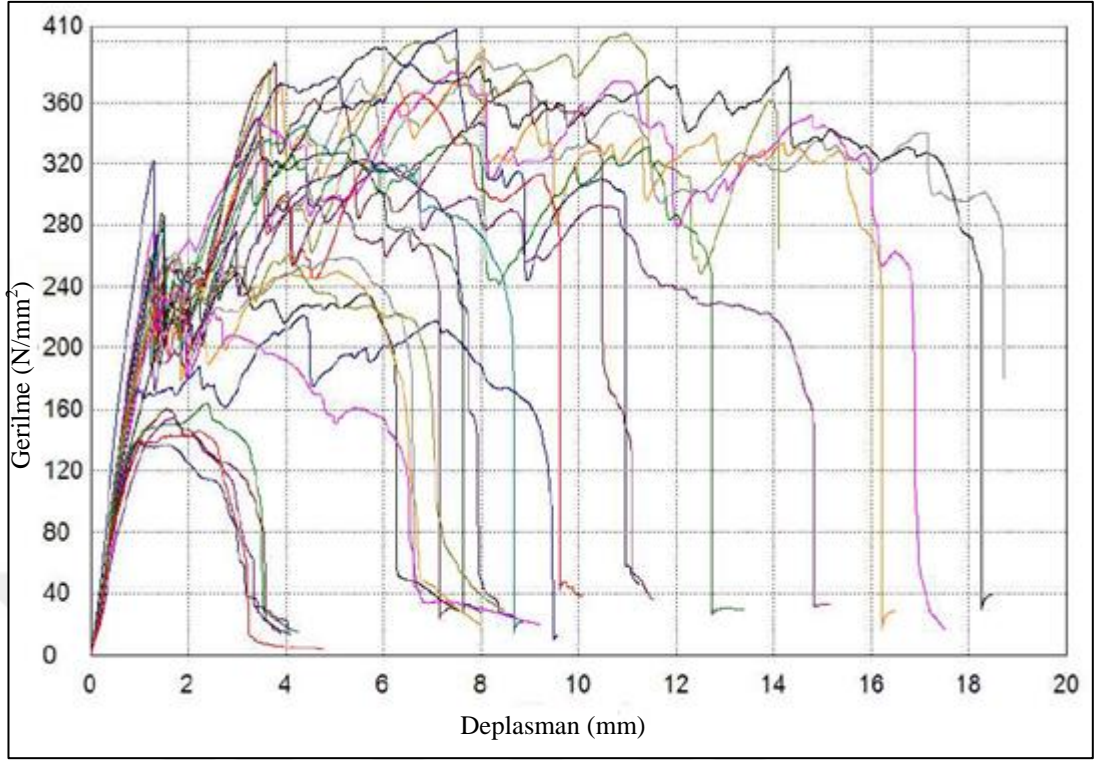
EK:F CA Kompoziti Pimli Deney Gerilme Deplasman Grafikleri



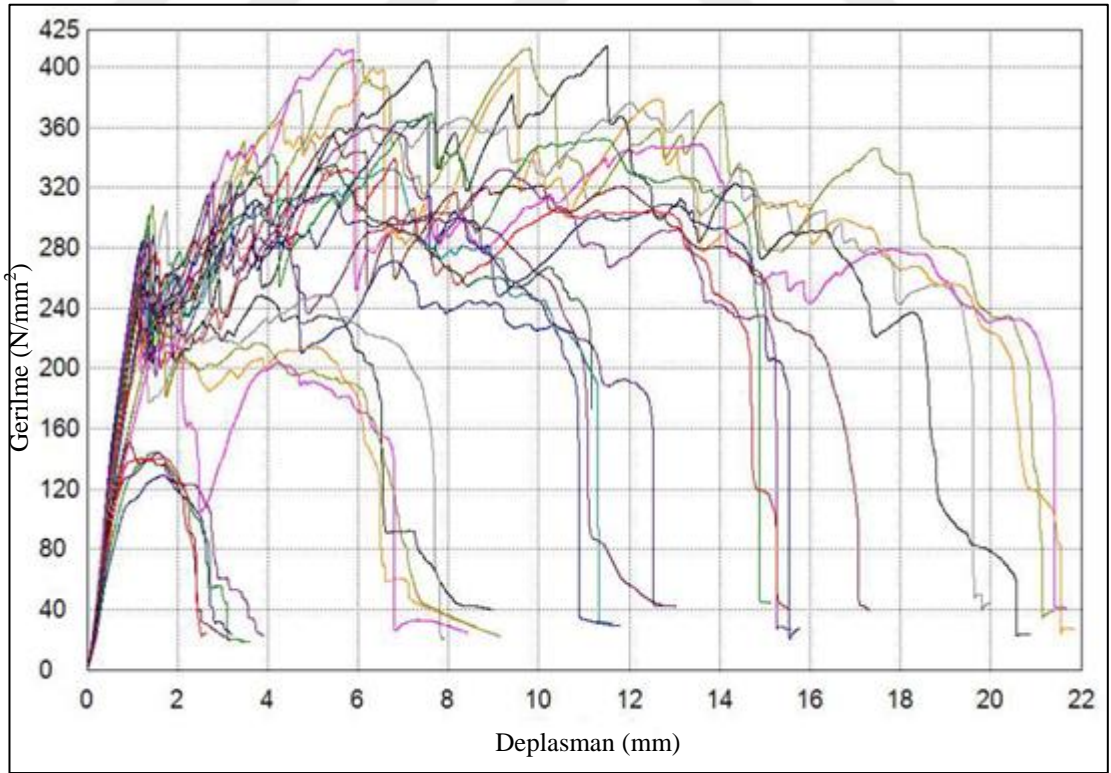
Şekil F.1 CA Kompoziti W/D=2 gerilme – deplasman Grafiği



Şekil F.2 CA kompoziti W/D=3 gerilme – deplasman grafiği

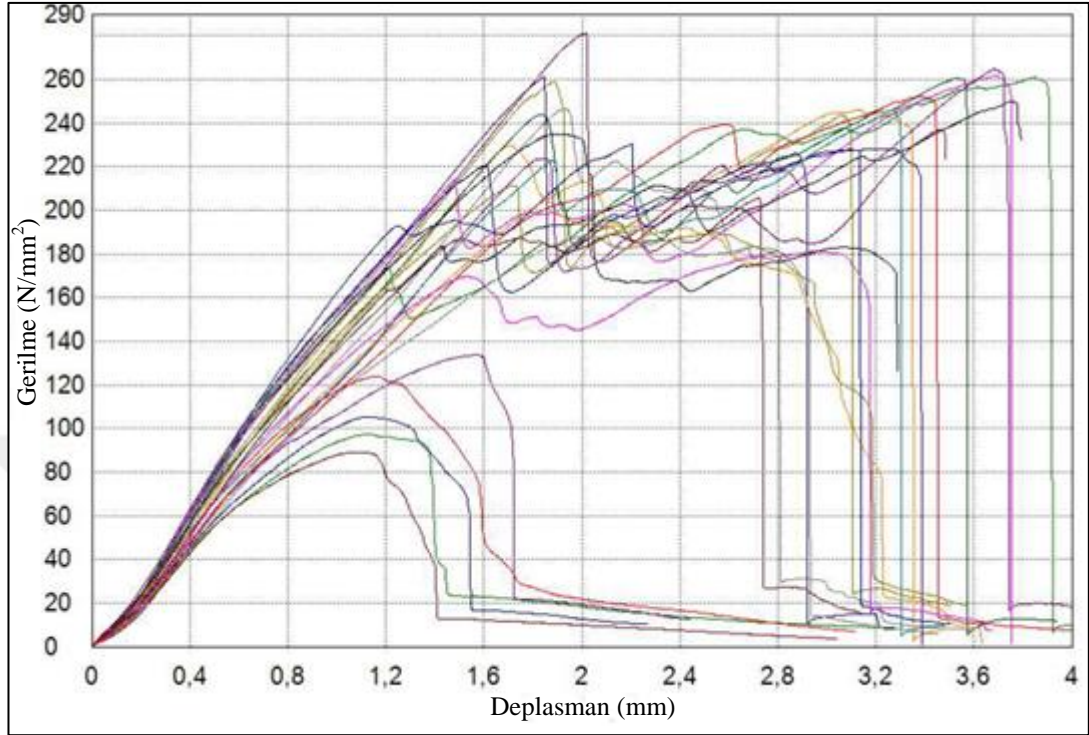


Şekil F.3 CA kompoziti W/D=4 gerilme – deplasman grafiği

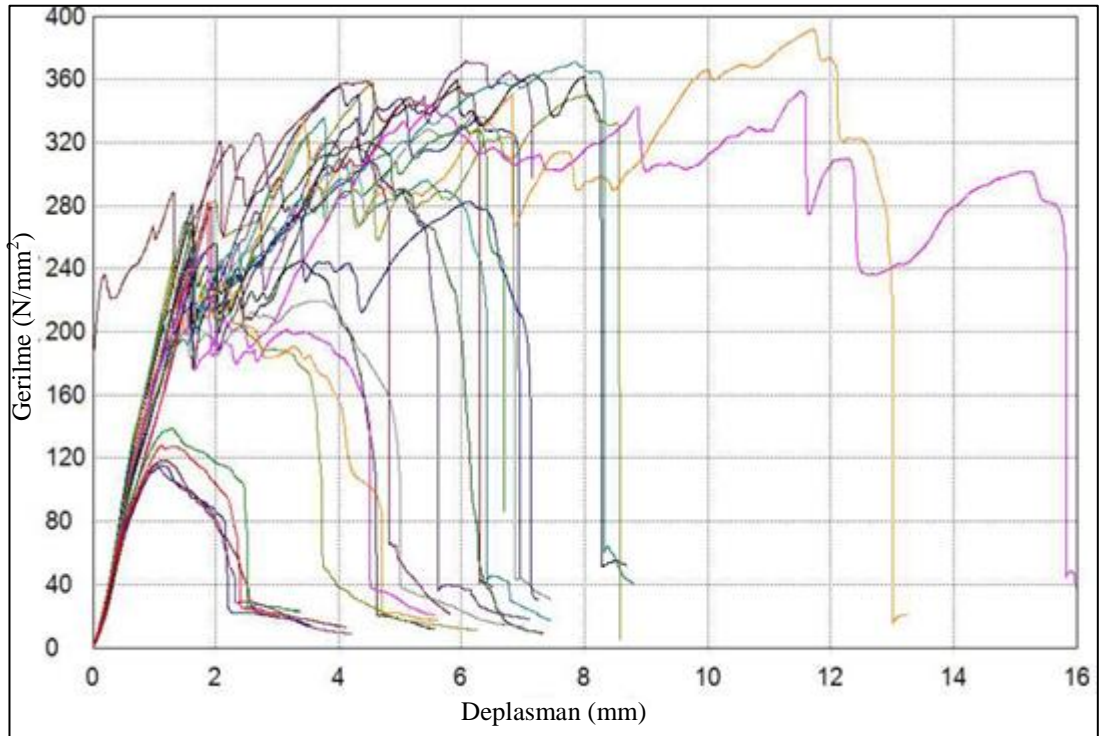


Şekil F.4 CA kompoziti W/D=5 gerilme – deplasman grafiği

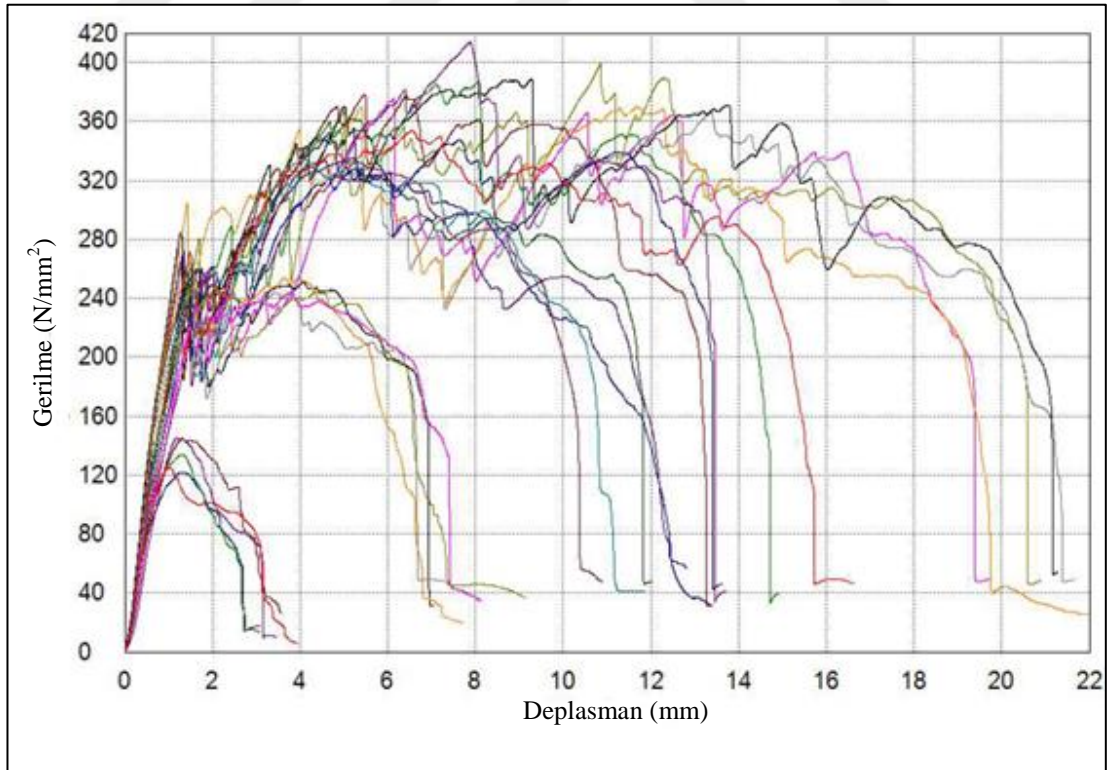
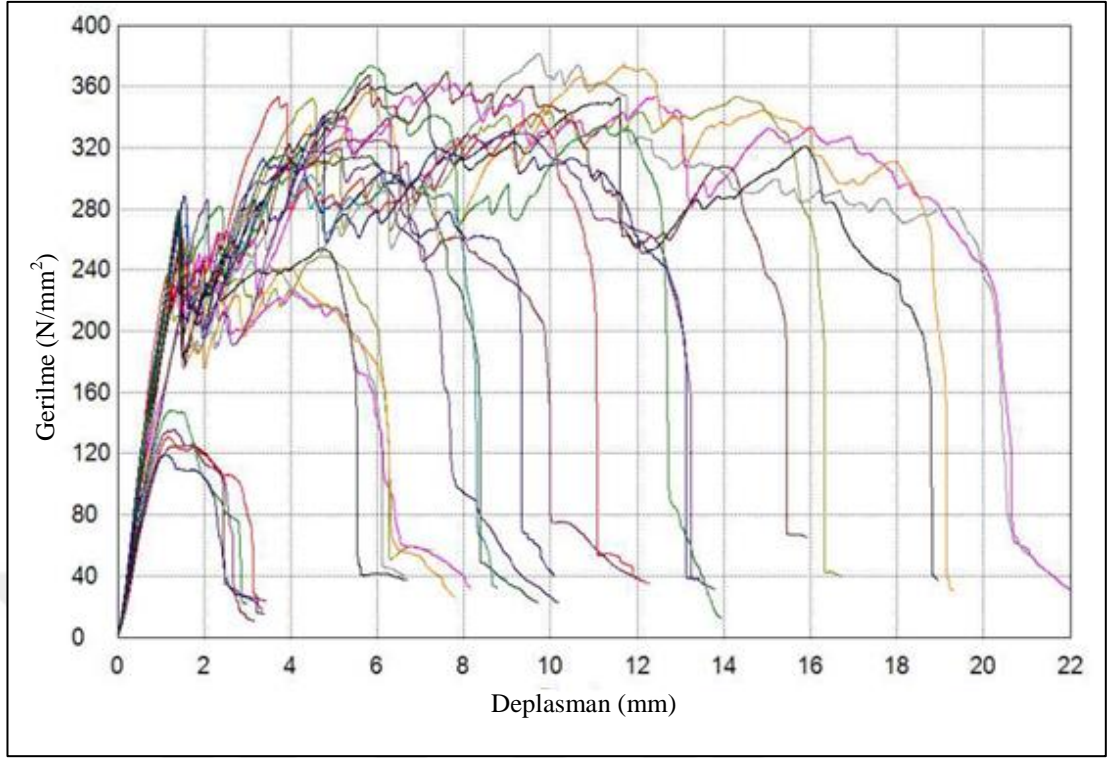
EK:G CB Kompoziti Pimli Deney Gerilme-Deplasman Grafikleri



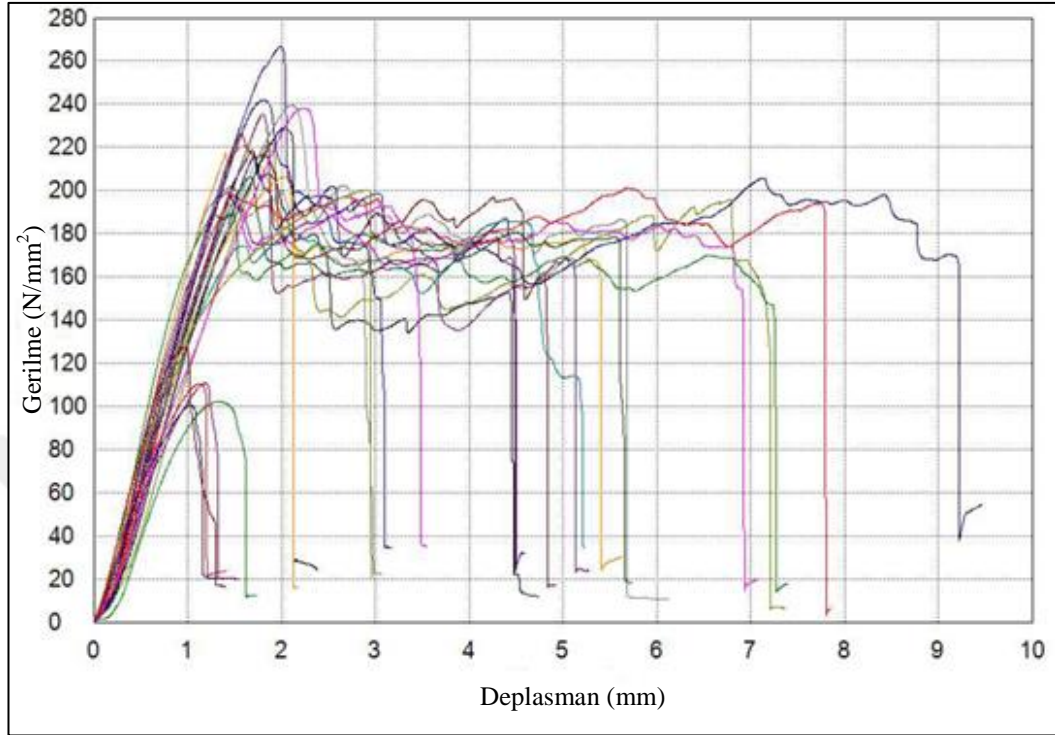
Şekil G.1 CB kompoziti W/D=2 gerilme – deplasman grafiği



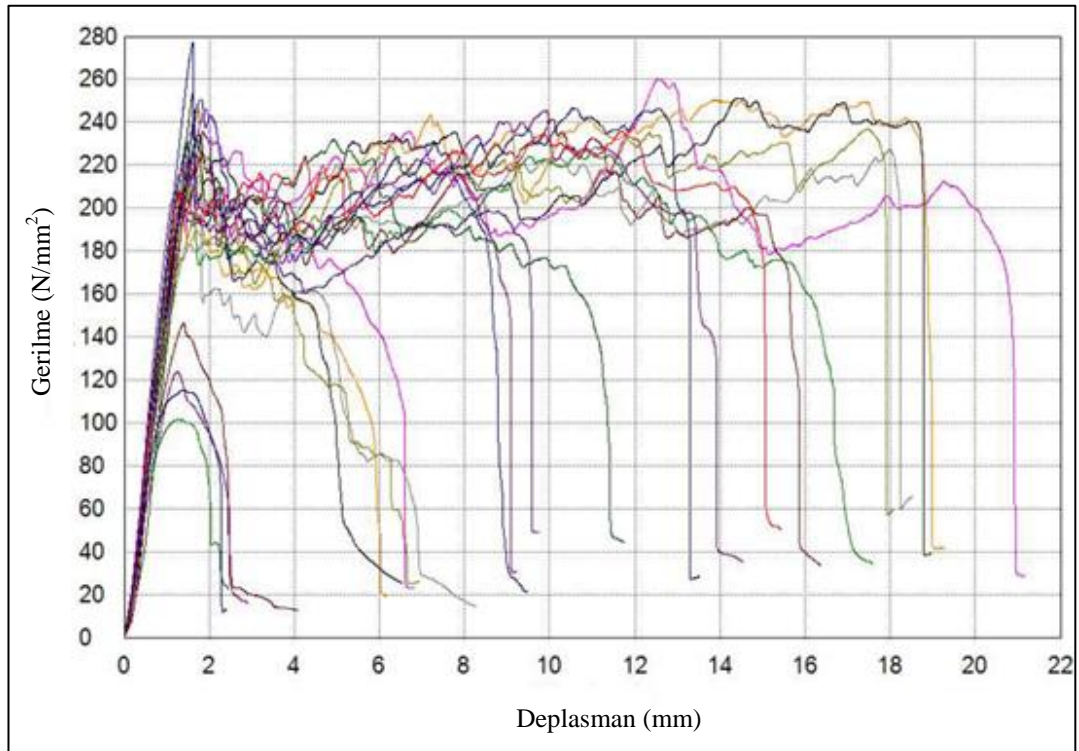
Şekil G.2 CB kompoziti W/D=3 gerilme – deplasman grafiği



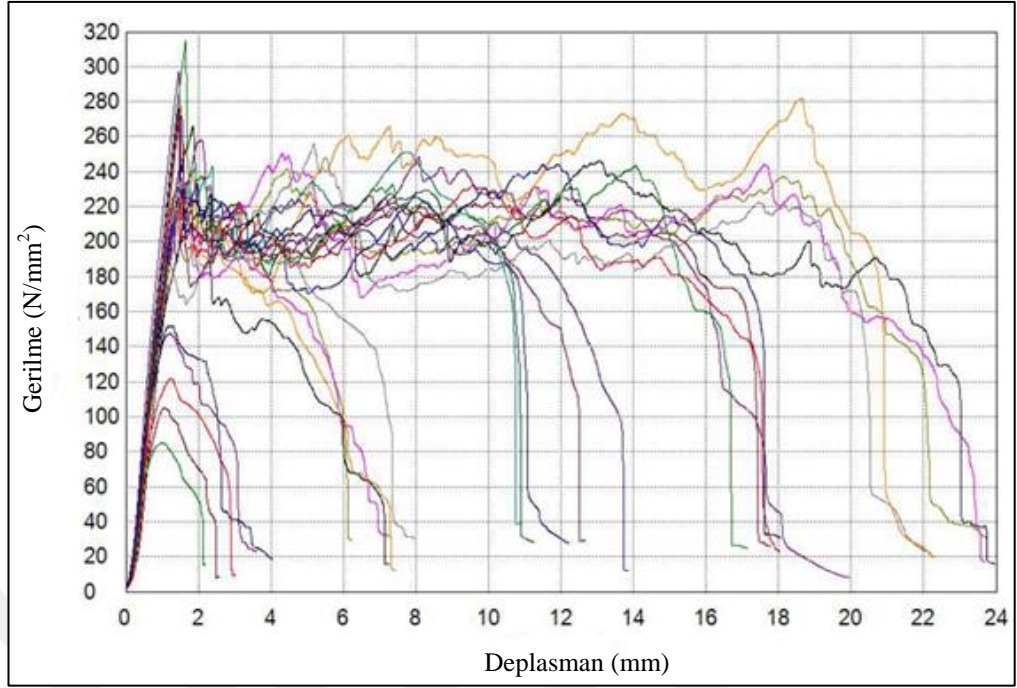
EK:H CC Kompoziti Pimli Deney Gerilme-Deplasman Grafikleri



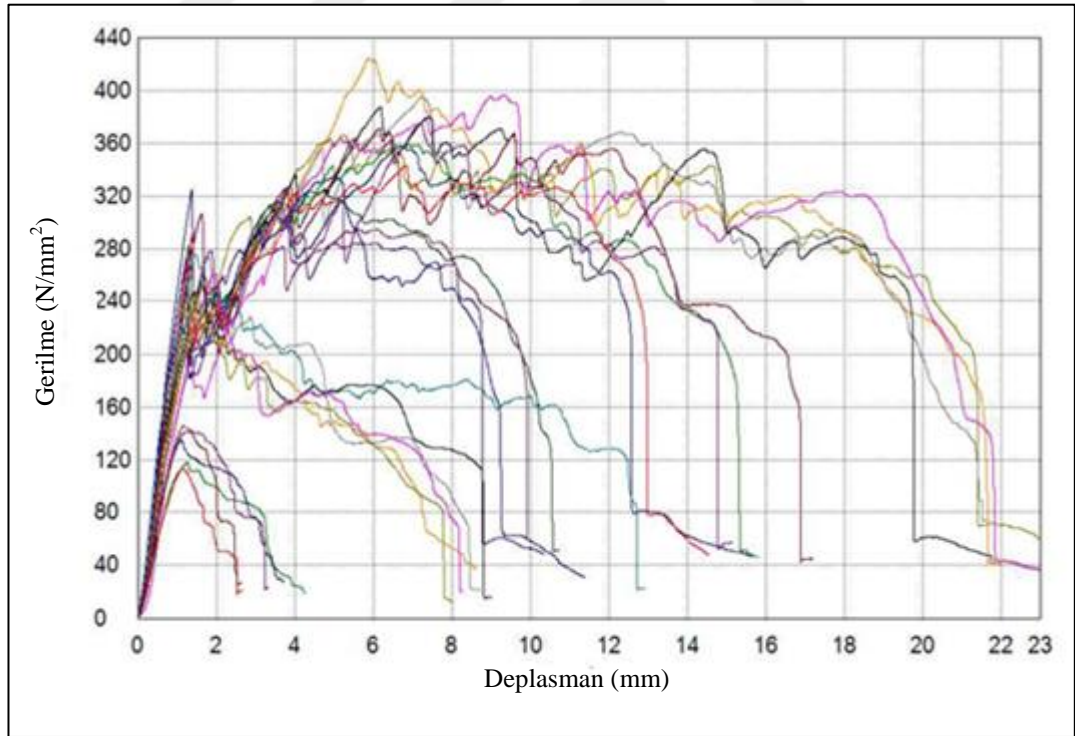
Şekil H.1 CC kompoziti W/D=2 gerilme – deplasman grafiği



Şekil H.2 CC kompoziti W/D=3 gerilme – deplasman grafiği



Şekil H.3 CC kompoziti W/D=4 gerilme – deplasman grafiği



Şekil H.4 CC kompoziti W/D=5 gerilme – deplasman grafiği