

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**TEK BİNDİRMELİ CAM ELYAF TAKVİYELİ
MALZEMELERİN DARBE DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

TEZSİZ YÜKSEK LİSANS BİTİRME PROJESİ

METE DOĞAN

DENİZLİ, HAZİRAN – 2017

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**TEK BİNDİRMELİ CAM ELYAF TAKVİYELİ
MALZEMELERİN DARBE DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

TEZSİZ YÜKSEK LİSANS BİTİRME PROJESİ

METE DOĞAN

DENİZLİ, HAZİRAN - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

METE DOĞAN tarafından hazırlanan "TEK BİNDİRMELİ CAM ELYAF TAKVİYELİ MALZEMELERİN DARBE DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ" adlı tezsiz yüksek lisans dönem projesi çalışmasının takibi ve kontrolü tarafımda sağlanmıştır.

Danışman
Prof. Dr. Olcay Ersel CANYURT

İmza

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 3/10/2017 tarih ve 21/21 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu projenin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

METE DOĞAN

İmza:



ÖZET

**TEK BİNDİRMELİ CAM ELYAF TAKVİYELİ MALZEMELERİN DARBE
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**
TEZSİZ YÜKSEK LİSANS DÖNEM PROJESİ
METE DOĞAN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. OLCAY ERSEL CANYURT)
DENİZLİ, HAZİRAN - 2017

Bu çalışma, yapıştırma ile birleştirilmiş tek bindirmeli cam elyaf takviyeli kompozitlerin darbe davranışlarını içermektedir. İçerik olarak kompozit plakaların 20 mm, 40 mm ve 60 mm bindirme uzunluklarında 5 J, 10 J, 15 J, 20 J, 25 J ve 30 J enerjili darbe testlerini ve davranışlarını kapsamaktadır. 160x40 mm ebatlarındaki kompozit plakalar sıcak pres ile istenilen ölçülerde yapıştırılmış ve darbe testleri oda sıcaklığında (20 °C) gerçekleştirilmiştir.. Ayrıca vurucu ve üzerindeki kütle ile toplam ağırlığı 6.3 kg olup vurucu uç, yarı küresel ve çapı 12,7 mm çapında seçilmiştir. Test cihazında bulunan pnömatik çeneler, numunenin tüm kenarlarından sıkı bir şekilde tutacak şekilde ayarlanmış ve ortasındaki dairesel deliğin çapı 30 mm'dir. 40 x 160 mm ebadındaki numuneler tek bindirme ölçüsü 20 mm, 40 mm ve 60 mm olacak şekilde yapıştırıldıktan sonra sırasıyla yapıştırılan bölgenin merkezine 5 J, 10 J, 15 J, 20 J, 25 J ve 30 J' lük darbe enerjileri uygulanarak numunelerin davranışları incelenmiştir. Tüm bu deney sonuçları ve darbe davranışları incelendiğinde; darbe enerjisinin artmasına paralel olarak numunede yutulan enerjinin toplam enerjiye oranının da arttığı, bunun sonucu olarak da meydana gelen hasar miktarının artmakta olduğu görülmüştür. Ayrıca bindirme uzunluğu ne kadar fazla ise plakaların o kadar az çökmeye uğradığı ve kuvvet dayanımının da bir o kadar fazlaştığı anlaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Kompozit Malzemeler, Tek Bindirmeli Kompozitler, Kompozit Plakaların Yapıştırılması, Darbe Analizi

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF IMPACT BEHAVIOR OF SINGLE FIBER REINFORCED
GLASS FIBER REINFORCED MATERIALS**
NON-THESIS MASTER'S DEGREE TERM PROJECT
METE DOGAN
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR:PROF. DR. OLCAY ERSEL CANYURT)
DENİZLİ, JUNE 2017

This work deals with the impact behavior of single-stranded glass-fiber reinforced composites combined with bonding. The content includes impact tests and behaviors of 5 J, 10 J, 15 J, 20 J, 25 J and 30 J in 20, 40 and 60 mm overlap length of composite plates. Composite plates with dimensions of 160x40 mm were bonded with hot press at desired dimensions and impact tests were carried out at room temperature (20 °C). In addition, the impact or and the mass with total weight of 6.3 kg were selected and the impact or tip was selected as semi spherical and 12.7 mm diameter. The pneumatic jaws on the tester are arranged to hold tightly all the edges of the sample and the diameter of the circular hole in the middle is 30 mm. The specimens of 40 x 160 mm were examined for the behavior of the samples by applying impact energy of 5 J, 10 J, 15 J, 20 J, 25 J and 30 J to the center of the bonded zone, respectively, after adhering with the single lap size of 20 mm, 40 mm and 60 mm . When all these test results and impact behaviors are examined, In parallel with the increase of the impact energy, the ratio of the total energy of the energy absorbed in the sample also increased, and as a result, the amount of the damage that occurred as a result increased. Moreover, it was understood that the longer the thrust length, the less the plates had collapsed and the more the strength was increased.

KEYWORDS: Composite Materials, Single-Plated Composite Materials, Gluing of Composite Plates, Impact Analysis

PROJE BİLDİRİMİ

Bu projedeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mete DOĞAN

ÖNSÖZ

Çalışmada cam elyaf takviyeli kompozitler de yapıştırma ile gerçekleştirilen tek bindirmeli birleştirmenin çeşitli şartlar altındaki darbe davranışları incelenmesi amaçlanmıştır.

Kompozit malzemeler aslında uzun yıllardır kullanılan fakat mekanik davranışları son yıllarda araştırmalara konu olan ve devamlı gelişen, geliştirilen malzemelerdir. Bu malzemeler kullanılarak normal metal malzemeler ile elde edilmesi çok zor olan mekanik dayanıma sahip parçalar üretilebilir. Bunun yanına hafiflik açısından incelendiğinde ise yine metallere kıyasla çok hafif olmaları dolayısıyla kullanıldıkları yerlerde çok büyük avantajlar sağlamaktadırlar. İşte böyle bir ortamda kompozit malzemeler geliştirilmeli, incelenmeli ve değerlendirilmelidir. Bizde çalışmamızı yapıştırma ile birleştirilmiş tek bindirmeli cam elyaf takviyeli kompozitlerin darbe davranışları üzerine yaptık.

Bu çalışma bindirme 20 mm, 40 mm ve 60 mm bindirme uzunluklarında 5 J, 10 J, 15 J, 20 J, 25 J ve 30 J enerjili darbe testlerini ve davranışlarını kapsamaktadır.

Çalışmamın not için değil, öğrenmek için olduğunu idrak ettiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Olcay Ersel CANYURT' a ve manevi desteğini benden esirgemeyen arkadaşım Gıda Mühendisi Özlem ÇEKER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Mete DOĞAN

DENİZLİ-2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
PROJE BİLDİRİMİ	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Projenin Amacı.....	2
1.2 Literatür Özeti	2
2. KOMPOZİT MALZEMELER	4
2.1 Kompozit Teknolojisinin Gelişimi	4
2.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	6
2.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	8
2.3.1 Matris Malzemesine Göre Kompozit Malzemeler	8
2.3.2 Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemeler.....	9
2.3.2.1 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler	10
2.3.2.2 Partikül takviyeli kompozit malzemeler	14
2.3.2.3 Tabakalı kompozit malzemeler	14
2.3.2.4 Karma kompozitler	15
3. KOMPOZİT MALZEMELERİN DARBE DAVRANIŞI	15
3.1 Kompozit Malzemelerin Darbe Direnci.....	17
3.2 Kompozit Malzeme Darbe Testi.....	17
3.2.1 Darbe Hasarına Etki Eden Etkenler	18
3.2.1.1 Plak Özellikleri.....	18
3.2.1.2 Vurucu Özellikleri	19
3.2.2 Kompozit Malzemelerde Hasar Türleri	19
3.2.2.1 Matris Kırılması	19
3.2.2.2 Tabaka Ayrılması (Delaminasyon).....	20
3.2.2.3 Fiber Kırılması	21
3.2.3 Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışlarının Belirlenmesi.....	22

3.2.3.1	Kuvvet-Çökme (F-d) Eğrileri.....	22
3.2.3.2	Kuvvet- Zaman (F-t) Eğrileri	24
3.2.3.3	Absorbe Edilen Enerji-Zaman (E-t) Eğrileri.....	25
3.2.3.4	Enerji Profili Diyagramı (EPD).....	26
4.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	28
4.1	Test Numuneleri	28
4.2	Düşey Ağırlık Düşürme Testi.....	29
5.	DENEYSEL SONUÇLAR	31
6.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	39
7.	KAYNAKLAR	40
8.	ÖZGEÇMİŞ	42

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	En genel kullanımlı takviye elemanlı kompozitler	10
Şekil 2.2	Tipik bir delaminasyon türü	11
Şekil 2.3	En genel kullanımlı takviye elemanlı kompozitler	13
Şekil 2.4	Tipik bir delaminasyon türü	14
Şekil 3.1	Ağırlık düşürme deney düzeneği	18
Şekil 3.2	a) Kayma gerilmesi ve b) Çeki gerilmesinin neden olduğu matris kırıkları	20
Şekil 3.3	Tipik bir delaminasyon türü	21
Şekil 3.4	Bindirme numunelerinde fiber kırılması	22
Şekil 3.5	Artan darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-çökme (F-d) eğrileri	23
Şekil 3.6	Kuvvet-zaman (F-t) eğrileri	24
Şekil 3.7	Absorbe edilen enerji-zaman (E-t) eğrileri.....	25
Şekil 3.8	Enerji profil diyagramı	26
Şekil 4.1	Örnek numune bindirme ölçüleri (20mm bindirme).....	28
Şekil 4.2	Isı ayarlı sıcak pres makinesi	29
Şekil 4.3	Darbe deneyi ağırlık düşürme deney cihazı (INSTRON Dynatup 9250HV)	30
Şekil 5.1	6 tabakalı 20 mm bindirme uzunluğuna sahip malzemelerde Kuvvet-Çökme davranışı	32
Şekil 5.2	6 tabakalı 20 mm bindirme uzunluğuna sahip malzemelerde Kuvvet-Zaman davranışı	32
Şekil 5.3	6 tabakalı 20 mm bindirme uzunluğuna sahip malzemelerde Maksimum nokta darbe enerjisi (Ei) – Zaman davranışı	33
Şekil 5.4	6 tabaka 20 mm bindirme uzunluğuna sahip numunelerde F, d, t ve v – Ei ilişkisi	34
Şekil 5.5	6 tabaka 20 mm bindirme uzunluğuna sahip numunelerin Ön- Arka / İlk 3 ve son 3 numunenin 45° görünümü	35
Şekil 5.6	6 tabaka 0 derece 20, 40 ve 60 mm bindirme (F-d)	36
Şekil 5.7	6 tabaka 0 derece 20, 40 ve 60 mm bindirme (F-t)	36
Şekil 5.8	EPD diyagramı (Maksimum nokta darbe enerjisi ve absorbe edilen enerji miktarının bindirme ölçülerine göre kıyaslanması ..	37
Şekil 5.9	6 tabaka 40 mm ve 6 tabaka 60 mm numunelerinin deney sonucunda oluşan ön ve arka fotoğrafları	38

SEMBOL LİSTESİ

V_m	: Matris hacmi
V_f	: Fiber hacmi
a(t)	: t anındaki vurucunun ivmesi
d(t)	: t anındaki yer değiştirme
d_{max}	: Maksimumu y¼kteki yer değiştirme
E_a	: Absorbe edilen enerji
E_i	: Darbe enerjisi
E_{max}	: Geri sekme enerjisi
f(t)	: t anında numune tarafından vurucuya uygulanan kuvvet
F(t)	: t anındaki bileşke kuvvet
F_k	: Kritik temas kuvveti
F_{max}	: Maksimum temas kuvveti
G	: Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s ²)
K(t)	: Vurucunun t anındaki kinetik enerjisi
Kg	: Kilogram
M	: Vurucu k¼tlenin ağırlığı (kg)
mm	: Milimetre
P(t)	: Vurucunun t anındaki potansiyel enerjisi
T_s	: Temas s¼resi
V(t)	: t anındaki vurucu k¼tle hızı
V_{imp}	: Çarpma hızı

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 Pekiştirici olarak kullanılan liflerin fiziksel özellikleri.....	8
--	---

1. GİRİŞ

Günümüzde modern teknolojinin üstün özelliklere sahip malzemeye olan ihtiyacı gittikçe artmaktadır. Özellikle yüksek mukavemetin yanında, hafifliğin de istendiği yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanım yerine bağlı olarak istenilen bu gibi özelliklerin aynı malzemede aynı anda bulunması mümkün değildir. Birbirlerinin zayıf yönlerini düzeltecek şekilde üstün özelliklerin bir araya getirilmesi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. İstenilen özelliklere sahip malzemelerin üretiminin yanında çalışma ömrü ve çalışma esnasında uğrayabilecekleri hasarlara karşı davranışlarının bilinmesi de önem taşımaktadır. Hasarların tespiti laboratuvar ortamında gerçeğe en yakın şekilde modellemeler yapılarak elde edilmektedir. Darbe hasarları da bu hasarlardan olup, bu tip hasarların tespiti için uygulanan yöntemlerden birisi de düşük hızlı darbe testleridir.

Darbe testleri, genellikle günlük yaşamda karşılaşılan çekiçle dövme, otomobil çarpışmaları, araçların küçük tampon darbeleri, hareket halinde araca sıçrayan taş, yoldaki çukura hızla ve aniden düşen bir araba tekerleği ve kompozit bir kanat yapısı üzerine bakım esnasında düşürülen bir aletin darbe etkileri gibi gerçek olaylarla bir benzeşim yapılarak oluşturulmaktadır. Özellikle mühendislik uygulamalarında imalat, montaj ve kullanım aşamasında dışarıdan gelebilecek herhangi bir darbe ile beklenmedik sonuçlar ortaya çıkabilir. Bunu engellemek için malzemenin bu tip etkiler karşısında davranışının nasıl olacağını bilmesi gereklidir (Şenel ve diğ. 2009).

Bazı darbeler, fiber kopmaları gibi bariz hasarlar oluşturur, oluşan bu hasarlar yapının mukavemetinde ani düşümlere yol açarlar. Bu hasarlar kontroller sırasında fark edilip düzeltilebilir. Ancak bariz görülebilen hasarların tersine yapının üst yüzeyinde çarpmanın türüne göre fark edilemeyen ve içyapısında tabaka ayrılması veya matris kırılması gibi ilk etapta tespiti zor hasarlar da meydana gelebilir. Bu tarz hasarlar ancak gözle görülebilen hasarlar olarak tanımlanır ve her ne kadar tehlikesiz görünseler bile, darbe yüklemelerinden, matrisin ana görevini yerine getirememesinden ve yorulma yüklerine maruz kalmalarından dolayı erken arızaya yol açabilirler. Bu nedenle tabakalı kompozit bir yapıda darbe etkisinin oluşturacağı hasarın önceden tahmin edilmesi ve kontrol altında tutulması gerekmekte olup, bu konu tasarım ve kullanım açısından büyük önem arz etmektedir (Karaca 2010).

1.1 Projenin Amacı

Dünya çapında kompozit malzemelerin endüstriyel ve mekanik açıdan önemi çok fazla olup gün geçtikçe artmaktadır. Bu projedeki amaç kompozit malzemelerin kompleks yapı oluşturması gereken yerlerde kolaylık sağlayan bindirme yöntemi ile yapıştırarak yapılan bileştirmelerde bindirme uzunluğunun darbe dayanımına olan etkisini anlamak ve ideal bindirme ölçülerine ulaşmaktır.

1.2 Literatür Özeti

ÇELİK, Abdullah ve diğ. (2015). Çentikli kompozit levhaların hasar davranışlarını incelemiş ve çentik boyunun hasarlarda ne derce etkili olduğunu araştırmışlardır.

Çalışkan, U. Ve diğ. (2017). Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Sandviç T Tipi Bağlantıların Düşük Hızlı Darbe Davranışını incelemişlerdir.

Memduh KARA VE Mesut Uyaner. (2016). Çalışmalarında metal kompozit levhaların düşük hızlı enine darbe davranışları incelemişlerdir. 1 mm kalınlığında St37 DKP çelik ve 1050-H14 alaşımlı alüminyum plakalar kullanılarak dört farklı yerleşim düzeninde oluşturulan üç katmanlı kompozit levhalar farklı enerji seviyelerinde düşük hızlı darbe testlerine maruz bırakılmışlardır. 150x150 mm ebatlarında kesilen metal levhalar üç alüminyum, üç çelik, alüminyum + çelik + alüminyum ve çelik + alüminyum + çelik olacak şekilde dizilerek dört tarafı ankastre olacak şekilde bağlamışlardır. Deneylerde kullanılan vurucu kütlesi 6,35 kg olup 24 mm yarı küresel geometriye sahiptir. Hazırlanan her bir deney numunesinin ortasına 10 J, 20 J, 30 J, 40 J ve 50 J enerji seviyelerinde darbe testleri yapılmıştır. Darbe testleri sonucu elde edilen kuvvet-zaman, hız-zaman ve kuvvet-yer değiştirme değişimleri grafikler halinde incelenmiştir. Her bir deney numunesinde meydana gelen hasarların boyutları ve hasar şekilleri değerlendirilmiştir.

Canyurt, O.E. ve diğ. (2010). Yapıştırma bağlantılarında yapıştırma dayanımının birçok faktöre bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bunlardan yapıştırma uzunluğunun darbe dayanımına etkisi incelenmiştir.

Campilho, R.D. ve diğ. (2009). Üç boyutlu Karbon - epoxy kompozitlerin tek ve çift takviyeli yapıştırma bağlantılarının gerilme davranışlarını analiz etmişlerdir.

Temiz Ş. Ve diğ. (2009). Yaptıkları çalışmada tek bindirme bağlantı geometrisini, yapıştırma geometrileri arasında en yaygın olanı olarak kabul etmişler ve çalışmalarını buna göre yapmışlardır.

Mouritz A.P. ve diğ (2001). Kompozit malzemelerin ileri teknoloji kullanımı için önemli bir malzeme olduğun ve bu amaçla donanmanın kullanacağı gemilerde ve denizaltılarda sağlam yapıların yapılabilmesi için çok güçlü bağlantıların olması gerektiği belirtilmiştir. Güçlü yapılar için güçlü şekilde yapıştırmanın önemi ve yapıştırma uzunluğunun önemi üzerinde durulmuştur. Kompozit malzeme ile yapının ağırlığı azaltılabileceği gibi korozyona karşı yüksek dayanımının olduğu anlatılmıştır.

Genel olarak, darbeler düşük hızlı veya yüksek hızlı olarak sınıflandırılırlar, fakat bu kategoriler arasında açık bir geçiş yoktur. Yapılan araştırmalar bu geçişin belirlenmesinde henüz net bir sonucun elde edilemediğini göstermektedir. Bu konuda yapılmış çalışmalardan bir kısmı düşük hızlı darbeyi-ki bunlar statikmiş gibi düşünülebilir- hedefin rijitliğine, malzeme özelliklerine ve çarpan cismin kütle ve rijitliğine bağlı olarak 1 ile 10 m/s arasında değişen hızlar olarak değerlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır.

Düşük hızlı darbeye en basit örnek olarak kompozit malzeme üzerine imalat veya bakım esnasında kaza sonucu bir parçanın düşmesi verilebilir. Düşük hızlı darbeler normal olarak çarpışma temas anında malzeme içyapısında deformasyon oluşturan darbelerdir. Bazen düşük hızlı darbe, düşük enerjili darbe olarak da kullanılır. Düşük hızlı darbede, malzemenin içyapısında darbeye karşı cevap verebilmek için gerekli olan temas süresi yeterlidir ve sonuç olarak daha fazla enerji elastik olarak absorbe edilir. Bu nedenle hedefin dinamik yapısal cevabı çok büyük bir öneme sahiptir. Yüksek hızlı darbe cevabı malzeme boyunca yayılan gerilme dalgası tarafından hâkim olunur ki bu durumda malzeme darbeye karşı cevap verebilme zamanına sahip olamaz ve çok küçük bir bölgede hasar oluşur. Cantwell ve Morton (1989) yaptıkları çalışmada, kompozit malzemenin darbe davranışını belirlemek için Charpy ve Izod gibi bilinen darbe deneylerini kullanmışlar ve düşük hızı 10 m/s e kadar olan hızlar olarak sınıflandırmışlardır.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

İstenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemeyi istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilerek elde edilen malzemeye kompozit malzeme denir.

İçyapıları 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 rağmen mikro ölçüde (mikroskobik muayene ile seçilebilen) heterojen malzemelerdir. Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmezler, kimyasal olarak inert davranırlar. Ancak özellikle metalik sistemlerde düşük oranlarda bile olsa, bir miktar çözünme bileşenler arasında kompozit özelliklerini etkileyebilen ara yüzey reaksiyonları görülebilir. Kompozit malzemelerde çekirdek olarak kullanılan bir fiber malzeme bulunmakta, bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır. Bu iki malzeme grubundan, fiber malzeme kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylece fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olur.

2.1 Kompozit Teknolojisinin Gelişimi

Kompozit malzemelerin bilinen en eski ve en geniş kullanım alanı inşaat sektörüdür. Saman ile liflendirilmiş çamurdan yapılan duvarlar ilk kompozit malzeme örneklerindedir. Bugün taş, kum, kireç, demir ve çimento ile oluşturulan kompozit malzeme evlerimizi oluşturmaktadır. Kompozit malzemeye en güncel örneklerden biri de kâğıttır. Selüloz ve reçineden oluşan kâğıt, günümüzde yaşamımızın her alanında eşsiz bir kullanım aracı olarak insanlığın hizmetine sunulmuştur. Günümüzde kompozit malzemelerin kullanım alanı çok geniş boyutlara ulaşmıştır. Kompozit malzemelerin başlıca kullanım alanları ve bu alanlarda sağlanan avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

Şehircilik: Bu alanda kompozitler, toplu konut yapımında, çevre güzelleştirme çalışmalarında (heykel, banklar, elektrik direkleri v.s.) kullanılmaktadır. Üreticinin çok sayıda standart ürünü kısa zamanda imal edebilmesi, montajdan tasarruf ve ucuz maliyet imkanları, kullanıcıya da yüksek izolasyon kapasitesi, hafiflik ve yüksek mekanik dayanım imkanları sağlamaktadır.

Ev Aletleri: Masa, sandalye, televizyon kabinleri, dikiş makinesi parçaları, saç kurutma makinesi gibi çok kullanılan ev aletlerinde ve dekoratif ev eşyalarında kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde komple ve karışık parça üretimi, montaj kolaylığı, elektriksel etkilerden korunum ve hafiflik gibi avantajlar sağlamaktadır.

Elektrik ve Elektronik Sanayi: Kompozitler, başta elektriksel izolasyon olmak üzere her tür elektrik ve elektronik malzemenin yapımında kullanılmaktadır.

Havacılık Sanayi: Havacılık sanayisinde kompozitler, gün geçtikçe daha geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır. Planör gövdesi, uçak modelleri, uçak gövde iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçlarında başarıyla kullanılmaktadır. Daha hafif malzemeyle atmosfer şartlarına dayanım ve yüksek mukavemet sağlanmaktadır.

Otomotiv Sanayi: Bu alanda kompozitlerden oluşan başlıca ürünler; otomobil kaportası parçaları, iç donanımı, bazı motor parçaları, tamponlar ve oto lastikleridir.

İş Makinaları: İş makinalarının kapakları ve çalışma kabinleri yapımında da kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde üretimde kullanılan parça sayısı azaltılabilmekte, tek parça üretim mümkün olmaktadır. Ayrıca elektrik izolasyon malzemelerinden de tasarruf sağlanmaktadır.

İnşaat Sektörü: Cephe korumaları, tatil evleri, büfeler, otobüs durakları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları birer kompozit malzeme uygulamalarıdır. Tasarım esnek ve kolay olmakta, nakliye ve montajda büyük avantajlar sağlamaktadır. İzolasyon problemi çözülmekte ve bakım giderleri azalmaktadır.

Tarım Sektörü: Seralar, tahıl toplama siloları, su boruları ve sulama kanalları yapımında kompozitler özel bir öneme sahiptirler. Kompozit malzemelerden yapılan bu örnekler istenirse ışık geçirgenliği, tabiat şartlarına ve korozyona dayanıklılık, düşük yatırım ve kolay montaj gibi avantajlar sağlamaktadır.

2.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin birçok özelliklerinin metallerinkine göre çok farklılıklar göstermesinden dolayı, metal malzemelere göre önem kazanmışlardır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlar da kullanımda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır. Aşağıda bu malzemelerin avantajlı olan ve olmayan yanları kısaca ele alınmıştır. Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler metalik malzemelerin yarısını alabilecektir.

Kompozit Malzemelerin Avantajları:

- Yüksek dayanım
- Yüksek rijitlik
- Yüksek yorulma dayanımı
- Mükemmel aşınma direnci
- Yüksek sıcaklık dayanımı
- İyi korozyon direnci
- İyi termal ve ısı iletkenliği
- Düşük ağırlık,
- Estetik görünüm,
- Tasarım esnekliği,
- Kopma uzamasının metallere göre yüksek olmasıdır.

Kompozit Malzemelerin Dezavantajları ise:

- Üretimin zor olması
- Nem tutması
- Maliyetinin yüksek olması
- Geri dönüşümünün olmayışı
- Kırılma uzamasının düşük olması
- Metallere yapışmaması
- Kırılma uzamasının az olması (Şahin 2009),

Yüksek Mukavemet: Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemeden tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

Kolay Şekillendirebilme: Büyük ve kompleks parçalar tek işlemle bir parça halinde kaplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet: Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.

Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

Kalıcı Renklendirme: Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

Titreşim Sönümlendirme: Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır.

Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayanları da şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
- Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler.
- Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.

- Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.

Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar birçok sanayi kolunda problemleri çözümlenecek bir malzemedir.

2.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri çok sayıda malzeme kullanılması dolayısıyla sınıflandırmak pek mümkün olmasa da kullanılan matrisine göre ve takviye elemanına göre iki şekilde sınıflandırabiliriz.

2.3.1 Matris Malzemesine Göre Kompozit Malzemeler

İçine yerleştirilmiş kuvvetlendirici elyafları karşılaştırıldığında belli bir formda tutacak ve toplam mukavemette de bir görev üstlenecek üniform dolguya matris denir. Matrisler, fiberlere göre genellikle düşük yoğunluk, rijitlik ve dayanıklılığa sahiptir. Matrisler kırılğan, elastik veya plastik olabilir. En fazla kullanılan matrisler polimer, metal ve seramiklerdir. Her birinin özel avantaj ve dezavantajları vardır.

-Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)

Liflerle pekiştirilmiş polimer kompozitler endüstride çok geniş kullanım alanına sahiptir. Pekiştirici olarak cam, karbon ve kevlar lifleri kullanılır.

Pekiştirici liflerin özellikleri tabloda verilmiştir.

Tablo 1.1 Pekiştirici olarak kullanılan liflerin fiziksel özellikleri

Malzeme	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Çekme mukavemeti (N/mm ²)	Elastisite modülü (N/mm ²)
Cam lifi	2,54	2410	70000
Karbon lifi	1,75	3100	220000
Kevlar lifi	1,46	3600	124000

Polimer kompozitlerde kullanılan en önemli bağlayıcı malzeme polyester ve epoksidir. Pekiştirici liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti yükselir. Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür. Dolayısıyla bu özelliklerden dolayı diğer malzemelerden üstün durumdadırlar. Örneğin yüksek mukavemetli çeliklerde özgül mukavemetin 110 N.m/gr olmasına karşın cam lifi polyesterlerde 620 N.m/gr dır. Diğer taraftan karbon lifi epoksi de 700 N.m/gr ve kevlar epoksidede 886 N.m/gr dır. Ayrıca karbon liflerinin özgül elastisite modülü alüminyumunkinin 5 katı kadardır Bu özelliklerinden dolayı polimer kompozitler uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarına tercih edilir.

-Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

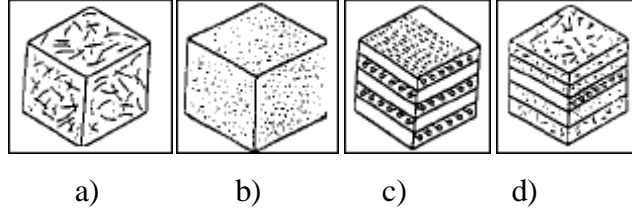
Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak MMC' ler elde edilirler. MMC' ler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskopu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vs. yerlerde kullanılır.

-Seramik Matrisli Kompozitler (SMK)

Bu amaçla yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıcaları; Al_2O_3 , SDC, Si_3N_4 , B_4C , CbN, TiC, TDB, TDN, AIN' dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da bir kaçını beraber kullanarak MMC' ler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir.

2.3.2 Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemeler

Ana matrisin içinde istenilen şartlara göre takviye elemanı kullanılır. Takviye elemanlı kompozit çeşitleri Şekil 2.1' de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 En genel kullanımlı takviye elemanlı kompozitler; a) Elyaf takviyeli, b) Partikül takviyeli, c) Tabakalı kompozitler, d) Karma kompozitler

2.3.2.1 Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaflar teknolojiye kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır.

1. Üstün mikro yapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri.
2. Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması.
3. Elastisite modülünün çok yüksek olması.

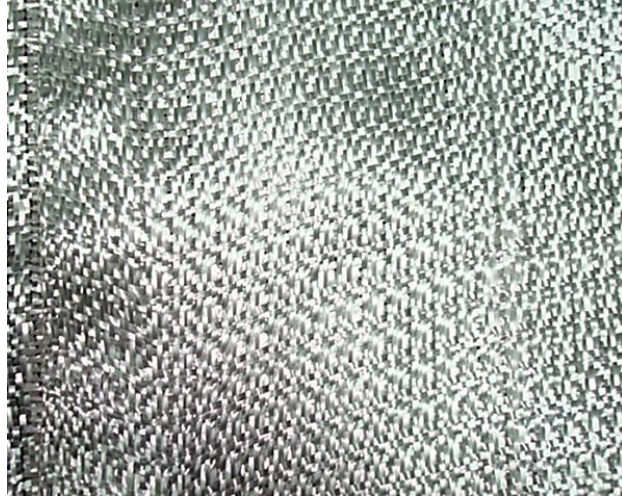
-Cam Elyaflar

Cam elyaflar, sıradan bir sise camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır. Üçboyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, doğada genellikle oksijenle birlikte

silis (SiO_2) şeklinde bulunur. Cam eldesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken $1260\text{ }^\circ\text{C}$ civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir.

Cam elyafların özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Çekme mukavemetleri yüksektir, birim ağırlık başına düşen mukavemet çelikten daha yüksektir.
- Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektrik yalıtımının ihtiyaç duyulduğu alanlarda kullanılırlar.
- Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar ama yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
- Korozyona dayanıklıdırlar. Kompozitlerin aktif korozif özelliği, diğer üretim malzemelerinden üstün olan niteliklerinden biridir.
- Yanmaya karşı dirençli olmaları nedeni ile yüksek sıcaklıklara dayanabilirler.
- Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler (Kayrak 2002).



Şekil 2.2 Cam elyaf kesiti

-Bor Elyaflar

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır.

Bor elyafların silisyum karbür veya bor karbür ile kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanımı artar. Özellikle bor karbür kaplanmasıyla çekme mukavemeti önemli

ölçüde arttırılabilir. Bor elyafların erime sıcaklıkları 2040 °C civarındadır (Kayrak, 1999).

-Silisyum Karbür Elyafı

Bor gibi, Silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile elde edilirler. 0.1 mm ile 0.14 mm çaplarında üretilirler. Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri bor elyaflardan daha iyidir. Silisyum karbür elyaf 1370 °C' ta mukavemetinin sadece %30' nu kaybeder. Bor elyaf için bu sıcaklık 640 °C'dir. Bu elyaflar genellikle Titanyum matrisle kullanılırlar. Jet motor parçalarında Titanyum, Alüminyum ve Vanadyum alaşımlı matris ile kullanılırlar. Ancak Silisyum karbür elyaflar Bor elyaflara göre daha yüksek yoğunluğa sahiptirler. Silisyum karbürün karbon çekirdek üzerine kaplanması ile üretilen elyafların yoğunluğu düşüktür (Kayrak, 2002 ve A.S.M, 1984).

-Aramid Elyafı

Uçak yapılarında, düşük basma mukavemetleri nedeniyle, karbon elyaflarla birlikte hibrid kompozit olarak, kumanda yüzeylerinde kullanılmaktadırlar. Aramid elyaflar elektriksel iletkenliğe sahip değildirler. Basma mukavemetlerin iyi olmamasının yanı sıra kevlar/epoksi kompozitlerinin nem tutma özellikleri kötüdür.

Önemli özellikleri:

- Yüksek çekme dayanımı
- Yüksek darbe dayanımı
- Yüksek aşınma dayanımı
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek kimyasal dayanım
- Kevlar elyafı kompozitlerin cam elyafı kompozitlere göre % 35 daha hafif olmasıdır (Kayrak, 1999).

Şekil 2.3' de aramid elyaf kesiti verilmiştir.



Şekil 2.3 Aramid elyaf kesidi

-Alümina Elyafı

Alümina, Alüminyum oksittir (Al_2O_3). Elyaf formundaki alumina, 0.02 mm çapındaki alümina flamanın Silisyum dioksit (SiO_2) kaplanması ile elde edilir. Alümina elyafının çekme mukavemetleri yeterince yüksek değildir, ancak basma mukavemetleri yüksektir. Örneğin, alümina epoksi kompozitlerin basma mukavemetleri 2275 ila 2413 MPa'dır. Ayrıca, yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle uçak motorlarında kullanılmaktadırlar (Kayrak, 1999).

-Karbon Elyafı

Karbon elyafının en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Karbon elyafı, nemden etkilenmez ve sürtünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyafı çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerde kullanılırlar. Ayrıca karbon elyafı alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar. (Kayrak, 2002 ve Rouchan, 1987).

Şekil 2.4 te karbon elyaf kesiti verilmiştir.



Şekil 2.4 Karbon elyaf kesiti

2.3.2.2 Partikül takviyeli kompozit malzemeler

Partikül takviyeli kompozit malzemeler rijitlik ve mukavemette artış sağlayan küçük granül dolgu maddesi ilavesiyle Şekillendirilerek üretilirler. Bir veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen çok küçük mikroskobik partiküllerin matris fazı ile oluşturdukları malzemelerdir. Makroskobik veya mikroskobik boyutlu partiküller kompozit malzeme özelliklerini farklı şekilde etkilerler. Partikül kompozitler; dispersiyonla sertleştirilmiş kompozit malzemeler ve büyük ölçekli partikül kompozit malzemeler olarak iki gruba ayrılabilir (Eren 2007).

2.3.2.3 Tabakalı kompozit malzemeler

Tabakalı kompozit malzemeler en az iki tabakadan oluşurlar. Ancak, dayanım ve mekanik özelliklerin özellikle önem taşıdığı hallerde, malzemenin bu özelliklere sahip olabilmesi için en az üç veya daha fazla tabaka kullanılmaktadır. Bu tabakaları oluşturan malzemeler farklı olabileceği gibi, aynı tür malzemenin de yapılabilmektedir. Tabakalı kompozitlerin üretiminde, genel olarak tabaka niteliğindeki her türlü malzeme kullanılabilir. Burada ilke birbirlerinin özelliklerini olumlu yönde takviye edecek bir kompozisyonun oluşturulmasıdır.

2.3.2.4 Karma kompozitler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kavlar ucuz ve tok bir elyaftır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır.

3. KOMPOZİT MALZEMELERİN DARBE DAVRANIŞI

Darbe etkili bir kuvvetin ani olarak, malzemenin bütününe veya herhangi bir bölümüne uygulanmasıdır.

Mühendislikte, özellikle mekanik uygulamalarda, dışarıdan gelen ani bir darbeye karşı kullanılan malzemenin gerekli direnci göstermesi beklenir. Bu darbeler kullanım şartlarına göre çok farklı şekillerde olabilir.

Kompozit malzemeler herhangi bir ani darbeye maruz kaldıklarında matris kırılması, delaminasyon, fiber kırılması gibi hasarlar görülür. Genellikle gözle görülemeyen veya çok zayıf bir şekilde görülebilen hasarlar meydana gelir. Plastik matrisli kompozitlerin hemen hemen tamamı kırılmalıdır ve bu nedenle enerjii sadece elastik deformasyon bazı hasar mekanizmaları sayesinde absorbe edebilirler. Diğer bir deyişle enerjii absorbe etmede plastik deformasyonun katkısı hiç yoktur (Ceyhun ve Turan, 2003).

Darbe, etkili bir kuvvetin ani olarak, malzemenin bütününe veya bir kısmına uygulanması olarak tanımlanabilir (Karaca 2010). Birçok malzeme, darbe hasarına karşı düşük toleranslara sahiptir. Genelde mühendislik uygulamalarında imalat, montaj ve kullanım aşamasında dışarıdan gelebilecek herhangi bir darbeye karşı beklenmedik sonuçlar ortaya çıkabilir. Beklenmedik sonuçları engellemek için malzemelerin bu tip etkiler karşısında davranışının nasıl olacağını bilmesi istenir. Özellikle mühendislik uygulamalarında dışarıdan gelecek herhangi bir darbeye karşı beklenmedik sonuçların ortaya çıkmaması için, malzemenin en uygun davranışı verebilmesi gerekir. Çarpışan iki cismin yüzeyleri bir araya geldiğinde küçük bir

temas alanında basınç yükselir. Temas süresince her bir anda, temas alanındaki basınç, yerel bir deformasyon ve ardından bir nüfuziyet (indentation) doğurur.

Darbe sırasında her bir anda, ara yüz veya temas basıncı çarpışan iki cisimde zıt doğrultularda etki eden bir etki veya tepki bileşke kuvvetine sahiptir, böylece cisimlerin birbirine geçmesine karşı direnir. Başlangıçta nüfuziyetin artmasıyla kuvvet de artar ve birbirine yaklaşan cisimlerin hızını azaltır. Darbe olayında belli bir anda temas kuvvetlerinin yaptığı iş her iki cismin süratinin sıfır olmasını sağlar ve neticede sıkışma sırasında biriktirilen enerji iki cisim birbirinden ayırmaya zorlar, sonunda bu cisimler birbirlerinden belli bir izafi hızla ayrılırlar. Katı cisimlerin arasındaki darbe de, çarpışma süresince etki eden temas kuvveti, iki cisim yüzeylerinin bir temas alanı oluşturması için gerekli yerel deformasyonların bir neticesidir (Yüce 2007).

Kompozitler birçok mühendislik alanında kullanılır ve yabancı cisimler tarafından darbeye maruz kalabilirler. Darbeden kaynaklanan hasar, üretim, bakım ve servis işlemleri sırasında ortaya çıkabilir. Kullanım sırasındaki darbeye örnek olarak uçağın kalkış ve iniş sırasında lastiklerin yüksek hız kazanmasından sonra pistten fırlayan taş ve küçük parçacıkların yaptığı darbe verilebilir. İmalat veya bakım sırasında kullanılan malzemeler yapı üzerine düşürülebilir. Bu durumda darbe hızları küçük fakat etkisi büyüktür. Kompozit yapılarda darbe, gözle muayenede belirlenemeyen iç hasarlar oluşturur. Bu iç hasar mukavemette azalmaya sebep olur ve yük karşısında büyür. Bir parçanın mukavemeti, malzemede darbe sonucu oluşan görülmeyen hasar türleri ile önemli ölçüde değişebilir. Bu nedenle kompozit yapılar üzerine yabancı cisim darbelerinin etkileri anlaşılmalıdır ve tasarım aşamasında uygun önlemler dikkate alınmalıdır. Darbelerin kompozit yapıların performansına etkileri kompozit malzemelerin kullanımında kısıtlayıcı bir etkidir.

Kompozit malzemelerde bir darbe sonucunda oluşan hasar, çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalmayan yüzeyde meydana gelebilir, içyapıda oluşan delaminasyonlar (tabakalar arasında ayrılma) şeklinde başlayabilir. Kompozitler çok değişik modlarda hasara uğrayabilirler ve bu hasar modlarında parçanın yapısal bütünlüğünde ciddi bir değişiklik meydana gelmez. Genellikle gözle görülmeyen veya çok zayıf bir şekilde görülebilen hasarlar meydana gelir. Plastik matrisli kompozit malzemelerin hemen hemen tamamı kırılmandır, bu nedenle enerjiyi sadece elastik deformasyon ve bazı hasar mekanizmaları (matris kırılması, delaminasyon,

fiber kopması vb.) sayesinde absorbe edebilirler, diğer bir deyişle enerjiyi soğurmada plastik deformasyonun katkısı hemen hemen hiç yoktur. Bu anlamda hasar direnç ifadesi, bir kompozit sistemde meydana gelen darbe hasarının miktarını ifade eder.

Tabakalı kompozit malzemede, eğer kalınlık boyunca bir takviye söz konusu değil ise, en büyük darbe hasarı enine doğrultuda oluşacaktır. Bunun en önemli nedenlerinden birisi, enine doğrultudaki malzeme elastik özelliğinin düşük olmasıdır. Kompozit malzemelerin bu darbe yüklerine karşı göstermiş oldukları cevap çok komplekstir. Yüksek hızlı çarpmada malzeme üzerinde oluşan hasar, çarpışma temas bölgesindeki küçük bir bölgede yoğunlaşır.

Bu nedenle bir kompozit malzemenin enine hasar direnci nispeten zayıftır. Tabakalar arası gerilmeler (kesme ve normal) tabakalar arası mukavemetin düşük olmasından dolayı ilk kopmalara sebep olan gerilmelerdir. Darbe esnasında kompozit malzemeye aktarılacak enerjinin miktarı, malzemenin bu enerjiyi sönmüleyebilmesi için oluşacak hasar modlarını belirleyecektir. Bu nedenle tabakalı bir kompozit malzemede darbenin oluşturacağı hasarı tahmin etmek için darbe hızının belirlenmesi çok büyük bir öneme sahiptir (Yüce 2007).

3.1 Kompozit Malzemelerin Darbe Direnci

Kompozit malzemelerin plastik deformasyona uğramaması, belirli bir gerilmeye ulaşıncaya, bölgesel ya da genel zayıflamaya neden olan kalıcı hasarın oluşmasıdır. Plastik deformasyona uğramasının ardından halen bütünlüğünü koruyabilen bir metalden farklı olarak, belirli bir gerilme seviyesini bazı yapısal özelliklerini hala koruyarak ta olsa aşan kompozitler kalıcı olarak hasara uğramıştır. 1 J ya da az bir enerjide 2 m/s' de bir çarpma, hakikatte kompozit tabakalarda geri dönüşü olmayan hasara neden olabilir. Sonuç olarak, düşük hızlı çarpma sonucu oluşan hasarların nedenlerini şu şekilde belirtilebilir (Karaca, 2010):

- Düşük enine veya tabakalar arası kayma direnci
- Plastik deformasyonun azlığı ya da olmaması
- Tabakalı yapı (fiberlerin efektif olarak kullanılması)

3.2 Kompozit Malzeme Darbe Testi

Ağırlık düşürme testleri yaygın olarak kullanılmakla birlikte değişik tasarımlara hizmet etmektedir. Genellikle bir ağırlık grubuna bağlı vurucu uç, belir

bir yükseklikten serbest bırakılır. Tekrarlı çarpmayı önlemek için belirli mekanik aksamla donatılırlar (Adams, 2009). Bu proje çalışmasında ağırlık düşürme metodu ile tek bindirmeli olarak yapıştırılan kompozit malzemelere darbe testi uygulanmıştır.

Bu test sonuçları, darbe yükü-zaman ve darbe enerjisi-zaman değişimlerine dönüştürülebilir. Bunlar sayesinde, en uç noktadaki yük ve absorbe edilen enerji gibi özellikler malzemede meydana gelen kırılma işlemiyle ilişkilendirilebilirler. Şekil 3.1’ de ağırlık düşürme deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 3.1 Ağırlık düşürme deney düzeneği

3.2.1 Darbe Hasarına Etki Eden Etkenler

3.2.1.1 Plak Özellikleri

Kompozit plakanın sahip olduğu mekanik özellikler (E_1, E_2, ν_{12} ve G_{12}) yapının rijitliği değiştireceğinden darbe esnasındaki temas kuvvetinin zamana göre değişimini de etkileyecektir. Fiber yönündeki elastisite modülü (E_1) eğilme rijitliğini etkilerken fibere dik yöndeki elastisite modülü (E_2) Temas kuvvetine daha çok etki eder. E_1 ve E_2 elastisite modülleri arasındaki farkın artışı, kompozit plakanın her bir tabakasının eğilme rijitliğini değiştirecek ve sonuçta delaminasyon miktarının artmasına neden olacaktır. Takviye elemanının elastisite modülü genel itibariyle bağlayıcı elemanın elastisite modülünden daha yüksektir. Bu nedenle, takviye elemanı matris kırılması ve delaminasyonun başlamasına neden olmaz.

Bir kompozit plakanın rijitliği tabakanın kalınlığı ile orantılıdır. Kalınlıkta darbe esnasında oluşan maksimum temas kuvvetini değiştirir. Düşük hızlarda, genel

itibariyle eğilmeye çalışır. Bu durumda, plakanın alt tabakasında en büyük çeki gerilmeleri ve dolayısıyla alt tabakadan başlamak üzere matris kırılmaları neticesi oluşur. Delaminasyon farklı lif yönlenme açılarına sahip tabakaların kalınlığının artması ile artar.

Tabakaların lif yönlenme açıları darbe hasarına tabaka kalınlığından daha fazla etki eder. Aynı yönde liflere sahip bir tabakalı kompozite lif yönlenme açısı her bir tabakada değişmediğinden delaminasyon meydana gelmez. Eğer biri birine komşu iki tabakanın lif yönlenme açıları farklı olursa bu iki tabakanın ara yüzeyinde tabakaların eğilme rijitlikleri farkından dolayı delaminasyon meydana gelir (Karakuzu ve diğ, 2007).

3.2.1.2 Vurucu Özellikleri

Vurucunun elastisite özelliğinin yüksek olması daha yüksek temas kuvvetinin ortaya çıkması ve vurucu ile hedef arasındaki temas alanının azalması demektir. Bunların neticesinde daha fazla hasar meydana gelir. Vurucu kütlesi değişimi enerji miktarını dolayısıyla darbe hasarı miktarının değiştirecektir. Daha yüksek kütleyle sahip vurucunun neden olduğu temas kuvveti ve temas süresi daha fazla olacaktır. Kinetik enerjileri aynı olmasına rağmen, küçük kütleli yüksek hızlı vurucu ile yüksek kütleli düşük hızlı vurucunun neden olacağı hasar aynı olmayacaktır (Karakuzu ve diğ,2007).

3.2.2 Kompozit Malzemelerde Hasar Türleri

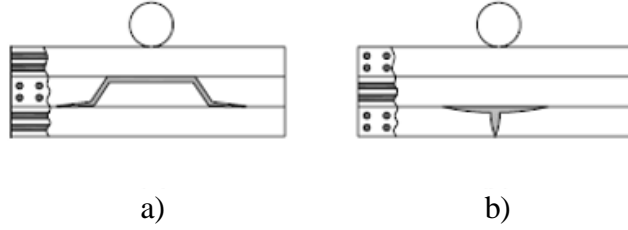
Tabakalı kompozit malzemeler üzerinde testler sonucunda ortaya çıkan hasar türleri ve modelleri makroskobik olarak incelenmektedir.

3.2.2.1 Matris Kırılması

Tabakalı kompozit plaklarda en çok görülen hasar tipi matris kırılması hasarıdır. İlk olarak matris kırılmaları başlar, daha sonra katmanlar arası ayrılmalar (delaminasyon) görülür.

Matris kırılması daha çok epoksi gibi gevrek olan malzemelerde görülür. Matris elyaftan daha az şekil değişimine sahip olduğundan darbeleri kırılma matriste başlayacaktır. Matris kırığı tabaka lif yönlenme açılarına bağlıdır. Matris kırığı hasarlı tabakadaki lif yönlenme açısına paralel yayılır ve oluşumu kompozit levhanın rijitliğini azaltır.

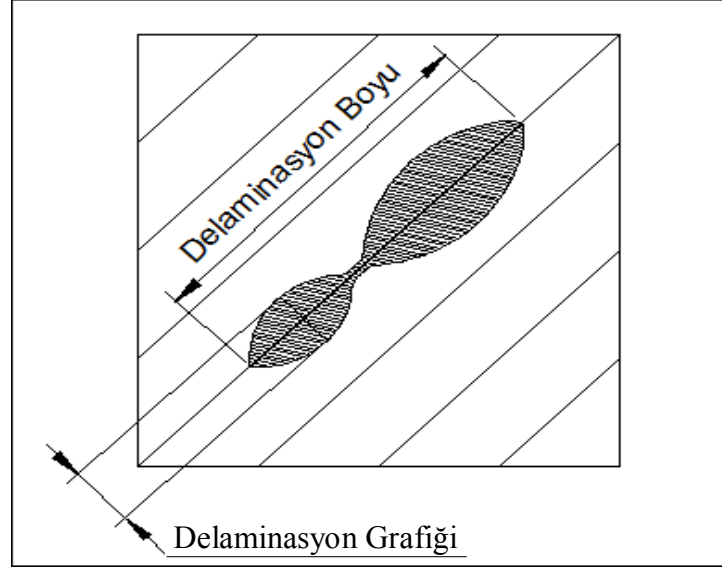
Kalın kompozitlerde; yüksek ve lokal temas gerilmelerinden dolayı matris kırılması darbe oluşturunun ilk tabakasında meydana gelir. Bu durumda, hasar ağacın dalları şeklinde olup plakanın üst tabakasından alt tabakasına doğru ilerler. İnce kompozitlerde ise levhanın eğilmesi nedeniyle matris kırılması en alt tabakada oluşur. Bu durumda yine hasar ağaç dalları şeklindedir. Fakat hasar ilerlemesi bu sefer alt tabakadan üst tabakaya doğru olur.



Şekil 3.2 a) Kayma gerilmesi ve b) çeki gerilmesinin neden olduğu matris kırıkları

3.2.2.2 Tabaka Ayrılması (Delaminasyon)

Delaminasyon, aynı katman grubundaki tabakalar arasında değil, farklı fiber oryantasyonlarına sahip tabakalar arasında matris bakımından zengin bölgede meydana gelen bir kırılmadır. Tabakalı kompozit malzemelerde katmanlar arasındaki farklı fiber yönelmelerinden dolayı bu katmanların eğilme rijitliği farklılık gösterir. Delaminasyonun en önemli sebebi; tabakalar arasındaki bu eğilme rijitlik farklılığı ve eğilme kaynaklı gerilmelerdir. Matris kırılması delaminasyonun başlaması açısından gerekli bir faktördür. Matris kırılması ve delaminasyon arasında sıkı sıkıya bir ilişki mevcuttur. Delaminasyonlar, tabakalar arası ara yüzey bölgesinde meydana gelirler. Deneysel çalışmalar delaminasyonun farklı lif yönlerine sahip birbirine komşu iki tabaka arasında meydana geldiğini göstermektedir. Genel itibariyle delaminasyon Şekil 3.3' de görüldüğü gibi olup uzun kısmı alt tabakanın lifi yönündedir. En büyük delaminasyon en alt ara yüzeyde meydana gelirken üst ara yüzeylere gidildikçe delaminasyon küçülür.



Şekil 3.3 Tipik bir delaminasyon türü

3.2.2.3 Fiber Kırılması

Hasar modlarından bir diğeri olan fiber kopması, genellikle matris kırılması ve delaminasyondan çok daha sonra meydana gelir. Fiber kopmasına neden olan en önemli iki faktör:

1. Yüksek lokal gerilmeler ve nüfuziyetin yaratmış olduğu etkilerdir. Bu olay darbeyi yaratan cismin hemen altında gerçekleşir.
2. Yüksek eğme gerilmeleridir. Bu olay ise, hasara maruz kalmayan yüzde meydana gelir.

Levhanın tamamen hasara uğraması ancak tüm fiberlerin kırılması ile mümkün olur. Keskin uçlu bir cisim, kör uçlu bir cisme göre daha fazla kırılması meydana getirecektir. Fiber kırılması başladığında levhanın yük taşıma kapasitesi tamamen bitmemiştir. Çünkü levhanın diğer tabakalarında yükü taşıyabilecek fiberler hala vardır. Yük taşıma kapasitesinin tamamen bitmesi levhanın tüm fiberlerinin hasara uğraması ile olur.



Şekil 3.4 Bindirme numunelerinde fiber kırılması

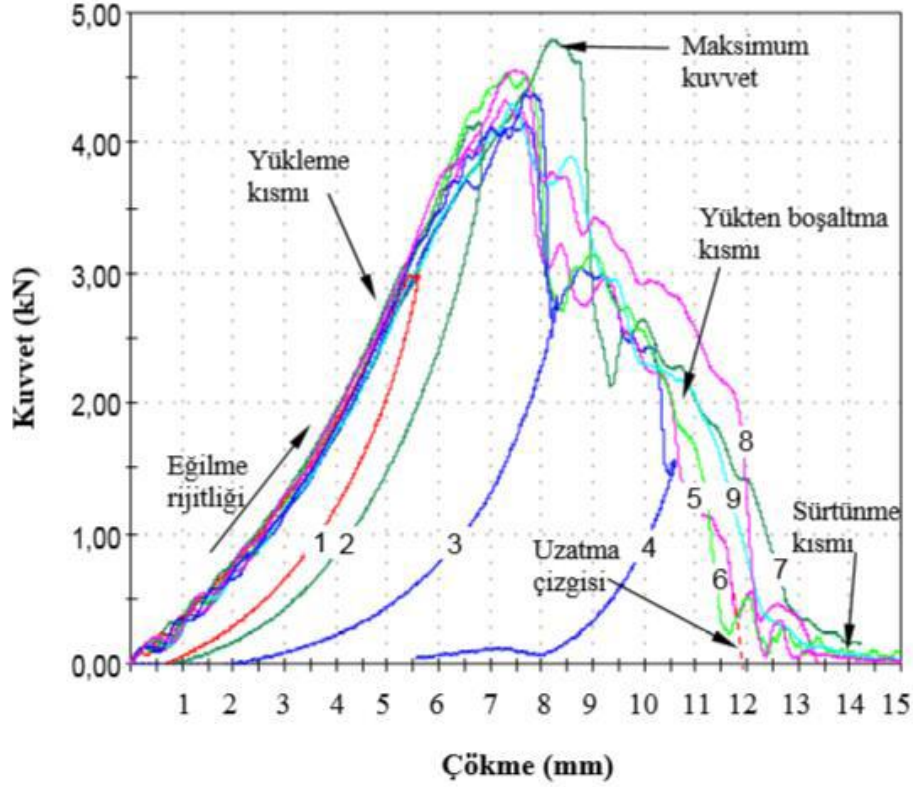
3.2.3 Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışlarının Belirlenmesi

Darbe deneylerinde numuneler üzerine artan darbe enerjisi olarak uygulanmasıyla darbe cihazından kompozit plakaların darbe davranışlarını gösteren birçok grafik ve sonuç elde edilebilmektedir. Bu grafikler, kompozitlerin darbe davranışına ait vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi (rebounding), vurucu ucunun numuneye saplanması (penetration) ve vurucunun numuneyi delip geçmesi (perforation) gibi üç özel durumun anlaşılmasını sağlamaktadır. Bunlardan kuvvet-çökme (F-d), kuvvet-zaman (F-t), çökme-zaman (d-t), absorbe edilen enerji-zaman (E-t) gibi kompozitin darbe karakteristiğini belirlemede kullanılan grafikler elde edilebilir (Sayer 2009).

3.2.3.1 Kuvvet-Çökme (F-d) Eğrileri

Kuvvet-çökme (F-d) eğrileri darbe olayı esnasındaki kompozit plakalara ait darbe davranışını belirlemede kullanılan grafiklerden bir tanesidir. Şekil 3.5'te artan darbe enerjisi altında, kuvvetin çökmeye karşı değişimini gösteren bir F-d grafiği görülmektedir. Her bir eğri yüklemeye bir artma kısmına, ulaşılan bir maksimum kuvvet değerine ve yükten boşaltmada da bir azalma kısmına sahiptir. Kuvvet-çökme eğrisinde artma kısmı darbe yüküne karşı numunenin göstermiş olduğu dirençten dolayı eğilme rijitliği olarak adlandırılır. Artan darbe enerjisi altında oluşan bu eğriler kapalı tip ve açık tip eğri olarak iki kısma ayrılır. Kapalı tip eğri vurucunun numuneye temas etmesinden sonra vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesiyle oluşan eğrilerdir. Yani uygulanan darbe enerjisinin büyük bir kısmı numune tarafından absorbe edilmiş ve absorbe edilmeyen enerjide vurucunun geri sekmesi

için kullanılmıştır. Buna göre Şekilden de görüleceği üzere ilk üç numune için oluşan eğriler kapalı tip eğrilerdir.



Şekil 3.5 Artan darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-çökme (F-d) eğrileri

Darbe enerjisi arttırıldığında, geri sekme kısmı azalırken kapalı tip eğri genişler ve çökme de artar. Şekil 3.5' ten de görüleceği üzere numune 4, kapalı tip bir eğri olmasına rağmen kapalı tip eğriden açık tip eğriye geçiş noktasında bulunmaktadır ve darbe enerjisinin daha da arttırılmasıyla eğri tipi kapalı tip den eğri açık tip eğriye dönüşür. Eğer bir eğri açık tip ise vurucu numuneye ya saplanmıştır ya da numune delinmiştir. Buna göre numuneye saplanan vurucu numune kalınlığı boyunca aşağı doğru hareket eder ve artık numune yüzeyinden geri sekme meydana gelmez. Dolayısıyla, şekilden de görüleceği üzere numune 5 etrafında ya saplanma ya da delinme meydana gelmiştir.

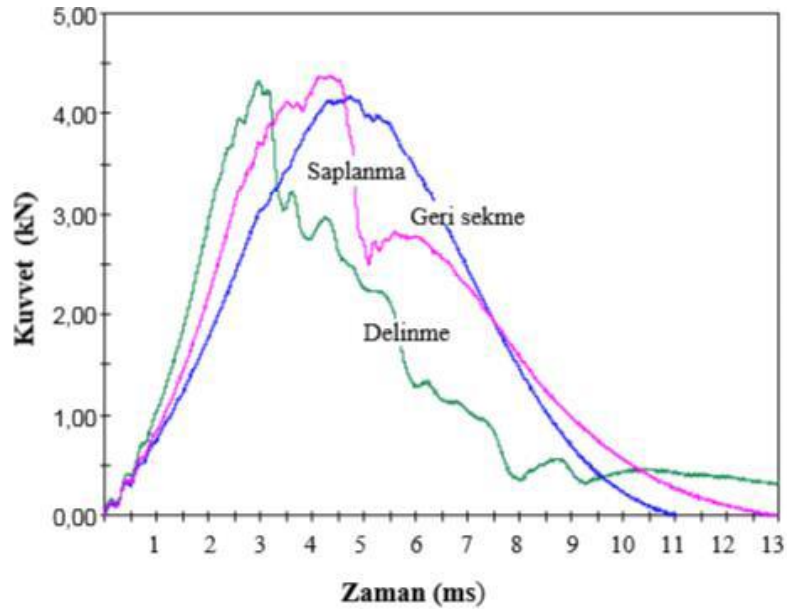
Darbe enerjisi daha da arttırıldığında vurucu numuneye saplanır, numune kalınlığı boyunca hareket eder ve sonunda da numuneyi delerek alt yüzeyden çıkar yani delinme olayı gerçekleşmiş olur. Şekil 3.5' ten de görüleceği üzere kuvvet-çökme eğrisinde numune 6, 7, 8 ve 9 vurucu tarafından delinmiş numunelerdir.

Eğrilerin uç kısımlarına bakılacak olursa, yatay eksenin sonuna doğru kapanan bu kısım numune ve vurucu arasında sadece sürtünme meydana gelmesinden dolayı oluşan sürtünme kısmını ifade etmektedir. Dolayısıyla ulaşılan bu darbe enerjisinden sonra darbe enerjisi ne kadar arttırılırsa arttırılsın kompozitin daha fazla darbe enerjisini absorbe edemeyeceği anlaşılmaktadır (Sayer 2009).

3.2.3.2 Kuvvet- Zaman (F-t) Eğrileri

Şekil 3.6' da numune yüzeyinden geri sekme (rebounding), vurucu ucunun numuneye saplanması ve vurucunun numuneyi delip geçmesi gibi üç özel duruma ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği görülmektedir.

Şekilden de görüldüğü üzere düşük enerjili darbelerde (örneğin geri sekme eğrisi gibi), eğri parabolik bir eğridir ve dağa benzeyen bir şekle sahiptir. Uygulanan darbe enerjisinin artmasıyla meydana gelen kuvvet de artmakta, saplanma ve delinme eğrilerinde de görüldüğü üzere maksimum kuvvet değeri de hemen hemen sabit bir değer olmaktadır. Numunede delinme meydana geldiğinde kuvvetin sıfır olması gerekir ama şekilden de görüleceği üzere vurucu ve numune arasında sürtünme meydana geldiğinden eğrinin uç kısmı yatay eksene paralel ilerlemiştir (M. Sayer 2009).



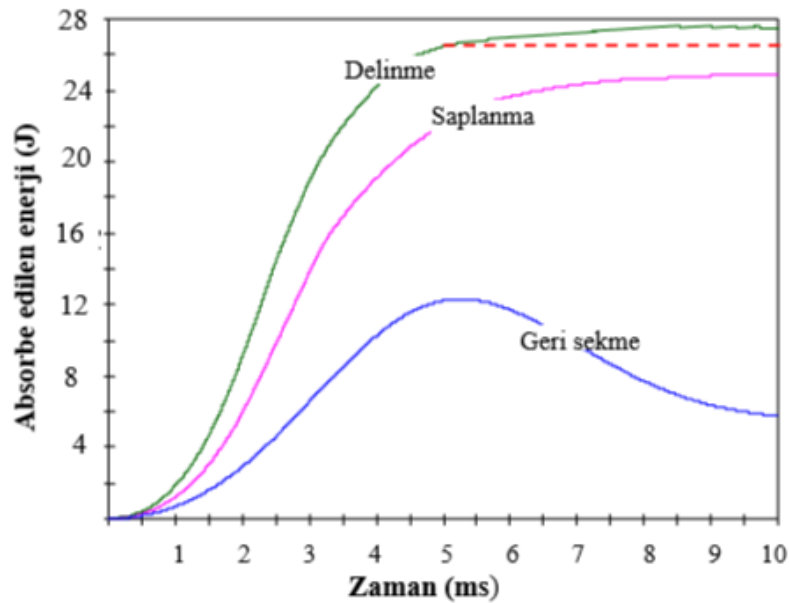
Şekil 3:6 Kuvvet – zaman (F-t) eğrileri

3.2.3.3 Absorbe Edilen Enerji-Zaman (E-t) Eğrileri

Şekil 3.7’ de numune yüzeyinden geri sekme, vurucu ucunun numuneye saplanması ve vurucunun numuneyi delip geçmesi gibi üç özel duruma ait absorbe edilen enerji-zaman (Ea-t) grafiği görülmektedir.

Absorbe edilen enerji, kuvvet-çökme (F-d) eğrisinin altında kalan alandan hesaplanmaktadır. Vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi durumunda vurucunun sahip olduğu enerjinin hepsi numune tarafından absorbe edilemez ve absorbe edilemeyen darbe enerjisi de vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi için harcanır. Vurucunun numuneye saplanması durumunda ise vurucunun sahip olduğu darbe enerjisinin hepsi numune tarafından absorbe edilir ve eğrinin son kısmı şekilden de görüldüğü üzere hemen hemen yatay olarak devam eder.

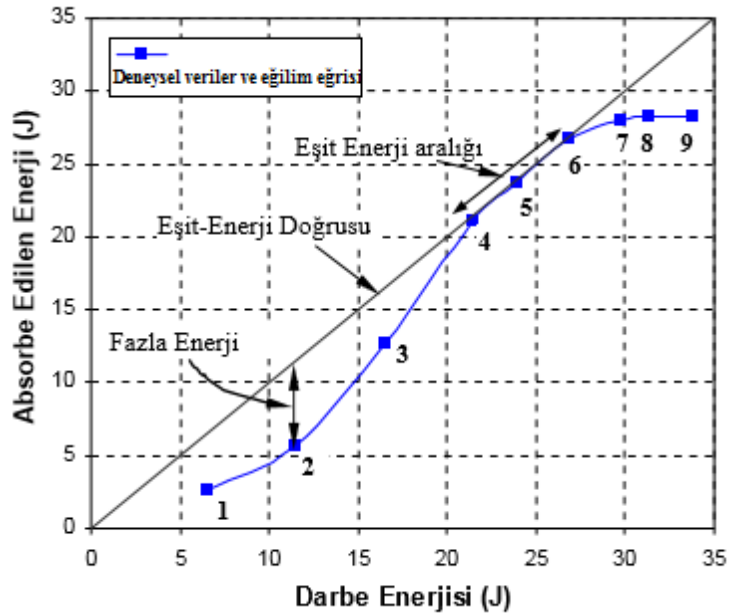
Vurucunun numuneyi delip geçmesi durumunda ise, vurucu ile numune arasındaki sürtünme kısmının altında kalan alanın da darbe cihazının programı tarafından hesaplanan absorbe edilen enerji miktarına katılmasından dolayı eğrinin yukarı doğru yönlendiği Şekil 3.7’ de görülmektedir. Bu sürtünme kısmının altında kalan alanın toplam absorbe edilen enerji miktarından çıkarılması gerekir. Buna göre, numune tarafından absorbe edilen enerji değeri ise şekilde görülen kesikli çizginin yaklaşık olarak denk geldiği enerji değeridir (Sayer 2009).



Şekil 3.7 Absorbe edilen enerji-zaman (E-t) eğrileri

3.2.3.4 Enerji Profili Diyagramı (EPD)

Şekil 3.8’ de aynı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip 9 numunenin artan darbe enerjisine bağlı olarak deneysel verilerden elde edilen değerlere göre çizilen örnek bir enerji profili diyagramı görülmektedir. Buradaki amaç enerji profil diyagramının yorumlanmasını öğrenmektir. Şekil 3.8’de görüldüğü üzere, diyagram üzerine darbe enerjisi ve absorbe edilen enerji arasındaki ilişkiyi göstermek ve enerji değerleri arasındaki farkı daha kolay anlayabilmek amacıyla köşegen bir çizgi çizilmiştir. Bu köşegen çizgiye eşit enerji doğrusu adı verilir. Ayrıca deneylerden elde edilen bütün veriler (numunelerin darbe enerjisi ve absorbe ettikleri enerjilere göre) temel alınarak veri noktaları arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla en küçük kareler metoduna göre uygun bir eğri çizdirilerek veriler arasındaki ilişki sağlanmıştır.



Şekil 3.8 Enerji profil diyagramı

Diyagrama göre, ilk 4 numunenin verilerine ait eğrinin eşit enerji doğrusu altında kalması, vurucunun numune yüzeyinden geri sektiğini ve burada bir fazla enerji (excessive energy) olduğunu ifade etmektedir. Bu fazla enerji darbe enerjisi ve absorbe edilen enerji arasındaki farktır ve her deney sonunda vurucuda kalan enerji olduğundan vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi için kullanılmaktadır (Liu 2004). Dördüncü numuneden itibaren ise numuneye saplanma sınır değerine yaklaşıldığı görülmektedir. Bu kısma kadar elastik olan darbe neticesinde hasar darbenin olduğu noktada meydana gelir. Darbe enerjisinin artmaya devam etmesiyle de hasar alanı büyüyerek, tabakalar arası ayrılmanın ve fiber kırılmalarını meydana geldiği bir hasara dönüşür.

Eşit enerji doğrusu üzerindeki dördüncü numunenin bulunduğu konum darbe enerjisi ve absorbe edilen enerjinin hemen hemen birbirine eşit olduğu ilk noktayı ve numuneye saplanma sınır değeri konumunda bulunulduğunu göstermektedir. Buna göre, numuneye saplanma sınır değeri (penetration threshold) eşit enerji doğrusu üzerinde darbe enerjisinin absorbe edilen enerjiye ilk eşit olduğu nokta olarak tanımlanmaktadır. Numuneye saplanma sınır değerinde vurucu ucu numuneye saplanır ve artık bundan sonra numune yüzeyinden geri sekme meydana gelmez.

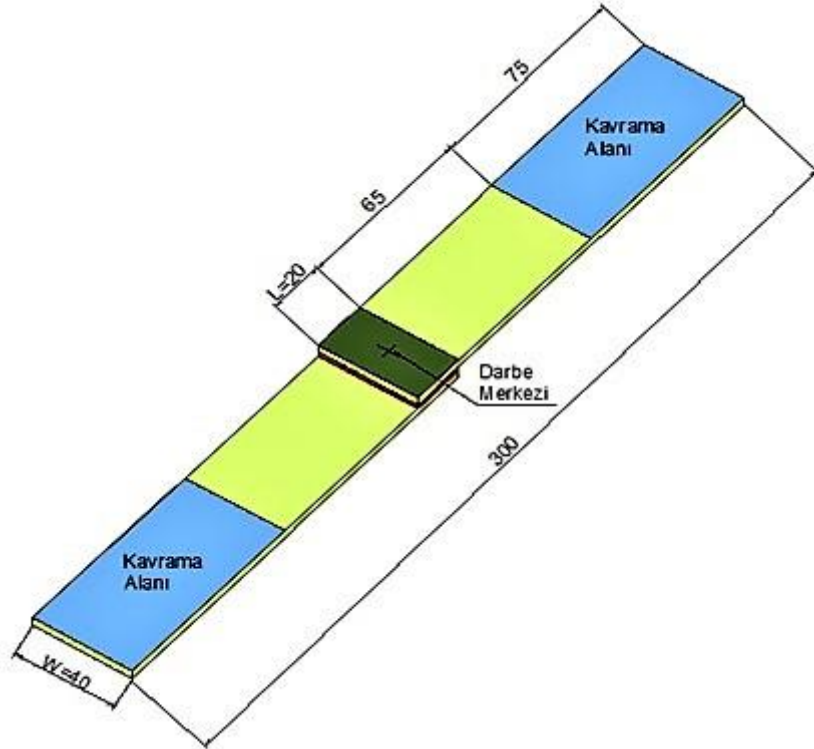
4. ve 6. numuneler arası ise eğrinin hemen hemen eşit enerji doğrusu üzerinde olmasından dolayı da bu kısım eşit enerji aralığı olarak adlandırılır. Bu kısımda da numune kalınlığı boyunca fiber kırılmaları meydana gelir ve kompozitin rijitliği düşer.

Numune 6 ise, kompozit için delinme sınırını (perforation threshold) temsil eder. Numune delinme sınırında ise vurucu numuneyi delip geçer ve artık bu noktadan sonra absorbe edilen enerji hemen hemen sabit kalır veya numunede farklı hasar oluşumları neticesinde çok az bir enerji artışı olabilir. Bu enerji seviyesinde numunenin delinme bölgesine girildiğinden vurucu ve numune arasında sadece sürtünme vardır ve bundan sonra enerji ne kadar arttırılırsa arttırılsın artık numunede meydana gelen hasardan daha fazla bir hasar meydana gelmez (Sayer 2009).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Test Numuneleri

Test numuneleri olarak elimizde bulunan, matris malzemesi olarak epoksi reçine kullanılmış 6 tabakalı 0° fiber açılı kompozit plakalar kullanılmıştır. Sonra bu plakalar 40x160 mm ebatlarında su jeti ile kesilerek deneye hazır hale getirilmiştir. Yapıştırıcı malzeme olarak BMS 5-101 film tipi yapıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 4.1 Örnek numune bindirme ölçüleri (20 mm bindirme)

Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan sıcak pres makinasında istenilen bindirme ölçülerine göre 2 saat boyunca 120 °C' de kürleşip yapışma olana kadar basınç altında bekletilmiş ve böylece yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiş olup numunelerimiz deneye hazır hale getirilmiştir.

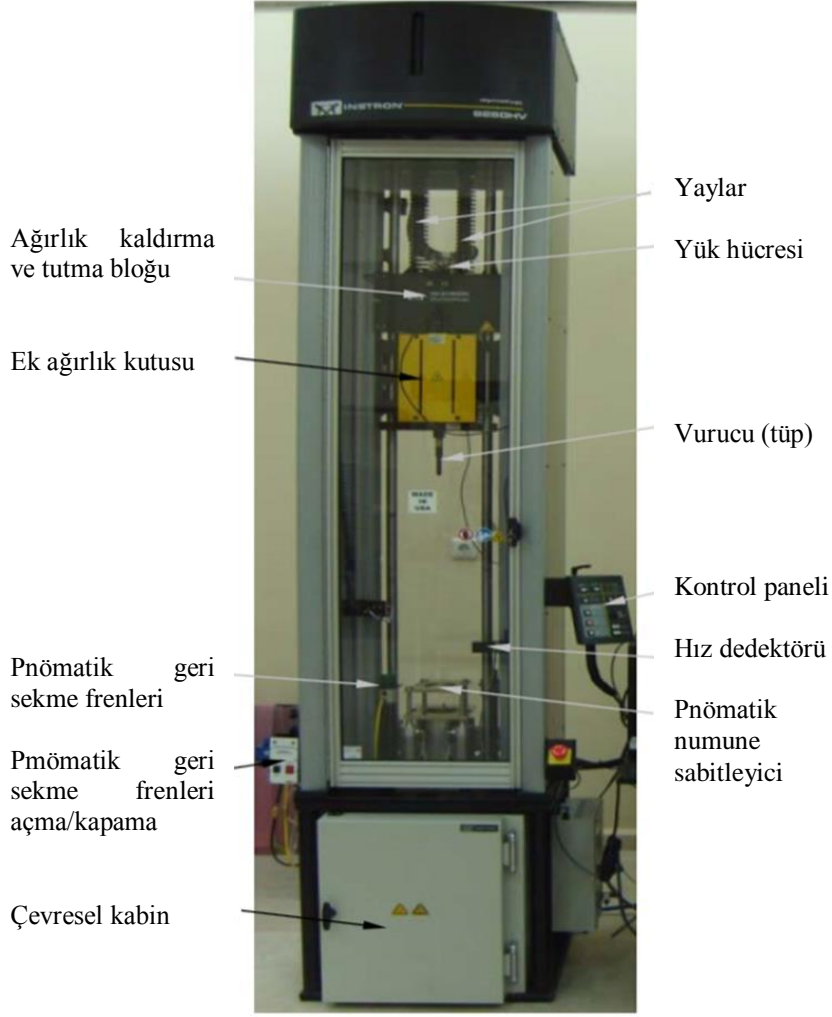


Şekil 4.2 Isı ayarlı sıcak pres makinesi

4.2 Düşey Ağırlık Düşürme Testi

Darbe testleri Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Araştırmalar Laboratuvarında bulunan INSTRON Dynatup 9250HV marka darbe test cihazı ile yapılmıştır. Test cihazı pnömatik veri sekme, önleme ve data toplama yazılımı ile donatılmıştır.

Çeşitli malzemelerin darbe dirençleri belirlenebildiği gibi, çarpma anından darbenin enerjisinin sönmüldüğü zamana kadar sayısal ortamda verileri kayıt altına alarak grafiksel sonuçlar gösterebilmektedir.



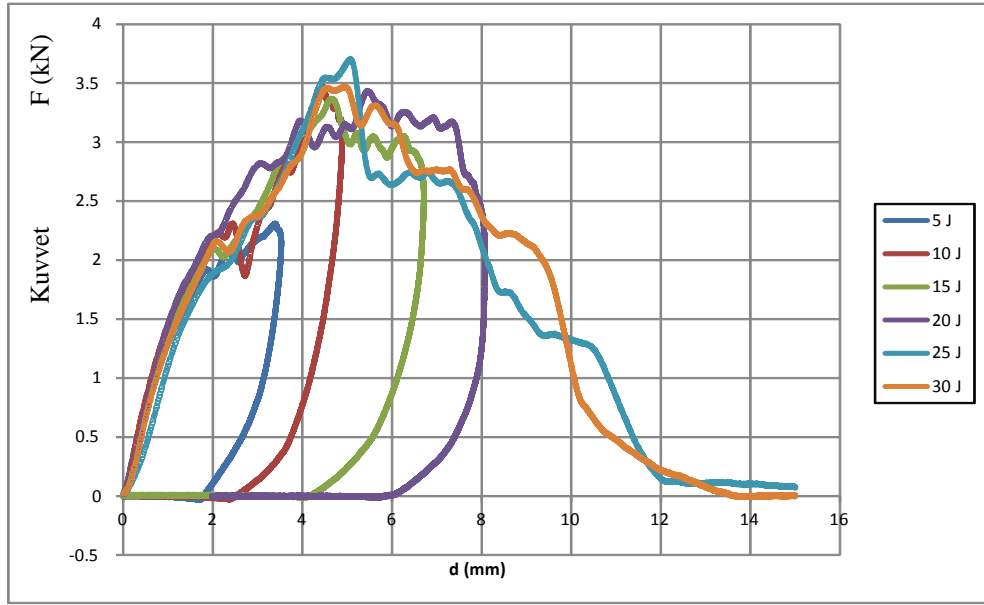
Şekil 4.3 Darbe deneyi ağırlık düşürme deney cihazı (INSTRON Dynatup 9250HV)

Darbe testleri Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Araştırmalar Laboratuvarındaki INSTRON Dynatup 9250HV darbe test cihazı ile yapılmıştır. Yapılan bu testler oda sıcaklığında (20 °C) gerçekleştirilmiş olup vurucu ve üzerindeki kütle ile toplam ağırlığı 6.3 kg' dır. Vurucu uç, yarı küresel ve çapı 12,7 mm çapındadır. Test cihazında bulunan pnömatik çeneler, numunenin tüm kenarlarından sıkı bir şekilde tutmakta ve ortasında çapı 30 mm olan dairesel delik bulunmaktadır. Vurucu yüksekliği ise uygulanan darbe enerjilerine göre makine tarafından otomatik olarak ayarlanmakta ve 40 x 160 mm ebadındaki numuneler tek bindirme ölçüsü 20 mm, 40 mm ve 60 mm olacak şekilde yapıştırıldıktan sonra sırasıyla yapıştırılan bölgenin merkezine 5 J, 10 J, 15 J, 20 J, 25 J ve 30 J' lük darbe enerjileri uygulanarak malzemelerin davranışları incelendi.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

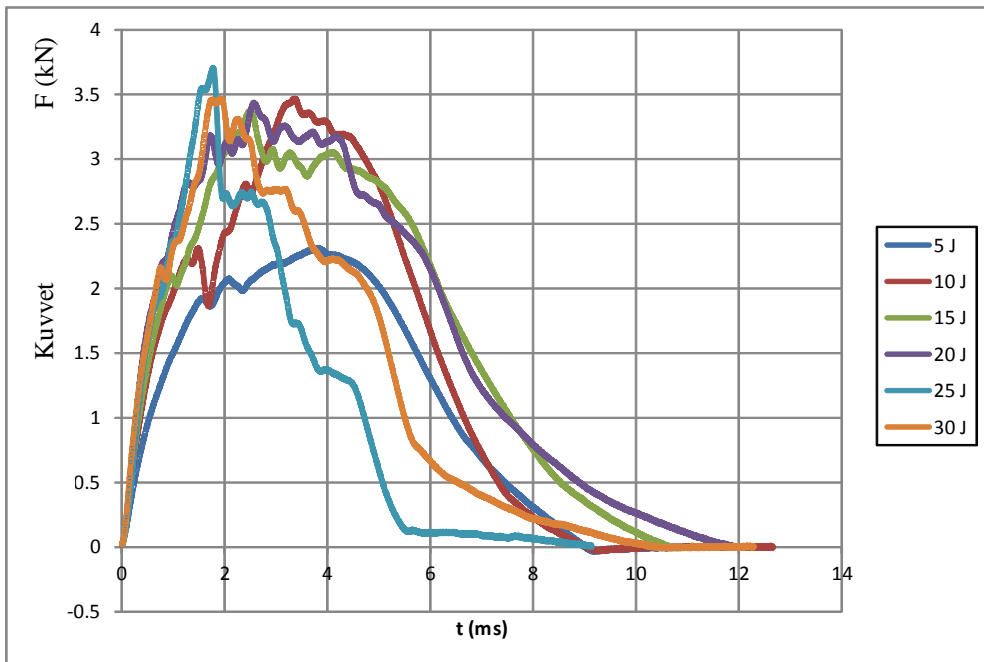
Genel olarak hasar modları ezilme izi, matris çatlağı, matris kırığı, delaminasyon, fiber ayrılması ve fiber kırılması olarak meydana gelmiştir. Aşağıdaki paragraflarda, darbe deneyi yapılan 6 tabakalı 0° fiber açılı kompozit plakaların 20 mm, 40 mm ve 60 mm bindirme durumunda numunelerin hasar analizi, hasar modlarında meydana gelen değişimler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

Kuvvet – yer değiştirme eğrileri bir darbe testinde malzeme davranışına ilişkin çok önemli ipuçları içerir. Eğrilerin bir bütün olarak Şekil 5.1’ de görüldüğü gibi dağa benzeyen bir şekli vardır. Bununla birlikte açık ve kapalı eğri olmak üzere iki tip eğri vardır. Kapalı eğri yük artışını gösteren bir bölüm ile yükleme ve boşalma içeren bir geri dönüş bölümü içerir. Ayrıca artan yükleme bölümün eğimi kompozit malzemenin darbe yüklemesi altında eğilme rijitliğini gösterir. Darbe enerjisine bağlı olarak eğrinin tepe noktasından sonraki düşüş kısmı üç farklı şekilde olabilir. Bu darbe ucunun numuneden geri sekmesi ile oluşan geri sekme eğrisi olabilir. Bu kısmı nüfuziyet sonrası geri sekme olabilir. Eğer inen kısım tamamen delinmiş bir hasara aitse kuvvet –yer değiştirme eğrisi kapalı bir eğri olur yani geri sekme sonucu kuvvet ve yer değiştirme azalır ve eğri başlangıç noktasına yakın bir noktaya pik kuvvet denir. Kısmi hasarlı dolayısıyla kısmi geri sekmeli durumlarda grafiğin iniş kısmında geri sekme olana kadar yer değiştirmenin arttığı görülür. Darbe enerjisinin artmasıyla hasarlı kısım daha çok artar ve geri sekme gitgide düşer. Darbe enerjisi iyice arttığında eğri açık eğriye dönüşür, yer değiştirme maksimuma ulaşır ve geri sekme gözlenmez. Bu durum delinme olarak nitelendirilir. Ayrıca bu eğrilerin altında kalan alan darbe süresince yutulan enerjiye karşılık gelmektedir. Burada her bir numuneye ait yutulan enerji-darbe enerjisi (enerji profili diyagramı) çizilebilir. (Sayer, 2009).

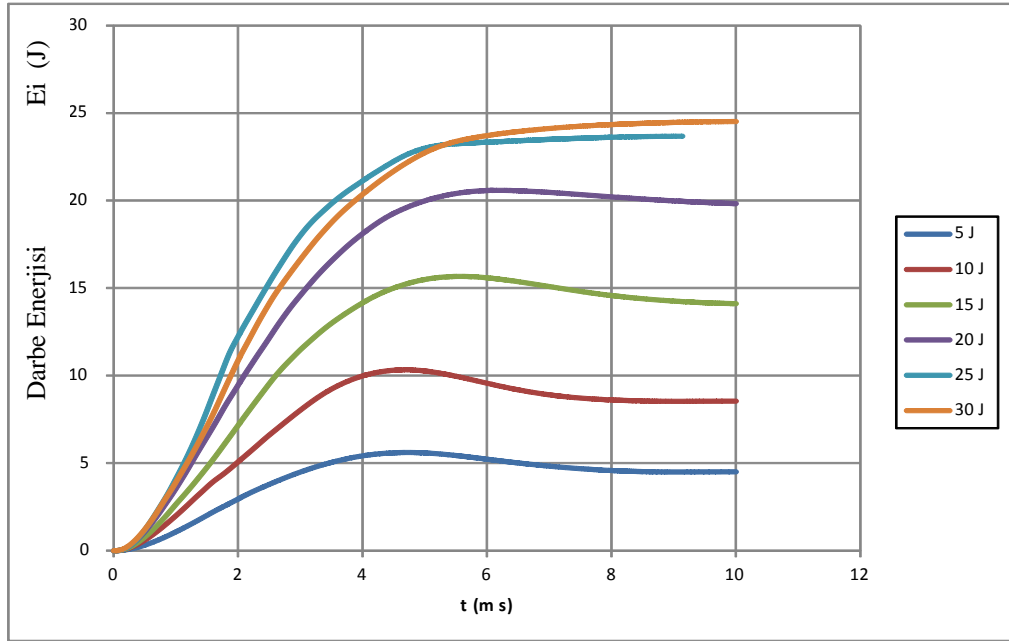


Şekil 5.1 6 tabakalı 20 mm bindirme uzunluğuna sahip numunelerde kuvvet-çökme davranışı

5 J, 10 J, 15 J ve 20 J' lük darbelerde delinme olmamış, sadece ufak çökmeler meydana gelmiş olup vurucu geri sekmiştir. 25 J ve 30 J' lük darbelerde ise çökme miktarı maksimuma ulaşmış ve delinme meydana gelmiştir.

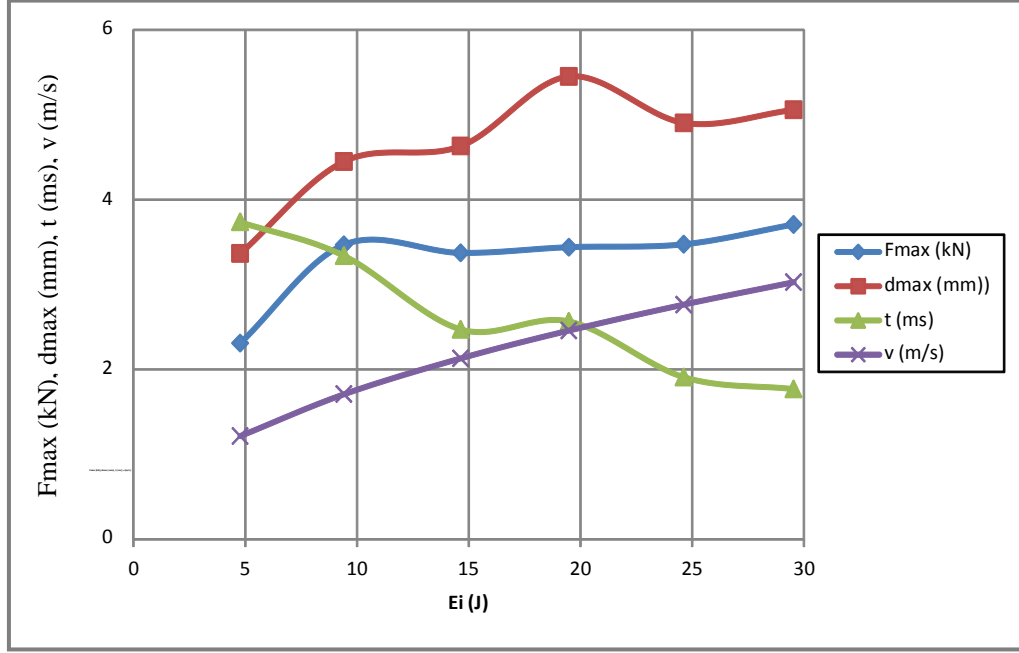


Şekil 5.2 6 tabakalı 20 mm bindirme uzunluğuna sahip numunelerde kuvvet-zaman davranışı



Şekil 5.3 6 tabakalı 20 mm bindirme uzunluğuna sahip numunelerde maksimum nokta darbe enerjisi (E_i) - zaman davranışı

Darbe olayının sonunda vurucudan kompozit numuneye geçen enerji miktarı, kompozit numuneye en fazla hasarı veren enerjiye kadar artar. Şekil 5.3’ de görüldüğü gibi her bir eğri artmakta daha sonra ulaştığı maksimum değerden azalarak sabit bir değere ulaşır yatay bir yol izliyor. Bu ulaşılan maksimum nokta darbe enerjisini (E_i) vermektedir. Yatayda ulaştığı sabit nokta ise absorbe edilen enerjiyi (E_a) göstermektedir.



Şekil 5.4 6 tabaka 20 mm bindirme uzunluğuna sahip numunelerde F, d, t ve v – Ei ilişkisi

Şekil 5.4’ te X, Δ , \diamond ve \square eğrileri gösterilmiştir.

Bu eğrilerden; X ile gösterilen eğride maksimum nokta darbe enerjisi (E_i) ve vurucu kütle hızı v (m/s) arasındaki ilişki görülmektedir. Maksimum darbe enerjisi arttıkça vurucu hızında otomatik olarak arttığı görülmektedir. Bu artış hafif azalan eğri şeklindedir.

Δ ile gösterilen eğride maksimum darbe enerjisi (E_i) ile temas süresi arasındaki ilişki görülmektedir. Uygulanan darbe enerjisi arttıkça temas süresi (t) ters orantılı olarak azalmıştır.

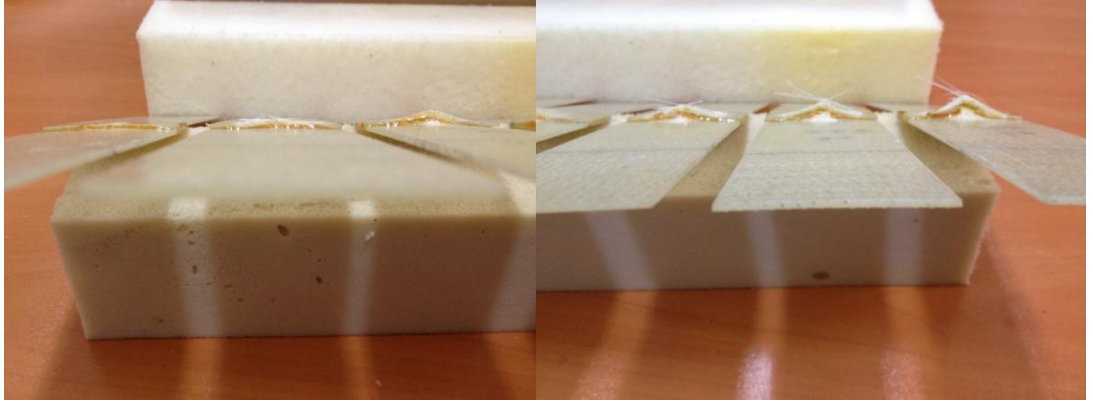
\diamond ile gösterilen eğride maksimum temas kuvveti (F_{max}) ile maksimum darbe enerjisi (E_i) arasındaki ilişki görülmektedir. Maksimum darbe enerjisi arttıkça Maksimum temas kuvveti de artmıştır. Bu artış darbe enerjisi 5 J’ den 10 J e yükseldiğinde hızlı olmuş ve 10 J, 15 J, 20 J ve 30 J darbe enerjilerinde ise Maksimum temas kuvveti yavaş artarak devam etmiştir.

Son olarak \square eğrisine baktığımızda çökme miktarı (d_{max}) maksimum darbe enerjisi arttıkça artmaya devam etmiştir. 20 J’ lük darbeye numuneden kaynaklanan değişken sebebiyle çökme miktarı fazla olmuştur. 25 J ve 30 J deki çökme miktarı ise 5 J, 10 J ve 15 J’ de olduğu gibi maksimum darbe enerjisine bağlı olarak artmaya devam etmiştir. Bu eğriye genel olarak baktığımızda numunelerdeki çökme miktarının maksimum darbe enerjisiyle doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür.



a-(6tbk0d20b)-Ön

b-(6tbk0d20b)-Arka



c-(6tbk0d20b)-ilk 3

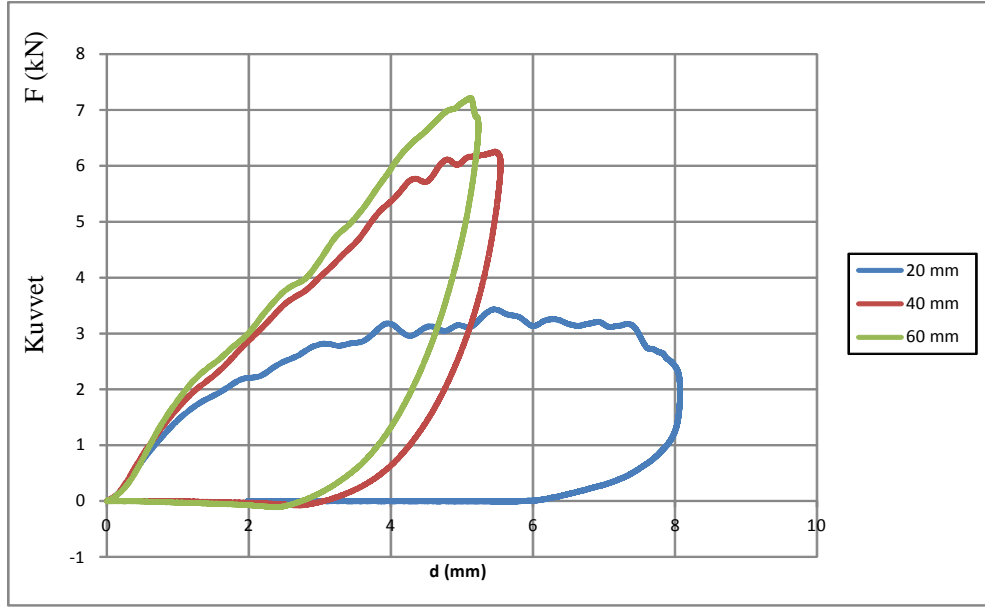
d-(6tbk0d20b)-son 3

Şekil 5.5 6 tabakalı 20 mm bindirme uzunluğuna sahip numunelerin Ön-Arka / İlk 3 ve son 3 numunenin 45° görünümü

Şekil 5.5' a ve b'de 5 J' lük darbe sonucunda ezilme izi, matris çatlağı, fiber kırılması ve fiber çatlakları çok az iken darbe miktarını 5' er J arttırdığımızda, darbe miktarı 30 J olduğunda matris çatlağı, fiber kırılması, fiber ayrılması hatta yapıştırıcı yüzeyinde kurlaşan fiberlerin dahi koparak iki plakanın ayrılmaya başladığı görülmüştür.

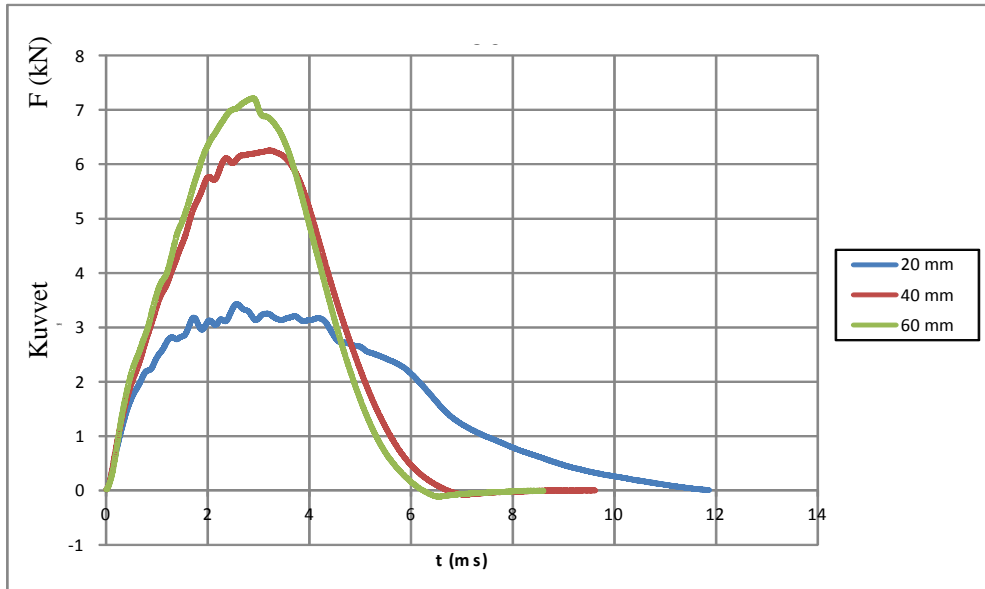
Deney numunelerine 45° lik açı ile baktığımız zaman 5 J' lük darbe de ayrılma olmazken 30 J' e gelindiğinde alt plakada yırtılma ve kopma meydana geldiği ve parçanın delindiğini görülmüştür.

20 mm, 40 mm ve 60 mm bindirme durumlarında çökme (d), zaman (t) ve darbe enerjisi (Ei) 'nin karşılaştırılması



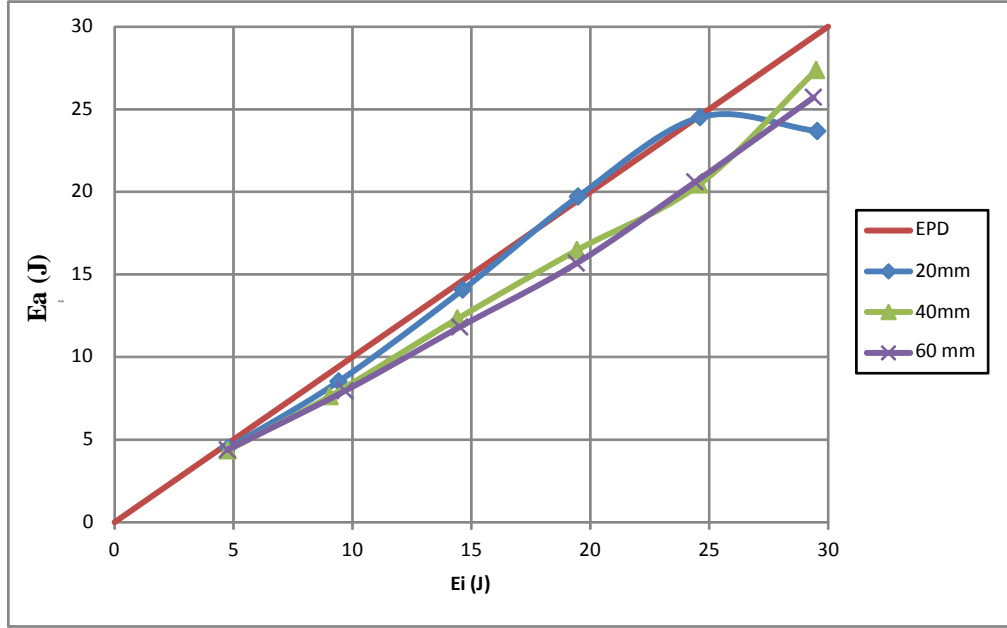
Şekil 5.6 6 tabakalı 20, 40 ve 60 mm bindirmeye sahip numunelerin kuvvet-çökme ilişkisi (F-d)

Şekil 5.6' da 20 J' lük darbe sırasında bindirme uzunluklarına göre çökme miktarını incelediğimizde, bindirme uzunluğu ne kadar fazla ise plakaların o kadar az çökmeye uğradığı ve kuvvet dayanımının bir o kadar fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 5.7 6 tabakalı 20, 40 ve 60 mm bindirmeye sahip numunelerin kuvvet-zaman değişimi (F-t)

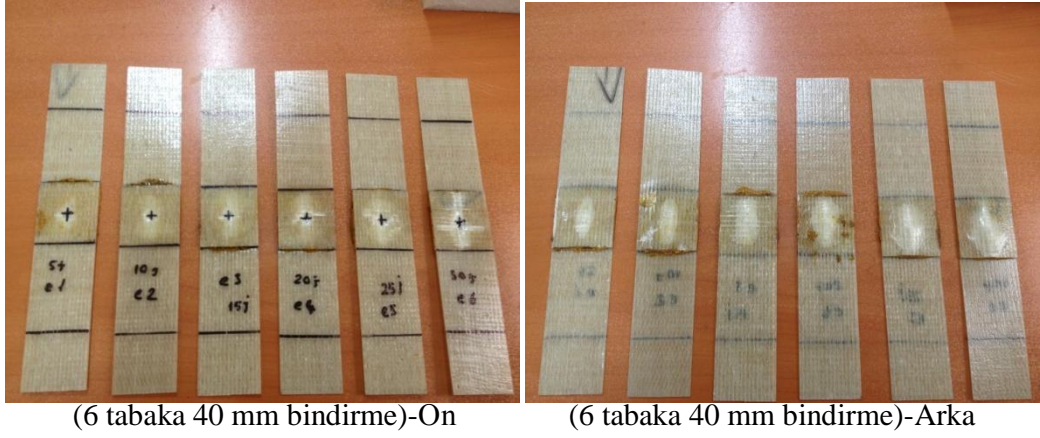
Şekil 5.7’ de ise yine 20 J’ lük darbe enerjisi uygulandığında bindirme uzunluğunun artması ile plakalardaki çökmenin azaldığı ve kuvvet dayanımının arttığı görülmüştür.



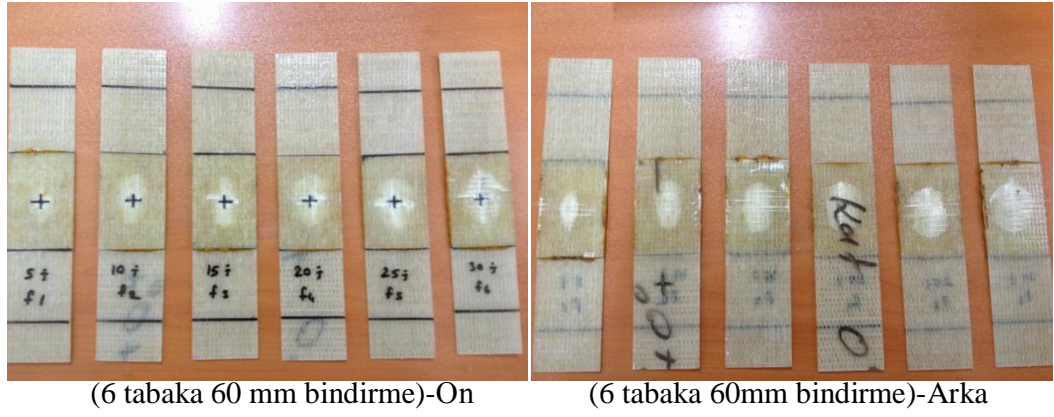
Şekil 5.8 EPD diyagramı (Maksimum nokta darbe enerjisi ve absorbe edilen enerji miktarının bindirme ölçülerine göre kıyaslanması)

Şekil 5.8’ de EPD diyagramı incelendiğinde 20 mm bindirmeli kompozit plakaların daha fazla enerjiyi absorbe ettiği ve daha az enerjiyi geri tepme olarak tutucuya verdiğini görüyoruz. 40 mm ve 60 mm bindirmeli kompozit plakalarda ise değerler biri birine biraz daha yakın olmak ile beraber daha az enerji absorbe etmiş ve maksimum darbe enerjisinin çoğunu geri tepme olarak vurucuya iletmiştir.

40 mm Bindirme Durumundaki Hasar Durumu



60 mm Bindirme Durumundaki Hasar Durumu



Şekil 5.9 6 tabaka 40 mm bindirme ve 6 tabaka 60 mm bindirme numunelerinin deney sonucunda oluşan ön ve arka fotoğrafları

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu projede, tek bindirmeli cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin darbe davranışları incelenmiştir. 6 tabakalı (0°) numuneler 40 x 160 mm ebatlarında hazırlanmış, 20, 40 ve 60 mm bindirme boylarında birleştirilmiştir. Farklı enerji seviyelerinde malzemede oluşan hasarları incelemek üzere 5 J, 10 J, 15 J, 20 J, 25 J ve 30 J enerjilerinde darbe deneyleri yapılmıştır. Deney, Instron 9250 test cihazında yapılmış sonuçlar bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen veriler değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1. 5 J' lük darbeler de ayrılma olmazken 30 J' e gelindiğinde alt plakada yırtılma ve kopmalar meydana geldiğini ve parçanın delindiğini görüldü.

2. Örnek olarak 20 J' lük darbe enerjisi sırasında 20 mm bindirmeli parçanın taşıdığı maksimum kuvvete daha kısa sürede ulaştığını ve nüfuziyet ya da delinmenin daha çabuk olacağı anlaşıldı. 60 mm' lik bindirmenin ise dayanımının daha fazla olduğu ve taşıyabildiği maksimum kuvvete daha uzun sürede ulaştığı görülmektedir.

3. Yine 20 J' lük darbe sırasında bindirme uzunluklarına göre çökme miktarını incelediğimizde, bindirme uzunluğu ne kadar fazla ise plakaların o kadar az çökmeye uğradığı ve kuvvet dayanımının bir o kadar fazla olduğu görüldü.

5. Darbe enerjisi artıkça numunede yutulan enerjinin toplam enerjinin de o oranda arttığı, bunun sonucu olarak da meydana gelen hasar miktarının artmakta olduğu görüldü.

6. EPD diyagramı incelendiğinde 20 mm bindirmeli kompozit plakaların daha fazla enerjii absorbe ettiği ve daha az enerjii geri tepme olarak tutucuya verdiği görüldü. 40 mm ve 60 mm bindirmeli kompozit plakalarda ise değerler birbirine biraz daha yakın olmak ile beraber daha az enerji absorbe ettiği ve maksimum darbe enerjisinin çoğunu geri tepme olarak vurucuya ilettiği anlaşılmaktadır.

7. Bindirme boyundaki artış ile birlikte geri sekme enerjisi de arttı. Bunun nedeni bindirme boyu arttıkça oluşan hasarın azalmasıdır. Ayrıca bu bağlamda çökme miktarı da azalmıştır.

7. KAYNAKLAR

[1] Kadir TURAN ve Mete Onur KAMAN, “Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında İlerlemeli Hasar Analizi”, *Pamukkale Üniversitesi-Mühendislik Bilimleri Dergisi* 16-3 (2010) 315–303.

[2] Eren, Y. “Kompozit Yapıların Darbe Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, (2007).

[3] Abrate, S, “Impact on laminated composite materials”, *Appl. Mech. Rev.* 44(4), 155-190, (1991).

[4] Karaca, D, “Farklı Kalınlık Ve Oryantasyon Yüzdelerindeki Tabakalı Kompozit Levhaların Düşük Hızlı Darbe Enerjileri Altında Davranışlarının Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2010).

[5] Şenel, M, “Ön gerilmeli Kompozit Plakların Düşük Hızlı Darbe Yüğü Etkisi Altında Davranışlarının İncelenmesi”, Tübitak Projesi ,(2009)

[6] Uyaner M., Kara, M. ve Ataberk, N. “E-camı/epoksi tabakalı kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışına numune boyutlarının etkisi”, 8. *Uluslar Arası Kırılma Konferansı*, İstanbul, 361-368, (2007)

[7] Sayer, M., Bektaş, N.B. “Darbe Yüğü Altındaki Hibrit Kompozit Plakalara Sıcaklığın Etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*; 15(3), 337-343, (2009).

[8] Şahin, Y. “ Kompozit Malzemelere Giriş”, Ankara: *Gazi Kitapevi*, (2009).

[9] Eren, Y. “Kompozit Yapıların Darbe Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, (2007).

- [10] SARAÇ, İsmail, ADİN, Hamit ve TEMİZ, Şemsettin. "Experimental Determination Of The Mechanical Properties Of Adhesive Joints Bonded Epoxy Adhesive Included Al₂O₃ Nanoparticle." *European Journal of Technic* 6.2 (2016).
- [11] Yapıcı, A. ve Yapıcı, Ğ. "E-camı/epoksi tabakalı kompozitlerde düşük hızlı darbe davranışının sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi ", *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1 (2), 48-60, (2012).
- [12] Vaidya, U. K, Gautam, A. R. S., Hosuri M. ve Dutta, P. "Experimental–numerical studies of transverse impact response of adhesively bonded lap joints in composite structures", *Int. J. Adhes*, 26,184–98, (2006).
- [13] Reisa, P.N.B., Ferreirab, Santosa, J.A.M., P., Richardsonc, M.O.W. ve Santos, J.B., "Impact response of Kevlar composites with filled epoxy matrix", *Composite Structures*, 94(12), 3520–3528, (2012).
- [14] ÇELİK, Abdullah ve TURAN, Kadir. "Çentikli kompozit levhaların hasar davranışlarının incelenmesi." *Dicle Prof. Dr. Abdüsselam ULUÇAM Armağanı* (2015).
- [15] PIHTILI, Haşim, Çetinkaya Şükrü ve Yıldırım Hayri. "The Factors Effect The External Bonded Patch Repaired In Laminated Composite Materials." (2015).
- [16] KARA, Mehmet ve UYANER, Mesut. "Metal Tabakalı Kompozitlerin Düşük Hızlı Enine Darbeye Karşı Davranışlarının İncelenmesi." *Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology* 4.4 (2016): 256-270.
- [17] U. Çalışkan, Umut, M. Kemal Apalak ve Kemal Arslan. "Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Sandviç T Tipi Bağlantıların Düşük Hızlı Darbe Davranışı." (2017).

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mete DOĞAN
Doğum Yeri ve Tarihi : BULANIK – 04.10.1988
Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi
Elektronik Posta : mete-dogan@msn.com
İletişim Adresi : Hürriyet Mah. Namık Kemal Cad. No:64
Civelek Apt. K:3 D:8 İskenderun/HATAY