



**DÜŞÜK HIZLI DARBE TEST CİHAZI TASARIMI
İMALATI VE KOMPOZİT PLAKALARIN
DARBE TESTLERİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Mehmet PARLAK

Danışman
Doç. Dr. İbrahim YAVUZ

İkinci Danışman
Dr. Öğretim Üyesi Ercan ŞİMŞİR

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2024

Bu tez çalışması 23.FEN. BİL.09 numaralı proje ile AKÜ BAPK tarafından desteklenmiştir

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DÜŞÜK HIZLI DARBE TEST CİHAZI TASARIMI, İMALATI VE
KOMPOZİT PLAKALARIN DARBE TESTLERİ**

Mehmet PARLAK

Danışman

Doç. Dr. İbrahim YAVUZ

İkinci Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Ercan ŞİMŞİR

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Mehmet PARLAK tarafından hazırlanan “Düşük Hızlı Darbe Test Cihazı Tasarımı, İmalatı ve Kompozit Plakaların Darbe Testleri” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 25 / 07 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. İbrahim YAVUZ

İkinci Danışman : Dr. Öğretim Üyesi Ercan ŞİMŞİR

Başkan : Prof. Dr. İbrahim MUTLU
Afyon Kocatepe Üniv. Teknoloji Fak.

Üye : Doç. Dr. Bekir GÜNEY
Karamanoğlu Mehmet Bey Üniv.
Teknik Bilimler MYO

Üye : Doç. Dr. İbrahim YAVUZ
Afyon Kocatepe Üniv. Teknoloji Fak.

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... / / tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25 / 07 / 2024

Mehmet PARLAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÜŞÜK HIZLI DARBE TEST CİHAZI TASARIMI, İMALATI VE KOMPOZİT PLAKALARIN DARBE TESTLERİ

Mehmet PARLAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim YAVUZ

İkinci Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Ercan ŞİMŞİR

Mühendislik uygulamalarında, özellikle üretim, montaj ve kullanım süreçlerinde beklenmedik şekilde darbeler oluşabilir. Bu yüzden darbe testleri, malzemelerin hasar alma şekillerini ve dinamik deformasyonlarını belirlemek için kullanılır. Darbe testleri özellikle kompozit malzemelerin kullanıldığı uçak ve uzay endüstrisi, otomotiv sektörü, denizcilik, gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında düşük hızlı darbe test cihazı tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Tasarımda Solidworks programı kullanılmıştır. Üretimi tamamlanan darbe test cihazı ile akredite bir cihaz ile kıyaslama yapılmıştır. Cihaz kıyaslamalarında farklı elyaflar kullanılarak tabakalı kompozit üretimleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerde çekirdek malzemesi olarak XPS ve EPS polimer köpük kullanılmıştır. Üretimlerde polimer köpükler ile cam ve karbon elyaflar, köpüklerin alt ve üst tarafına reçine yardımı ile birleştirilmiştir. Her iki tarafına da 4 ve 6 kat olmak üzere toplamda 8 ve 12 katlı olmak üzere 200 gr/m² ve 300 gr/m² özelliğindeki cam elyaf takviyeli numuneler üretilmiştir. Üretimler, el ile yatırma yöntemi kullanılarak vakum torbalama metodu ile gerçekleştirilmiştir. Üretimler tamamlandıktan sonra standartlara uygun boyutlarda kesilerek deneyler yapılmıştır. Kıyaslama sonunda benzer kuvvet deformasyon grafikleri elde edilmiştir.

2024, ix + 42 sayfa

Anahtar Kelimeler: Darbe test cihazı, Tabakalı kompozit, Cam elyaf, Karbon elyaf

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

LOW SPEED IMPACT TESTER DESIGN, MANUFACTURING AND IMPACT TESTS OF COMPOSITE PLATES

Mehmet PARLAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. İbrahim YAVUZ

Co-Supervisor: Asst. Prof. Ercan ŞİMŞİR

In engineering applications, especially in production, assembly and usage processes, unexpected impacts may occur. Therefore, impact tests are used to determine the damage types and dynamic deformations of materials. Impact tests are used in many areas such as aircraft and space industry, automotive sector, maritime, where composite materials are used. In this thesis study, a low-speed impact test device was designed and manufactured. Solidworks program was used in the design. The completed impact test device was compared with an accredited device. In the device comparisons, layered composite productions were carried out using different fibers. XPS and EPS polymer foam were used as core material in the samples. In the productions, polymer foams and glass and carbon fibers were bonded to the upper and lower sides of the foams with the help of resin. Glass fiber reinforced samples with 200 gr/m² and 300 gr/m² were produced as 4 and 6 layers on both sides, a total of 8 and 12 layers. The productions were carried out by vacuum bagging method using manual lay-up method. After the productions were completed, the experiments were carried out by cutting them to sizes suitable for the standards. At the end of the comparison, similar force deformation graphs were obtained.

2024, ix + 42 page

Keywords: Impact tester, Laminated composite, Glass fiber, Carbon fiber

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç Dr. İbrahim YAVUZ'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğretim Üyesi Ercan ŞİMŞİR'e her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma ve cihaz tasarımı ve imalatında desteklerinden dolayı Sayın Öğretim Görevlisi Ender OYMAN'a teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Mehmet PARLAK
Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	3
2.1 Darbe Test Cihazları.....	7
2.2 Ağırlık Düşürme Darbe Test Cihazları	9
2.2.1 Instron CEAST 9000 serisi.....	9
2.2.2 Imatek IM10 ve DWTT serisi	11
2.2.3. Tasarım ve İmalatı Yapılan Düşen Ağırlık test Cihazları	13
2.3. Kompozit Malzemeler.....	14
2.3.1 Kompozit Çeşitleri.....	14
2.3.2 Elyaf Takviyeli Kompozitler	15
3. MATERYAL VE METOT	18
3.1 Kullanılan Materyaller	18
3.1.1 Poliüretan Köpük (XPS-EPS).....	18
3.1.2 Cam Elyaf	19
3.1.3 Epoksi ve Reçine	21
3.2 Üretim Yöntemleri ve Testler	22

3.2.1 Vakum Torbalama Yöntemi	22
3.2.2 El Yatırma Yöntemi	23
3.2.3 Darbe Test Yöntemi	24
4. BULGULAR.....	26
4.1 Darbe Test Cihazı Tasarım ve İmalatı.....	26
4.1.1 Vurucu Uç	28
4.1.2 Kuvvet Sensörü	30
4.1.3. Cihaz yazılım.....	31
4.1.4 Cihaz Karşılaştırması ve Ön deneyler	31
4.2. Akredite ve İmalatı Yapılan Cihazların Karşılaştırılması	32
4.2.1. XPS köpük çekirdekli deneylerin karşılaştırılması	33
4.2.2. EPS köpük çekirdekli deneylerin karşılaştırılması.....	34
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	36
6. KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ.....	42

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

J	Joule
D ⁰	Derece Santigrat
g	Gram
Kg	Kilogram
kN	Kilonewton
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
M/S	Metre / Saniye
mV	Milivolt
PS	Polistiren
PZT	Kurşun Zirkonyum Titanat

Kisaltmalar

ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
CFRP	Karbon Fiber Takviyeli Polimer
CMC	Seramik Matrisli Kompozit
EGP	Elyaf Güçlendirilmiş Polimer
EPS	Genleştirilmiş Polistiren Köpük
EPS-12-200	Genleştirilmiş Polistiren Köpük 12 Katlı 200 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli
EPS-12-300	Genleştirilmiş Polistiren Köpük 12 Katlı 300 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli
EPS-8-200	Genleştirilmiş Polistiren Köpük 8 Katlı 200 gram Yoğunluğunda Elyaf Takviyeli
EPS-8-300	Genleştirilmiş Polistiren Köpük 8 Katlı 300 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli
GFRP	Cam Elyaf Takviyeli Polimer
ISO	Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu
MGS H285	Laminasyon Epoksi Sertleştirici
MGS L285	Laminasyon Epoksi Seti
MMC	Metal Matrisli Kompozit
PAN	Poliakrilonitril
PMC	Polimer Matrisli Kompozit
TS	Türk Standartları
XPS	Ekstrüzyon Polistiren Köpük
XPS-12-200	Ekstrüzyon Polistiren Köpük 12 Katlı 200 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli
XPS-12-300	Ekstrüzyon Polistiren Köpük 12 Katlı 300 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli
XPS-8-200	Ekstrüzyon Polistiren Köpük 8 Katlı 200 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli
XPS-8-300	Ekstrüzyon Polistiren Köpük 8 Katlı 300 gram Yoğunluğundaki Elyaf Takviyeli

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Tabakalı kompozit şematik görünüşü	6
Şekil 2.2 Instron 9400 Serisi düşme ağırlığı darbe test cihazı	9
Şekil 2.3 Delinme test yöntemleri	10
Şekil 2.4 Imatek IM100 Serisi düşme ağırlığı darbe testi cihazı -	11
Şekil 2.5. Daha önce tasarlanmış cihazlar-.....	13
Şekil 3.1 EPS tabakalı köpük	19
Şekil 3.2 XPS tabakalı köpük.....	19
Şekil 3.3 El yatırma işleminin şematik gösterimi.....	24
Şekil 3.4 Deney cihaz görüntüleri	25
Şekil 3.5 Darbe testi sonucu kuvvet – yer değiştirme eğrileri.....	25
Şekil 4.1 Düşük hızlı serbest düşme test cihazı ve SolidWorks 3D tasarımı.....	26
Şekil 4.2 Darbe test cihazı ayrıntıları	27
Şekil 4.3 Vurucu uç ana gövdesi ve vurucu uç tasarımları.	29
Şekil 4.4 Piezoelektrik sensör için sinyal işleme devresinin şeması ve sensör.....	30
Şekil 4.5 Sensör Arayüz programı.	31
Şekil 4.6 Cihazların karşılaştırması.....	32
Şekil 4.7 XPS köpük çekirdekli deneylerin karşılaştırılması	33
Şekil 4.8. EPS köpük çekirdekli deneylerin karşılaştırılması	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Cihaz imalatında kullanılan kuvvet sensörü teknik özellikleri.	30
Çizelge 4.2. Düşük hızlı darbe test cihazı tasarımı imalatı ve kompozit plakaların darbe testleri isimli tez kapsamında yapılan deney çeşitleri ve sayısı.	32



RESİMLER DİZİNİ

Resim 3.1 Cam elyaf	20
Resim 3.2 Epoksi ve reçine.....	22
Resim 3.3 Vakum torbalama yöntemi.....	23
Resim 4.1 Vurucu uçlar.....	29



1.GİRİŞ

Kompozit malzemeler, günümüzde birçok endüstri ve uygulamada büyük bir öneme sahiptir. Bu malzemeler, iki veya daha fazla farklı malzemenin bir araya getirilerek özelliklerini birleştiren veya iyileştiren malzemelerdir. Son yıllarda kompozit malzemelerin yapısal bileşenlerde kullanımı çok çeşitli mühendislik uygulamalarında giderek yaygınlaşmaktadır. Kompozit malzemeler, üstün spesifik özellikleri nedeniyle daha geleneksel malzemelere göre çok sayıda avantaj sunar. Kompozit malzemelerin önemini belirleyen bazı faktörler: Yüksek özgül dayanım ve modül, düşük özgül yoğunluk ve korozyon direnci nedeniyle, elyaf takviyeli kompozitlerin kullanım alanı oldukça çeşitlilik arz etmektedir.

Elyafı güçlendirilmiş polimer (EGP) kompozitler yüksek spesifik güç ve sertlik sunar ve performans gereksinimlerini karşılayacak şekilde özelleştirilebilir. Ayrıca bunlar hafiftir ve yapımı kolaydır. EGP kompozit malzemeler, otomobiller, spor ürünleri, kimyasal proses ekipmanları ve köprüler ve binalar gibi sivil altyapılar da dahil olmak üzere hemen hemen her modern mühendislik yapısında kullanılmaktadır. Ayrıca uçaklarda, teknelerde, gemilerde, açık deniz platformlarında, helikopterlerde ve uzay araçlarında da kullanılmaktadırlar (Alberto 2013). Lifler, sertliğini ve gerilme mukavemetini artıran polimer ile güçlendirilir. Kompozitin temel özelliklerini geliştirmek veya maliyetini azaltmak için dolgu malzemeleri de kullanılabilir. EGP kompozitler, tek tek temel bileşenlerden daha iyi niteliklere sahip toplu bir malzeme üretmek için dolgu maddelerinin, takviye edici elyafların ve polimer matris reçinelerinin karıştırılmasıyla üretilen çok fazlı malzemelerdir (Zaman vd. 2013).

Bu malzemelerle tasarımı optimize etmek için standart testlerin yapılması ve mekanik özelliklerinin bulunması gerekmektedir. Tokluk, kompozit malzemelerin önemli bir özelliğidir ve numunenin enerji emme kapasitesini gösterir. Bu enerji darbe testiyle ölçülür. Darbe yükleri altında kompozit malzemeler metallere göre farklı tepkiler gösterir. Darbe yükleri altındaki metaller, kısa bir elastik tepki ve ardından uzun bir plastik deformasyon gösterir. Kompozitlerde elastik tepkiyi, delaminasyon, matris çatlaması ve fiber kırılması gibi farklı hasar modları takip eder. Aslında metallerde darbe

enerjisi plastik deformasyon tarafından emilir. Ancak kompozitler enerjiyi farklı arıza modlarıyla emer. Darbe kuvveti altında kompozitlerin tepkisi, geliştirilen ağırlık düşürme darbe test cihazlarına dayanarak birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Makine tasarımı, bir mekanizmanın veya cihazın tasarlanması ve geliştirilmesi sürecini kapsayan disiplindir. Bu süreç, genellikle mühendislik prensipleri ve teknikleri kullanılarak gerçekleştirilir. Makine tasarımı, ürünün işlevselliği, verimliliği, güvenliği ve dayanıklılığı gibi faktörleri göz önünde bulundurarak ürünlerin ilgilenir.

Serbest düşme, bir cismin herhangi bir dış kuvvet etkisi olmaksızın sadece yerçekimi tarafından etkilenecek hareket ettiği durumu ifade eder. Yani, serbest düşme sırasında cisim üzerine başka bir kuvvet uygulanmıyorsa, yalnızca yerçekimi nedeniyle ivmelenir. Bu durumda, cisim düştüğü yüzeyden bağımsız olarak aynı ivmeyle hareket eder.

Düşük hızlı darbe alanında en sık kullanılan test cihazları "Ağırlık Düşürme" tipinde olup, testlerin gerçek çalışma koşullarına yakın çalışma koşullarında yapılmasına olanak tanır ve aynı zamanda geniş bir darbe hızı aralığı sağlar. Bu çalışmada "Ağırlık Düşürme" düşük hızlı darbe test cihazının geliştirilmesi yapılmıştır. Farklı malzemelerden yapılmış numuneler üzerinde yapılan testlerin sonuçları gösterilmiş ve test cihazının performansını değerlendirmek amacıyla çeşitli malzemelerde deneyler yapılmıştır. Bu deneyler akredite cihaz ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Mühendislik uygulamalarında, imalat, montaj ve kullanım aşamalarında dış etkenlerden kaynaklanabilecek beklenmedik hasarları önlemek önemlidir. Bu nedenle, malzemenin bu tür etkilere nasıl tepki vereceğini önceden bilmek gereklidir. Darbe testleri, malzemelerin hasar modlarını ve dinamik deformasyonlarını ölçmek için kullanılır. Bu testler genellikle günlük yaşamda karşılaşılabileceğimiz olaylarla benzerlik gösterecek şekilde tasarlanır, örneğin çivi çakma, çekiçe vurma, otomobil kazaları, küçük tampon darbeleri, yol üzerindeki taşların araca çarpması, yoldaki çukurlara ani iniş yapan bir aracın tekerleği veya kompozit bir yapı üzerinde bakım sırasında düşürülen bir alet gibi durumlar düşünülerek simülasyon yapılır.

Havacılık, denizcilik ve ulaşım gibi endüstriyel alanlarda güvenliğin önlenmesi hayati önem taşımaktadır (Vasiliev vd. 2006, Van Nuffel vd. 2014, Lu ve Yu, 2003). Koruyucu ekipman tasarımı, enerji emilimi, kuvvet verimliliği ve etkili ezilme mesafesi dahil olmak üzere dinamik çarpışma dayanıklılığına sürekli dikkat etmelidir (Sun vd. 2018, Chen vd. 2018, Yang vd. 2021, Li vd. 2019).

Darbeler genellikle düşük hızlı veya yüksek hızlı olarak sınıflandırılır, ancak bu kategoriler arasında net bir sınır bulunmamaktadır. Yapılan araştırmalar, bu geçişin belirlenmesinde net bir sonuca ulaşamadığını göstermektedir. Bazı çalışmalar, düşük hızlı darbeyi, çarpan cismin kütle, rijitlik, hedefin rijitliği ve malzeme özelliklerine bağlı olarak 1 ila 10 m/s arasında değişen hızlarda tanımlamıştır (Shivakumar 1985). Düşük hızlı darbeye bir örnek olarak, uçak kanadı gibi kompozit malzeme üzerinde imalat veya bakım sırasında bir parçanın (örneğin, bir takım aletinin) kazayla düşmesi verilebilir. Bu tür darbeler genellikle temas anında malzemenin iç yapısında deformasyon oluşturur. Bazı durumlarda düşük hızlı darbe, düşük enerjili darbe olarak da adlandırılır. Malzemenin bu tür bir darbeye cevap verebilmesi için gerekli temas süresi sağlanır ve sonuç olarak daha fazla enerji elastik olarak absorbe edilir.

Bu sebeple, hedefin dinamik yapısal tepkisi son derece kritik bir öneme sahiptir. Yüksek hızlı darbe tepkisi genellikle malzeme boyunca yayılan gerilme dalgası tarafından

belirlenir; bu durumda malzeme, darbeye cevap verebilmek için yeterli süreye sahip olamaz ve genellikle sınırlı bir bölgede hasar oluşur. Darbe testleri genellikle üç ana kategori altında toplanır: Ağırlık düşürme testleri, sarkaç testleri (izod ve charpy) ve hava veya gaz silahı testleri (düşük hız veya balistik testler).

Darbe testleri sınıflandırmanın sınırları konusunda araştırmacılar arasında görüş birliği yoktur. Bazı araştırmacılar belirli hız sınırları önerirken, bu sınırlar dahi tartışmalıdır; bazıları ise kompozit malzemenin hasar durumuna göre sınıflandırma yapmayı tercih eder. Bu ikinci tür sınıflandırmada, malzemenin sadece tabaka ayrışmaları yaşadığı durumlar düşük hızlı, kompozitin delinmesi durumunda ise yüksek hızlı olarak kabul edilir (Abrate 1998).

Günümüzde düşük hızlı darbe testleri için Instron ve Dynatup gibi darbe test cihazları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlarda sabit ağırlık altında, çeşitli hızlarda darbe testleri farklı sıcaklık koşullarında yapılabilmektedir.

Ağırlık düşürme deneylerinde elde edilen kuvvet-zaman eğrileri genellikle çan şeklinde olup, kuvvet hızla artar, maksimum değere ulaşır ve ardından azalır. Tüm grafiklerde, darbenin başlangıcında bir salınım gözlemlenir. Ayrıca, darbenin başlangıcında numunede meydana gelen titreşimlerin kuvvet sensörü üzerinde bir normal kuvvet oluşturduğu ve bu nedenle darbenin başlangıcında salınım meydana geldiği düşünülmektedir. Hasar oluşumu, kuvvetin en yüksek değerine ulaşana kadar hızla devam etmektedir. Salınım miktarı arttıkça, oluşan hasar miktarının da arttığı gözlemlenir (Whittingham 2004).

Literatürde, kompozit boruların düşük hızlı darbe tepkileri ve hasar analizleri üzerine birçok çalışma bulunmaktadır.

Silindirik yapılar yük taşıma, enerji sönmüleme ve darbe dayanımı gibi avantajlara sahiptir (Sun vd. 2018, Chen vd. 2018). Bu nedenle, birçok çalışma, daha yüksek mekanik özellikler elde etmek için geleneksel silindirlere yeni tasarımlar ve yüksek performanslı malzemeler getirdi (Xiong vd. 2016, Qin vd. 2020, Zhang ve Lu, 2020). Son yıllarda,

araştırmalar, özgül güç ve darbe direnci (Wadley 2006, Xue ve Hutchinson 2006, Hatami ve Shariati 2019, Wang vd. 2022, Sahloddin vd. 2021) gibi düşük bağıl yoğunluktaki silindirlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için kafes yapıları üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Hafif kafes yapıları, enerji absorbesi gibi konular üzerine yoğunlaşılmıştır (Gao vd. 2020, Guo vd. 2020, Zhang vd. 2009, Fan vd. 2008, Chen vd. 2021, Li vd. 2021, Li ve Fan 2021).

Doyum ve Altay (1997), filament sarma tekniği kullanarak S-camı ve E-camı ile üretilmiş ince cidarlı cam takviyeli polimer (CTP) borular üzerinde ağırlık düşürme testleri gerçekleştirmiş ve hasar oluşumunu incelemişlerdir. alışmalarında $(\pm 45^\circ)_2$, 90° , $(\pm 55^\circ)_3$ ve 90° konfigürasyonlarında borular üretilmişlerdir. Çeşitli enerji seviyelerinde (3,5 J ile 8,5 J arasında) darbeler uygulayarak, CTP borularda meydana gelen hasar türlerini ve yoğunluğunu belirlemişlerdir. E-camı borularda, dış yüzeyde geniş çaplı matris çatlakları ve malzeme kesiti içinde tabakalar arası ayrılma hasarları tespit etmişlerdir.

Gning vd. (2004), filament sarma yöntemiyle üretilen $(\pm 55^\circ)_{10}$ konfigürasyonundaki cam epoksi borularda darbe hasarının hidrostatik basınç direncine etkisini araştırmışlardır. Kullandıkları CTP boruların iç çapı, et kalınlığı ve uzunlukları sırasıyla 55, 6 ve 110 mm'dir. Darbe hasarının cam/epoksi boruların patlama basıncını önemli ölçüde azalttığını göstermişlerdir. 12 J darbe enerjisi ile hasar verilen borularda, patlama basıncının % 40'a kadar azaldığı görölmüştür.

Tarfaoui vd. (2006), CTP silindir yapıların hasarına ve dinamik yanıtına ölçek ve boyut etkisini incelemişlerdir. alışmalarında farklı boyut ve ölçeklerde $\pm 55^\circ$ E-camı epoksi CTP numuneler kullanmışlardır. Üretim parametrelerinin numunenin dinamik yanıtı ve hasar oluşumu üzerinde önemli etkileri olduğunu bulmuşlardır.

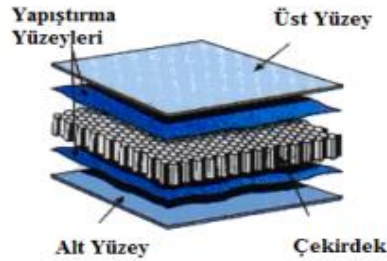
Uyaner vd. (2010), filament sarma yöntemiyle üretilmiş CTP boruların düşük hızlı darbe sonrası dayanımını incelemişlerdir. $(\pm 55^\circ)_5$ konfigürasyonundaki borulara, 24 mm yarı küresel vurucu ile 2.0, 3.0 ve 4.0 m/s hızlarında düşük hızlı darbe testleri uygulamışlardır. Ayrıca, darbe hasarlı CTP borulara ASTM D 1599-99 standardına uygun statik patlama

testi yapılmıştır. Düşük hızlı darbe testlerinde çarpma hızı arttıkça en yüksek temas kuvveti, temas süresi, yer değiştirme miktarı, malzeme tarafından absorbe edilen enerji ve oluşan hasar miktarı artmıştır. Darbe enerjisinin artmasıyla CTP boruların patlama basıncı değerinin düştüğü tespit etmişlerdir.

Curtis vd. (2000), darbeye veya statik batmaya maruz kalan filament sarma kompozit tüplerin hasar, deformasyon ve kalan patlama dayanımını incelemişlerdir. Statik batma ve düşük hızlı darbe sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Başka bir çalışmada Gning vd. (2005), kalın $\pm 55^\circ$ filament sarımlı cam epoksi tüplere yarı statik batma ve düşük hızlı darbe testleri uygulamışlardır. Ağırlık düşürme darbe testleri, 55 mm iç çaplı ve 6 mm kalınlığındaki tüplere 45 J enerji seviyesine kadar gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik inceleme ile hasar alanları belirlenmiştir.

Yapılan özet literatür taramasında, düşük hızlı darbe testlerinin hala geçerliliğini koruduğu görülmüştür. Kompozit plakaların üretiminde sandviç yapılar kullanılacaktır. İki tabaka arasına farklı bir formdaki başka bir malzemenin yerleştirilmesiyle elde edilen yapılar sandviç kompozitler olarak adlandırılır. Tabakalar izotropik bir malzeme olabileceği gibi fiber takviyeli bir tabaka da olabilirler (Zor 2018).

İki ince ve rijit malzemedan istenilen boyutlarda kesilen alt ve üst yüzey tabakalar arasına kalın ama hafif bir çekirdek malzeme yerleştirilerek sandviç yapı oluşturulur. Çekirdek yapı, kullanım alanına en uygun olan seçilerek bal peteği, köpük veya kafes şeklinde olabilir. Kafes şeklindeki çekirdek yapılar genellikle iki kompozit tabaka arasında kullanılır. Bu yapı malzemenin kalınlığını artırırken aynı zamanda hafif olmasını sağlar ve malzemenin eğilme direncini artırır (Şekil 2.1). Bu malzemeler, alt ve üst tabakalara kuvvet transferini güçlü yapıştırıcılar aracılığıyla sağlarlar (Sevinç 2019).



Şekil 2.1 Tabakalı kompozit şematik görünüşü (Kara 2012).

Sandviç yapılar, basma ve çekme gerilmelerini taşımak için yüzeylere sahiptir. Genellikle çelik, paslanmaz çelik, alüminyum gibi geleneksel malzemeler yüzey elemanı olarak kullanılmaktadır. Ancak, cam veya fiber takviyeli plastiklerin yüzey malzemesi olarak kullanılması da uygundur çünkü bu malzemeler kolay uygulanabilir. Yüzeyler ayrıca bölgesel basınçları da taşır ve yüksek bölgesel basınç durumlarında kayma kuvvetlerine karşı boyutlandırılmalıdır (Kara 2012).

Çekirdek, birçok kritik fonksiyona sahiptir. Öncelikle, yüzeyler arasındaki mesafeyi korumak için yeterince rijit olmalıdır. Yüzeylerin kaymaması için çekirdeğin kayma durumunda oldukça rijit olması gerekmektedir. Yüzeylerin birlikte hareket etmesi için çekirdek kayma rijitliği önemlidir. Eğer çekirdek kayma durumunda yetersizse yüzeyler birlikte hareket etmez ve sandviç yapının sertliği azalır (Kara 2012).

2.1 Darbe Test Cihazları

Düşme testi cihazı olarak da bilinen düşme darbe test cihazı, ani darbelere veya düşmelere maruz kalan malzemelerin, ürünlerin veya bileşenlerin darbe direncini veya dayanıklılığını değerlendirmek için kullanılan bir cihazdır. Bu tip makineler otomotiv, havacılık, paketlenme ve tüketim malları gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşme darbe testleri, ürünlerin nakliye, taşıma veya kullanım sırasında maruz kalabileceği gerçek dünya koşullarını simüle etmeye yardımcı olur. Bu testlerden elde edilen sonuçlar, tasarımların iyileştirilmesi, malzeme seçimi ve ürün performansının optimizasyonu için kullanılabilir (Şimşir 2020).

Serbest düşme darbe test cihazının temel prensibi, bir test numunesini belirli bir yüksekliğe kaldırmayı ve ardından bir darbe yüzeyine serbest düşmesini sağlamayı içerir. Makine, darbenin kuvveti, numunenin deformasyonu ve test sırasında meydana gelen hasarlar gibi parametreleri kaydeder ve ölçer.

Düşme darbe test cihazları, doğru ve tekrarlanabilir test koşullarını sağlamak için hassas mühendislik ile tasarlanmıştır. Bu test, basitçe belirli bir yükseklikten bir kütle serbest bırakarak gerçekleştirilir. Numune, yapısına nasıl sabitlendiğine bağlı olarak sıkıştırma

veya ön gerilmeli yükler altında test edilebilir. Numune, cihazı ucundaki ağırlık serbest bırakılmadan önce aynı etki cihazının sahip olduğu potansiyel enerjiye eşit olan kinetik enerji taşır. Test cihazları elastik mekanizma aracılığıyla etki enerjisini artıran bir hızlandırma ünitesine sahip olabilir. Bu alt sistem dışında, çevresel koşulları değiştiren bir çevresel odası gibi donanımlarla donatılabilenler de vardır. Bu nedenle özelliklerini ve özelliklerini değiştirir veya bir geri tepme mekanizması, makinenin etki cihazını ilk darbeden sonra (sonradan darbeleri önleyerek) darbeleri önleyen mekanizmaları vardır. Bu tür testlerde etki yükünü ölçmek için, genellikle bir ivmeölçer veya yük hücresi gibi piezoelektrik sensörler kullanılmaktadır. Bu tür sensörler, bir kristal kuvars veya kurşun zirkonyum titanat (PZT) gibi piezoelektrik bir malzeme üzerine uygulanan mekanik yüke doğru orantılı olan bir elektrik yükü (piezo elektrik) oluşturur. Hareketli parçaları olmadığından çok sağlam ve kompakt bir yapıya sahiptirler ve ölçümlerinde büyük güvenilirlik sağlarlar (Tressler vd. 1998).

Düşme darbe test cihazları, ürünlerin güvenilirliğini ve dayanıklılığını sağlamada önemli bir rol oynar. Bu cihazlardan elde edilen sonuçlar, daha güvenli ve daha dayanıklı ürünler geliştirmek için mühendisler ve tasarımcılar tarafından kullanılır. Ayrıca, düşme darbe testleri birçok endüstride yasal gereklilikleri ve güvenlik standartlarını karşılamak için de kullanılmaktadır. Darbe test cihazı, malzemelerin, ürünlerin veya bileşenlerin ani darbeler veya düşmelere maruz kaldığında darbe direncini veya dayanıklılığını değerlendirmek için kullanılan bir cihazdır. Darbe test cihazının bileşenleri, çalışma prensibi ve uygulamaları şunlardır (Chierichetti 2015):

1. Düşme Kulesi: Testin yapıldığı ana yapı.
2. Darbe Elemanı veya Ağırlık: Numuneye düşürülen belirli bir ağırlık ve şekle sahip kütle.
3. Numune Tutucu veya Sabitleme Aparatı: Testte numuneyi sabit tutan platform veya aparat.
4. Yükseklik Ayarlama Mekanizması: Darbe enerjisini kontrol etmek için düşme yüksekliğinin ayarlanmasını sağlar.
5. Bırakma Mekanizması: Darbe elemanını istenen yükseklikte tutan ve serbest bırakan bir düzenek.

6. Enstrümantasyon: Darbe olayını ölçmek ve kaydetmek için yük hücreleri, ivmeölçerler veya yüksek hızlı kameralar.

7. Veri Toplama Sistemi: Enstrümantasyondan gelen verileri toplar ve işler.

2.2 Ağırlık Düşürme Darbe Test Cihazları

Piyasada birçok düşük hızlı darbe test cihazı modeli bulunmaktadır. Cihazlar arasındaki temel farklar, maksimum düşme ağırlığı ve maksimum düşme yüksekliği gibi özelliklerdir; bu da enerji seviyelerini belirleyen faktörlerden biridir. Bu tip darbe test ekipmanlarını üreten şirketler, farklı müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için genellikle çeşitli özellik aralıklarına sahip bir cihaz serisi sunarlar. Ticari ağırlık düşürme cihazlarından bazıları ile bunların özellikleri ve işlevleri detaylı olarak bahsedilmiştir.

2.2.1 Instron CEAST 9000 serisi

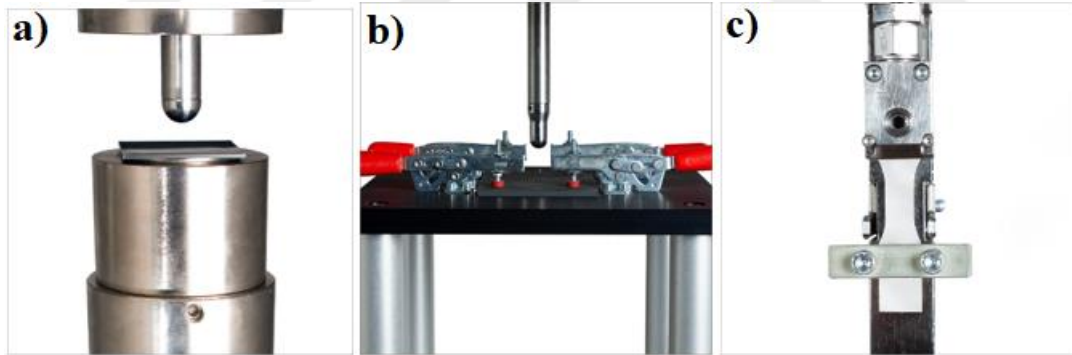
Instron Dynatup düşme ağırlığı darbe test makinesi yeni nesil Instron 9400 Serisidir. Bir ağırlık düşürme darbe test makinesi, tanımlanmış bir ağırlığın belirli bir yükseklikten ve belirli bir darbe enerjisi ve hızıyla bir numunenin veya bir bileşenin üzerine düştüğü bir malzemeyi kırmak veya hasar vermek için gereken enerjiyi belirlemek için kullanılır. Şekil 2.2’de gösterilen Instron 9400 Serisi düşme ağırlığı darbe testi makinesi, 0,3J-1800J aralığındaki tüm ana darbe testi standartlarıyla uyumludur.



Şekil 2.2 Instron 9400 Serisi düşme ağırlığı darbe test cihazı (İnt. Kyn. 1).

Bir ağırlık düşürme darbe test makinesi, kılavuzlu bir vurucunun numuneye dik ve ortalanmış darbesini gerçekleştirir. Kovan veya vurucu parça, uygun çapta (adet 20 mm) yarım küre şeklinde bir vurucu parçaya sahiptir ve kovan tutucusu ek ağırlıklarla donatılabilir. Uygun çapta (her biri 40 mm) pnömatik olarak çalıştırılan bir sıkıştırma halkasına kelepçelenen yuvarlak veya kare numuneler kullanılır.

Delinme testi yöntemi, delinme enerjisini değerlendirmek için çok eksenli bir darbe testidir. Malzemeye ve test prosedürüne bağlı olarak numunede nüfuz etme, ilk çatlaklar, kırılmalar ve arıza kırılmaları gibi hasarlar görülecektir. Levhaları, filmleri veya kaynaklı boruları test ederken, aletli bir tüp kullanılarak kuvvet ve deformasyon arasındaki ilişkinin elektronik olarak kaydedilmesi, veri toplamayı önemli ölçüde artırabilir. Boru ek parçası ile numune arasında meydana gelen sürtünmenin olumsuz etkilerini en aza indirmek için ISO 6603-2, ek parçanın ucunda bir yağlayıcı kullanılmasını önerir. 9450 ağırlık düşürme darbe test makinesi, otomatik ve tekrarlanabilir yağ uygulamasını garanti eden otomatik bir yağlama cihazıyla donatılmıştır. Delinme test yöntemi ve diğer darbe test yöntemleri Şekil 2.3’ de gösterilmiştir (İnt. Kyn. 1).



Şekil 2.3 Delinme test yöntemleri a) delinmeye karşı b) darbe sonrası sıkıştırma c) çekme darbe test teknikleri (İnt. Kyn. 1).

Delinme testi, standart laboratuvar atmosferi altında veya düşük veya yüksek sıcaklıklarda, destek fikstürünü ve numuneleri barındıran termostatik bir odayla gerçekleştirilebilir. Şartlandırmayı ve sıcaklığı değiştirerek ve herhangi bir darbe hızında kontrollü bir şekilde test ederek, çoğu plastik için sünek hasar modundan kırılğan hasar moduna geçişler belirlenebilir. Instron 9440 ve 9450 ağırlık düşürme darbe test makineleri, 0°'nin altında ve üstünde delinme darbe testlerine olanak sağlamak için isteğe bağlı termostatik bölmelerle donatılabilir (İnt. Kyn. 1).

2.2.2 Imatek IM10 ve DWTT serisi

M100 serisindeki modeller hem standart formdaki numuneler hem de son ürünler üzerinde çok çeşitli orta enerjili darbe testlerini gerçekleştirmek için oldukça çok yönlü test cihazlarıdır. Yüksek hızlı testler için değiştirilebilir kütle taşıyıcıları, esnek fikstür seçenekleri ve isteğe bağlı hızlandırma özelliklerine sahiptirler. Avantajları, diğerlerinin yanı sıra havacılık, otomotiv ve akademik sektörlerdeki müşteriler tarafından takdir edilmektedir ve metalleri, polimerleri ve kompozit malzemeleri test etmek için kullanılmaktadırlar. Imatek IM100 Serisi düşme ağırlığı darbe testi cihazı Şekil 2.4’de gösterilmiştir (İnt.Kyn.2).



Şekil 2.4 Imatek IM100 Serisi düşme ağırlığı darbe testi cihazı (İnt.Kyn.2).

- Laboratuvar düzeyindeki enstrümantasyon ve çok sağlam yapı, doğru ve tekrarlanabilir sonuçlar üretir.
- T-kanallı tabanlı geniş numune alanı, montajların ve bitmiş ürünlerin test edilmesi için büyük esneklik sağlar.
- Kılavuzlu kütle sistemi, darbe geometrisinin test boyunca doğru olmasını ve sürtünmeden kaynaklanan hataların en aza indirilmesini sağlar.
- Doğru ve tekrarlanabilir düşme parametreleri, testler arasında tutarlılık sağlar.

- Kolayca değiştirilebilir kontak parçaları bakımı kolaylaştırır ve sahip olma maliyetini azaltır.
- Yüksek düzeyde güvenlik, operatörün olası zararlarını önler.
- Yüksek kaliteli, kullanımı kolay kontrol ve analiz yazılımı tutarlılık sağlar ve verimi artırır.
- Darbe kütle aralığı: 2kg ila 100kg.
- Düşme yüksekliği aralığı: 50 mm ila 3000 mm.
- Darbe hızı aralığı: 1 m/s ila 7,7 m/s veya hızlanma seçeneğiyle 20 m/s ila 30 m/s.
- Sıcaklık aralığı (isteğe bağlı): -70°C ila +200°C.

Standartlar;

- Plak örs: ASTM D3763, ASTM D5628, EN ISO 6603.
- Film örsü: ASTM D1709, ISO 7765.
- Kompozit kupon örsü: ASTM D7136, AITM1-0010, JIS K 7089.
- Yüksek hızlı çekme fikstürü: Düz ve dambıl numuneleri için 1000/s'yi aşan gerinim oranları uygulayabilen.
- Silindir ezilme örsü: metalik malzemelerin akış gerilimi davranışını araştırmak için.
- Charpy ve Izod fikstürü: ASTM E23, EN 10045, ISO 148, ISO 179, ISO 180, ISO 14556, ISO 13802.
- Enerji emicilerin yastıklama performansını ölçmek için kullanılan düz örs

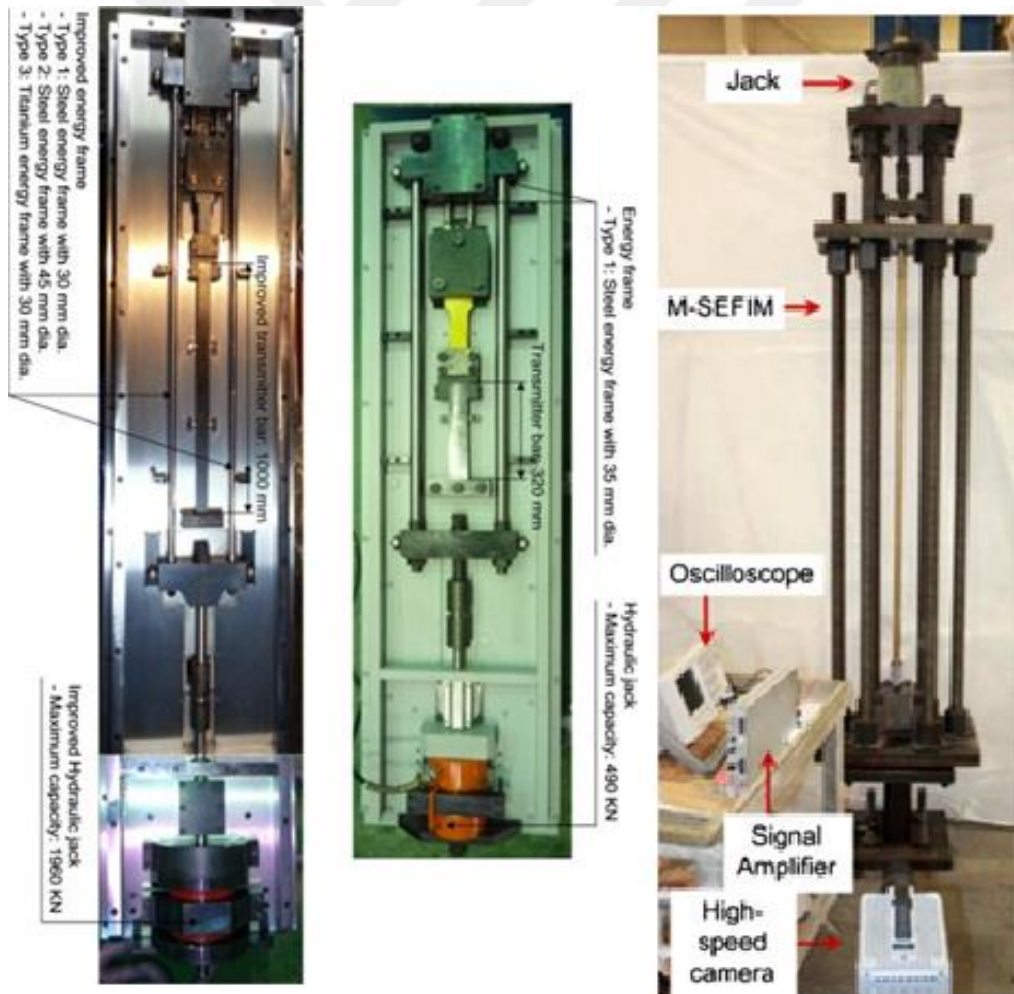
Seçenekler;

- Yüksek hız: ilave 1000 J darbe enerjisi ve 20 m/s'ye kadar (arpma kütesine bağlı olarak) arpma hızları sağlar.
- Numune sıyırıcıları: Test sırasında bağlanma meydana geldiğinde numuneyi ve vurucuyu ayırmak için kullanılır.
- İkinci darbe önleme sistemi: Geri tepme testlerinde kütle taşıyıcının numuneye ikinci kez çarpmasını önlemek için.
- Sıcaklık koşullandırma odası: numuneleri -70°C ila +200°C arasındaki kontrollü sıcaklıklarda test etme olanağı sağlar.

- Dinamik yer değiştirme sistemi: Darbe boyunca numunenin deformasyonunun sürekli olarak yüksek hızda ölçülmesini sağlar. Enerji absorpsiyon testleri gibi büyük deformasyonların mevcut olduğu durumlarda kullanılıştır.
- Yüksek hızlı video: Tam entegre kamera kontrolü ve video dizisinin alınması ve görüntü izleme ve video metrolojisini içeren analizdir (İnt.Kyn.2).

2.2.3. Tasarım ve İmalatı Yapılan Düşen Ağırlık test Cihazları

Hazır olarak satılan darbe test cihazlarının satış fiyatlarının çok yüksek olması sebebi ile bazı ülkelerde akademisyenle bu tür cihazları imalatını yapmaya çalışmışlardır. şekil 2.5’de daha önce tasarlanmış ve üretimleri yapılmış serbest düşme test cihazları görülmektedir.



şekil 2.5. Daha önce tasarlanmış cihazlar (Anonim 2019).

2.3. Kompozit Malzemeler

Kompozit, iki veya daha fazla farklı malzemenin belirli bir tasarım ve yapıda bir araya getirilerek oluşturulmuş malzeme türüdür. Bu malzemeler genellikle bir matris malzemesi ile takviye lifleri veya partiküllerin kombinasyonundan oluşur.

Bir kompozit malzemede matris genellikle polimerik, metalik veya seramik yapıya sahip olabilir. Takviye elemanları ise cam elyafı, karbon elyafı, aramid lifleri gibi yüksek mukavemetli ve hafif malzemelerden olabilir.

Bu tip malzemelerin avantajları arasında yüksek mukavemet/düşük ağırlık oranı, kimyasal dayanıklılık, korozyon direnci ve özel tasarım gereksinimlerine uygunluk göstermektedir. Bu nedenle kompozitler havacılık endüstrisinden otomotiv sektörüne kadar çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Örnek olarak karbon fiber takviyeli polimer kompozitler (CFRP), hafif yapısıyla uçaklar ve spor araçların üretiminde kullanılmaktadır (Ozkan vd. 2020). Kompozit malzemelerin bu geniş uygulama alanlarına rağmen üretim süreçleri kompleks olduğu için teknolojilerinin geliştirilmesi sürekli bir çalışma konusu olmaya devam etmektedir.

2.3.1 Kompozit Çeşitleri

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla bileşenin bir araya gelmesiyle oluşan ve bileşenlerinden farklı özelliklere sahip olan malzemelerdir. Kompozit malzemeler, matris malzemesi ve takviye elemanlarından oluşur. Çeşitli kompozit malzeme türleri şunlardır:

1. Elyaf Takviyeli Kompozitler:

- Karbon Fiber ve Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler (CFRP ve GFRP)
- Aramid Fiber Takviyeli Kompozitler (Kevlar)

2. Parçacık Takviyeli Kompozitler:

- Seramik ve Metal parçacık takviyeli kompozitler

3. Yapısal Kompozitler:

- Laminatlar ve Sandviç paneller

4. Karbon-Karbon Kompozitler:

- Karbon fiber takviyeli karbon matrisli kompozitler

5. Metal Matrisli Kompozitler (MMC):

- Alüminyum ve Titanyum matrisli kompozitler

6. Seramik Matrisli Kompozitler (CMC):

- Silisyum karbür takviyeli seramik kompozitler
- Alümina takviyeli seramik kompozitler

7. Polimer Matrisli Kompozitler (PMC):

- Termoset polimer matrisli kompozitler (Epoksi, Polyester)
- Termoplastik polimer matrisli kompozitler (Polipropilen, Poliamid)

8. Hibrit Kompozitler:

- İki veya daha fazla takviye elemanı içeren kompozitler (Karbon-cam elyaf hibrit kompozitler)

Bu kompozit malzeme türleri, farklı endüstrilerde ve uygulamalarda kullanılmaktadır. Her bir kompozit türü, belirli avantajlar ve dezavantajlar sunar ve uygulama gereksinimlerine bağlı olarak seçilir.

2.3.2 Elyaf Takviyeli Kompozitler

Elyaf takviyeli kompozitler, yüksek mukavemet ve sertlik özellikleri nedeniyle mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir malzeme sınıfıdır. Bu kompozitler, sürekli veya süreksiz elyafların bir matris malzemesi içine gömülmesiyle oluşturulur. Elyaf, kompozite yük taşıma kapasitesi ve yapısal dayanım sağlarken,

matris malzemesi elyafları bir arada tutar, yükü elyaflar arasında dağıtır ve kompoziti çevresel etkenlerden korur. Başlıca elyaf takviyeli kompozit türleri şunlardır:

Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitler: Karbon elyaflar, yüksek mukavemet, sertlik, düşük yoğunluk ve mükemmel yorulma direnci sağlar. Yaygın olarak kullanılan karbon elyaf türleri arasında PAN (Poliakrilonitril) ve zift esaslı elyaflar bulunur. Karbon elyaf takviyeli kompozitler, epoksi, polyester, vinilester veya termoplastik matrisler ile birleştirilir. Uçak, uzay araçları, spor malzemeleri, otomotiv ve rüzgâr türbini kanatları gibi hafif ve yüksek mukavemetli uygulamalarda kullanılırlar (Ozkan vd. 2020).

Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler: Cam elyaflar, yüksek mukavemet, elektriksel yalıtkanlık, ısıl kararlılık ve kimyasal dayanım sağlar. E-cam, S-cam ve C-cam gibi farklı cam elyaf türleri mevcuttur. Cam elyaf takviyeli kompozitler, epoksi, polyester veya vinilester matrisler ile birleştirilir. Otomotiv, denizcilik, inşaat, spor malzemeleri ve rüzgâr türbini kanatları gibi çeşitli uygulamalarda kullanılırlar (Rajak vd. 2021).

Aramid Elyaf Takviyeli Kompozitler: Aramid elyaflar (Kevlar, Twaron), yüksek mukavemet, sertlik, tokluk ve darbe dayanımı sağlar. Düşük yoğunlukları ve mükemmel yorulma dirençleri ile bilinirler. Aramid elyaf takviyeli kompozitler, epoksi veya termoplastik matrisler ile birleştirilir. Balistik koruma, halatlar, lastikler, uçak ve helikopter parçaları gibi uygulamalarda kullanılırlar (Dharmavarapu ve MBS 2022).

Doğal Elyaf Takviyeli Kompozitler: Doğal elyaflar (kenevir, jüt, sisal, bambu vb.), düşük yoğunluk, biodegradable olma ve sürdürülebilirlik gibi avantajlar sunar. Doğal elyaf takviyeli kompozitler, genellikle biyobozunur polimerler veya geleneksel termoset/termoplastik matrisler ile birleştirilir. Otomotiv iç panelleri, inşaat malzemeleri ve ambalaj uygulamalarında kullanılırlar (Akhil vd. 2023).

Seramik Elyaf Takviyeli Kompozitler: Seramik elyaflar (alümina, silisyum karbür, bor karbür vb.), yüksek sıcaklık dayanımı, sertlik, aşınma direnci ve kimyasal kararlılık sağlar. Seramik matrisler (alümina, silisyum karbür, cam seramikler vb.) ile

birleştirilirler. Yüksek sıcaklık uygulamaları, aşınmaya dayanıklı parçalar, uzay araçları ve gaz türbini bileşenleri gibi alanlarda kullanılırlar.

Elyaf takviyeli kompozitlerin özellikleri, elyaf türü, matris malzemesi, elyaf hacim oranı, elyaf yönlendirmesi ve üretim yöntemine bağlı olarak değişir. Bu kompozitler geleneksel malzemelere kıyasla yüksek özgül mukavemet, sertlik, yorulma direnci ve tasarım esnekliği sunar. Bununla birlikte, hasar mekanizmaları karmaşık olabilir ve onarım/geri dönüşüm süreçleri zorlayıcı olabilir (Wang vd. 2021).



3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kalınlıkları aynı polimer XPS ve EPS köpükleri kullanılarak yoğunlukları farklı cam elyaflar ile takviye edilerek kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Takviye edilen cam elyaflar 200 gr/m² ve 300 gr/m² özelliğinde polimer içerikli reçine ile vakum torbalama yöntemi ile birleştirilmiştir. Üretilen numunelere mekanik özelliklerinin tespiti için, üç nokta eğme, basma ve darbe testleri uygulanmıştır.

3.1 Kullanılan Materyaller

3.1.1 Poliüretan Köpük (XPS-EPS)

Tabaka malzemesi olarak 20 mm kalınlıktaki TS EN 13164+A1 ve EN 13163 standartta uygun XPS ve EPS malzemesi tercih edilmiştir. Kapalı hücreli, düşük yoğunluğa ve yüksek rijitliğe sahip bir malzeme olan köpük esaslı bir malzemelerdir. (Mohamed vd. 2016). Bu malzeme düşük nem çekme özelliğine, sıkıştırılabilirlik, basma sünmesi, belirli boyutta sıcaklıkta boyut kararlılığı, termal iletkenliğe ve ısı ile şekil verilebilme özelliğine sahiptir. Ayrıca, kimyasal direnci oldukça iyidir. Hafif ve rijit bu tür tabakalar, çekirdek malzemesi olarak kullanımı yaygındır. Tabakalı köpükler, otomotiv sektöründe başta tampon olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır (Ellouze vd. 2020). Otomobillerde güvenlik önemli bir faktördür. EPS ve XPS köpükler, darbe emilimi özellikleri sayesinde çarpışma sırasında enerjiyi dağıtarak yolcuları korumaya yardımcı olabilir (Masso-Moreu ve Mills 2003).

EPS köpük, genleşmiş polistiren (EPS) köpüğü tanımlamak için kullanılır; ancak 'Strafor' aslında ısı yalıtımı ve zanaat uygulamaları için yapılmış kapalı hücreli ekstrüde polistiren köpük için ticari markalı bir terimdir. EPS köpük, herhangi bir genleşmiş polistiren formu için doğru terimdir. Modifiye edilmemiş EPS köpükleri, genleşebilir polistirenden (PS) yapılmış kapalı hücre zarlarına sahip hücresel bir mikro yapıya sahiptir ve yoğunluğu tipik olarak 50 kg/m³'ten azdır. EPS günümüzde dünyada çeşitli endüstriyel alanlarda ambalaj veya izolasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Genişletilmiş Polistiren izolasyonu hafif, sert, kapalı hücreli bir izolasyondur. EPS, yüke ve geri doldurma kuvvetlerine dayanacak çeşitli basınç mukavemetlerinde mevcuttur. Bu kapalı hücreli yapı minimum su emme ve düşük buhar kalıcılığı sağlar.



şekil 3.1 EPS tabakalı köpük (İnt. Kyn. 3).

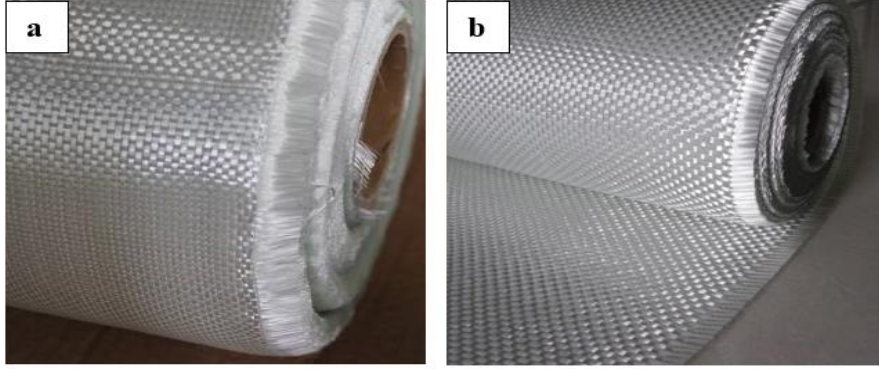
Epoksi reçine MGS L285 sistemi, diğer reçinelerle birlikte kullanılabileceği gibi polyester, vinilester, farklı epoksi ve yapıştırıcılarla da uyumlu bir yapıdadır. şekil 3.1 EPS tabakalı köpük, şekil 3.2’de ise XPS tabakalı köpük moleküler dağılımı granüller ve tabaka hali gösterilmektedir.



şekil 3.2 XPS tabakalı köpük (İnt. Kyn. 4).

3.1.2 Cam Elyaf

Cam elyaf, cam iplikleri bir araya getirilerek oluşturulan bir malzemedir. Cam elyafın dayanıklı, hafif ve yüksek mukavemet özellikleri nedeniyle geniş bir endüstriyel uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Resim 3.1’de tez çalışmasında kullanılan 200gr/m² ve 300gr/m² özelliğindeki cam elyaflar gösterilmiştir.



Resim 3.1 Cam elyaf **a)** 200gr/m² **b)** 300gr/m² (İnt. Kyn. 5).

Bazı avantajları şunlardır;

- Yüksek satış değeri, farklı tiplerde ve farklı ihtiyaçlara uygun hale getirilmesine olanak sağlar.
- Cam elyafların fiyatları diğer elyaflara göre daha ucuzdur.
- Cam elyafların çekme mukavemeti oldukça yüksektir, bu da malzemenin dayanıklılığını artırır.
- Cam elyaf iyi bir elektrik yalıtıcısıdır, yani elektriği iyi bir şekilde yalıtır ve iletmez.
- Bu elyaflar korozyif ortamlarda kullanılabilmesi için kimyasal dirençleri yüksektir.
- Cam elyaflar uygun olarak termal dirençlere sahiptir.
- Farklı kimyasal maddeler karşısında dirençler gösterebilirler.
- Cam elyaflarının çekme mukavemeti oldukça iyidir ve birim ağırlık başına düşen dayanıklılığı çelikten bile daha fazladır (Aslan 2017).

Bazı dezavantajları şunlardır,

- Cam elyafı nispeten kırılgandır ve kabadır.
- Cam elyaflar taşıma esnasında yıpranmaya karşı hassastır.
- Bu elyafların yorulma dirençleri düşüktür.
- Isıl direnç kat sayıları düşüktür ve cam elyafları yanmaya karşı dirençlidir, ancak yüksek sıcaklıklarda yumuşayabilirler.
- Cam elyafları nemi absorbe etmez veya tutmaz. Ancak cam elyafı kompozit malzemelerde, matriks ile cam elyaf arasında nemden dolayı çözülme sorunu

olabilir. Bu sorunu önlemek için özel elyaf kaplama işlemleri uygulanır.

- Cam elyafları elektrik iletkenliği göstermez, tam tersine yalıtkan özelliklere sahiptirler. Bu özellikleri sayesinde yalıtkan malzemelerin gerektiği uygulama alanlarında kullanılan elyaflı malzemeler tercih edilebilir (Aslan 2017).

3.1.3 Epoksi ve Reçine

Epoksi, iki bileşenli bir polimer malzemedir. Genellikle sıvı bir reçine ve sertleştirici olarak adlandırılan bir katalizör içerir. Bu iki bileşen karıştırıldığında kimyasal reaksiyona girer ve sertleşir, sonucunda dayanıklı ve sert bir plastik malzeme oluşur. Epoksi reçinelerin bazı önemli özellikleri şunlardır;

- Yüksek mukavemet: Epoksi reçineler, yüksek mukavemet özelliklerine sahiptir. Bu nedenle, sağlam ve dayanıklı yüzeyler oluşturmak için tercih edilirler.
- Kimyasal direnç: Epoksi reçineler, kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. Asitler, bazlar, çözücüler ve diğer agresif maddelere karşı direnç gösterirler.
- Yüksek yapışma özelliği: Epoksi reçineler, birçok farklı yüzeye mükemmel bir şekilde yapışabilirler. Ahşap, metal, beton, seramik ve plastik gibi malzemelerle iyi bir şekilde uyum sağlarlar.
- Düşük darbe emilimi: Epoksi reçineler, darbeye karşı iyi bir direnç gösterirler. Bu özellikleri, kompozit malzemelerin üretiminde kullanıldıklarında yapısal güvenlik sağlar (Şimşir 2020).

Epoksi reçinelerin kullanımı genellikle aşağıdaki adımları içerir:

- Hazırlık: İki bileşenli epoksi reçineler genellikle belirli oranlarda karıştırılmalıdır. Üretici talimatlarına uygun olarak doğru miktarlarda reçine ve sertleştirici hazırlanmalıdır.
- Karıştırma: Reçine ve sertleştirici bir karıştırma kabında iyice karıştırılmalıdır. Bu, kimyasal reaksiyonun başlaması için gereklidir. Karıştırma işlemi genellikle bir spatula, karıştırma çubuğu veya karıştırıcı bir cihaz kullanılarak yapılır.
- Uygulama: Karıştırılan epoksi reçine, uygulama yapılacak yüzeye dökülür veya

sürülür. Bu noktada, reçine, uygulama yöntemine bağlı olarak bir fırça, rulo veya sprey ile düzgün bir şekilde yayılmalıdır (Şimşir 2020).

Kürleşmesi için reçine karışımını oluşturan bir kimyasallardır. Tabaka yapılı malzemelerin üretimi esnasında MGS L285 epoksi malzemesi ve MGS H285 sertleştiricisi karıştırılarak uygulanmıştır. Resim 3.2'de ise bu üretim sürecinde kullanılan epoksi ve reçine gösterilmiştir (Şimşir 2020).



Resim 3.2 Epoksi ve reçine.

3.2 Üretim Yöntemleri ve Testler

Yapılan tez kapsamında vakum torbalama ve el ile yatırma yöntemi kullanılarak numune üretimleri yapılmış olup cihaz tasarımı gerçekleştirildikten sonra darbe testleri ile kıyaslamalar yapılmıştır.

3.2.1 Vakum Torbalama Yöntemi

Vakum torbalama, kompozit yapıların üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, kompozit kumaş malzeme bir kalıp içerisine el ile yerleştirilir ve reçine el ile kalıp içine dağıtılır. Vakum torbalama üretim metodu, el ile yerleştirme yöntemiyle kompozit yapı üretiminin dezavantajlarını ortadan kaldırarak dayanıklı ve hafif kompozit yapıların üretilmesini sağlar. Vakum torbalama yönteminde negatif basınç uygulanması, reçine ve kompozit kumaş arasındaki havanın dışarıya çekilmesini sağlar. Hava kabarcıklarından

arınmış sandviç yapılar üretilebilir. Aynı zamanda vakum sayesinde reçine, bütün tabakalara tam olarak nüfuz edebilir. Bu da kompozit yapının içindeki hava kabarcıklarını minimize ederek çatlak oluşumunu engeller ve yapının mukavemetini artırır. Vakum uygulaması sonucunda fazla reçine emilerek, yapının lif-reçine oranı artar. Reçinenin tüm tabakalar arasında homojen bir şekilde yayılması sağlanır ve bu sayede homojen bir karışım yapılmış olur. Aynı zamanda, vakum uygulaması sırasında tabakalar birbirlerine baskı uygularlar, bu da tabakaların birleşim mukavemetini artırır (Turgut vd. 2007).

Sonuç olarak, vakum torbalama yöntemi, kompozit yapıların üretiminde kullanılan etkili bir tekniktir. Bu yöntem, hava kabarcıklarından arınmış ve homojen bir yapı elde etmeyi sağlar. Aynı zamanda, yapıların daha sağlam, hafif ve mukavemetli olmasını sağlar. Vakum torbalama yöntemi, kompozit yapı üretiminde tercih edilen bir yöntemdir. Vakum torbalama yöntemi Resim 3.3’de gösterilmiştir.

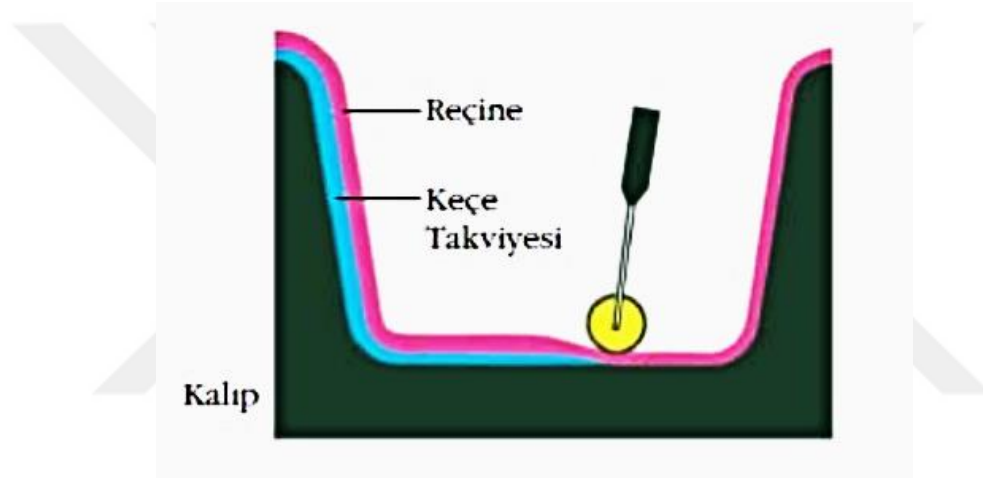


Resim 3.3 Vakum torbalama yöntemi.

3.2.2 El Yatırma Yöntemi

El yatırma yöntemi, düşük ve orta hacimli temas kalıplama işlemlerinde kullanılan basit bir yöntemdir ve genellikle büyük boyutlu yapısal parçaların üretiminde tercih edilir. Bu teknik, kayık teknesi, tanklar, sandıklar gibi parçaların üretiminde sıklıkla kullanılır. El yatırma tekniğinde, keçe veya dokuma şeklindeki elyaf malzeme, hazırlanan bir kalıp üzerine veya içine yerleştirilir ve fiber malzeme reçine ile ıslatılır. İstenilen kalınlığa ulaşılan kadar bu işlem tekrarlanarak sandviç kompozit yapılır. Reçine içindeki hava kabarcıklarının oluşmasını engellemek için bir rulo yardımıyla çıkarılır. Sertleştirici, oda

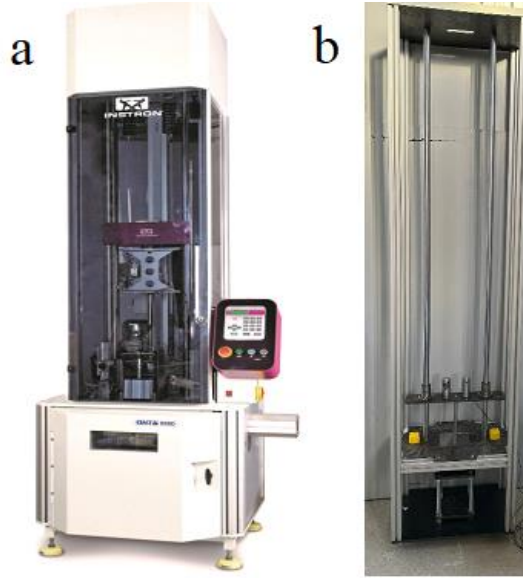
sıcaklığında reçineyi sertleştirerek malzemenin dayanıklılığını artırır. El yatırma tekniğinde, en yaygın olarak kullanılan reçine türleri polyester ve epoksidir (Deniz 2005). Elle yatırma yöntemi, diğer yöntemlere göre daha kolay ve pratik olan bir üretim yöntemidir. Bu yöntemde, önceden hazırlanan kalıp içerisine yerleştirilen kumaş halindeki karbon fiberler, bir fırça yardımıyla reçine ile kaplanır ve fiberlerin üzerinde boşluk kalmayacak şekilde düzgün bir şekilde yayılır. El yatırma yönteminde, genellikle epoksi ve polyester gibi uygun reçineler kullanılır. Ayrıca fenolik ve vinil ester reçineler de tercih edilebilir. Reçine ve fiber arasında yapışmayı önlemek için jelkot (ayırıcı) uygulanır. Şekil 3.3’de el yatırma işleminin şematik gösterimi şematik olarak gösterilmektedir.



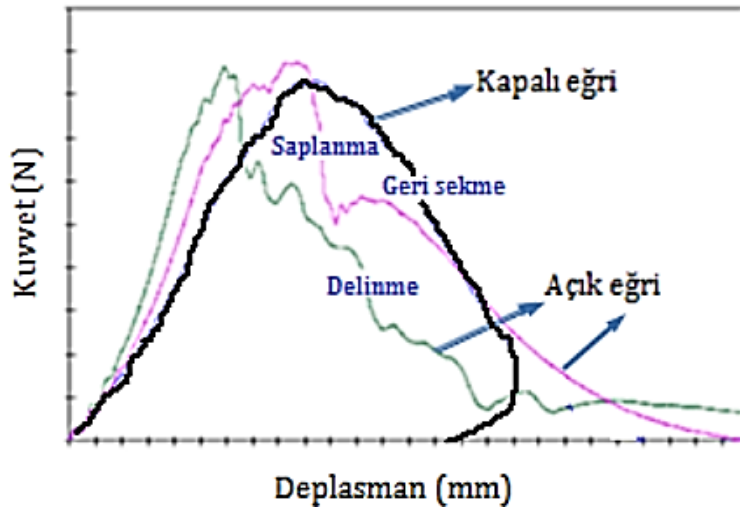
Şekil 3.3 El yatırma işleminin şematik gösterimi (Şimşir 2020).

3.2.3 Darbe Test Yöntemi

Tabakalı kompozit malzemelerin darbe direncini değerlendirmek için çeşitli testler kullanılır. Bu testler, malzeme üzerine uygulanan darbe simülasyonlarıyla yapılan ölçümler aracılığıyla gerçekleştirilir. Farklı test teknikleri darbe oluşturmak için kullanılabilir. Ancak, kompozit malzemelerin darbe davranışını karakterize etmek için evrensel kabul görmüş bir standart test tekniği veya yöntem bulunmamaktadır. Bu durum, farklı kaynaklardan elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında zorluklar ortaya çıkarabilir ve uygun bir darbe modeli geliştirmeyi zorlaştırabilir. Buna rağmen, kompozit malzemelerin darbe direncini belirlemek için test yöntemi ve cihazı yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.4’de test yönteminde kıyaslamada kullanılan Instron Ceast 9350 ve imalatı yapılan cihaz gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Deney cihaz görüntüleri a) Instron ceast 9350 b) Tasarım ve imalatı yapılan test cihazı



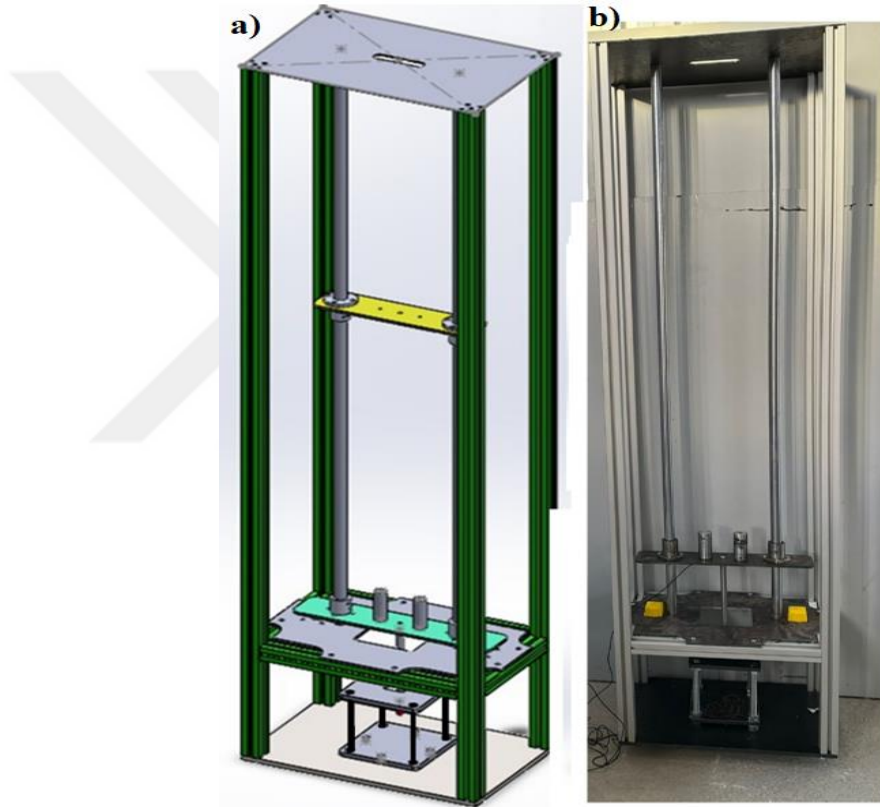
Şekil 3.5 Darbe testi sonucu kuvvet – yer değiştirme eğrileri (Öndürücü vd. 2018).

Darbe testlerinde genellikle üç ana hasar modu gözlemlenir: geri sekme, nüfuziyet ve delinme. Şekilden görüldüğü üzere, düşük enerjili darbelerde (örneğin geri sekme eğrisinde olduğu gibi), eğri parabolik bir forma sahiptir ve dağ şeklinde bir yapı sergiler. Uygulanan darbe enerjisinin artmasıyla birlikte oluşan kuvvet de artar; saplanma ve delinme eğrilerinde görüldüğü üzere maksimum kuvvet değeri hemen hemen sabit bir değerde kalır. Numunede delinme meydana geldiğinde, teorik olarak kuvvetin sıfır olması gerekir, ancak vurucu ve numune arasındaki sürtünme nedeniyle eğrinin son kısmı yatay eksene paralel şekilde ilerler (Öndürücü vd. 2018). Şekil 3.5'de darbe testi sonucu kuvvet-yer değiştirme eğrileri gösterilmektedir.

4. BULGULAR

4.1 Darbe Test Cihazı Tasarım ve İmalatı

Bu deneyin amacı bir çekicin darbe etkisi altında olan numunenin çarpma esnasında kuvvet-zaman grafiklerini elde etmektedir. Kuvvet birimi “Newton” birim cinsinden, zaman ise saniye cinsinden bulunmaktadır. Tasarlanmış ve imalatı yapılmış darbe test cihazının genel görünüşü Şekil 4.1’ de verilmiştir.

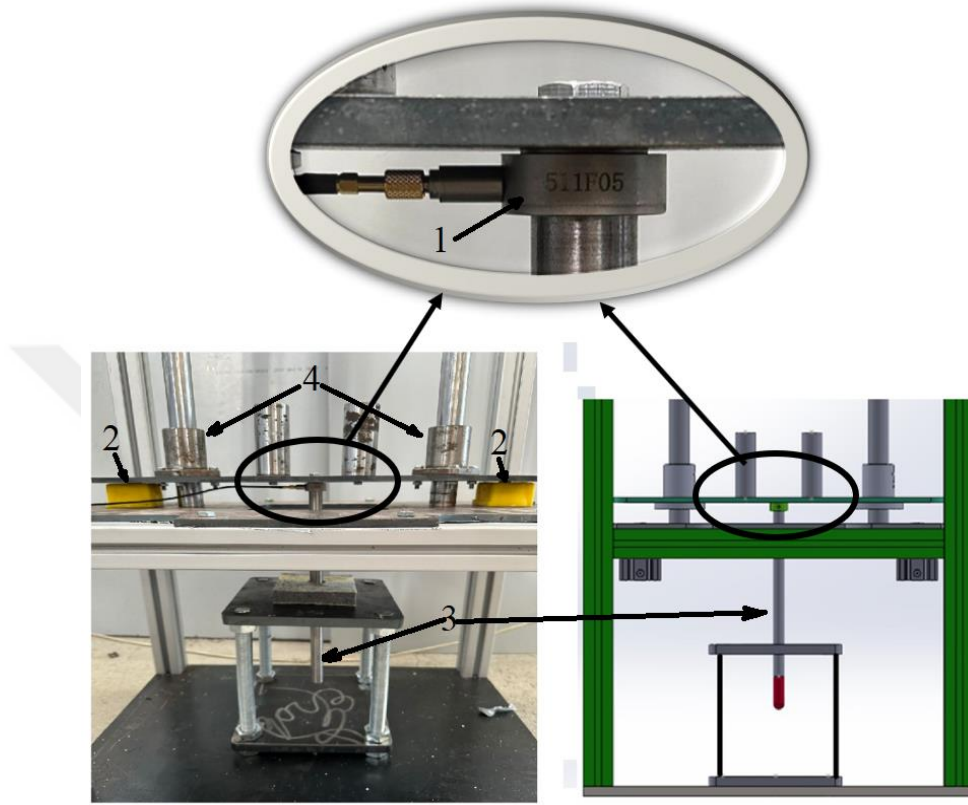


Şekil 4.1 Düşük hızlı serbest düşme test cihazı a) SolidWorks 3D tasarımı b) üretilen test cihazı.

Geliştirilen darbe test makinesinin temel özellikleri şunlardır;

- Maksimum darbe hızı = 6 m/s;
- Maksimum darbe enerjisi = 110 J;
- Vurucu uç ağırlık toplam = 6300 gr;
- Tüm test koşullarında tek darbe;
- Numune Boyutu (En x Boy mm) = 100x100

Cihazın tasarımında sürtünmesi en az olan iki adet lineer rulmanlar kullanılmıştır. Vurucu ucun hemen üzerine 50 kN luk piezo kuvvet sensörü yerleştirilmiştir. Sensörün zarar görmemesi için iki adet güvenlik takozu yerleştirilmiştir (şekil 4.2).



şekil 4.2 Darbe test cihazı ayrıntıları 1. Darbe Sensörü, 2. Güvenlik Takozları, 3. Vurucu Uç, 4. Lineer Rulmanlar.

Darbe enerjisinin belirlenmesinde (E_i), absorbe edilen enerji miktarı (E_a) olmak üzere iki önemli parametre vardır. Darbe enerjisi (E_i), darbe esnasında vurucu ucun enerjisinin numuneye aktarılması olarak tanımlanır. Darbe enerjisi için vurucu uca potansiyel enerji (istenilen yüksekliğe çıkarılması) olarak kazandırılır ve eşitlik (4.1)'deki şekilde ifade edilir.

$$E_i = mgh + mgd_{max} \quad (4.1)$$

Burada;

m = Vurucu kütlesi, h = Vurucunun darbe test cihazında bulunduğu yükseklik, d_{max} = Darbeden sonra numuneni maksimum çökmesi, olarak ifade edilmektedir.

Test numunesine darbe enerjisi, vurucu ucun serbest bırakılması ile yükseklik farkından doğan potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesi eşitlik, (4.2)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$mgh + mgd_{max} = \frac{1}{2}mV^2 \quad (4.2)$$

Burada;

V =vurucunun sahip olduğu hız. Vurucu ile numunenin temasından önce test numunesindeki çökme miktarı sıfır olduğu için ($d_{max}=0$), Eşitlik (4.2) aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$mgh = \frac{1}{2}mV^2 \quad (4.3)$$

Eşitlik (4.3)'e göre vurucu ile numunenin temasından hemen önceki hızı da Eşitlik (4.4)'deki gibi ifade edilmiştir.

$$V = \sqrt{2gh} \quad (4.4)$$

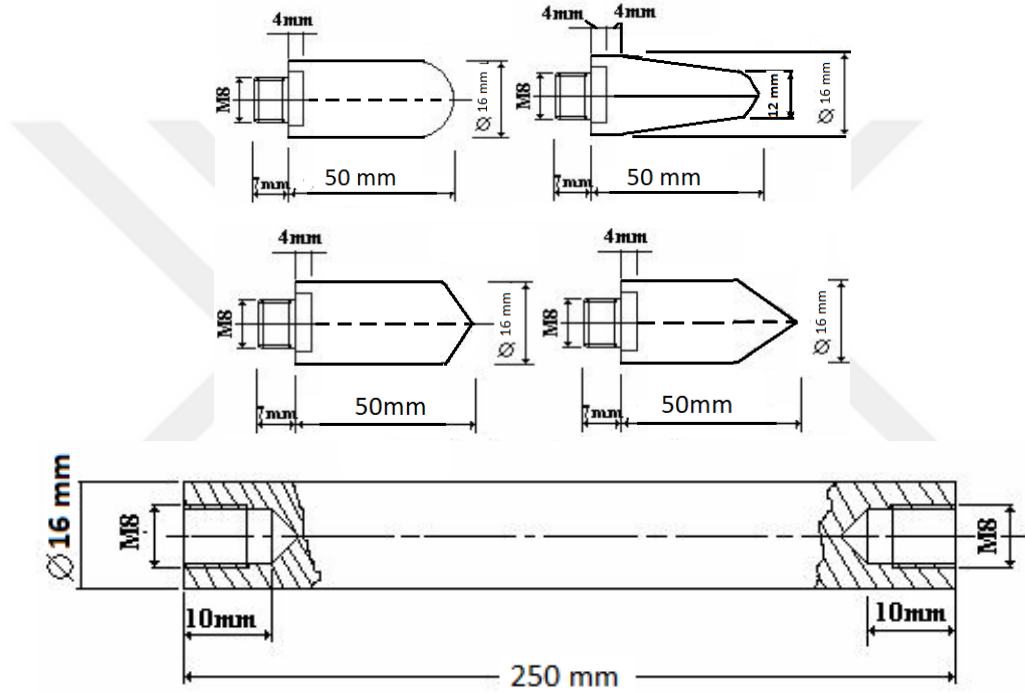
Eşitlik (4.4)'de ifade edilen hız ifadesi vurucunun test numunesine temas anındaki sahip olduğu teorik hızdır.

4.1.1 Vurucu Uç

Dayanım açısından bakıldığında, vurucu uç (çekiç) tasarımdaki en kritik kısmıdır. Çünkü çarpma sırasında temas kuvveti tarafından büyük oranda gerilmeye maruz kalmaktadır. Tasarımda toplam ağırlık 6300 g. olacak şekilde imal edilmiştir. Bunun sebebi cihaz tasarımında kullanılan silindirik mil boylarının 2m yüksekliğinde olması sebebi ile toplam enerjinin 100 J ün üzerine çıkılabilmesi amaçlanmıştır. Vurucu uçlar değiştirilebilir şekilde tasarlanmıştır. Literatür incelendiğinde kompozit malzemelerin

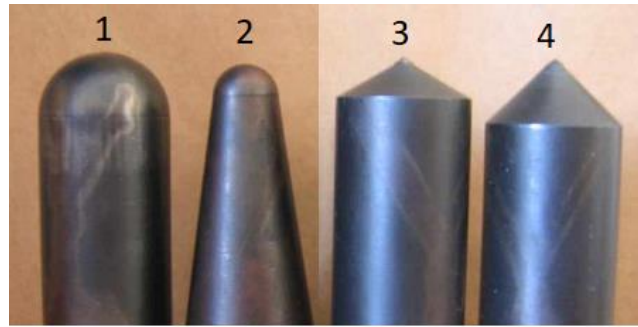
darbe testleri sırasında farklı tasarımlar ile karşılaşılmıştır. En çok karşılaşılan uç profil tasarımları göz önünde bulundurularak aşağıda kriterlerin üretilmesi karar verilmiştir.

- 16 mm yarı-küresel
- 12 mm yarı-küresel,
- 120° konik
- 90° konik uçlu vurucular
- Ana vurucu uç Şekil 4.3' teki ölçülerde olacaktır. Tüm uçlar sertleştirilmiş çelikten yapılacaktır (Sertlik 45 Hrc ve üzerinde olacaktır)



Şekil 4.3 Vurucu uç ana gövdesi ve vurucu uç tasarımları.

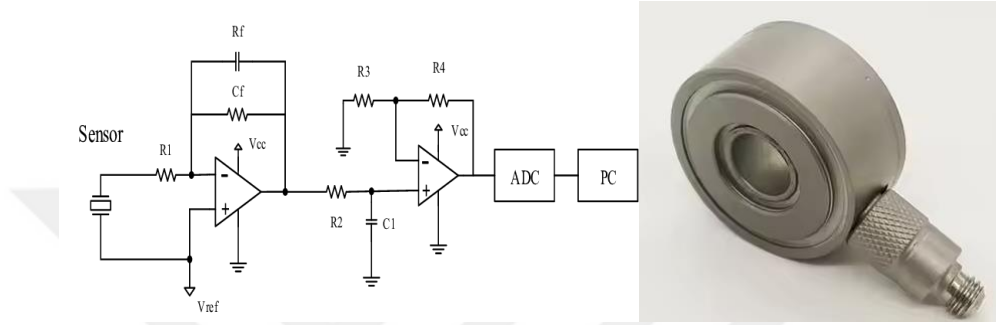
Tasarımlar göz önüne alınarak yapılan imalat sonrası vurucu ucun kısımları Resim 4.1 de gösterilmiştir.



Resim 4.1 Vurucu uçlar.

4.1.2 Kuvvet Sensörü

Piezoelektrik kuvvet sensörü, mekanik bir kuvvetin uygulandığı veya etkisi altında olduğu durumlarda elektriksel sinyaller üreten bir tür sensördür. Piezoelektrik etki, belirli kristal yapılara veya malzemelere bir mekanik gerilim veya deformasyon uygulandığında bu malzemelerin yüzeyinde elektriksel potansiyel farklarının oluşmasına dayanır.



Şekil 4.4 Piezoelektrik sensör için sinyal işleme devresinin şeması ve sensör (Khandai ve Jain 2017).

Bir piezoelektrik kuvvet sensörü (Şekil 4.4), tipik olarak bir piezoelektrik kristal veya malzeme içerir ve bu malzemeye uygulanan mekanik kuvvet, kristalin yüzeyinde bir elektriksel sinyal üretir. Bu sinyal daha sonra bir ölçüm cihazı veya bir veri toplama sistemi tarafından işlenebilir. Kuvvetin büyüklüğü, üretilen elektriksel sinyalin büyüklüğüne orantılıdır, bu nedenle piezoelektrik kuvvet sensörleri, hassas kuvvet ölçümleri yapmak için kullanılır.

Çizelge 4.1 Cihaz imalatında kullanılan kuvvet sensörü teknik özellikleri.

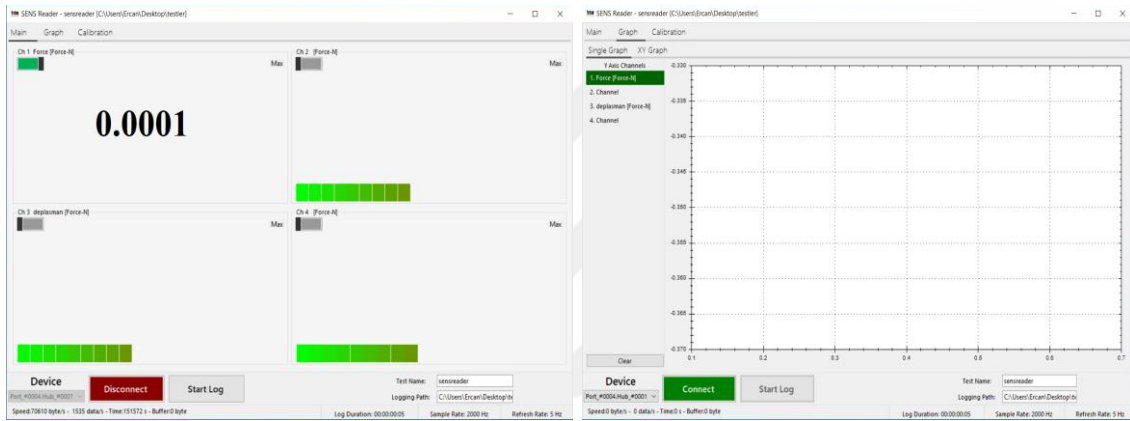
Özellik	Değer
Model numarası	511F05
Duyarlılık	0,1mV/N
Mak. Kuvvet	50kN
Hassasiyet	≤%1
Rezonans frekansı	50kh
Boyutlar (mm)	18x6x10,5
Duyarlılık (mV/kN)	98,29
Ağırlık (gr)	38

Piezoelektrik kuvvet sensörleri, birçok farklı uygulama alanında kullanılır. Örneğin, malzeme testi, yük hücreleri, titreşim analizi, akış ölçümü ve daha birçok endüstriyel ve

bilimsel uygulama için kullanılırlar. Bu sensörler, yüksek doğruluk, hızlı tepki süreleri ve geniş dinamik aralık gibi avantajlara sahiptir. Bu sebepten dolayı 50 kN kapasitede piezo elektrik kuvvet sensörü seçilmiş olup teknik özellikleri Çizelge 4.1 de verilmiştir.

4.1.3. Cihaz yazılım

Yazılım arayüzü Şekil 4.5’de görülmektedir. Yazılımda 4 farklı kanal arayüz olarak tasarlanmıştır. Arayüz üzerinden sensör bağlantısı (Connect-Disconnect) yapılabilmektedir.

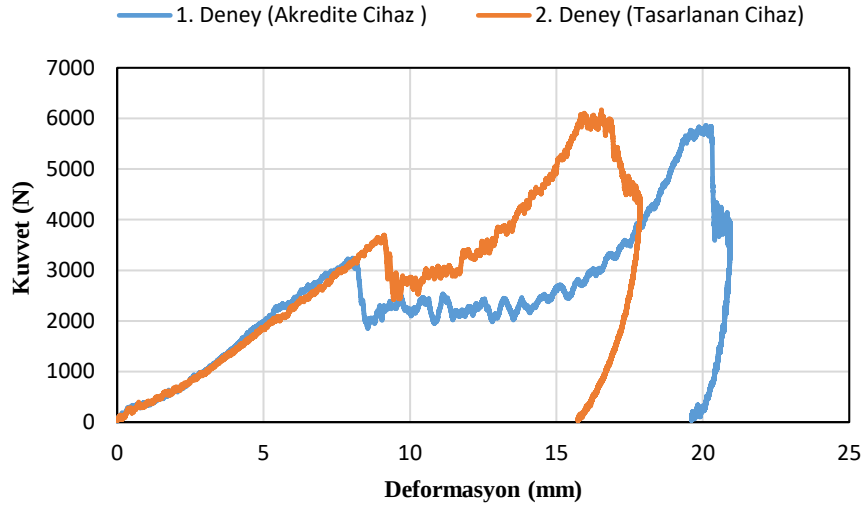


Şekil 4.5 Sensör Arayüz programı.

Arayüz Graph kısmından cihaz ile bağlantı esnasında grafikler alınabilmektedir. Start log kısmına tıklanarak deney kayıt altına alınmaktadır. Elde edilen veriler bilgisayarda belirlenen bir klasör içine “csv” uzantılı kaydedilmektedir. Sonra veriler excel de veriler kopyalanıp grafikler elde edilmektedir.

4.1.4 Cihaz Karşılaştırması ve Ön deneyler

Şekil 4.6’daki grafik incelendiğinde her iki cihazda yapılan deneylerde vurucu uç üst yüzeyi delemeyerek geri sektği görülmektedir. Akredite cihazda yaklaşık 20 mm’lik bir deformasyon olduğu görülmekle birlikte tasarlanan cihazda ise yaklaşık 16 mm deformasyon görülmüştür. Bu fark üretimin elle yatırma yöntemi ile olması sebebi ile homojen numuneler üretilemediğinin sonucu olabilir. Fakat her iki numunede benzer grafik sergilemekte ve maksimum kuvvetleri birbirine yakın olarak görülmektedir.



Şekil 4.6 Cihazların karşılaştırması.

4.2. Akredite ve İmalatı Yapılan Cihazların Karşılaştırılması

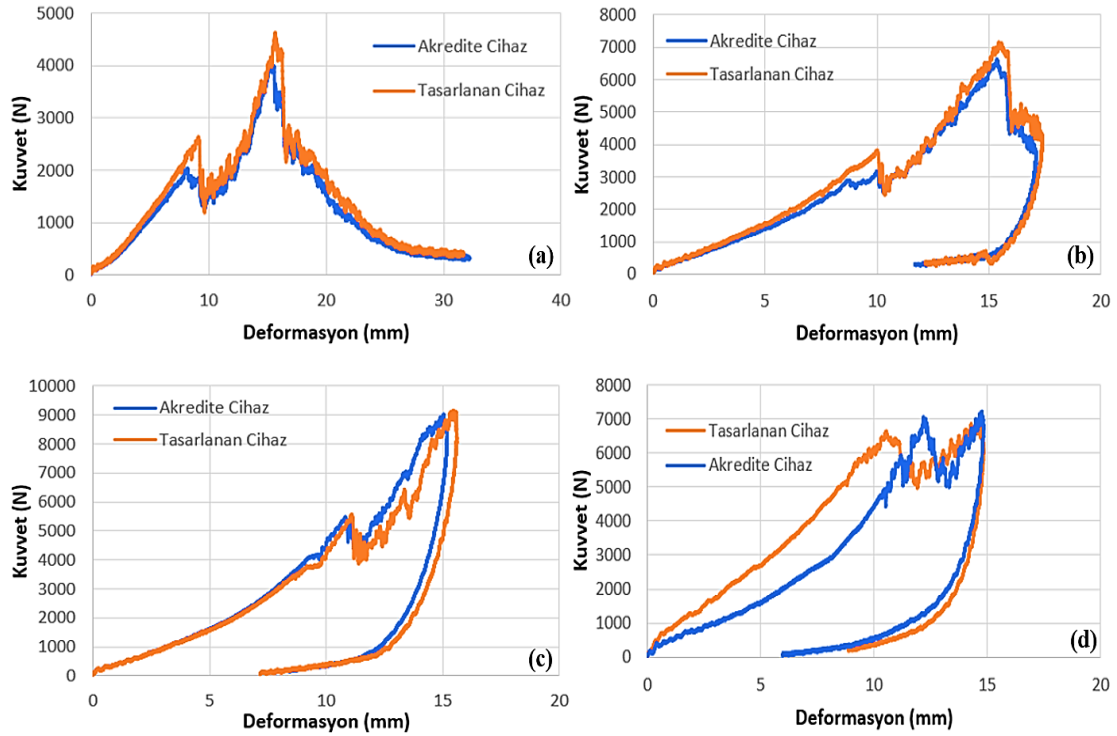
Tez önerisinde belirtilen 20 ve 40 J testleri çok farklı üretim parametreleri olması sebebi ile tek enerjide testler yapılmıştır. Ayrıca öneride belirtilen enerji değerlerinde üretilen numunelerde deformasyon meydana gelmediği için 50 Joule tek enerjide testler yapılmıştır. Test sonuçları olarak kuvvet deformasyon eğrileri dikkate alınarak üretim parametreleri kıyaslanmıştır. Numune boyutları 100 mm x 100 mm kare şeklinde üretimler yapılmıştır. Her deneyden 3 adet numune test edilmiş ve ortalamaları alınarak grafikler çizilmiştir. Düşük hızlı darbe test cihazı tasarımı imalatı ve kompozit plakaların darbe testleri isimli tez kapsamında yapılan deney çeşitleri ve sayısı Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Düşük hızlı darbe test cihazı tasarımı imalatı ve kompozit plakaların darbe testleri isimli tez kapsamında yapılan deney çeşitleri ve sayısı.

Çekirdek Tipi	Darbe Enerji (J)	Elyaf Türü (gr/m ²)	Tabaka Sayısı
XPS köpük	50 Joule	Cam Fiber	8 Kat
		200 gr/m ²	12 Kat
		Cam Fiber	8 Kat
		300 gr/m ²	12 Kat
EPS köpük	50 Joule	Cam Fiber	8 Kat
		200 gr/m ²	12 Kat
		Cam Fiber	8 Kat
		300 gr/m ²	12 Kat

4.2.1. XPS köpük çekirdekli deneylerin karşılaştırılması

Şekil 4.7’de XPS-8-200, XPS-12-200, XPS-8-300 ve XPS-12-300 numunelerinin kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. Numunelerde meydana gelen delinme ve geri sekme grafikte görülmektedir.



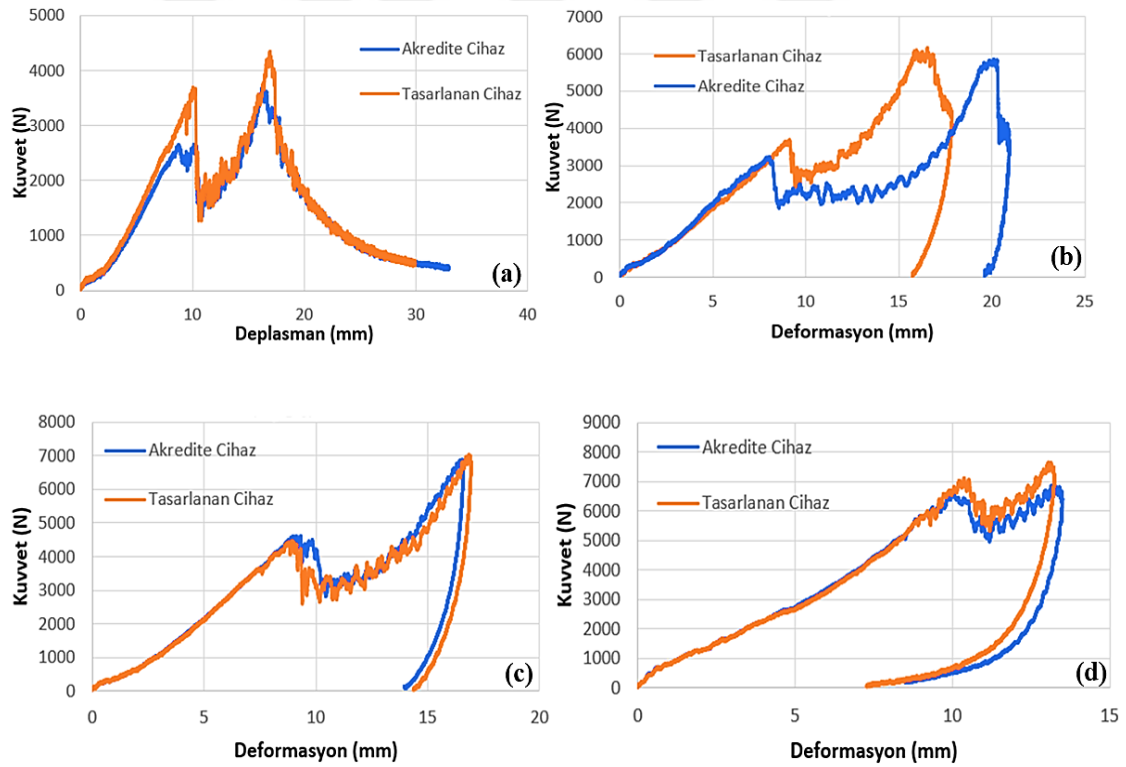
Şekil 4.7 XPS köpük çekirdekli deneylerin karşılaştırılması (a) XPS-8-200, (b) XPS-12-200, (c) XPS-8-300, (d) XPS-12-300.

Şekil 4.7’deki kuvvet-deformasyon grafiğinde XPS-8-300 ve XPS-12-300 numunelerinin her ikisinde de geri sekme meydana gelmiştir. XPS-8-200 numunesinde delinme meydana gelirken, XPS-12-200 numunesinde geri sekme gözlemlenmiştir. XPS-8-300 numunelerinde maksimum noktadaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 8780 N olarak ölçülmüş ve bu noktada yaklaşık olarak 15 mm deformasyon meydana gelmiştir. XPS-12-300 numuneleri için maksimum noktadaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 7810 N olarak tespit edilmiş ve bu noktada yaklaşık olarak 14,8 mm birimlik deformasyon meydana gelmiştir. Grafikten elde edilen veriler doğrultusunda XPS-12-300 numunelerinin XPS-8-300 numunelerine göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. XPS-8-200 numunesinde, maksimum noktadaki enerji değeri yaklaşık

olarak 4380 N olarak ölçülmüş ve bu noktada yaklaşık olarak 15,4 mm deformasyon meydana gelmiştir. XPS-12-200 numunesinde ise maksimum noktasındaki enerji değeri yaklaşık olarak 7120 N olarak tespit edilmiş ve bu noktada maksimum yaklaşık olarak 15,45 mm deformasyon meydana gelmiştir. Grafikten elde edilen veriler doğrultusunda XPS-12-200 numunelerinin XPS-8-200 numunelerine göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.

4.2.2. EPS köpük çekirdekli deneylerin karşılaştırılması

Şekil 4.8’de EPS-8-200, EPS-12-200, EPS-8-300 ve EPS-12-300 numunelerinin kuvvet-deformasyon grafiği verilmiştir. Numunelerde meydana gelen delinme ve geri sekme grafikte görülmektedir.



Şekil 4.8. EPS köpük çekirdekli deneylerin karşılaştırılması (a) EPS-8-200, (b) EPS-12-200, (c) EPS-8-300, (d) EPS-12-300.

Darbe enerjisinden dolayı EPS-8-200 numunesinde delinme meydana gelmiştir. EPS-12-200 numunesinde ise geri sekme gözlemlenmiştir. EPS-8-300 ve EPS-12-300 numunelerinin her ikisinde de geri sekme meydana gelmiştir. EPS-8-200 maksimum

kuvvet noktasındaki yaklaşık olarak 3300 N olarak gözlemlenmiş ve bu noktada oluşan maksimum deformasyon yaklaşık olarak 16 mm olarak tespit edilmiştir. EPS-12-200’de ise maksimum kuvvet yaklaşık olarak 5056 N olarak gözlemlenmiştir. EPS-8-300 için darbe enerjisi uygulandığında, maksimum noktadaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 6500 N olarak ölçülmüş ve bu noktada yaklaşık olarak 16,5 mm deformasyon meydana gelmiştir. EPS-12-300 için darbe enerjisi uygulandığında, maksimum noktadaki kuvvet değeri yaklaşık olarak 6750 N olarak tespit edilmiştir.



5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli polimer köpüklerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Takviye malzemesi olarak cam elyafın 200 gr/m² ve 300 gr/m² tercih edilmiştir. Oluşturulan kompozit malzemelerin çekirdek kısmında ise EPS ve XPS köpükler kullanılmıştır.

XPS ve EPS köpük çekirdekli numuneler kıyaslandığında XPS köpük çekirdekli numuneler EPS ye göre daha iyi performans sergilemişlerdir. Bunun sebebi EPS köpüğün yoğunluğunun XPS köpüğe nazaran daha yoğun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

300 gr/m² özelliğindeki cam elyafli kompozitlerin ile 200 gr/m² cam elyafli kompozitlerin kıyaslanmasında yoğunluğu yüksek olan elyaf numunelerinin dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi yoğunluğu yüksek olan cam elyafın dayanımından kaynaklanmaktadır.

- Darbe testlerinde 200 gr/m² özelliğindeki cam elyafli kompozitlerin 8 katlı numunelerde (XPS, EPS) delinme 12 katlı olanlarında ise geri sekme meydana gelmiştir.
- 300 gr/m² özelliğindeki cam elyafli kompozitlerin (XPS, EPS) 8 katında 12 katlı olan numunelere göre daha fazla deformasyon meydana gelse de her iki katlı numunede de deneyler geri sekme olarak sonuçlanmıştır.
- XPS ve EPS köpük çekirdekli numuneler kıyaslandığında XPS köpük çekirdekli numuneler EPS ye göre daha iyi performans sergilemişlerdir.
- Deneylerde küresel uçlar kullanılmış olup akredite ve tasarlanan cihazlardan elde edilen veriler birbirine çok yakındır. Bazı numunelerde reçinenin düzgün serilmemesi sebebi ile ufak farklılıklar görülmektedir. El ile yatırma yöntemi ile üretilen numunelerde bu tür farklılıklar ile karşılaşılması doğaldır.

6. KAYNAKLAR

- Abrate S, 1998, Impact on composite structures, Cambridge University Press, NewYork, 1-289.
- Akhil U V, Radhika N, Saleh B, Aravind Krishna, S, Noble N, ve Rajeshkumar L, 2023, A comprehensive review on plant-based natural fiber reinforced polymer composites: fabrication, properties, and applications, Polymer Composites, 44(5), 2598-2633.
- Aslan V, 2017, Polimerik Kompozit Malzemeleri İnceleme, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 46s, Balıkesir.
- Cantwell W J, Morton J. 1990, Impact perforation of carbon fibre reinforced plastic, Composites science and technology, 38(2), 119-141.
- Chen LM, Zhang J, Du B, 2018, Dynamic crushing behavior and energy absorption of graded lattice cylindrical structure under axial impact load, Thin-Walled Struct, 127, pp. 333-343.
- Chen YL, Ma Y, Yin QF, 2021, Advances in mechanics of hierarchical composite materials, Composite Sci., Technol., 214, Article 108970.
- Chierichetti M, 2015, Design of a Cost Effective Drop Tower for Impact Testing of Aerospace Materials, Doctoral dissertation, Worcester Polytechnic Institute).
- Curtis J, Hinton MJ, Li S, Reid SR, Soden PD, 2000, Damage, deformation and residual burst strength of filament-wound composite tubes subjected to impact or quasi-static indentation, Composites Part B: Engineering, 31(5), 419-433.
- Deniz ME, 2005, Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşleme Presleme Tekniği Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzeneğinin Tasarım ve İmalatı”, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.
- Dharmavarapu P, ve MBS SR, 2022, Aramid fibre as potential reinforcement for polymer matrix composites: a review. Emergent materials, 5(5), 1561-1578.
- Doyum AB, Altay B, 1997, Low-velocity impact damage in glass fibre/epoxy cylindrical tubes, Materials and Design, 18(3), 131-135.
- Ellouze A, Jesson D, Ben Cheikh R, 2020, The effect of thermal treatment on the properties of expanded polystyrene”, Polymer Engineering & Science, 60(11), 2710-2723.

- Ellouze A, Jesson D, Ben Cheikh R, 2020, The effect of thermal treatment on the properties of expanded polystyrene”, *Polymer Engineering & Science*, 60(11), 2710-2723.
- Fan HL, Jin FN, Fang DN, 2008, Mechanical properties of hierarchical cellular materials Part I: Analysis, *Compos. Sci. Technol*, 68, pp. 3380-3387.
- Gao Q, Liao WH, Wang LM, 2020, An analytical model of cylindrical double-arrowed honeycomb with negative Poisson’s ratio, *Int. J. Mech. Sci.*, 173, Article 105400, 10.
- Gning PB, Tarfaoui M, Collombet F, Davies P, 2005, Prediction of damage in composite cylinders after impact, *Journal of Composite Materials*, 39(10), 917- 928.
- Guo YG, Zhang J, Chen LM, 2020, Deformation behaviors and energy absorption of auxetic lattice cylindrical structures under axial crushing load, *Aerosp. Sci. Technol.*, 98, Article 105662.
- Hatami H, and Shariati M, 2019, Numerical and experimental investigation of SS304L cylindrical shell with cutout under uniaxial cyclic loading, *Iran. J. Sci. Technol. Trans. Mech. Eng.*, 43, pp. 139-153.
- Kara M, 2012, Çeşitli Elyaf Dizilimleriyle Oluşturulmuş Metal Köpük Çekirdekli Sandviç Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, *Makine Mühendisliği Anabilim, Dalı Hitit Üniversitesi, Çorum*.
- Khandai SK, and Jain SK, 2017, Comparison of sensors performance for the development of wrist pulse acquisition system. In *Tencon IEEE Region 10 Conference* pp. 2870-2875.
- Li M, Fan HL, 2021, Free vibration behaviors and vibration correlation technique of hierarchical Isogrid stiffened composite cylinders, *Thin-Walled Struct.*, 159, Article 107321.
- Li WX, An XY, Zheng Q, 2019, Hierarchical design, manufacture and crushing behaviors of CFRP tubular energy absorbers” *Thin-Walled Struct.*, 140, pp. 416-425.
- Li X, Fan R, Fan ZJ, 2021, Programmable mechanical metamaterials based on hierarchical rotating structures, *Int. J. Solids Struct.*, 216, pp. 145-155.
- Lu GX, Yu TX, 2003, *Energy Absorption of Structures and Materials*, CRC Press, New York.
- Masso-Moreu Y, Mills NJ, 2003, Impact compression of polystyrene foam pyramids, *International journal of impact engineering*, 28(6), 653-676.

- Masuelli MA, 2013, Introduction of fibre-reinforced polymers and composites: concepts, properties and processes, In Fiber reinforced polymers-the technology applied for concrete repair, IntechOpen.
- Mohamed M, Hussein R, Abutunis A, Huo Z, Chandrashekhara K, Sneed LH, 2016, Manufacturing and evaluation of polyurethane composite structural insulated panels. *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 18(6), 769-789.
- Olfaz HTM, 2015, Yapağının alternatif kullanım alanları, *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 1, 18-28.
- Öndürücü A, Karacan A, 2018, Tabakalı Cam Elyaf / Epoksi Kompozitlerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(3), 435-447.
- Ozkan D, Gok MS, and Karaoglanli AC, 2020, Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) composite materials, their characteristic properties, industrial application areas and their machinability. *Engineering Design Applications III: Structures, Materials and Processes*, 235-253.
- Qin QH, Xia YM, Li JF, 2020, On dynamic crushing behavior of honeycomb-like hierarchical structures with perforated walls: Experimental and numerical investigations, *Int. J. Impact Eng.*, 145.
- Rajak DK, Wagh PH, and Linul E, 2021, Manufacturing technologies of carbon/glass fiber-reinforced polymer composites and their properties: A review. *Polymers*, 13(21), 3721.
- Sahloddin Y, Dalv A, Ahmadi M, 2021, Performance evaluation of built-up composite beams fabricated using thin-walled hollow sections and self-compacting concrete, *Constr. Build. Mater.*, 305, Article 124645.
- Sevinç E, 2019, Sürekli Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Esaslı Çok Katmanlı Piramit Kafes Çekirdekli Çok Hafif Sandviç Plakaların Statik ve Dinamik İncelemesi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Shivakumar KN, Elber W, and IIIg W, 1985, Prediction of low-velocity impact damage in thin circular Laminates, *AIAA J.* 23(3), 442--449.
- Sun GY, Li SF, Li GY, 2018, On crashing behaviors of aluminium/CFRP tubes subjected to axial and oblique loading: An experimental study, *Composites B*, 145, pp. 47-56.

- Şimşir E, 2020, Taşıtlarda Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Yan Darbe Kirişlerinin Tasarımı ve Analizleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 164s, Afyon.
- Tarfaoui M, Gning PB, Davies P, Collombet F, 2006, Scale and size effects on dynamic response and damage of glass/epoxy tubular structures, *Journal of Composite Materials*, 41(5), 547-558.
- Tressler JF, Alkoy S, and Newnham RE, 1998, Piezoelectric sensors and sensor materials, *Journal of electroceramics*, 2, 257-272.
- Turgut T, Kayran A, Alemdaroğlu N, Ceylan M, 2007, Vakum Torbalama Yöntemi ile Kompozit Malzemeden Yapı Üretimi Örnek Bir Havacılık Uygulaması, *Mühendis ve Makina*, 566, 1-8.
- Uyaner M, Kara M, Gemi L, 2010, Filaman sarım E-camı/epoksi kompozit boruların düşük hızlı darbe sonrası mukavemeti”, Paper presented at the 13th International materials symposium (IMSP'2010), Denizli, 644-652.
- Van ND, Vepa KS, De Baere I, 2014, A comparison between the experimental and theoretical impact pressures acting on a horizontal quasi-rigid cylinder during vertical water entry, *Ocean Eng.*, 77, pp. 42-54.
- Vasiliev VV, Razin AF., 2006, Anisogrid composite lattice structures for spacecraft and aircraft applications, *Compos. Struct.*, 76, pp. 182-189.
- Wadley HNG, 2006, Multifunctional periodic cellular metals, *Philos. Trans. R. Soc. A*, 364, pp. 31-68.
- Wang ZG, Deng JJ, Liu K, 2022, Hybrid hierarchical square honeycomb with widely tailorable effective in-plane elastic modulus, *Thin-Walled Struct.*, 171, Article 108816, 10.
- Wang X, Gao X, Zhang Z, Cheng L, Ma H, and Yang W, 2021, Advances in modifications and high-temperature applications of silicon carbide ceramic matrix composites in aerospace: a focused review. *Journal of the European Ceramic Society*, 41(9), 4671-4688.
- Whittingham B, Marshall IH, Mitrevski T, Jones R, 2004, The response of composite structures with pre-stress subject to low velocity impact damage, *Composite Structures*, 66, 685-698.
- Xiong J, Feng LN, Ghosh R, 2016, Fabrication and mechanical behavior of carbon fiber composite sandwich cylindrical shells with corrugated cores, *Compos. Struct.*, 156, pp. 307-319.

- Xue ZY, Hutchinson JW, 2006, Crush dynamics of square honeycomb sandwich cores, *Internat. J. Numer. Methods Engrg.*, 65, pp. 2221-2245, 10.
- Yang HY, Lei HS, Lu GX, 2021, Crashworthiness of circular fiber reinforced plastic tubes filled with composite skeletons/aluminum foam under drop-weight impact loading, *Thin-Walled Struct.*, 160, Article 107380.
- Zaman A, Gutub SA, Wafa MA, 2013, A review on FRP composites applications and durability concerns in the construction sector”, *Journal of reinforced plastics and composites*, 32(24), 1966-1988.
- Zhang JJ, Lu GX, 2020, Dynamic tensile behaviour of re-entrant honeycombs, *Int. J. Impact. Eng.*, Article 103497.
- Zhang YH, Xue ZY, Chen LM, 2009, Deformation and failure mechanisms of lattice cylindrical shells under axial loading, *Int. J. Mech. Sci.*, 51, pp. 213-221.

İnternet Kaynakları

1. <https://www.instron.com/-/media/literature-library/products/2020/02/9400-series-drop-tower-brochure.pdf>, 05.05.2024
2. <https://imatek-systems.co.uk/products/im100-range/>, 25.04.2024
3. <https://taytem.com.tr/urun/ekspande-polistiren-eps-2/>, 20.04.2024
4. <https://www.jawad-alsaffar.com/store/en/module/ikitsearch/searchikit?s=xpf+foam>, 20.04.2024
5. <https://www.fiberelyafmarket.com/cam-elyaf-sik-dokuma-300-gr/m>, 27.04.2024