



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAL PETEĞİ SANDVIÇ KOMPOZİTLERDE
DARBE TESTİ SONRASI BASMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

İbrahim Halil TAŞKESEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Temmuz - 2020
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki 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.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İbrahim Halil TAŞKESEN

Tarih: 28 / 07 / 2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAL PETEĞİ SANDVIÇ KOMPOZİTLERDE DARBE TESTİ SONRASI BASMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

İbrahim Halil TAŞKESEN

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

2020, 92 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Dr. Öğr. Üyesi Tolga TOPKAYA

Bal peteği sandviç yapılar kompozit malzemeler içinde çok büyük bir öneme sahiptir. Bal peteği sandviç kompozit malzemeler yüksek mukavemet, dayanıklılık, hafiflik ve enerji absorbe etme gibi mekanik özelliklere sahiptir. Bal peteği sandviç kompozit malzemeler özellikle inşaat, otomotiv, havacılık ve uzay uygulamalarında sıkla tercih edilmektedir. Uygulama alanlarında hayati öneme sahip olması sebebiyle bal peteği sandviç kompozitlerin mukavemetleri, mekanik davranış ve özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bal peteği sandviç kompozit malzemelerin mekanik davranışlarının karbon fiber takviyeli plakalarla tespit edilmesi planlanmaktadır. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler ise havacılık ve savunma sanayinde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit malzemelerin özelliklerini belirlemek için birçok statik ve mekanik deneyler çekme, basma, darbe, eğme ve yorulma gibi testler yapılmaktadır. Amaç bal peteği sandviç kompozit malzemelerin genel özelliklerinin tespit edilmesi, geliştirilmesi ve artırılmasıdır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada genel olarak karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit malzemelerin darbe testi sonrası basma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada Al 3003 Alüminyum alaşımı bal peteği hücreler ile karbon fiber yüzey malzemelerine sahip numuneler kullanılmıştır. Yüzey malzemeleri ile hücreler arasındaki bağlantı 3M Scotch-Weld marka DP 460 model epoksi esaslı yapıştırıcı ile sağlanmıştır. Deney numunelerinin tamamının uzunluğu ve genişliği 80 mm x 80 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Bal peteği üç farklı hücre yüksekliği 10 mm, 15 mm ve 20 mm değerlerinde hazırlanmıştır. Karbon fiber yüzey malzemeleri (alt ve üst) 1 mm kalınlığında hazırlanmıştır. Deney numuneleri verilen standartlarda üretilmiştir. Deney numuneleri üretilme işleminden sonra düşük hızlı darbe testi, açılı düşük hızlı darbe, basma testi, darbe testi sonrası basma testleri uygulanmış ve bazı numuneler hasarsız bırakılmıştır. Darbe deneyleri Instron Dynatup 9250 darbe test cihazıyla yapılmıştır. Instron Dynatup 9250 test cihazı ile numunelere üç farklı düşük hızda 2.5 joule, 5 joule ve 7.5 joule darbe enerji parametrelerinde ağırlık düşürme testleri yapılmıştır. Düşük hızlı darbe testleri deney numunelerine üç farklı 0°, 15° ve 30° çarpma açılarında ağırlık düşürme testi uygulanmıştır. Açılı çarpmalardaki ağırlık düşürme darbe testlerinin yapılabilmesi için özel bir destek aparatı üretilmiştir. Darbe testi ile ön hasar verilmiş numuneler ile hasarsız numuneler, darbe ön hasarının darbe mukavemetindeki düşüşe ve mekanik davranışlarına etkisini incelemek amacıyla basma testine maruz bırakılmıştır. Basma testleri Shimadzu Universal test cihazı ile 250 kN yük hücresi uygulanarak, ilerleme hızı 1 mm/dak seçilmiştir. Darbe ve Basma testleri sonucunda karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit malzemelerde veya

numunelerde meydana gelen mukavemet değişimleri, mekanik davranışlar, hasarsız ve hasarlı numuneler gözlemlenip deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmada gerçekleştirilen deneyler sonucunda ortaya çıkan grafik, fotoğraf ve tablolarla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Tüm çalışmalar deneysel olarak uygulanmış ve değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon Fiber, Bal Peteği Sandviç Kompozit, Darbe Testi, Açılı Çarpma, Basma Testi, Mekanik Davranışlar.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF COMPRESSION BEHAVIOR OF HONEYCOMB SANDWICH COMPOSITES AFTER IMPACT

İbrahim Halil TAŞKESEN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

2020, 92 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Asst. Prof. Dr. Tolga TOPKAYA

Honeycomb sandwich structures are of great importance in composite materials. Honeycomb sandwich composite materials have mechanical properties such as high strength, durability, lightness and energy absorption. Honeycomb sandwich composite materials are frequently preferred in construction, automotive, aerospace and space applications. Due to its vital importance in the application areas, the strength, mechanical behavior and properties of honeycomb sandwich composites must be determined. It is planned to determine the mechanical behavior of honeycomb sandwich composite materials with carbon fiber reinforced plates. Carbon fiber reinforced composite materials play an important role in the aviation and defense industries. Therefore, in order to determine the properties of carbon fiber reinforced honeycomb sandwich composite materials, many static and mechanical tests are carried out such as pulling, pressing, impact, bending and fatigue. The aim is to identify, develop and increase the general properties of honeycomb sandwich composite materials.

In this study, the compression behavior of carbon fiber reinforced honeycomb sandwich composite materials after impact testing was investigated experimentally. Al 3003 Aluminum alloy honeycomb cells and samples with carbon fiber surface materials were used in the study. The connection between the surface materials and the cells was provided by 3M Scotch-Weld brand DP 460 epoxy based adhesive. The length and width of all test specimens were prepared in the dimensions of 80 mm x 80 mm. Honeycomb is prepared in three different cell heights of 10 mm, 15 mm and 20 mm. Carbon fiber surface materials (bottom and top) are prepared in 1mm thickness. Experimental samples are produced in the given standards. After the test samples were produced, low speed impact test, angled low speed impact, compression test, compression tests after impact test were applied and some samples were left undamaged. Impact experiments were done with the Instron Dynatup 9250 impact tester. With the Instron Dynatup 9250 tester, weight reduction tests were performed on the samples in three different low speed 2.5 joules, 5 joules and 7.5 joules impact energy parameters. Low speed impact tests were applied to the test samples at three different angles of impact at 0°, 15 ° and 30 °. A special support device has been produced to perform weight reduction impact tests in angular impacts. Samples pre-damaged with impact test and undamaged samples were subjected to compression testing to examine the impact of impact pre-damage on the impact strength and mechanical behavior. Compression tests With the Shimadzu Universal tester, a 250 kN load cell was applied and the feed rate was selected at 1 mm / min. As a result of impact and compression tests, carbon fiber reinforced honeycomb sandwich composite materials or resistance

changes, mechanical behaviors, undamaged and damaged samples were observed and experimentally examined.

Evaluations regarding the graphics, photographs and tables resulting from the experiments carried out in the study were made. All studies were experimentally applied and evaluated.

Keywords: Carbon Fiber, Honeycomb Sandwich Composite, Impact Test, Angled Impact, Compression Test, Mechanical Behaviors.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarımın tüm aşamalarında tezimin planlanıp yürütülme süresi boyunca büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren, beni araştırmaya yönelten ve hiçbir yardımını benden esirgemeyen kıymetli danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Bahattin İŞCAN' a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin gerçekleştirilmesi süresi boyunca yardımlarını esirgemeyen bilgi ve deneyimleri ile beni adeta bir danışman gibi yönlendiren saygı değer hocamız Dr. Öğr. Üyesi Tolga TOPKAYA'ya saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BTÜBAP) tarafından BTÜBAP-2019-Yüksek Lisans-1 proje numarası ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Batman Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Yaşamımın her anında yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemedi beni daima sabır ve anlayışla karşılayan aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmamın yararlı olması dileğiyle...

İbrahim Halil TAŞKESEN

BATMAN-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
TABLolar LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tez Çalışmasının Önemi ve Amacı	2
1.2. Literatür Araştırması.....	3
2. GENEL BİLGİLER.....	16
2.1. Kompozit Malzemeler	16
2.1.1. Tabakalı Yapılar	16
2.1.2. Fiber Oryantasyon	16
2.1.3. Fiber Tipleri	17
2.1.3.1. Cam Fiberler	17
2.1.3.2. Boron Fiberler	17
2.1.3.3. Seramik Fiberler	18
2.1.3.4. Kevlar	18
2.1.3.5. Karbon Fiberler	18
2.1.4. Matris Malzemeleri	19
2.1.4.1. Polyester Reçineler.....	19
2.1.4.2. Vinilester Reçineler.....	19
2.1.4.3. Epoksi Reçineler	20
2.1.5. Elyaf Takviyeli Tabakalı Kompozit Plakaların Üretim Metotları	20
2.1.5.1. Elle Yatırma Yöntemi	20
2.1.5.2. Sprey ile Üretim	21

2.1.5.3. Vakum Torbalama	22
2.1.5.4. Reçine İnfüzyonu	23
2.1.5.5. Kalıba Reçine Enjeksiyonu	24
2.1.5.6. Basınçla Kalıplama	25
2.1.5.7. Ekstrüzyon	25
2.1.5.8. Pultrüzyon.....	26
2.1.5.9. Filament Sargı	26
2.1.6. Bal Peteği Sandviç Kompozitler.....	26
2.1.6.1. Bal Peteği Geometrisi ve Yapısı Hakkında Bilgi.....	27
2.1.6.2. Bal Peteği Çekirdek Malzemelerin Üretim Yöntemleri	29
2.1.6.2.1. Uzatarak Şekil Verme Yöntemi	29
2.1.6.2.2. Kıvrılarak Şekil Verme Yöntemi	30
2.1.7. Kompozit Malzemelerin Havacılık Uygulamaları, Uzay Endüstrisi ve Elektrikli Araçlarda Uygulamaları	31
2.2. Darbe Deneyi	36
2.2.1. Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışları	36
2.2.2. Darbe Sonucu Oluşan Hasar Türleri	36
2.2.2.1. Matris Çatlama	37
2.2.2.2. Delaminasyon	38
2.2.2.3 Fiber Kopması	38
2.2.2.4. Penetrasyon ve Perforasyon.....	38
2.2.3. Darbe Hasarına Etki Eden Parametreler	38
2.2.3.1. Kompozit Malzemenin Özellikleri.....	38
2.2.3.2. Vurucu Özellikleri.....	39
2.2.3.3. Ortam Koşulları.....	39
2.2.3.4. Deney Parametreleri.....	39
2.2.4. Ağırlık Düşürme Darbe Testi	39
2.2.5. Darbe Sonrası Basma Mukavemeti (DSBM) Testi	40
2.3. Basma Deneyi	41
2.3.1. Basma Deneyinde Gerilme Uzama	41
3. MATERYAL VE YÖNTEM	44
3.1. Numunelerin Hazırlanması ve Üretimi	46
3.2. Kullanılan Malzemeler ve Mekanik Özellikleri	55

3.2.1. Alüminyum 3003 Alaşımı.....	55
3.2.2. Karbon Fiber	56
3.2.3. 3M Scotch-Weld DP460 Endüstriyel Epoksi Esaslı Yapıştırıcı.....	57
3.3. Karbon Fiber Takviyeli Bal Peteği Sandviç Kompozitlere Darbe ve Basma Deneylerinin Uygulanması	57
3.3.1. Darbe Deneyleri.....	58
3.3.1.1. Açılı Darbe Aparatı ve Açılı Darbe Deneyi	59
3.3.2. Basma Deneyleri.....	63
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	68
4.1. Düşük Hızlı Darbe Deneyi Sonuçları	68
4.1.1. 2.5 J Darbe Enerjisi Kullanılarak Yapılan Test Sonuçları	68
4.1.2. 5 J Darbe Enerjisi Kullanılarak Yapılan Test Sonuçları	70
4.1.3. 7.5 J Darbe Enerjisi Kullanılarak Yapılan Test Sonuçları	71
4.2. Düşük Hızlı Darbe Testi Sonrası Basma Test Sonuçları.....	72
4.2.1. 10 mm Hücre Yüksekliğine Sahip Numunelerin Basma Test Sonuçları	73
4.2.2. 15 mm Hücre Yüksekliğine Sahip Numunelerin Basma Test Sonuçları	74
4.2.3. 20 mm Hücre Yüksekliğine Sahip Numunelerin Basma Test Sonuçları	76
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
5.1. Sonuçlar	78
5.2. Öneriler	79
KAYNAKLAR.....	80
EKLER	84
EK-1 Karbon Fiber Takviyeli Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Darbe ve Basma Testi Sonrası Hasarlı ve Hasarsız Deney Fotoğrafları.....	84
ÖZGEÇMİŞ	92

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Elle Yatırma Yöntemi	21
Şekil 2.2. Sprey ile Üretim Yöntemi.....	22
Şekil 2.3. Vakum Torbalama ile Üretim Yöntemi	23
Şekil 2.4. Reçine İnfüzyonu ile Üretim	23
Şekil 2.5. Kalıba Reçine Enjeksiyonu ile Üretim	24
Şekil 2.6. Basınçla Kaplama ile Üretim	25
Şekil 2.7. Arı üretimi sonucu ortaya çıkan altıgen bal peteği yapıları	27
Şekil 2.8. Bal peteği sandviç kompozitlerin yapısı	28
Şekil 2.9. Karbon fiber yüzey malzemeli bal peteği sandviç kompozit	28
Şekil 2.10. Bal peteği kompozitler	29
Şekil 2.11. Uzatarak şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi	30
Şekil 2.12. Kıvrılarak şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi	30
Şekil 2.13. Bal Peteği Hücre Yapıları.....	31
Şekil 2.14. V22 dikine havalanıp dikine inme özelliğine sahip helikopterde Bal peteği sandviç yapının kullanım bölgeleri	32
Şekil 2.15. Boeing 777 ileri kompozit uygulamaları	33
Şekil 2.16. Fırlatma ve Uzay Araçları	34
Şekil 2.17. Elektrikli Araç gövdesinde karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin kullanılması	35
Şekil 2.18. Sandviç Kompozitlerden Oluşan Otobüs Tasarımı.....	35
Şekil 2.19. Matris Çatlağı Türleri Çekme Çatlağı(soldaki), Kesme Çatlağı(sağdaki) ...	37
Şekil 2.20. Kalın Plakalarda(soldaki), İnce Plakalarda(sağdaki) Hasar İlerleme Şekilleri	37
Şekil 2.21. Ağırlık Düşürme Test Cihazı Düzenegi	40
Şekil 2.22. DSB Dayanımı Testi Uygulanan Numunede Hasar Oluşumu	40
Şekil 2.23. Metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları	42
Şekil 2.24. 2024-T35 alüminyum alaşımında basma testleri	43
Şekil 3.1. Üretilen karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit örneği ve boyutlandırma terimleri	45
Şekil 3.2. Alüminyum bal peteği hücre çekirdeği malzemeleri	46
Şekil 3.3. Karbon Fiber Yüzey Malzemeleri.....	47
Şekil 3.4. Karbon fiber yüzey malzemesine sahip bal peteği sandviç kompozitlerin üretimi için kullanılacak malzeme ve ekipmanlar.....	48
Şekil 3.5. Karbon fiber ve bal peteği sandviç kompozitlerin yapıştırma işlemi	49

Şekil 3.6. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin ağırlık altında bekletilmesi.....	50
Şekil 3.7. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin ağırlık altında bekletilmesi-2	51
Şekil 3.8. 500 mm x 500 mm boyutlarında karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitler	51
Şekil 3.9. 80 mm x 80 mm boyutlarında kesilen karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitler	52
Şekil 3.10. Üretimi tamamlanan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin üstten görünüşü.....	53
Şekil 3.11. Üretimi tamamlanan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin yandan görünüşü	53
Şekil 3.12. Üretimi tamamlanan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin üstten görünüşü.....	54
Şekil 3.13. Üretimi tamamlanan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin önden görünüşü	54
Şekil 3.14. Üretimi tamamlanan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin yandan görünüşü	55
Şekil 3.15. Instron Dynatup 9250 ağırlık düşürme test düzeneği	58
Şekil 3.16. Instron Dynatup 9250 Ağırlık Düşürme Test Cihazı Bölümleri	59
Şekil 3.17. Numunelere uygulanan açılı darbeler	60
Şekil 3.18. Bal peteği sandviç kompozitlere uygulanan açılı darbe testleri sonucu numuneler	60
Şekil 3.19. Darbe testlerinin uygulanması sonrası bal peteği sandviç kompozitlerin isimlendirilmesi	61
Şekil 3.20. Bal peteği sandviç kompozitlere uygulanan açılı darbe testleri sonucu numunelerin üstten görünüşü	62
Şekil 3.21. Bal peteği sandviç kompozitlere uygulanan açılı darbe testleri sonucu numunelerin önden görünüşü	62
Şekil 3.22. Shimadzu Üniversal Basma Test Cihazı	63
Şekil 3.23. Test Cihazında Basma Yükleme	64
Şekil 3.24. Basma Testinde Yükün Uygulanışı	65
Şekil 3.25. 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozitlerin basma testi sonrası üstten görünüşleri	66
Şekil 3.26. 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozitlerin basma testi sonrası önden görünüşleri	66
Şekil 3.27. 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozitlerin basma testi sonrası önden görünüşleri-2	67
Şekil 3.28. Numunelere Basma yükleme sırasında oluşan bir grafik örneği.....	67

Şekil 4.1. 2.5 J darbe enerjisi ile yapılan test sonuçları (a. 0° darbe açısı b. 15° darbe açısı c. 30° darbe açısı)	69
Şekil 4.2. 5 J darbe enerjisi ile yapılan test sonuçları (a. 0° darbe açısı b. 15° darbe açısı c. 30° darbe açısı)	71
Şekil 4.3. 7.5 J darbe enerjisi ile yapılan test sonuçları (a. 0° darbe açısı b. 15° darbe açısı c. 30° darbe açısı)	72
Şekil 4.4. 10 mm hücre yüksekliği için 15° açı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı	73
Şekil 4.5. 10 mm hücre yüksekliği için 30° açı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı	74
Şekil 4.6. 15 mm hücre yüksekliği için 15° açı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı	75
Şekil 4.7. 15 mm hücre yüksekliği için 30° açı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı	75
Şekil 4.8. 20 mm hücre yüksekliği için 15° açı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı	76
Şekil 4.9. 20 mm hücre yüksekliği için 30° açı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı	77

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan parametreler	45
Tablo 3.2. Alüminyum 3003 Alaşımına ait Mekanik Özellikler	56
Tablo 3.3. Karbon Fiber Malzemesine ait Mekanik Özellikler	56
Tablo 3.4. 3M DP460 epoksi esaslı yapıştırıcıya ait Mekanik Özellikler	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	:Alüminyum
C	:Karbon
°	:Derece
°C	:Santigrad derece

Kısaltmalar

ANOVA	:Varyans Analizi Yöntemi
CFRP	:Karbon Fiber Takviyeli Kompozit
GFRP	:Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler
J	:Joule
kN	:Kilo Newton
LS-DYNA3D	:Üç Boyurlu Sonlu Elemanlar Analiz Yazılımı
LS-DYNA	:Sonlu Elemanlar Analiz Yazılımı
M	:Metre
Mm	:Milimetre
MWCNT	:Karbon Nanotüp
N	:Newton
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

1. GİRİŞ

Bal peteği sandviç yapılar kompozit malzemeler içinde çok büyük bir öneme sahiptir. Bal peteği sandviç kompozit malzemeler yüksek mukavemet, dayanıklılık, hafiflik ve enerji absorbe etme gibi mekanik özelliklere sahiptir. Bal peteği sandviç kompozit malzemeler özellikle inşaat, otomotiv, havacılık ve uzay uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Uygulama alanlarında hayati öneme sahip olması sebebiyle bal peteği sandviç kompozitlerin mukavemetleri, mekanik davranış ve özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler ise havacılık ve savunma sanayinde önemli roller oynamaktadır. Bu nedenle karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit malzemelerin özelliklerini belirlemek için birçok statik ve mekanik deneyler çekme, basma, darbe, eğme ve yorulma vb. testler yapılmaktadır. Amaç bal peteği sandviç kompozit malzemelerin genel özelliklerinin tespit edilmesi, geliştirilmesi ve artırılmasıdır.

Kompozit malzemeler, özellikleri bakımından sonuç gibi tasarlanan iki veya daha fazla fazdan oluşan bir sistemdir. Kendini oluşturan malzeme veya ürünlerden daha büyüktür. Kompozit malzemelerin özellikleri, bileşenlerinin özelliklerinden, fazların geometrisinden ve dağılımından etkilenir. Kompozitler, yüksek mukavemet, yüksek sertlik, uzun yorulma ömrü, düşük yoğunluk ve yapının amaçlanan fonksiyonlarına uygun durumda hareket ederler. Kompozitlerin kullanımını arttıran en önemli seçenekler ağırlık oranının az olması, korozyon direnci ve parça sayısı gibi etmenlerdir. Ayrıca kompozit malzemelerin yapılarında çevre ve malzeme davranışlarına uygun ek iyileştirmeler yapılabilir. Kompozitlerin ana maddesi, matris malzemeleri içermesidir.

Kompozitlerin uygulama ve kullanım alanları dünyada artmaya devam ediyor. Havacılık, uzay, uçak, otomotiv, denizcilik, enerji, altyapı, zırh, biyomedikal ve eğlence (spor) alanlarında özellikle hafif ve son derece sert kompozitlerden yararlanılır. Şiddetli çevre koşulları altında çok yüksek verim elde edilebilir. Kompozit malzemelere özellikle fiber takviyesi tercih edilir çünkü çok sert çevre koşullarına karşı malzemenin ömrünü ve kullanımını arttırmaktadır. Bu takviyeler özellikle malzemenin performansını artırır. En önemli kaplama ve takviyelerden bir tanesi karbon fiberlerdir. Kompozitler ile ilgili en önemli durumlardan biri, fiberin yükü taşıması ve gücünün fiberin etrafında bulunmasıdır. Karbon fiber kompozit malzemelerin kullanım alanları sadece ağırlığı azaltmak için değil, aynı zamanda bu malzemelerin korozyona ve

yorgunluğa karşı dayanıklı olmasıdır. Bu malzemelerin tek dezavantajı maliyetli olmasıdır diyebiliriz.

Bal peteği sandviç kompozitlerin temel kullanımı yapısal uygulamalardır. Nedeni ise, bal peteği sandviç kompozitlerin sertlik ve ağırlık durumlarında son derece verimli olmasıdır. Hafif bir bal petek sandviç kompoziti yükleme durumunda yenmek çok zordur. Bu nedenle, bal petek sandviç kompozitler yaygın ve benzersiz kullanımlara sahiptir. Bal peteği sandviç kompozitler alt ve üst yüzey kaplama, bağlayıcı olarak yapıştırıcılar ve iç malzeme olarak petek çekirdekleri tarafından oluşturulur. En fazla kullanım alanı olan bal petek ürün veya malzemeleri alüminyum, paslanmaz çelik, titanyum, cam elyafı, Nomex, Kraft kâğıtlardır. Alüminyum bal petekler, mukavemet ve sertliğin en iyi oluşumu ve kullanımına sahiptir. Havacılık ve uzay alanlarında en çok kullanılan çeşitler 5052 ve 5056 alüminyumlardır. En iyi ticari malzeme ise 3003 Alüminyum alaşımıdır. Alüminyum 2024 çekirdek çok fazla tercih edilmez, çünkü korozyona karşı direnci zayıftır. Bal peteği sandviç kompozitlerde alt ve üst yüzey tabakalar petek çekirdekleriyle bağlayıcılığı endüstriyel veya epoksi esaslı yapıştırıcılar tarafından sağlanmaktadır.

1.1. Tez Çalışmasının Önemi ve Amacı

Günümüzde özellikle havacılık, savunma sanayi, uzay uygulamaları ve elektrikli araçların kullanımı korozyon direnci, yorulma direnci, yüksek mukavemet ve hafiflik özellikleri başta olmak üzere sürekliliği ve kullanımı artan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitler genellikle çevresel faktörlerden dolayı çok farklı şiddetlerde darbe ve basma yüklerine uğrarlar. Özellikle bu nedenlerden dolayı sonuç olarak karbon fiber yüzey plakalarının alüminyum bal peteği sandviç kompozitlerle epoksi esaslı yapıştırıcı bağlantısı yardımıyla takviye edilmesi amaçlanmıştır. Bal peteği sandviç kompozitlerin uğradığı darbe ve basma şiddetleri çok farklı boyutlarda olabilir. Kompozit malzemelerin uğradığı darbe ve basma yüklenmeleri sonucunda malzemede meydana gelen deformasyon ve malzeme yapısında oluşan zararlar gözle muayene sırasında tespit edilemeyebilir. Bu nedenle çalışmalar mühendislik uygulamalarıyla deneysel olarak araştırılır.

Düşük veya yüksek şiddette darbe ve basma yüklenmelerine uğrayan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit malzemenin uğradığı deformasyonların analiz edilmesi gerekir. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin iç ve dış

yapısında meydana gelen hasarlar sonucunda kompozitlerin tekrardan uygulamalara kazandırılması, ömürlerinin uzatılması ve iyileştirilmesi için malzemelerin davranışlarının önceden tespit edilmesi gerekir. Havacılık, savunma sanayi, uzay uygulamaları ve elektrikli araçların ürün üretimlerinin bu deneyler sonucuna göre tasarlanması gerekir. Bal peteği sandviç kompozitlerin yapı, mukavemet ve mekanik davranışlarının önceden tespit edilmesi kompozit malzemelerin kullanım alanlarının ilerletilebilmesi ve geliştirilmesi açısından tüm uygulama alanlarına çok önemli bilgiler ve analizler sağlayacaktır.

Bu çalışmada karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlere darbe testinin farklı çarpma açılarında, farklı enerjilerde yapılması ve sonrasında basma yüklenmesine maruz kalması sağlanmıştır. Çalışmamızda en önemli noktalardan biri karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin düşük hızda farklı darbe enerjilerine ve darbe açılara verdiği tepkilerin basma testine olan etkisidir. Farklı çarpma açısı bal peteği sandviç kompozit malzemelerin uygulamalarda karşılaştığı genel olarak çevresel faktörler yani kaza, çarpışma ve sonrasında meydana gelen hasarlar üretici ve tüketiciler için önemli analizler sağlayacaklardır. Aynı zamanda hafif ve dayanımı yüksek olan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit malzemelerin üretilmesi ve birçok uygulamaya alternatif ürün olması amaçlanmaktadır. Karbon fiber takviyeli kompozitlerin farklı darbe açılara gösterdiği direnç ve davranışların basma yükleri sonrasında hasarlı ve hasarsız bal peteği sandviç kompozitlerde oluşturduğu mekanik etkiler ve mukavemet davranışlarının deneysel olarak incelenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Darbe ve Basma deneyleri sonucunda karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerde meydana gelen dayanımlar, mekanik özellikler ve mukavemetlerindeki değişimler sonucu ortaya çıkan hız – zaman, kuvvet – zaman, kuvvet – yer değiştirme, enerji – zaman, kuvvet – uzama ve kuvvet – şekil değişimi grafikleri kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmada gerçekleştirilen deneyler sonucunda ortaya çıkan grafik, fotoğraf ve tablolarla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Literatürde bal peteği sandviç kompozitlerin mekanik özellik ve davranışlarının yanında mukavemetlerinin tespit edilmesi üzerine çok sayıda darbe, basma, çekme, eğme, yorulma, soyma vb. mekanik ve statik deneyler yapılmıştır. Yapılan deney ve

alışmalar sonucunda bilimsel olgular ve sonuçlar ortaya çıkmıştır. Literatür alışmamızda ağırlıklı olarak bal peteği sandviç kompozitlere ve/veya numunelere uygulanan darbe testi, düşük hızlı darbe testi, çarpma açılı darbe testi, çarpma açılı darbe testi sonrası basma testi, darbe testi sonrası basma testi, basma testi ve/veya deneylere yer verilmiştir. Bu alışmalar deneysel ve sayısal analiz yöntemi olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan alışmalar hakkında zet bilgiler verilmiştir. Bizim tez çalışmamız ise deneysel olarak gerçekleştirilmiş ve incelenmiştir.

Literatür araştırmasında karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitler, karbon fiberler, bal peteği sandviç kompozitler ve sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışlarının incelenmesi ile ilgili birçok bilimsel çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların önemli bir bölümü kompozitlerin iç, dış yapılarında meydana gelen mukavemet özellikleri ve hasarları açıklamakla ilgili dir. Çalışmaların bir kısmı aşağıda zet olarak verilmiştir.

Meo ve ark. (2005), gerçekleştirdikleri çalışmada petek sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe testi altında oluşan hasarları deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Petek sandviç kompozitlere 5 J ile 20 J arasında değişen beş farklı enerji parametrelerinde darbe vuruşları yapmışlardır. Amaçları darbe vuruşları sırasında ve sonrasında oluşan hasarların mekanizmalarını araştırmak olmuştur. Kompozit malzemelerde darbe testlerinden sonra yüzeylerde deformasyon, hasar ve delaminasyonlar tespit etmişlerdir. Çalışma deneysel ve LS-DYNA3D sonlu elemanlar analizi kullanılarak yapılmıştır. LS-DYNA3D sonlu elemanlar analizi düşük hızlı darbe davranışlarının simülasyonunu sağlayan bir sistemdir. Deneysel çalışmaların sonucu sayısal analiz sonuçlarıyla uyumlu olduğunu ortaya koymışlardır. Çalışma sonucunda deneysel ve sayısal analiz sonuçlarının uyumlu olması petek sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe testleriyle ilgili bilgiler verebilir, uçak vb. araçların önceden verimli tasarlanabileceği bilgisi sonucuna varmışlardır.

Tan ve Akil (2012), fiber metal takviyeli polipropilen petek kompozitlerin darbe davranışlarını deneysel ve optik görüntü yazılımı olarak araştırmışlardır. Sandviç kompozitlerin yüzeylerine 3.92 J ile 19.62 J arasında beş farklı darbe enerjisi uygulanmıştır. Kompozit malzeme yüzeyleri darbe sonrası optik görüntülerle incelenmiştir. Optik görüntülerle grafikler oluşturulmuştur. Yüzeylerde hasar ve deformasyonların olduğu grlmştir. Sandviç kompozitin darbe hasarı darbe eşiğini aştığı bölümlerde tespit edilmiştir. Darbe kritik hasar enerjisinin 13 J ve 14 J arasında olduğu tahmin edilmiştir. Kompozitlere uygulanan 15.68 J ve 19.62 J darbe

enerjilerinde yüzeylerde en geniş alanda kalıcı hasar ve delaminasyon meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Wu ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada karbon fiber takviyeli alüminyum bal peteği sandviç kompozit ve karbon fiber panelin darbe testleriyle dinamik özelliklerini deneysel ve sonlu eleman analizi yardımıyla araştırmışlardır. Karbon fiber takviyeli petek kompozitler ve karbon fiber paneli birbirleriyle darbe deneyleri yardımıyla karşılaştırılmıştır. Amaçları karbon fiber petek kompozit ve karbon fiber panel için çekirdek yüksekliği, hasarlar ve darbe etkisinin karşılaştırılmasıdır. Deneyler sonucunda karbon fiber takviyeli alüminyum petek dolgusunun karbon fiber paneline oranla yüksek enerjiyi absorbe etmesi ve darbeden daha az etkilendiğini görmüşlerdir.

Chen ve ark. (2017), kompozit sandviç yapıların darbe yanıtı deneysel ve modelleme olarak incelenmiştir. Karbon fiber kaplı kompozitleri düşük hızda darbe enerjileriyle deneyler yapmışlardır. Petek kompozitlerde darbe sonrası meydana gelen matris çatlamları, hasar ve delaminasyonlar SEM yardımıyla gözlendikten sonra sayısal analiz yönteminin sonuçlarına yakın olduğunu ortaya koymuşlardır.

Balcı ve ark. (2017), cam elyaf takviyeli nomex petek çekirdeğinden üretilen bal peteği sandviç kompozitlere tekrarlı uygulanan darbe deneyleri sonucunda malzemede meydana gelen hasar ve bozuklukları onarmayı deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmanın amacı kargo uçaklarında Airbus A319, A320, A321 modellerin yapılarında bulunan petek sandviçlerin tek ve tekrarlı düşük hızlı darbe davranışlarını incelemişlerdir. Her darbe sonrası petek kompozitlerin ön yüzeyi reçine malzemesiyle onarıldıktan sonra darbe vuruşları tekrarlanmıştır. Kompozitlerde oluşan hasarları tespit etmişlerdir. Uygulanan darbe enerjileri 1 J ile 8 J parametreleri arasında yapılmıştır. Kompozitlere 1 J darbe etkisi ile vurulduğunda 162. tekrarlı vuruşta ön yüzeyde kırılma arka yüzeyde tam penetrasyon görülmüştür. Malzeme ön ve arka yüzeyinde en fazla hasar ve tam penetrasyon 8 J enerjide meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Nomex petek çekirdeklerinde ezilme meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Topkaya ve Solmaz (2018), yaptıkları çalışmada bal peteği sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Petek hücre çekirdekleri alüminyumdan oluşurken yüzey plakaları karbon fiber, alüminyum ve cam fiber tabakalardan oluşturmuşlardır. Petek sandviç kompozitlere 5 J ve 10 J enerji değişkenliklerinde darbe vurulmuştur. Çalışma sonucunda bal peteği sandviç kompozitlerde çekirdek kalınlığının mukavemet üzerinde etkisi olmadığının fakat darbe davranışını en çok yüzey plaka kalınlığının etkilediğini ortaya koymuşlardır.

Mukavemet artışının en yüksek alt ve üst yüzey plakaları karbon fiber olan numunelerde gerçekleştiğini ifade etmişlerdir.

Uğur ve ark. (2020), alüminyum bal peteği sandviç kompozitlerin darbe davranışlarını deneysel ve sayısal analiz yöntemlerle araştırmışlardır. Yapıştırıcıların içeriklerinin bal peteği sandviç kompozitlerin darbe davranışlarına etkisini amaçlamışlardır. Parametrelerde Alüminyum 1000 ve 3000 çeşitleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda farklı hücre yüksekliği, kalınlık ve hücre genişliğinde numuneler oluşturulmuştur. Numunelerin bir kısmı epoksi esaslı bir kısımda epoksi esaslı yapıştırıcıya karbon nanotüp(MWCNT) eklenmesi ile birbirlerine bağlanmıştır. Yapıştırıcıya karbon nanotüpün(MWCNT) katılması mukavemeti arttırmıştır. Ardından numunelere darbe testi uygulanmış sonuçlar deneysel sonuçların sayısal analiz sonuçlarıyla %85 oranında uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir.

Literatür araştırmalarında karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit ve bal peteği sandviç kompozitlerle ilgili kompozitlerin açılı darbe testi davranışlarının incelendiği çalışmaların sayısı yok denecek kadar azdır. Yapılan çalışmaların büyük bir bölümü bal peteği sandviç kompozitlerin normal(0° , 90°) açılı olarak malzeme yüzeyine dik gelecek şekilde yapılan düşük hızlı darbe deneyi davranışlarını incelemektedir. Bu nedenle literatür araştırmalarında daha çok kompozit yapıların açılı darbe testi sonucu ortaya çıkan davranışlarıyla ilgili yapılan çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Madjidi ve ark. (1996), eğik açılı düşük hızlı darbe testlerinin polyester takviyeli kompozitlerin(laminat) mekanik özellikleri ve hasar toleranslarının belirlenmesi için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Kompozit plakalara darbe açıları beş farklı parametrede 5° , 10° , 15° , 20° , 25° ve 30° 'de uygulanmıştır. Eğik darbeler için darbe test cihazının alt bölümüne açılı destek aparatı monte edilmiştir. Darbe deneyi vuruş enerjileri 59 J a kadar çıkmıştır. Çalışmalar deneysel olarak yapılmış, mukavemet ve enerji terimleri formülize edilmiştir. Kompozit plaka yüzeylerine uygulanan eğik düşük hızlı darbe sonuçlarında eğik etkinin artması sonucu plaka yüzeylerinde deformasyon ve yüzey derinliğinde oluşan girinti alanının azaldığının ortaya çıktığını vurgulamışlardır. Düşük eğimli açılarda gerilme mukavemetinin daha büyük olduğu belirlenmiştir. Eğik darbe vuruşunun matris çatlamasını etkilemediğini belirtmişlerdir.

Navarro ve ark. (2012), kompozit panellerin modellemesinin yapılabilmesi için helikopter bıçaklarına açılı darbe yüklerinin uygulanmasının deneysel ve yarı sürekli yaklaşım metoduyla sonuçlarının araştırılmasıyla ilgili çalışmalar yapmışlardır. Amaçları açılı darbe etkilerinin oluşturacağı hasarları önceden deneysel olarak

tanımlamak ve helikopter yapılarında oluşacak hasarların modellemesini sayısal olarak yapıp havacılık uygulama alanlarında mekanizmaların tasarlanabilmesine katkıda bulunmak istemişlerdir. Çalışma numunelerinin dış yüzeyi epoksi dokuma kumaş iç malzemesi havacılık çekirdek köpüğünden oluşan kompozit sandviç panellerdir. Helikopter bıçaklarına uygulanan darbe açısı normal(0°) ve 15° , darbe enerjileri ise 50 J' den 230 J' e kadar değişen parametrelerde çalışmalar yapılmıştır. Sonuçlarda düşük enerjili(57 J) darbelerde sadece reçine kısmı zarar görürken yüksek enerjili(95 J,115 J) darbelerde fiber kırılması ve reçine hasarları görülmüştür. Deneysel ve yarı sürekli yaklaşım sonuçları arasında yakın değerler bulunduğunu ifade etmişlerdir. Darbe açılarının yönünde hasar çatlamlarının arttığı ve devam ettiği sonucuna varmışlardır.

Fadzullah ve Cantwell (2012), gerçekleştirdikleri çalışmada cam elyaf takviyeli kompozitler ve sandviç köpük yapılara uygulanan çarpma açısına bağlı olarak düşük hızlı darbe deneyinin gösterdikleri etkiler deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmanın amacı farklı darbe açılarının kompozit ve sandviç yapıların temas kuvveti ve hasar alanı oluşum durumlarına etkisinin belirlenmesidir. Aynı zamanda enerjinin korunması amacıyla enerji modeli dengesi oluşturularak deney sonuçlarıyla arasındaki ilişki tahmin edilmeye çalışılmıştır. Açılı darbeler 0° , 10° ve 20° de numunelere temas ettirilmiştir. Düşük hızlı darbe enerjileri iki farklı parametre arasında 2 J ve 31 J arasındaki değerlerde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda genel olarak normal(0°) açıda darbe deneyinin kompozit ve yapılar üzerinde en büyük hasar alanına ve yüksek temas kuvvetine sahip olurken 20° de ise en küçük hasar alanına ve küçük temas kuvvetine yol açtığını belirlemişlerdir. Enerji dengesi modeli oluşturularak cam elyaf takviyeli kompozitler ve köpüklü sandviç yapılar arasında iyi bir uyum yakalanarak temas kuvvetinin tahmin edildiğini ifade etmişlerdir.

Ivanez ve ark. (2015), petek sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışlarını çarpma açısına bağlı olarak deneysel ve numerik analiz yöntemiyle araştırmışlardır. Gerçekleştirilen çalışmada numunelerin alt ve üst yüz plakaları karbon fiber takviyeli epoksi, hücre çekirdekleri Nomex petekten oluşturmaktadırlar. Kompozitlere uygulanan düşük hızlı darbeler 0° , 5° , 10° ve 15° açılarla numunelere çarpmaktadır. Düşük hızlı darbelerin numunelere açılı çarpması için özel bir açılı çarpma aparatı üretilmiştir. Numuneler açılı çarpma aparatının üst kısmına monte edilmektedir. Darbe açısı çarpma tertibatı ile normal yüzeyin yaptığı açıdır. Darbe enerji parametreleri ise 3 J, 5 J, 7 J ve 10 J şeklinde kompozitlere etki gerçekleştirilmiştir. Etki sonrası oluşan hasarlar C-tarama cihazıyla görüntülenmiştir. Gözlemler yapılmıştır.

Darbe etkisi numerik analiz yöntemiyle tahmin edilmeye çalışılmıştır. Numerik analiz yöntemi kullanılarak 30° , 40° ve 50° de düşük hızlı darbe çarpma açısının etkisi sayısal olarak tahmin edilmek istenmiştir. Sonuçlar kompozit hasarları olarak 0° , 5° ve 10° çarpma açıları arasında birbirlerine benzer iken 15° de farklılıklar gözlemlenmiştir. Kompozit malzemelere uygulanan düşük hızlı darbe açı derecelerinin artması sonucu temas kuvvetinin ve emilen enerjinin azaldığını, darbe enerjilerinin artması ile temas kuvveti ve emilen enerjinin arttıktan sonra sabit bir durumda kaldığını tespit etmişlerdir.

Chen ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada kompozit sandviç yapıların çok amaçlı optimizasyonu için normal(0°) ve 45° açılarla düşük hızlı darbe altında kompozitlere etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada petek sandviç kompozitlerin tasarımı dikkate alınmış, ağırlıklı olarak deneysel incelenmiş sonlu eleman yöntemiyle simülasyon şeklinde darbe davranışları ve etkileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Düşük hızlı darbe etkilerinin açılı olması için vurucu baş kısmı açı oluşturacak şekle getirilir ve numuneye vurulmuştur. Kompozit paneller üzerindeki hasarlar SEM mikroskopuyla görüntülenmiştir. Sonuçlarda 45° de absorbe edilen enerjinin normal(0°) darbe açısına oranla, yük deplasman oranının çok daha fazla olduğunu grafiklerle ortaya koymuşlardır. Hasar kırılmalarının açılarının yönüne uygun şekilde etki ettiğini ifade etmişlerdir.

Rawat ve ark. (2019), çalışmalarında cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerin eğik açılı düşük hızlı darbe deneyleri sonucu oluşan tepki deneysel ve numerik analiz yöntemiyle araştırılmıştır. Üretilmiş numunelere yapılan düşük hızlı darbe açıları 0° , 15° , 30° ve 45° de uygulanırken darbe hızı 3 m/s düşük hızda darbe olarak LS-DYNA analiz programıyla simülasyonu yapılmıştır. Darbeler kompozitlerin yüzeyle yaptığı açı şeklinde gerçekleştirilir. Araştırma sonucunda enerji emilimi açının artması ile artırılır, belli bir açının üzerinde enerji emiliminin azaldığını ifade etmişlerdir. 15° , 30° ve 45° açılarda darbeler için merkez konumlarında hasar, delaminasyon ve kırıklar oluştuğunu açıklamışlardır. Tüm kompozitler 0° açılarda farklı şekillerde deforme olur, hasar alanları 0° ve 15° açılar için dikdörtgen hasar alanının aynı olduğunu ve fiber arızasının olmadığını vurgulamışlardır.

Literatür araştırmalarında bal peteği sandviç kompozitlerin özellikle basma, sıkıştırma, ezilme ve burkulma deneyleri sonucu mekanik dayanımlarının ve mukavemetlerinin tespit edilmesi için çok fazla çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

Nia ve Sadeghi (2010), gerçekleştirdikleri çalışmada bal peteği sandviç kompozitlerde köpük dolgusunun eksenel basma dayanımı sonucu ortaya çıkan mekanik ve mukavemet özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Malzeme olarak altıgen petek hücreleri Alüminyum 5052-H39 serisi kullanılmıştır. Köpük malzemesi olarak poliüretan köpük kullanılmıştır. Deneyler alüminyum petek ve köpük dolgulu petek numunelere eksenel basınç yüklemesiyle uygulanmıştır. Çalışma sonucunda köpük dolgusu kırılma mukavemetini %300' e kadar arttırdığı ve enerji emilimini arttırdığı tespit edilmiştir.

Zhang ve ark. (2014), farklı hücre şekillerine sahip alüminyum peteklerin basma testi sonucu ortaya çıkan davranışlarını deneysel ve numerik analiz olarak incelemişlerdir. Amaçları petek hücre sayıları, merkez açının ve duvar(folyo) kalınlığının basma davranışlarına etkisinin bulunması isteğidir. Çalışmada türü AA3003 H18 alüminyum, kalınlığı $t=0.075$ mm numuneler kullanılmıştır. İlk olarak alüminyum çeşidinin çekme gerilmesi ile mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Çalışmada petek örnekleri iki gruba ayrılmıştır. İlk grupta türü altıgen olan farklı sayıda hücre(3, 5, 7, 9, 12 ve 15) ikinci grupta aynı sayıda farklı merkez açılara sahip hücre(60° , 90° , 120° ve 180°) peteklerinde oluşturmuşlardır. Grupta bulunan numunelere basma testi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda petek hücre sayısının, merkez açının, petek duvar kalınlığının basma deneyi sonucunda ezilme mukavemetine etkisinin olduğunu ifade etmişlerdir. Sayısal simülasyon ve deney sonuçları uyumlu olduğunu açıklamışlardır.

Bentouhami ve Keskes (2015), bal peteği sandviç kompozitlerin sıkıştırma altında petek çekirdeklerin burkulma özelliğini deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın genel amacı çekirdek yoğunluğu, malzeme davranışı ve hasarı üzerine çalışmışlardır. Alüminyum ve nomex petek çeşitleri üzerinden araştırmalar yapılmıştır. Deney sonucunda alüminyum peteklerin kritik burkulma yükünün nomex peteklerden yüksek olduğu, nomex peteklerin daha kırılğan olduğu, çekirdek yüksekliğinin önemli olduğu ve basınç dayanımını etkilediği, hücre duvarı kalınlığı arttıkça kritik burkulma yükünün arttığını ortaya koymuşlardır.

Sun ve ark. (2016), gerçekleştirdikleri çalışmada karbon fiber kaplamalı petek sandviç kompozitlere ızgara takviyeli çekirdeklerin monte edilmesi ve sıkıştırma testleri sonucu mekanik dayanımlarının ortaya çıkması amaçlanmıştır. Kritik değerlerin hesaplanabilmesi için Sonlu eleman yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler alüminyum petek, alüminyum ızgara çekirdekli petek, epoksi reçine ve karbon fiberlerdir. Izgara çekirdekli petek alüminyum peteklerin göbek kısmına monte

edilmiştir. Karbon fiber kaplamalar epoksi reçine yardımıyla yüzeye yapıştırılmıştır. Izgara çekirdekli, petek çekirdekli, kombine(ızgara+petek) çekirdekli sandviç yapılarla sıkıştırma testleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarında karbon fiber kaplamalı kombine takviyeli petek sandviç kompozitlerin sertlik, enerji absorbesi, yük taşıma kapasitesinin en yüksek değerlerde olduğu ortaya çıkmıştır. Izgara takviyesi petek arayüz teması ve tokluğunu önemli ölçüde arttırdığını ifade etmişlerdir.

Akkuş ve ark. (2017), çalışmalarında bal peteği sandviç kompozitlerin nano partiküllerle güçlendirilmiş epoksi esaslı yapıştırıcılarla beraber sıkıştırma testi sonucu mekanik dayanım ve davranışlarının araştırılması amaçlanmıştır. Kompozit çekirdekleri Alüminyum 3000 serisi üst ve alt yüzeyler Alüminyum 1000 serisi malzemelerinden oluşturmuşlardır. Yapıştırıcı olarak ilk numunelere saf epoksi yapıştırıcı ikinci olarak numunelere epoksi esaslı yapıştırıcıya %1 karbon nanotüp(MWCNT) eklenmesi ile yapıştırıcılarla bağlantı sağlanmıştır. Numuneler basınç testine maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda petek sandviçlerde yapısal zararlar gözlemlenmiştir, sıkıştırma arttıkça hücre genişliği azalmıştır. Karbon nanotüp(MWCNT) yapıştırıcılarla bağlanan petek sandviç kompozitlerin mukavemet dayanımının daha fazla olduğunu vurgulamışlardır.

Literatür araştırmalarında karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin ve kompozit malzemelerin darbe deneyi sonrası ön hasar almış malzemelerin sonraki mekanik performans ve mukavemetlerindeki değişimleri incelemek amacıyla basma, sıkıştırma ve ezme davranışlarının araştırıldığı az sayıda çalışmaya rastlanılmıştır. Çalışmalar hakkında özet bilgiler aşağıda verilmiştir.

Lacy ve Hwang (2003), gerçekleştirdikleri çalışmada karbon epoksi kaplamalı nomex peteklerden oluşan sandviç kompozitlerin darbe sonrası basma yüklemesine maruz kalması sonucu oluşan mekanik özelliklerini deneysel ve sayısal modelleme yöntemiyle araştırmışlardır. İlk olarak numunelere düşük hızlı darbe hasarı verilmiş ardından basma testine maruz bırakılmıştır. Deney sonucunda deneysel ve sayısal modelleme arasında bir uyum tespit edilmiştir. Darbe sonrası ortaya çıkan hasarların basma dayanımlarını etkilediğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmanın petek kompozitlerin hasar ve mukavemet açısından bilgi verebileceğini vurgulamışlardır.

Davies ve ark. (2004), karbon epoksi yüzey plaka ve alüminyum petek çekirdeklerden oluşan kompozit paneller düşük hızlı darbe sonrası sıkıştırma yüklemeleri uygulanmıştır. İki farklı sandviç panel oluşturulmuştur. Kompozitler kalın yüzey plaka ince petek çekirdekli ve ince yüzey plaka kalın petek çekirdeği olmak üzere

iki farklı standartta oluşturulmuştur. Çalışmanın amacı kompozit panellerin mukavemet performanslarının öğrenilmesidir. Darbe sonrası basma testi için sonlu eleman modellemesi gerçekleştirilmiştir. Kaplamalar karbon epoksi Fıberite 7714D/XAS, petek çekirdeği alüminyum CIBA 4.5-1/8-10(5052) T materyallerden üretilmiştir. Ardından kompozitlere darbe testi sonrası sıkıştırma deneyi yüklenmiştir. Deney sonuçlarında ince yüzey plaka kullanımının malzeme yapısı açısından olumsuz durumlar yarattığı görülmüştür. Kalın yüzey plaka ince petek çekirdeğine sahip kompozitin 120 J darbe testi enerjisinin %76 oranında emdiği basınç dayanımını %34 oranında düşürdüğü, ince yüzey plaka kalın petek çekirdeği ise yüzeyler için 80 J emilen enerji darbe sonrası basma hasarsız malzemenin %32 oranında dayanımını etkilediğini tespit etmişlerdir.

Castanie ve ark. (2008), sandviç kompozitlerin mukavemetini belirlemek için bal peteği sandviç kompozitlerin çekirdeklerini darbe deneyi sonrası basma davranışlarını araştırılmasını sağlamışlardır. Sandviç kompozitlerin mukavemet davranışını öğrenmek için en önemli kriterin çekirdek ezilmesi olduğunu vurgulamışlardır. Numuneleri pirinç kaplamalı yüzeylerden ve Nomex petek çekirdeklerinden üretmişlerdir. Darbe enerjileri 6.7 J ve 28.2 J arasında değişen seviyelerde yapılmıştır. Numunelerin pirinç kaplı yüzey bölümüne ayrı Nomex petek çekirdeklerinin oranını ağırlıklı olduğu bölüme ayrı ayrı darbe ve darbe sonrası basma deneyleri uygulanmıştır. Sandviç kompozitlerin uç bölgelerinde darbe ve basma yüklemeleri yoğunlaştırılmıştır. Çalışma sonucunda darbe sonrası basma yükü kompozitte meydana gelen sorunların mekanik davranışları etkileyen parametrelerin, yüzeyde darbe sonrası oluşan hasar bölgesi ve petek çekirdeği yanıtı olduğunu ifade etmişlerdir. Petek çekirdek malzemesinin basma mukavemeti açısından önemli bir kriter olduğunu belirtmişlerdir.

Zhou ve Hill (2009), çalışmalarında petek sandviç kompozit panellerin darbe hasarı sonrası basma dayanımlarının mekanik özelliklere etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Kompozitler yüzey kaplama olarak karbon/epoksi plaka T70/LMT45 malzemesinden yapılmıştır. Petek çekirdekleri için 5052 Alüminyum ve Nomex malzeme, yapıştırıcı çeşidi olarak VTA260 kullanılarak üretilmiştir. Parçalara düşük hızlı darbe testi cihazıyla 1 J ile 55 J arasında değişen darbe enerjileriyle vurma işlemi yapılmıştır. Örnekler hasarlı ve hasarsız olarak incelenmiştir. Ardından numunelere 1 mm/dak hızında Universal basma test cihazıyla düzlemde sıkıştırma testleri yapılmıştır. Araştırma sonuçlarında Alüminyum ve Nomex petek çekirdeklerinden üretilen sandviç kompozitler 1 J ve 55 J aralığındaki darbe deneyleri sonucu numunelerde hasarların, yüzeyde delaminasyonların ve çekirdek kırılmalarının meydana geldiğini tespit

etmişlerdir. Petek çekirdeklerinin yüksek eğilme dayanımı, kayma sertliği ve basınç dayanımı düşük hızlı darbe ön hasarına uğramış kompozitlerin orta kısmında hasar ve çöküntülerin olması basınç dayanımını azalttığını ifade etmişlerdir.

Sawal ve ark. (2013), petek çekirdek yapısı içinde bulunan farklı hücre çekirdeklerinin malzeme mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin darbe ve basma testleriyle öğrenilmesini çalışmalarında amaçlamışlardır. Kullanılan malzemeler Al 6061, polipropilen ve polistiren ürünleridir. Darbe test cihazıyla ağırlık düşürmeler petek çekirdeklerine uygulanmıştır. Darbe sonrası sıkıştırma testleri uygulanmıştır. Sıkıştırma testleri 1 mm/dak hızlarla Universal Test cihazıyla yüklemeler yapılmıştır. Çalışma sonucunda bir metal alaşımı ve iki termoplastik petek çekirdeği incelenmiştir. Darbe ve basma testleri sonucunda Al 6061 alaşımının en yüksek stres ve kuvvet değerine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Termoplastik malzemeler polipropilen ve polistiren malzemeler düşük stres ve kuvvet değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Gilioli ve ark. (2014), alüminyum kaplamalı Nomex petek çekirdekli sandviç kompozitlerin darbe testi sonrası sıkıştırma davranışları ve performansının deneysel araştırılması sağlanmıştır. Aynı zamanda ANOVA sayısal analiz yazılımıyla modelleme sağlanmıştır. Kaplama olarak Al 2024-T3 alüminyum alaşımı petek çekirdekleri olarak nomex A-10 malzeme kullanılmıştır. Numunelere 15 J ve 241 J darbe parametreleri aralıklarında ağırlık düşürme testi uygulanmıştır. Darbe ön hasarlı ve hasarsız sandviç kompozitlere basma yüklemesi uygulandı. Çalışma sonuçlarında darbe ön hasarlı ve hasarsız numunelerin mukavemetleri arasında farklar bulunmuştur. Hasarlı kompozitlerin hasarsız kompozitlere oranla sıkıştırma mukavemetlerinde belirgin bir azalma olduğunu ortaya koymuşlardır.

Fischer ve ark. (2017), Nomex ve kâğıttan oluşan petek çekirdekli sandviç kompozitlerin darbe ön hasarlı deneylerden sonra basma dayanımlarının araştırılmasını sağlamışlardır. Sandviç yüzey kaplamaları karbon fiber, petek çekirdekleri nomex ve reçine emdirilmiş kâğıttan oluşturmuşlardır. Numunelere ilk olarak farklı 0(hasarsız) J, 2 J, 3.5 J ve 5 J darbe enerjilerinde darbe ön hasarı verilmiştir. Ardından darbe hasarı sonrası örnekler gözlemlenmiştir. İkinci olarak darbe ön hasarlı numunelere basma test cihazıyla basma dayanımı uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarında darbe ön hasarına uğrayan numuneler arasında basma dayanımında farklılıklar bulunmuştur. Basma dayanımının 0(hasarsız) J ve 2 J darbe ön hasarına uğramış numunelerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Zhang ve ark. (2017), gerçekleştirdikleri çalışmada farklı dolgulu karbon fiber takviyeli sandviç kompozit malzemelerin statik ve dinamik davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Karbon fiber kaplamalı paneller farklı takviye malzemelerle çekirdek kısımları doldurulmuştur. Çalışmada dört farklı çekirdek dolgu malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemeler polipropilen köpük, alüminyum petek, kauçuk küçük toparlar ve plastik içi boş toparlardan oluşturmuşlardır. Yüzey kaplama ve çekirdek malzemeleri 3M yapıştırıcıyla bağlanmıştır. Çekirdek dolgu malzemeli karbon fiber takviyeli kompozitlere basma testleri Sans 5305 Hidrolik test cihazıyla yüklenmiştir. Düşük hızlı darbe deneyleri Instron Dynatup 9381 test cihazıyla uygulanmıştır. Çalışmalarının sonucunda darbe testi sonrası karbon fiber yüzeylerde dairesel hasarların meydana geldiğini görmüşlerdir. Fakat Polipropilen çekirdek malzemelerin kullanıldığı karbon fiber takviyeli kompozit yüzeylerde çarpma alanından itibaren boydan boya çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir. Karbon fiber kaplamaların çok dayanıklı malzemeler olduğunu tespit etmişlerdir. Statik yüklemeler altında sandviç kompozitleri güçlendirmek için en iyi iki çekirdek malzemenin alüminyum petek ve plastik içi boş toparlar olduğunu ifade etmişlerdir. Alüminyum petek ve polipropilen köpük çekirdek malzemelerin dinamik darbe yüklemesi altında en etkili enerji emilimi gerçekleştiren malzemelerin olduğunu belirtmişlerdir.

Zhao ve ark. (2018), titanyum petek sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi ve darbe deneyi sonrası basma testinin uygulanmasını deneysel ve sayısal analiz metoduyla incelemişlerdir. Deney numuneleri titanyum petek çekirdeği ve yüzey plakaları titanyumdan oluşturulmuştur. Yüzey plakalar ve petek çekirdeği lehim yardımıyla bağlanmıştır. Düşük hızlı darbe deneyi Instron 9350-HV ağırlıklı düşme testi ile 0(hasarsız) J, 6 J, 8 J, 10 J ve 12 J enerji değişkenliklerinde uygulanmıştır. Kompozitler Ultrasonik Tarama yöntemiyle gözlemlenmiştir. Ön hasarlı numunelere Universal Elektronik Basma test cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarında düşük hızlı darbe ön hasarı alan numunelerde basma testinde mukavemet dayanımının %9 ile %15 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Sayısal analiz sonuçlarıyla deneysel sonuçlar arasında yakınlık olduğunu belirtmişlerdir. Titanyum sandviç kompozitlerin çok daha iyi dayanımı olan sandviç kompozitlere oranla hasar toleransı ve basınç dayanımının düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

Literatür araştırmalarında yapılan çalışmalar incelendiğinde karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin veya bal peteği sandviç kompozitlerin mekanik ve mukavemet davranışlarının araştırılmasıyla ilgili birçok statik ve dinamik

deneyler yapıldığı görülmektedir. Sonuç olarak incelenen literatür çalışmalarında karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit malzemelerin açılı düşük hızlı darbe testi sonrası basma davranışlarının deneysel olarak araştırma konusu olduğu veya benzer bir çalışmaya rastlanılamamıştır. Bu çalışmadaki en önemli araştırma konularından biri karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlere çarpma açısına bağlı olarak düşük hızlı darbe testlerinin uygulanmasıdır. Ön hasarlı ve hasarsız numunelere basma yüklemesi uygulanacaktır. Gerçekleştirilen bu çalışmanın önemli bir literatür açığını kapatacağı düşünülmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada ise karbon fiber takviyeli alüminyum bal peteği sandviç kompozit malzemelerin darbe testi sonrası basma davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada Al 3003 Alüminyum alaşımı altıgen bal peteği hücreler ile karbon fiber yüzey malzemelerine sahip numuneler kullanılacaktır. Yüzey malzemeleri karbon fiber ile hücreler arasındaki bağlantı 3M Scotch-Weld marka DP 460 model epoksi esaslı yapıştırıcı ile sağlanacaktır. Deney numuneleri boyutları uzunluğu ve genişliği 80 mm x 80 mm ölçülerinde hazırlanacaktır. Bal peteği üç farklı hücre yüksekliği 10 mm, 15 mm ve 20 mm değerlerinde olacaktır. Karbon fiber yüzey plaka malzemeleri(alt ve üst) 1 mm kalınlığında olacaktır. Deney parametrelerinde karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerde alüminyum bal peteği hücre yüksekliğinin farklı değerlerde olması önemli bir etken olacaktır. Deney numuneleri bu standartlarda üretilecektir. Deney numuneleri üretilme işleminden sonra hasarlı ve hasarsız olarak düşük hızlı darbe testi, açılı düşük hızlı darbe, basma testi, açılı darbe testi sonrası basma yüklemeleri uygulanmış ve bazı numuneler hasarsız bırakılmıştır. Darbe deneyleri Instron Dynatup 9250 model darbe test cihazıyla yapılmıştır. Instron Dynatup 9250 test cihazı ile numunelere üç farklı düşük hızda sırasıyla 2,5 Joule, 5 Joule ve 7,5 Joule darbe enerji parametrelerinde ağırlık düşürme testleri yapılacaktır. Düşük hızlı darbe testleri deney numunelerine üç farklı açıda sırasıyla 0°(normal), 15° ve 30° çarpma açılarındaki ağırlık düşürme testi uygulanacaktır. Darbe enerjileri ve çarpma açıları değişkenleri numunelere eşgüdümlü uygulanacaktır. Açılı çarpmalardaki ağırlık düşürme darbe testlerinin yapılabilmesi için özel bir açılı destek aparatı üretilmiştir. Açılı darbe testi ile ön hasar verilmiş numuneler ile hasarsız numuneler, açılı darbe ön hasarının darbe mukavemetindeki düşüşe ve mekanik davranışlarına etkisini incelemek amacıyla basma yüklemesine maruz bırakılacaktır. Basma yüklemeleri Shimadzu Universal model test cihazı ile 250 kN yük hücresi uygulanarak, ilerleme hızı 1 mm/dak seçilecektir. Darbe ve Basma testleri sonucunda karbon fiber

takviyeli bal peteği sandviç kompozit malzemelerde veya numunelerde meydana gelen mukavemet değişimleri, mekanik davranışlar, hasarsız ve hasarlı numuneler gözlemlenip deneysel olarak incelenecektir. Çalışma sonucu ortaya çıkan analiz ve veriler sonucunda havacılık, savunma sanayi, uzay uygulamaları ve elektrikli araçlarda meydana gelen hasarların tahmini, tespiti, onarımı statik darbe ve dinamik basma yüklemeleri sonucu önceden gerçekleşecektir. Çalışmada gerçekleştirilen deneyler sonucunda ortaya çıkan grafik, fotoğraf ve tablolarla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Tüm çalışmalar deneysel olarak uygulanmış ve değerlendirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler en az iki veya daha fazla ürün çeşitlerinin fiziksel, kimyasal vb. yollarla bir araya getirilerek birleştiği malzemelerden en iyi özellikler kombinasyonunu ortaya çıkararak en güçlü özelliklerini gösteren malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit malzemeler kendini oluşturan malzemelerin özelliklerinden daha iyi özellikler gösterir. Kompozit malzemeler adeta tüm avantajlı özelliklerin tek bir üründe birleşmiş halidir.

2.1.1. Tabakalı Yapılar

Kompozit malzemelerin genel olarak malzemeleri oluşturan temel ürünler fiberler ve matrislerdir. Matris malzemeleri kompozit malzemeler içinde çok önemli görevlerde yer alır. Fiber malzemeleri matris malzemelerine eklenerek birleşmesiyle oluşur.

Matris malzemeleri dışarıdan gelen darbelere karşı kompozit içinde darbeyi yumuşatma ve dağıtma görevi görür. Matris malzemeleri sayesinde yüzey pürüzlülüğünün sorunsuz olması gerçekleşir. Farklı boyutlarda malzemelerin imal edilmesine katkıda bulunur. Matris malzemeleri kullanıldığı malzemelerin özelliklerine olumlu yönde etkiler eder. Matrisler malzemenin ayakta kalmasını sağlar denebilir (Mazumdar, 2002).

Fiber malzemeleri kompozit malzemeler içinde yüklerin taşınmasında önemli görevlerde yer almaktadırlar. kompozit malzemelerin sertlik ve mukavemet gibi özelliklerine olumlu yönde etkileri vardır. Fiber malzemeler kompozit malzemelere iletkenlik ve yalıtım sağlarlar (Mazumdar, 2002).

2.1.2. Fiber Oryantasyon

Lifler genellikle daha yüksek mukavemet gösterir aynı malzemenin toplu biçiminden daha büyüktür. Genellikle yük taşıma kapasitesini dengelemek için farklı yönlerde 0 °, + 45 °, -45 ° ve 90 ° yönlerde oluşturulmakta ve tasarlanmaktadır (Campbell, 2010).

2.1.3. Fiber Tipleri

Yapısal alanlarda farklı fiberler kullanılabilir. Fiberler uzunluklarına ve kimyasal bileşimlerine göre sınıflandırılabilir. Kompozitlerde en fazla kullanılan fiberler cam, karbon, boron, seramik, metalik, kevlar, grafit ve polimer fiberlerdir. Fiber malzemeleri seçme nedenleri mekanik özellikleri, çevresel özellikler ve maliyet uygunluklarıdır (Barbero, 2017).

2.1.3.1. Cam Fiberler

Cam fiberler genel olarak kullanılan bir elyaf çeşididir. Farklı alaşımların birleşmesiyle oluşur. Yaygın olarak kullanılan cam fiberleri %50-60 oranında silika' dan silikon dioksit ve oksit olarak kalsiyum, bor, sodyum, alüminyum bileşimlerinden oluşur. Cam fiberlerin avantajları yalıtkan, korozyona ve sıcaklığa dayanıklı malzemeler olmasıdır. Cam fiberler yüzey kusurlarıyla beraber zarar görebilir bu durumu en aza indirmek için boyutlandırma işlemi uygulanır ve cam fiberleri tel halinde korur. Ucuz ve farklı şekillerde bulunulabilir. Cam fiberler uzay ve havacılık uygulamalarında kullanılır. Cam fiberlerde nem oluşumu mukavemeti düşürür ve yük altında zamanla çatlamalara maruz kalabilir. Cam fiber takviyeli reçinelere inşaat vb. uygulamalarda cam fiber takviyeli plastik veya GFRP denir. GFRP malzemeler yapı ve yük taşımayan duvar panellerinde kullanılır (Chawla, 2019).

2.1.3.2. Boron Fiberler

Yüksek sertlik ve mukavemet özelliklerine sahiptirler. Düşük yoğunluğa sahiptir. Boron fiberleri bir tel yardımıyla bir tungsten üzerinden kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile üretilir. Üretimleri çok yavaş devam eden fiberlerdir. Yüksek maliyete sahiptirler. Üretilen fiberler boron fiberlerin karbon fiberle değiştirilmesini sağlar. Havacılık ve spor uygulamalarında çok fazla kullanım alanına sahiptir (Barbero, 2017).

Fiberleri üretmenin en önemli yolu kimyasal buhar biriktirme yöntemidir boron fiberleri elde etmek için optimum sıcaklık 1000 °C' dir. Boron fiberleri yüzeyleri mısır koçanı görünümündedirler. Boron fiberler kırılgan malzemelerdir. Kırılgan malzeme olmaları yüzey ve ara yüzeyde hissedilir. Boron fiberlerinin diğer malzemelere göre en

büyük avantajı fiberlerin sıkıştırılarak yüksek performans göstermesidir (Chawla, 2019).

2.1.3.3. Seramik Fiberler

Yüksek sıcaklıkta çalışma ve elastik mukavemet özelliklerine sahiptir. Birçok malzeme de takviye edici ürün olarak kullanılır. Seramik fiberlerin üretilmesi için kimyasal buhar birikimi, polimer proliz, sol-jel yöntemleri kullanılır. Seramik fiberler 1200 °C' den fazla sıcaklıklarda kullanılma sorunları yaşarlar. Bu sorunun nedeni gerilme mukavemetlerinde yüksek sıcaklıklarda yaşanan bozulmalardır (Chawla, 2019). Üretim ve kullanım alanlarının sınırlı olması nedeniyle seramik fiberlerin maliyeti yüksektir. Seramik fiberler dizel araç pistonların da takviye edici malzeme olarak kullanılır. Araçların metal malzemeden oluşan pistonlara sertlik ve güç katar (Barbero, 2017).

2.1.3.4. Kevlar

Kevlar fiberlerine verilen genel ad aramid fiberlerdir. Aramid fiberlerin önemli olarak ticari kullanılan isimlerinden biri Kevlar fiberleridir. Kevların yapısı aromatik halka bağlarından oluşmaktadır. Aramid fiberler ağırlık olarak hafif, yüksek sertlik ve mukavemete sahiptirler. Basınç dayanımlarına karşı zayıf özellikler gösterirler. Bu nedenle aramid fiberler basınç uygulamaları için uygun malzemeler değildir. Yüksek sönümlenme özelliklerini uygundur. En çok bilinen kevlar çeşitleri kevlar 29, kevlar 49, kevlar 119, kevlar 129 ve kevlar 149'dur. Aramid fiberler çevreye karşı özellikle Ultraviyole(UV) ışınlarına karşı hassastırlar. Kevlar fiberler genel olarak araç lastikleri ve daha çok mekanik kauçuktan üretilen malzemelerin yapısında kullanılır (Chawla, 2019).

2.1.3.5. Karbon Fiberler

Karbon fiberler yapı olarak çeşitli kristal formlarda bulunabilir. Karbon fiberler bazen grafit yapılarda da bulunabilir. Karbon fiberlerin en büyük özellikleri karbon(C) bileşimlerinden oluşmasıdır. Grafit karbon fiberler altıgen düzlem yapı halindedir. Karbon fiber ve grafit fiberler arasındaki fark karbon ağ yapılarında bulunan dizilimlerin farklı boyutlarda olmasıdır (Chawla, 2019).

Tercih edilmeme sebepleri yüksek maliyetleri ve yüksek şok direncine karşı dayanıksız olmasıdır. Özellikle havacılık ve uzay uygulamalarında kullanım olanaklarına sahiptir. Karbon fiberler ağırlık olarak çok düşük seviyededir. Karbon fiberlerin avantajları maksimum sıcaklıklarda, yorulma mukavemeti ve korozyon direncinde yüksek değerlerde çalışma olanaklarına sahip olmasıdır. Karbon fiber malzemeler bazı durumlarda çelik malzemesinin yerine dahi kullanılabilir (Barbero, 2017).

2.1.4. Matris Malzemeleri

Matrislerin kompozit malzemelerin yapısında birçok görevi vardır. Kompozit malzemeler içinde Liflerin bir arada kalmasını sağlar. Kompozit malzemeleri dıştan gelen darbe ve baskılara karşı koruma ve yumuşatma görevi görür. Bu nedenle matris malzeme seçimleri çok önemlidir. Matrisler özellikle sıcaklık ve direnç konularında önemli görevler almaktadır. Matris malzemeleri çeşitleri polimerler, metaller ve seramikler olabilir. En çok kullanılan çeşitler polimer matrislerdir (Barbero, 2017).

2.1.4.1. Polyester Reçineler

Polyester reçineleri dış ortamdan gelen ultraviyole ışınlarına, su bazlı nemlenmeye karşı ve sürekli olarak kullanılabilen reçine çeşitleridir. Polyester reçineler kaplama malzemesi olarakta kullanılabilir. Kompozit malzemeler içinde kullanım alanı en geniş olan reçine türüdür. Polyester reçinelerin kullanımı kolay ve hızlı kürlenir (Park, 2018). Polyester reçinelerin avantajları düşük maliyet ve kolay malzeme işlenebilme özelliklerine sahiptir. Polyester reçineler genel olarak deniz ve inşaat endüstrileri uygulamalarında kullanılır. Polyester reçineler bazı uygulamalı çeşitlerinde cam fiberle birleştirilerek kullanılır. Polyester reçineler ilgili önemli dezavantajlarından biri strinlere maruz kalmalarıdır. Uygulamalarda strinlere maruz kalınmaması için önlemler alınması gerekir. Polyester reçinelerin çalışma ortamlarındaki çevre şartları malzeme açısından çok önemlidir (Brigante, 2014).

2.1.4.2. Vinilester Reçineler

Vinilester reçineler yüksek uzama ve korozyon dirençlerine karşı güçlüdür. Çok farklı vinilester reçine ürünleri mevcuttur. Vinilester reçineler 120 °C sıcaklığa kadar

bozulmadan uygun şekilde kullanılabilirler. Vinilester reçineler orta düzeyde maliyete sahiptirler. Vinilester reçineleri asitler, alkaliler, çözücüler ve peroksit gibi çeşitleri bulunmaktadır (Barbero, 2017).

2.1.4.3. Epoksi Reçineler

Polyester reçinelere oranla daha yüksek maliyetlere sahiptir. Epoksi reçinelerin dezavantajlarından biri polyester reçinelere oranla uygulama işleminin karmaşık şekilde olmasıdır. Epoksi reçineler genel olarak havacılık uygulamaları ve spor alanlarında kullanılmaktadır. İnşaat uygulamaları için en uygun ve en çok kullanılan reçine türüdür. Epoksi reçinelerin iyi mekanik özelliklerini göstermesinin yanında bağlama özelliği sağlaması da büyük avantajdır (Brigante, 2014).

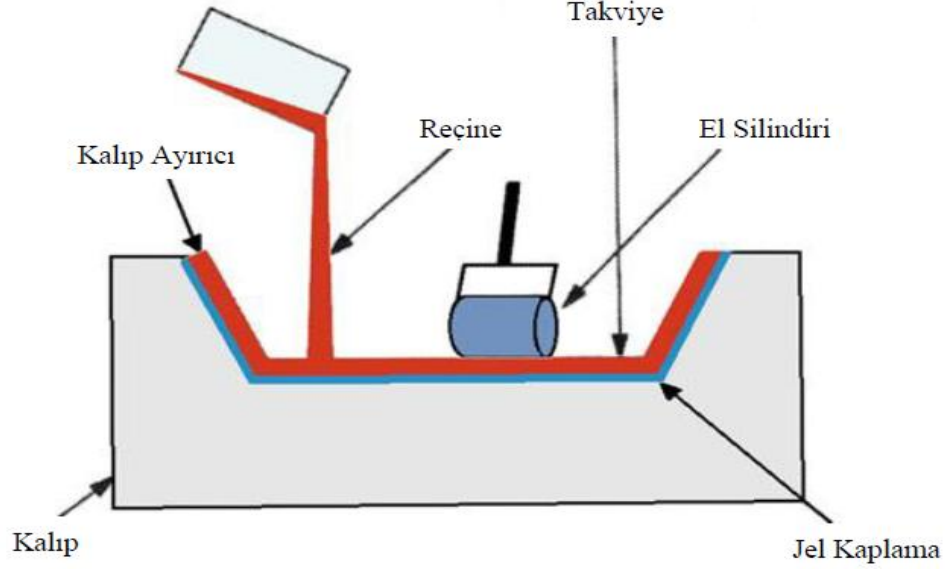
2.1.5. Elyaf Takviyeli Tabakalı Kompozit Plakaların Üretim Metotları

Kompozit malzemelerin imal edilmeleri için birçok farklı ilkel ve günümüzde teknolojik uygulamalar kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin üretiminde fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden farklı olan birçok malzeme imal edilebilir. Üretimdeki teknolojik uygulamaların artmasıyla maliyetlerinde düştüğü görülmüştür. Kompozit malzemelerin yapılarında ne gibi değişikliklerin olması istendiği bugünkü teknoloji ile beraber çok kolay yapılabilir. Kompozit malzemelerin ilerleyen yıllarda üretim anlamında daha fazla gelişeceği düşünülmektedir. Kompozit malzemelerin imal edilmesi için özelliklerine göre çok farklı şekillerde üretimler gerçekleşir. Kompozit üretimlerinde yöntemlerin birbirinden artıları ve eksileri mevcuttur (Brigante, 2014).

2.1.5.1. Elle Yatırma Yöntemi

El yerleşimi tekniği olarak da bilinen elle yatırma yöntemi uygulanması en kolay ve en geniş kullanım alanına sahip olan üretim yöntemidir. Genel olarak kuru el yöntemi kullanılır. El yerleşimi üretimi dört ana madde de gerçekleşir. Bunlar kalıp hazırlama, jel kaplama, düzenleme ve sertleştirme işlemlerinden oluşmaktadır. El yerleşimi ile farklı yapılarda ürünler üretilebilir. Kullanım maliyeti her yönüyle çok düşük seviyededir. Ürünlerin tamamı kullanılabilir halde imal edilebilir. El yerleşim kullanılmama sebepleri ise ürün yüzeylerinin istenildiği kusursuzlukta olmaması, imal edilmesi seviyesinin düşük olması, ürün niteliklerinin üreticinin geçmiş birikimiyle

ilişkili olması durumları diyebiliriz (Barbero, 2017). Elle yatırma yöntemi şematik olarak Şekil 2.1’ de gösterilmiştir.

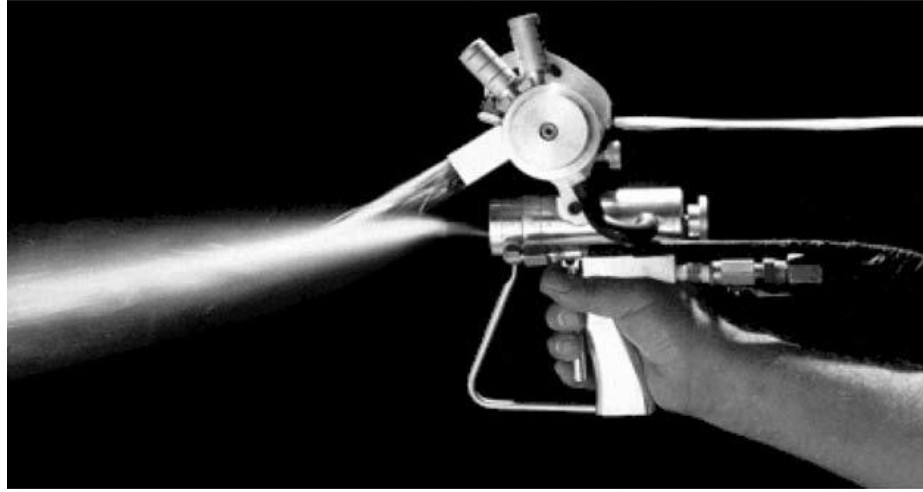


Şekil 2.1. Elle Yatırma Yöntemi (Chawla, 2019)

Elle yatırma tekniği genel olarak havacılık ve deniz uygulamalarında kolaylıkla kullanılmaktadır. Uygulama alanları uçaklar, tekneler ve yapısal destek ürünlerinde çok fazla işlem görmektedir (Barbero, 2017).

2.1.5.2. Sprey ile Üretim

Sprey ile üretim yöntemine genel olarak püskürtme yöntemine denir. Daha çok elle yerleştirme yöntemi ile beraber uygulanır. Çalışma ortamları oda sıcaklıklarında yapılır. Çalışma prensibi elle yerleştirme tekniği ile kaplamalar üzerine püskürtme aleti ile sıvı dağıtılması işlemi şeklinde gerçekleşir. Sprey ile üretim yöntemi resim olarak Şekil 2.2’ de verilmiştir. Genel olarak elyaf ve reçine püskürtme şeklinde gerçekleşir. Kürleşme işlemi çok rahat uygulanabilir. Avantajları maliyet olarak uygun olması kolay uygulanabilir olması ve püskürtme işleminin yapıldığı yerde alet-malzeme sorunun yaşanmamasıdır. Sprey ile üretim yöntemi gelişmiş teknolojik aletlerle beraber uygun çalışma yöntemine sahiptir. Çok Farklı boyutlarda parçalara uygulanma özelliğine sahiptir. Püskürtme yönteminde kullanılan aletin içine takviye edici malzemelerde enjekte edilebilir. Uygulama alanları yapısal destekler yani tesisat ve denizcilikte kullanılan gemi karavan bölümlerinin yapımında kullanılır (Campbell, 2010).

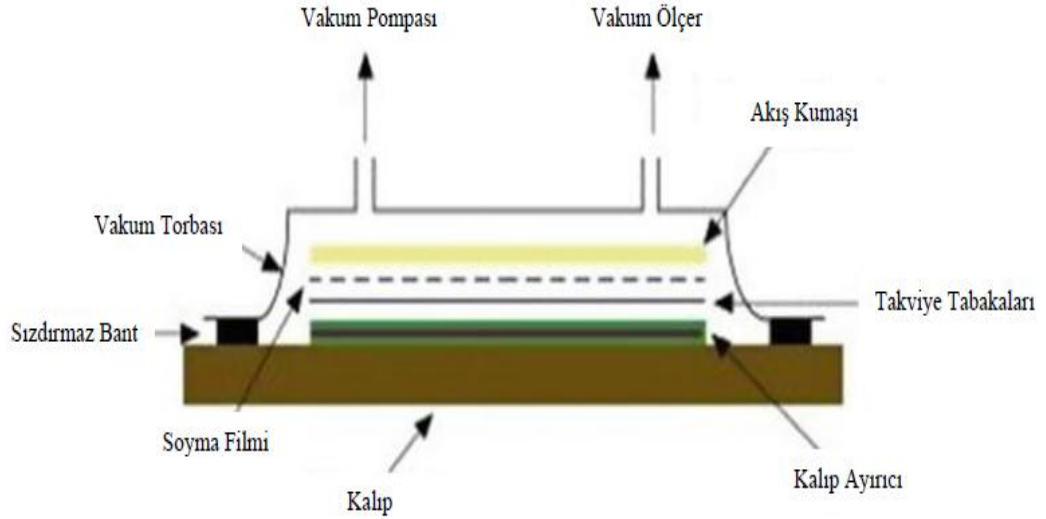


Şekil 2.2. Sprey ile Üretim Yöntemi (Campbell, 2010)

Dezavantajları ise havacılık sektöründe istenildiği gibi kullanılamamasıdır. Sprey ile üretim yönteminde kürleşme sonucunda üründe kimyasal reaksiyonların gerçekleşme riski de bulunmaktadır.

2.1.5.3.Vakum Torbalama

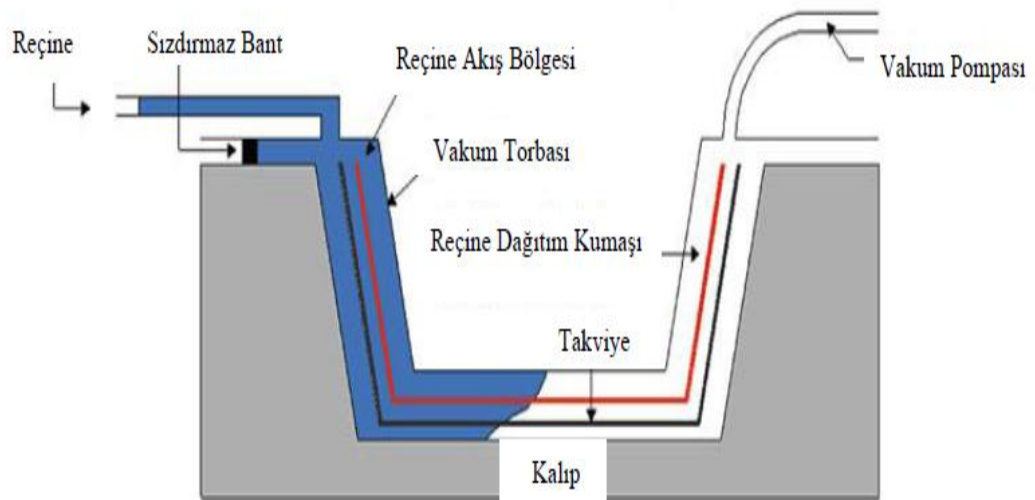
Vakumlu kalıplamada basınçlı havanın ve reçinenin hareket ettirilmesi ile gerçekleşen bir sistemdir. Vakum kaplama tüm malzemenin üzerine yerleştirilir. Ve ardından sıvı reçine havalandırma sistemlerini takip ederek basınçlı hava sistem dışına çıkarılır. Torbanın alt sisteminde bir vakum etkisi gerçekleştirilir ve atmosferi sıkıştırır. Bu işlemler el yerleşim tekniği yardımı ile yapılır. Vakum torbalama yöntemi şematik olarak Şekil 2.3’ te gösterilmiştir. Uygulamaların gerçekleşmesi malzemeye maksimum takviye sağlar. Vakumlu kaplama avantajları ise hava sızdırmazlık etkisi, fiberlerin daha fazla nemlenmesi ve emisyon işleminin boşa harcanmamasıdır. Dezavantajları ise yüksek maliyet, vakum kalıplama malzemelerinin tekrar tekrar kullanılamaması, yüksek seviyede vakum kalıplama kullanıcı bilgisinin olması gerektiği, basınçlı havanın malzeme üzerinde yarattığı pürüzlülük durumlarıdır. Çok fazla işlem gördüğü alanlar denizcilik alanında tekne ve otomobillerde genel olarak yarış araçları yapılarında kullanım alanına sahiptirler (Kar, 2017).



Şekil 2.3. Vakum Torbalama ile Üretim Yöntemi (Park, 2018)

2.1.5.4. Reçine İnfüzyonu

Reçine infüzyonu geniş ve yenilikçi teknolojilerin kullanılmasına olanak sağlayan bir sistemdir. Geniş boyutlu parçaların infüzyon yapıldığında yüksek maliyet getirisi olan bir sistemdir. Reçine infüzyonları kalıplar içinde sıkışmış havanın neden olduğu basınç nedeniyle çok fazla ihtiyaç duyulur. Bu sistemde sıvı reçineler kuru bölgeye enjekte edilir. Havalandırma boşluklarından geçişlerinden basıncı düşürülmüş ortam sağlanır. Reçinenin sisteme enjekte edilmesi sağlanır. Dış atmosfer basıncı etkisiyle de takviyenin vakumlu hale getirilmesi meydana getirilir (Brigante,2014). Reçine infüzyonu şematik olarak Şekil 2.4’ te gösterilmiştir.

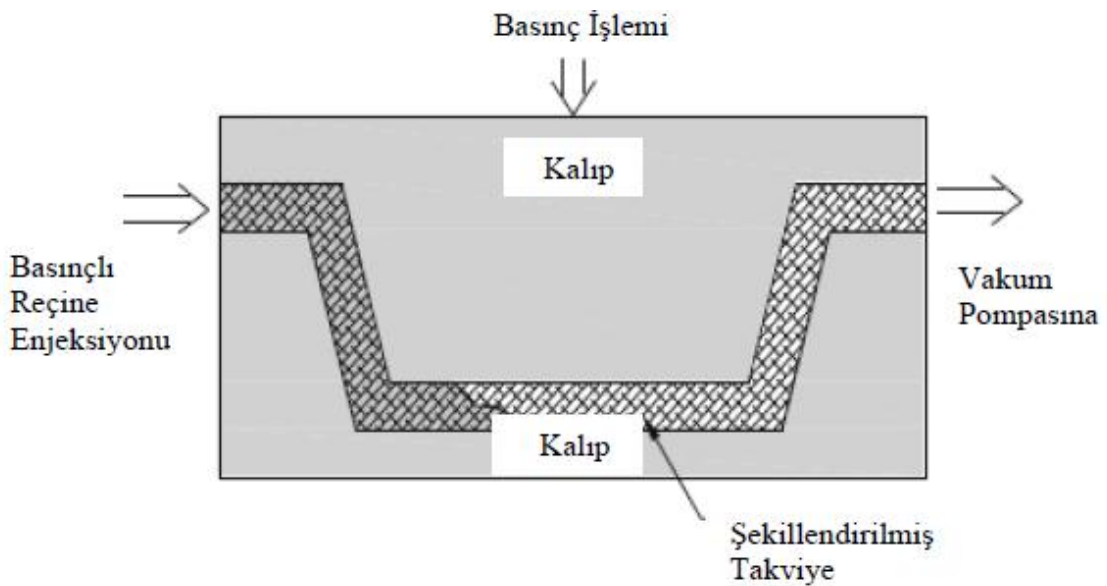


Şekil 2.4. Reçine İnfüzyonu ile Üretim (Brigante, 2014)

Reçine infüzyonu üretimi daha çok denizcilik alanında yatlarda, otomobillerde ise panel kısımlarında kullanılma oranı daha fazladır.

2.1.5.5. Kalıba Reçine Enjeksiyonu

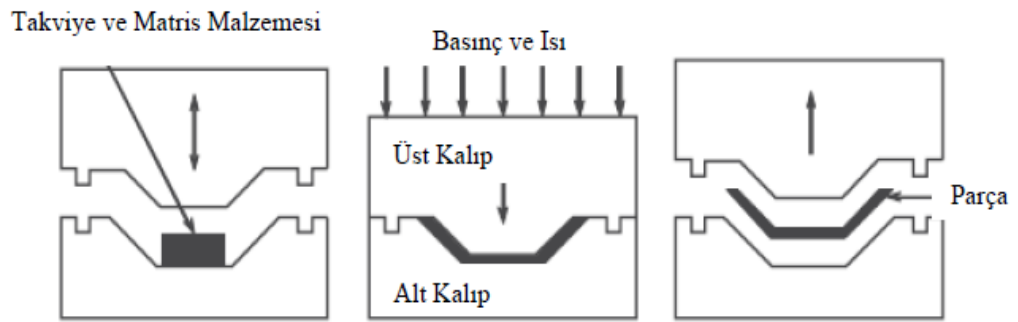
Düşük basınçta gerçekleşen enjeksiyon işlemidir. Kalıba reçine enjeksiyonu genel anlamda kalıbın alt bölümünde takviye elemanı olarak ve diğer kısmı da takviye elemanının üzerine monte edilir. Enjeksiyon işlemi basınç etkisiyle gerçekleşir. Kalıbının kapatılmasının ardından reçine içeren katalizör bölgesine gönderilme işlemi gerçekleşir. Ardından kalıba reçine enjeksiyonu gerçekleşir. Kalıba reçine enjeksiyonu yöntemi şematik olarak Şekil 2.5’ te gösterilmiştir. En çok kullanılan matris reçineleri polyester, epoksi ve vinilester reçineleridir. Enjeksiyon işlemi yüksek sıcaklıklarda gerçekleşebilir. Kalıba reçine enjeksiyonu işleminden sonra malzeme içinde boşlukların olmaması nedeniyle kaliteli fiber kaplamaların oluşmasına etki eder. Reçinelerin kalıba kapatılması insan sağlığı açısından güvenli bir ortam yaratma işlemini sağlar. Reçinenin kalıba enjeksiyon işleminin kullanılmama sebepleri ise sıkıştırma dayanımını azaltmak için yüksek maliyet gerektirecek malzeme takımlarına gereksinim duyulur. Bu işlemde yüzey kalitesi çok önemlidir. Otomotiv sektöründe üretilen araçların gövde kısımlarında ve endüstriyel kaplarda çok fazla uygulama alanına sahiptir (Kar, 2017).



Şekil 2.5. Kalıba Reçine Enjeksiyonu ile Üretim (Kar, 2017)

2.1.5.6. Basınçla Kalıplama

Basınçla kalıplama işleminde birbiriyle şekil olarak eşleşen iki metal kullanılır. Kalıp içine alabildiği miktarda takviye ve reçineler alınır. Sıcaklık ve basıncın etkisiyle beraber eşleşen metaller birbirlerine doğru kapanma işleminden sonra takviye ve reçine malzemelerin birleşmesi sağlanır. Ürünlerin kürleşme işleminden sonra basıncın dışarı çıkması sağlanır ve ortaya çıkan ürün kalıptan çıkarılır. Basınçla kalıplama yöntemi şematik olarak Şekil 2.6’ da gösterilmiştir. Basınçla kalıplama işlemi kolay uygulanabilir ve malzemeler için sağlıklı bir sistemdir. Basınç kaplama işleminde tüm malzemeler kullanılır, çok fazla çalışma performansı gerektirmez, ekipman maliyetleri düşük seviyededir, günümüz teknolojisi ile beraber otomatik hale getirilebilir ve kaliteli parça üretimi gerçekleştirilebilir. Otomotiv sektöründe daha çok tampon vb. parçalarda kullanıldığı görülmektedir (Barbero, 2017).



Şekil 2.6. Basınçla Kaplama ile Üretim (Barbero, 2017)

2.1.5.7. Ekstrüzyon

Termoplastik olarak gerçekleşen bir olayda sıkıştırma ve ısıнын etkisiyle malzemelere şekil vermek için fiber, matris reçineleri vb. takviyeler eritme işlemi görür. Ekstrüzyon üretim yöntemi aynı zamanda kompozit malzemelerin üretilmesi işlemi içinde kullanılır. Ekstrüzyon sistemi genel olarak kullanılan bir sistemdir. Kompozit levha profilleri üretiminde de kullanılabilir. Dönen, hareket eden ve ısıtılan bir vida etkisiyle istenen boyutlarda üretilir. Ekstrüzyon yönteminin avantajları ise seri şekilde üretim, kompozitleri kaplama etkisi vb. ihtiyaçları karşılayan bir sistemdir. Dezavantajları ise üretim yönteminin kolay anlaşılabilir olmamasıdır (Park, 2018).

2.1.5.8. Pultrüzyon

Pultrüzyon işleminde fiber çekme olayının farklı yollardan gelmesiyle değişik çiftlerde kumaşın mukavemetini sağlamak için yapılan üretim işlemine takviye edilmiştir. Reçineler katalizör görevi gören bir banyo işleminden geçerler. Ve ardından ısıtılmış bir kalıba ilave edilirler. Reçine sertleşme işlemi görür ve kompozit malzeme ortaya çıkar. Pultrüzyon işleminin avantajları parçalar kolayca imal edilir, malzemelerin uygun üretiminin olması ve genel maliyetin az olması denilebilir. Sürekli fiberler fazlaca kullanılabilir (Chawla, 2019).

2.1.5.9. Filament Sargı

Reçine malzemesinin ilk olarak filament malzemesinin üst kısmına takviye edilir. Bu olaya ıslak filament sarınımı denir. Reçine malzemesinin mandrel yardımıyla spreyleme işlemine kuru filament sarınımı denir. Banyosundan geçirilen işlem sonucunda mandrel sisteminin dönüş şekli filament sargı yönteminin ana işleyiştir. Filament sargı yöntemi birçok üretim yöntemiyle beraber uygulanmıştır. Kullanıma başlangıç maliyeti yüksektir. Üretim sonucunda ortaya çıkabilecek malzeme boyutlarında sorunlar ortaya çıkmaktadır. Üretilen malzemeler mukavemet özelliği gösterir. Bu yöntem genel olarak kimyasal depolama tanklarında, yapısal borularda, roket ve füze motorlarında kullanıldığı söylenebilir (Park, 2018).

2.1.6. Bal Peteği Sandviç Kompozitler

İnsanlık tarihi boyunca araştırılan bilimsel çalışmalarda bal peteklerinin geometrik şekilleri özellikle arıların üretiminde başrol olduğu bal peteklerinin yapılarından ilham alınarak kompozit malzemelerin hücre çekirdeklerini oluşturduğu uygulamalar çok fazla sayıda mevcuttur. Arı üretimi sonucu ortaya çıkan altıgen bal peteği yapıları Şekil 2.7' de gösterilmiştir. Birçok malzeme kullanılarak üretilen 500'den fazla türü olan bal petekleri çok geniş kullanım alanına sahiptir. Bal peteklerinin kullanıma başlangıç tarihlerinin ve yerlerinin Asya'da üretilen kâğıttan süs eşyalarıyla beraber başlandığı düşünülmektedir (Bitzer, 1997).

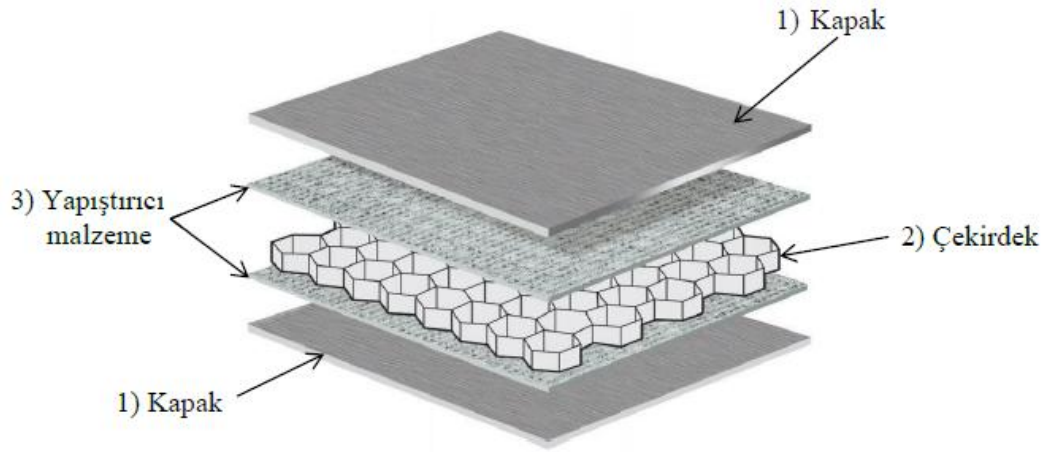


Şekil 2.7. Arı üretimi sonucu ortaya çıkan altıgen bal peteği yapıları

Bal petekleri yüzey malzemeleri hücre çekirdeğini örtme işleminin gerçekleşmesi aradaki bağlantının yapıştırıcı yardımıyla birleştirilmesiyle meydana gelir. Bal Peteği sandviç yapıları temel malzemeleri alt, üst yüzey kaplamalar hücre çekirdek ve yapıştırıcı malzemelerinden oluşmaktadır. Petekler birçok sandviç kompozit malzemede iç dolgu malzeme görevini görürler.

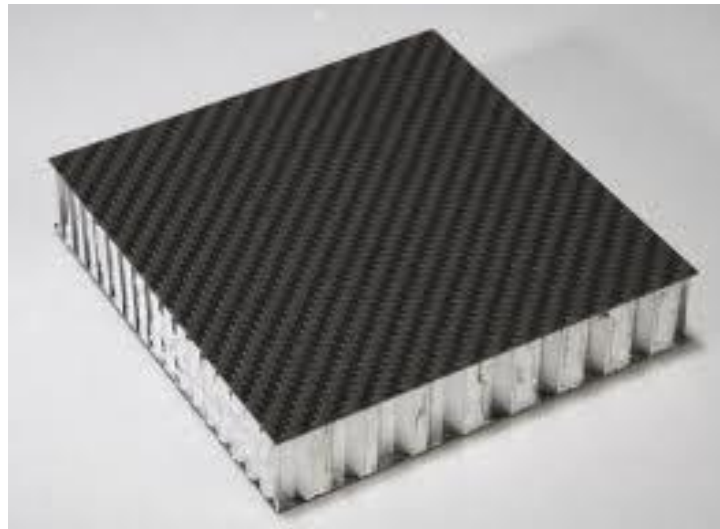
2.1.6.1. Bal Peteği Geometrisi ve Yapısı Hakkında Bilgi

Bal peteği sandviç kompozitlerin kullanılacağı ortama göre mekanik özelliklerinin ölçütleri belirlenmesi gerekmektedir. Bal peteği malzemelerin en önemli kullanım ölçütlerinin enerji emici özelliği, hafiflik ve yüksek mukavemet özelliklerine sahip olması diyebiliriz. Bal peteği çekirdekleri yatay ekseninde dizilmiş bir şekilde geometri yapısına sahiptirler. Altıgen geometri yapısına sahip olması küçük bir bölgede büyük bir kaplama alanına sahip olmasına yardım eder. Bal petekleri altıgen geometri yapısı ile beraber kullanılacak malzemelerin daha verimli kullanılmasına yol açar (Akkuş, 2016). Bal peteği sandviç kompozitlerin yapısı Şekil 2.8’ de görülmektedir.



Şekil 2.8. Bal peteği sandviç kompozitlerin yapısı

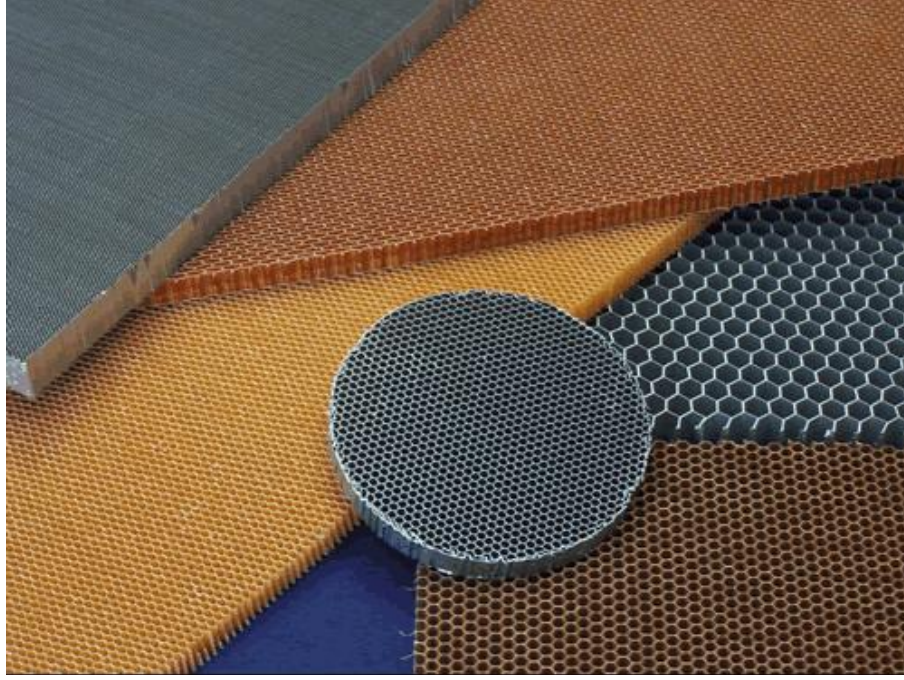
Bal peteği Sandviç kompozit malzemelerinde yüzey malzemelerin görevi kayma dayanımını artırmaktır. Yüzeyi malzemeleri alüminyum, karbon, cam vb. plakalardan oluşmaktadır. Karbon fiber yüzey malzemeli bal peteği sandviç kompozit örneği Şekil 2.9’ da gösterilmiştir. Bal peteği sandviç yapılarda aynı plaklardan oluşmaktadır. Çok farklı hücre çekirdekleri kullanılmaktadır. Mekanik yüklemelere karşı direnç sağlayan bölümdür. Hücre çekirdekleri çeşitli geometri ve malzemelerden altıgen, kare, köpük, alüminyum kâğıt vb. yapılar kullanılmaktadır. Bal peteği sandviç kompozitlerin birbirleri ile bağlantı sağlamasına yardımcı olan epoksi esaslı yapıştırıcılardır. Yapıştırıcılara vinil fenolik, nitril fenolik, epoksi vb. örnek olarak verilebilir. Bal peteği hücre çekirdekleri ve yüzey malzemeleri arasında kopma mukavemetini ve aşınma direncini artırır (Akkuş, 2016).



Şekil 2.9. Karbon fiber yüzey malzemeli bal peteği sandviç kompozit

2.1.6.2. Bal Peteği Çekirdek Malzemelerin Üretim Yöntemleri

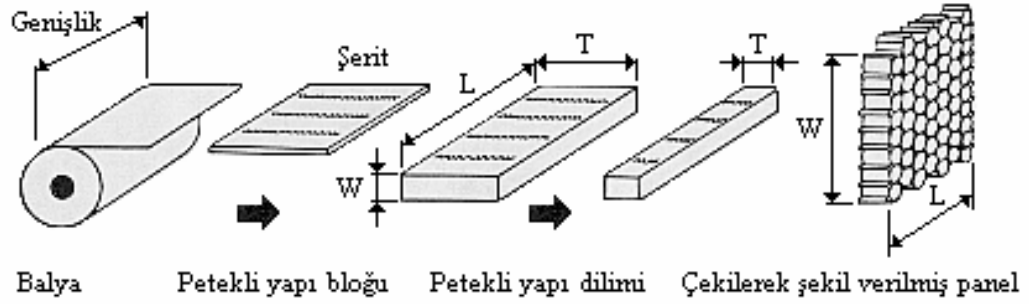
Bal petekli çekirdekli yapıların üretim yöntemleri genel olarak uzatarak ve kıvrarak şekil verme yöntemi olarak ikiye ayrılır. Bal peteği kompozitlere örnek Şekil 2.10' da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Bal peteği kompozitler

2.1.6.2.1. Uzatarak Şekil Verme Yöntemi

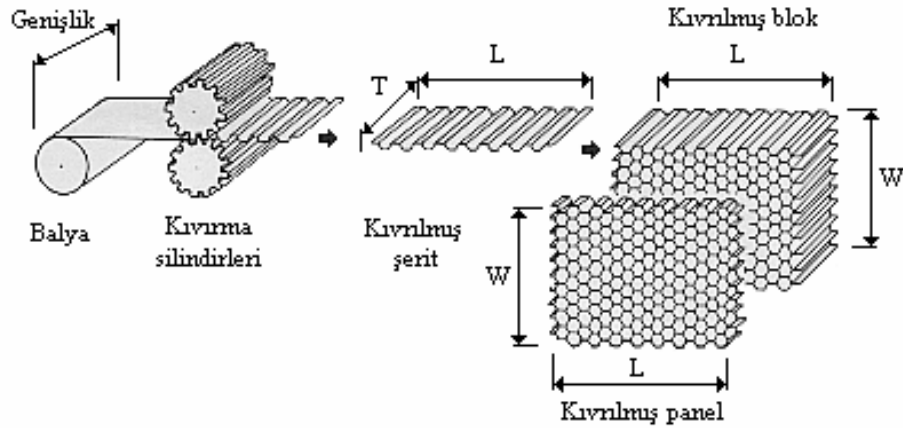
Uzatarak şekil verme yöntemi metal ve dışındaki malzemelerin üretiminde kullanılır. Bal peteği çekirdekleri genel olarak bu yöntemle imal edilir. Şerit biçiminde yapıların kesilmesi, yapıştırıcı malzemenin sürülmesi, yapıların üste birikmesi ile petekli malzemelerin sıcaklıkta pres malzemesi içinde şekillendirilmesi aşamalarını barındırır. Alüminyum malzemeler genel olarak istenilen boyutlarda dilim şeklinde ayrılır. Bu işlem sonucunda oluşan şeritler birleşimlerinin olmadığı noktalarda akma oluşur ve levhalar şekil almış olur. Bu yöntem metal malzemelerin önemli bir kısmı için de kullanılabilir (Hexcel, 2000). Uzatarak şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi şematik resmi Şekil 2.11' de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Uzatarak şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi (Hexcel, 2000)

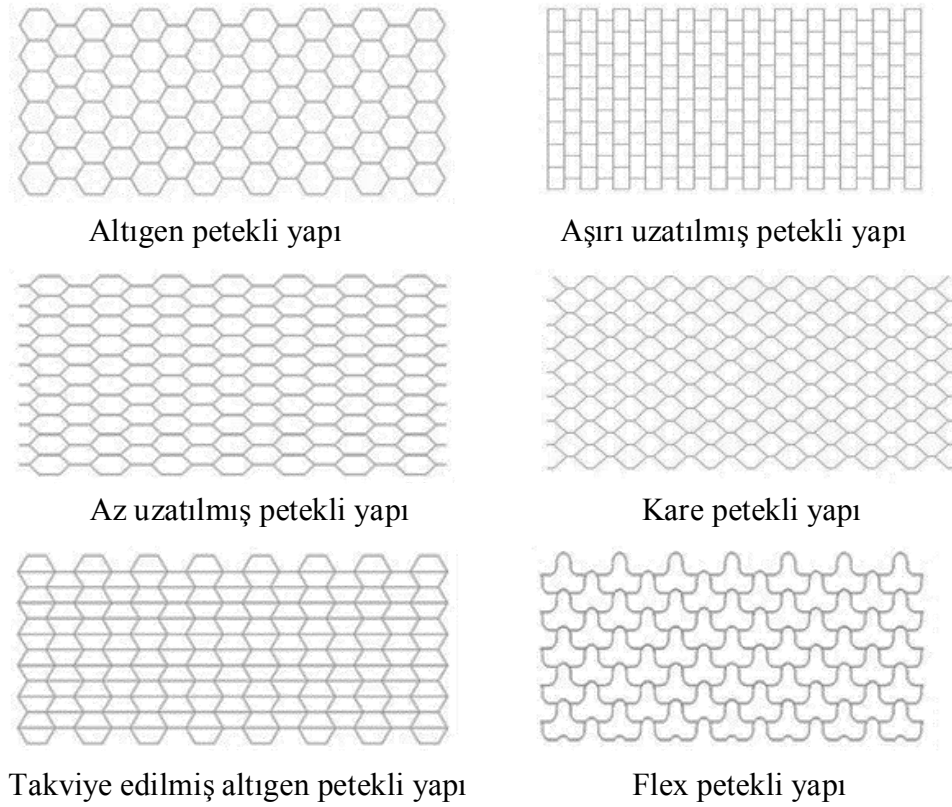
2.1.6.2.2. Kıvrarak Şekil Verme Yöntemi

Kıvrarak şekil verme yöntemi yüksek sıcaklık etkisiyle çalışan, boyut kalınlığı ve yoğunluğu oldukça fazla olan petekli yapıların imalatında tercih edilir. Bu yöntemde şerit levhalar istenilen biçimde kıvrılarak düğüm noktalarına yapıştırıcı tatbik edilir. Müteakiben şerit levhalar üst üste konur ve kıvrılmış bloklar belli sıcaklıkta bekletilir. Daha sonra bloktan istenilen kalınlıkta dilimler kesilerek bal peteği çekirdek malzeme elde edilir (Hexcel, 2000). Kıvrarak şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi şematik resmi Şekil 2.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Kıvrarak şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi (Hexcel, 2000)

Genel olarak metalik hücre malzemeleri alüminyum, korozyona karşı dayanıklı çelik, titanyum ve nikel esaslı alaşımlardır. En yaygın metal dışı hücre malzemeleri ise nomex, cam elyaf, termoplastikler ve kraft kâğıdıdır. Metal olmayan hücreler son yoğunluğa ulaşabilmek için sıvı fenolik, polyester veya poliamid reçineye daldırılır. İdeal olanı reçine oranının %50 civarında olmasıdır. Bu nedenle şerit kalınlıklarının çeşitli yoğunlukta hücre yapımına imkân vermesine dikkat edilmelidir (Hexcel, 2000). Bal peteği hücre yapıları Şekil 2.13’te gösterilmiştir.



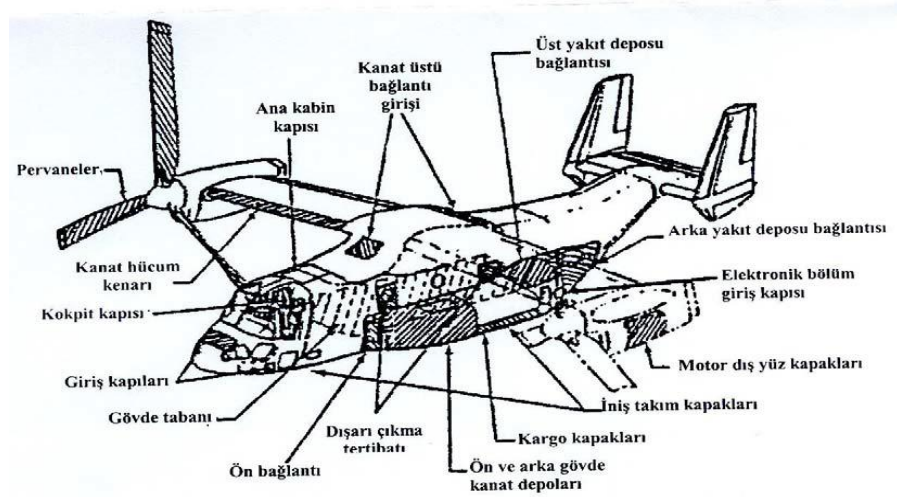
Şekil 2.13. Bal Peteği Hücre Yapıları (Topkaya, 2017)

2.1.7. Kompozit Malzemelerin Havacılık Uygulamaları, Uzay Endüstrisi ve Elektrikli Araçlarda Uygulamaları

Kompozit malzemelerin özellikle karbon fiber ve bal peteği sandviç kompozitlerin takviye edilmeleri ile beraber havacılık uygulamaları, uzay endüstrisi ve elektrikli araçlar başta olmak üzere insanlık tarihi içinde önemli bir yer tutan kompozitler özellikle son yıllarda çok daha fazla yer alıp kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılmalarının çok fazla avantaj yaratacak nedeni vardır. Özellikle nedenleri hafiflik, mukavemet, dayanıklılık, korozyon direnci ve hasar tolerans vb. özellikleridir. Kompozit malzemeler içinde özellikle karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitleri ise önemli yer tutmaktadır. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin tek dezavantajlarının üretimlerinin zor ve maliyetlerinin yüksek olması diyebiliriz.

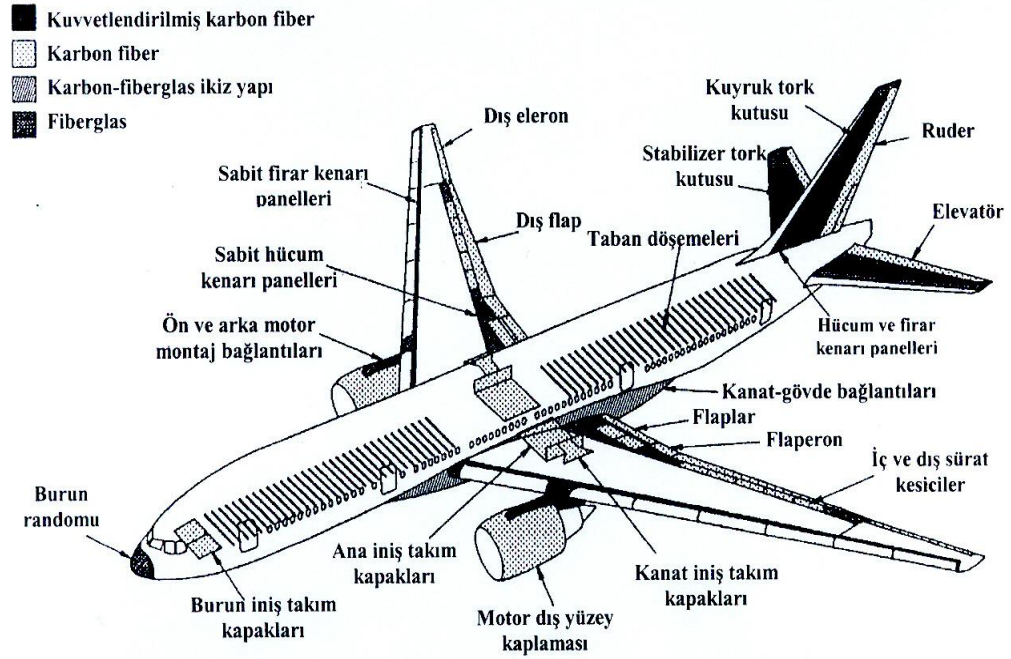
Havacılık uygulamaları ve uzay endüstrisinde özellikle yüksek performanslarından dolayı karbon fiber ve bal peteği sandviç kompozit malzemeleri yapılarında çok fazla kullanılmaktadırlar. Havacılık uygulamalarında daha çok karbon fiber kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Öne çıkan avantajları veya tercih edilme

nedenleri hafiflik ve yüksek mukavemet özelliklerini göstermesidir. Havacılık ve uzay uygulamalarında üretilen parçaların tasarlanması ve üretilmesi hafiflik ve mukavemet özellikleri üzerine hayata geçirilmektedir. V22 dikine havalanıp dikine inme özelliğine sahip helikopterde bal peteği sandviç yapının kullanım bölgeleri Şekil 2.14’te gösterilmektedir.



Şekil 2.14. V22 dikine havalanıp dikine inme özelliğine sahip helikopterde Bal peteği sandviç yapının kullanım bölgeleri (Ercan, 2007)

Havacılık uygulamalarında savunma sanayinde savaş uçakları ve taşımacılık görevi gören nakliye uçakları yapılarında karbon fiber malzeme fazla yer tutmaktadır. Özellikle uçak ve helikopter yapı aksamalarında karbon fiber kaplamalar ve bal peteği sandviç kompozit malzemelerin kullanıldığını görmekteyiz. Boeing 777 ileri kompozit uygulamaları Şekil 2.15’ te gösterilmektedir.

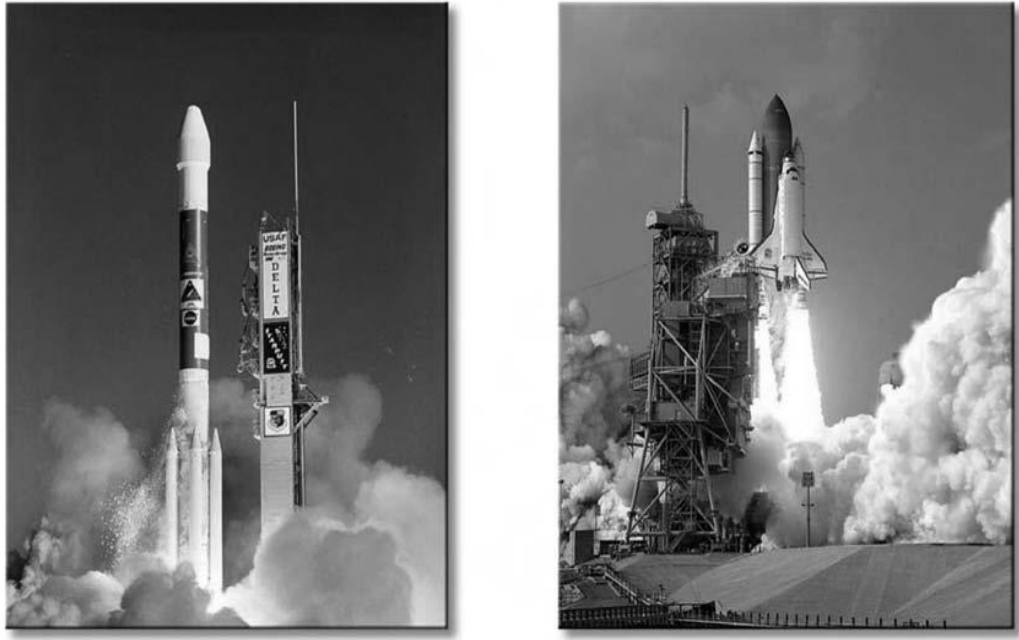


- Boeing 777 kompozit yapısı hasara dayanımı ve hasar toleransını arttırmasının yanında, ana yapının daha hafif olmasını, korozyon ve yorulma direncinin artmasını sağlamıştır.

Şekil 2.15. Boeing 777 ileri kompozit uygulamaları (Ercan, 2007)

Uzay uygulamalarında fırlatma ve uzay araçlarında kompozitlerin sürekli olarak kullanıldığı bilinmektedir. Özellikle ağırlık ve boyutsal kararlılığı nedeniyle kompozitler kullanılmaktadır.

Uzay uygulamalarında ani hızlardan dolayı hafif kompozitler vazgeçilmez malzemelerdir. Özelliklerinden dolayı uzay uygulama araçlarında yüksek hız ve dünya ile atmosfer arasındaki ani sıcaklık değişimlerinden dolayı uzay mekiği vb. araç yapılarında mekanik bozulmalar meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu nedenle de uzay uygulamalarında kompozit malzemelerin seçimi önemli etkenlerden biridir. Karbon fiber ve bal peteği sandviç kompozitlerin kullanımı uzay uygulamalarında ilerleyen dönemlerde daha fazla artması beklenmektedir.

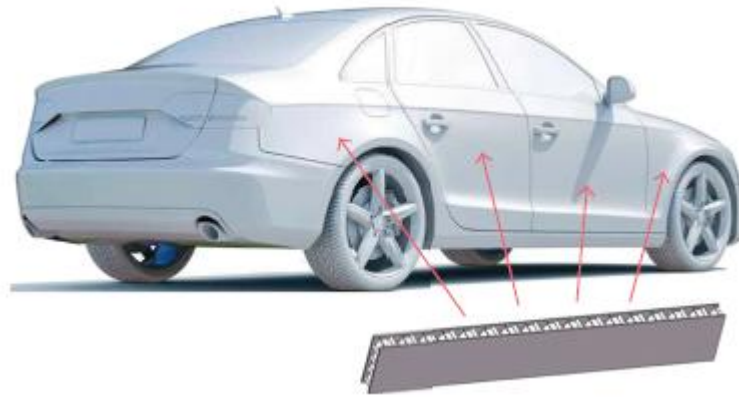


Şekil 2.16. Fırlatma ve Uzay Araçları (Campbell, 2010)

Fırlatma ve uzay araçlarının özellikle başlık, yük taşıyıcı ve güçlendirici bölümlerinde genel olarak karbon fiber, alüminyum bal peteği ve yapıştırıcı malzemelerin kullanım oranı oldukça fazladır. Fırlatma ve uzay araçları örnekleri Şekil 2.16’ da gösterilmektedir.

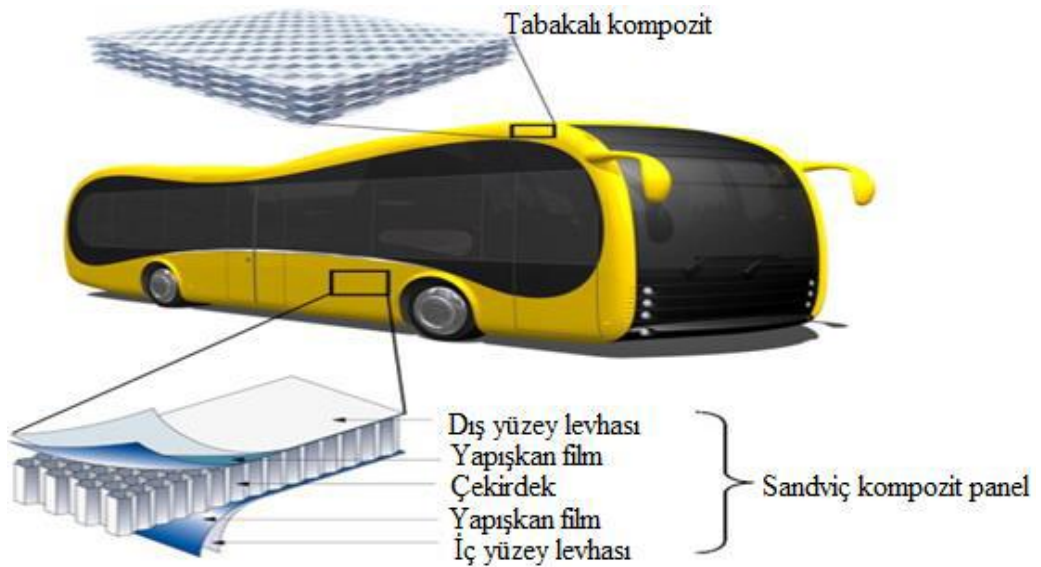
Kompozit malzemelerin özellikle son yıllarda kullanımının arttığı otomotiv sektöründe özellikle otomotiv alanında elektrikli araçların gövde kısmında karbon fiber kaplamalı alüminyum bal peteği sandviç kompozitlerin uygulanabilirliği kesinleşmiş durumdadır.

Karbon fiber kaplamalı alüminyum bal peteği sandviç kompozitlerin özellikle enerji emici özelliği, hafif ve mukavemet dayanımlarının yüksek düzeyde olması elektrikli araçlarda kullanılma oranının artmasına sebep olmuştur. Çünkü elektrikli araçlar belli bir şarj seviyesinde belli bir süre performans göstermesi sebebiyle ağırlık olarak çok düşük seviyelerde kompozitlere ihtiyaç duyulur. Bu sebeple elektrikli araçların gövde kısımları tamamen karbon fiber kaplamalı bal peteği sandviç kompozitlerden oluşmaktadır. Bu durumda elektrikli araçların sürüş performanslarının yükselmesine sebep olmuştur. Elektrikli araç gövdesinde karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit malzemelerin kullanım bölgeleri Şekil 2.17’ de gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Elektrikli Araç gövdesinde karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin kullanılması (Xiao, 2018)

Kompozit malzemelerin en önemli uygulama alanlarından biri olan otomotiv sektöründe son zamanlarda özellikle taşımacılık görevi gören otobüs tasarım ve üretiminde de alüminyum bal peteği sandviç kompozitlerin etkisi çok fazla görülmektedir. Taşımacılık uygulamaları için hafif ağırlıkta araç ve darbelere karşı yüksek direnç gösteren kompozitlerin varlığı çok önemlidir. Otobüs ve otomobillerin çevresel durumların etkisiyle yaşayabileceği kaza, çarpışma vb. durumlara karşı önemli bir çözüm sunar. Bu konuyla ilgili bilimsel araştırmalar giderek artmaktadır. Sandviç kompozitlerden oluşan otobüs tasarımı Şekil 2.18’ de gösterilmektedir.



Şekil 2.18. Sandviç Kompozitlerden Oluşan Otobüs Tasarımı (Shin, 2008)

2.2. Darbe Deneyi

Darbe deneylerinde vuruş kütlesinin hızı numunelere temas ettiği enerjiler ve malzemede oluşan hasarları değiştirebilmektedir. Darbe deneyleri hızları 3'e ayrılır; düşük, yüksek ve aşırı hız şeklindedir. Genel olarak darbe deneyleri tabaka ayrılmaları ve matris kırılmaları meydana getiren deneylere düşük hızlı, malzemeleri delme sonucu oluşan hasarlara neden olan yüksek hızda darbe olarak görülmüştür. Bu çalışmada darbe deneyleriyle yapılan çalışmalar düşük hızlı darbe kategorisine girmektedir (Yağbasan, 2019).

2.2.1. Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışları

Düşük hızlı darbe deneyleri sonucunda malzemede enerji absorbe oranı çok fazla olmasından dolayı malzeme için tehdit görülmemektedir. Kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe deneylerine uğraması gözle muayenesi zor olan fakat yapılarındaki hasarların dayanıklılığı azalttığı durumları yarattığı söylenebilir. Kompozit malzemelerin düşük hızlı darbelere karşı çok önem arz etmektedir (Yağbasan, 2019).

Kompozitlerde özellikle fiber ve takviye malzemeleri malzemeler içindeki oranı dayanım ve hasarları etkilemektedir. Kompozit malzemeler darbeye maruz kaldığında çentik, matris çatlaması, fiber/matris ayrılması, delaminasyon ve daha yüksek enerjili darbelerde ise fiber kopmaları ve delinme meydana gelir. Meydana gelen bu hasarlar sonucu tabakalı kompozitlerin yapısal ve basma mukavemetini azaltıcı yönde etki eder (Yağbasan, 2019).

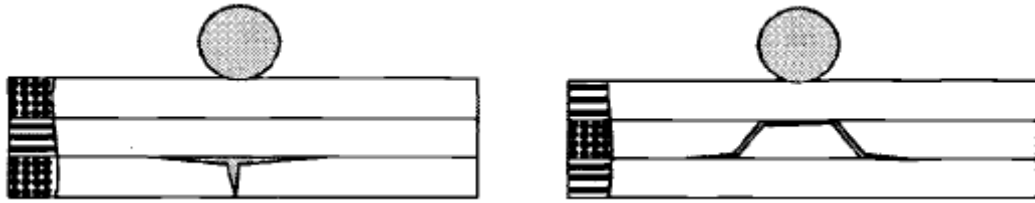
2.2.2. Darbe Sonucu Oluşan Hasar Türleri

Düşük hızlı ve yüksek hızlı darbe deneylerinin kompozit malzemeler üzerindeki etkilerinin kompozit malzemelerin tasarımı için iyi hesap edilmesi gerekir. Yapılan çalışmalar, düşük hızlı darbe sonucunda kompozit malzemelerde genellikle delaminasyon (tabakalar arası ayrılma), matris çatlaması ve fiber kopması gibi temel hasar türlerinin meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Daha yüksek hızlı darbelerde ise kompozit malzemelerde, darbe yüzeyinde çentik (iz) oluşumu, penetrasyon (nüfuziyet) ve perforasyon (tam delinme) gibi makroskopik boyutta hasar türleri oluşmaktadır. Bu hasarlar sonucunda kompozit malzeme yapısında bir sonraki darbe ve basma

deneylerinde dayanım ve enerji emilimini olumsuz yönde azaltmaktadır (Yağbasan, 2019).

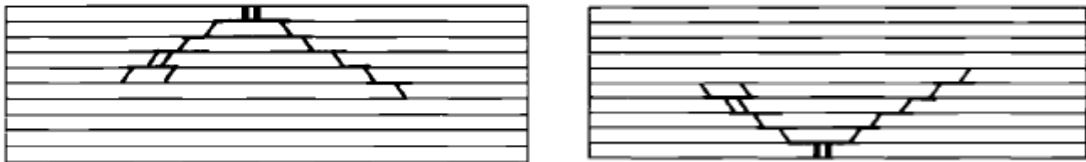
2.2.2.1. Matris Çatlaması

Darbe deneylerinde ilk anlarda gözle muayene sırasında tespit edilemeyen matris çatlakları ortaya çıkmaktadır. Matris çatlamları ilerleme durumunda delaminasyon oluşumu görülmektedir. Matris çatlamları kompozit malzemelerin kayma ve basma dayanımını azalttığı söylenebilir. Matris çatlamları genel olarak gerilme ve kesme çatlağı olarak kompozit malzemelerde görülebilmektedir (Yağbasan, 2019). Şekil 2.19’ da matris çatlağı türleri çekme çatlağı(soldaki), kesme çatlağı(sağdaki) görülmektedir.



Şekil 2.19. Matris Çatlakları Türleri Çekme Çatlakları(soldaki), Kesme Çatlakları(sağdaki) (Yağbasan, 2019)

Kalın yüzeylerde darbe deneyleri sonrası oluşan çatlaklar gerilmeler sonucu üst plakaya yakınlarda görülür. İnce yüzeylerde gerilme sonucu plakanın alt bölgelerinde oluşur. Şekil 2.20’ de kalın plakalarda(soldaki), ince plakalarda(sağdaki) hasar ilerleme şekilleri görülmektedir.



Şekil 2.20. Kalın Plakalarda(soldaki), İnce Plakalarda(sağdaki) Hasar İlerleme Şekilleri (Yağbasan, 2019)

2.2.2.2. Delaminasyon

Kompozit malzemelerin komşu plakaların iç yüzey bölgesinde gözle görülür. Basma dayanımı azaltıcı etkisi oluşur. Kompozit malzemelere mekanik yükleme ve düşük hızda darbeler tabakalar arası ayrılmayı arttırır. Tabakalar arası ayrılma yüzey bölgelerde oluşmaktadır. Tabakalar arası ayrılma kompozit malzemelerin mekanik dayanımlarını önemli ölçüde değiştirmektedir (Yağbasan, 2019).

2.2.2.3. Fiber Kopması

Kompozit malzemelerde matris çatlaması ve tabakalar arası ayrılma ilerlemesi sonrası fiber kopma olayları görülmektedir. Kompozit malzemelerde oluşan gerilmelere göre malzemenin arka yüzeylerinde görülmektedir (Yağbasan, 2019).

2.2.2.4. Penetrasyon ve Perforasyon

Fiber kırılmalarının önemli derecede arttığı darbe ucunun malzemeye nüfuz etme işlemiyle meydana gelen hasardır. Kısmi nüfuziyet (penetrasyon) vurucunun kompozit malzemeye saplanmasıdır. Tam delinme (perforasyon) ise vurucunun kompozit malzemeyi delme durumudur. Bu durum kompozit malzemelerin mekanik dayanım oranlarını büyük ölçüde azaltmaktadır (Yağbasan, 2019).

2.2.3. Darbe Hasarına Etki Eden Parametreler

Darbe hasarına etki eden parametreler kompozit malzemenin özellikleri, vurucu özellikleri, ortam koşulları ve deney parametreleri olmak üzere dört grupta incelenmektedir.

2.2.3.1. Kompozit Malzemenin Özellikleri

Kompozit malzemenin sahip lif yönünde elastisite modülü- E_1 , fibere dik yöndeki elastisite modülü- E_2 , Poisson oranı ν_{12} ve kayma modülü- G_{12} gibi malzemenin doğasında bulunan özelliklerin darbe hasarına etkileri büyüktür. Tabakaların yönlenme açısı, fiber kalınlıkları, dokuma kumaş türü (plain, satin vs.) kompozitin darbeye cevabını etkiler. Ayrıca kalınlık gibi geometrik özellikler de darbe hasarının biçimini değiştirir (İçten ve Kırıl, 2010).

2.2.3.2. Vurucu Özellikleri

Vurucunun elastik özelliklerinin yüksek olması daha yüksek temas kuvvetinin ortaya çıkmasına neden olur. Bu da vurucu ile hedef arasındaki temas alanının azalması demektir. Bunların neticesinde daha fazla hasar meydana gelir. Darbe ucunun şekli, yarı küresel şeklinde ise çapı ayrıca vurucu kütlesinin hasarda etkisi büyüktür (İçten ve Kırıl, 2010).

2.2.3.3. Ortam Koşulları

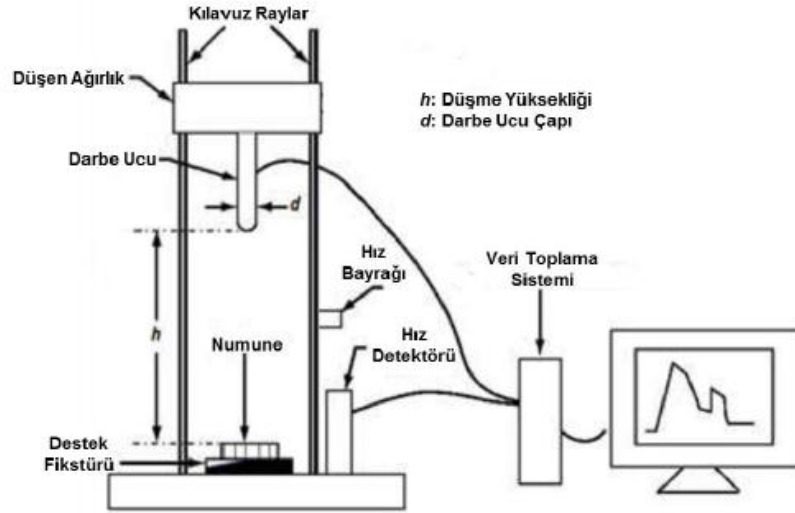
Yüksek veya düşük ortam sıcaklıkları numunenin darbeye cevabını değiştirebilir (İçten ve Kırıl, 2010).

2.2.3.4. Deney Parametreleri

Darbe hızına bağlı olarak darbe enerjisindeki artışlar darbeye cevabı değiştirebilir. Aynı darbe enerjisinde, yüksek kütle-düşük hız veya düşük kütle-yüksek hız numunenin darbeye cevabını etkileyebilir (İçten ve Kırıl, 2010).

2.2.4. Ağırlık Düşürme Darbe Testi

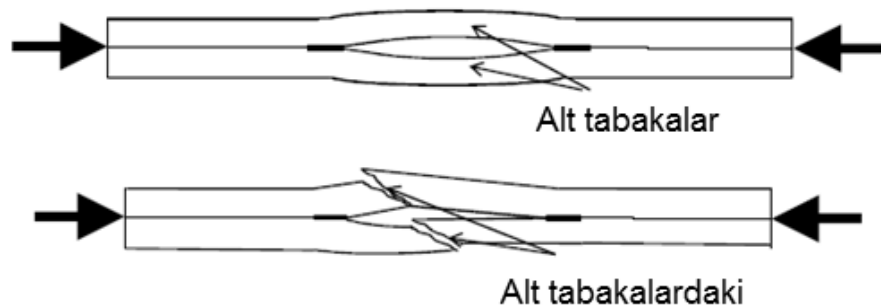
Kompozit malzemelerin darbe deneylerinde sonuçlarının analiz anlamında en çok doğru çıkan yöntemdir. Farklı tasarımlarda yoğun olarak kullanılan ağırlık düşürme test cihazları, vurucu kütlenin kılavuz raylar doğrultusunda belirli bir yükseklikten serbest düşmeye bırakılması prensibine göre çalışmaktadır. Vurucu kütlenin geri sıçraması sonrası oluşacak çoklu darbeleri engellemek için tasarlanmış olan mekanik parça ile donatılmıştır. Vurucu kütle üzerinde bulunan sensörler vasıtasıyla darbe anındaki veriler toplanmaktadır. Darbe sonucunda gözle açıkça görülebilen veya gözle zorlukla görülebilen hasarlar oluşmaktadır. Darbe sonrası yapılan testler ile bu iki hasar tipi değerlendirilebilmektedir (Yağbasan, 2019). Şekil 2.21’ de ağırlık düşürme test cihazı düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.21. Ağırlık Düşürme Test Cihazı Düzeneği (Yağbasan, 2019)

2.2.5. Darbe Sonrası Basma Mukavemeti (DSBM) Testi

Ağırlık düşürme darbe testinden sonra hasarlı numunenin artakalan dayanımının belirlenmesi için tahribatlı muayene yöntemlerinden birisi olan darbe sonrası basma mukavemeti testi yapılmaktadır. Test sonucunda elde edilen en yüksek basma mukavemeti verileri hasarlı numunenin dayanımının ne kadar azaldığı ve işlevlerini yerine getirip getiremeyeceği konusunda bilgi sunmaktadır. Ağırlık düşürme darbe testleri sonucunda tabakalar arasında ayrılmalar (delaminasyon) oluşmaktadır. DSB dayanımı testi esnasında uygulanan basma kuvveti ile tabakalar dışa doğru burkularak fiberler kırılmaktadır ve hasar numunenin eni boyunca ilerlemektedir (Yağbasan, 2019). Şekil 2.22’ de DSB Dayanımı Testi Uygulanan Numunede Hasar Oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.22. DSB Dayanımı Testi Uygulanan Numunede Hasar Oluşumu (Yağbasan, 2019)

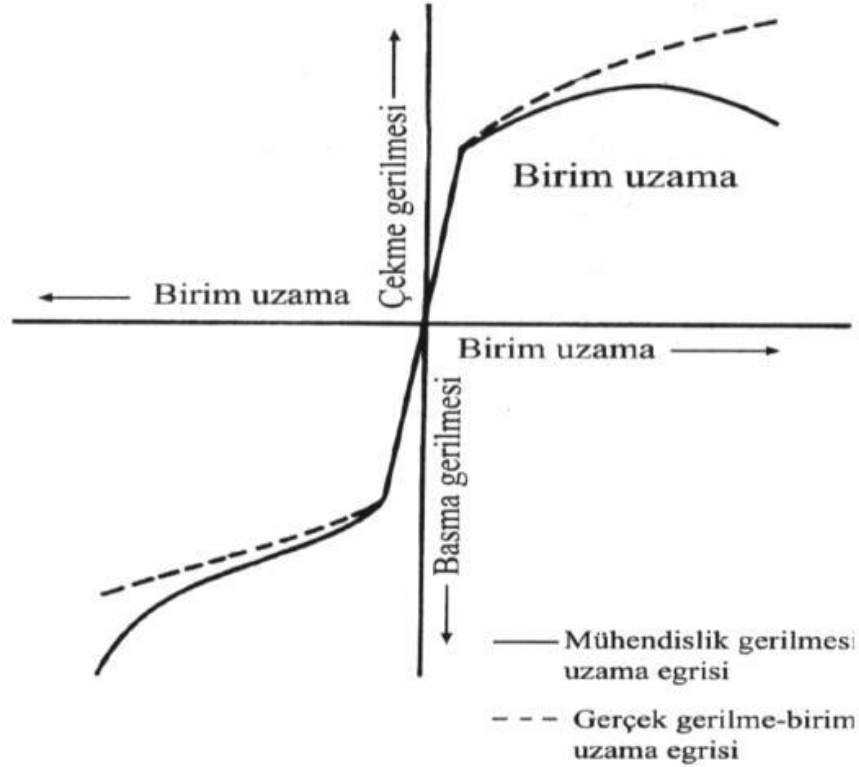
2.3. Basma Deneyi

Basma yükleri çelik yapı yapıları, beton köprü destekleri, malzeme kütük haddeleme ve dövme sırasında gibi malzemelere yükleme işlemleri yapılabilir. Yüklere gösterilen malzeme tepkisinin karakterize edilmesi, yükün basınç davranışını ölçmek için testler gerekir. Bu testlerin sonuçları, ürün veya süreç tasarımı hesaplamaları için doğru giriş parametreleri sağlar. Belirli koşullar altında, sıkıştırma testinin diğer test yöntemlerine göre avantajları da vardır. Gerilim testi, malzeme davranışı için çok fazla kullanılan bir testtir ve bir malzemenin gerilme yükleri altında mekanik davranışının elastik, verim ve plastik deformasyon ve kırılma özellikleri gibi yönlerini belirlemek için kullanılabilir. Sıkıştırma testleri ve burulma testleri bu sınırlamanın üstesinden gelen alternatif yaklaşımlardır. Ayrıca, sıkıştırma testi numuneleri daha basittir, dişler veya büyütülmüş uçlar gerektirmez daha az malzeme kullanılır. Bu nedenle, basma testleri genellikle alt ölçek testi ve gerilim testi örneklerinin üretilmesinin zor olduğu bileşen testleri için kullanılır. Bu uygulamalara örnek olarak, levha ve dövmelemede kalınlık özellik ölçümleri, ısıdan etkilenen bölgeleri ve az miktarda malzemenin bulunduğu değerli metaller için basma yüklemesi uygulanabilir (Kuhn, 2000).

2.3.1. Basma Deneyinde Gerilme Uzama

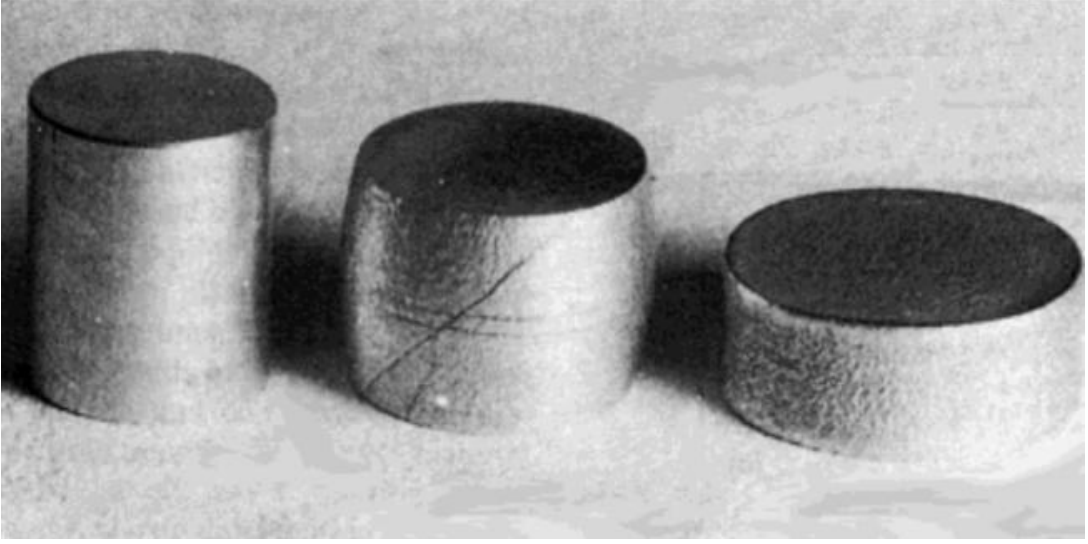
Kopma uzaması ve kopma büzülmesi değerleri sıfıra yakın gevrek malzemelerin sünekliği çekme deneyi ile ölçülemez. Bu tür malzemelerin sünekliği basma deneyi ile ölçülür. Basma deneyinde boyutları çok küçük numuneler bile kullanılabilir. Bu durum, deneye tabi tutulacak malzemelerin pahalı ve çok az olması durumunda yararlar sağlar. Basma deneyi sonucunda, malzemelerin basma diyagramı elde edilir. Basma diyagramı, genelde çekme diyagramına benzer. Basma diyagramının elastik deformasyonu gösteren kısmı, çekme diyagramının elastik kısmı gibidir ve akma sınırından sonra basma diyagramında da plastik deformasyon aşaması meydana gelir. Basma diyagramının plastik deformasyonu gösteren kısmının ilk aşaması, çekme diyagramının plastik deformasyonu gösteren kısmının ilk devresini andırır, ancak çekme diyagramında maksimum noktadan sonra gerilme değerinde bir azalma meydana gelirken, basma diyagramında gerilme artar. Yani, basma eğrisinin eğiminde artış meydana gelir. Bu durum, basma sırasında numunenin kesit alanının devamlı artmasından kaynaklanır. Numunenin kesit alanı, özellikle plastik deformasyonun sonuna doğru büyük oranda

arttığından basma gerilmesinde ani yükselme meydana gelir. Şekil 2.23' te metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları görülmektedir (Cerit, 2000).



Şekil 2.23. Metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları

Gerinim kombinasyonları, çevre çevresinde gerilme stresine bağlı çıkıntılı ekvator oluşmaktadır. Sürtünme ve sonuç olarak şişkinlik ile sıkıştırma testleri, Şekil 2.24' te sürtünmeli ve sürtünmesiz sıkıştırma testi örneklerini göstermektedir. Sıkıştırma testinin çıkıntı yüzeyi ile yani temas yüzeylerinde sürtünme ile yüzeydeki gerilme gerilmesinin neden olduğu bir çatlak vardır. Daha sonra homojen sıkıştırma örneği şişkin değil; bu nedenle, çevresel yönde hiçbir çekme gerilimi yoktur ve numune çatlamamıştır (Kuhn, 2000).



Şekil 2.24. 2024-T35 alüminyum alaşımında basma testleri (Kuhn, 2000)

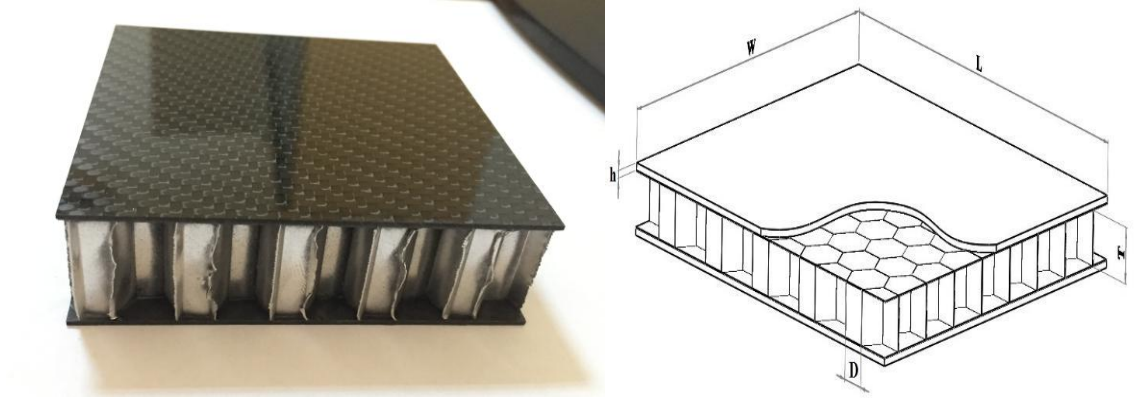
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Gerçekleştirilen bu çalışmada karbon fiber takviyeli alüminyum bal peteği sandviç kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe testi sonrası basma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deney numuneleri üretilme işleminden sonra hasarlı ve hasarsız olarak düşük hızlı darbe testi, açılı düşük hızlı darbe, basma testi, açılı darbe testi sonrası basma yüklemeleri uygulanmış ve bir kısım numuneler hasarsız bırakılmıştır. Açılı darbe testi ile ön hasar verilmiş numuneler ile hasarsız numuneler, açılı darbe ön hasarının darbe mukavemetindeki düşüşe ve mekanik davranışlarına etkisini incelemek amacıyla basma yüklemesine maruz bırakılmıştır.

Bu çalışmadaki en önemli araştırma konularından biri karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlere çarpma açısına bağlı olarak düşük hızlı darbe testlerinin uygulanmış olmasıdır. Deney parametrelerinde karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerde alüminyum bal peteği hücre yüksekliğinin farklı değerlerde olması önemli bir etken olacaktır. Darbe ve Basma testleri sonucunda karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit malzemelerde veya numunelerde meydana gelen mukavemet değişimleri, mekanik davranışlar, hasarsız ve hasarlı numuneler üzerindeki etkiler gözlemlenip deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen deneyler sonucunda ortaya çıkan grafik, fotoğraf ve tablolarla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Tüm çalışmalar deneysel olarak uygulanmış ve değerlendirilmiştir.

Çalışmada Al 3003 Alüminyum alaşımı altıgen geometrisine sahip bal peteği hücreler ile karbon fiber yüzey malzemelerine sahip numuneler kullanılmıştır. Yüzey malzemeleri ile hücreler arasındaki bağlantı 3M Scotch-Weld marka DP 460 model endüstriyel epoksi esaslı yapıştırıcı ile sağlanmıştır.

Deney numuneleri alüminyum 3003 alaşımı bal peteği hücre boyutları $D=8.575$ mm, karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin numune boyutları genişlik $W=80$ mm ve uzunluk $L=80$ mm uzunluk ölçülerinde kare şeklinde hazırlanacaktır. Bal peteği üç farklı hücre yüksekliği $T=10$ mm, $T=15$ mm ve $T=20$ mm değerlerinde olacaktır. Karbon fiber yüzey plaka malzemeleri (alt ve üst) $h=1$ mm kalınlığında olacaktır. Karbon fiber takviyeli 20 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozit örneği ve boyutlandırma terimleri Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Üretilen karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit örneği ve boyutlandırma terimleri

Darbe ve Basma Deneylerinde kullanılan malzemeler, numuneler ve deney parametreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Parametrelerden bazıları sabit tutulmuş, diğer değerler değiştirilerek kompozitler üzerindeki etkiler incelenmiştir. Deneylerde kullanılan tüm parametreler Tablo 3.1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan parametreler

Hücre Çekirdek Malzemesi	AL-3003		
Alt-Üst Yüzey Malzemesi	Karbon Fiber		
Yapıştırıcı Malzemesi	3M DP460		
Numune Uzunluğu (mm)	80		
Numune Genişliği (mm)	80		
Hücre Yükseklikleri (mm)	10	15	20
Alt-Üst Yüzey Kalınlığı (mm)	1		
Hücre Boyutu (mm)	8.575		
Darbe Testi Enerjileri (J)	2.5	5	7.5
Darbe Testi Çarpma Açıları (°)	0	15	30
Basma Testi Yüğü (kN)	250		
Basma Testi İlerleme Hızı (mm/dak)	1		

3.1. Numunelerin Hazırlanması ve Üretimi

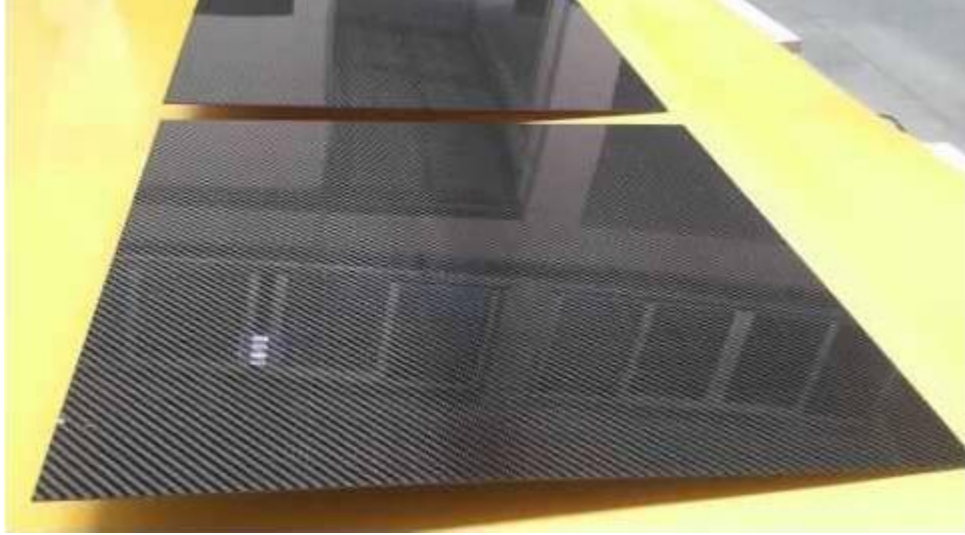
İlk işlem olarak Batman Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Malzemeler Laboratuvarı' nda bulunan alüminyum AL-3003 alaşımlı bal peteği hücre çekirdek malzemeleri temin edilmiştir. Hücre yükseklikleri sırasıyla 10 mm, 15 mm ve 20 mm ölçülerinde olan alüminyum 3003 alaşımlı bal peteği hücreleri genişliği ve uzunluğu 500 mm x 500 mm boyutlarında olacak şekilde ince el makası yardımıyla kesilmiştir. Alüminyum bal peteği hücre çekirdeği malzemelerinin kesilmeden önceki ilk hali Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2. Alüminyum bal peteği hücre çekirdeği malzemeleri

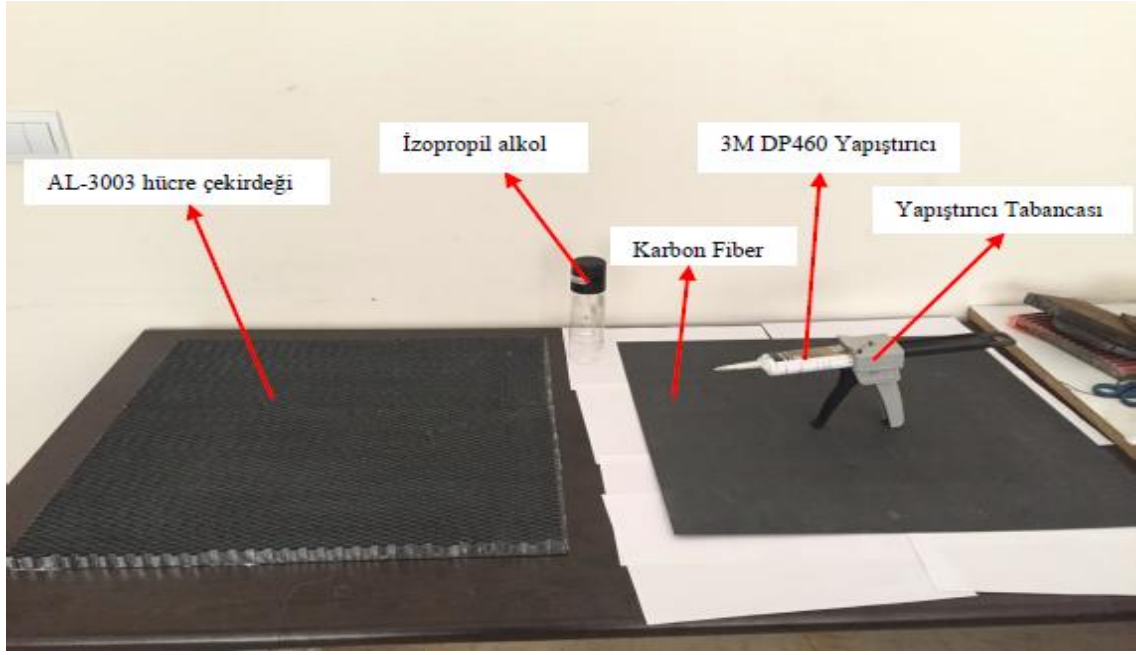
Ardından karbon fiber yüzey malzemeleri ve 3M marka DP460 endüstriyel epoksi esaslı yapıştırıcılar piyasadan ticari olarak temin edilmiştir. Karbon fiber yüzey malzemeleri 1 mm kalınlığında, genişliği ve uzunluğu 500 mm x 500 mm boyutlarında temin edilmiştir. Karbon fiber yüzey malzemeleri Şekil 3.3' te gösterilmiştir. 3M

Scotch-Weld marka DP 460 model endüstriyel epoksi esaslı yapıştırıcılar ise tüpler halinde temin edilmiştir. Aynı zamanda 3M Scotch-Weld marka DP 460 model yapıştırıcı tabancası ve nozulu piyasadan ticari olarak temin edilmiştir.



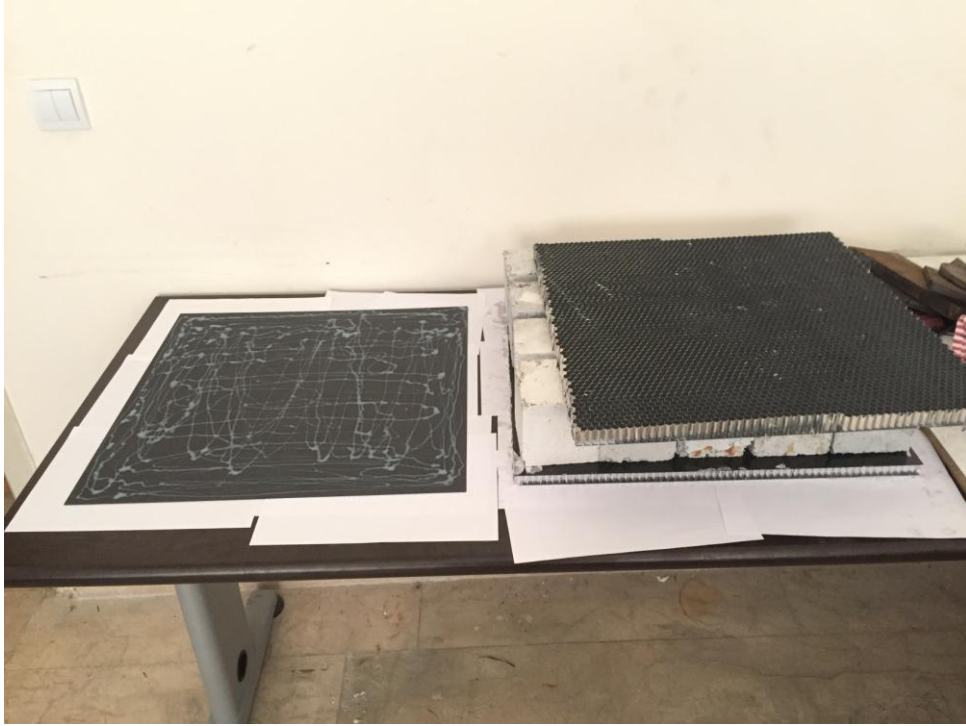
Şekil 3.3. Karbon Fiber Yüzey Malzemeleri

Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitleri oluşturmak için Alüminyum bal peteği hücreleri ve karbon fiber yüzey kaplamaları 3M Scotch-Weld marka DP460 model epoksi esaslı yapıştırıcılar yardımıyla birbirlerine bağlanması sağlanacaktır. Bu işlemden önce karbon fiber yüzey malzemelerin alüminyum bal peteği hücreleri ile olan kısım yapıştırma işleminden önce karbon fiber kaplamaların yapıştırılacak yüzeylerine izopropil alkol püskürtme işlemiyle beraber temiz bir el bezi yardımıyla iyice temizlenmiştir. Amaç yapıştırılacak yüzeyin kir, toz vb. kalıntılardan arınacak şekilde tam olarak yapışma işleminin gerçekleşmesidir. Karbon fiber yüzey malzemesine sahip bal peteği sandviç kompozitlerin üretimi için kullanılacak malzeme ve ekipmanlar Şekil 3.4’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Karbon fiber yüzey malzemesine sahip bal peteği sandviç kompozitlerin üretimi için kullanılacak malzeme ve ekipmanlar

Tüm malzemeler temin edildikten sonra numunelerin üretimine başlanmıştır. İlk işlem olarak 500 mm x 500 mm boyutlarına getirilen karbon fiber yüzey malzemeleri ve alüminyum bal peteği hücreler birbirleriyle yapıştırılması sağlanmıştır. Tüm bu çalışmalar normal oda şartlarında gerçekleştirilmiştir. İzopropil alkol püskürtülerek bez yardımıyla temizlenen karbon fiber malzeme yüzeylerine 3M DP460 epoksi esaslı yapıştırıcı şeffaf ıspatula yardımıyla yüzeyin tamamına yayılması ve sürülmesi sağlanmıştır. Karbon fiber ve bal peteği sandviç kompozitlerin yapıştırma işlemi Şekil 3.5’ te gösterilmiştir. Numunelerin hazırlanması ve üretilmesi deneyleri Batman Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarı’ nda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Karbon fiber ve bal peteği sandviç kompozitlerin yapıştırma işlemi

Karbon fiber yüzey malzemeleri ve alüminyum bal peteği hücre çekirdeklerinin birbirlerine çok iyi yapışması ve monte edilmesi için yaklaşık 2.5 kg ağırlığında olan beton küp ve demir blokların alt kısmına yerleştirilmiştir. Yapışmanın tüm yüzeylerde aynı oranda çok iyi sağlanması için bir süre beklenmiştir. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin ağırlık altında bekletilmesi Şekil 3.6’ da gösterilmiştir. Yapıştırma işlemi 500 mm x 500 mm boyutlarına sahip karbon fiber yüzey malzeme ve bal peteği hücre malzemeleri arasında yapılmıştır.



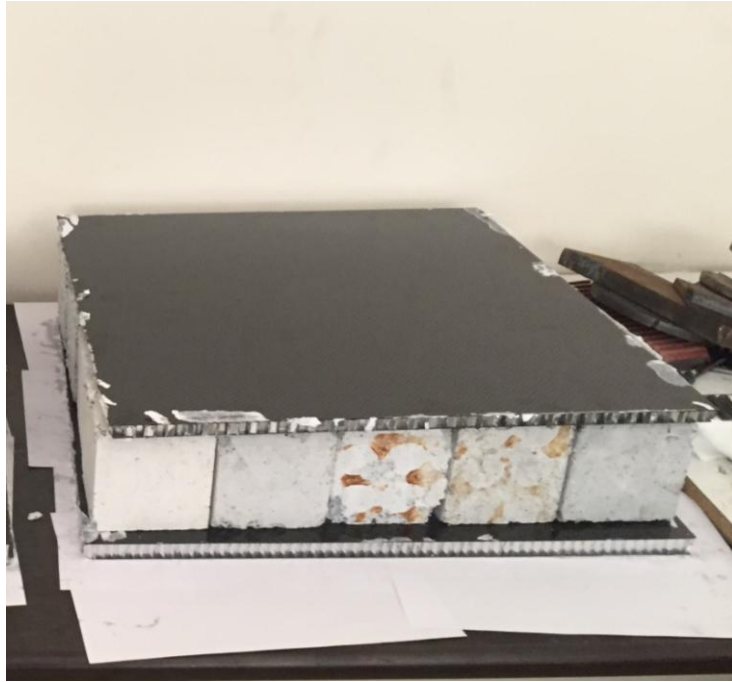
Şekil 3.6. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin ağırlık altında bekletilmesi

Karbon fiber yüzey malzemeleri ve alüminyum bal peteği hücrelerinin yapıştırma işlemleri gerçekleşen yüzeylerin kürleşme işlemi için bir gün bekletilip ardından diğer yüzeyler yapıştırılmıştır. Bu işlem tüm yüzey ve hücre malzemelerinin yapıştırılması için tekrar edilmiştir. Karbon fiber yüzey malzemeleri ve alüminyum bal peteği hücrelerinin yapıştırma işleminde tam kürleşme olayının gerçekleşmesi için yaklaşık 3-4 hafta normal oda sıcaklığı şartlarında bekletilmiştir. 500 mm x 500 mm boyutlarında üretim işlemi süren karbon fiber takviyeli 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozitlerin ağırlık altında bekletilmesi işlemi Şekil 3.7’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin ağırlık altında bekletilmesi-2

Karbon fiber kaplamalar ve bal peteği hücre malzemeleri arasındaki yapıştırma işleminden sonra tam kürleşme işlemi tamamlanmıştır. Kürleşme işlemimi tamamlanan 10 mm ve 15 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozitler Şekil 3.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. 500 mm x 500 mm boyutlarında karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitler

Numunelerin üretimi ve hazırlanması ile ilgili işlemler numune kesme işlemine kadar Batman Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Mekanik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

500 mm x 500 mm boyutlarında üretim işlemi tamamlanan karbon fiber ve 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozitlerin boyutlarının test numuneleri için 80 mm x 80 mm kare boyutlarında kesilecektir.



Şekil 3.9. 80 mm x 80 mm boyutlarında kesilen karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitler

Numune kesme işlemleri Batman' da bulunan Lotus isimli kompozit malzeme kesme firmasında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin tamamı 80 mm x 80 mm boyutlarında, kesme işlemleri Mızrak marka Yatar Daire Kesme Makinesiyle gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kesilmesi işlemi Şekil 3.9' da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Üretimi tamamlanan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin üstten görünüşü

Karbon fiber kaplamalı bal peteği sandviç kompozitlerin genişlik 80 mm ve uzunluk 80 mm ebatlarında üretimi tamamlanmıştır. Üretimi tamamlanan 80 mm x 80 mm boyutlarında karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin görünüşleri Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Üretimi tamamlanan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin yandan görünüşü



Şekil 3.12. Üretimi tamamlanan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin üstten görünüşü

Üretilen numunelerin tamamı karbon fiber yüzey malzemeleri 1 mm kalınlığında sırasıyla 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip alüminyum bal peteği hücre çekirdeklerine ve 8.575 bal peteği hücre çekirdek boyutlarına sahiptir.



Şekil 3.13. Üretimi tamamlanan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin önden görünüşü



Şekil 3.14. Üretimi tamamlanan karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin yandan görünüşü

Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin üretimi tamamlanmıştır. Numuneler düşük hızlı darbe ve basma deneyleri için hazır hale getirilmişlerdir.

3.2. Kullanılan Malzemeler ve Mekanik Özellikleri

Numunelerin üretilmesi için kullanılan temel malzemeler Alüminyum 3003 alaşımı, karbon fiber ve 3M DP460 yapıştırıcı malzemelerle ilgili genel bilgiler ve mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’ de verilmiştir.

3.2.1. Alüminyum 3003 Alaşımı

Genel olarak mukavemetleri orta seviye olan bir alaşım çeşididir. Korozyon direnci iyi, kaynak etme durumu ve şekillendirme olarak çok verimlidir. Yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri bozulmadan çalışabilen alaşımlardır. Alüminyum 3003 alaşım olarak içeriğinde manganez oranı ağırlık yüzdesi fazladır. Mekanik basınçlara karşı dayanıklıdır. Isıl işlem görmüş çeşitleri de mevcuttur. Kullanım alanları oldukça geniş boru, çatı, oluk vb. yerlerde kullanılır (Yogeswaran, 2020).

Tablo 3.2. Alüminyum 3003 Alaşımına ait Mekanik Özellikler (Sun, 2016)

Elastisite Modülü	69 GPa
Poisson Oranı	0.33
Yoğunluk	2730 kg/m ³
Akma Dayanımı	115 MPa
Çekme Dayanımı	160 MPa

3.2.2. Karbon Fiber

Yüksek sertlik, mukavemet, hafiflik, yüksek kimyasal direnç, yüksek sıcaklık toleransı ve düşük termal genleşme özellikleri gelişmiş malzemelerdir. Karbon fiberler havacılık, enerji, inşaat, uzay uygulamaları vb. alanlarda kullanım oranı sürekli olarak artmaktadır. Dezavantaj durumları yüksek maliyetli olmalarıdır. Farklı malzemelerle birleşerek çok güçlü özelliklere sahip kompozitler oluştururlar. Yüksek sıcaklıklara dayanıklıdırlar (Yogeswaran, 2020).

Tablo 3.3. Karbon Fiber Malzemesine ait Mekanik Özellikler (Topkaya, 2017)

	E ₁ (GPa)	E ₂ (GPa)	E ₃ (GPa)	ν_{12}	G ₁₂ (GPa)	X _T , Y _T (MPa)	X _C , Y _C (MPa)	S (MPa)
CFRP	83.4	83.5	8.2	0.05	6.8	1008	953	125

3.2.3. 3M Scotch-Weld DP460 Endüstriyel Epoksi Esaslı Yapıştırıcı

Çok farklı malzemelerin birleşmesine etki eden epoksi esaslı yapıştırıcıdır. Sertleştirilmiş, iki bileşenli bir epoksi yapıştırıcıdır. Çok yüksek basınç, çevresel ve kimyasal dayanım altında yüksek verimle çalışabilir. Ortalama 60 dakikada kururlar. 250-300 dakikada kürleşme işlemini tamamlarlar. Tüm yapısal bağlantılarda kullanılabilir. Ortalama 1 saat çalışma süresi mevcuttur. Darbe ve kayma dayanımına karşı dirençlidir. Genel endüstriyel, spor ürünleri, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, kompozitler, elektronik eşyalar, askeri, ulaşım ve havacılık vb. alanlarda birleştirme, tutkallama, tutturma, montaj, ekleme, onarım, dolgu, panel birleştirme ve yapısal yapıştırma görevleri görürler (<https://www.3m.com.tr>, 2020).

Tablo 3.4. 3M DP460 epoksi esaslı yapıştırıcıya ait Mekanik Özellikler (Soy, 2005)

Elastisite Modülü	2077.1 MPa
Poisson Oranı	0.38
Çekme Dayanımı	44.616 MPa

3.3. Karbon Fiber Takviyeli Bal Peteği Sandviç Kompozitlere Darbe ve Basma Deneylerinin Uygulanması

Üretilen karbon fiber takviyeli alüminyum bal peteği sandviç kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe testi sonrası basma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deney numuneleri üretilme işleminden sonra hasarlı ve hasarsız olarak düşük hızlı darbe testi, açılı düşük hızlı darbe, basma testi, açılı darbe testi sonrası basma yüklemeleri uygulanmış ve bir kısım numuneler hasarsız bırakılmıştır. Açılı darbe testi ile ön hasar verilmiş numuneler ile hasarsız numuneler, açılı darbe ön hasarının darbe mukavemetindeki düşüşe ve mekanik davranışlarına etkisini incelemek amacıyla basma yüklemesi sonucu ortaya çıkan grafikler, fotoğraflar ve tablolarla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

3.3.1. Darbe Deneyleri

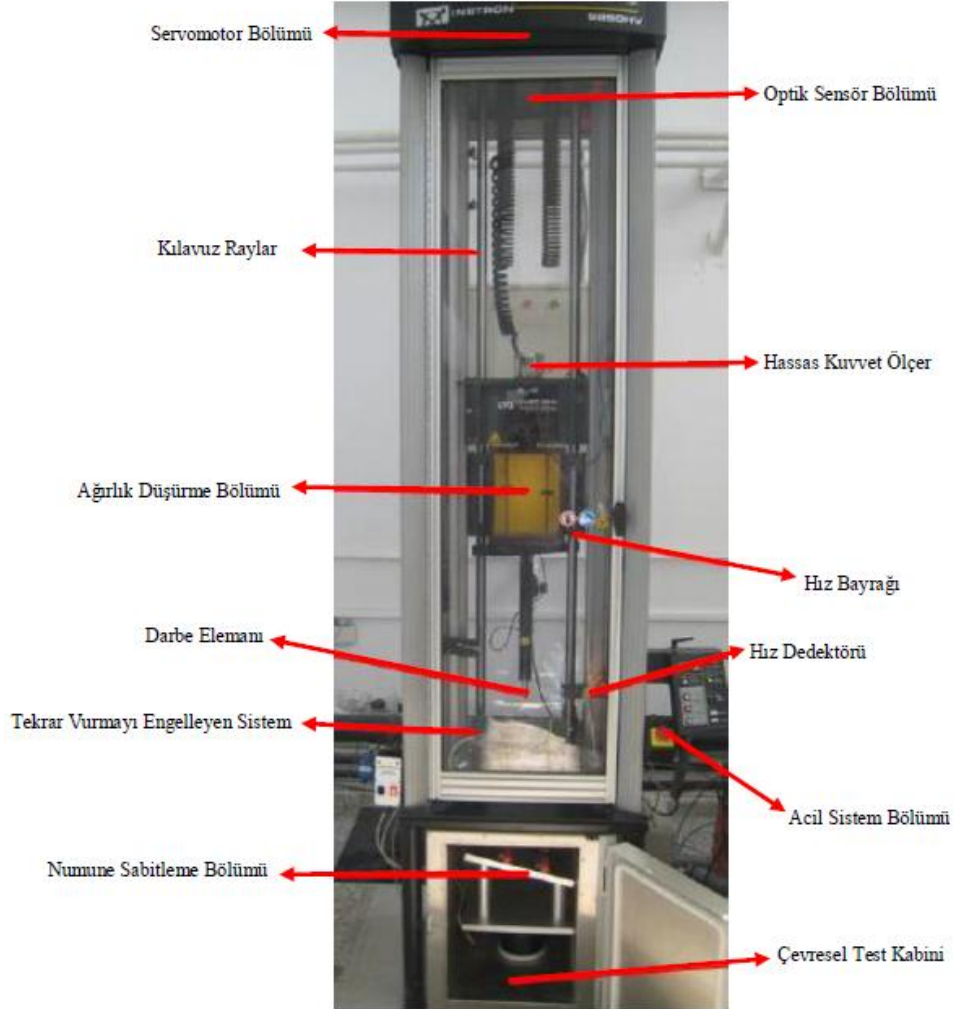
Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlere uygulanan darbe deneyleri Ankara’ da bulunan Orta Doğu Teknik Üniversitesi(ODTÜ) Merkez Laboratuvarı’ nda gerçekleştirilmiştir. Darbe test cihazıyla numunelere uygulanan deney işlemleri maliyeti karşılanarak ODTÜ Merkez Laboratuvarı’ nda yapılmıştır. Darbe testleri Instron marka Dynatup 9250 model darbe test cihazı tarafından normal oda sıcaklığı şartlarında düşük hızda darbe çarpma açılı olarak gerçekleştirilmiştir.

Instron Dynatup 9250 model darbe test cihazı özellikleri farklı çap ve biçimlerde darbe vurucu uç uygulama işlemlerine sahiptir. Test cihazı düşük ağırlıklı kafa ile 2.6 J – 826 J, orta ağırlıkta kafa ile 4.6 J – 945 J, büyük ağırlıklı kafa ile 25 J – 1603 J aralığında enerji parametrelerinde, maksimum düşme yüksekliği 20.4 m ve en yüksek darbe hızı 20 m/s hızda uygulama özelliklerine sahip bir cihazdır. Darbe deneylerinde cihazın sensörler yardımıyla ağırlık düşürerek numuneye uygulanmasıyla beraber numunelerde meydana gelen mekanik davranışların analizlerinin oluşturulması kriterine dayanır. Instron Dynatup 9250 ağırlık düşürme test düzeneği Şekil 3.15’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Instron Dynatup 9250 ağırlık düşürme test düzeneği (Evci, 2009)

Darbe deneyleri 80 mm x 80 mm boyutlarında olan karbon fiber takviyeli 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozitlere sırasıyla 2.5 J, 5 J ve 7.5 J enerji parametrelerinde düşük hızda darbe testleri uygulanmıştır. Düşük hızda darbe enerjileriyle eşgüdümlü olarak düşük hızda çarpma açılı olarak sırasıyla 0°(normal), 15° ve 30° açılarda testler uygulanmıştır. Instron Dynatup 9250 ağırlık düşürme test cihazı bölümleri Şekil 3.16' da gösterilmiştir.

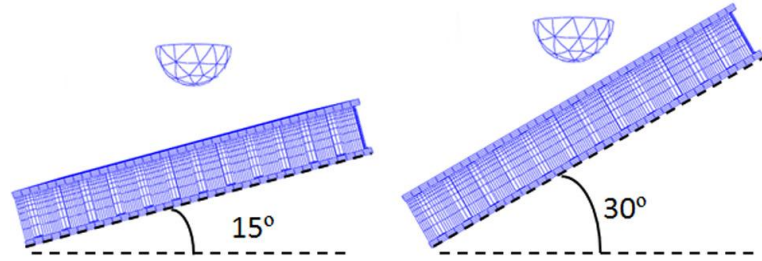


Şekil 3.16. Instron Dynatup 9250 Ağırlık Düşürme Test Cihazı Bölümleri

3.3.1.1. Açılı Darbe Aparatı ve Açılı Darbe Deneyi

Düşük hızlı darbe deneylerinde genel olarak numunelere normal(0° ve 90°) açılarda ağırlık düşürme testleri yapılmaktadır. Çalışmanın amaçlarından biri bal peteği sandviç kompozitlerin açılı düşük hızda darbe testi ve basma testi sonrası kompozitlerin mukavemet ve mekanik davranışlarında meydana gelen değişimler için açılı darbe aparatları üretilmiştir. Açılı darbe aparatı 15° ve 30° açılarda iki ayrı aparat üretilmiştir.

Açılı darbe aparatları Instron Dynatup 9250 model test cihazının çevresel test kabini bölmesine sabitlenmiştir. Açılı darbe aparatının zemin ile yaptığı açı, vurucu ucun numuneyle yaptığı çarpma açısına eşittir. Numunelere uygulanan açılı darbeler Şekil 3.17’ de gösterilmiştir.

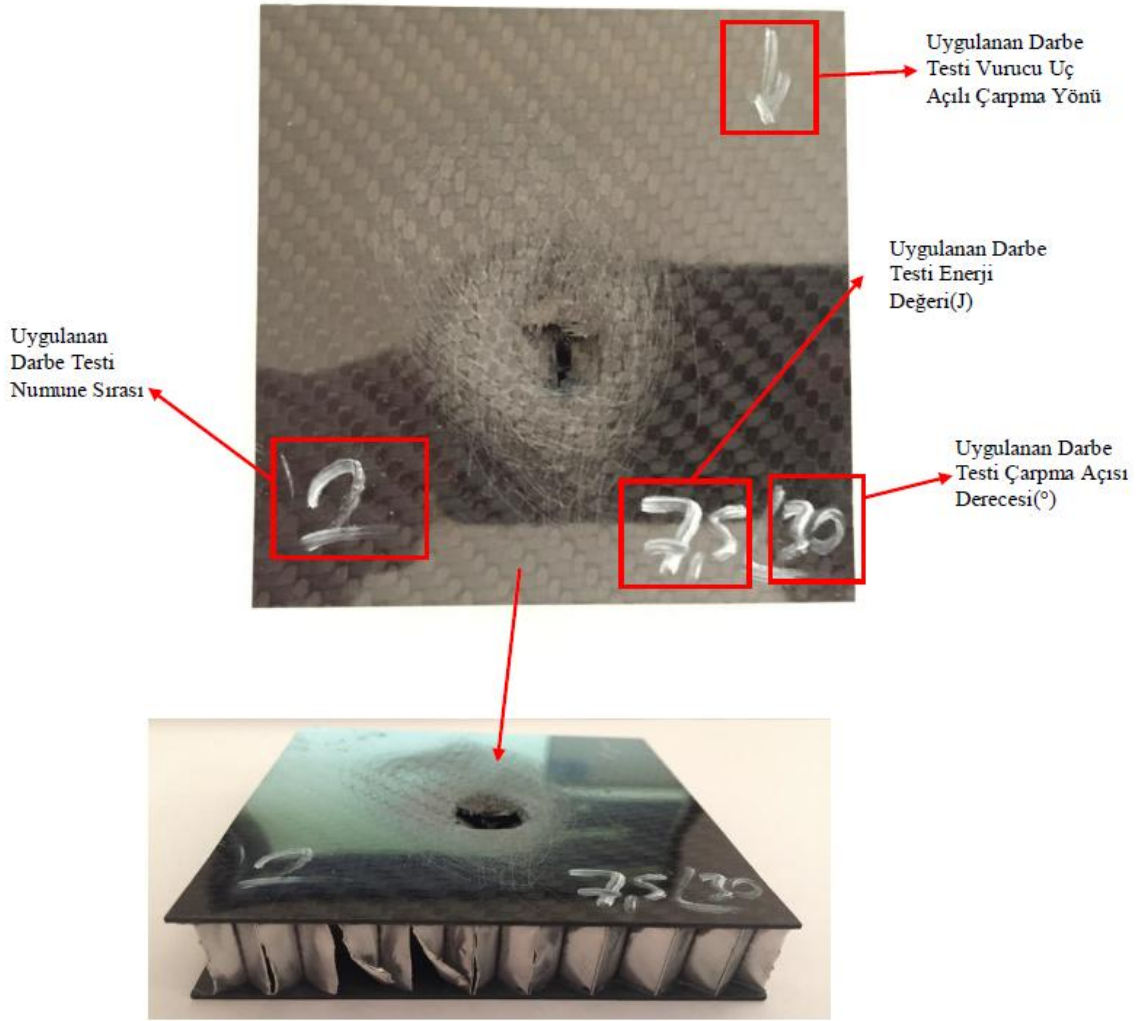


Şekil 3.17. Numunelere uygulanan açılı darbeler (Ivanez, 2015)

80 mm x 80 mm ebatlarındaki numuneler açılı darbe aparatının üst kısmına yerleştirildikten sonra her iki taraftan vidalar sıkılarak monte edilmektedir. Her bir numune bu şekilde monte edildikten sonra açılı düşük hızda darbe testleri uygulanmaktadır. Açılı darbe testleri sonrası bal peteği sandviç kompozit numunelerin görüntüleri şekil 3.18’ de görülmektedir.



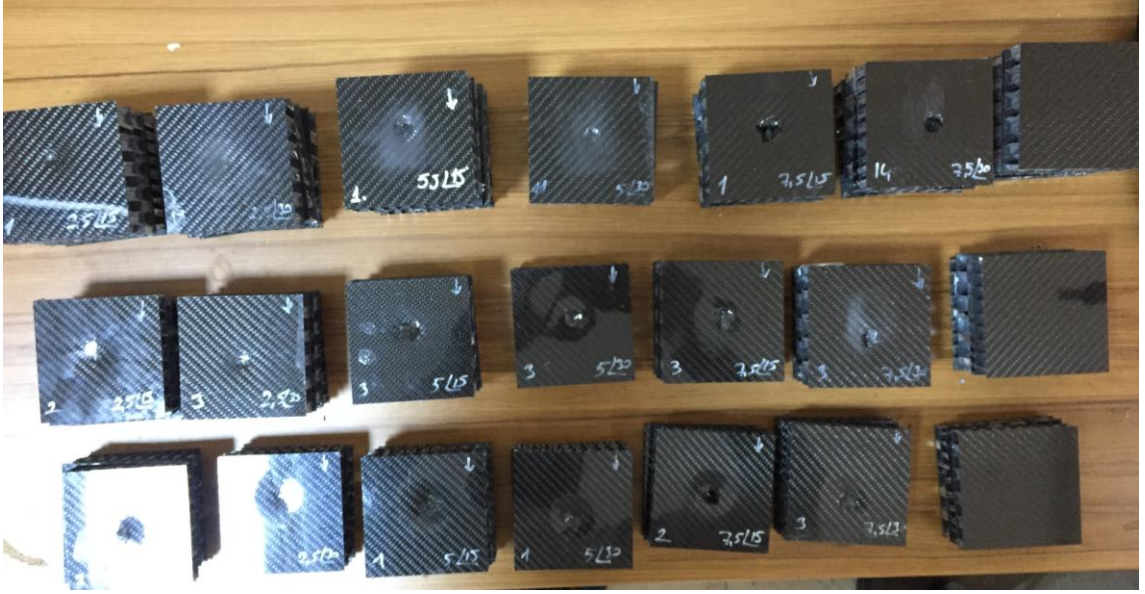
Şekil 3.18. Bal peteği sandviç kompozitlere uygulanan açılı darbe testleri sonucu numuneler



Şekil 3.19. Darbe testlerinin uygulanması sonrası bal peteği sandviç kompozitlerin isimlendirilmesi

Bal peteği sandviç kompozit numunelere uygulanan açılı düşük hızda darbe deneyleri sonucu numunelerin üst yüzeyinde isimlendirilmiştir. Darbe deneyi sonucunda üst yüzeyde numune sırası, açı çarpma yönü, enerji değeri ve çarpma açısı şeklinde adlandırılmıştır. Şekil 3.19’ da darbe testlerinin uygulanması sonrası karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin isimlendirilmesine bir örnek gösterilmektedir.

Bal peteği sandviç kompozitlerin açılı darbe testleri sonrası numunelerin üstten görüşleri Şekil 3.20’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Bal peteği sandviç kompozitlere uygulanan açılı darbe testleri sonucu numunelerin üstten görünüşü

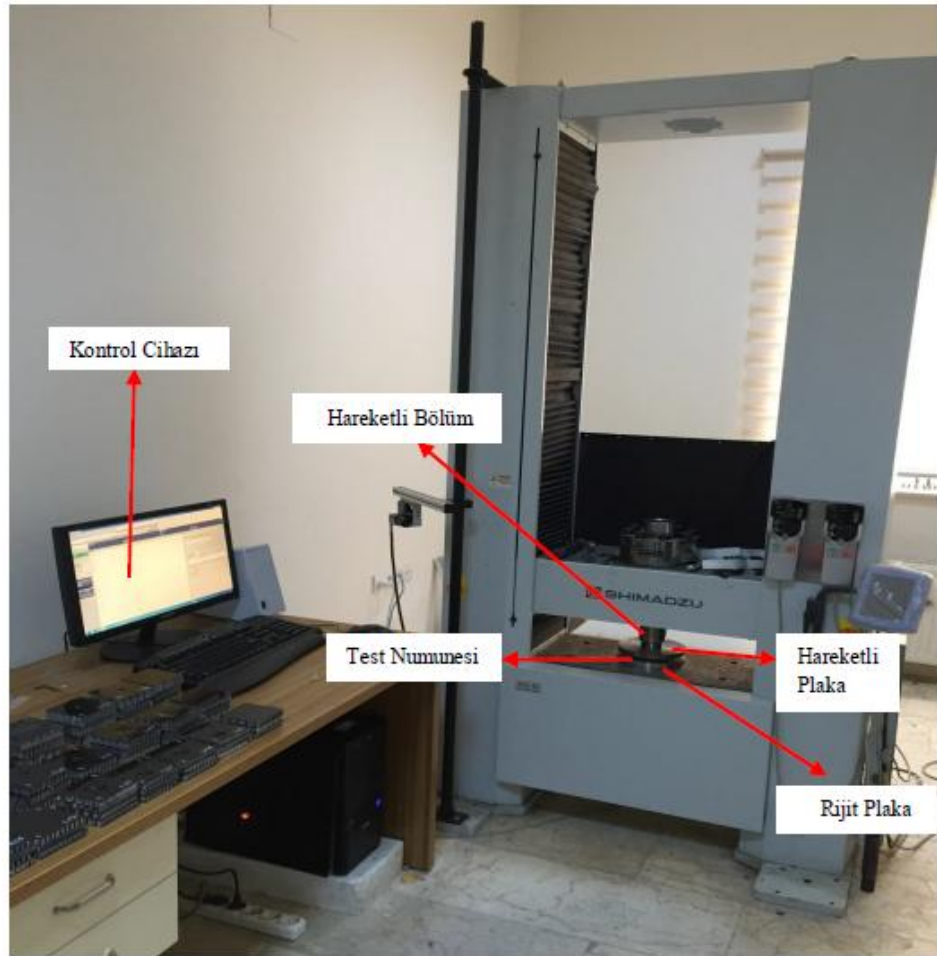
Bal peteği sandviç kompozitlerin açılı darbe testleri sonrası numunelerin önden görünüşleri Şekil 3.21’ de gösterilmiştir



Şekil 3.21. Bal peteği sandviç kompozitlere uygulanan açılı darbe testleri sonucu numunelerin önden görünüşü

3.3.2. Basma Deneyleri

Üretilen karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlerin bir kısmına açılı düşük hızda darbe testleri yapıp ön hasarlar verilmiş bir kısmı darbe testi hasarına uğramadan basma yüklemelerine maruz bırakılmıştır. Amaç açılı darbe testlerinin kompozitler üzerindeki davranışlarının basma testi sonrasında etkilenip etkilenmediğinin belirlenmesidir. 80 mm x 80 mm üretilen bal peteği sandviç kompozitlerin basma deneyleri Batman Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Mekanik Laboratuvarı'nda bulunan Shimadzu AG-IC marka Üniversal model test cihazı ile uygulanmıştır. Basma yüklemeleri Shimadzu Üniversal test cihazı ile 250 kN yük hücresi uygulanarak, ilerleme hızı 1 mm/dak seçilmiştir. Deneyler oda sıcaklığı şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan basma test cihazı ve bölümleri Şekil 3.22' de gösterilmiştir.



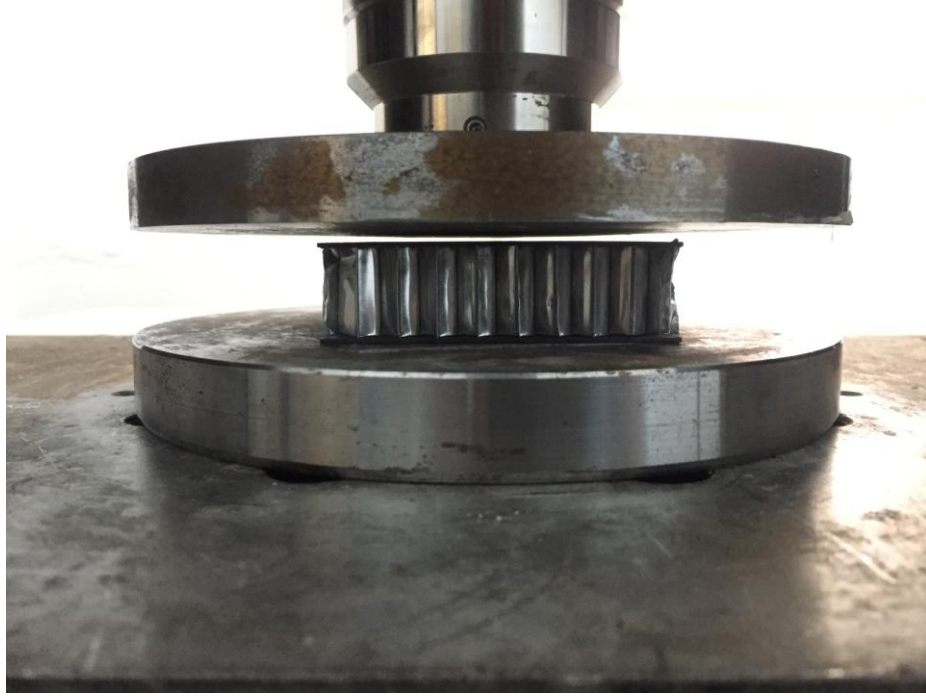
Şekil 3.22. Shimadzu Üniversal Basma Test Cihazı

Üretilen 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozitlerin basma yüklemeleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler hareketli plaka ile rijit plaka arasına yerleştirilmiştir. Shimadzu Universal test cihazı ile tek yönde yukarıdan aşağıya doğru basma yüklemesi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin basma test cihazında basma yüklemesi Şekil 3.23' te gösterilmiştir.



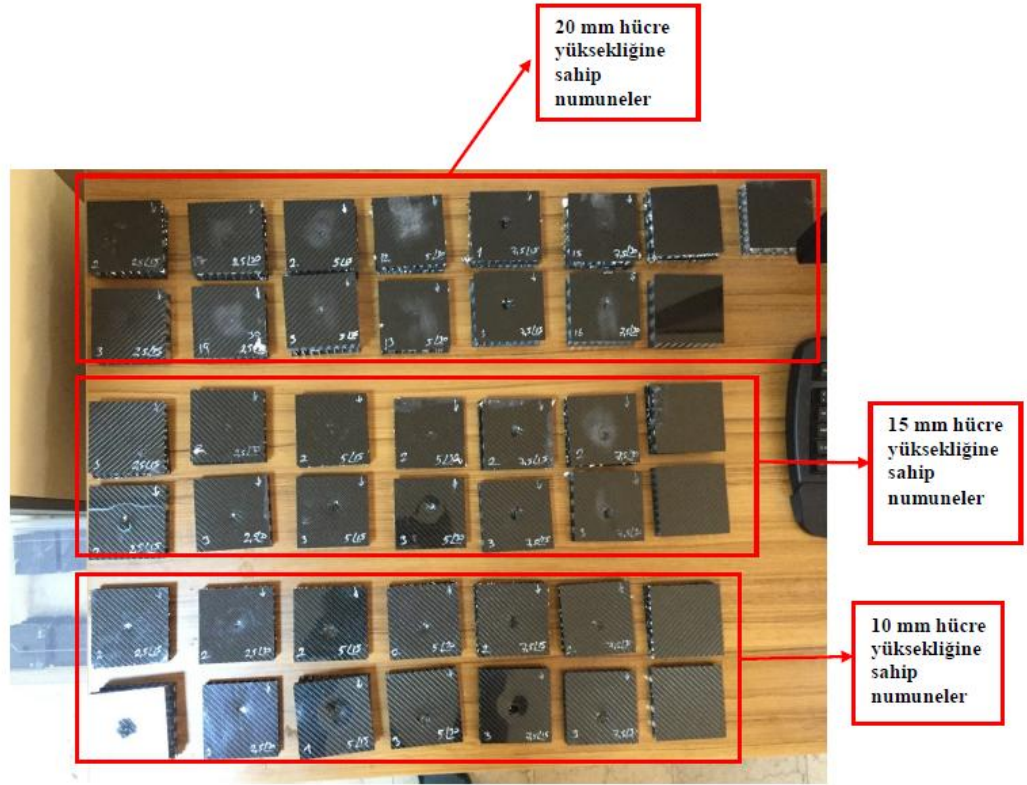
Şekil 3.23. Test Cihazında Basma Yükleme

Karbon fiber takviyeli 20 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozit numunenin basma testinde yükün uygulanışı Şekil 3.24' te verilmiştir.



Şekil 3.24. Basma Testinde Yükün Uygulanışı

10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğinde olan bal peteği sandviç kompozitlerin açılı darbe testleriyle ön hasarlar verilen numunelerin ve darbe testine uğramadan hasarsız şekilde basma testi yüklemeleri uygulanmıştır. Sonuçta numunelerin üst yüzeylerinde oluşan hasarların üstten görünüşleri Şekil 3.25, önden görünüşleri Şekil 3.26 ve Şekil 3.27' de gösterilmiştir.



Şekil 3.25. 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozitlerin basma testi sonrası üstten görüşleri

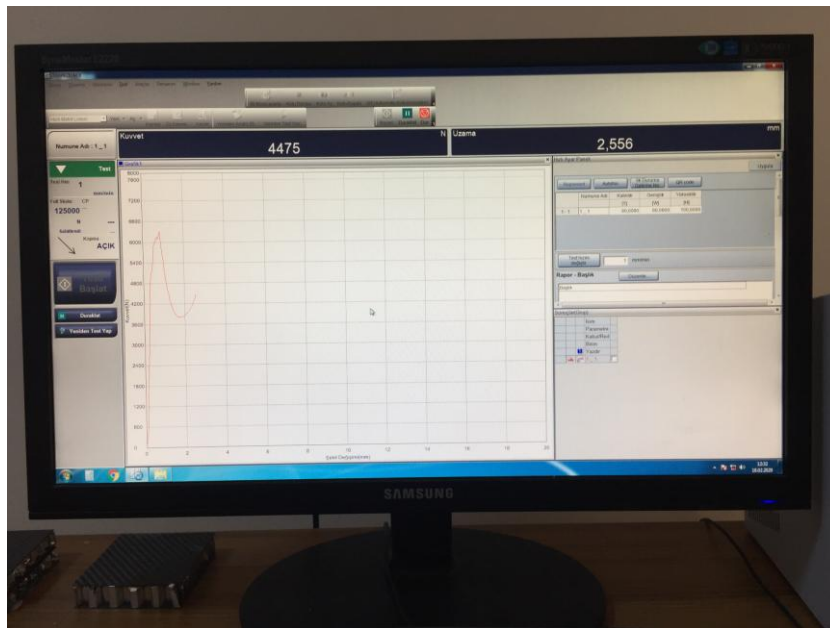


Şekil 3.26. 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozitlerin basma testi sonrası önden görüşleri



Şekil 3.27. 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip bal peteği sandviç kompozitlerin basma testi sonrası önden görünüşleri-2

Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozitlere Shimadzu Üniversal test cihazı ile basma yüklemesi sırasında numunede gerçekleşen tüm mekanik olaylar kontrol cihazına yani bilgisayara aktarılarak kuvvet ve şekil değişimi grafikleri oluşturulur. Grafikler darbe enerjileri, darbe açıları ve hücre yüksekliklerine göre sınıflandırılmış ve oluşturulmuştur. Numunelere basma yüklemesi sırasında oluşan örnek bir grafik Şekil 3.28’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Numunelere Basma yüklemesi sırasında oluşan bir grafik örneği

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilen çalışmada karbon fiber yüzey malzemesine sahip alüminyum bal peteği sandviç kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe ve darbe ön hasarına uğradıktan sonra basma davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.1. Düşük Hızlı Darbe Deneyi Sonuçları

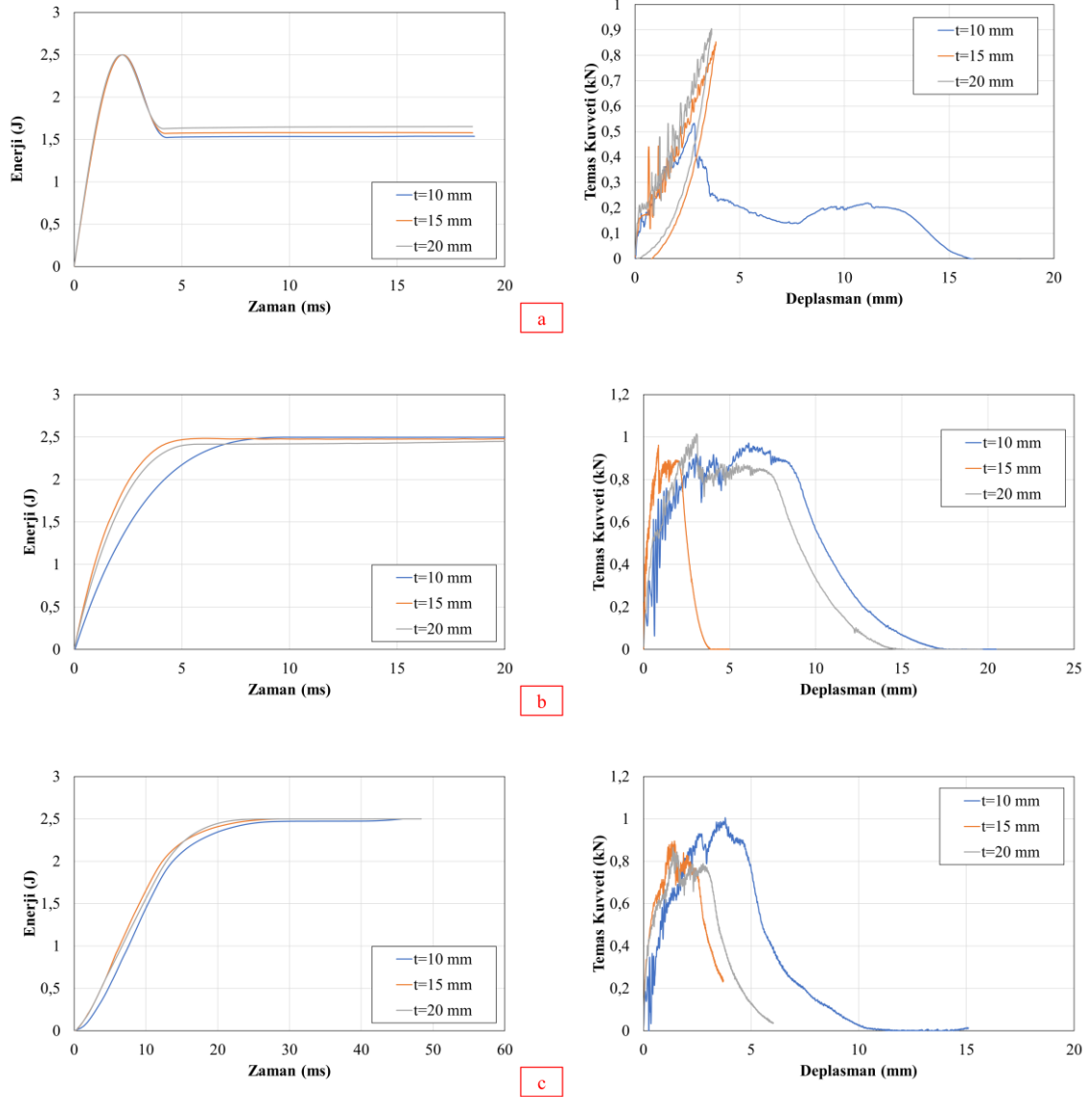
Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilen darbe testleri 2.5 J, 5 J ve 7.5 J enerji değerlerinde 0°, 15° ve 30° darbe açılarındaki gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler neticesinde her bir enerji değeri için bal peteği hücre yüksekliği ve darbe açısı değeri için elde edilen sonuçlar aşağıda karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

4.1.1. 2.5 J Darbe Enerjisi Kullanılarak Yapılan Test Sonuçları

2.5 J enerji ile gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testleri sonucunda elde edilen Enerji – Zaman ve Temas Kuvveti – Deplasman grafikleri Şekil 4.1’ de verilmiştir. 2.5 J darbe enerjisi ile yapılan darbe test sonuçları incelendiğinde 0° darbe açısı için hücre yüksekliğinin absorbe edilen enerji üzerinde etkisinin sınırlı kaldığı görülmüştür. 10 mm hücre yüksekliği için absorbe edilen enerji miktarı 1.53 J, 15 mm hücre yüksekliği için absorbe edilen enerji miktarı 1.57 J ve 20 mm hücre yüksekliği için absorbe edilen enerji miktarı 1.65 J olmuştur. Bu durum hücre yüksekliği arttıkça absorbe edilen enerji miktarının arttığını göstermektedir. Darbe açısının 15° ve 30° olması durumunda darbe elemanı numune içine saplandığından darbe enerjisinin tamamı numune tarafından absorbe edilmiştir.

0° darbe açısı ile test edilen numunelerden 10 mm hücre yüksekliğine sahip numunede 532.2 N, 15 mm hücre yüksekliğine sahip numunede 853.23 N ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip numunede 904.25 N temas kuvveti ortaya çıkmıştır. 15° darbe enerjisi ile test edilen numunelerde 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip numunelerde temas kuvvetleri sırasıyla 961 N, 972 N ve 1015 N değerlerini almıştır. 30° darbe enerjisi ile düşük hızlı darbe testine tabi tutulan numunelerde temas kuvvetleri 10 mm hücre yüksekliği için 1005 N, 15 mm hücre yüksekliği için 896 N ve 20 mm hücre yüksekliği için 866 N değerlerini almıştır.

Temas kuvveti deplasman grafikleri incelendiğinde 0° darbe açısı ile test edilen numunelerde 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip numunelerde ortaya çıkan eğri orjine yönelmiştir. Bu durum numunenin üst yüzey malzemesinin delinmediğini göstermiştir. 10 mm hücre yüksekliğine numunede ise eğri açılmaya diğer bir ifadeyle deplasman artmaya devam etmiştir. Bu durum numunenin üst yüzeyinin delindiğini göstermektedir.

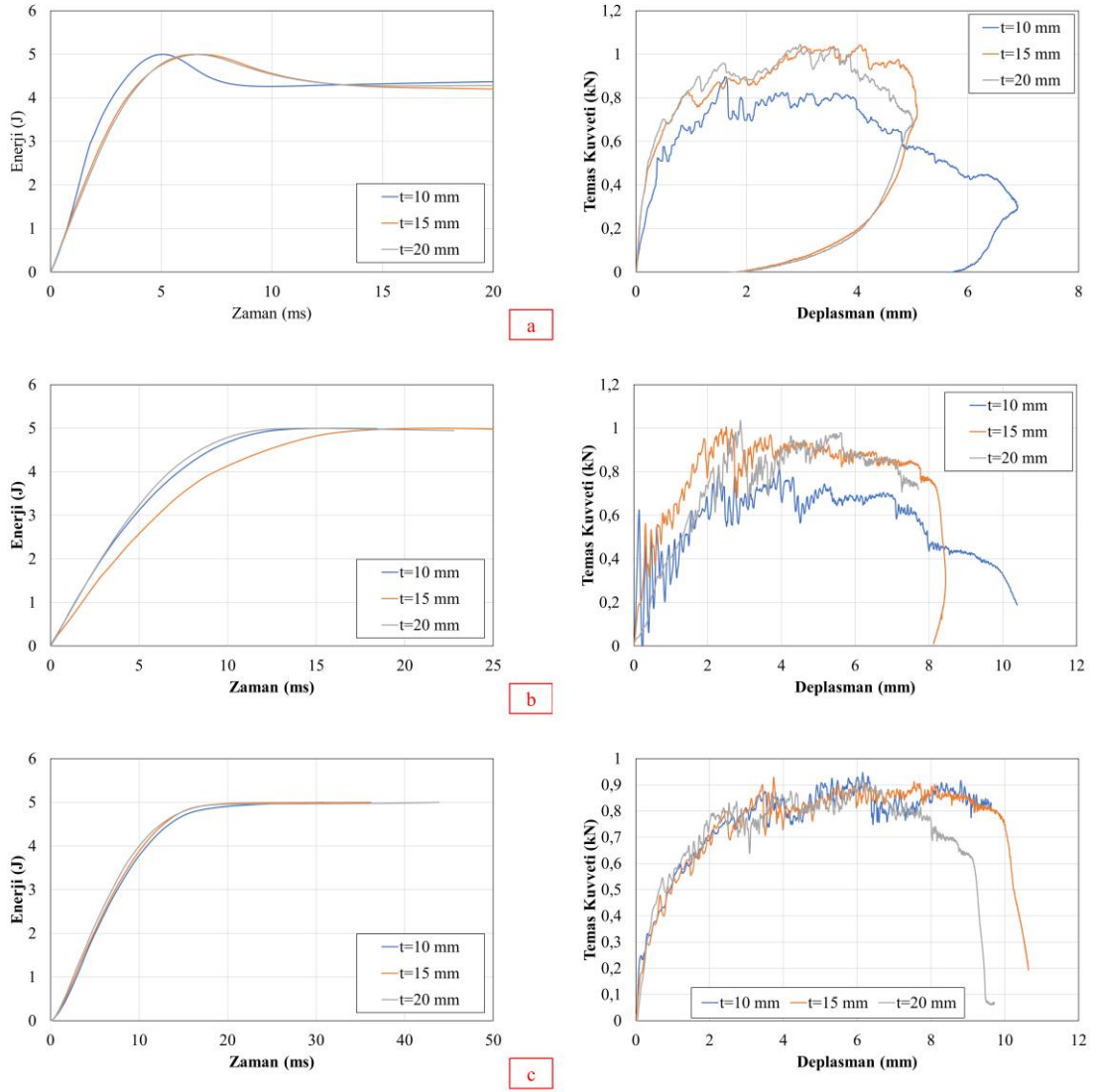


Şekil 4.1. 2.5 J darbe enerjisi ile yapılan test sonuçları (a. 0° darbe açısı b. 15° darbe açısı c. 30° darbe açısı)

4.1.2. 5 J Darbe Enerjisi Kullanılarak Yapılan Test Sonuçları

5 J enerji ile gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testleri sonucunda elde edilen Enerji – Zaman ve Temas Kuvveti – Deplasman grafikleri Şekil 4.2’ de verilmiştir. 0° darbe enerjisi sonuçlarına göre 10 mm hücre yüksekliği için 4.52 J, 15 mm hücre yüksekliği için 4.57 J ve 20 mm hücre yüksekliği için 4.60 J enerji asorbe edilmiştir. 15° ve 30° darbe açıları için darbe enerjisinin tamamı numune tarafından absorbe edilmiş görünmektedir. Bunun sebebi darbe elemanının numuneye saplanmasıdır.

0° açı ve 5 J enerji ile düşük hızlı darbe testine tabi tutulan 10 mm hücre yüksekliğine sahip olan numune 895 N, 15 mm hücre yüksekliğine sahip olan numune 1041 N ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip olan numune 1044 N temas kuvveti görülmüştür. 15° ve 5 J enerji değeri ile test edilen 10 mm, 15 mm ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip numuneler sırasıyla 817 N, 1006 N ve 1036 N temas kuvveti oluşturmuştur. Darbe açısının 30° olması durumunda 10 mm hücre yüksekliği için 947 N, 15 mm hücre yüksekliği için 929 N ve 20 mm hücre yüksekliği için 916 N temas kuvveti görülmüştür.



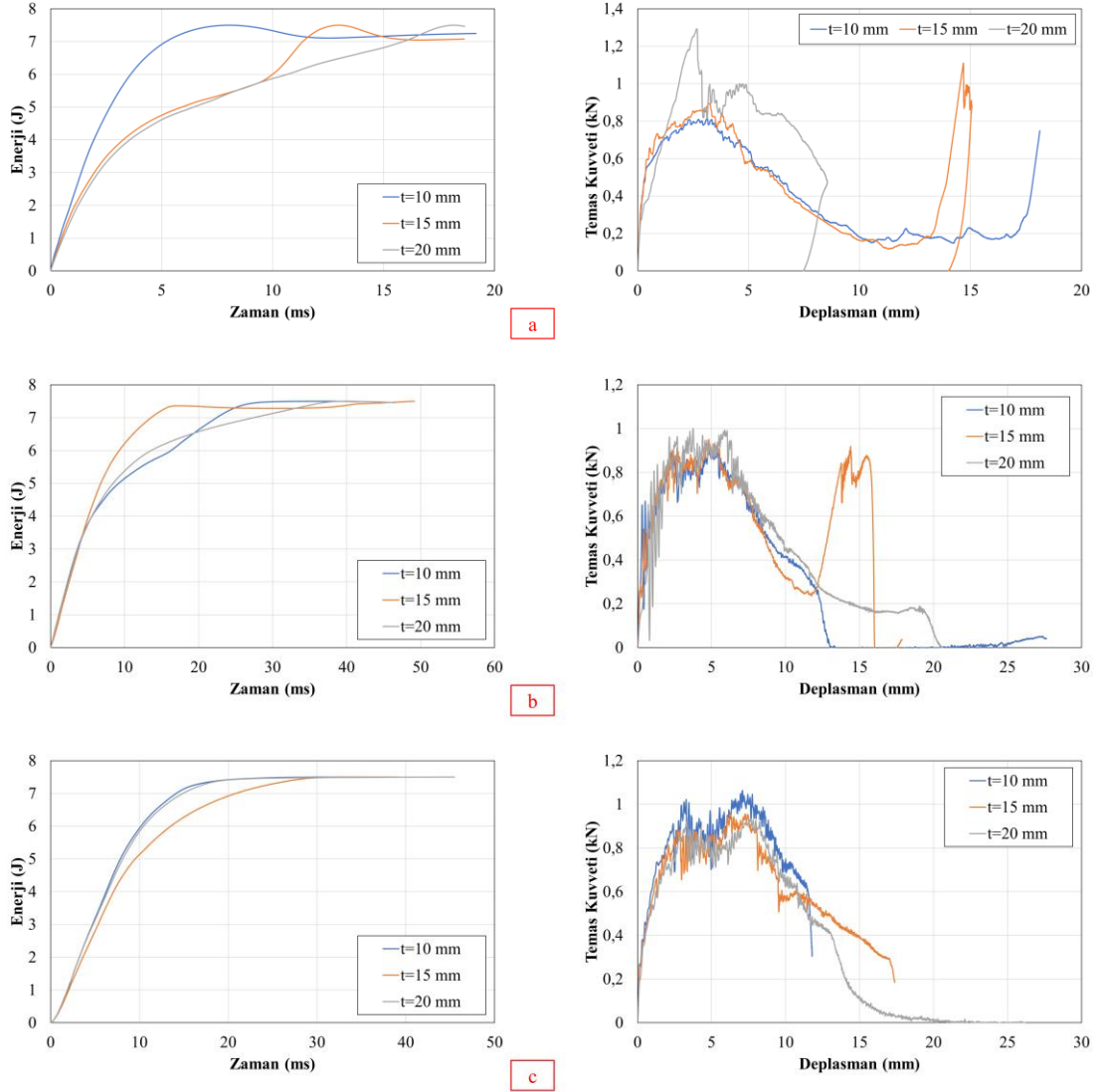
Şekil 4.2. 5 J darbe enerjisi ile yapılan test sonuçları (a. 0° darbe açısı b. 15° darbe açısı c. 30° darbe açısı)

4.1.3. 7.5 J Darbe Enerjisi Kullanılarak Yapılan Test Sonuçları

7.5 J enerji değeri ile test edilen numunelerden 0° darbe açısı için 10 mm hücre yüksekliğine sahip numune 7.25 J, 15 mm hücre yüksekliğine sahip numune 7.07 J enerjiyi absorbe ederken 20 mm hücre yüksekliğine sahip numune bütün test enerjisini absorbe etmiştir. 15° ve 30° darbe açıları için test enerjisinin tamamı absorbe edilmiştir.

0° darbe açısı için temas kuvveti 10 mm hücre yüksekliği için 841 N, 15 mm için 1109 N ve 20 mm için 1293 N ölçülmüştür. 15° darbe açısı ile test edilen numunelerden 10 mm hücre yüksekliğine sahip numunede 916 N, 15 mm hücre yüksekliğine sahip numunede 951 N ve 20 mm hücre yüksekliğine sahip numunede 1001 N temas kuvveti

ölçülmüştür. 30° darbe açısı ile test edilen numunelerden hücre yüksekliklerine göre 10 mm için 1064 N, 15 mm için 963 N ve 20 mm için 932 N temas kuvveti oluşmuştur.



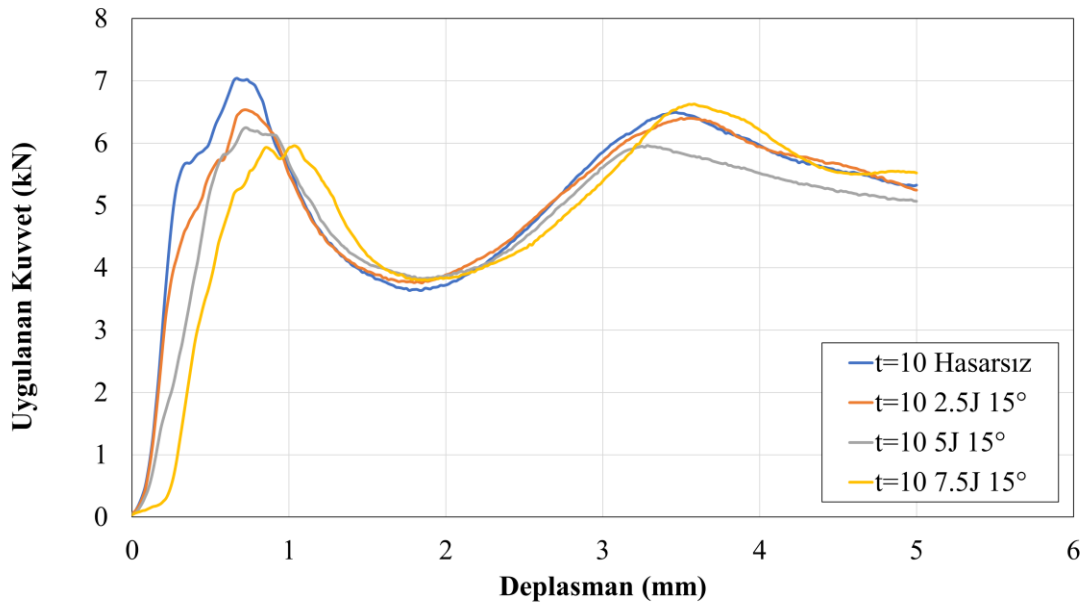
Şekil 4.3. 7.5 J darbe enerjisi ile yapılan test sonuçları (a. 0° darbe açısı b. 15° darbe açısı c. 30° darbe açısı)

4.2. Düşük Hızlı Darbe Testi Sonrası Basma Test Sonuçları

2.5 J, 5 J ve 7.5 J enerji değerlerinde 0° , 15° ve 30° darbe açılarında düşük hızlı darbe testlerine maruz bırakılan numunelerin basma mukavemetlerinde meydana gelen düşüşün belirlenmesi amacıyla basma testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan basma testleri neticesinde her bir enerji değeri, bal peteği hücre yüksekliği ve darbe açısı değeri için basma mukavemetleri belirlenmiş ve aşağıda verilmiştir.

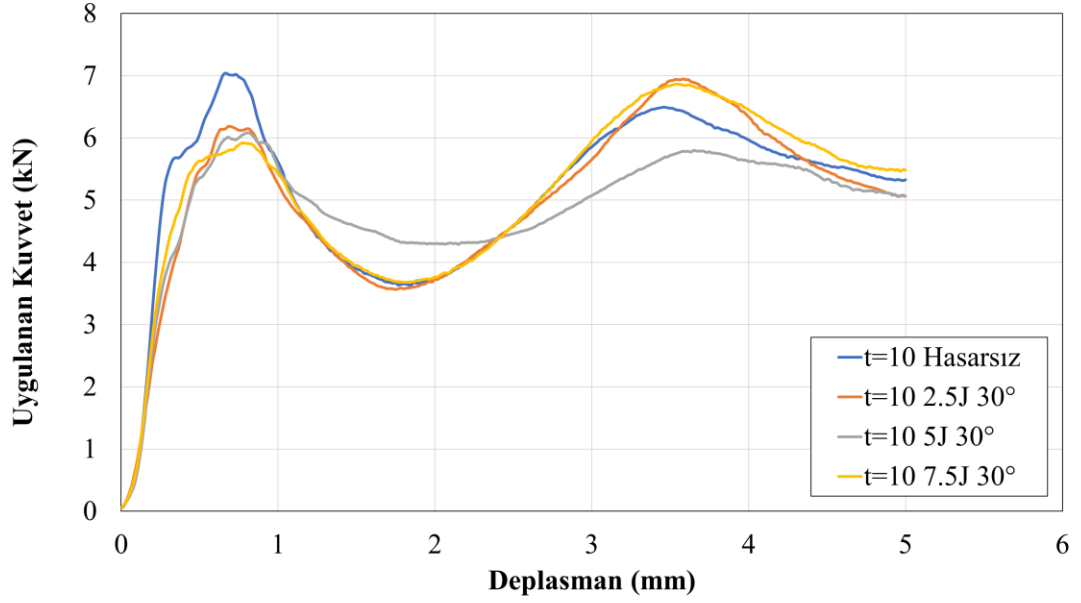
4.2.1. 10 mm Hücre Yüksekliğine Sahip Numunelerin Basma Test Sonuçları

15° darbe açısı ile düşük hızlı darbe testine tabi tutulan numunelere uygulanan basma test grafiği Şekil 4.4’ de verilmiştir. Basma test sonuçları incelendiğinde hasarsız numunenin basma hasar yükü 7043 N çıkmıştır. 15° darbe açısı ile test edilen numunelerden 2.5 J darbe enerjisine maruz bırakılan hasar yükü 6535 N iken 5 J ve 7.5 J enerji değerleri için hasar yükleri sırasıyla 6246 N ve 5960 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.4. 10 mm hücre yüksekliği için 15° açısı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı

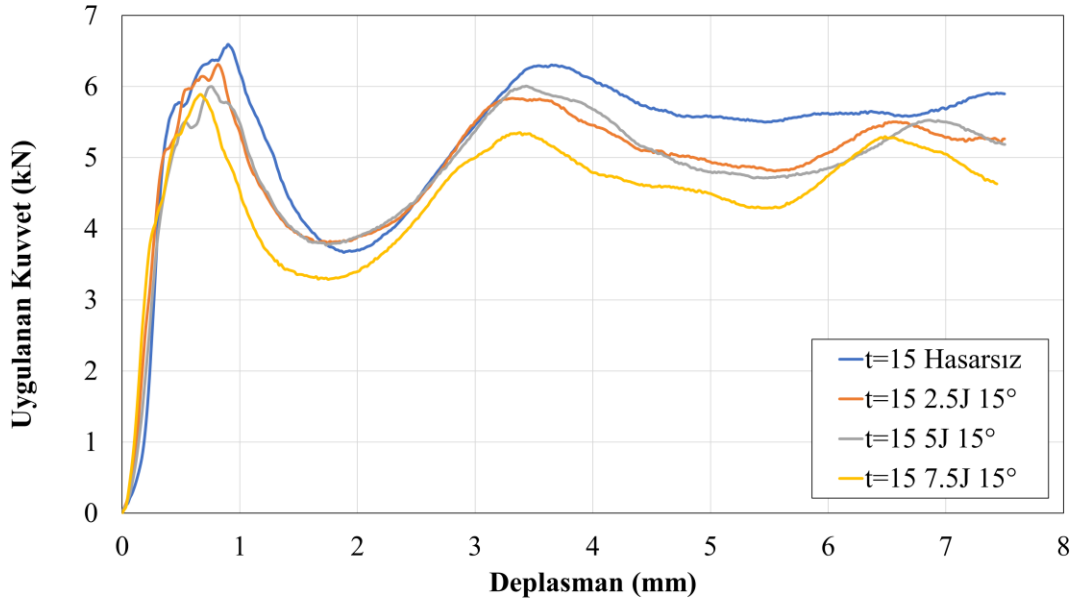
Şekil 4.5’ de 30° darbe açısı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı verilmiştir. 30° darbe açısı ile ön hasar verilen numunelerin hasar yükleri 2.5 J enerji değeri için 6187 N, 5 J enerji değeri için 6082 N ve 7.5 J enerji değeri için 5918 N değerlerini almıştır.



Şekil 4.5. 10 mm hücre yüksekliği için 30° açı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı

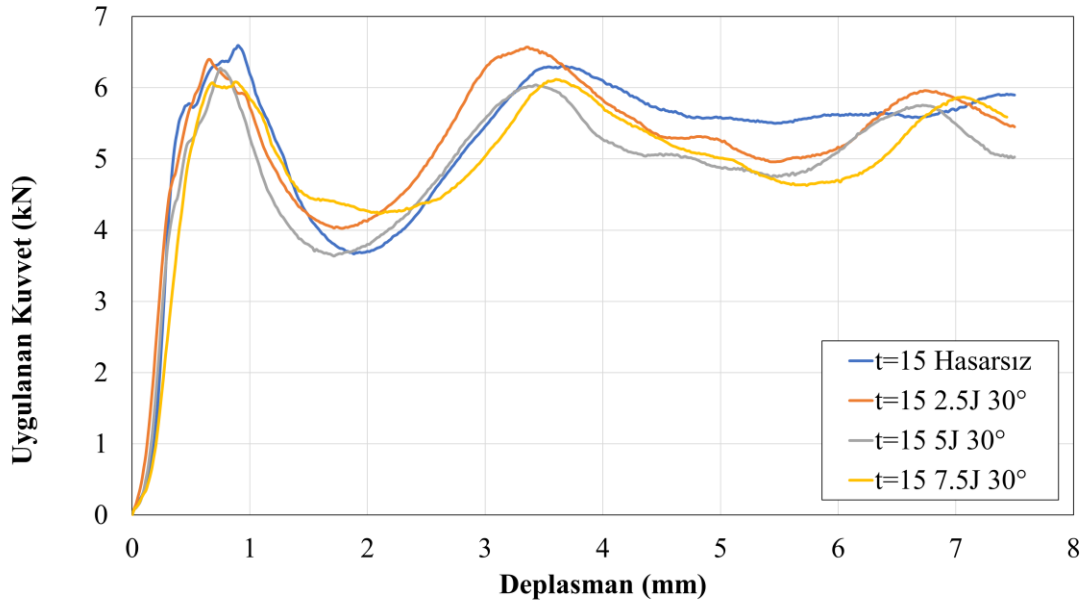
4.2.2. 15 mm Hücre Yüksekliğine Sahip Numunelerin Basma Test Sonuçları

15 mm hücre yüksekliğine sahip numunelerin 15° darbe açısı ile ön hasar verildikten sonra uygulanan basma testi neticesinde elde edilen uygulanan kuvvet – deplasman grafiği Şekil 4.6’ da verilmiştir. Hasarsız numune için basma hasar yükü 6593 N olarak ölçülmüştür. 15° darbe açısı için 2.5 J ile ön hasar verilen numune 6313 N, 5 J ile ön hasar verilen numune 6000 N, 7.5 J ile ön hasar verilen numune 5889 N hasar yüküne sahiptir.



Şekil 4.6. 15 mm hücre yüksekliği için 15° açı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı

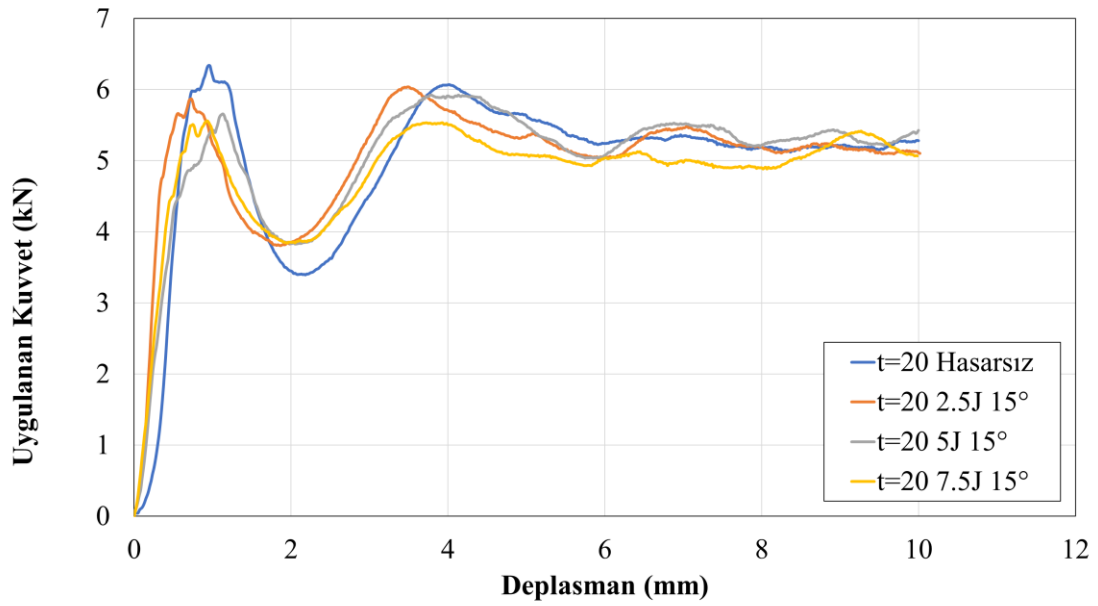
30° darbe açısı ile 2.5 J, 5 J ve 7.5 J darbe enerjileri ile ön hasar verilen numunelerin basma hasar yükleri sırasıyla 6398 N, 6273 N ve 6082 N olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. 15 mm hücre yüksekliği için 30° açı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı

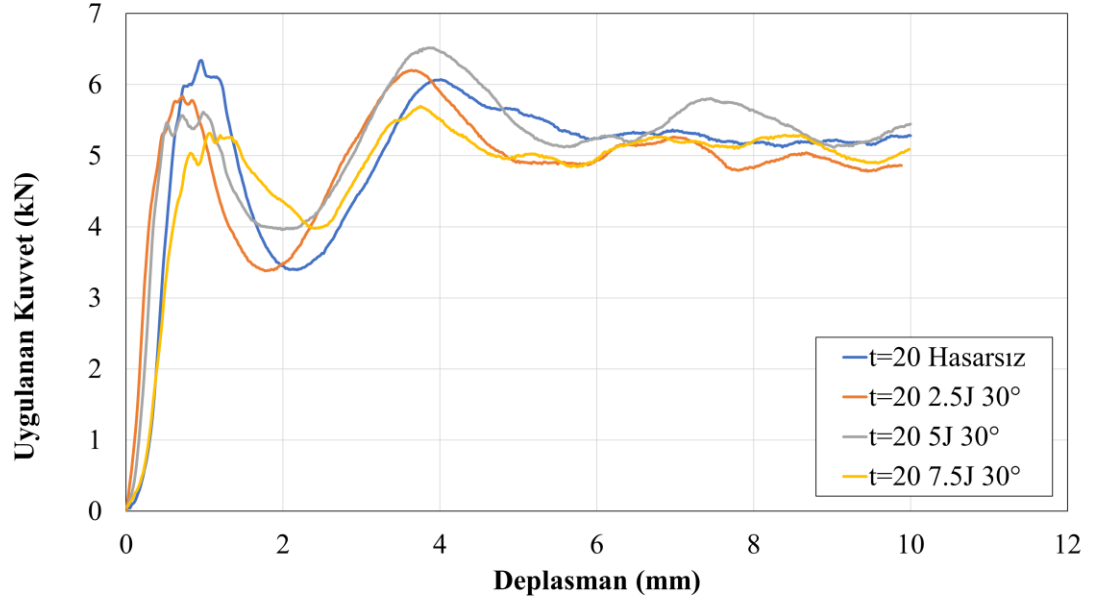
4.2.3. 20 mm Hücre Yüksekliğine Sahip Numunelerin Basma Test Sonuçları

20 mm hücre yüksekliğine sahip numunelerin 15° darbe açısı ile düşük hızlı darbe testine tabi tutulduktan sonra uygulanan basma yüklemesi davranışı Şekil 4.8’ de verilmiştir. Darbe ön hasarı verilmemiş numunenin basma hasar yükü 6340 N değerini almıştır. Darbe ön hasarı 2.5 J enerji değeri ile oluşturulan numunenin hasar yükü 5863 N, 5 J enerji değeri ile oluşturulan numunenin hasar yükü 5656 N ve 7.5 J enerji değeri ile oluşturulan numunenin hasar yükü 5562 N olmuştur.



Şekil 4.8. 20 mm hücre yüksekliği için 15° açı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı

30° açı ile darbe testine maruz bırakılan numunelerin basma davranışları Şekil 4.9’ da verilmiştir. Darbe ön hasarı 2.5 J enerji değeri ile verilen numunenin hasar yükü 5839 N değerini alırken 5 J ve 7.5 J enerji değerleri ile ön hasar verilen numunelerin basma hasar yükleri sırasıyla 5613 N ve 5316 N değerlerini almıştır.



Şekil 4.9. 20 mm hücre yüksekliği için 30° açı ile ön hasar verilen numunelerin basma davranışı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada 0° , 15° ve 30° darbe açılarındaki 2.5 J, 5 J ve 7.5 J enerji değerlerinde düşük hızlı darbe testine tabi tutulan bal peteği sandviç kompozitlerin darbe davranışları ve darbe ön hasarı sonrası basma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen test verileri ışığında ulaşılan sonuçlar ve gelecek çalışmalara ışık tutmak için öneriler maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

5.1. Sonuçlar

- Düşük hızlı darbe testi enerjisi arttıkça absorbe edilen enerji miktarı artış göstermiştir.
- 0° ve 15° darbe açıları ile darbe testi uygulanan numunelerde hücre yüksekliği arttıkça temas kuvveti değeri artmıştır.
- 30° darbe açısı ile düşük hızlı darbe testine tabi tutulan numunelerde hücre yüksekliği arttıkça temas kuvvet değeri düşüş göstermiştir.
- 2.5 J enerji değeri ile 0° darbe açısında yapılan darbe testi neticesinde 10 mm hücre yüksekliğine sahip numunenin üst yüzey malzemesi delinmiş diğer hücre yüksekliği değerlerinde delinme gözlenmemiştir.
- 15° ve 30° darbe açısı değerleri için 5 J ve 7.5 J darbe enerjilerinde bütün numunelerin üst yüzeyleri delinmiştir.
- 7.5 J darbe enerjisi ve 0° darbe açısı ile test edilen numunelerden 10 mm ve 15 mm hücre yüksekliğine sahip olan numunelerin alt ve üst yüzey malzemesi delinmiş, 20 mm hücre yüksekliğine sahip numunenin ise sadece üst yüzey malzemesi delinmiştir.
- Darbe ön hasarı sonrası basma test sonuçları incelendiğinde darbe enerjisinin artmasının basma hasar yükünü düşürdüğü tespit edilmiştir.
- Bütün hücre yüksekliği ve darbe enerjisi değerleri için darbe açısının artması basma hasar yükünü arttırmıştır.

5.2. Öneriler

- Bal peteği sandviç kompozitlerin önemli testlerinden olan eğilme testleri ile değişen darbe açısının eğilme mukavemetine etkisinin incelenmesinin literatür açısından önemli bir veri olacağı değerlendirilmektedir.
- Kullanılan düşük hızlı darbe test cihazının neden olduğu sınırlamalar yüzünden darbe testi için 0°, 15° ve 30° kullanılmıştır. Daha yüksek darbe açılarının incelenmesi araştırmacılar için önemli veriler sunacaktır.

KAYNAKLAR

- Akkuş, H., 2016, Bal peteği yapıların mekanik davranışlarının nano parçacık takviyeli yapıştırıcı kullanılarak deneysel ve teorik olarak araştırılması, Doktora Tezi *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 127 sayfa.
- Akkus, H., Duzcukoglu, H. and Sahin, O. S., 2017, Experimental research and use of finite elements method on mechanical behaviors of honeycomb structures assembled with epoxy-based adhesives reinforced with nanoparticles, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(1), 165-170.
- Balcı, O., Çoban, O., Bora, M. Ö., Akagündüz, E. and Yalçın, E. B., 2017, Experimental investigation of single and repeated impacts for repaired honeycomb sandwich structures, *Materials Science and Engineering: A*, 682, 23-30.
- Barbero, E. J., 2017, Introduction to composite materials design, CRC press.
- Bentouhami A., Keskes, B., 2015, Experimental analysis and modeling of the buckling of a loaded honeycomb sandwich composite, *Materials and Technology*, 49 (2), 235-242.
- Bitzer T., 1997, Honeycomb Technology: Materials, Design, Manufacturing, Applications And Testing, Chapman & Hall, London.
- Brigante, D., 2014, New composite materials, Springer International Publishing.
- Campbell, F. C., 2010, Structural composite materials, ASM international.
- Castanié, B., Aminanda, Y., Bouvet, C. and Barrau, J. J., 2008, Core crush criterion to determine the strength of sandwich composite structures subjected to compression after impact, *Composite Structures*, 86(1-3), 243-250.
- Cerit, M., 2000, Basma Deney Föyü, *Makine Laboratuvarı*, 1-6.
- Chawla, K. K., 2019, Ceramic matrix composites, In *Composite Materials* (pp. 251-296). Springer, Cham.
- Chen, Y., Hou, S., Fu, K., Han, X. and Ye, L., 2017, Low-velocity impact response of composite sandwich structures: modelling and experiment, *Composite Structures*, 168, 322-334.
- Chen, Y., Fu, K., Hou, S., Han, X. and Ye, L., 2018, Multi-objective optimization for designing a composite sandwich structure under normal and 45° impact loadings, *Composites Part B: Engineering*, 142, 159-170.
- Davies, G. A. O., Hitchings, D., Besant, T., Clarke, A. and Morgan, C., 2004, Compression after impact strength of composite sandwich panels, *Composite Structures*, 63(1), 1-9.

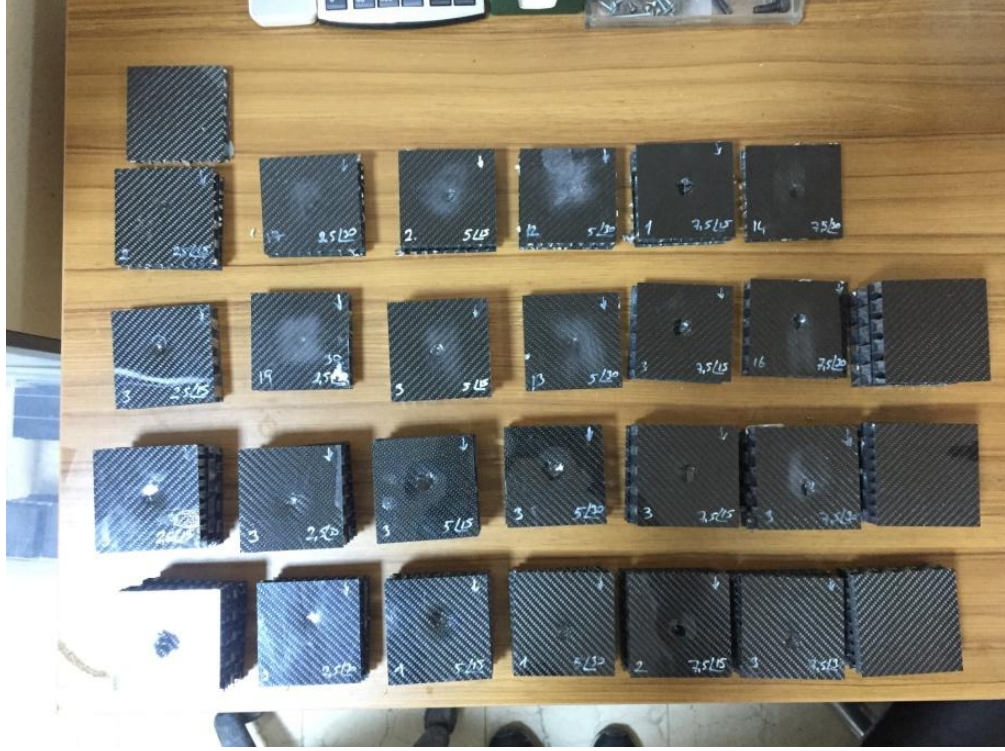
- Ercan, H., 2007, Uçak sanayinde kullanılan balpeteği kompozitlerin mekanik davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 198 sayfa.
- Evcı, C., 2009, Seramik Kompozit Zırh Sistemlerinin Darbe ve Balistik Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 302 sayfa.
- Fadzullah, S. S. M. and Cantwell, W. J., 2012 June, The effect of angle of incidence on the impact response of composites and sandwich structures, In *15th European conference on composite materials, Venice, Italy* (pp. 1-8).
- Fischer, C., Hähnel, F., Hauffe, A. and Wolf, K., 2017, Strategies to investigate the residual strength of impact damaged honeycomb sandwich structures using detailed numerical models, In *Conference paper, 21st International Conference on Composite Materials*.
- Gilioli, A., Sbarufatti, C., Manes, A. and Giglio, M., 2014, Compression after impact test (CAI) on NOMEX™ honeycomb sandwich panels with thin aluminum skins, *Composites Part B: Engineering*, 67, 313-325.
- Hexcel Corporation, 2000: “Mechanical Properties of Hexcel Honeycomb Materials”, Tech. Report. No. TSB 120, TSB 122, USA.
- Ivárez, I., Moure, M. M., Garcia-Castillo, S. K. and Sanchez-Saez, S., 2015, The oblique impact response of composite sandwich plates, *Composite structures*, 133, 1127-1136.
- İçten, Bülent Murat, Gören Kırıl, 2010, Tabakalı Kompozitlerde Darbe Parametrelerinin Darbe Sonrası Bası Mukavemetine Etkilerinin İncelenmesi, TÜBİTAK, Proje No:107M591, 98 sayfa.
- İnternet, Anonim, https://www.3m.com.tr/3M/tr_TR/turkiye-tr/tum-urunler/~3M-Scotch-Weld-EpoksiYapıştırıcı-DP460-Kirli-Beyaz-400-mL-kutu-başına-6-adet/?N=5002385+3292998259&rt=rud [Ziyaret Tarihi: 24 Mayıs 2020].
- Kar, K. K., 2016, Composite materials: processing, applications, characterizations, Springer.
- Kuhn, H. and Medlin, D., 2000, Asm handbook. volume 8: Mechanical testing and evaluation, *ASM International, Member/Customer Service Center, Materials Park, OH 44073-0002, USA, 2000*, 2235 sayfa.
- Lacy, T. E. and Hwang, Y., 2003, Numerical modeling of impact-damaged sandwich composites subjected to compression-after-impact loading, *Composite Structures*, 61(1-2), 115-128.
- Madjidi, S., Arnold, W. S. and Marshall, I. H., 1996, Damage tolerance of CSM laminates subject to low velocity oblique impacts, *Composite structures*, 34(1), 101-116.

- Mazumdar, S., 2002, Composites manufacturing: materials, product, and process engineering, CRC press.
- Meo, M., Vignjevic, R. and Marengo, G., 2005, The response of honeycomb sandwich panels under low-velocity impact loading, *International journal of mechanical sciences*, 47(9), 1301-1325.
- Navarro, P., Aubry, J., Marguet, S., Ferrero, J. F., Lemaire, S. and Rauch, P., 2012, Semi-continuous approach for the modeling of thin woven composite panels applied to oblique impacts on helicopter blades, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(6), 871-879.
- Nia, A. A. and Sadeghi, M. Z., 2010, The effects of foam filling on compressive response of hexagonal cell aluminum honeycombs under axial loading-experimental study, *Materials & Design*, 31(3), 1216-1230.
- Park, S. J., 2018, Carbon/carbon composites. In Carbon Fibers (pp. 279-294), Springer, Singapore.
- Rawat, P., Singh, N. K., Singh, K. K. and Agrhari, N., 2019, Influence of Oblique Impact on Glass Fiber-Reinforced Polymer Composites: A Numerical Approach, In *Trends in Materials Engineering* (pp. 77-86), Springer, Singapore.
- Sawal, N., Nazri, A. B. M. and Akil, H. M., 2013, Effect of Cell Size Material on the Mechanical Properties of Honeycomb Core Structure, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(2), 80-84.
- Shin, K. B., Lee, J. Y. and Cho, S. H., 2008, An experimental study of low-velocity impact responses of sandwich panels for Korean low floor bus, *Composite Structures*, 84(3), 228-240.
- Soy U., 2005, Bilgisayar Destekli Modelleme Yardımıyla AL 2024 – T3 Alaşım Plakların Kompozit Yama ile Yapıştırılmalı Tamiri, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Sun, Z., Shi, S., Guo, X., Hu, X. and Chen, H., 2016, On compressive properties of composite sandwich structures with grid reinforced honeycomb core, *Composites Part B: Engineering*, 94, 245-252.
- Sun, G., Li, S., Liu, Q., Li, G. and Li, Q., 2016, Experimental study on crashworthiness of empty/aluminum foam/honeycomb-filled CFRP tubes, *Composite Structures*, 152, 969-993.
- Uğur, L., Duzcukoglu, H., Sahin, O. S. and Akkuş, H., 2020, Investigation of impact force on aluminium honeycomb structures by finite element analysis, *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 22(1), 87-103.
- Tan, C. Y. and Akil, H. M., 2012, Impact response of fiber metal laminate sandwich composite structure with polypropylene honeycomb core, *Composites Part B: Engineering*, 43(3), 1433-1438.

- TOPKAYA, T., 2017, Bal peteği sandviç kompozitlerin darbe ön hasarı sonrası yorulma davranışlarının araştırılması, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 153 sayfa.
- Topkaya, T. and Solmaz, M. Y., 2018, Investigation of low velocity impact behaviors of honeycomb sandwich composites, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 32(7), 3161-3167.
- Yağbasan, M., 2019, Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Plakaların Çarpma Açısına Bağlı Olarak Düşük Hızlı Darbe Davranışının ve Darbe Sonrası Basma Mukavemetinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Milli Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 159 sayfa.
- Yogeswaran, R. and Pitchipoo, P., 2020, Characterization and machining analysis of AA3003 honeycomb sandwich, *Materials Today: Proceedings*.
- Zhang, X., Zhang, H. and Wen, Z., 2014, Experimental and numerical studies on the crush resistance of aluminum honeycombs with various cell configurations, *International Journal of Impact Engineering*, 66, 48-59.
- Zhang, Y., Zong, Z., Liu, Q., Ma, J., Wu, Y. and Li, Q., 2017, Static and dynamic crushing responses of CFRP sandwich panels filled with different reinforced materials, *Materials & Design*, 117, 396-408.
- Zhao, W., Xie, Z., Li, X., Yue, X. and Sun, J., 2018, Compression after impact behavior of titanium honeycomb sandwich structures, *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 20(5), 639-657.
- Zhou, G. and Hill, M. D., 2009, Impact damage and energy-absorbing characteristics and residual in-plane compressive strength of honeycomb sandwich panels, *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 11(4), 329-356.
- Xiao, Y., Hu, Y., Zhang, J., Song, C., Huang, X., Yu, J. and Liu, Z., 2018, The bending responses of sandwich panels with aluminium honeycomb core and CFRP skins used in electric vehicle body, *Advances in Materials Science and Engineering*.
- Wu, Y., Liu, Q., Fu, J., Li, Q. and Hui, D., 2017, Dynamic crash responses of bio-inspired aluminum honeycomb sandwich structures with CFRP panels. *Composites Part B: Engineering*, 121, 122-133.

EKLER

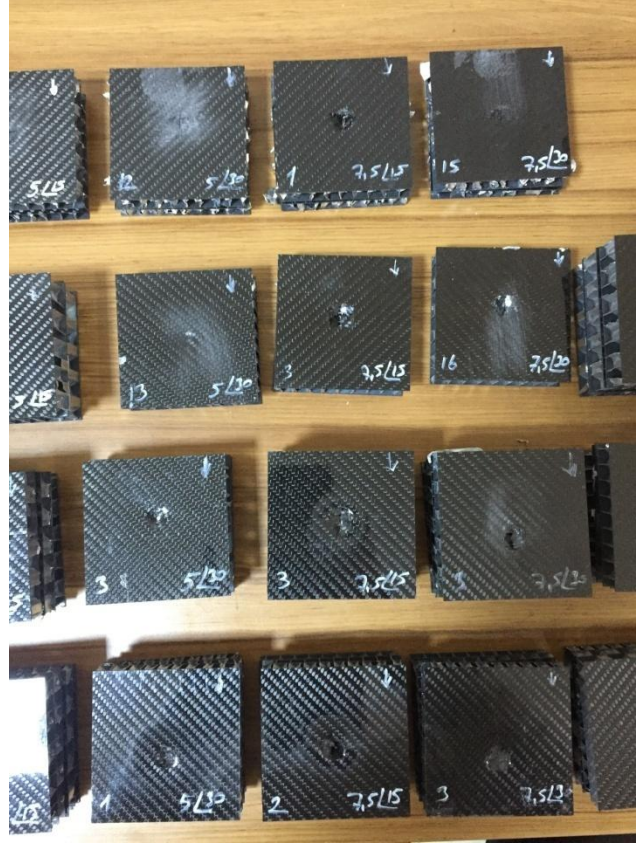
EK-1 Karbon Fiber Takviyeli Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Darbe ve Basma Testi Sonrası Hasarlı ve Hasarsız Deney Fotoğrafları



Şekil 1. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunelerin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı ve hasarsız görüntüleri



Şekil 2. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunelerin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı ve hasarsız görüntüleri



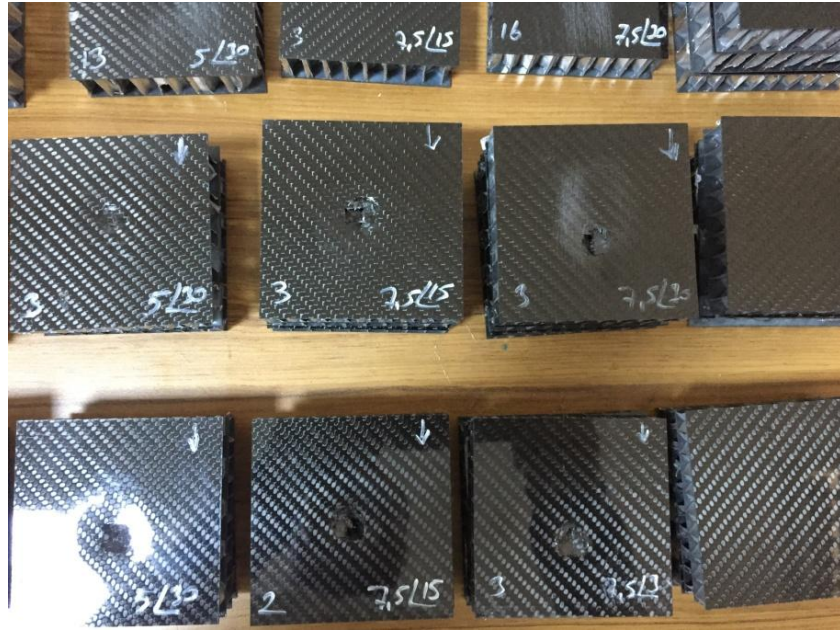
Şekil 3. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunelerin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı ve hasarsız görüntüleri



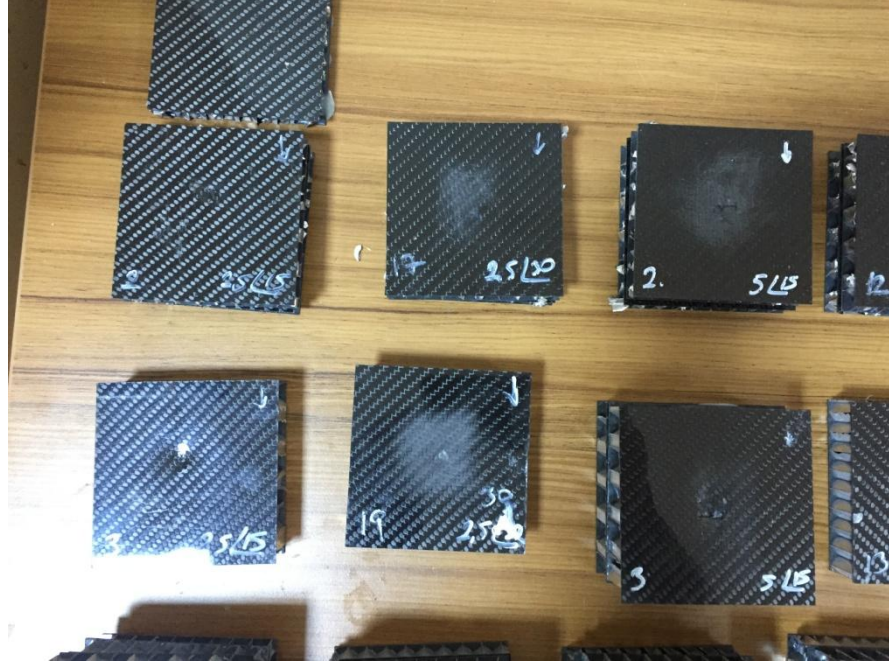
Şekil 4. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunelerin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı ve hasarsız görüntüleri



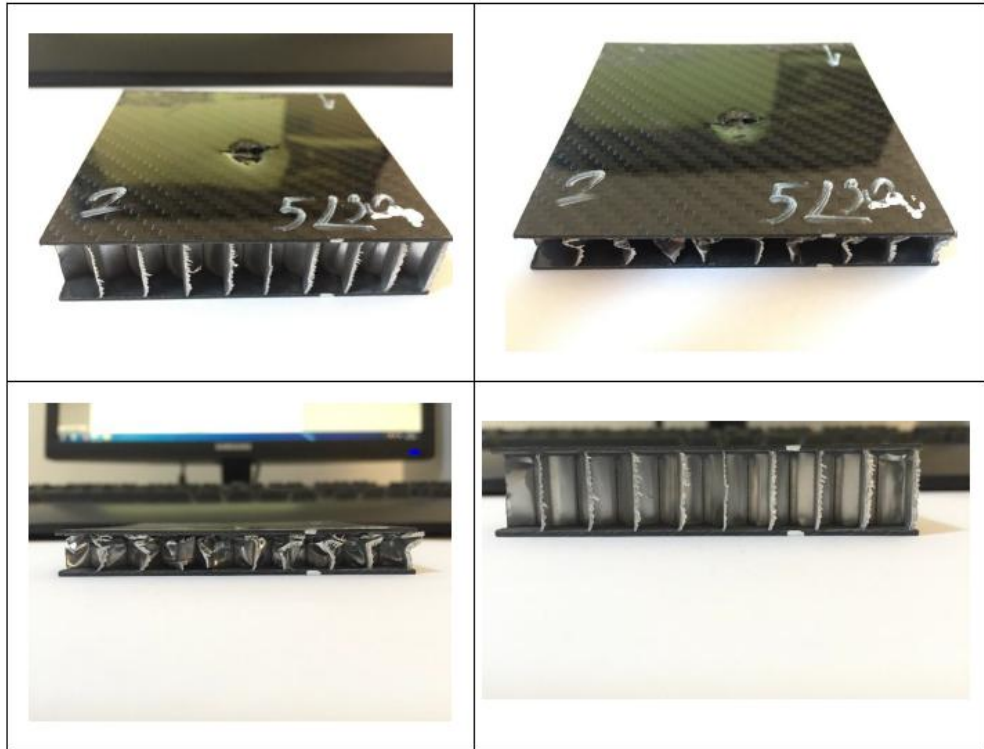
Şekil 5. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunelerin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı ve hasarsız görüntüleri



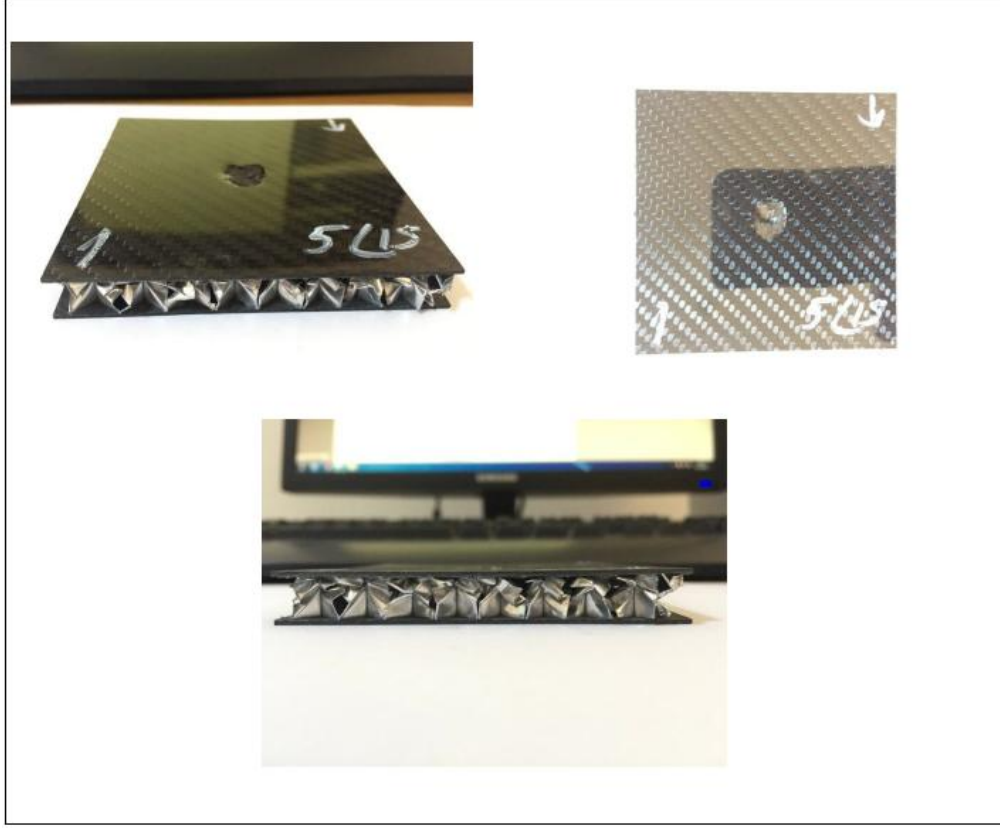
Şekil 6. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunelerin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı ve hasarsız görüntüleri



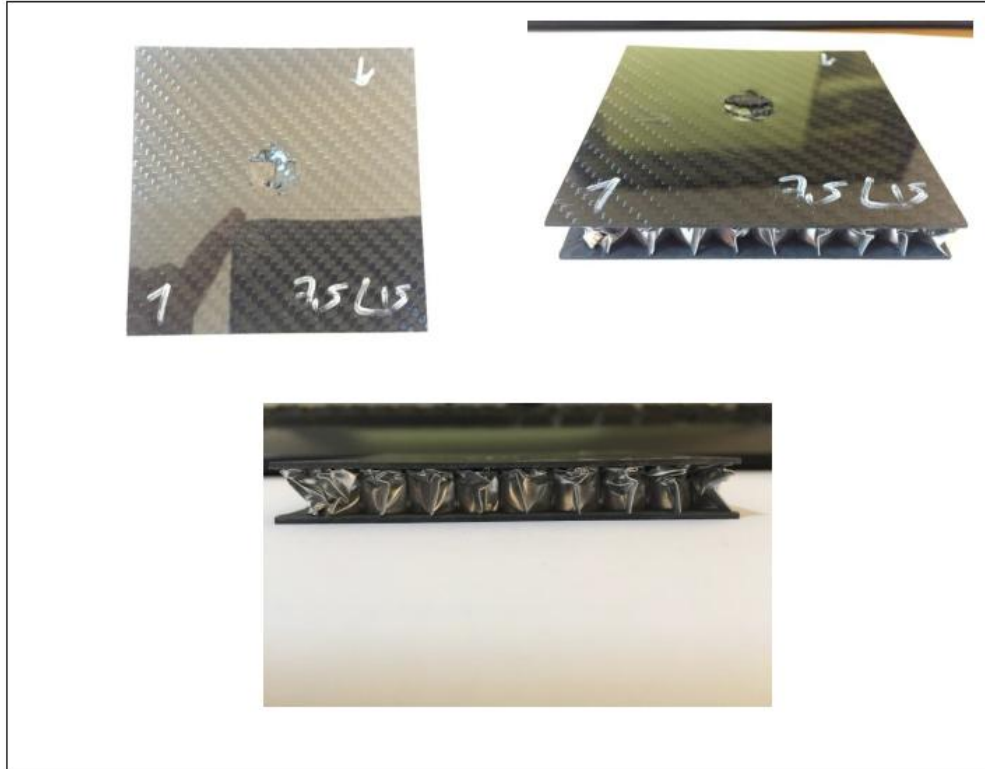
Şekil 7. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunelerin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı ve hasarsız görüntüleri



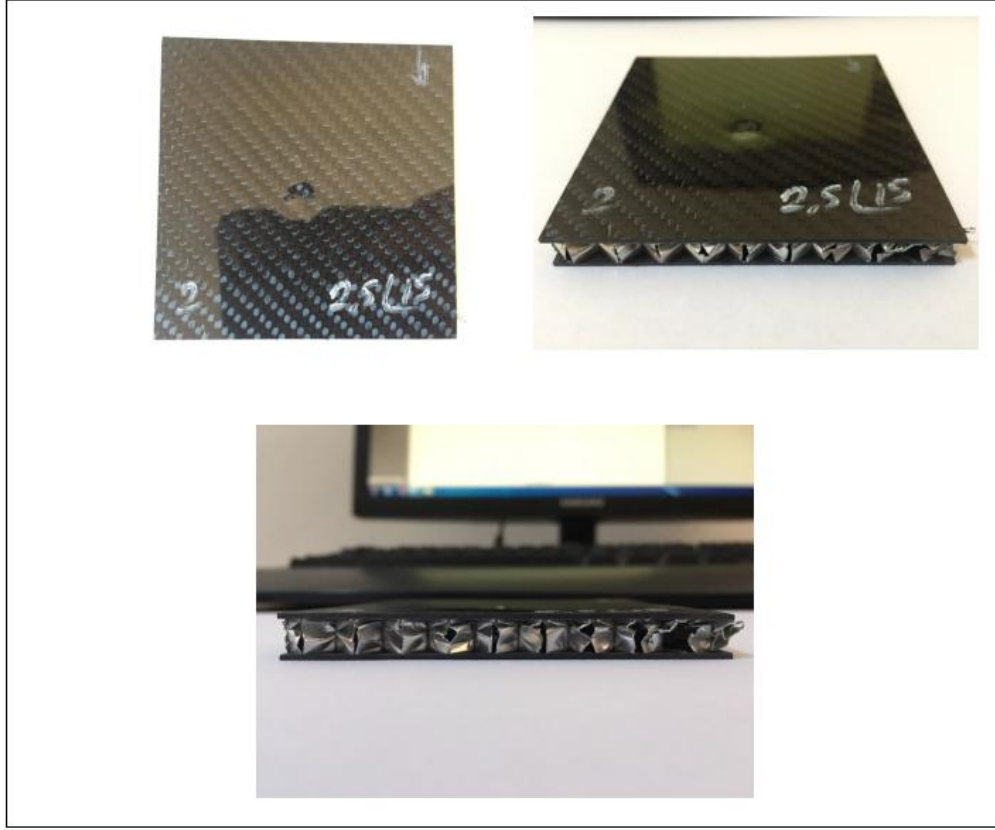
Şekil 8. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunenin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı görüntüleri



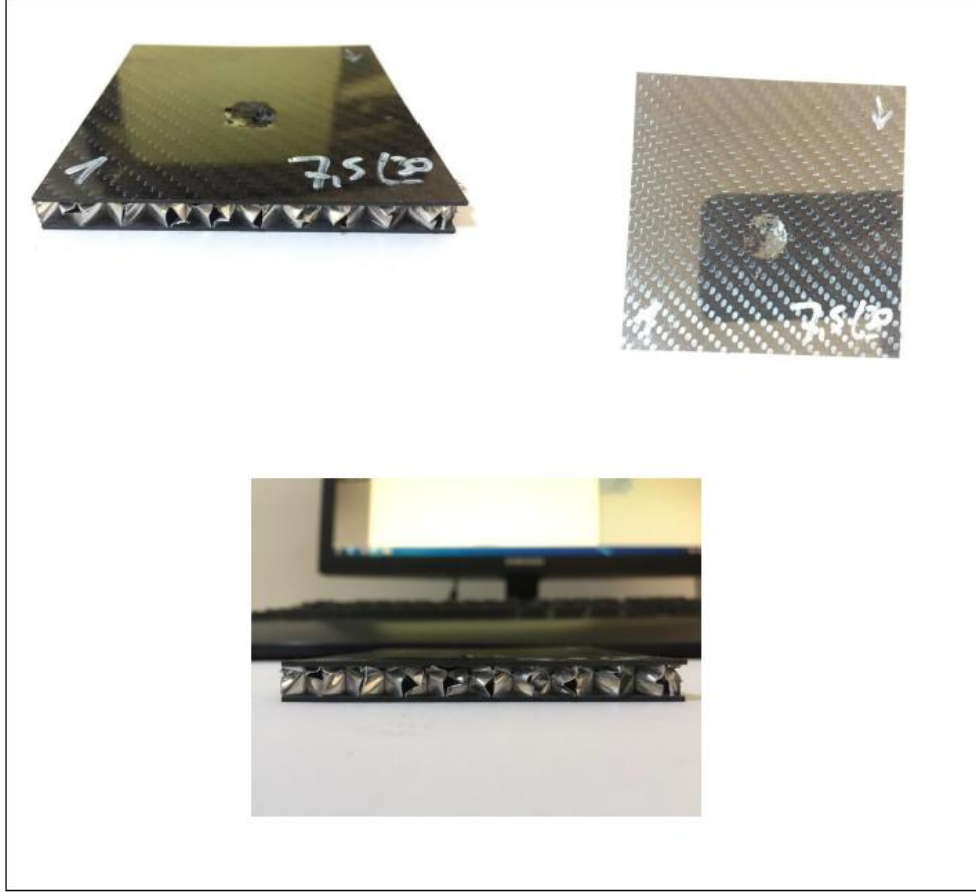
Şekil 9. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunenin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı görüntüleri



Şekil 10. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunenin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı görüntüleri



Şekil 11. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunenin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı görüntüleri



Şekil 12. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunenin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı görüntüleri



Şekil 13. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunelerin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı ve hasarsız görüntüleri



Şekil 14. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunelerin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı ve hasarsız görüntüleri



Şekil 15. Karbon fiber takviyeli bal peteği sandviç kompozit numunelerin Darbe ve Basma testi sonrası hasarlı ve hasarsız görüntüleri

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İbrahim Halil TAŞKESEN
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Kurtalan-01.01.1993
Telefon : 05342273537
Faks : -
e-mail : taskesenmakina@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Bismil Anadolu Lisesi, Bismil, Diyarbakır	2011
Üniversite	: Bitlis Eren Üniversitesi, Merkez, Bitlis	2016
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016-2020	Tekbir Madencilik İnşaat Gıda Nakliye Petrol Tarım Elektrik Ltd. Şti.	İnşaat-Şantiye Şefi
2018-2019	Yükseliş Mühendislik ve Doğalgaz	Makina Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Mekanik

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR