

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SANDVIÇ YAPIDA ÜRETİLMİŞ ALÜMİNYUM BORU ESASLI
BAL PETEĞİ YAPILARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE
DAVRANIŞLARI**

**Hazırlayan
Halil Turan YILDIRIM**

**Danışman
Doç. Dr. Recep EKİCİ**

Yüksek Lisans Tezi

**Ocak 2017
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SANDVIÇ YAPIDA ÜRETİLMİŞ ALÜMİNYUM BORU
ESASLI BAL PETEĞİ YAPILARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE
DAVRANIŞLARI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Halil Turan YILDIRIM**

**Danışman
Doç. Dr. Recep EKİCİ**

**Ocak 2017
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Halil Turan YILDIRIM

İmza:

Not: “Sandviç yapıda üretilmiş alüminyum boru esaslı bal peteği yapıların düşük hızlı darbe davranışları” başlıklı teze 06.09.2016 tarihinde KHK/672 numaralı olağanüstü hal gereği Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanlığı tarafından danışman değişikliği yapılmış olup, KHK/672 numaralı olağanüstü hal gereği tamamlanmıştır. Bu tez çalışmasına bilimsel olarak her hangi bir katkı olmadığını belirtirim.

Doç. Dr. Recep EKİCİ

YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Sandviç yapıda üretilmiş alüminyum boru esaslı bal peteği yapıların düşük hızlı darbe davranışları” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Halil Turan YILDRIM

Danışman

Doç. Dr. Recep EKİCİ

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Doç. Dr. Recep EKİCİ danışmanlığında **Halil Turan YILDIRIM** tarafından hazırlanan “**Sandviç yapıda üretilmiş alüminyum boru esash bal peteği yapıların düşük hızlı darbe davranışları**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

10/02/2017

JÜRİ:

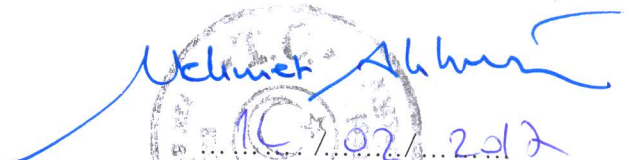
Danışman : Doç. Dr. Recep EKİCİ

Üye : Doç. Dr. Zakir TAŞ

Üye : Doç. Dr. Eyyüp GERÇEKÇİOĞLU

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 14/02/2017 tarih ve 2017/05-03 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

“Sandviç yapıda üretilmiş alüminyum boru esaslı bal peteği yapıların düşük hızlı darbe davranışları ” başlıklı tez çalışmam boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve tezin her aşamasının şekillenmesinde katkı sahibi olan sayın hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince desteğini esirgemeyen işverenim Belediye Başkanı Ali ŞAHİN’ e, sonsuz şükranlarımı, çalışmalarım boyunca ilgi, sabır ve dualarını eksik etmeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

SANDVIÇ YAPIDA ÜRETİLMİŞ ALÜMİNYUM BORU ESASLI BAL PETEĞİ YAPILARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARI

Halil Turan YILDIRIM

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2017

Danışman: Doç. Dr. Recep EKİCİ

ÖZET

Bu çalışmada, sandviç yapıda üretilen alüminyum boru esaslı bal peteği yapıların düşük hızlı darbe davranışları incelenmiştir. Sandviç yapının çekirdek malzemesi için 1 mm et kalınlığında, silindirik Ø6, Ø8, Ø10 mm çaplardan oluşan alüminyum borular kullanılmıştır. İlk olarak, alüminyum borular 200 mm uzunluğunda kesilmiştir ve boruların kesilen yüzeyleri temizlenmiştir. Daha sonra, borular bir kalıp içerisinde üst üste gelecek şekilde Araldite 2015 yapıştırıcı ile birleştirilmiştir. Son olarak, kalıptan çıkarılan silindirik şekilli bal peteği çekirdek malzemesi, 10 mm ve 20 mm kalınlıklarında kesilmiştir. Vakum infüzyon yöntemi ile 2 mm kalınlığında üretilen Cam fiber kompozit plakalar deney numunesi ebatlarında kesilerek Araldite 2015 yapıştırıcı kullanılarak çekirdek malzeme ile birleştirilmiştir.

Üretilen alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozitler ağırlık düşürme test cihazında düşük hızlı darbe testine tabi tutulmuştur. Ø6, Ø8, Ø10 mm çaplara sahip deney numunelerine vurucu uç kütlelerine ilave (Vurucu uç kütlesi = 5.045 kg) 10 kg yük eklenerek 50, 100 ve 150 J enerji seviyelerinde düşük hızlı darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları temas kuvveti-zaman, temas kuvveti-deplasman, kinetik enerji-zaman grafiklerinde boru çapı, darbe enerjisi ve kalınlık değişimlerine göre kıyaslanmıştır. Malzeme hasarları karşılaştırılmıştır. Yüksek enerji seviyelerinde malzeme hasarı artmaktadır. Numuneler düşük enerji seviyelerinde rijitliğini korumaktadır. Küçük çaplı deney numuneleri, büyük çaplı numunelere göre daha rijit davranmaktadır. Kalınlığın artması plastik deformasyona maruziyeti azaltmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit sandviç yapı, düşük hızlı darbe, yapıştırıcı, bal peteği, alüminyum boru

LOW-SPEED IMPACT BEHAVIORS OF SANDWICH COMPOSITE STRUCTURES PRODUCED WITH ALUMINUM PIPE HONEYCOMB CORE

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis January 2017

Supervisor: Assoc. Prof. Recep EKİCİ

ABSTRACT

In this study, low-speed impact behaviors of sandwich composite structures produced with aluminum pipe Honeycomb core were investigated. Cylindrical aluminum pipes in 1 mm thickness and in diameters of Ø6, Ø8, Ø10 mm were used to form the honeycomb core material for sandwich structures. Firstly, aluminum pipes were cut in the length of 200 mm and the surface of cut pipes were cleaned. Then, they were combined with Araldite 2015 adhesive by overlapping in a mold. Finally, cylindrical shaped Honeycomb core material was removed from the mold and cut at a thickness of 10 mm and 20 mm. Glass fiber composite plates produced by the vacuum infusion method in a thickness of 2 mm were cut in the test sample sizes and combined with the core materials using Araldite 2015 adhesive.

Sandwich composite structures produced with aluminum pipe honeycomb core were subjected to low-speed impact tests in a drop-weight test apparatus. Low-speed impact tests were carried out on specimens in diameters of Ø6, Ø8, Ø10 mm in energy levels of 50, 100 ve 150 J by adding 10 kg load to the impactor end mass (Impactor end mass = 5.045 kg). Experimental results were compared with the contact force-time, the contact force-displacement, kinetic energy-time graphs according to pipe diameter, impact energy and thickness variations. Also, damages in structures were compared. Damage increases at high energy levels and the samples behave more rigid at low energy levels. Test specimens at smaller diameter are more rigid than specimens at larger diameter specimens. The increase in thickness reduces the exposure to plastic deformation.

Keywords: Composite sandwich structure, low-speed impact, adhesive, honeycomb, aluminum pipe.

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1. Sandviç Kompozitler.....	3
1.1. Sandviç Kompozitlerin Özellikleri	4
1.2. Sandviç Kompozitin Bileşenleri	5
1.2.1. YüzeY Levhaları	5
1.2.1.1. Cam Elyaf lar	6
1.2.1.2. Aramid Elyaf lar	8
1.2.1.3. Karbon Elyaf lar	8
1.2.1.4. Boron Elyaf lar	9
1.2.1.5. Metal Malzemeler.....	9
1.2.2. Yapıştırıcılar	9
1.2.2.1. Kimyasal Reaksiyon ile Sertleşen Yapıştırıcılar	10
1.2.2.1.1. Anerobikler	10
1.2.2.1.2. Siyanoakrilatlar	10
1.2.2.1.3. Akrilikler.....	11
1.2.2.1.4. Silikonlar	11

1.2.2.1.5. Poliüretanlar	12
1.2.2.1.6. Epoksiler	12
1.2.2.1.7. Fenolikler	12
1.2.2.2. Fiziksel Değişim ile Sertleşen Yapıştırıcılar	12
1.2.2.2.1. Sıcak Eriyikler	13
1.2.2.2.2. Kauçuk Yapıştırıcılar	13
1.2.2.2.3. PVA'lar (PolyvinylAcetates)	13
1.2.2.3. Basınç Gerektirmeyen Yapıştırıcılar	13
1.2.2.4. Formları Açısından Yapıştırıcılar	13
1.2.2.4.1. Reçineler	13
1.2.2.4.2. Köpükler	14
1.2.3. Çekirdek	14
1.2.3.1. Ahşap	15
1.2.3.2. Köpükler	15
1.2.3.3. Bal peteği	16
1.2.3.3.1. Nomex Bal Peteği	16
1.2.3.3.2. Alüminyum Bal Peteği	16
1.2.3.3.3. Termoplastik Bal peteği	17
1.3. Sandviç kompozit Yapıların Temel Üretim Metotları	17
1.3.1. Sıcak Pres	18
1.3.2. Vakum Metodu	18
1.3.3. Kalıp Metodu ile Şekil Verme	19
1.4. Çekirdek Petek Yapı Üretimi	20
1.4.1. Uzatarak şekil verme yöntemi	20
1.4.2. Kıvrırma yöntemi ile şekil verme	20
1.5. Sandviç Kompozit Yapı Dizaynında Uygun Malzeme Seçimi	21
1.5.1. Yapısal Etmenler	21
1.5.1.1. Dayanım	21
1.5.1.2. Rijitlik	21
1.5.1.3. Yapıştırma Bağlantısı Performansı	21
1.5.2. Ekonomik Etmenler	22
1.5.3. Çevresel Etmenler	22
1.5.3.1. Sıcaklık	22

1.5.3.2 Yancılık özellikleri	22
1.5.3.3. Yapıştırma solüsyonları ve buharlaşma	22
1.6. Bal peteği Sandviç Kompozitlerde Deformasyon.....	23
1.6.1. Dayanım	23
1.6.2. Rijitlik	23
1.6.3. Panel Bükülmesi	23
1.6.4. Kayma Dalgalanması	24
1.6.5. Yüzey Buruşması.....	24
1.6.5. Hücreler arası kıvrılma	25
1.6.6. Lokal Basınç	24
1.7. Sandviç Kompozitlerin Avantaj ve Dezavantajları	25
1.7.1. Avantajları.....	25
1.7.2. Dezavantajları	26
1.8. Sandviç Kompozitlerin Kullanım Alanları.....	27

2. BÖLÜM

YAPIŞMA

2.1.Adhezyon.....	30
2.1.1. Mekanik teori	31
2.1.2. Difüzyon Teorisi	31
2.1.3. Adsorpsiyon Teorisi	31
2.1.4. Elektrostatik Teori.....	32
2.1.5. Kimyasal Teori	32
2.2. Kohezyon.....	32
2.2.1. Van der Waals Bağı	32
2.2.2. Kovalent Bağ	32
2.3. Yapıştırıcı Çeşitleri	33
2.4. Yapıştırıcı ile birleştirme biçimleri.....	33
2.5. Yapıştırıcı kullanılacak yüzeylerin hazırlanması.....	34
2.6. Yüzey hazırlama metotları	34
2.7. Literatür araştırmaları.....	34

3. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal ve Yöntem.....	42
3.2. Kullanılan Malzemeler	42
3.3. Çalışmanın Üretim Aşamaları	43
3.4. Alüminyum boru esaslı bal peteği yapının oluşturulması.....	44
3.5. Yapıştırıcı ve Özellikleri.....	47
3.6. Cam fiber Kompozit Plakanın Üretilmesi	48
3.7. Çekirdek Yapı ve Cam Fiber Plakaların Birleştirilmesi.....	52
3.8. Deneylerin Yapılması.....	53

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Çap Değişiminin Darbe Dayanımına Etkisi.....	57
4.2. Enerji Değişiminin Darbe Dayanımına Etkisi.....	60
4.3. Sandviç Yapı Kalınlığının Darbe Dayanımına Etkisi.....	63

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar	67
5.2. Öneriler	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ.....	74

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Belli başlı elyafların karşılaştırılması	6
Tablo 1.2. Cam elyaflarının özelliklerine göre karşılaştırılması.....	7
Tablo 1.3. Bal peteği sandviç yapının avantajları	17
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan boru malzemesi alüminyumun genel özellikleri	44
Tablo 3.2. Ceast marka Fractovis Plus Darbe cihazı özellikleri	54

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sandviç kompozit yapı elemanları.....	3
Şekil 1.2. Sandviç kompozit malzemenin eksenler üzerinde gösterimi.....	5
Şekil 1.3. Çekirdek yapı tipleri	14
Şekil 1.4. Balsa Ağacının hücre yapısı.....	15
Şekil 1.5. Ahşap Malzeme	15
Şekil 1.6. Al köpük	16
Şekil 1.7. Köpük malzemesi resmi.....	16
Şekil 1.8. Malzemesine göre petek yapı tipleri.....	16
Şekil 1.9. Sıcak pres metodu ile sandviç kompozit üretimi ve sıcak pres yöntemi ile üretilmiş sandviç yapı	18
Şekil 1.10. Vakum yöntemi ile sandviç yapı üretimi ve vakum yöntemi ile üretilmiş sandviç yapı.....	19
Şekil 1.11. Kalıp metodu ile sandviç kompozit üretimi ve kalıp metodu ile üretilmiş sandviç yapı.....	19
Şekil 1.12. Uzatarak şekil verme yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi	20
Şekil 1.13. Kıvrırma Yöntemiyle Petek Hücre Üretimi	20
Şekil 1.14. Dayanç Hatası	23
Şekil 1.15. Bal peteği Kompozitlerin Rijitliği	23
Şekil 1.16. Bal peteği Kompozitin Bükülmesi.....	24
Şekil 1.17. Dalga Deformasyonu	24
Şekil 1.18. Yüzey Tabaka Deformasyonu.....	24
Şekil 1.19. Hücreler Arası Kıvrılma	25
Şekil 1.20. Bölgesel Basınç Deformasyonu.....	25
Şekil 2.1. Yüzey birleştirme yöntemleri gerilme dağılımları.....	30
Şekil 2.2. Yapıştırma ek yerindeki kuvvetler.....	31
Şekil 2.3. Bazı yaygın yapıştırma bağlantı tipleri	33
Şekil 3.1. 3-Boyutlu katı modelleme programında hazırlanan sandviç kompozitin yapım aşamaları	43
Şekil 3.2. 200 mm uzunluğunda kesilen silindirik Al boru.....	45

Şekil 3.3. Asetonla temizleme ve zımparalama	45
Şekil 3.4. Sandviç kompozit yapının oluşturulacağı kalıp	45
Şekil 3.5. Boruların kalıplara dizilimi ve yapıştırılması	46
Şekil 3.6. Kalıptan çıkan Al sandviç çekirdek yapı	46
Şekil 3.7. 200 mm kalınlığında üretilen sandviç kompozitin çekirdek yapısının 10 ve 20 mm kalınlığına getirilmesi	47
Şekil 3.8. Sandviç kompozit için 10 mm kalınlığında kesilen Ø6, Ø8, Ø10 mm çaplı Al çekirdek yapı	47
Şekil 3.9. Araldite 2015 yapıştırıcı ve tabancası	47
Şekil 3.10. Alüminyum masa	48
Şekil 3.11. Ayırıcı film	48
Şekil 3.12. Cam fiber kumaşın ayırıcı film üzerine serilmesi	49
Şekil 3.13. Soyma kumaşı ve infüzyon filesinin serilmesi	49
Şekil 3.14. Vakum ortamının oluşturulması	50
Şekil 3.15. Reçinenin karıştırılması	50
Şekil 3.16. Reçinenin vakum ortamında ilerlemesi	50
Şekil 3.17. 650×1300 mm boyutlarında üretilen Cam fiber plaka	51
Şekil 3.18. 65×65 mm boyutlarında cam fiber plaka	51
Şekil 3.19. Cam fiberlerin Al çekirdek yapı ile alt-üst plaka olarak birleştirilmesi	52
Şekil 3.20. Alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit deney numuneleri (üst görünüş)	52
Şekil 3.21. Alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit deney numuneleri (yan görünüş)	53
Şekil 3.22. Fractovis Plus darbe cihazı ve deney numunelerinin cihaza yerleştirilmesi	53
Şekil 3.23. Darbe cihazında alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit deney numunesi	54
Şekil 4.1. Ø6, Ø8, Ø10mm çaplarda 50J, 100J, 150J enerji değerlerinde numunelerin ikişerli darbe testlerinin karşılaştırılması	56
Şekil 4.2. 50J, 100J, 150J enerji değerlerinde Ø6, Ø8, Ø10mm çaplarda karşılaştırmalı temas kuvveti-zaman, temas kuvveti-deplasman grafikleri	58
Şekil 4.3. Ø6, Ø8, Ø10 mm çaplarda 50J, 100J, 150J enerji değerlerinde çalışılan numunelerin üzerinde oluşan vurucu izleri	59

Şekil 4.4. Ø6, Ø8, Ø10 mm çaplarda 50J, 100J, 150J enerji değerlerinde çalışılan numunelerin arka yüzleri.....	60
Şekil 4.5. Ø6, Ø8, Ø10mm çaplarda 50J, 100J, 150J enerji değerlerinde kinetik enerji-zaman grafikleri	61
Şekil 4.6. a) Ø6, b) Ø8, c) Ø10 mm çaplarda 50J, 100J, 150J enerji değerlerinde karşılaştırmalı temas kuvveti-zaman, temas-kuvveti-deplasman grafikleri.....	62
Şekil 4.7. 20 mm kalınlıkta Ø8 mm çaplı sandviç kompozitin temas kuvveti-zaman ve temas kuvveti- deplasman grafikleri	63
Şekil 4.8. 20 mm kalınlıkta Ø8 mm çaplı sandviçin üst plakada vurucu izleri ve alt plaka görünümleri.....	64
Şekil 4.9. Ø8 mm çaplı sandviç kompozitin 10 ve 20 mm kalınlıkta 50, 100, 150 J enerji değerlerinde temas kuvvet-zaman grafiği	65
Şekil 4.10. Ø8 mm çaplı sandviç kompozitin 10mm (alt sıra) ve 20mm (üst sıra) kalınlıkta üst plakada vurucu uç izleri	66
Şekil 4.11. Ø8 mm çaplı sandviç kompozitin 10mm(alt sıra) ve 20mm(üst sıra) kalınlıkta alt plaka görünümleri	66

GİRİŞ

Yeni teknoloji uygulamalarında giderek artan performans istekleri, yeni malzeme arayışlarını da beraberinde getirmiştir. Tek bir malzeme kullanarak yüksek ve tavizsiz performans sağlamak zor olduğunda, bir ya da daha fazla malzemeyi bir araya getirerek yeni malzemeler meydana getirme yoluna gidilmiştir. Tek bir klasik malzemenin veremeyeceği belli özellik kombinasyonlarını verebilen bu tür malzemelere kompozit malzeme denilmektedir.

Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla sayıda aynı ya da farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılır. Kompozit malzemelerin belli başlı avantajlarından bazıları: yüksek mukavemete karşılık hafiflik, korozif direnç, istenen yönde termal ve fiziksel özelliklerdir. Metallerde son yıllarda imalat işlemleri daha kontrollü ve basit yüksek kaliteli malzemeler “cam-metaller, Al-Li alaşımları, çift yüzü çelikler, mikro alaşımlı çelikler ve yeni süper alaşımlı çelikler geliştirilmeye başlanmıştır. Polimerler, yüzyıl başında naylonun gelişmesiyle ön plana çıkmıştır ki, bunların en önemlileri plastiklerdir. Son yıllarda ise Acrylics, epoxyler ve polyesterler sanayide çok büyük kullanım alanı bulmuşlardır.

Bu çalışmanın ana konusunu alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesini oluşturmaktadır. Bal peteği yapılar, özellikle çarpma sonucu ortaya çıkan enerjinin absorbe edildiği yüksek mekanik dayanım gerektiren konstrüksiyonlarda kullanılır. Oldukça hafif sistemler elde etmek için, sandviç yapıların iç ve dış tabakaları arasında bu bal peteği yapılar yerleştirilir. Tabakalar arasında bal peteği yapının yerleştirilmesi, yapının atalet momentinin ve eğilme dayanımının artmasını sağlar.

Çalışmada, öncelikle sandviç kompozitler hakkında genel bilgiler verilmiş sandviç kompoziti oluşturan yapısal elemanları olan çekirdekler, yapıştırıcılar ve yüzey malzemeleri ve bu malzemelerin uygulamaları hakkında bilgiler verilmiştir. Sandviç kompozitin yapı dizaynında malzeme seçimi ve sandviç kompozit üretim metotları anlatılmıştır. Sandviç kompozitlerin kullanıldığı alanlar gösterilerek avantajları ve dezavantajları sunulmuştur.

Bu çalışmada, sandviç kompozit üretiminde çekirdek malzemesi olarak 1 mm et kalınlığına sahip Ø6, Ø8, Ø10 mm silindirik alüminyum borular seçilmiş, yüzey malzemesi cam fiber kompozit plaka kullanılmıştır. Yapıştırıcı verimliliği yüksek bir malzeme olan epoxy türü Araldite 2015 yapıştırıcı hem alüminyum boruların yapıştırılmasında hem de plakaların yapıştırılmasında kullanılmıştır.

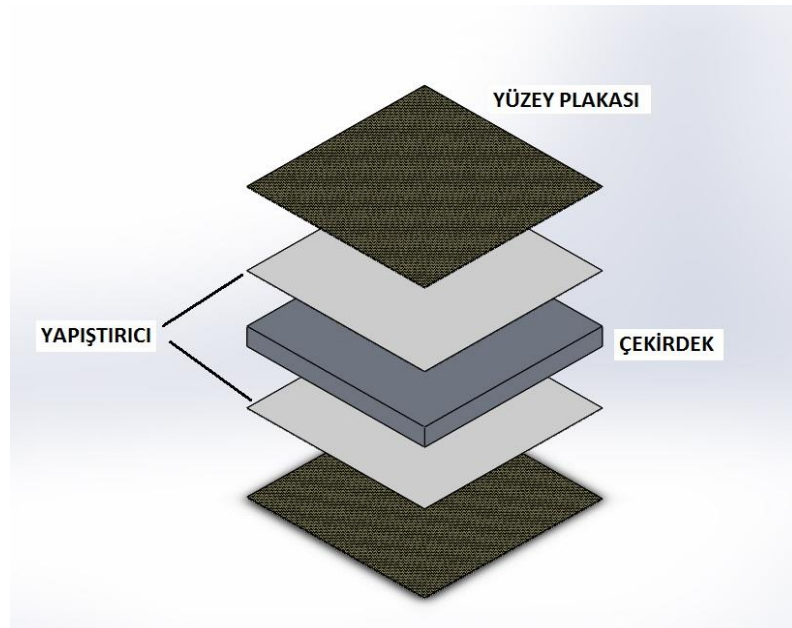
Daha sonraki bölümde ise üretilen alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit malzemelere uygulanan düşük hızlı darbe testlerinin sonuçları gösterilmiş ve hasar tespiti ve etkileri hakkında detaylar sunulmuştur.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.Sandviç Kompozitler

Sandviç yapılı kompozitler özellikle hafiflikleri ve yüksek eğilme dayanımları nedeniyle birçok uygulamada kullanılmaktadır. Sandviç kompozitler, çekirdek adı verilen, hafif ve kalın bir tabakanın her iki tarafına eklenmiş iki ince ama sağlam yüzey levhasından oluşurlar. Çekirdek, malzeme toplam yoğunluğu azaltırken, sert tabakalar da mukavemeti sağlarlar. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi sandviç malzemenin iç kısmında çekirdek ve bunun dışında üst yüzeyler bulunmaktadır. En dıştaki tabaklar ile çekirdek kısım arasında yapışma yüzeyi bulunmaktadır. Böylece her iki malzemenin zayıf özellikleri birbirleri tarafından örtülerek her iki malzemenin de yüksek özellikleri ortaya çıkmaktadır [1].



Şekil.1.1. Sandviç kompozit yapı elemanları.

Sandviç yapıyı oluşturan çekirdek, kayma gerilmelerine direnç gösterir ve ayrıca yüzeylere kesintisiz destek vererek rijit bir yapı oluşturur. Ayrıca dış yüzeyler arasındaki mesafeyi korur; çünkü bu mesafe sandviç malzemenin kesit alınına ait atalet momentinin ve de bükülme rijitliğinin yüksek olmasını sağlar.

Yüzey ve çekirdek arasındaki iç bağlar uygulanan kuvvetler arasında ara yüzün bozulmasını önler ve sandviç kompozitin esneklik özelliklerini güçlendirir. Yüzey ve çekirdek kalınlığı arasında herhangi bir genel kural yoktur. Tamamen uygulamaya ve gerekli özelliklere bağlıdır. Sandviç yapıli kompozitlerin en büyük avantajı gerekli bileşen malzemeleri ve bunların hacimsel fiber yoğunluğu seçerek özelliklerin ayarlanabilmesidir [2].

Sandviç yapıyı oluşturan yüzeyler, mukavemeti yüksek malzemelerden oluşur. Böylece belirli bir yüke maruz kalan yapıda meydana gelen gerilmelere karşı daha mukavemetli bir yapı elde edilir.

Sandviç yapıyı meydana getirmekte kullanılan yapıştırıcılar, çekirdek ve yüzeyler arasında kesintisiz bir bağlantı sağlayarak normal ve kayma gerilmelerine karşı daha güçlü bir yapı elde edilmesini sağlar [3].

Kısaca bir sandviç yapının sahip olması gereken özellikleri özetlersek:

- Mukavemetli yüzeyler, düşük yoğunluklu çekirdek
- Rijit ve mukavemetli bir yapıştırma bağlantısıdır.

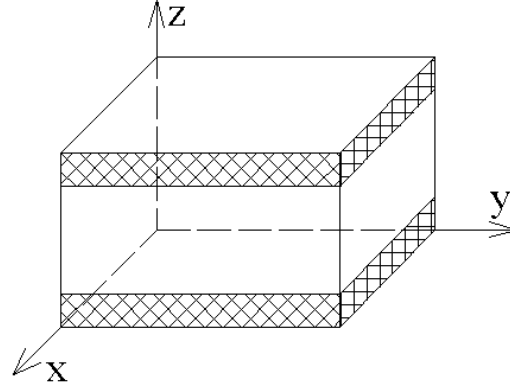
1.1. Sandviç Kompozitlerin Özellikleri

Kompozit malzemelerin temel avantajı uygulamaya bağlı olarak özelliklerinin ayarlanabilmesidir. Aynı avantaj sandviç kompozitler için de geçerlidir. Uygun yüzey ve çekirdek seçimi sandviç kompozitlerin birçok uygulama ve çevresel koşula uyum sağlayabilmelerini mümkün kılar. Sandviç kompozitlerin bazı karakteristikleri aşağıda sıralanmıştır.

- *Düşük yoğunluk:* Hafif çekirdek ya da genişlemiş yapıli yüksek yoğunluklu malzeme seçimi, sandviç kompozitin toplam yoğunluğunu düşürür. Sandviç

kompozitte, çekirdek hacmi yüzey hacmine göre oldukça fazladır, dolayısı ile çekirdek malzemesinin yoğunluğundaki her azalış, toplam sandviç yoğunluğunda önemli etkiye sahiptir.

- *Eğilme dayanımı:* Yüzeylerdeki dayanımı yüksek kısımlar (kabuk) ile kalınlığı yüksek çekirdek birlikte sandviç yapının eğilme dayanımını ve eğilme rijitliğini önemli ölçüde arttırır.
- *Çekme ve basma dayanımı:* Şekil 1.2’de görüldüğü gibi z-yönü özellikleri çekirdek özelliklerine, x ve y özellikleri yüzey özellikleri ile kontrol edilir.



Şekil 1.2. Sandviç kompozit malzemenin eksenler üzerinde gösterimi [2].

- *Hasar toleransı:* Çekirdek olarak esnek köpük, petekli yapı ya da ezilebilir malzemenin kullanımı sandviç malzemesini hasara çok dayanıklı bir yapı haline getirir [2].

1.2. Sandviç Kompozitin Bileşenleri

1.2.1. Yüzey Levhaları

Yüzey olarak birçok malzeme kullanılmaktadır. Yüzey malzemelerine örnek olarak, alüminyum, titanyum ve çelik gibi malzemelerin levhaları ile fiber katkıli plastikler örnek verilebilir. Fiber katkıli yüzeyler kullanılması durumunda, malzeme özellikleri, sandviç kompozitin özelliklerini ayarlamak için doğrudan kontrol edilebilir. Fiber katkıli polimerler, düşük yoğunlukları ve yüksek özgül mukavemetleri nedeni ile yaygın olarak kullanılırlar. Polimer kompozitlerin yüzey olarak kullanılmalarındaki diğer bir avantaj da aynı polimerin hem yüzey hem de çekirdek yapımında kullanılabilir.

olmasıdır. Çekirdek ve yüzey arasındaki çapraz polimer bağları, polimer mukavemetine yakın bir adhezyon mukavemetine sahiptir.

Yüzey ve çekirdeği birbirine bağlamak için bir yapıştırıcı madde kullanıldığı takdirde, bu maddenin seçimi çok büyük önem kazanır. Zira bu malzemeler hem yüzey hem de çekirdek malzemeleri ile uyumlu olmalıdırlar. Adhezyon kuvvet istenilen mukavemeti sağlamalıdır ve çalışma ortamından etkilenmemelidir [2]. Tablo 1.1 de çok kullanılan elyafların bazı özellikleri verilmiştir [4].

Tablo 1.1. Belli başlı elyafların karşılaştırılması [4].

Malzeme	Yoğunluk(g/cm ³)	Çekme Dayanımı(MPa)	Modül(Gpa)
E-Cam	2.55	2000	80
S-Cam	2.49	4750	89
Alüminyum	3.28	1950	297
Karbon	2.00	2900	525
Kevlar 29	1.44	2860	64
Kevlar 49	1.44	3750	136

1.2.1.1. Cam Elyaflar

İlk kompozit panellerin yapımında kullanılan elyaf türü cam elyaf idi. Günümüzde çeşitli mukavemet özelliklerine sahip E, S ve R tipi cam elyafları sandviç kompozitlerin yüzeylerinde kullanılmaktadır. Cam elyaflar, reçineyi oldukça iyi özümseyebilen ve kullanımı kolay elyaflardır [3].

Üretilmesi pahalı olmadığından ve ağırlıkla ilişkili olarak daha yüksek mukavemet gösterdikleri için cam elyaflar takviyeli plastiklere %90'dan fazla kullanılırlar. Cam elyaflar ayrıca iyi kimyasal direnç gösterirler ve işlenebilirlikleri yüksektir. Cam elyafların üretiminde kullanılan en önemli iki cam türü E (electrical) ve S (strength or high content of silica) tipi camlardır. Bu iki tip camın dışında özel amaçlar için kullanılan C (corrosion), R, D (dielectric), A (appearance) tipi camlarda bulunmaktadır. C tipi camlar, depolama tankları gibi kimyasal etkilere maruz kalan malzemelerin korozyona olan dirençlerini arttırmak için kullanılan camlardır. D tipi camlar, düşük

dielektrik bileşenlerine ihtiyaç duyulan kompozit malzemelerin yapımında kullanılırlar. A tipi camlar ise yüzey görünüşünün önemli olduğu kompozit malzeme yapımında kullanılırlar. Bu cam tiplerinin bir kombinasyonu olarak iki cam tipi bir arada kullanılabilir. Örneğin E-C tipi cam hem elektriğe hem de korozyona karşı direncin bir arada istendiği malzeme yapımında kullanılır. Tablo 1.2’de çok kullanılan cam elyafların önemli özellikleri verilmiştir.

“E-CR”camı, “E” camının modifiye edilmiş şekli olup, asitlere karşı dayanım sağlamak amacı ile kompozisyonunda bor içermemektedir. “E-CR” camı elyafı, genellikle kimyasal dayanım istenen tank ve boru imalatında kullanılmaktadır. Yüksek mekanik dayanım aranan ürünler için kullanılan cam elyafı cinsleri Amerika’da “S” Camı; Avrupa’da “R” camı olarak nitelenmektedir. Kompozitin mukavemetini ve rijitliğini arttıran bu cins cam elyafı havacılık, uzay ve askeri alanlarda, yüksek teknik performans gereksinimi nedeni ile kullanılmaktadır. Ayrıca, nakliye, spor ve dinlenme alanlarında da bazı ürünler için kullanıldığı görülmektedir. Bunların dışında, mükemmel dielektrik özellikler taşıyan ve elektronik endüstrisinde sıkça kullanılan, “D” camı elyafı ve özellikle yüzey tüllerinde kullanılan kimyasal dayanımlı “C” camı elyafı da bulunmaktadır [6].

Tablo1.2. Cam elyaflarının özelliklerine göre karşılaştırılması [6].

Cam Tipi	Özellikleri
A-camı	Yüksek alkali oranı-düşük maliyet
C-camı	Kimyasal dayanım (Yüzey tülleri)
E-camı	Elektriksel özellikler
L-camı	Radyasyona karşı kurşun içerir
M-camı	Yüksek elastik modül
S-2 camı	Yüksek çekme dayanımı
W-2 camı	Paneller için yarı şeffaf
AR-camı	Alkali dayanım
R-camı	Yüksek çekme dayanımı

1.2.1.2. Aramid Elyaf lar

En bilinen aramid elyaf türü DuPont tarafından bulunan kevlar dır. Kevlar 1970'lerden buyana kullanılmaktadır. Düşük ağırlık, yüksek çekme mukavemeti ve modülü, yüksek darbe ve yorulma direnci ve örülebilirliği aramidlerin avantajlarıdır. Bazı performansları düşük şekil değiştirme değerlerinde doğrusal olmayan sünek davranış gösterdiklerinden cam elyaf kadar iyi değildir.

Günümüzde Kevlar 29 ve Kevlar 49 türleri vardır [7]. Düşük yoğunluk ve yüksek dayanımdaki Kevlar 29, mermi çarpmasında, koruyucularda, ip ve kablo yapımında kullanılmaktadır. Kevlar 49, düşük yoğunlukta olup yüksek dayanım ve elastik modüle sahiptir. Kevlar 49 denizcilikte, hava-uzay sanayinde, otomobil ve diğer sanayi dallarında kullanılan kompozit malzemeleri güçlendirici lifler olarak kullanılabilir özelliklere sahiptir.

1.2.1.3. Karbon Elyaf lar

Karbon elyaf malzemeler çok yüksek sıcaklıklarda sertleştirilerek üretilirler. Karbon elyaf ları bu yüksek sıcaklıklarda karbonlaşarak istenilen yüksek dayanım değerlerine ulaştıklarından, karbon elyaf ı ismini alırlar. Mukavemet olarak cam ve aramid elyaf larından çok daha üstün özellikler taşırlar. Darbelerin yutulması için ve çok düşük ağırlıkla rijitlik sağlamak amacıyla kullanılırlar. Düşük uzama seviyeleri ve kırılgenlikleri başlarda problem olmuşsa da günümüzdeki yüksek uzamalı karbon elyaf larının bulunmasıyla bu problemler ortadan kalkmıştır. Plastik matris içerisinde ısınabilme özellikleri oldukça iyidir [3].

Karbon elyaf ı yüksek ısı işlemlerde sertleştirildiğinden ve üretim maliyetleri yüksek olduğundan kullanım alanları tıbbi malzemeler ve askeri malzemeler gibi maliyetli alanlardır.

Karbon elyaf ının istenilen değerine göre gerekli sıcaklıkta gerekli yapı oluşturularak istenilen alanda kullanılabilir. İlk aşama oksitleme aşamasıdır. Bu aşamada amaç elyaf ı daha kararlı yapıya sokmaktır. Bu aşama hava ortamında gerçekleşir. Elyaf 300°C ye kadar ısıtılır. Yapısındaki hidrojen ayrılarak yerini oksijen alır. Böylece malzeme

yapısı polimerden, kararlı halkalı yapıya geçmiş olur. Isıtma işleminden önce beyaz olan elyaf bu aşamadaki işlemler sonucunda siyah rengi alır.

İkinci aşama karbonlama aşamasıdır. Karbonlama aşamasındaki amaç liflerin karbonlaşmasını sağlamaktır. Bu aşamada uygulanan sıcaklık çok yüksek değerlere ulaşabilir. Bu aşamada üretilecek olan elyaf istenilen sınıfa göre sıcaklık değeri belirlenir.

Üçüncü ve son aşama ise grafitleme aşamasıdır. Bu aşamada, elyaf belirlenen malzeme ile kaplanır. Buradaki amaç elyafın korunmasıdır. Yüzey iyileştirme işlemi ile elyafın yüzeyi temizlenir. Daha sonra kaplanacak reçineye daha iyi yapışması sağlanır [6].

1.2.1.4. Boron Elyafı

Metal takviyeli kompozitlerde sıklıkla kullanılır. Gaz türbini kanatları gibi yüksek ısıda üstün mukavemet gerektiren yerlerde alüminyum oksit matris içerisinde boron elyafı kullanılır [3].

1.2.1.5. Metal Malzemeler

Alüminyum çelik vb. malzemeler kullanılır. Ancak metal malzeme kullanımı istenmeyen ağırlık artışına sebep olur.

1.2.2. Yapıştırıcılar

Yapıştırıcılar, genel olarak en az iki malzemenin birbirine yapıştırılarak birleştirilmesinde istenilen tasarım özelliklerini veren epoksi, fenolik, polyamid, polyimid ve silikon gibi malzemelerin kimyasal olarak birleştirilmesinden oluşan karışımdır [8].

Günümüzde kullanılan modern yapıştırıcılar aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır [9].

- Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar
- Fiziksel Değişim ile Sertleşen Yapıştırıcılar
- Basınç Gerektirmeyen Yapıştırıcılar
- Formları açısından yapıştırıcılar

Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

1.2.2.1. Kimyasal Reaksiyon ile Sertleşen Yapıştırıcılar

En güçlü yapıştırıcılar kimyasal reaksiyon ile sertleşir. Bu tip yapıştırıcılara, yapısal yapıştırıcılar da denir. Günümüzde kullanılan kimyasal reaksiyon ile sertleşen kimyasal yapıştırıcı tipleri ve özellikleri şöyledir:

1.2.2.1.1. Anerobikler

Anaerobik yapıştırıcılar, oksijenle temasları kesildiğinde oda sıcaklığında katılaştıran tek bileşenli malzemelerdir. Sıvı haldeki yapıştırıcının içinde bulunan kürleştirici bileşen, havadaki oksijenle temasta olduğu sürece etkisiz kalır. Eğer yapıştırıcının oksijen ile teması kesilirse, örneğin yapıştırılacak yüzeyler arasında hapsoldüğünde, kürleşme hızla gerçekleşir aynı zamanda metalle temas söz konusu ise kürleşme daha da hızlanır.

Anaerobik reaksiyon ile katılaştıran yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme mukavemeti
- Yüksek sıcaklık dayanımı (-55 °C' den maksimum +230 °C' ye kadar)
- Hızlı kürleşme
- Parça yüzeylerinin parlatılması gerekmez
- Yapıştırmanın yanında sızdırmazlık ve mükemmel kimyasal dayanım
- Yüksek titreşim mukavemeti
- Yüksek dinamik yük mukavemeti

1.2.2.1.2. Siyanoakrilatlar

Tek bileşenli siyanoakrilat yapıştırıcılar, hafifçe alkalik özellik gösteren yüzeyler ile temas ettiklerinde kürleşirler. Genel olarak havadaki ve yapıştırılacak yüzeydeki ortam nemi kürleşmeyi birkaç saniye içinde başlatmak için yeterlidir. Yapıştırılacak yüzey üzerindeki nem, yapıştırıcının içindeki dengeleyiciyi nötralize eder, böylece polimerizasyon bir yüzeyden diğerine gerçekleşir. En hızlı ilk kürleşmeyi elde etmek için tercihen "sıfır boşluk" gereklidir. Çalışma ortamında, oda sıcaklığında %40 ila %60 bağıl nem bulunması halinde en iyi netice elde edilir. Düşük nem kürleşmeyi yavaşlatır, yüksek nem ise hızlandırır fakat yapıştırıcının en son tutma kuvvetini olumsuz etkiler.

Siyanoakrilat yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme ve çekme mukavemeti
- Çok yüksek kürleşme hızı (saniyeler içinde tutar)
- Hemen hemen tüm malzemeleri yapıştırır

- Yaşlanmaya dayanıklıdır.

1.2.2.1.3. Akrilikler

Bu yapıştırıcılar oda sıcaklığında aktivatör ile kürleşir. Yapıştırıcının türüne göre, yapıştırıcı ve aktivatör yapıştırılacak yüzeylere ayrı ayrı uygulanabilir veya hemen uygulama öncesinde bir mikserde karıştırılabilir. Bazı yapıştırıcılar düşük viskoziteli bir aktivatör ile kullanılır. Bu yapıştırıcılar hiçbir zaman aktivatörle karıştırılmamalıdır. Yapıştırıcı ve aktivatör her zaman ayrı ayrı tatbik edilmelidir. İki parça birbirine temas ettiğinde yapıştırıcı kürleşmeye başlar.

Modifiye akrilik yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme ve çekme mukavemeti
- Yüksek darbe mukavemeti
- Geniş çalışma sıcaklık aralığı (-55 °C ila +120 °C)
- Hemen hemen tüm malzemeler yapıştırılabilir
- Yüksek boşluk doldurma kabiliyeti (özellikle önceden karıştırılan akrilikler)
- Ortam şartlarına yüksek dayanım

1.2.2.1.4. Silikonlar

Bu malzemeler oda sıcaklığında ortam nemi ile vulkanize olurlar RTV (Room Temperature Vulcanising). Siyanoakrilatlarda dengeleyicinin nem tarafından nötralize edildiği aniyonik reaksiyona karşılık, silikonlarda kenetlenme için su molekülleri kullanılır. Bu nedenle, suyun silikonun içine, vulkanizasyonun gerçekleştiği bölgeye nüfuz etmesi gerekir. Su molekülü silikon molekülleri zincirine eklendiği zaman bir yan ürün açığa çıkar. Kürleşmenin kimyasal özelliğine bağlı olarak yan ürün asidik olabilir. Bu yapıştırıcıların kürleşme hızı öncelikle bağıl neme bağlıdır.

Silikon elastomerlerin (veya kürleşmiş silikon) genel özellikleri şunlardır:

- Mükemmel sıcaklık dayanımı (230 °C' den fazla)
- Esnek, dayanıklı, uzama katsayısı yüksek
- Düşük ile orta sertlik
- Birçok akışkan için etkili sızdırmazlık
- Mükemmel boşluk doldurma

1.2.2.1.5. Poliüretanlar

Poliüretanlar (genellikle) suyun, izosiyanat grupları içeren bir katkı maddesi ile reaksiyonu neticesinde oluşurlar. Silikonlarda olduğu gibi, su molekülünün yapıştırıcının içine nüfuz ederek yapıştırıcı bağlarının oluştuğu her noktaya ulaşması gerekir. Bunun sonucunda silikonlar ile aynı kürleşme hadisesi meydana gelir, fakat yan ürün açığa çıkmaz. Kürleşme hızı yine ortamın bağıl nemine bağlıdır. Poliüretanların genel özellikleri şunlardır:

- Mükemmel dayanıklılık
- Esneklik, yüksek uzama yeteneği
- Mükemmel boşluk doldurma
- Kürleştikten sonra boyanabilme
- Mükemmel kimyasal direnç

1.2.2.1.6. Epoksiler

Epoksi yapıştırıcılar, epoksi reçine ile sertleştiriciden oluşur. Epoksi yapıştırıcılar ile son derece mukavemetli yapışmalar elde edilir. Çok farklı tipte malzemeleri yapıştırmak için kullanılabilirler. Tek bileşenli, iki bileşenli ve film olarak üç farklı formdadırlar. Her iki bileşen birleştirildiğinde kovalent bağlar oluşur ve termoset polimer halini alır. Katalizör ilavesi yada ısı sertleşme zamanını hızlandırabilir. Yüksek sıcaklıklarda sertleşen epoksiler daha yoğun çapraz bağlar oluşturduklarından dolayı daha mukavemetli yapışmalar elde edilir. Derinliğine sertleşme miktarı çok iyidir. Çok farklı tipteki malzemelerin yapıştırılmasında kullanılabilirler.

1.2.2.1.7. Fenolikler

Yüksek mukavemet gerektiren metal ile metal, metal ile ağaç ve metal ile kompozit esaslı fren pabucu yapışmaları için oldukça iyidir. Sertleşmesi için, ısı ve basınç uygulamak gerekir.

1.2.2.2. Fiziksel Değişim ile Sertleşen Yapıştırıcılar

Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılara nazaran, fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar, daha düşük yapışma mukavemetine sahiptirler. Bu yapıştırıcılara, yapısal olmayan yapıştırıcılar da denilir. Endüstride oldukça yaygın kullanım alanına sahip fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcı tipleri şöyledir.

1.2.2.2.1. Sıcak Eriyikler

Sıcak eriyikler polimer esastır. Hafif yüklere maruz kalacak Şekilde tasarlanmıŐ yapıları, hızlıca birleştirmek iÇin kullanılırlar.

1.2.2.2.2. KauÇuk Yapıştırıcılar

Eriyik esaslı kauÇuk yapıştırıcılar, su ortamının ya da  ozlmenin kaybolması ile sertleŐirler. Yüke maruz kalan yapışmalar iÇin uygun değildir.

1.2.2.2.3. PVA' lar (PolyvinylAcetates)

AĐaŐ ve karton gibi gözenekli malzemelerin yapışması iÇin uygundur. Endüstride oldukÇa geniş kullanım alanına sahiptirler.

1.2.2.3. BasınÇ Gerektirmeyen Yapıştırıcılar

Etiket iÇin uygun olan bu tip yapıştırıcılar sertleŐmelerine rağmen  evre Şartları durumlarını deĐiŐtirebilir. Yüke maruz kalan yapışmalar iÇin uygun değildir.

1.2.2.4. Formları AÇısından Yapıştırıcılar

Modern yapıştırıcılar, kullanılmadan önce film, macun, sıvı ve toz gibi çeşitli formlarda olabilirler. Kullanım yerleri olarak, yani formu bakımından yapıştırıcılar çeşitli gruplarda değerlendirilebilir. Bu gruplar:

- Macun tip yapıştırıcılar
- Film tipi yapıştırıcılar
- Düşük viskoziteli yapıştırıcılar
- Düşük yoğunluklu yapıştırıcılar
- ReÇineler
- Köpükler

1.2.2.4.1. ReÇineler

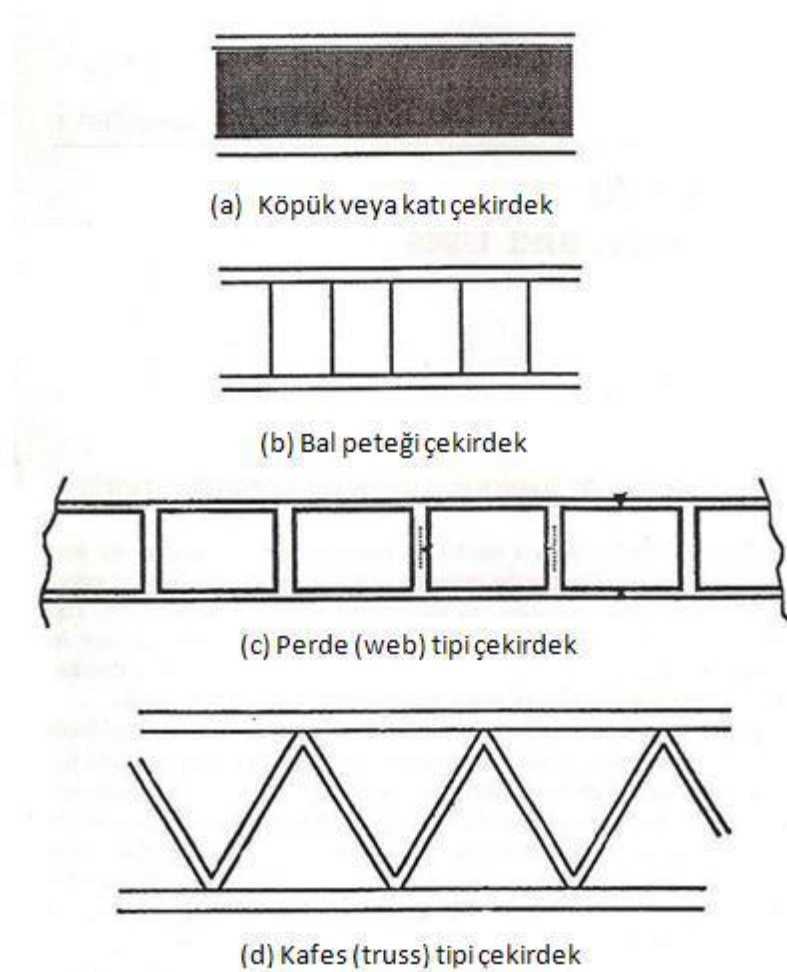
Kompozit kumaşların emdirilmesi iÇin kullanılan, iki parŐalı düşük viskoziteli epoksi reŐinelerdir. Optimum yapıştırma kuruma eğrisine göre sertleşme işlemi tamamen sona erdikten sonra elde edilebilir. KarıŐma oranı yanlış yapılırsa uygulama süresi göreceli olarak düŐer.

1.2.2.4.2. Köpükler

Köpükler, kuruma süresince genişleyen epoksi esaslı yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılar birleşmedeki boşlukları doldurur ve bileşen parçalarının tümünü birbirine kuvvetlice yapıştırır. Köpük kalınlığının en az 2 mm olması istenir [10,11].

1.2.3. Çekirdek

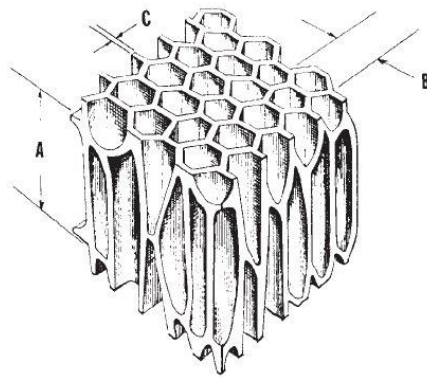
İki levha arasında yapıştırılan çekirdek malzemesi rijit ve düşük ağırlıklı bir yapı oluşturur. Çekirdek malzemesi yapıya büyük bir basma mukavemeti de sağlamaktadır. Sandviç yapıda çeşitli çekirdek formları kullanılmaktadır. Bunlar ahşap, köpük ve petek yapıllı çekirdeklerdir. Şekil 1.3'de çekirdek yapı tipleri gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Çekirdek yapı tipleri [12].

1.2.3.1. Ahşap

Balsa ağacı ince-uzun yatay hücreleriyle çok yüksek basma dayanımı ve çarpışma direnci sağlar. Doğal bir malzemedir ve oldukça fazla kullanılan bir seçenektir. Olumsuz yanı ise daha düşük yoğunluklarda bir seçeneği olmamasıdır. Ayrıca bir darbe anında ahşap su emeceği için tamir esnasında çok geniş bir alanı tamir etmek gerekir. Balsa ağacı çekirdek malzemesi olarak havacılık endüstrisinde yaklaşık olarak 40 yıldır kullanılmaktadır [13,14,15].



Şekil 1.4. Balsa Ağacının hücre yapısı [13].
(A:Ortalama hücre boyu; B:Ortalama hücre çapı;
C: Ortalama hücre et kalınlığı)



Şekil 1.5. Ahşap Malzeme

1.2.3.2. Köpükler

Köpükler çeşitli sentetik polimerlerden üretilirler. Ayrıca, hemen hemen her köpük çeşitli yoğunlukta tedarik edilebilir. Son zamanlarda yüksek yoğunluklu ve yüksek kaliteli hücresel köpüklerin gelişmesi, sandviç yapıların kullanımında oldukça etkili olmuştur. Hücresel köpükler, petekler kadar yüksek sertlik ve mukavemet/ağırlık oranına sahip değildirler. Öncelikle hücresel köpükler, peteklere nazaran daha ucuzdur fakat makroskobik seviyede katıdırlar. Bu da sandviç elemanlarının üretimini kolaylaştırır. Köpükler, yüzeyi birleştirmek için uygundur. Yüzey hazırlama ve şekil verme kolaydır. Köpükler, yüksek termal yalıtkan ve akustik izolasyon özelliklerine sahiptirler. Çoğu köpüğün sıkı bir hücre yapısına sahip olması su nüfuziyetinin bir sorun olmaktan çıkmasına neden olmaktadır. Düşük maliyetli, düşük ağırlıklı, mükemmel termal izolasyonlu, yüksek basma dayanımlı, nem oluşumunu engelleme ve yüksek korozyon dirençli olmaları nedenleriyle özellikle havacılık ve uzay endüstrisi başta olmak üzere birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır [13,14].



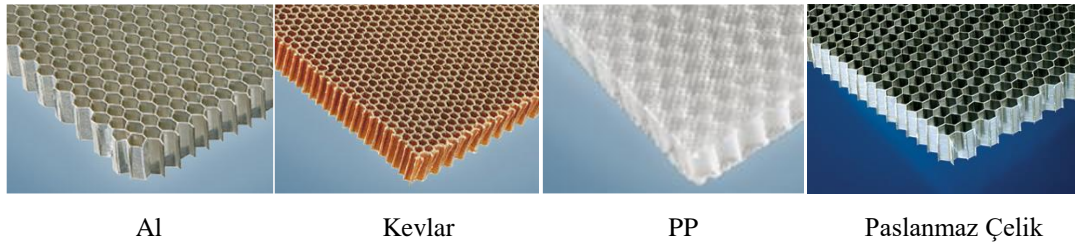
Şekil 1.6. Al köpük[14]



Şekil 1.7. Köpük malzemesi resmi

1.2.3.3. Bal peteği

Bal peteği metalik veya kompozit esaslı olabilir. Metalik bal peteği çok ince alüminyumdan, kompozit bal peteği ise kağıt veya naylon/aramid elyafları ve epoksi veya fenolik bir reçineden yapılırlar. Ateşe dayanıklı nomex en popüler bal petek sistemlerinden biridir. Nomex ve alüminyum bal petekleri genellikle, köpüklerin uygun olmadığı, yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılırlar. Bal peteği çeşitleri (Şekil 1.8.):



Şekil 1.8. Malzemesine göre petek yapı tipleri [12].

1.2.3.3.1. Nomex Bal Peteği:

Nomex kâğıdının bir formudur. Nomex kâğıdı selülozik lifler yerine, kevlar malzemesinden oluşur. Nomex bal peteği uçak-uzay uygulamalarında geniş kullanım alanına sahip olmasının yanında, mekanik özelliklerinin iyi olması nedeniyle diğer alanlarda da giderek popüler olmaktadır. Öte yandan diğer çekirdek malzemeleri ile karşılaştırıldığında pahalıdır.

1.2.3.3.2. Alüminyum Bal Peteği:

Nomex bal peteğinden ucuz olmakla beraber benzer mukavemet ve rijitlik gösterirler. Deniz uygulamalarında ve karbon ile yüzey katmanlama sırasında korozyon problemine


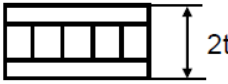
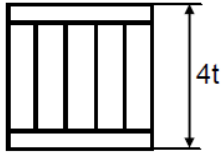
karşı dikkatli kullanılmalıdır. Delaminasyon oluşmaması için, yüzey-çekirdek bağlantısının korunması gerekir ve bu ancak kaliteli yapıştırıcı kullanarak başarılabilir.

1.2.3.3.3. Termoplastik Bal peteği:

Genelde düşük yoğunluk ve düşük rijitliğe sahiptir. Sık kullanılan polimerlerden bazıları ABS, polikarbonat, polipropilen ve polietilendir. Birçok kimyasala direnç gösterirler ve nemden etkilenmezler. Ana problem yüzey çekirdek arasındaki bağın kurulmasıdır [7,13].

Sandviç yapıların yukarıda da belirtildiği gibi birçok avantajları vardır. Bu avantajlar Tablo 1.3 'de özet olarak verilmiştir. Konunun önemi nedeniyle, literatürde yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda değişik sandviç yapılar için mekanik ve dinamik davranışlar incelenmiştir. Çalışmalarda sandviç yapıyı oluşturan alt ve üst yüzey tabakalarının ve çekirdek malzemesinin geometrik ve malzeme özelliklerinin değişiminin, çeşitli sınır şartlarının, farklı sandviç yapı modellerinin dinamik özelliklere olan etkisi, hem farklı nümerik yöntemlerle hem de deneysel olarak incelenmiştir [16].

Tablo1.3. Bal peteği sandviç yapının avantajları [16].

	Katı malzeme (Tek parça)	Petek kalınlığı t	Petek kalınlığı 3t
			
Rijitlik	1	7	37
Dayanım	1	3.5	9.2
Ağırlık	1	1.03	1.06

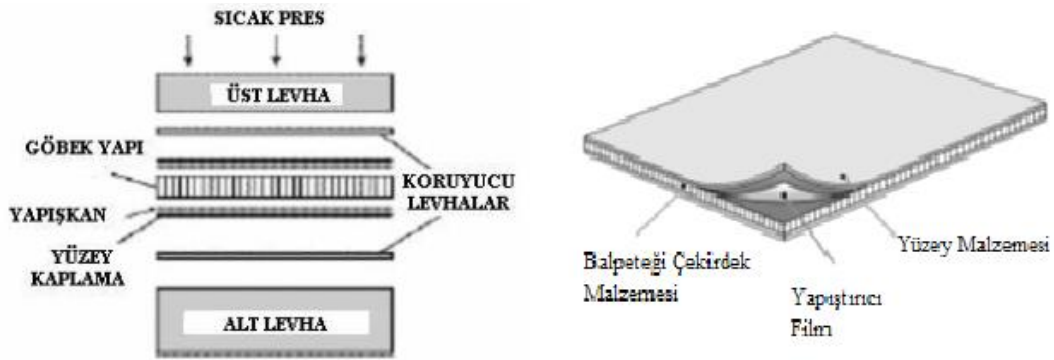
1.3. Sandviç Kompozit Yapıların Temel Üretim Metotları

Bal peteği sandviç kompozit üretiminde üç alternatif üretim metodu mevcuttur:

- Sıcak pres metodu
- Vakum metodu
- Kalıp yöntemiyle üretim metodu

1.3.1. Sıcak Pres

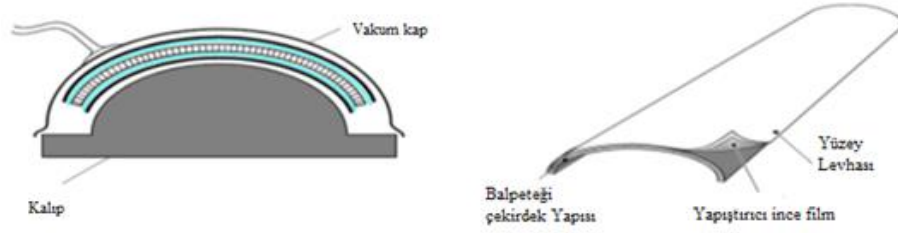
Genellikle düzgün yüzeyli plakaların petek yapı ile birleştirilmesinde kullanılır. Genelde üretilmiş parça tek seferde netice alınacak şekilde hazırlanır. Bu metot metal ve prepreg yüzeylerde yaygın olarak kullanılır. Bu metotla yapılan üretimde diğer bir seçenek de prepreg (önceden reçine emdirilmiş malzeme) yüzey tabakaları basınç altında önceden ısıtılarak yapıştırıcı ile birleştirilmesidir. Şematik gösterimi Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9. Sıcak pres metodu ile sandviç kompozit üretimi ve sıcak pres yöntemi ile üretilmiş sandviç yapı.

1.3.2. Vakum Metodu

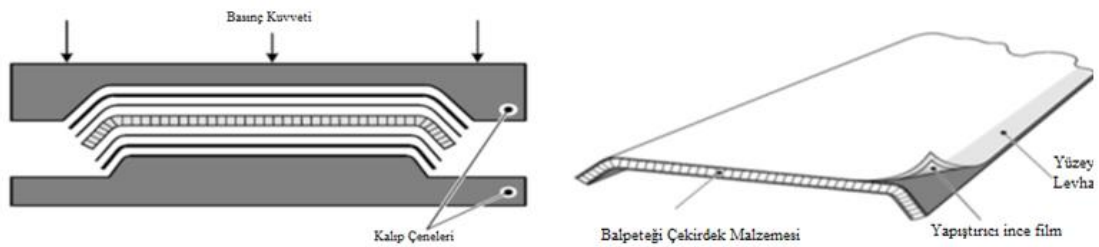
Karmaşık ve üretimi zor kompleks yapılar için kullanılır. Üretilecek parçalar ısıtma işlemi için bir seferde netice alınacak şekilde montajlanmalıdır. Gerekli birleştirme vakum torbası kullanarak yapılır. Önce parça fırında ısıtılır, otoklav kullanılıyorsa, ayrıca bütün üretim boyunca negatif basınç uygulanır. Vakum torbasında üretim yöntemi, prepreg, önceden şekil verilmiş el yatırması (wetlayup) kompozit malzemeler veya metal tabakalı sandviç yapılara uygulanır. Bu üretim metoduyla şekil verilmiş bal peteği ve yapıştırıcı film tabakaları kullanmak suretiyle karmaşık şekilli kompozit parçaların üretimi mümkündür. Anlatılan hususlar Şekil 1.10'da şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.10. Vakum yöntemi ile sandviç yapı üretimi ve vakum yöntemi ile üretilmiş sandviç yapı.

1.3.3. Kalıp Metodu ile Şekil Verme

Bu metot genellikle tek bir kullanımlık malzeme üretimi için kullanılmaktadır. Bu tür üretim metodunun temel amacı; imal edilecek parçayı yüksek toleransta (hassas boyutta) üretmek ve yüzey iyileştirilmesi yapılarak tek seferde sonuç alınmasıdır. Bu tür üretim için çeşitli işlem basamakları uygulanarak sıcaklık ve basınç ayarlamaları yapmak mümkündür. Isıtılmış donanımlarla mekanik basınç altında, ısıtılmamış aletlerle basınç altında ve fırın içinde kürelemeyle yapılan üretimler bunların bazılarıdır. Bunun dışında ısıtıcı kullanım imkânı yoksa veya sandviç yapı çok büyükse oda sıcaklığında soğuk yapıştırma işlemi de uygulanabilir. Yöntem, Şekil 1.11’de gösterilmiştir.

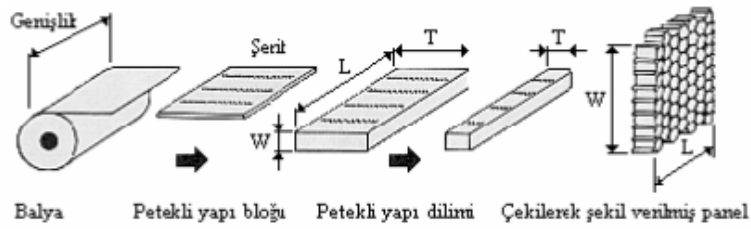


Şekil 1.11. Kalıp metodu ile sandviç kompozit üretimi ve kalıp metodu ile üretilmiş sandviç yapı.

1.4. Çekirdek Petek Yapı Üretimi

Petekli yapıların üretiminde uzatma ve kıvrılarak şekil verme olmak üzere genellikle iki temel teknik kullanılır.

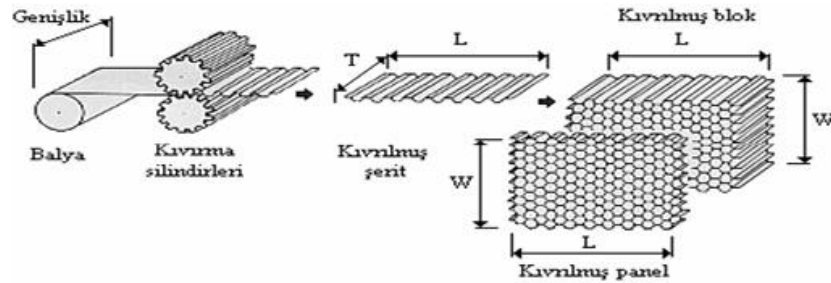
1.4.1. Uzatarak şekil verme yöntemi



Şekil 1.12. Uzatarak şekil verme yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi.

Bu yöntem metal ve metal olmayan hücre imalatında kullanılır. Genel olarak; şerit halinde levhaların kesilmesi ve yapıştırıcının sürülmesi, levhaların üst üste dizilmesi ve petekli yapı bloğunun seçilen sıcaklıkta pres içerisinde işlenmesi aşamalarını içerir. Petekli yapıların imalatında oldukça yaygın olarak tercih edilen diğer bir yöntem kıvrma metodudur. Bu yöntem yüksek sıcaklık altında çalışan, et kalınlığı ve yoğunluğu oldukça fazla olan petekli yapıların imalatında tercih edilir. Bu yöntemde şerit levhalar istenilen biçimde kıvrılarak düğüm noktalarına yapıştırıcı tatbik edilir.

1.4.2. Kıvrma yöntemi ile şekil verme



Şekil 1.13. Kıvrma yöntemiyle petek hücre üretimi.

Ardından şekil verilmiş şerit levhalar üst üste konur ve kıvrılmış blok seçilen sıcaklıkta bekletilir. İstenilen kalınlıkta dilimler bloktan kesilerek elde edilir. Yine bu çalışmada

kullanılan alüminyum ve bakır hücrelerin üretimi bu yöntem yardımı ile yapılmıştır. Yukarıda verilen yöntemler kullanılarak, üretimi gerçekleştirilen petekli yapılar kullanılacak yerin özellikleri de dikkate alınarak; temizleme (kenar tıraşlama), kesme ve gerekirse şekil verme ve ekleme işlemlerine de maruz bırakılırlar [16, 17].

1.5. Sandviç Kompozit Yapı Dizaynında Uygun Malzeme Seçimi

Sandviç yapılar kombine yapılardır. Yani iki ya da daha fazla malzemenin uygun biçimde birleştirilmesiyle yeni bir sistem oluştururlar. Bu sistemler kendisini oluşturan alt yapı malzemelerinin cinsi ve özelliklerine göre şekil alırlar. Örneğin çok değişken sıcaklıklarda ve büyük yüklemeler altında çalışacak bir yapıda iç çekirdek malzemesi olarak ısı yalıtımı çok iyi bir malzeme ile mukavemet özellikleri çok iyi dış yüzey malzemelerinden oluşan bir sistem seçilmelidir. Bu sebeplerden dolayı sandviç malzemelerin en doğru seçimi kullanıldığı alanların sınıflandırılması daha sonra bu alanların gereksinimlerinin en doğru şekilde belirlenmesi ile mümkündür.

1.5.1. Yapısal Etmenler

1.5.1.1. Dayanım

Kompozit bir malzemedeki her bir eleman kendi mekanik özelliklerini koruyabilmekteydi, bu kuralı göz önüne alarak sandviç yapının çalışacağı yük koşullarını düşünerek düzgün çekirdek ve yüzey malzemesi kombinasyonu oluşturmalıyız.

1.5.1.2. Rijitlik

Sandviç malzemelerde içte kullanılan çekirdek malzemesinin rijitlik değerleri çok düşüktür. Fakat çekirdek malzemesinin rijitlik değerlerinin düşük olmasına rağmen ağırlığının çok düşük olması yapıya hafiflik katar. Dış yüzeylerde kullanılan malzemelerin ise rijitlik değerleri oldukça yüksektir. Bu iki malzemenin birleşip oluşturacağı sistemin rijitlik değerlerini inceleyebilmeliyiz.

1.5.1.3. Yapıştırma Bağlantısı Performansı

Bir yüzeyden diğer yüzeye düzgün yük iletimi için yüzeyler malzemeye rijit bir şekilde yapıştırılmalıdır. Uygun yapıştırıcılar yüksek kayma modülüne sahiptirler. Depolama,

tamirat veya kullanım sırasında hasara maruz kalabilecek hafif sandviç yapılarda kesinlikle düşük soyulma gerilmesine sahip yapıştırıcılar ile gevrek yapıştırıcılar kullanılmamalıdır.

1.5.2. Ekonomik Etkenler

Kompozit sandviçlerden maliyet konusunda çok etkili sonuçlar alınabilmektedir. Ancak toplam maliyet hesaplamaları sırasında üretim maliyetleri yanında montaj, ilk kurulum ve de sandviç yapı destek sistemlerinin de masrafları hesaba katılmalıdır.

1.5.3. Çevresel Etkenler

1.5.3.1. Sıcaklık

Pek çok konstruktif sistemde olduğu üzere sandviç yapılarda da termal çevre önemli bir rol oynamaktadır. Genellikle sandviç yapılar oda sıcaklığı koşullarında etkin bir biçimde kullanılabilceği gibi pek çoğu da -550°C ila 1700°C arasında istenilen performansı karşılayabilecek düzeydedir.

1.5.3.2 Yanıcılık özellikleri

Yapıştırma bağlantılı sandviç yapıları yanıcılık bakımından üçe ayırmaktayız. İlki yanıcı olmayan yapılar ki, ne yüzey malzemesi nede çekirdek malzemesi yanıcı değildir. Sistem bir bütün olarak yanmaya karşı dayanım gösterir. İkinci tip yarı yanıcılar; bu sistemlerde yapı alev maruz kaldığı sürece yanar, alev ortadan kalkarsa malzemenin tutuşması söz konusu olmaz. Son olarak, üçüncü tip yapılar ise yanıcı olanlardır. Bu malzemelerde genellikle belirlenen koşullar altında alevin yayılma hızına göre bir sınıflandırılmaya tabi tutulabilirler.

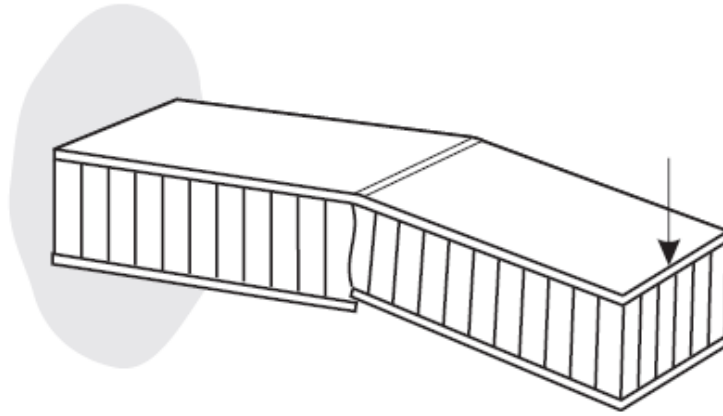
1.5.3.3. Yapıştırma solüsyonları ve buharlaşma

Yapıştırıcılar ile reçineler ya da çekirdekler arasında kimyasal tepkime meydana gelebilmekte bunun sonucunda istenmeyen solvent buharları açığa çıkabilmektedir. Bu olay sandviç yapı üretiminde istenmez. Çünkü hatırlanacağı üzere kompozit yapılarda bir araya gelen malzemeler ayrı ayrı mekanik özelliklerini korumak durumunda idi. Reaksiyonun oluşması yeni tip bir malzeme oluşumu ve sonuç olarak, farklı mekanik özellik oluşumu anlamına geleceğinden, üretimde bu hususa dikkat edilerek doğru yapıştırma sistemlerinin tercih edilmesi gerekmektedir [18,19].

1.6. Bal Peteği Sandviç Kompozitlerde Deformasyon

1.6.1. Dayanım

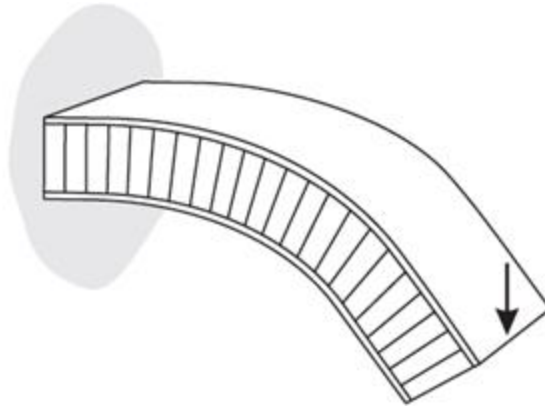
Yüzey ve orta tabakalar çekme, basınç ve makaslama gerilimlerine karşı koyabilmelidir. Yüzey ile orta tabaka arasındaki tutkal hattı, yüzey ve orta tabaka arasındaki makaslama gerilimi tüm levhaya yayabilmelidir.



Şekil 1.14. Dayanç hatası.

1.6.2 Rijitlik

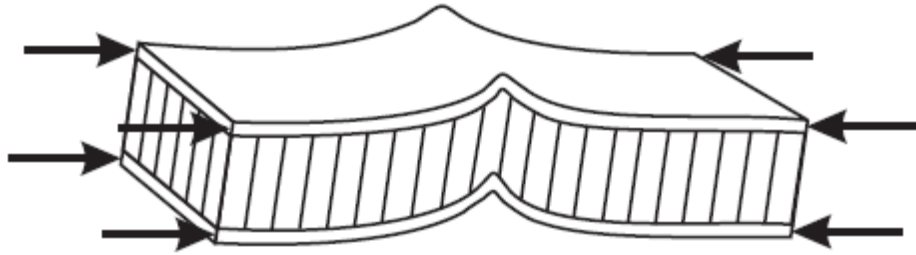
Sandviç paneller, aşırı eğilmeleri önlemek için yeterli eğilme ve makaslama rijitliğine sahip olmalıdır.



Şekil 1.15. Bal peteği kompozitlerin rijitliği.

1.6.3. Panel Bükülmesi

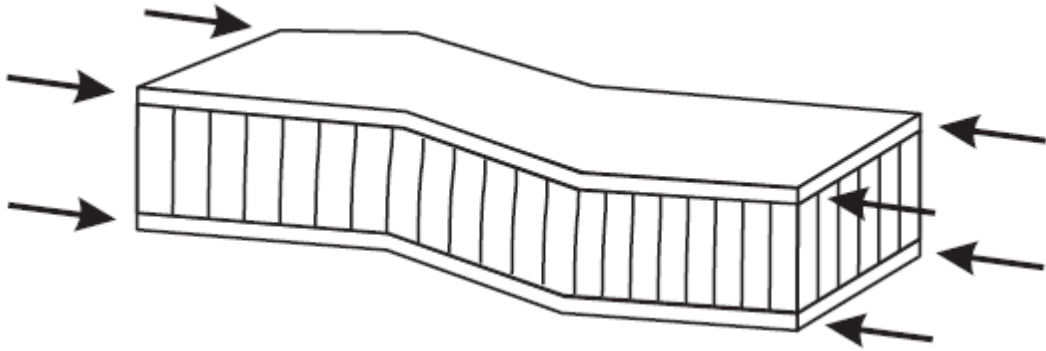
Orta tabaka kalınlığı ve makaslama modülü, uç basınç yükleri altında paneli bükülmekten koruyabilecek kadar güçlü olmalıdır.



Şekil 1.16. Bal peteği kompozitin bükülmesi.

1.6.4. Kayma Dalgalanması

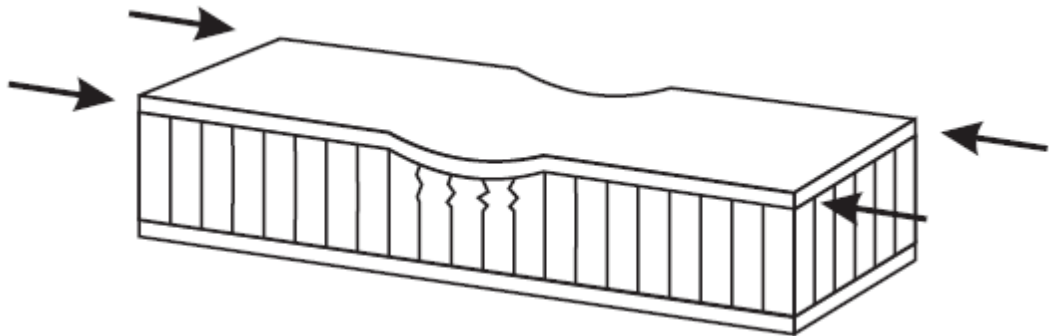
Uç basınç yükleri altında erken makaslama başarısızlığına karşı orta tabakayı koruyabilmek amacıyla bu tabakanın kalınlığı ve makaslama modülü, yeterli olmalıdır.



Şekil 1.17. Dalga deformasyonu.

1.6.5. Yüzey Buruşması (yüzey tabaka kıvrılması)

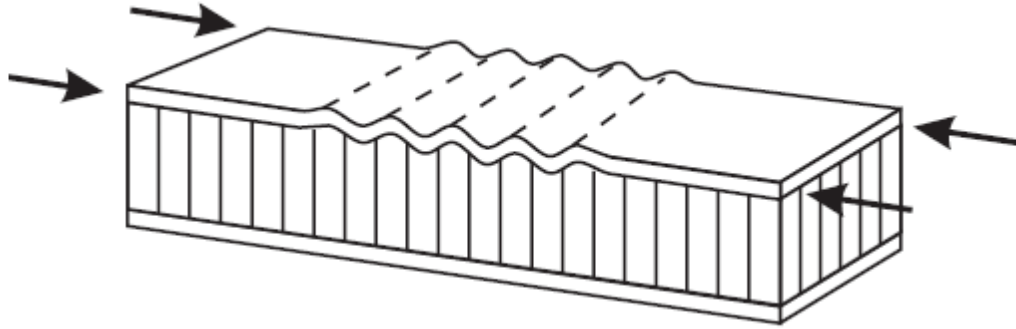
Üst yüzey tabakanın basınç modülü ve orta tabakanın basınç direnci, yüzey buruşma deformasyonunu önleyebilecek kadar yüksek olmalıdır.



Şekil 1.18. Yüzey tabaka deformasyonu.

1.6.5. Hücreler arası kıvrılma

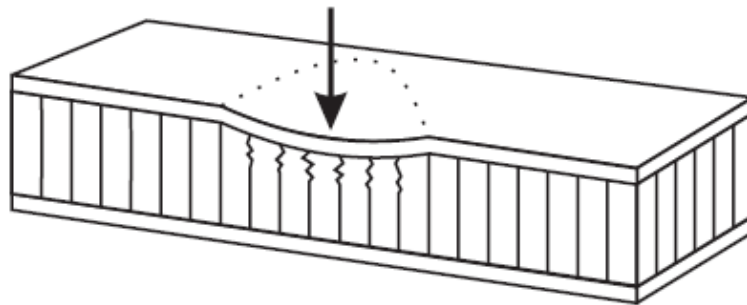
Kullanılan tabaka yapıya göre, petek hücre boyutunun hücreler arası kıvrılmayı önleyecek boyutta olması gerekir.



Şekil 1.19. Hücreler arası kıvrılma.

1.6.6. Lokal Basınç

Orta tabakanın direnci, panel yüzeyi üzerindeki lokal yüklerle karşı koyabilecek kadar yüksek olmalıdır [16].



Şekil 1.20. Bölgesel basınç deformasyonu.

1.7. Sandviç Kompozitlerin Avantaj ve Dezavantajları

1.7.1. Avantajları

Sandviç kompozitlerin diğer kompozitler ve konvansiyonel malzemelere karşı daha fazla ilgi çekmelerinin ve bir alternatif haline gelmelerinin en önemli nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Aynı ağırlıktaki konvansiyonel malzemelere oranla basma ve yorulma mukavemetlerinin çok daha fazla olması

- %25-45 daha hafif olmaları
- Yeni tasarım esnekliği sunmaları
- Düşük ısı geçirgenliği
- Korozyona karşı direnç
- Yorulma mukavemetinin yüksek olması
- Darbe enerjisi absorpsiyonunun diğer malzemelere oranla önemli ölçüde yüksek olmasıdır.
- Özelliklerin gereksinimlere göre ayarlanması
- Çekirdek ve yüzeyler için bol miktarda içerik alternatifi bulunması
- Düşük yoğunluk ve buna bağlı olarak ağırlıktan kazanma
- Yüksek eğilme dayanımı
- Daha yüksek hasar toleransı
- Yerinde imalat
- İyi titreşim sönümlenme özelliği.

1.7.2. Dezavantajları

Sandviç kompozitlerin mantığı gereği, yapıyı oluşturan her tür bileşenin olumsuz özellikleri sandviç malzemeye de yansımaktadır. Örneğin, çekirdek malzemesi olarak kullanılan malzemenin düşük mukavemette oluşu ya da yapıştırıcı olarak kullanılan reçinenin organik çözücülere karşı dayanıksızlığı sandviç yapıda istenmeyen bazı özellikleri doğuracaktır. Sandviç kompozitlerin en büyük dezavantajları şöyle sıralanabilir:

- Katlar arasında kalan hava ve gazlar malzemenin ömrünü azaltır.
- Ara katlar arasında kalan gizli yapışmaları incelemek zordur.
- Test yapma yöntemleri pahalıdır.
- Farklı sıcaklıklarda nasıl davranış göstereceği tam olarak bilinmemektedir.
- Ham malzemeleri pahalıdır ancak bağlantı elemanları sayısındaki azalış ve ağırlıktaki düşüş dikkate alındığında toplam maliyette bir düşme olduğu tespit edilecektir.
- Sandviç kompozitlerin nispeten daha kalın olması
- Sandviç kompozitleri işleminin daha pahalı olması
- Birleştirme işleminin daha zor olması

- Hasar görmeleri durumunda tamirlerinin zor olması [3, 20].

1.8. Sandviç Kompozitlerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler gün gittikçe artan oranlarda ve yeni sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Sandviç malzeme çeşidi ve türü kullanım amacına göre değişkenlik gösterir. İçyapıdaki kullanılan çekirdeğin türüne göre düşük ağırlık, ısı geçirmeme ya da yangında alev iletmeme gibi birçok özellik kullanım alanına göre tercih edilebilir. Dış kısımda ise mukavemet kabiliyeti çok yüksek malzeme yine kullanım alanına göre çeşitlilik gösterebilmektedir [18].

Uzun zaman uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit malzeme gelişimleri son dönemde yeni birçok sektörde birçok farklı amaç için kullanılmaktadır [21].

Havacılık ve uzay endüstrisine yönelik uygulamalarda hafiflik ve rijitlik özellikleri en önemli konuma sahiptir. Bu endüstri kolunda sandviç kompozitler genellikle uçağın taban kaplamaları, kanat ve kuyruk parçaları, helikopter pervanesi, uzay mekiği konisi gibi parçalarda kullanılmaktadır.

Spor ekipmanları endüstrisinde ise yarış bisikletinin omurgası gibi yapılarda tercih edilmektedir.

Enerji endüstrisinde rüzgar türbini pervanesinde hafifliği nedeniyle ve yine aynı endüstride çeşitli eşanjörler olarak imal edilmektedir. Bunların yanı sıra, petekli yapılar enerji sönümlenme, radyo dalgası kalkanı, uyduların güneş panelleri gibi pek çok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Otomotiv endüstrisine yönelik uygulamalarda ise, otomobillerin tavan, direk, şasi ve gövdesinin birçok kısmında sıklıkla hafif ve rijitlikleri sebebiyle tercih edilmektedirler. Sandviç konstrüksiyonların diğer bir kullanım alanı da tekne ve yat imalatındadır. Günümüzde kalıp ile tekne üretimi maliyetli bir yöntemdir, her dönemin modasına göre tekne ve yatlarda modeller değişmektedir. Her değişen yeni bir model için kalıp

hazırlamak maliyet açısından çok büyük bir yük getirecektir. Bu sektördeki veriler kalıpsız tekne imalatı yönteminde ileriye giden firmaların büyük kazançlar elde edeceğini göstermiştir. Kalıpsız imalatın en bilinen yolu da, tabii ki sandviç yapılardan geçmektedir. Sadece sivil denizcilik için değil askeri amaçlar için de bu yapılar tercih edilmektedir, hafiflik avantajı sağlanarak askeri tekne ve gemilere yeni silahlar eklenebilmektedir [3].

Endüstriyel binalarda iki farklı tip panel kullanılmaktadır. Biri dış yüzeyler için, diğeri ise tavan ve bölmeler gibi iç hatlar içindir. Her iki tip panel de ısı kontrolünü sağlamakta ve yangın yükünü büyük ölçüde arttıran izolasyon dolgu maddesi içermektedirler [19].

İnşaat sektöründe eps dolgulu, Poliüretan dolgulu, Taş yünü dolgulu cephe ve çatı panellerinde kullanılmaktadır. Sandviç malzemelerin kullanımı gün geçtikçe artmakta hayatımızın pek çok önemli kesimine girmektedir. Gelecekte çok daha fazla alanda kullanılacak olan bu malzemeye güven ancak mühendislik kurallarına ve hesaplamalarına uyum ile sağlanabilecektir. Bu yüzdendir ki sandviç malzemenin farklı yapıları arasındaki uyumlar çok önemlidir. Yukarıda sunulan ilişkiler, sandviç dizaynında temel olabilecek niteliklerdir. Bu temel niteliklerin ihmal durumunda pek çok istenilmeyen sonuçla karşı karşıya kalabiliriz; hele ki bu yapıların denizcilik endüstrisinde kullanıldığını ve deniz ortamının sürekli değişkenlik arz ettiğini düşünecek olursak, insan hayatını tehlikeye sokabilecek sonuçların doğabileceğini tahmin etmemiz zor olmaz [18].

2. BÖLÜM

YAPIŞMA

Bir yapıştırıcı (adhesive) ASTM tarafından, “yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutabilen madde” olarak tanımlanmıştır [22]. Yapışma olayı, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasında meydana gelen adhezyon ve yapıştırıcının kendi içinde meydana gelen kohezyon kuvvetleri neticesinde oluşan fiziksel ve kimyasal bir olaydır [23].

İyi bir yapışma için yapıştırıcı kalınlığının 0.05 mm ila 0.15 mm arasında olması beklenirken yapışma uzunluğu problemin durumuna göre değişiklik arz edebilir. Sık ve kolay sökülme gerekiyorsa, cıvata kullanımı ideal ve genellikle de çok güvenilir bir birleştirme yöntemidir. Fakat bazı durumlarda cıvatalar gevşeyebilir ve bir şekilde emniyete alınmaları gerekir.

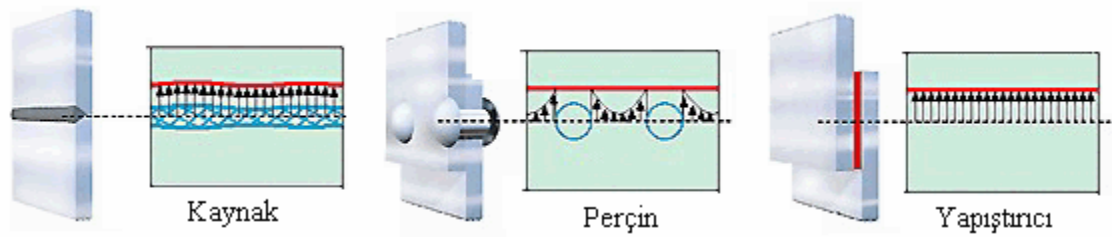
Cıvata veya perçin kullanmak için delik açılması gerekir, bu da parçaları zayıflatır. Birleşim yük altına girdiğinde, açılan deliklerin etrafında gerilim yoğunlaşması meydana gelir. Bu durum erken malzeme yorgunluğuna neden olabilir (Şekil 2.1). Dolayısıyla, bu tür bağlantı elemanları kullanıldığında sağlamlığın sağlanabilmesi için malzeme kalınlığının artırılması gerekir. Ayrıca, cıvata veya perçin delikleri korozyon tehlikesini artırır. Bu sebepten çoğunlukla karmaşık ve pahalı olan yalıtım veya yüzey koruma işlemlerine gerek duyulur. Eğer farklı metaller birleştiriliyorsa, galvanik korozyon ve farklı genleşme görülebilir.

Malzemelerin yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmesi, mekanik bağlantı elemanları kullanılmasına kıyasla önemli avantajlar sağlar. Yapıştırıcı yük ve gerilimi tüm birleşim yüzeyine yayarak statik ve dinamik yüklerin düzgün dağılmasını sağlar, gerilimin belli noktalarda yoğunlaşmasını engeller. Dolayısıyla yapıştırıcı ile gerçekleştirilmiş bir

bağlantı, bükülme ve titreşime, mekanik yöntemle (örneğin perçin) yapılan bir bağlantıdan daha dayanıklıdır.

Kaynak ve lehim normalde yalnızca benzer malzemelerde mümkündür. Sökme mümkün değildir veya çok zordur. Kaynak ve lehim işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklık istenmeyen gerilmelere neden olur, bunun sonucunda parça yorgunluğu (Şekil 2.1) ve parçaların metal yapısında bozulma meydana gelebilir

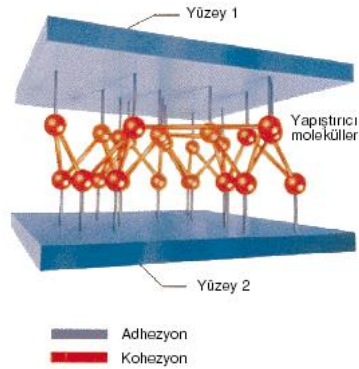
Yapıştırıcı aynı zamanda birleşim yerinin sızdırmazlığını da sağlar, böylece mekanik yöntemlerle birleştirilmiş parçalarda görülebilen korozyonu engeller. Yapıştırıcı, düzgün olmayan yüzeylerin birleştirilmesini de kolaylaştırır. Parça boyutlarında veya şeklinde çok az (veya hiç) değişiklikle daha hafif birleşimler elde edilir [24].



Şekil 2.1. Yüzey birleştirme yöntemleri gerilme dağılımları.

2.1. Adhezyon

“Adhezyon” iki maddenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvvetidir. “Van der Waals kuvvetleri” olarak adlandırılan çekim ve yüzeye tutunma fiziksel kuvvetleri yapışmada en önemli faktördür. Eğer yapıştırıcı, mekanik olarak işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlere tam olarak temas edemezse, bu moleküller arası kuvvetler oldukça zayıflar. Bu nedenle yapıştırıcının yüzey pürüzlerine tam olarak nüfuz etmesi ve bütün yüzeyi ıslatması gerekir. Dolayısıyla, yapıştırmanın kuvveti hem yüzeyin ıslatılmasına (maksimum moleküller arası temas için), hem de yüzeyin yapışma özelliklerine bağlıdır. Belirli bir yapıştırıcı yüzey gerilimi için ıslatma, yapıştırıcı sürülen yüzeyin yüzey gerilimine ve yapıştırıcının viskozitesine bağlıdır. Yüzeyde kirlerin bulunması da ıslatmayı olumsuz etkiler. Şekil 2.2 yapıştırma bölgesinde meydana gelen kuvvetleri göstermektedir [23].



Şekil 2.2. Yapıştırma ek yerindeki kuvvetler

Yapışma (adhesion) olayı için bu güne kadar farklı teoriler ortaya atılmıştır (Houwink ve arkadaşları, 1965 ve Wake, 1986) ve bunlardan önemli olan bir kaçına kısaca bakmak faydalı olacaktır [25, 26].

2.1.1. Mekanik teori

Yapıştırılan malzemeler ile yapıştırıcı fazının mekanik olarak birbirine geçirilmesi ile yapışarak bileşenin oluşacağını ifade eder. Çeşitli aşındırma metotları ile yüzey pürüzsüzlüğünü (birbirine geçebilme derecesini) arttırmanın birleşme dayanımını arttırmasına rağmen genellikle bunun tek bir mekanizma olamayacağı kabul edilir.

2.1.2. Difüzyon Teorisi

İki komşu faz arasında molekül alışverişini kabul eder. Bu olay benzer polimerler arasında gerçekleşmesine rağmen, polimer ve metal ara yüzeylerinde nadiren olabilecek bir durumdur.

2.1.3. Adsorpsiyon Teorisi

Komşu yüzeylerin molekülleri arasındaki Vander walls kuvvetlerinin çekimiyle oluştuğunu ifade eder. Bu kuvvetlerin iki önemli tipi mevcuttur. İlki, bazı moleküllerde bulunan pozitif ve negatif şarj merkezlerinin daimi olarak ayrılması ile oluşan dipollerden (iki manyetik kutba sahip nesne) dolayı ortaya çıkar. İkincisi ise Londondispersive (dağılma) kuvvetleri olarak isimlendirilir ve bir moleküldeki şarj mevkisindeki ani bir yer değişiminin komşu molekülleri de etkileyerek bir çekime sahip olması neticesinde ortaya çıkar. Her iki kuvvette yalnızca moleküller arası mesafenin 10^{-10} dan daha düşük olduğu zaman önemlidir ve iyi bir yüzey teması ihtiyacı gösterir.

2.1.4. Elektrostatik Teori

Adsorpsiyon teorisine benzerdir. Çekim kuvveti farklı iki malzeme temas ettiği zaman oluşan elektriksel dolmadan dolayı oluşur.

2.1.5. Kimyasal Teori

Bazı şartlar altında esas bağların yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemeler arasında daha yüksek bağ dayanımlarına neden olabileceğini ifade eder.

2.2. Kohezyon

Yapıştırıcıyı meydana getiren kütle bileşenlerinin, yapıştırıcının polimerizasyonu esnasında meydana gelen kimyasal (bağ kuvvetleri) ve fiziksel (Van der Waals kuvvetleri) kuvvetler tarafından bir arada tutulması olayıdır. “Kohezyon”, yapıştırıcı molekülleri arasında bulunan ve yapıştırıcıyı bir arada tutan kuvvettir.

2.2.1. Van der Waals Bağı

Küçük yada büyük bir molekül için düşünüldüğünde, molekülün farklı yüklerine tesadüf eden pozitif ve negatif kutuplar bulunabilir. Böylece her molekülden ibaret küçük miktatılar ortaya çıkar. Burada aynen miktatılarda olduğu gibi, çeşitli dipoller elektromanyetik kuvvetlerle birbirlerine kenetlenmektedir. Bu arada oluşan bağlar Van der Waals bağı olarak adlandırılmaktadır. Bu oluşan Van der Waals bağları diğer bağlar kadar kuvvetli değildir.

2.2.2. Kovalent Bağ

Atomlar arasında elektron köprüleri kurularak kenetlenmeleri durumunda oluşur. Buradaki kuvvetler, ortak kullanılan elektronların kendi eksenleri etrafında birbirlerine zıt yönde dönmesinden dolayı ortaya çıkan elektromanyetik kuvvetlerdir. Zıt yönde dönen elektronların oluşturduğu elektromanyetik alanlar, birbirlerini bir miktatısın artı ve eksi kutupları gibi çekerler.

Bir zincirin kuvvetinin en zayıf halkası tarafından belirlenmesi kuralına uygun olarak, yapıştırma işleminde adhezyon ve kohezyon kuvvetleri yaklaşık eşit olmalıdır. Kohezyon kuvvetleri daha ziyade yapıştırıcı malzemenin sahip olduğu özellikler ile ilişkili bir durumdur. Fakat adhezyon kuvveti aşağıdaki uygulamalar ile arttırılabilir.

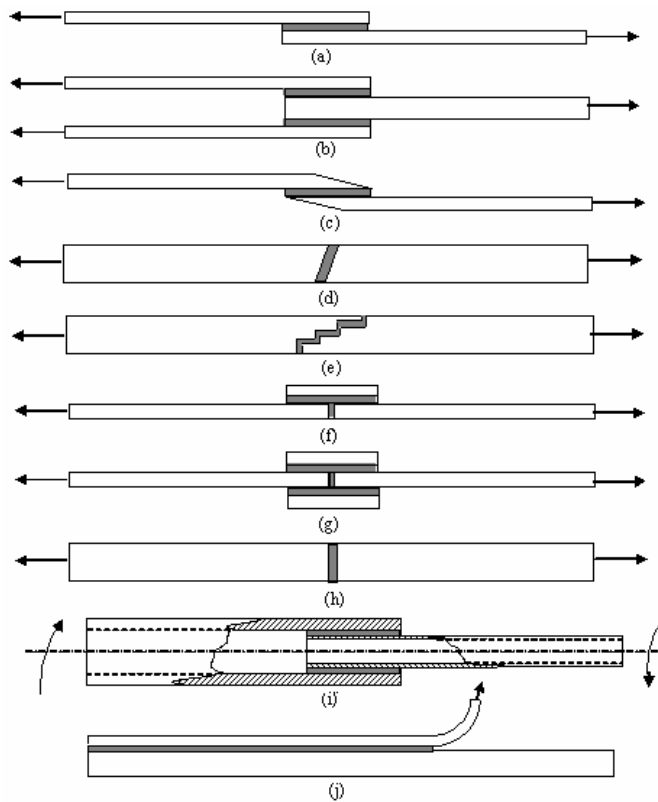
- Yağ alma veya mekanik aşındırma ile istenmeyen yüzey tabakalarının temizlenmesi,
- Primer ile kaplayarak yeni, aktif bir yüzey oluşturulması,
- Aşındırma, korona işlemi, düşük plazma işlemi vs. ile yüzey aktivitesinin değiştirilmesi.

Uygun bir yüzey hazırlığı adhezyon kuvvetini ve yapışma performansını belirgin ölçüde arttırmaktadır. Doğru şekilde yüzey hazırlığı yapılmış bir parça, temiz, mekanik olarak üzgün ve uygun pürüzlülükte bir yüzeye sahiptir. Bu şekilde hazırlanmış bir yüzey, sağlam ve uzun ömürlü yapışmanın garantisidir.

2.3. Yapıştırıcı Çeşitleri

Yapıştırıcı çeşitleri 1. Bölümde sandviç kompozit bileşenleri, yapıştırıcılar alt bölümünde anlatılmıştır.

2.4. Yapıştırıcı ile Birleştirme Biçimleri



Şekil 2.4. Bazı yaygın yapıştırma bağlantı tipleri, (a) tek tesirli bindirme, (b) çift tesirli bindirme, (c) boyun bindirme, (d) açılı bindirme, (e) teraslama, (f) tek takviyeli bindirme, (g) çift takviyeli bindirme, (h) alın bağlantı, (i) silindirik bindirme, (j) soyulma [27].

2.5. Yapıştırıcı Kullanılacak Yüzeylerin Hazırlanması

Yapıştırma bağlantıları, yapıştırıcı ve yüzeyler arasında tam temas olmamasından olumsuz etkilenirler. Başarılı bir yapıştırma için tasarımda, uygun bir yüzey hazırlama yöntemi belirlenmelidir. Tatmin edici bir yüzey hazırlığı yapılmadığı takdirde; bağlantı, yapıştırıcı-yüzey temas bölgesinden kopacaktır. Doğru yüzey hazırlama yapıldığında, yapıştırıcı ve/veya astardan beklenen kuvvet elde edilebilecek ve kopmalar yapıştırıcının kohezyon kuvvetinin asılması ve yapıştırıcı tabakasının ikiye ayrılması şeklinde olacaktır. Yüzey hazırlama, yalnızca yapıştırma bağlantısının başlangıçtaki dayanımı için değil, aynı zamanda uzun süreli dayanımı için de çok önemlidir.

2.6. Yüzey Hazırlama Metotları

En çok kullanılan yüzey hazırlama metotları;

- Çözücüyle silme
- Buharla yağ giderme
- Aşındırma
- Buharla honlama
- Ultrasonik temizleme
- Kimyasal çözelti ile temizleme
- Diğer kimyasal ve mekanik metodlar [28].

2.7. Literatür Araştırmaları

Arslan ve Kaman [29], metal (ticari alüminyum, bakır) ve metal dışı (cam elyaf ve kâğıt/polyester kompozit) malzemelerden üretilmiş farklı et kalınlıkları ve hücre boyutuna sahip petek yapılı panellerin mekanik testlerini yapmışlardır. Deneyler sonucu petek yapılı kompozitlerin, maksimum dayanım, kırılma ve deformasyon değerleri ve enerji absorbe özelliklerini basma ve çarpma yükleri altında elde etmişlerdir. Petek yapılı hücrelerin farklı hücre boyutu ve malzeme seçimi birlikte ele alınarak, optimum değerler bulmuşlardır. Özellikle uzay, otomotiv ve savunma sanayinde pratik uygulamalar için çeşitli ipuçları sunmuşlardır.

Şakar ve arkadaşları [30], Ansys paket programını kullanarak bal peteği sandviç kompozit yapıların serbest titreşim analizini deneysel ve nümerik olarak yapmışlardır. Ürettikleri sandviç kirişlerin serbest-serbest ve ankastre-serbest sınır şartlarındaki doğal

frekansları ve bunlara karşılık gelen titreşim biçimlerini belirlemişlerdir. Çalışmalarında sandviç yapıyı oluşturan alt ve üst kompozit levhaların fiber yönlenmelerinin ve çekirdek yüksekliğinin doğal frekanslar üzerinde en etkili parametreler olduğunu belirlenmişlerdir. Sandviç yapıyı oluşturan levha kalınlıklarının da dinamik yüklemelere maruz sandviç kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gerekli parametreler olduğunu gözlemlemişlerdir.

Göde [31], yaptığı çalışmada savaş uçaklarında kullanılan bal peteği sandviç yapıların hasar tespiti ve onarımları hakkında teorik bir çalışma yapmıştır. Ülkemizdeki savaş uçaklarında kullanılan fiberglas bal peteği ve metal bal peteği yapıların onarım yöntemleri hakkında geniş bilgiler vermiştir.

Ural ve arkadaşları [32], çalışmalarında bal peteği sandviç panellerdeki yapıştırıcı bağı değerlendirmişler ve farklı yüzey örtüsü kalınlıkları ve çekirdek malzemeleri için farklı değerler elde ederek karşılaştırmışlardır. Bir bal peteği sandviç panelin makroskobik malzeme özellikleri hücre geometrisi, hücre boyutu, hücre duvar kalınlığı, yüzey örtüsü malzemesi ve yüzey örtüsü kalınlığına bağlıdır. Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler göstermiştir ki 24 katlı yüzey örtüsü numunelerin bağı 32 katlı bal peteği sandviç kompozitinkine göre daha zayıf bağlar içermektedir.

Özdemirli [33], sandviç bir plağın anlık basınç yükü altındaki dinamik davranışları deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada dört kenarından ankastre ve konsol sınır şartları altında plak üzerine anlık basınç yükleri etki ettirilerek plak üzerinde iki noktadan basınç ve birim uzama değerlerini ayrı ayrı ölçmüştür. Aynı zamanda kompozit plağın ANSYS yazılımı ile sonlu eleman modelini oluşturarak deneyde elde edilene benzer anlık basınç yükleri altında geçici (transient) analizleri gerçekleştirmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar karakter itibariyle benzemekle birlikte sayısal değerler bakımından bazı uyumsuzlukların olduğunu belirlemiştir. ANSYS analiz sonuçlarında, deney sonuçlarına kıyasla daha fazla sayıda titreşim görülmektedir.

Öztürk [17], çalışmasında sandviç kompozitin arasına nasıl bir petek yapı kullandığında optimum değerlere ulaşılacağını analiz etmiştir. Sonuç olarak sonlu elemanlar metodu ile sandviç kompozitlerde değişik yükleme durumundaki davranışlarını inceleyerek bir modelleme yapmıştır.

Hexcel firması petek yapılı kompozit üretimi için hexagonal, OX, flex, tüp vb. hücre tipleri kullanmıştır. Malzeme olarak cam fiber ve alüminyum seçilmiştir. Petek yapılardan üretilen sandviç levhalarda çekirdek et kalınlığının mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Yine aynı firmanın TSB 122 no'lu bülteninde ifade edildiği gibi, enerji absorbe eden sistemlerde kullanılan petekli yapıların tipinin seçiminde tasarım parametreleri verilmiştir. Petekli yapıların özellikle çarpma yükü altındaki dinamik etkileri araştırılmıştır [34].

Cao ve diğerleri [35], üç boyutlu boşluklu yapıdaki sandviç kompozitlerin darbe sonrası sıkıştırma özelliklerinin incelenmesi üzerine çalışmışlardır. Üç boyutlu boşluklu yapıdaki sandviç kompozitler hazırlanmış ve test edilmiştir. Düşük hızlı darbe sonrası sıkıştırma hasarının oluşturulması işlemi, görüntü gözleme yoluyla araştırılmıştır. Test sonuçları, darbe hasarının sandviç kompozitlerin sıkıştırma direncini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Darbe enerjisinin artması ile darbe sonrası sıkıştırmanın azaldığı tespit edilmiştir. Kompozitin sıkıştırma hasarı esas olarak ön üst katman tarafından kontrol edilmektedir ve ön üst katman bölgesinin eğilmesine neden olan yük, kompozit sıkıştırma hasarı yüküne hemen hemen eşit olmaktadır. Dış örtü, yalnızca kompozitin darbe hasarını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda hasarın kolaylıkla fark edilebilecek şekilde yüzeyde kalmasını sağlamaktadır.

Kaya [4] vakum torbalama tekniği kullanarak ürettiği kompozit panelleri çekme, eğilme, basma, batma ve darbe testlerine tabi tutmuştur. Petek yapıya eklenen dolgu malzemeleri ile petek yapının avantajlarının birleştirilerek mukavemet/ağırlık oranlarında ciddi iyileştirmeler sağlamış, özellikle petek yapı içerisine doldurulan köpük malzemenin basma testlerinden çıkan sonuca göre ağırlık 2 kat artmış ancak mukavemet 5 kat artmıştır.

Belevi ve İnançer [36], hibrit kompozitlerin sıcaklık ve artan darbe enerjisi altındaki darbe davranışlarını incelemiştir. Sonuçları irdelediklerinde farklı sıcaklık ve vurucu hızlarında kompozit malzemelerin davranışlarının değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Yiğit [37], alüminyum dikdörtgen şeklindeki bal peteği sandviç yapısındaki kompozitin, serbest titreşim analizi nümerik olarak yapmıştır. Farklı konfigürasyonlarda ki sandviç kirişlerin ankastre – serbest sınır şartlarındaki doğal frekansları, titreşim biçimleri, sönüm oranları belirlemiştir. Sandviç yapıyı oluşturan yüzey plaka kalınlıklarının ve

sandviç yapısının kalınlığının titreşim karakteristiklerine ve sönüm oranına etkileri incelemiştir. Nümerik analizleri ANSYS paket programı ile yapmıştır. Sandviç yapı kalınlığı arttıkça, sönüm oranının ani olarak yükseldiğini ve yüzey levha kalınlığı arttıkça, sönüm oranının azaldığını tespit etmiştir.

Turan [38], çalışma şartlarına göre çok değişik yüklere maruz kalabilen kompozitler için çalışmalar yapmış ve yüksek hızlı darbe durumundaki kompozit malzeme hasarlarını değerlendirmiştir.

Tengiz [39], katmanlı çekirdekli sandviç plakların anlık basınç yüküne cevabı deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Sayısal çalışmasını Ansys sonlu elemanlar yazılımı ile gerçekleştirmiştir ve elde edilen sonuçları deneysel sonuçlarla kıyaslamıştır. Sandviç plağın serbest titreşim test ve analiz sonuçlarını karşılaştırdığı zaman plağın 1.moda karşılık gelen doğal frekansının yaklaşık % 1.7' lik bir farkla elde edildiğini görmüştür. z-yönündeki yer değiştirmelerinde en baskın modun 1. mod olduğu ve serbest titreşim testinde 1.modun elde edilmesini yeterli görmüştür.

Bekem ve arkadaşları [40], çalışmalarında bal peteği sandviç kompozitlerin mekanik özelliklerini Al-Al ve prepreg-Nomex sandviç kompozitler üzerinde test ederek değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak üretim yöntemi ve çekirdek yapısının sandviç panel davranışında önemli birer parametre olduğunu ortaya koymuşlardır.

Engin [41], çalışmasında sandviç yapıların darbe davranışları deneysel olarak incelemiştir. Darbe deneyleri alt ve üst yüzey levhaları alüminyum, çekirdek kısmı ise nomex olan numuneler için farklı enerji değerlerinde yapmıştır. Deneylerde 4 farklı sandviç yapı kullanmıştır. Bu sandviç yapılarda kullanılan alt ve üst levha kalınlıkları (t_1) 0,5-0,7-1 ve 1,2 mm çekirdek malzeme kalınlığı (t_2) ise 5 mm'dir. Darbeye uğramış numunelerin hasar mekanizmalarına ilişkin değerlendirme ve yorumlar yapmıştır. Aynı levha kalınlığında enerji miktarı arttıkça alt ve üst yüzey levhada oluşan deformasyon miktarının arttığını ve enerji miktarı arttıkça temas kuvveti ve maksimum temas süresinin artmakta olduğunu görmüştür. Aynı enerji seviyelerinde levha kalınlığı arttıkça temas kuvveti artmakta, darbe süresi ise azalmaktadır.

Qiao ve Yang [42], fiber takviyeli tabakalı alt ve üst yüzey elamanlarına ve sinüzoidal geometriye sahip bal peteği çekirdek yapıya sahip sandviç kompozitlerin çeşitli değişkenler için titreşim ve darbe davranışlarını teorik olarak hesaplamışlardır. Bu

analizleri yaparken yüksek dereceli kiriş teorisi kullanmışlar, buradan elde edilen sonuçları Abaqus ve Ls-Dyna yazılımları ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Sayer ve Bektaş [43], karbon cam elyaf/epoksi kompozitlerin sıcaklık ve artan darbe enerjisi altındaki darbe davranışlarını incelemiştir. Farklı sıcaklık ve darbe yüklerinde kompozitlerin davranışlarının değiştiği sonucuna ulaşmışlardır.

Foo ve diğerleri[44], alüminyum bal peteği sandviç yapıların düşük hızlı darbeye maruz kalması durumunda yüzeyde ne tür hasarlar oluştuğunu incelemiştir. İncelemelerini Abaqus programını kullanarak yapmışlardır. Bu modelleme yaklaşımı çarpışma hasarının yapı içinde yayılmasını etkileyen parametrelerin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Alüminyum alaşımlarının deformasyon sertleşmesi davranışı ve bal peteği çekirdeğinin yoğunluğunun darbe davranışını etkilediği gösterilmiştir.

Ercan [45], bal peteği sandviç yapı teknolojileri, üretim yöntemleri hakkında bilgiler vermiştir. Ayrıca bal peteği sandviç yapıların tahribatsız muayene yöntemleri, sandviç yapıların tamir yöntemleri ve teknikleri hakkında detaylı bilgiler sunmuştur.

Meo ve diğerleri [46], düşük hızlı darbe etkisine maruz bırakılan sandviç yapının darbe enerji sönümlemesini ve darbe hasarını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlar ve sayısal sonuçlarla deneysel sonuçların uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

Karakuzu [47], tabakalı kompozit plakaların düşük sıcaklıklarda, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda farklı darbe enerjilerinde deneylerini yapmıştır. Farklı değerlerdeki darbe yükleri ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak deney numunelerini birbirleriyle karşılaştırarak kompozitlerde farklı deplasman ve hasar değerleri gözlemlemiştir.

Alpaydın [48], yüzeyleri aramid elyaf, çekirdek malzemesi bal peteği olan sandviç plakanın; düşük hızlı darbe yükü etkisinde oluşan dinamik cevabını sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Deneyler ve analizler öncelikle malzeme özellikleri bilinen alüminyum plaka ile gerçekleştirilmiştir. Burada amaç, mekanik özellikleri bilinen izotropik malzeme ile yapılan analizlerin doğrulanmasıdır. Elde ettiği sonuçları sandviç yapının sonuçları ile karşılaştırmıştır. Sandviç plak ile aynı kütlede alüminyum plak analizlerini karşılaştırdığında çok daha ince olan alüminyum plakta darbe sonucu birim

uzama değerlerinin daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Sandviç yapı kullanımını ile daha hafif ve dayanımı yüksek sistemler elde edilebileceği yorumunu yapmıştır.

Leijten ve diğerleri [49], sandviç yapılarda düşük hızlı darbe yükünü deneysel olarak incelemiştir. Çalışmalarında, kullandıkları numunelerin darbe sonrası basma dayanımlarını incelemişler ve çekirdek malzeme hasarının basma dayanımı üzerinde önemli bir değişime neden olmadığını göstermişlerdir.

Wang [50], petekli yapının darbe yükü üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, petekli yapının yoğunluğunun artırılarak yapının enerji absorbe etme yeteneğinin artırabileceğini belirtmiştir.

Eren [51], çalışmada alüminyum-termoplastik kompozit panel kullanmıştır. Darbe testini sabit ağırlıkta ve farklı yüksekliklerde yapmıştır. Deneysel sonuçları karşılaştırarak kullandığı kompozit malzemenin hasara uğraması için gerekli darbe yükü sınırını belirlemiştir.

Bolat [52], petek yapılı sandviç kompozit yapıların titreşim analizlerini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Bunun için farklı konfigürasyonlarda sandviç kompozit kirişler üretmiş, üretilen bu sandviç kirişlerin ankastre-serbest sınır şartlarındaki doğal frekansları ve titreşim biçimleri belirlemiştir. Sandviç yapıyı oluşturan alt ve üst yüzey tabaka kalınlıklarının yanı sıra çekirdek malzemenin kalınlığının ve folyo kalınlığının titreşim karakteristiklerine olan etkileri incelemiştir. Nümerik analizleri Ansys paket programı ile yapmıştır. Deneysel olarak elde edilen sonuçlarla, nümerik olarak elde edilen sonuçların karşılaştırılmasını yapmıştır. Folyo kalınlığının, malzemenin elastisite modülü ve yoğunluğu üzerinde etkili olduğunu gözlemlemiştir. Folyo kalınlığı arttıkça elastisite modülünün arttığını; buna bağlı olarak frekans değerlerinin arttığını gözlemlemiştir. Hücre yüksekliğinin sandviç yapının doğal frekansları üzerinde en etkili parametre olduğunu ve hücre yüksekliği arttıkça frekanslarda artma olduğunu belirtmiştir.

Şenel [53], özgün bir tasarım olarak düşük hızlı darbe test düzeneği imal etmiştir. Diğer standart test cihazlarından farklı olarak numune üzerine ön yükleme verilmesini sağlamıştır. Bu şartlar altında öncelikle yüksüz numuneler üzerinde darbe deneyleri yapmış daha sonra ön yükleme şartlarında deneylere devam etmiştir. Yaptığı deneylerde ön yüklemelerin numuneler üzerindeki etkisini incelemiştir. Ayrıca vurucu ucu

değiştirerek değişik geometrilerin numuneler üzerinde oluşturduğu hasarları incelemiştir.

Kılıçaslan ve Odacı [54], düşük hızlarda darbeye maruz kalan plakalarda oluşan hasarı yaptıkları çarpışma testleriyle irdelenmişlerdir. Deneylerde elde ettikleri verileri sonlu elemanlar simülasyonları ile kıyaslamışlardır.

Hazizan ve Cantwell [55], bir alüminyum bal peteği sandviç kompozitin düşük hızda darbe davranışı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Düşey ağırlıklı bir darbe test cihazı kullanarak, iki alüminyum sandviç kompozit yapısının düşük hızda darbe davranışlarını incelemiştir. Cam fiber katkılı/epoksi yüzeyli ve alüminyum çekirdekli kompozitlerin deformasyon hızı duyarlılığını bir takım bükülme, kayma ve ezilme testleri ile araştırmışlardır.

Uyaner ve arkadaşları [56], çalışmalarında düşük hızlı darbeye maruz kalmış tabakalı kompozitlerde plaka boyutlarının oluşan hasara etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak numune genişliği arttıkça temas kuvvetinin arttığı ve malzeme üzerinde deney numuneleri üzerinde kalıcı yer değiştirme miktarının azaldığını gözlemlemiştir.

Danacıoğlu [57], çalışmasında, içi boş alüminyum Ø8, Ø10 ve Ø12 mm çaplarında ki borulardan 6 cm uzunluğunda parçalar kesmiştir. Kesilen parçaların yüzey temizliği yapıldıktan sonra çift bileşenli metal-metal yapıştırıcı ile birleştirmiştir. Birleştirdiği boruları 10 mm kalınlığında kestikten sonra 1 mm alüminyum yüzey örtüsü ile yine çift bileşenli metal-metal yapıştırıcı ile alt ve üst yüzeylerini kapatmıştır. Elde ettiği 10 mm kalınlığında alt ve üst yüzey örtülü kompozit malzemeyi düşük hızlı darbe deneylerine tabi tutulmuştur. Her bir çapta numuneler 2 m/s, 3 m/s ve 5 m/s vurucu hızlarında yüklemelere maruz bırakılmış ve elde ettiği temas kuvveti-zaman, kinetik enerji-zaman, deplasman-zaman, temas kuvveti-deplasman grafiklerini irdelenmiş ve malzeme hasarları ile kıyaslamıştır. Düşük çaplı numuneleri daha rijit bulmuştur.

Heimbs ve arkadaşları [58], katlamalı birim hücreli sandviç kompozit üzerinde basma ve düşük hızlı darbe deneyleri sonucu elde edilen veriler ile nümerik modelleme sonuçlarını kıyaslamışlardır. Hasar gören numuneleri ultrasonik tarayıcıda analiz ederek hasar boyutu ve kuvvet-zaman grafiklerini değerlendirmişlerdir.

Önal [59], çalışması için farklı konfigürasyonlarda sandviç malzemeler üretmiş, ürettiği bu sandviç yapıların ankastre-serbest sınır şartlarındaki doğal frekansları, titreşim biçimleri ve sönüm oranlarını belirlemiştir. Çekirdek malzeme olarak balsa odunu, alt ve üst tabakalar için ise cam elyaf seçmiştir. Çekirdek ve tabaka kalınlıklarının yanı sıra cam elyaflara ait yönelme açılarının titreşim karakteristiklerine olan etkilerini incelemiştir. Nümerik analizleri ANSYS paket programıyla yapmıştır. Deneysel olarak elde ettiği sonuçlarla, nümerik olarak elde ettiği sonuçların karşılaştırılmasını yapmıştır. Sonuç olarak; Sandviç yapıların frekanslarını ve sönüm oranlarını etkileyen parametrelerin; çekirdek kalınlığı, tabaka sayısı ve yönelme açısı olduğu; cam elyaf tabaka sayısı artmasının sistemin sönüm oranını azalttığı ve sönüm oranı için optimum bir değerin varlığının önemi bulgularının başında gelmektedir.

3.BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal ve Yöntem

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozitlerin üretilmesinde ve düşük hızlı darbe davranışlarının incelenmesinde aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

- Deneý için hazırlanacak numunelerin bilgisayar ortamında yapım aşamalarının hazırlanması,
- Deneýde kullanılacak alüminyum boruların temin edilmesi, uygun boyutlara getirilmesi ve yapıştırılması,
- Üst-alt plaka olarak kullanılacak cam fiber numunelerin üretilmesi,
- Fractovis Plus düşük hızlı darbe test cihazı ile deneýlerin yapılması.

Alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozitimizin çekirdek yapısı için Ø6, Ø8 ve Ø10 mm çaplarında alüminyum borular, yüzey malzemesi olarak cam fiber plakalar ve yapıştırıcı olarak epoksi türü Araldite 2015 yapıştırıcı seçilmiştir.

3.2. Kullanılan Malzemeler

Çalışmamızda:

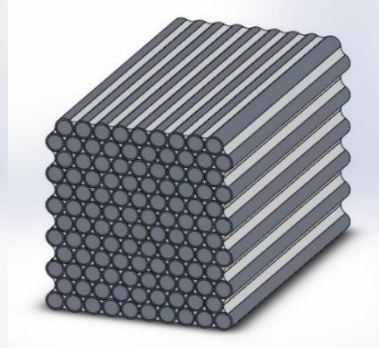
- (60, 200, 70) mm ve (64, 200, 70) mm ölçülerinde iki adet kalıp,
- 1mm et kalınlığında Ø6, Ø8, Ø10 mm çaplarında alüminyum borular,
- Araldite 2015 yapıştırıcı,
- Cam fiber plakalar kullanılmıştır.

3.3. Çalışmanın Üretim Aşamaları

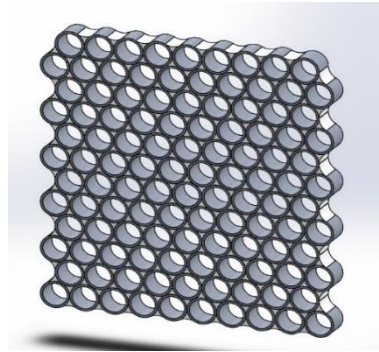
Tez çalışmamızda Alüminyum boru bal peteği çekirdeğe sahip Sandviç kompozit yapıların üretim aşamaları görsel olarak Şekil 3.1' de verilmiştir.



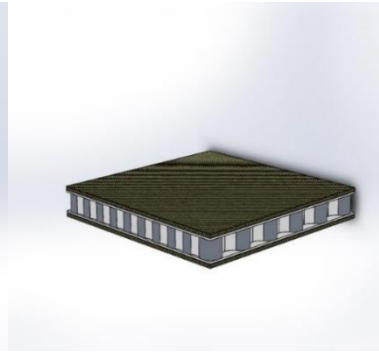
a) Al boru



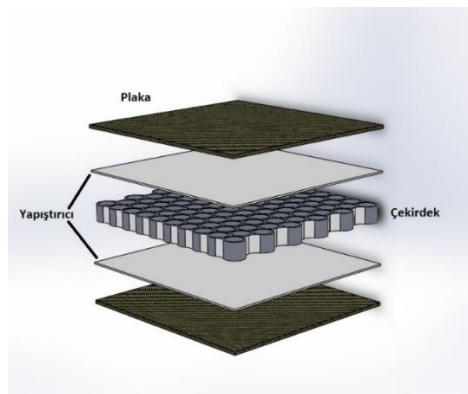
b) Üstüste yapıştırılmış Al borular



c) 10 ve 20 mm kalınlığında kesilmiş bal peteği çekirdek yapı



d) Cam fiber plakaları yapıştırılmış Al çekirdek yapıli sandviç kompozit



e) Bal peteği sandviç yapı elemanları

Şekil 3.1. 3-Boyutlu katı modelleme programında hazırlanan sandviç kompozitin yapım aşamaları.

3.4. Alüminyum boru esaslı balpeteği sandviç kompozitin çekirdek yapısının oluşturulması

Deneysel çalışmada; silindirik, 1 mm et kalınlığına sahip, Ø6, Ø8, Ø10 mm çaplı alüminyum borular kullanılmıştır.

Çalışmamızda alüminyum tercih etme sebebimiz:

- Alüminyum hafiftir, aynı hacimdeki bir çelik malzemenin ağırlığının ancak üçte biri kadar ağırlıktadır.
- Alüminyum, hava şartlarına, yiyecek maddelerine ve günlük yaşamda kullanılan pek çok sıvı ve gazlara karşı dayanıklıdır.
- Çeşitli alüminyum alaşımlarının mukavemeti, normal yapı çeliğinin mukavemetine denk veya daha yüksektir.
- Alüminyum elastik bir malzemedir. Bu nedenle ani darbelere karşı dayanıklıdır. Ayrıca, dayanıklılığı düşük sıcaklıklarda azalmaz. (Çeliklerin, düşük sıcaklıklarda ani darbelere karşı mukavemeti azalır.)
- Alüminyum, işlenmesi kolay bir metaldir. Öyle ki, kalınlığı 1/100 mm. den daha ince olan folyo veya tel haline getirilebilir.

Tablo 3.1 Çalışmada kullanılan boru malzemesi alüminyumun genel özellikleri.

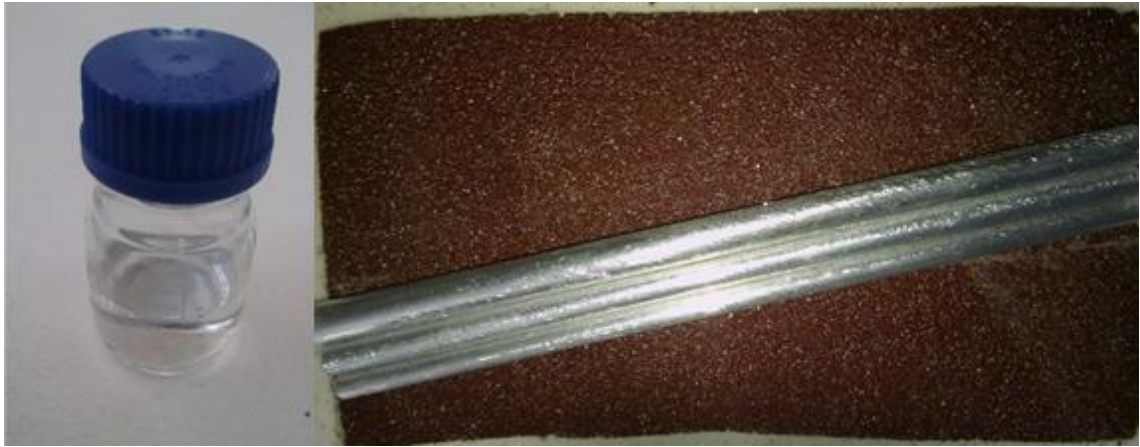
Özgül Ağırlık (kg/m³)	2710
Akma Dayanımı (kg/mm²)	12
Kesme Dayanımı (kg/m³)	11,5
Çekme Dayanımı(kg/mm²)	15,5
Elastisite Modülü (kg/mm²)	6900
% Uzama (500 mm) (mm/mm²)	8

- Alüminyum borular temin edildikten sonra Şekil 3.2’de görüldüğü gibi testere ile kesilerek 200 mm uzunluğuna getirildi.



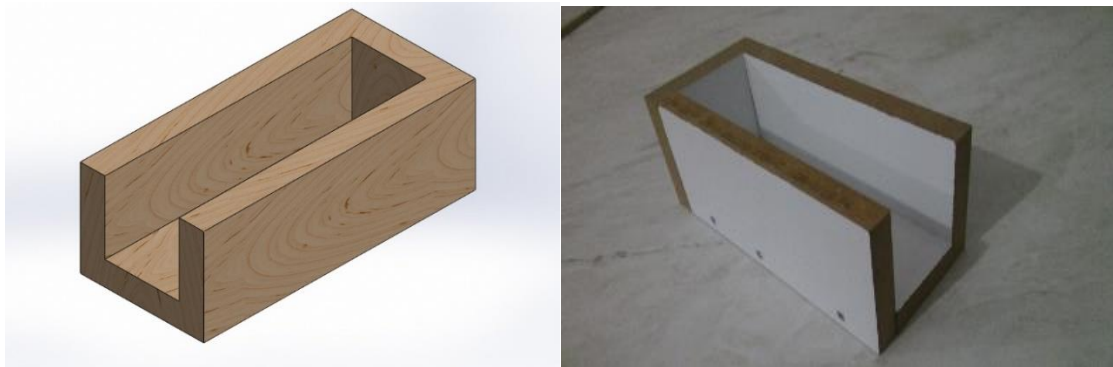
Şekil 3.2. 200 mm uzunluğunda kesilen silindirik Al boru.

- Şekil 3.3'deki gibi tüm borular asetonla temizlendikten sonra zımparalama işlemi uygulandı.



Şekil 3.3. Asetonla temizleme ve zımparalama.

- Borular çaplarına göre kalıplarında sırayla dizilerek Şekil 3.5'deki gibi yapıştırma işlemi yapıldı ve kurumaya bırakıldı.

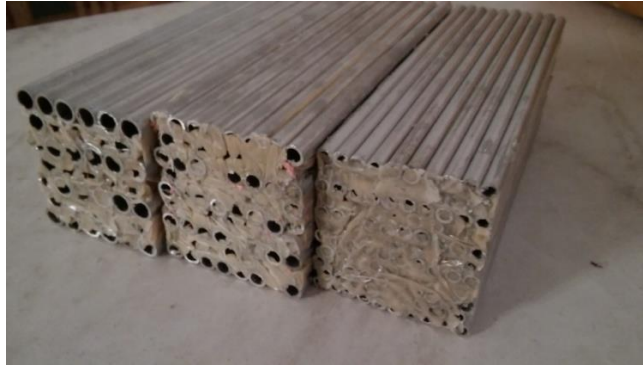


Şekil 3.4. Sandviç kompozit yapının oluşturulacağı kalıp.



Şekil 3.5. Boruların kalıplara dizilimi ve yapıştırılması.

- Kuruma sonrası Şekil 3.6'da görüldüğü gibi $\text{Ø}6$, $\text{Ø}8$, $\text{Ø}10$ mm çaplarda oluşturulan sandviç yapılar tahta kalıptan çıkarıldı.

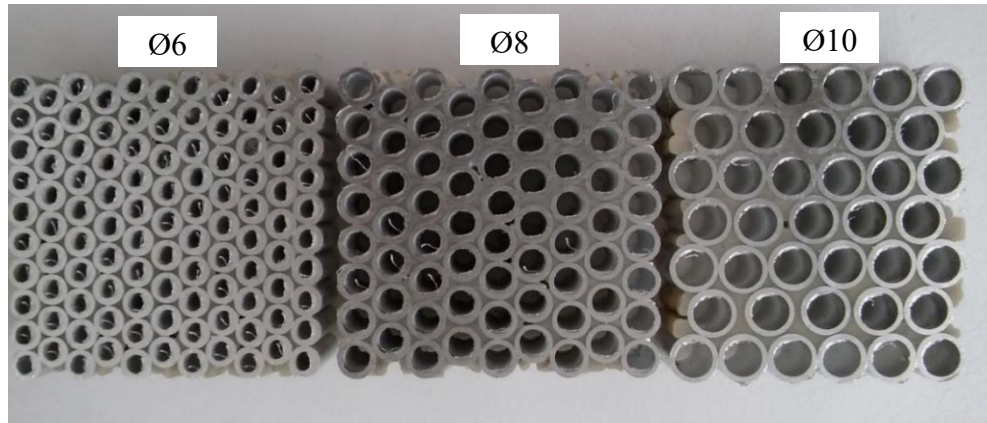


Şekil 3.6. Kalıptan çıkan Al sandviç çekirdek yapı.

- Kalıptan çıkan borular Şekil 3.7'de görüldüğü gibi 10 ve 20 mm kalınlığında daire testerede kesilerek alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozitin Şekil 3.8'de çekirdek yapısı oluşturuldu.



Şekil 3.7. 200 mm kalınlığında üretilen sandviç kompozit çekirdek yapısının daire testerede kesilerek 10 ve 20 mm kalınlığına getirilmesi.



Şekil 3.8. Sandviç kompozit için 10 mm kalınlığında kesilen Ø6, Ø8, Ø10 mm çaplı Al çekirdek yapı.

3.6. Yapıştırıcı ve Özellikleri



Şekil 3.9. Araldite 2015 yapıştırıcı ve tabancası.

Araldite 2015 yapıştırıcının özellikleri şunlardır:

- GRP ve SMC ve türevleri malzemeler için ideal epoksi yapıştırıcı.
- Bakır, çelik, alüminyum, güçlendirilmiş plastiklerde uygun yapıştırıcı
- Tam kurumasından sonra kesme mukavemeti: 17 N/mm²
- Tam kurumasından sonra ayrılma mukavemeti:5 N/mm²

3.7. Cam Fiber Kompozit Plakanın Üretilmesi

Cam fiber plakalar Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile üretilmiştir.

Üretim aşamaları:

- Şekil 3.10'da görüldüğü gibi altında rezistans bulunan alüminyum masa temizlenmiş ve üretim yapmak için temiz hale getirilmiştir.



Şekil 3.10. Alüminyum masa.

- Kalıp yüzeyi ayırıcı bir film ile kaplanmıştır. İstenilen boyutlarda 650×1300 mm levha kenarlarından 10 mm daha büyük olacak şekilde kesilmiştir. Kenarları sızdırmazlık bandıyla masa üzerine Şekil 3.11'deki gibi yapıştırılmıştır.



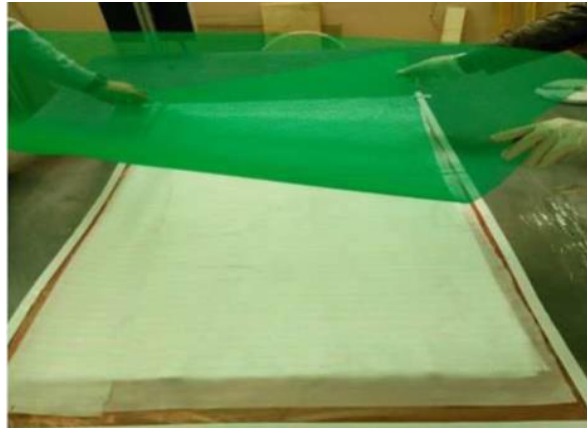
Şekil 3.11. Ayırıcı film.

- 650×1300 mm boyutlarda [0/90] iki yönlü cam fiber kumaşlar kesilmiş, dört katman olacak şekilde ayırıcı film üzerine Şekil 3.12'deki gibi serilmiştir.



Şekil 3.12. Cam fiber kumaşın ayırıcı film üzerine serilmesi.

- Soyma kumaşı ve infüzyon filesi cam fiber kumaşların üzerini tamamen kapatacak şekilde kesilmiştir. Cam fiberlerin üzerine soyma kumaşı, soyma kumaşı üzerine de infüzyon filesi gelecek biçimde Şekil 3.13'deki gibi serilmiştir.



Şekil 3.13. Soyma kumaşı ve infüzyon filesinin serilmesi.

- Vakum naylonu serili olan tüm malzemeleri içine alacak boyutlarda kesilmiştir. T bağlantı borusu, infüzyon hortumu ve spiral hortum birleştirilerek vakum naylonun altına reçinenin ilerleme doğrultusuna 3.14'deki gibi yerleştirilmiştir.



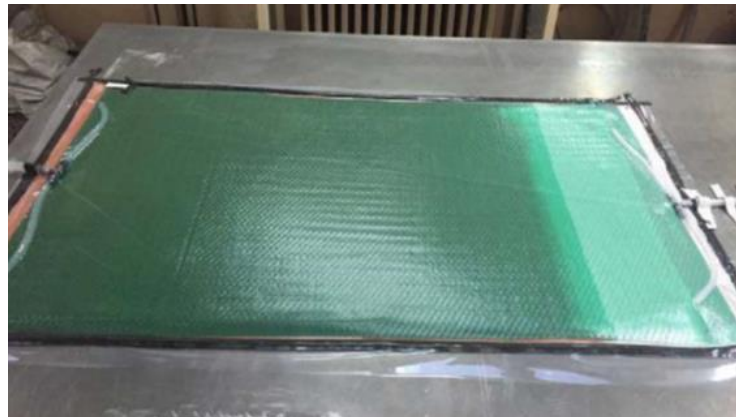
Şekil 3.14. Vakum ortamının oluşturulması.

- Vakum pompası çalıştırılır ve sızdırmazlık kontrol edilmiştir.
- Sertleştirici ve epoksi Şekil 3.15’de görüldüğü gibi istenilen miktarda bir kap içerisinde birleştirilir ve reçine bir çubuk yardımıyla karıştırılarak hazırlanmıştır.



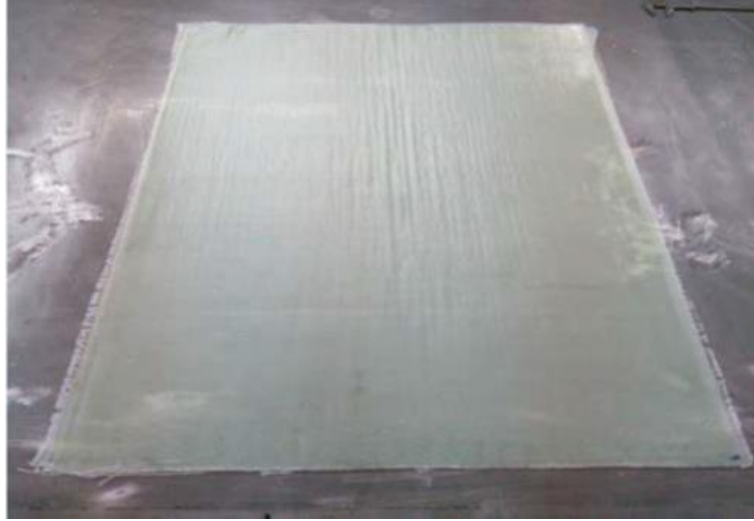
Şekil 3.15. Reçinenin karıştırılması.

- Vakum pompası çalıştırılır ve reçinenin vakum ortamında ilerlemesi Şekil 3.16’deki gibi izlenir.



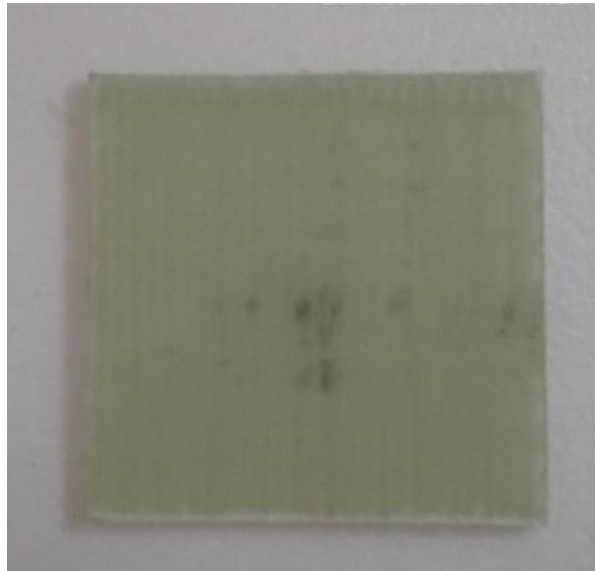
Şekil 3.16 Reçinenin vakum ortamında ilerlemesi.

- Reçine doldurulduktan sonra alüminyum masanın rezistanslarından faydalanılarak 100°C de 2 saat vakum altında bekletilir. Cam fiber kompozit üzerindeki vakum naylonu, infüzyon filesi ve soyma kumaşı kompozitten ayrılarak cam fiber kompozit elde edilir [60].



Şekil 3.17. 650×1300 mm boyutlarında üretilen cam fiber plaka.

- Cam fiber kompozit plakalar 65×65 mm boyutlarına giyotin yardımıyla Şekil 3.18'deki gibi kesilir.



Şekil 3.18. 65×65 mm boyutlarında cam fiber plaka.

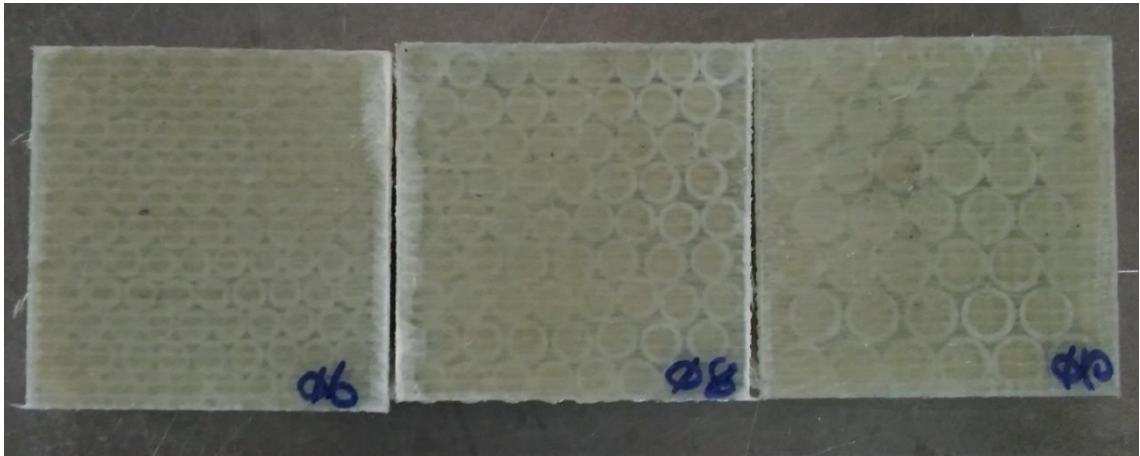
3.8. Çekirdek Yapı ve Cam Fiber Plakaların Birleştirilmesi

- Üretilen cam fiber plakalar, 10 ve 20 mm kalınlığında kesilen alüminyum bal peteği sandviç kompozitin çekirdek malzemesine alt- üst plaka olarak 1 mm kalınlığında yapıştırıcı sürülerek Şekil 3.19'daki gibi birleştirilir.



Şekil 3.19. Cam fiberlerin Al çekirdek yapı ile alt-üst plaka olarak birleştirilmesi.

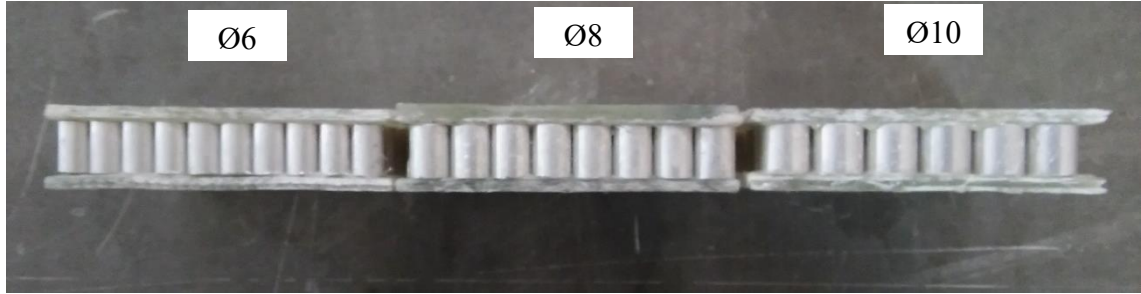
- $\emptyset 6$, $\emptyset 8$, $\emptyset 10$ mm çaplarında silindirik Al borulardan oluşan çekirdek yapı Şekil 3.20 ve Şekil 3,21'de görüldüğü gibi cam fiber plakalar yapıştırılarak desteklenir.



Şekil 3.20. Alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit deney numuneleri (üst görünüş).

- Üretilen $\emptyset 6$, $\emptyset 8$, $\emptyset 10$ mm çaplarında alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit deney numuneleri hassas terazide tartıldı. 10 mm kalınlıklı numuneler

sırasıyla 0,105 kg, 0,09 kg, 0,085 kg ölçüldü. Ø8 mm çaplı 20 mm kalınlıklı numune 0,14 kg olarak ölçüldü.



Şekil 3.21. Alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit deney numuneleri (yan görünüş).

3.9. Deneilerin Yapılması

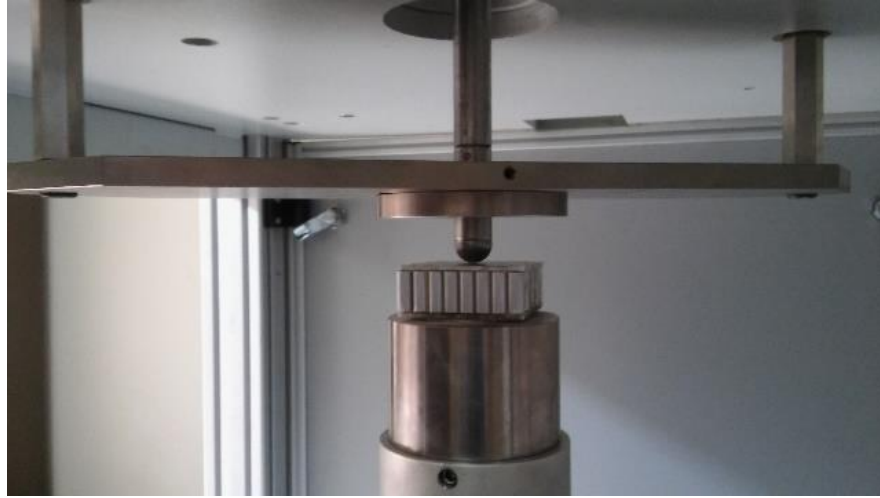
Deneiler, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Mekanik Laboratuvarında bulunan CEAST marka Fractovis Plus darbe test cihazında (Şekil 3.22) yapılmıştır.



a) Darbe Cihazı

b) Darbe Cihazı Numune Haznesi

Şekil 3.22. Fractovis Plus darbe cihazı ve deney numunelerinin cihaza yerleştirilmesi.



Şekil 3.23. Darbe cihazında alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit deney numunesi.

Tablo 3.2. Ceast marka Fractovis Plus Darbe cihazı özellikleri.

Maksimum Enerji	755J (ilave enerji sistemleri ile 1800J)
Maksimum Ağırlık	70 kg
Vurucu Çapı	20 mm (max:52mm)
Numune Çapı	40 mm
Çarpma Kuvveti Aralığı	0-40 kN
Serbest Düşme Aralığı	30-1100 mm
Data kuma	1000 Data/ms (2mhz)

4.BÖLÜM

SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Çalışmamızda,

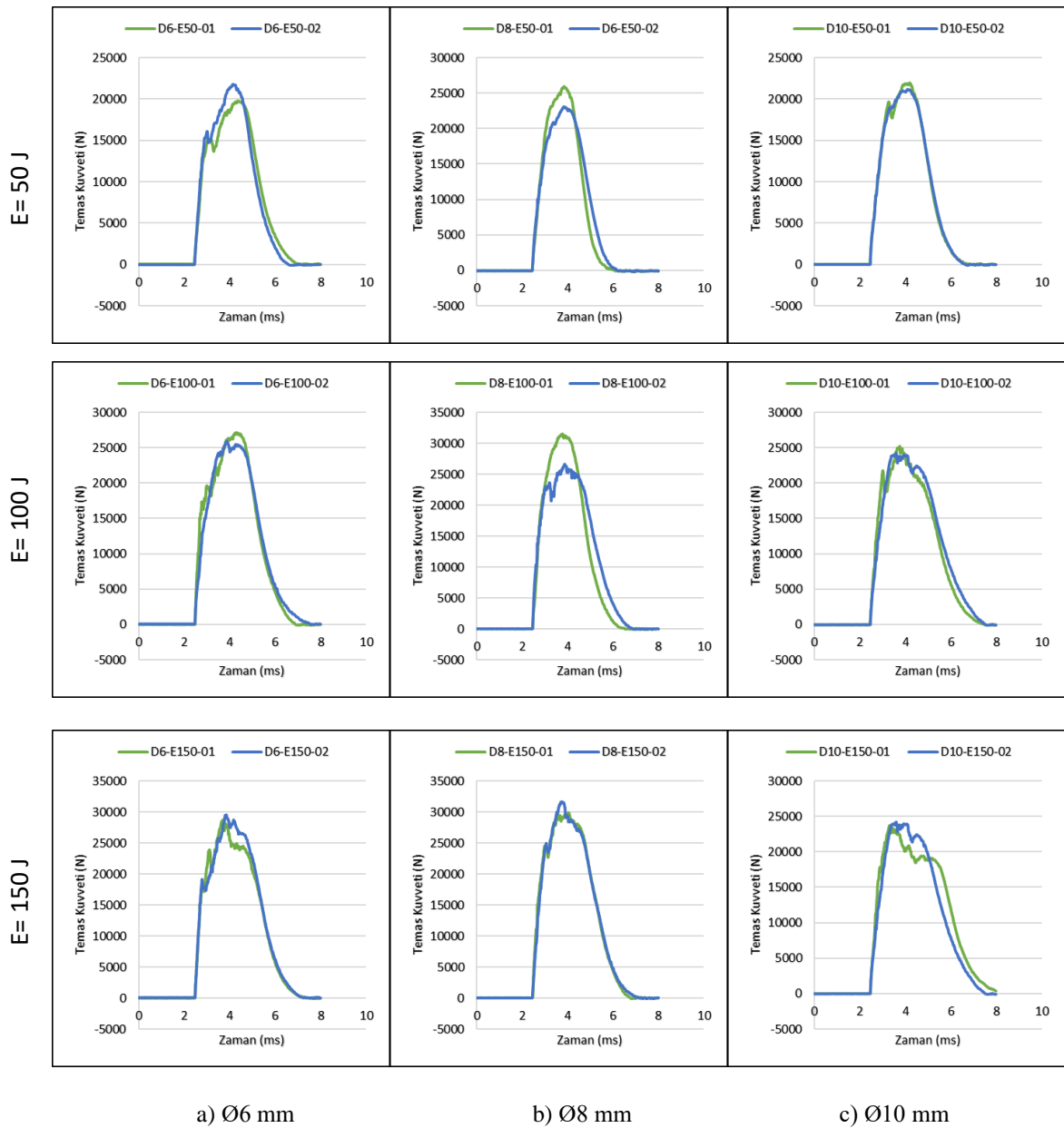
- Ø6, Ø8, Ø10 mm çaplarında imal edilen, 10 mm kalınlıklı, alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit deney numuneleri üzerinde 50J, 100J, 150J enerji değerlerinde ayrı ayrı darbe testleri yapılmıştır.
- Ø8 mm çaplı, 20 mm kalınlığında imal edilen alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit deney numunesi 10 mm kalınlıkta hazırlanan Ø8 mm çaplı deney numunesiyle karşılaştırılmak üzere 50, 100, 150 J enerji seviyelerinde ayrı ayrı darbe testleri uygulanmıştır.
- Vurucu uç kütesine (Vurucu uç kütesi=5.045kg) ilave olarak 10 kg yük eklenmiştir.
- Darbe test cihazında kullanılan 50, 100, 150 J enerji seviyeleri yaklaşık olarak 3.21 m/s, 4.51 m/s, 5.22 m/s hızlarda etki etmiştir.
- 10 mm kalınlıklı numuneler sırasıyla Ø6 mm çaplı numune için 0,105 kg, Ø8 Ø6 mm çaplı numune için 0,09 kg, Ø10 mm çaplı numune için 0,085 kg. Ø8 mm çaplı 20 mm kalınlıklı numune için 0,14 kg ölçüldü.

Sonuç olarak:

- Çap değişiminin darbe dayanımına etkisi,
- Enerji değişiminin darbe dayanımına etkisi,
- Sandviç yapı kalınlığının darbe dayanımına etkisi incelenmiştir.

Deneylere başlamadan önce hangi enerji seviyelerinde çalışılacağı deneme testleriyle belirlenmiştir. Deneyler yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlara göre temas kuvveti-zaman, temas kuvveti-deformasyon, kinetik enerji-zaman grafikleri oluşturulmuştur.

Hazırlanan deney numuneleri; $\emptyset 6$, $\emptyset 8$, $\emptyset 10$ mm çaplarda ve 50, 100, 150 J enerji seviyelerinde ikişer defa darbe testlerine tabi tutulmuş ve benzer sonuçlar Şekil 4.1' de elde edilmiştir.



Şekil 4.1. a) $\emptyset 6$, b) $\emptyset 8$, c) $\emptyset 10$ mm çaplarda sırasıyla 50, 100 ve 150 J enerji seviyeleri için düşük hızlı darbe testlerinin karşılaştırılması.

4.1. ap Değişiminin Darbe Dayanımına Etkisi

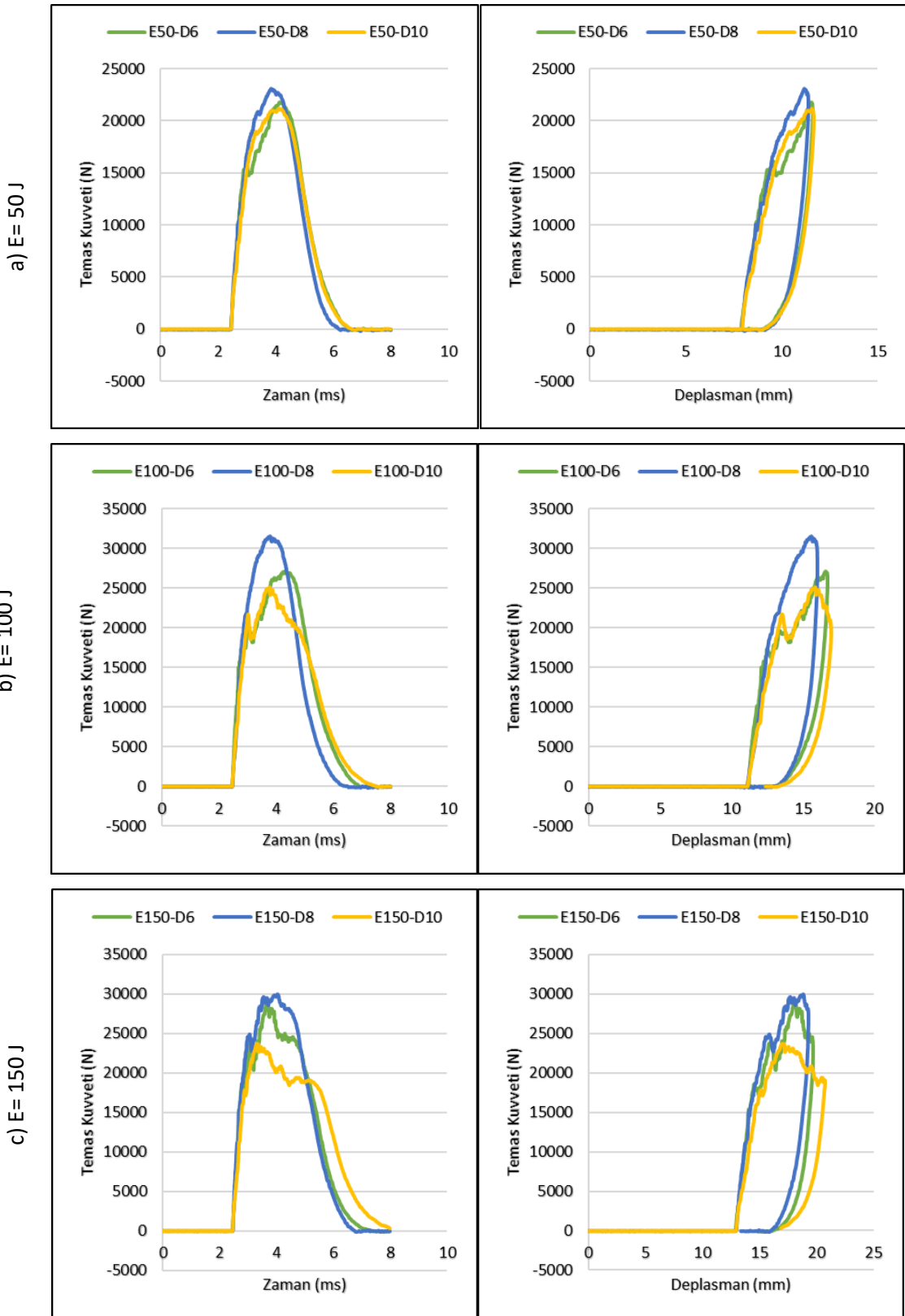
Alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit numuneler düşük hızlı darbe testleri sonuçlarına göre enerji seviyeleri sabit tutularak çap değişimine göre temas kuvveti-zaman ve temas kuvveti-deplasman grafikleri (Şekil 4.2) oluşturulmuştur. 50 J enerji seviyesinde sonuçlara bakıldığında Ø6, Ø8, Ø10 mm çaplar arasında temas kuvveti kıyas edildiğinde ciddi bir farklılık olmadığı görülmüştür. Düşük enerji seviyelerinde alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit çap farklılığından etkilenmemiştir. Tüm çaplarda benzer temas kuvveti ve deplasman değerleri elde edilmiştir.

100 J enerji seviyesinde yapılan testlerde temas kuvveti değerleri Ø10 mm çaplı sandviç kompozitte, Ø6 ve Ø8 mm çaplı sandviç kompozitlere göre daha düşük seviyededir. Ø10 mm çaplı kompozit numune daha geniş petek yapısına sahip olduğu için, darbe ucu numune içerisine daha çok batmaktadır.

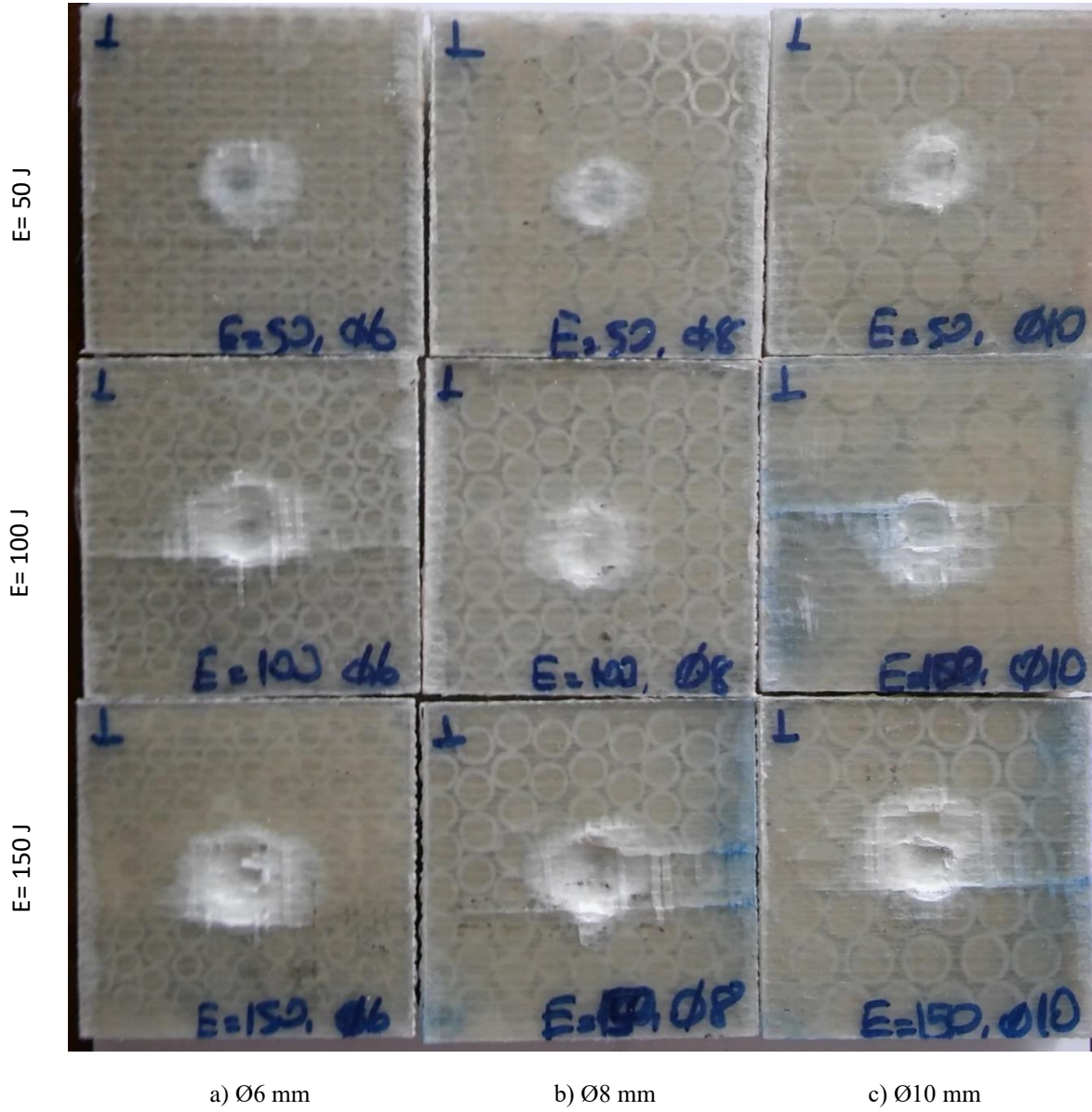
150 J enerji seviyesinde yapılan testlerde Ø6 ve Ø8 mm çaplı sandviç kompozitlerin temas kuvveti değerleri, Ø10 mm çaplı numuneye göre daha yüksektir. Ø6 ve Ø8 mm çaplı numunelerin temas kuvveti değerleri birbirine yakın, fakat Ø10 mm çaplı numuneye ait değerlerden yüksektir. Ø10 mm çaplı sandviç kompozit büyük çaplı olmasından kaynaklı, daha az rijit davranış göstermekte, daha fazla plastik deformasyona maruz kalmaktadır.

50 J enerji seviyesinde temas kuvveti tüm çaplarda 21 kN da kalmıştır. 100 J enerji seviyesinde yapılan deneylerde Ø6 ve Ø8 mm çaplı numunelerde 28 kN seviyelerine çıkmış, Ø10 mm çaplı numunelerde ise 25 kN seviyesinde kalmıştır. 150 J enerji seviyesinde yapılan testlerde ise Ø6 ve Ø8 mm çaplı numunelerde 30 kN geçmiş, Ø10 mm çaplı numunede 26 kN da kalmıştır.

Temas kuvveti-deplasman grafikleri incelendiğinde (Şekil 4.2) küçük çaptaki numunelerde temas kuvveti değeri daha yüksek ve deplasman süreleri daha kısadır. Vurucu uç, büyük çapta malzeme içerisine daha fazla batmaktadır. Ø10 mm çaplı kompozitin üst plakasında daha fazla ezilme ve alt plakasında bombe, ayrıca çekirdek yapısında kaymalar gözlenmiştir.



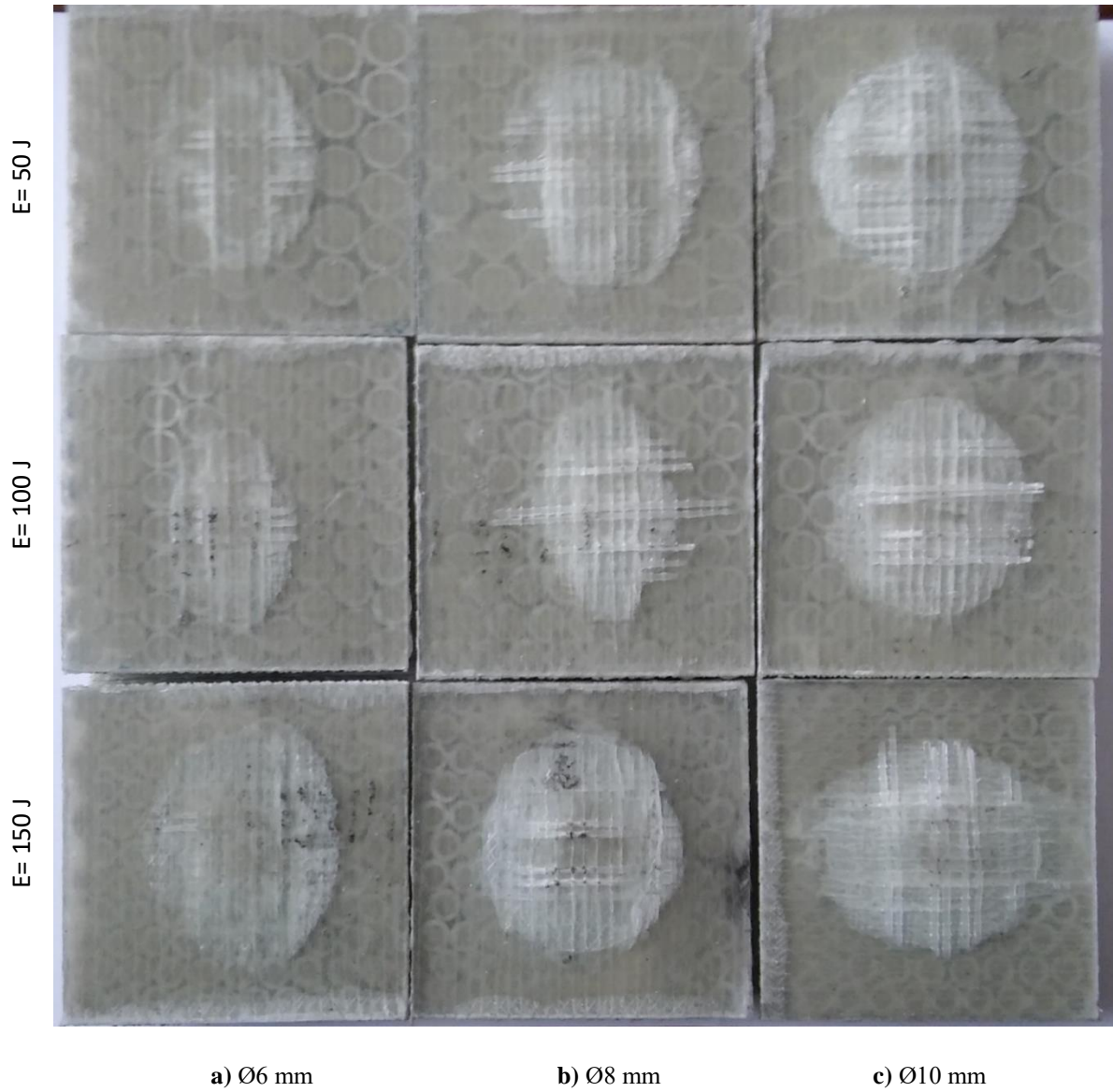
Şekil 4.2. a) 50 J, b) 100 J ve c) 150 J enerji seviyelerinde Ø6, Ø8 ve Ø10mm çaplarda gerçekleştirilen darbe deneylerinden elde edilen temas kuvveti-zaman ve temas-kuvveti-deplasman grafikleri



Şekil 4.3. a) Ø6, b) Ø8, c) Ø10 mm çaplarda 50, 100, 150 J enerji seviyelerinde deney yapılan numunelerin üst plakalarında oluşan vurucu izleri

Sonuçlardan görülüyor ki düşük enerji seviyelerinde alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit, çap farklılığından çok az etkilenmektedir. Ancak enerji seviyesi arttıkça, küçük çapa sahip sandviç kompozit daha rijit davranmaktadır.

Mevcut sonuçlarda vurucu uç (Şekil 4.3- Şekil 4.4) testlerin hiçbirisinde numuneleri delmemiştir. Vurucu ucun üst plakayı parçalayarak alt plakayı delmesi için daha yüksek enerjiye ihtiyaç vardır.

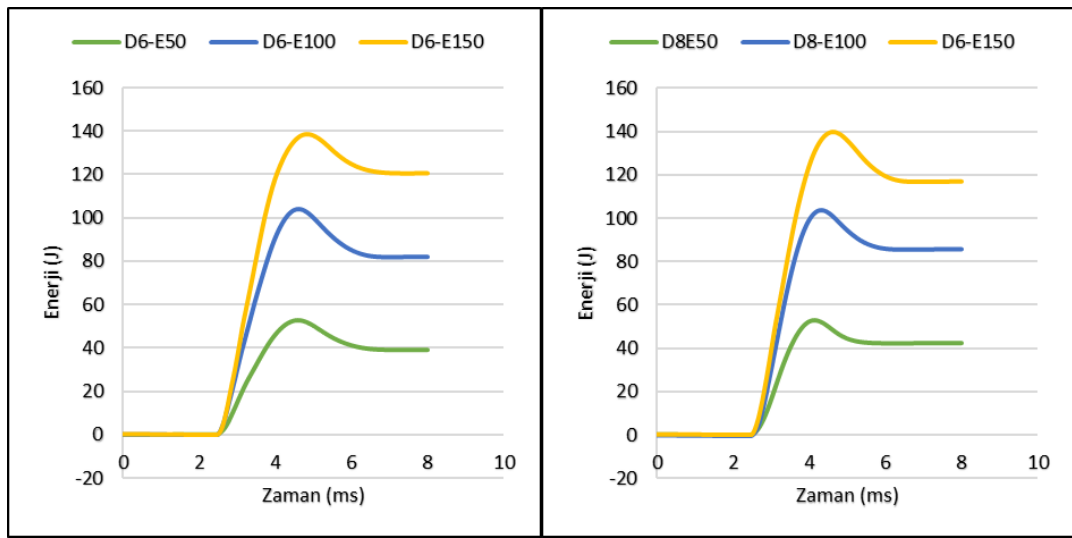


Şekil 4.4. Ø6, Ø8, Ø10 mm çaplarda 50, 100, 150 J enerji seviyelerinde deney yapılan numunelerin arka plakaları.

4.2. Enerji Değişiminin Darbe Dayanımına Etkisi

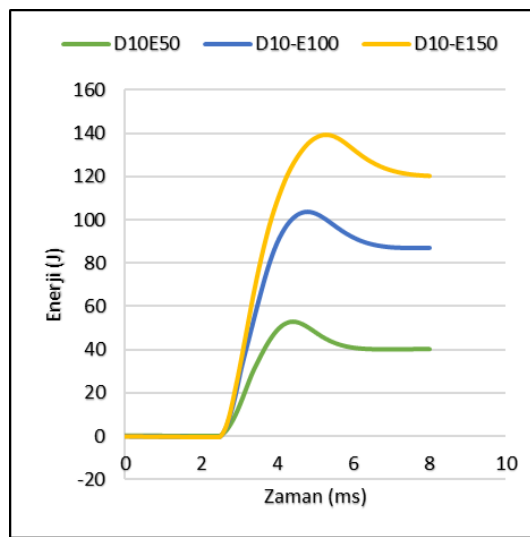
Çap sabit tutularak 50, 100, 150 J enerji seviyeleri için temas kuvveti-zaman ve temas kuvveti-deplasman grafikleri (Şekil 4.6) da verilmiştir. Aynı çaplarda enerji değerleri arttırıldığında temas kuvveti değeri de artmıştır. Kinetik enerji-zaman grafiklerine (Şekil 4.5) bakıldığında, enerji değeri arttıkça plastik deformasyona harcanan enerji de büyümektedir.

Düşük hızlı darbe testleri sonucunda numunelerdeki vurucu ucun izlerine bakıldığında (Şekil 4.3), enerji değeri arttıkça oluşan iz büyümektedir. Vurucu uç, 50 J enerji değerlerinde cam fiber kompozit plaka üzerinde hafif deformasyonlara sebep olmuş, çekirdek malzeme zarar görmemiştir. 150 J enerji değerinde; vurucu uç üst plakada çökmeye, alt plakada (Şekil 4.4) şişmeye sebep olmuştur. Çekirdek malzemede hafif kaymalar oluşmuş, ciddi bir deformasyon etkisi görülmemiştir. Temas kuvveti değeri 50 J enerji seviyesinde 21 kN, 100 J enerji seviyesinde 28 kN, 150 J enerji seviyesinde 31 kN' a kadar çıkmıştır.



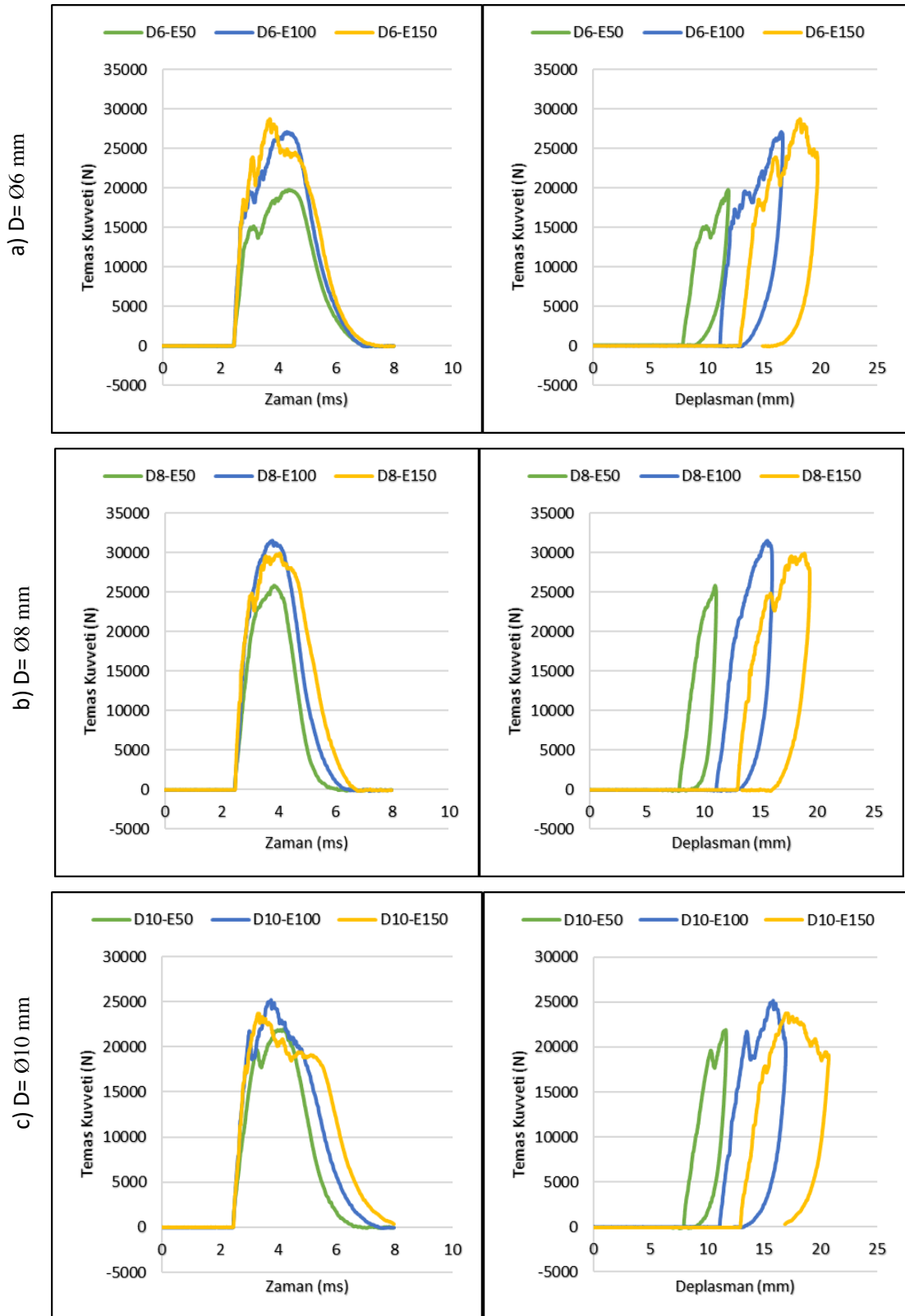
a) Ø6 mm

b) Ø8 mm



c) Ø10 mm

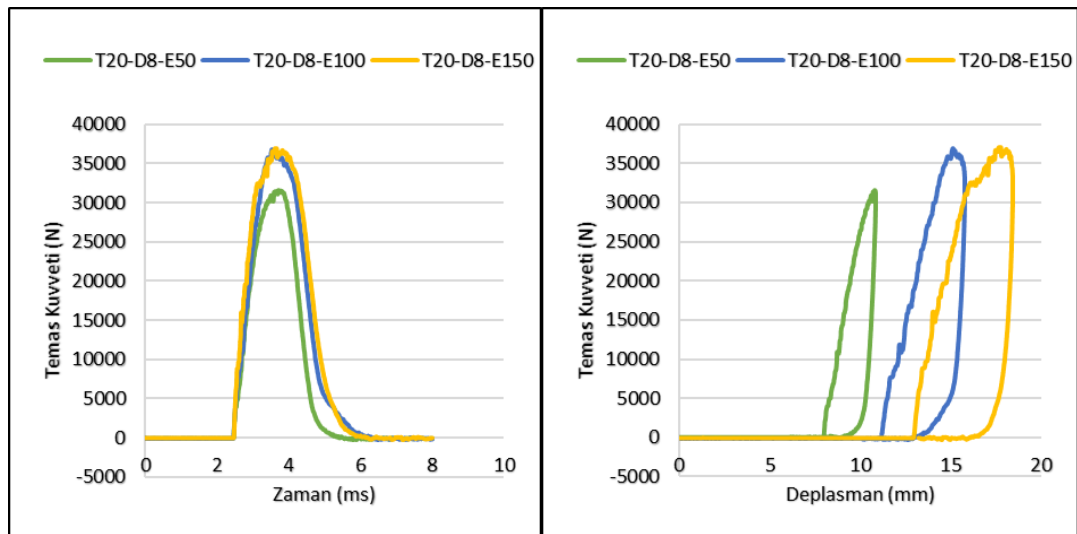
Şekil 4.5. a) Ø6, b) Ø8, c) Ø10mm çaplarda sırasıyla 50, 100 ve 150 J enerji seviyeri için kinetik enerji-zaman grafikleri.



Şekil 4.6. a) Ø6, b) Ø8, c) Ø10 mm çapları için sırasıyla 50, 100 ve 150 J enerji seviyelerinde gerçekleştirilen darbe deneylerinden elde edilen temas kuvveti-zaman ve temas-kuvveti-deplasman grafikleri.

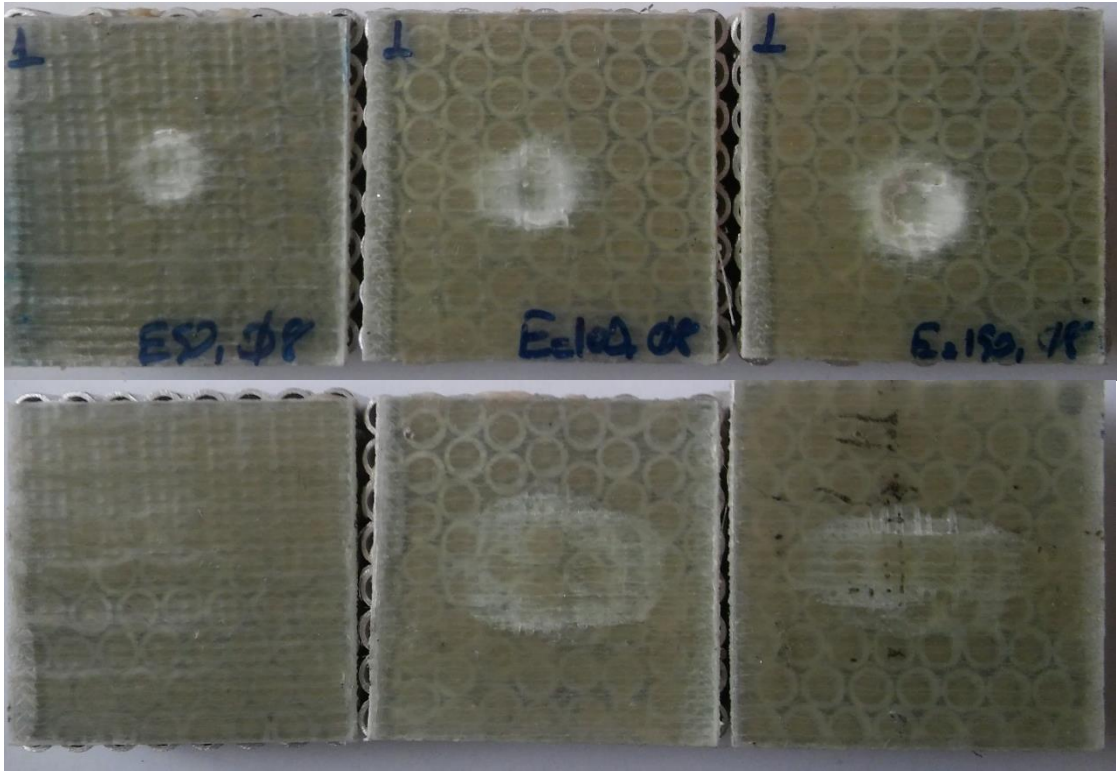
4.3. Sandviç Yapı Kalınlığının Darbe Dayanımına Etkisi

Çalışmamızda çap ve enerji değişiminin deformasyon üzerindeki etkilerinin yanı sıra kalınlık değişiminin etkileri de incelenmiştir. 20 mm kalınlıkta Ø8 mm çaplı alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit numuneler üzerinde 50, 100, 150 J enerji seviyelerinde testler (Şekil 4.7) yapıldı ve 10 mm kalınlıklı Ø8 mm çaplı numunelerin deney sonuçları ile karşılaştırıldı. Temas kuvveti-zaman ve Temas kuvveti- deplasman grafikleri (Şekil 4.7) oluşturulmuştur.



Şekil 4.7. 20 mm kalınlıkta Ø8 mm çaplı sandviç kompozitin temas kuvveti-zaman ve temas kuvveti-deplasman grafikleri.

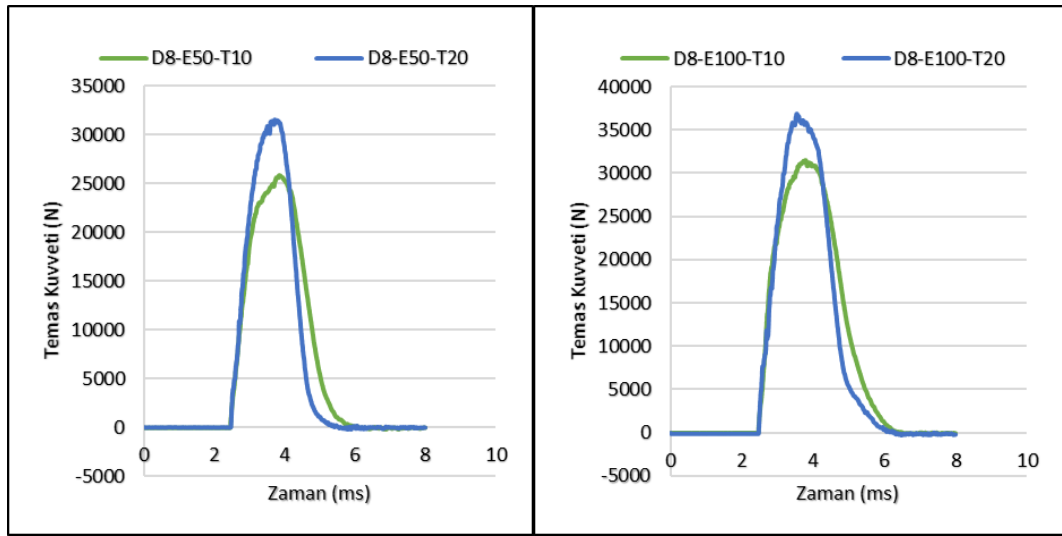
20 mm kalınlıkta; 50, 100 ve 150 J enerji seviyelerinde yapılan testler kıyaslandığında düşükten yüksek enerjiye temas kuvveti artmıştır. Deney sonucunda hasar izleri (Şekil 4.8) incelendiğinde 50 J enerji değerinde üst plakada yalnızca vurucu uç izi gözlenmiştir. Alt plakada herhangi bir etki görülmemiştir. 100 J ve 150 J enerji değerlerinde enerji artışına bağlı olarak üst plakada vurucu uç etkisi daha belirgin görülmekte, alt plakada 1mm den daha az kalınlıkta bombe oluşmuştur. Bu deformasyon etkisi 150 J enerji seviyesinde daha fazladır. Temas kuvveti değeri 150 J enerji seviyesinde 37 kN'a çıkmıştır.



Şekil 4.8. 20 mm kalınlıkta $\text{Ø}8$ mm çaplı sandviçin üst- alt plaka vurucu uç izleri.

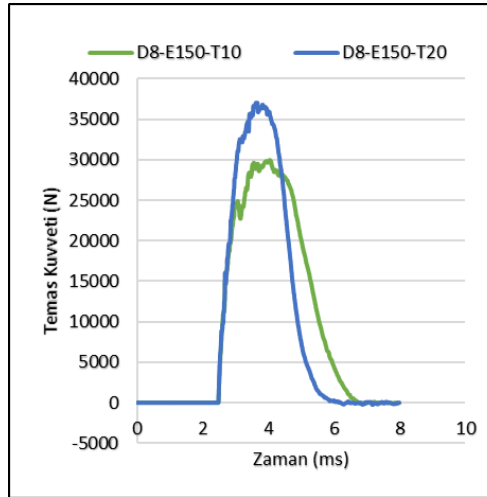
$\text{Ø}8$ mm çaplı alüminyum boru esaslı bal peteği sandviç kompozit numuneleri 10 mm ve 20 mm kalınlıklarda 50, 100, 150 J enerji seviyelerinde karşılaştırılmıştır. Oluşturulan temas kuvvet-zaman grafiklerinde (Şekil 4.9) 20 mm kalınlığındaki numunenin temas kuvveti değerleri daha yüksektir. Malzeme kalınlığı arttıkça deformasyon etkisi azalmaktadır.

20 mm kalınlıkta numunelerde temas kuvveti değeri; 50 J enerji seviyesinde 30 kN, 100 J enerji seviyesinde 36 kN, 150 J enerji seviyesinde 37 kN a çıkmıştır. 10 mm kalınlıklı numunelerle yapılan deneylerde ise en fazla 30 kN değeri yakalanmıştır. 10 mm kalınlık, 150 J enerji seviyesinde; 30 kN temas kuvveti değeri 20 mm kalınlık, 50 J enerji seviyesinde ortaya çıkmıştır.



a) 50 J

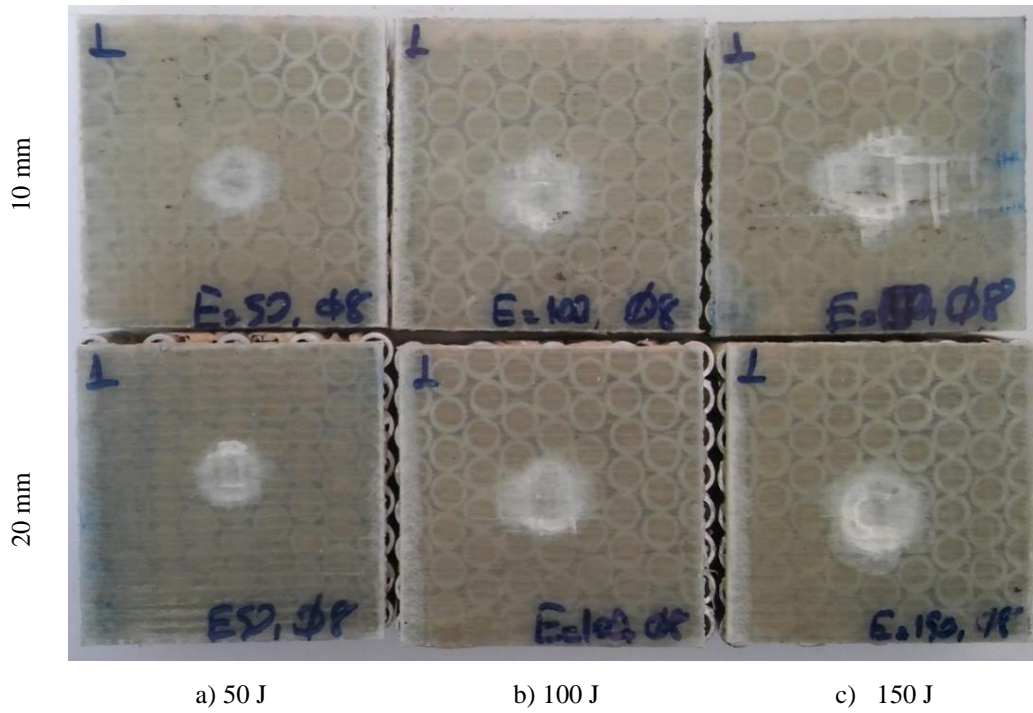
b) 100 J



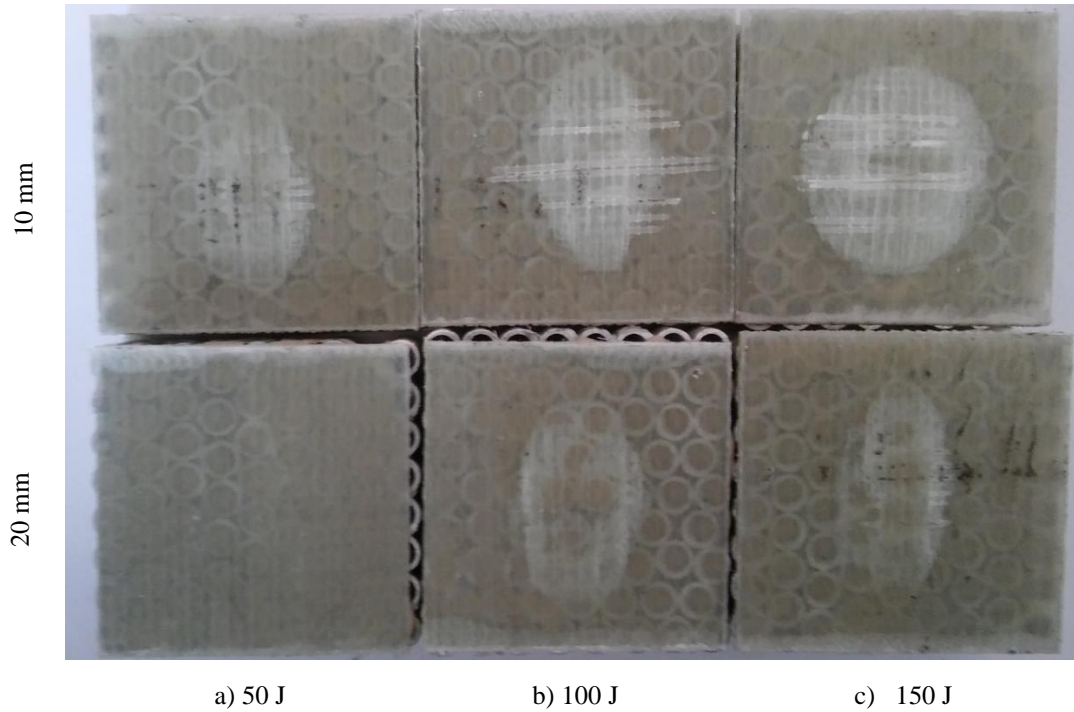
c) 150 J

Şekil 4.9. a) 50 J, b) 100 J, c) 150 J enerji seviyelerinde Ø8 mm çaplı sandviç kompozitin 10 ve 20 mm kalınlıkta temas kuvvet- zaman grafiği.

Enerji artışına bağlı olarak vurucu uç (Şekil 4.10) malzeme içerisine daha fazla nüfuz etmektedir. 10 mm kalınlıklı numunede görülen batma mesafesi 20 mm kalınlıklı numuneye göre daha azdır. 20 mm kalınlıklı numunelerle 50 J enerji seviyesinde yapılan testlerde, numune alt plakası (Şekil 4.11) etkilenmemiştir. 150 J enerji seviyesinde 0,5 mm den daha az bir kalınlıkta bombe oluşmuştur. Çekirdek yapısı etkilenmemiştir. Kalınlığın artması malzemenin rijitliğini arttırmakta, deformasyon etkisini azaltmaktadır.



Şekil 4.10. a) 50, b) 100, c) 150 J enerji seviyelerinde Ø8 mm çaplı sandviç kompozitin 10 mm (üst sıra) ve 20 mm (alt sıra) kalınlıkta üst plaka vurucu uç izleri.



Şekil 4.11. a) 50, b) 100, c) 150 J enerji seviyelerinde Ø8 mm çaplı sandviç kompozitin 10 mm (üst sıra) ve 20 mm (alt sıra) kalınlıkta alt plaka görünüşleri.

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

1. Enerji seviyesi arttıkça temas kuvveti değeri artmakta ve sandviç kompozit üzerine gelen vurucu ucun izi büyümektedir. Daha yüksek enerji seviyelerinde malzeme delinebilir.
2. Küçük çaplı sandviç kompozit, büyük çaplı sandviç kompozite göre daha rijit davranmaktadır. Dairesel petek yapı küçüldükçe malzeme rijitliği artmaktadır. Geniş dairesel petek yapı, vurucu ucun iç kesitlere geçmesine ve çekirdek yapıya zarar vermesine neden olmaktadır.
3. Yapılan deneylerin hiçbirisinde vurucu uç numuneyi delip geçmemiştir.
4. Düşük enerji seviyesinde -50 J- tüm çaplarda temas kuvveti değerleri benzerdir. 50 J ve daha az enerji seviyelerinde çap farklılığı sonuçları ciddi olarak etkilememektedir. Enerji seviyesi arttıkça çap farklılığı enerji değişiminden etkilenmektedir. Yüksek enerji seviyelerinde küçük çaplı malzemeler daha rijit davranmaktadır.
5. Çalışılan en yüksek enerji seviyesinde -150 J- üst plaka hasar görmüş alt plakada bombe oluşmuş ve çekirdek yapıda hafif kaymalar meydana gelmiştir.

6. Numune kalınlığı arttıkça malzeme rijitliği artmaktadır. Kalınlık malzemeyi daha fazla mukavemetli yapmaktadır. Ancak kalınlığın artması kütle artışına sebep olmaktadır.

5.2. Öneriler

1. Kullanılan cam fiber alt ve üst plaka değiştirilerek darbe dayanımı üzerine farklı bir çalışma yapılabilir.
2. Bu çalışmada yapılan deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın darbe dayanımına etkisi araştırılmak üzere, özellikle yapıştırıcı üzerindeki etkisi incelenmek suretiyle, farklı sıcaklıklarda darbe testleri yapılabilir.
3. Farklı yapıştırıcılar kullanılarak deneyler yapılabilir.
4. Çekirdek yapıyı oluşturan silindirik Al borular, daha küçük et kalınlığında üretilerek; klasik alüminyum honeycomb modellerlerin darbe dayanımları ile ürettiğimiz dairesel petek yapılı sandviç kompozitin darbe dayanımları karşılaştırılarak incelenebilir.
5. Çalışılan en yüksek enerji seviyesinde -150 J- numuneler delinmemiştir. Daha yüksek enerji seviyelerinde çalışılarak malzeme çekirdek yapısı hasarı incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Potoğlu U., Sandviç Kompozit Plakların Darbe Davranışları, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 75s.
2. Gupta, N. (2003). Characterization Of Syntactic Foams and Their Sandwich Composites: Modelling And Experimental, Approaches. Bangalore.
3. Kolat K., 2005, Farklı Ortamların Sandviç Kompozitlerin Kırılma Tokluğu Üzerindeki Etkisi, Yüksek lisans tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 70s.
4. Kaya R., 2009, Petek Yapılı Özgün Bir Kompozit Panel Üretimi Ve Bazı Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 83s.
5. Smith, W. F. (2001). Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, (3. Baskı). (N. G. Kınıkoğlu, Çev.). İstanbul: Literatür Yayıncılık. (Orijinal çalışma basım tarihi 2001).
6. Şahin, Y. 2006, Kompozit Malzemelere Giriş, İstanbul: Seçkin Yayınları.
7. Koçhan C., 2008, Denizcilikte Kullanılan Grp/Pvc Sandviç Yapıların Kırılma Tokluğuna Çevrenin Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 69s.
8. Kaya, F.,2004, Ana Hatlarıyla Yapıştırıcılar, Birsen Yayınevi, İstanbul.
9. Ciba-Geigy, 1993, Cibacomposites: Redux Bonding Technology, Duxford-Chambridge, Pub. No. RGU 201A.
10. Solmaz M. Y., 2008, Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz Ve Tasarımları, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 153.
11. Çalık A., 2008, Yapıştırıcılar Ve Köşeleri Yuvarlatılmış Basamaklı Bindirme Yapıştırıcı Bağlantılarda Gerilme Analizi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak, 91s.
12. <http://www.plascore.com/honeycomb/honeycomb-cores/> (Erişim Tarihi: Aralık 2016)
13. Marine Composites(19 Aralık 2005). 13 Ocak, 2007.
http://www.oceanica.ufrj.br/ocean/cursosead/materiaiscompositos/compositomaterials/g_composite_materials.pdf(Erişim Tarihi: Aralık 2016).

14. Kara E.,2012, Çeşitli Elyaf Dizilimleriyle Oluşturulmuş Metal Köpük Çekirdekli Sandviç Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çorum, 90s.
15. Diler E. A., 2006, Pvc/Ctp Denizel Sandviç T-Bağlantıların Geometri-Performans İlişkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 232s.
16. Hexcel Composites, December 2000. “Hexweb Honeycomb Sandwich Design Technology”, (web page: <http://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-Data-Sheets/Honeycomb Sandwich Design Technology.pdf> (Erişim Tarihi: Aralık 2016).
17. Öztürk A.U., 2009, Sandviç Kompozitlerde Bal peteği Yapısının Optimizasyonu, Bitirme tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
18. Bozkurt S.,2014, Sandviç Kompozitlerin Mekanik Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 103s.
19. Tortoç A., 2009, Balsa / Pvc Sandviç Yapılarda Kırılma Tokluğu Etkisinin Nümerik Çalışması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 55s.
20. Özdemir, E. Şahin, Ç., Türk Havayolları Kompozit Atölyesi Eğitim Notları.
21. Tarım, N., “Ön Gerilmeli Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Deneysel ve Teorik İncelenmesi”, Doktora Tezi, İstanbul 1996.
22. ASTM D907-74, 1974, Definition of Terms Relating to Adhesives.
23. Loctite Worldwide Design Handbook, 1988.
24. Aydın S., 2012, Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Prizmatik Geçmeli Bağlantıların Mekanik Analizleri, Fırat üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 184s.
25. Houwink, R. And Salomon, G., 1965, Adhesion and Adhesives, 2nd edition, Elsevier Publishing Co.
26. Wake, W.C., 1986, Adhesion and the Formulation of Adhesives, Structural Adhesives in Engineering, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, IMechE, C151/86, pp 161-168.
27. Adams, R. D., and Wake, W. C., 1984. Structural Adhesive Joint in Engineering. Elsevier Science Publisher, London.

28. Akpınar S., 2008, Kaymaya Maruz Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 69s.
29. Arslan N. ve Kaman M.O., Alüminyum, kağıt ve cam elyaf petek yapılı kompozitlerin üretim teknikleri ve mekanik özelliklerinin araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi Cilt: 4 Sayı: 3 Sh. 113-123 Ekim 2002.
30. Şakar G., Yaman M., Bolat F.Ç., 2010, Bal peteği sandviç kompozit yapıların dinamik analizi, 2. Ulusal Tasarım imalat ve Analiz Kongresi, 11-12 Kasım 2010-Balıkesir, s 531-540.
31. Göde E., 2007, Savaş Uçaklarında Yapısal Malzeme Olarak Kullanılan Sandviç Kompozitlerin Hasar Tespiti ve Onarımının İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s.
32. Ural A., Zehnder T. A., Ingrassia R. A., 2003. Fracture mechanics approach to facesheet delamination in honeycomb: measurement of energy release rate of the adhesive bond. *Engineering Fracture Mechanics*, 70: 93-103.
33. Özdemirli E., 2006, Anlık Basınç Yüğü Etkisindeki Kompozit Sandviç Plağın Dinamik Davranışının Deneysel Ve Sayısal İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 64s.
34. ASM Handbook, v21, Composites, ASM International, Printed in USA, 1992.
35. Cao H., Qian K., Wei K., Li H., 2011. Compression After Impact Of 3-D Integrated Hollow Core Sandwich Composites, Jiangnan University, Refereed Research.
36. Belevi M., İnançer G., 2004. Darbe ve ortam şartlarının kompozit malzemelerin mekanik özelliklerin etkileri, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4: 9-31.
37. Yiğit A., 2010, Petek Yapılı Sandviç Yapıların Dinamik Özelliklerinin İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 80s.
38. Turan M., Tabakalı kompozit malzemelerde yüksek hızlı darbe hasarı, *Mühendis Ve Makine Dergisi*, 48 (575): 1-6
39. Tengiz E., 2010, Katmanlı Çekirdekli Sandviç Plakların Anlık Basınç Yüğüne Cevabının İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 63s.

40. Bekem A., Ercan H. Doğu M., Ünal A., 2011 Uçak sanayinde kullanılan bal peteği kompozitlerin mekanik davranışlarının incelenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 475-480.
41. Engin Z.B., 2011, Bal peteği Sandviç Kompozitlerin Darbe Davranışının İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 81s.
42. Qiao, P.,Yang, M., Impactanalysis of fiber reinforced polymer honeycomb composites and wich beams, Composites. Part B, 38, 739-750, (2007).
43. Sayer M., Bektaş B. N., 2009. Darbe yükü altında hibrit kompozit plakalara sıcaklığın etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15 (3): 337-343.
44. Foo, C.C.,Seah, L.K., Chai, G.B., Low velocity impact failure of aluminium honeycomb sandwich panels, Composite Structures,85, 20-28, (2008).
45. Ercan, H., Uçak sanayinde kullanılan bal peteği kompozitlerinin mekanik davranışlarının incelenmesi, (Doktora Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
46. Meo, M.,Vignjeviç, R., Marengo, G., The response of honeycomb sandwich panel sunder low-velocity impact loading, International Journal of Mechanical Science, 47,1301-1325, (2005).
47. Karakuzu R., 2007, Kompozit Plaklarda Sıcaklığın Darbe Davranışına Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Proje Çalışması, İzmir, 79 s.
48. Alpaydın N.K., 2012, Darbe Yükü Etkisindeki Sandviç Plağın Dinamik Davranışının Sayısal Ve Deneysel Olarak İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 35s.
49. Leijten J., Bersee H.E.N., Bergsma O.K. and Beukers A., Experimental study of the low-velocity impact behaviour of primary sandwich structures in aircraft Composites: Part A, 2009, 40, 164-175.
50. Dongmei Wang, Impact behavior and energy absorption of paper honeycomb sandwichpanels, International Journal of Impact Engineering, 2009, 36, 110-114.
51. Eren Y., 2007. Kompozit Yapıların Darbe Etkisinin İncelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 68 s.
52. Bolat F. Ç., 2011, Bal Peteği Sandviç Kompozit Yapıların Dinamik Analizi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 66s.

53. Şenel M., 2009. Öngerilmeli Kompozit Plakların Düşük Hızlı Darbe Yüğü Etkisi Altında Davranışlarının incelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Proje Çalışması, Kütahya, 168 s.
54. Kılıçaslan C., Odacı K., G., 2012. Düşük hızlarda darbeye maruz kalan 1050 H14 ve 3003 alüminyum alaşımı plakalarda hasar oluşumu ve sonlu elemanlar simülasyonları, TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi, 53(632):40-48.
55. Hazizan, A.,& Cantwell, W. J. (2003). The low velocity impact response of an Aluminium honeycomb sandwich structure. Composites: Part B, 34, 679-687.
56. Uyaner M., Kara M., 2007. Ataberk N., 2007. E-Camı/Epoksi Tabakalı Kompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Davranışına Numune Boyutlarının Etkisi, 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, 361-368.
57. Danacıoğlu K., 2013. Özgün Petek Yapılı Sandviç Kompozit Panelin Üretimi Ve Düşük Hızlı Darbe Davranışının İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 64s.
58. S. Heimbs, P. Middendorf, C. Hampf, F. Hähnel, K. Wolf, 2008. Aircraft sandwich structures with folded core under impact load, 8th International Conference on Sandwich Structures, 369-380.
59. Tuğberk Ö., 2013, Kompozit Balsa Sandviç Yapıların Dinamik Özelliklerinin İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 99s.
60. Alçı M., 2016, Katmanlı Kompozit Plakalar İle Desteklenmiş Nomex Bal Peteği Sandviç Yapıların Düşük Hızlı Darbe Davranışının İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 92s.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Halil Turan YILDIRIM
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 8 Ocak 1988, Kayseri
Medeni Durumu: Bekâr
Tel: 0505 478 02 34
Email: halilturanyildirim@gmail.com
Yazışma Adresi: Mucur Belediyesi, 40500, Mucur/KIRŞEHİR

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü	2012
Lise	Kırşehir Anadolu Öğretmen Lisesi, Kırşehir	2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2013- Halen	Mucur Belediyesi	Makine Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce