

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

**SANDVIÇ PANELLERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE
DAVRANIŞI**

**Hazırlayan
Ömer ERDOĞAN**

**Danışman
Doç. Dr. Munise Didem DEMİRBAŞ**

Yüksek Lisans Tezi

**Haziran 2020
KAYSERİ**

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

**SANDVIÇ PANELLERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE
DAVRANIŞI**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Ömer ERDOĞAN**

**Danışman
Doç. Dr. Munise Didem DEMİRBAŞ**

**Haziran 2020
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.



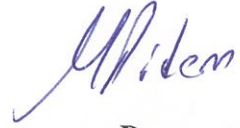
Ömer ERDOĞAN

“Sandviç Panellerin Düşük Hızlı Darbe Davranışı” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

Ömer ERDOĞAN



Danışman

Doç. Dr. Munise Didem DEMİRBAŞ



Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

Doç. Dr. Munise Didem DEMİRBAŞ ve **Dr. Öğr. Üyesi Umut ÇALIŞKAN** danışmanlığında **Ömer ERDOĞAN** tarafından hazırlanan “**Sandviç Panellerin 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 / 06 /2020

JÜRİ:

Danışman: Doç. Dr. Munise Didem DEMİRBAŞ.....

Üye : Prof. Dr. Mustafa Kemal APALAK.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cem BOĞA

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../.....

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ders ve tez dönemimde, bilgisinden ve tecrübesinden faydalandığım danışman hocalarım Doç. Dr. Munise Didem DEMİRBAŞ'a ve Dr. Öğr. Üyesi Umut ÇALIŞKAN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımızı destekleyen, karşılıksız olarak malzeme temini sağlayan Gencer Otomotiv Karasör ve Beyaz Eşya San. Ltd. Şti 'ye, Erciyes Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi atölyesi teknik personellerine ve Arş. Gör. Alpertunga CEYLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazım aşamasında, desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan, Dr. Öğr. Üyesi Adeviye ERDOĞAN'a, Dr. Öğr. Üyesi Fatma CEBECİ'ye, değerli vakitlerini ayırarak tez yazımında fikir ve katkılarını sunarak emek veren Arş. Gör. Esmâ GAVGALI'ya, pandemi süreci boyunca Erciyes Üniversitesindeki bütün işlerimi eksiksiz tamamlayan arkadaşım Semra DUMLU'ya teşekkür ederim.

Her kararında yanımda ve daima destek olan aileme; yanımdan erken ayrılmış olsa da bizi daima gördüğüne ve her başarımda gurur duyduğuna emin olduğum babam Mehmet ERDOĞAN'a, tez dönemimde benden daha fazla stres yaşayan, dualarını esirgemeyen annem Fatma ERDOĞAN ve ablam Hatice AŞCIOĞLU'na, bana hem abi hem baba olan fikir hocalarım Mustafa ERDOĞAN ve Ali ERDOĞAN'a teşekkür ederim.

Ömer ERDOĞAN

Kayseri, Haziran 2020

SANDVIÇ PANELLERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞI

Ömer ERDOĞAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek lisans Tezi, Haziran 2020

Danışman: Doç. Dr. Munise Didem DEMİRBAŞ

ÖZET

Teknoloji her ne kadar büyük bir hızla ilerlese de bu ilerleyiş daima malzemeye bağlı kalacaktır. Bundan dolayı her geçen gün yeni bir malzeme yapısı ve oluşumu ile karşılaşmaktayız. Günümüzde, hayatımızın her alanında yer alan kompozit malzemeler buna örnektir. İleri teknoloji malzemesi olan kompozitlerin geniş kullanımının temel sebebi hafif ve yüksek mukavemetli olması ve de çalışma şartlarına uygun olarak farklı imalat türleri ve farklı malzeme bileşimlerinin kullanımına imkân vermesidir.

Bu çalışmada, çekirdeği polipropilen (C_3H_6)_n bal peteği ve polistiren köpük (C_8H_8)_n olan ve yüzey plakaları alüminyum alaşımlarından (6061 T6) oluşan sandviç panellerin düşük hızlı darbe davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Sandviç panellerin darbe test sonuçlarından olan temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri kullanılarak temas ve delinme dirençleri irdelenmiştir. Testler sonucu hasar bölgeleri tespit edilerek, yapıların enerji sönümlenme kabiliyetleri ortaya konmuştur.

Yapılan çalışmalar sonucunda sandviç panellerin yüzey plakası kalınlığının darbe davranışına etki eden etkin bir parametre olduğu ortaya çıkmıştır. Yüzey plakası rijitliğini kaybettiğinde çekirdek malzemesinin davranışı değişerek XPS köpüğün darbe hasarını önlemede daha etkili olduğu görülürken, rijitlik arttığında ise PP balpeteğinin hasarı önlemede çok daha üstün olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sandviç Panel; Kompozitler; Darbe Davranışı; Darbe Testi;

Polipropilen Bal Peteği; Polistiren Köpük

LOW VELOCITY IMPACT BEHAVIOR OF SANDWICH PANELS

Ömer ERDOĞAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, June 2020

Supervisor: Assoc. Prof. Munise Didem DEMİRBAŞ

ABSTRACT

Even though the technology advances with great speed, this progress will always depend on the material. Therefore, we are encountering a new material structure and formation day by day. Today, composite materials in all areas of our lives are examples of this. The main reason for the wide use of high-tech composites is that they are light and high-strength and allow the use of different types of manufacturing and different material compositions in accordance with the working conditions.

In this study, the low-speed impact behavior of sandwich panels with core polypropylene (C_3H_6)_n honeycomb and polystyrene foam (C_8H_8)_n and consisting of aluminum alloys (6061 T6) were investigated experimentally. The penetration and perforation resistances of the sandwich panels were analyzed by using the contact force and kinetic energy changes, which are among the impact test results. According to test results, damaged areas were determined and the energy damping ability of structures was evaluated.

As a result of the studies, it has been observed that the surface plate thickness of sandwich panels is an effective parameter affecting the impact behavior. When the surface plate loses its rigidity, the behavior of the core material changes and the XPS foam is more effective in preventing impact damage, as the rigidity increases, the PP honeycomb is much superior in preventing damage.

Keywords: Sandwich Panel; Composites; Impact Behavior; Impact Test;

Polypropylene Honeycomb; Polystyrene Foam

İÇİNDEKİLER

SANDVIÇ YAPILARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞI

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1 BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1 Problemin Durumu	2
1.2 Araştırmanın Amacı	3
1.3 Kompozitler	3
1.3.1 Tabakalı Yapısal Kompozitler	3
1.3.1.1 Sandviç Yapılar	4
1.3.1.1.a Alt ve Üst Plakalar.....	5
1.3.1.1.b Çekirdek Malzemeler.....	5
1.3.1.1.c Yapıştırıcı Malzeme.....	6
1.3.1.2 Üretim Yöntemleri	6
1.3.1.2.a Petekli Yapı Üretim Yöntemleri.....	7
1.3.1.2.b XPS Üretim Yöntemleri.....	8

1.3.1.3 Sandviç Yapılı Kompozitlerin Kullanım Yerleri.....	8
1.3.1.4 Sandviç Yapıların Avantaj ve Dezavantajları.....	9
1.4 Literatür Araştırması	10

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1 Malzemeler.....	16
2.1.1 Çekirdek Malzemesi.....	16
2.1.2 Yapıştırıcı.....	18
2.1.3 Alt ve Üst Yüzey Plakalar.....	19
2.2 Sandviç Üretimi.....	20
2.3 Düşük Hızlı Darbe Testi	26

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1 Çekirdek Malzeme Etkisi	30
3.2 Yüzey Plakası Kalınlığı Etkisi.....	46

4. BÖLÜM

TARTIŞMA – SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma	56
4.2 Sonuç ve Öneriler.....	56
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ.....	62

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>
°	Derece
Al	Alüminyum
C	Karbon
H	Hidrojen
HC	Honey Comb
J	Joule
Kg	Kilogram
Kcal	Kilokalori
kN	Kilo Newton
mm	Milimetre
ms	Milisaniye
PP	Polipropilen Bal Peteği
s	Saniye
Ti	Titanyum
XPS	Eksturde Edilmiş Polistiren Köpük

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Numunelerin isimlendirilmesi	27
Tablo 3.1.	Düşük hızlı darbe testi sonrası numunelerde oluşan çökme derinliği ölçüleri	37
Tablo 3.2.	0,5mm ve 1mm plaka kalınlığındaki PP ve XPS'in yüzey hasar alanları	45
Tablo 3.3.	Numunelere tesir eden enerjilere göre enerji absorbe yüzdeleri.....	45



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Kompozitlerin kompozisyonlarına göre sınıflandırılması	3
Şekil 1.2.	Sandviç panel genel yapısı.....	4
Şekil 1.3.	Farklı çekirdek malzemelere sahip sandviç yapılar	5
Şekil 1.4.	Sandviç panellerin yapıştırılarak elde edilmesi	6
Şekil 1.5.	Uzatarak şekil verme yöntemi	7
Şekil 1.6.	Kıvrırma metodu ile şekil verme.....	8
Şekil 1.7.	Polistiren'in kimyasal formülü	8
Şekil 2.1.	Numunelerin geometrik tasarımı ve boyutlandırılması	16
Şekil 2.2.	PP balpeteği ve XPS köpük	17
Şekil 2.3.	Genel polimerleşme tepkimesi.....	17
Şekil 2.4.	Araldite 2015 epoksi tüpü ve Araldite 2000 epoksi tabancası.....	19
Şekil 2.5.	Alüminyum 6061 T6 plaka	20
Şekil 2.6.	Sac kesme makinesi	21
Şekil 2.7.	Sıcak tel köpük malzeme kesme cihazı	22
Şekil 2.8.	Sıcak tel kesme uygulaması sırasında bir görüntü.....	22
Şekil 2.9.	Etanol ve yüzeyi temizlenecek alüminyum plakalar	23
Şekil 2.10.	Epoksi uygulanması	23
Şekil 2.11.	XPS köpük ve PP bal peteği üzerinde uygulanmış epoksi	24
Şekil 2.12.	Parafin sürülmüş kalıp yüzeylerle sandviçin kapatılması.....	25
Şekil 2.13.	Sandviç panellerin kürlenmesi.....	26
Şekil 2.14.	Ceast Fractovis Plus darbe test cihazı.....	26
Şekil 2.15.	Numunenin sabitlenmesi.....	28
Şekil 2.16.	Vurucu uç temas noktası belirleme.....	28
Şekil 3.1.	Çekirdek malzemesi PP olan sandviç panellerin 50 J için iki kez tekrar edilen testlerin darbe enerjisi için temas kuvveti değişimleri (Plaka kalınlığı 0,5mm).....	30
Şekil 3.2.	Çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25,50 ve 100 J darbe enerjisi için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri (Plaka kalınlığı 0,5mm).....	31
Şekil 3.3.	Çekirdek malzemesi XPS olan sandviç panelin 125 J darbe enerjisi için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimi (Plaka kalınlığı 0,5mm)	32

Şekil 3.4	Çekirdek malzemesi XPS olan sandviç panelin 125 J darbe enerjisi için, darbe sonrası hasar görüntüsü (Plaka kalınlığı 0,5mm).....	33
Şekil 3.5.	Çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi için, darbe sonrası kesit görüntüleri (Plaka kalınlığı 0.5 mm).....	35
Şekil 3.6.	Çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi için, darbe sonrası hasar görüntüleri (Plaka kalınlığı 0,5mm).....	36
Şekil 3.7.	Çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25,50 ve 100 J darbe enerjisi için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri (Plaka kalınlığı 1mm).....	39
Şekil 3.8.	Çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi için, darbe sonrası kesit görüntüleri (Plaka kalınlığı 1 mm).....	41
Şekil 3.9.	Çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi için, darbe sonrası hasar görüntüleri (Plaka kalınlığı 1 mm).....	42
Şekil 3.10.	0,5mm ve 1mm plaka kalınlığındaki PP ve XPS'in yüzey hasar alanları görüntüsü	44
Şekil 3.11.	Yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1mm olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri (Çekirdek malzemesi: PP)	47
Şekil 3.12.	Yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1mm olan sandviç panellerin 25, 50, 100 J darbe enerjisi için darbe sonrası kesit görüntüleri (Çekirdek malzemesi: PP)	49
Şekil 3.13.	Yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1 mm olan sandviç panellerin 25, 50, 100 J darbe enerjisi için darbe sonrası hasar görüntüleri (Çekirdek malzemesi: PP)	50
Şekil 3.14.	Yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1mm olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri (Çekirdek malzemesi: XPS).....	51

- Şekil 3.15. Yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1 mm olan sandviç panellerin 25, 50, 100 J darbe enerjisi için darbe sonrası kesit görüntüleri (Çekirdek malzemesi: XPS)..... 53
- Şekil 3.16. Yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1 mm olan sandviç panellerin 25, 50, 100 J darbe enerjisi için darbe sonrası hasar görüntüleri (Çekirdek malzemesi: XPS)..... 54



GİRİŞ

Geçmişten günümüze bilim ve teknoloji daima ilerlemektedir. Bilim ve teknoloji gelişiminde ise insanoğlunun ihtiyaçları doğrultusunda elde etmek istediği araç, gereç ve donanımlarla kendini gerçekleştirme içgüdüğü temel başlangıç olmuştur. Barınma ihtiyacı için oluşturduğu yerler, avlanmak için kullandığı aletler ve buna bağlı olarak ihtiyaç duyulan malzemeler, zamanla ihtiyaçların farklılaşması ve çevreye adapte olması için sürekli bir değişiklik göstermiştir. Tarih öncesi devirlere baktığımızda taş devri (kaba taş, yontma taş, cilalı taş) ve maden devri (bakır, tunç, demir) açıkça göstermektedir ki insanlık tarihinin gelişiminin önemli noktaları ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılan aletlerin malzemeleri ve yapılarıdır.

Geçmişte olduğu gibi günümüzde ve gelecekte de istenilen ürün için en doğru malzeme arayışı daima devam edecektir. Bu malzeme arayışında, mukavemet, hafiflik, üretim yöntemi, ham madde temini vb. gibi birçok özelliği düşünülmektedir. İleri teknoloji malzemesi olan kompozit malzemeler buna en iyi örnektir. Kompozit malzeme yapısı, geçmişte uzun süre kerpiç vb. gibi ürünler elde edilip, fark edilmeden kullanılmış olsa da şu an aktif halde birçok ürün ve araç gerecin kompozit malzeme olduğunu görmek mümkündür. Otomotiv, havacılık, iklimlendirme, spor, elektronik, tarım gibi çoğu alanda kompozit ürünler yer almaktadır. Bundan dolayı kompozit malzemelerin üretim şekilleri ve bileşiminde kullanılan malzeme türlerinden doğan yapısal farklılıkların araştırılması pek çok çalışmanın konusu olmakta ve olmaya devam etmektedir. Kullanım alanına uygun istenilen mekanik özellikleri taşıyan, üretilmesi kolay, maliyeti düşük kompozit malzemelerin elde edilmesiyle bu alanda çeşitlenme devam etmekte ve buna bağlı olarak da her geçen gün bu malzemeleri olan ilgi artmaktadır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1 Problemin Durumu

Kompozit malzemeler de üretim yöntemi, matris ve takviye malzemeleri farklılıkları, sıralama şekilleri ve açıları gibi birçok farklı etkenlere bağlı olarak malzemenin mekanik davranışı değişmektedir. Kompozit malzemeler kullanılan malzemenin türüne göre metal, polimer, seramik olarak sınıflandırılırken takviye elemanının geometrik özelliklerine göre kısa, parçacıklı, sürekli ve sandviç olarak sınıflandırılır.

Bu tez çalışmasında kompozit malzeme sınıfında yer alan sandviç kompozitler araştırılmıştır ve bu yapılar ile ilgili farklı plaka kalınlıklarının tesiri ve farklı çekirdek malzemesinin tesiri incelenmiştir.

Sandviç kompozitlerin temel yapısında ana çekirdek malzeme üzerine farklı bir malzemenin birleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Üst yüzey malzemesi olarak çalışma türüne göre kompozit levhalar kullanılabilir. Çekirdek malzeme türü geliştirilerek farklı geometrik yapılar kullanılabilir. Bunlar malzeme türünde istenilen hafiflik, dayanım, darbe iletim yönü gibi çeşitli özelliklere göre tasarlanmaktadır. Bunun en iyi örneği bal peteği yapılı çekirdek malzemelerdir.

Literatür araştırmalarında sandviç kompozitlerin, çekirdek yapısı ve yüzey plaka kalınlığına bağlı olarak mekanik özelliklerinde değişikliklere rastlanmıştır. Bu çalışmada literatürde bir arada ve aynı durumda kullanılmamış olan, polipropilen bal peteği (PP) ve ekstrüde edilmiş polistiren (XPS) köpük malzemelerin, farklı plaka kalınlıklarında düşük darbe hızlarına karşı tesiri incelenmiştir.

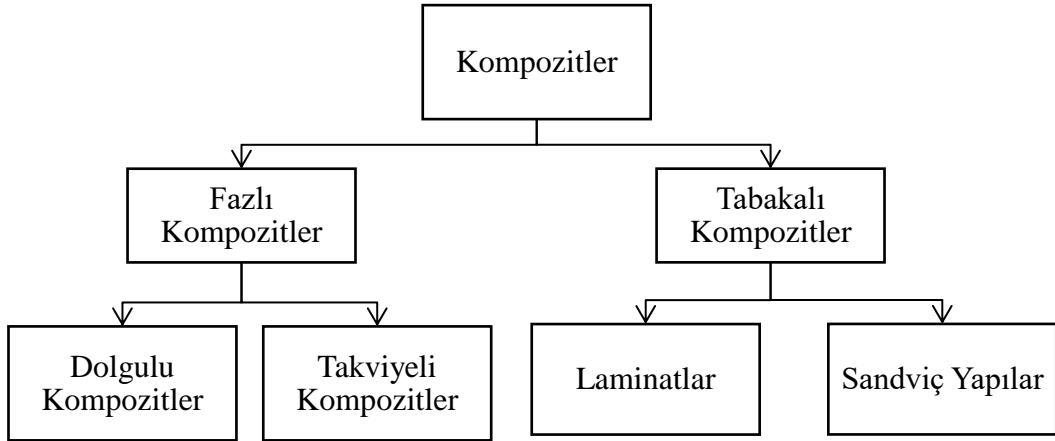
1.2 Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada PP ve XPS çekirdek malzemelerinin alt ve üst yüzeylerine farklı kalınlıklardaki Alüminyum levhalar, yapıştırıcı olarak Araldite 2015 epoksi kullanılarak birleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen bu sandviç yapı düşük hızlı darbe test cihazında farklı enerji yükleri için testlere tabi tutulmuştur. Genel anlamda çekirdek yapısının farklılığı, yüzeylerdeki levha kalınlığının etkisi ve enerji absorbe etme kapasiteleri gibi birçok açıdan incelenerek farklılıkların etkisi araştırılmıştır.

1.3 Kompozitler

En az iki malzemenin istenilen özellik türüne göre bir araya getirilerek makro boyutta birleştirilmesi ile istenilen özelliklerin elde edildiği yeni malzemeye kompozit malzeme denir.

Kompozitler birçok şekilde sınıflandırılabilir. Matris malzemesi, takviye geometrisi ve kompozisyonlarına göre değerlendirilebilirler. Kompozit türü olan sandviç yapılar, kompozisyonlarına göre sınıflandırmada tabakalı kompozitler sınıfında yer almaktadır.



Şekil 1.1. Kompozitlerin kompozisyonlarına göre sınıflandırılması [1]

1.3.1 Tabakalı Yapısal Kompozitler

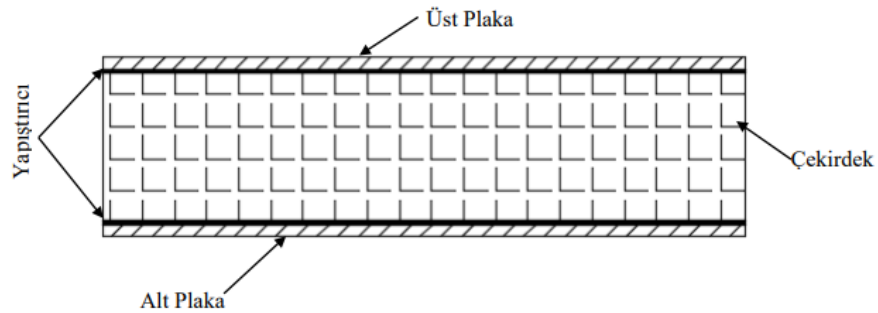
Yaygın olarak bilinen tabakalı kompozitler laminatlar ve sandviç yapılarıdır. Fiberli bir kompozit farklı fiber dizilimlerinden birden fazla tabaka içeriyorsa çok tabakalı

kompozit adını alır. Yapısal kompozitlerin özellikleri, yapısal elementlerin özelliklerinin yanında geometrik dizaynlarına da bağlıdır [1]. Bu geometrik dizayn, fiberli kompozit tabakalarında yönelme açısı, sıralama türü gibi değerlere bağlıyken, sandviç yapılarda ise çekirdek malzemenin geometrik şekline, çok katmanlı ise sıralama türüne bağlı olmaktadır.

1.3.1.1 Sandviç Yapılar

İki adet ince ve rijit üst ve alt yüzey tabaka arasında hafif ve kalın bir çekirdek malzemesinin yerleştirilmesiyle oluşur. Sandviç yapılar, hafiflik, yüksek dayanım/ağırlık oranı gibi özelliklere sahip olup, denizcilik, havacılık ve uzay, otomotiv ve yapı endüstrisi gibi birçok sahada kullanılmaktadır. Sandviç malzemelerin tabakalar ve çekirdek yapısının farklı malzemeler ve geometrik yapılarda seçilmesi en uygun tasarımın elde edilmesinde tercih sebebidir [2].

Genellikle yüzey tabakaları yüksek dirençli yoğun malzemelerden üretilmektedir. Bunun nedeni yan yüklemeler ve yatay eğilme momentlerinin neredeyse tamamını bu kısımların karşılamasıdır. Orta tabakalar, yüzey tabakalarına göre düşük yoğunlukta ve daha zayıf malzemedен üretilir ve bu ince yüzey tabakalarını birbirinden ayırmak ve sabitlemek suretiyle sandviç yapıya makaslama rijitliği kazandırmaktadır. Uygun şekilde yüzey ve orta tabakaların seçilmesiyle birim ağırlık başına oranla yüksek rijitlik (malzemenin yük altında stabil kalabilme yeteneği) değerleri elde edilebilmektedir [3].



Şekil 1.2. Sandviç panel genel yapısı [4]

Sandviç yapılar üç temel yapıdan oluşur. Alt ve üst plakalar, çekirdek malzeme ve yapıştırıcıdır.

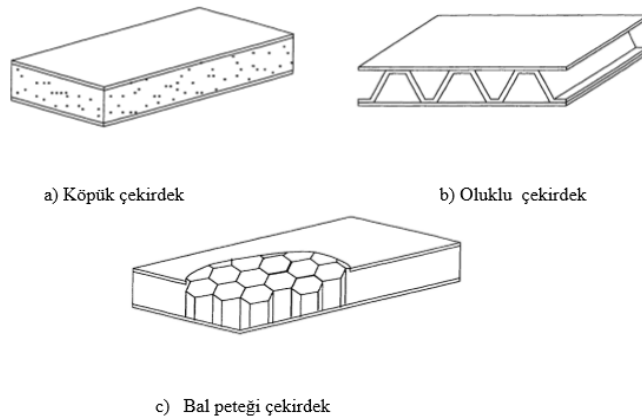
1.3.1.1.a Alt ve Üst Plakalar

Sandviç yapılarda, genellikle plakalar ince fakat yüksek mukavemetli yapıya sahip malzemelerdir. Asıl işlevleri üretilen sandviç yapı için ihtiyaç duyulan eğilme gerilmesi ve düzlem içi kayma gerilmesini karşılamasıdır. Yüzey levhalar için aşağıdaki malzemeler kullanılmaktadır [5];

- Alüminyum
- Paslanmaz Çelik
- Cam Fiber
- Karbon/Epoksi
- Ahşap

1.3.1.1.b Çekirdek Malzemeler

Alt ve üst plakalar arasına yerleştirilen çekirdek malzeme, plakaya göre hafif ve mukavemeti daha düşüktür. Çekirdek malzemenin ana görevi plakalar arasındaki mesafeyi korumaktır; çünkü mesafe sandviç yapı kesit alanındaki atalet momentinin ve burkulma dayanımının yüksek olmasını sağlamaktadır [6]. Çekirdek malzemeler geometrik yapılarına ve yapı içindeki kullandıkları malzeme türüne göre farklılıklar oluştururlar.

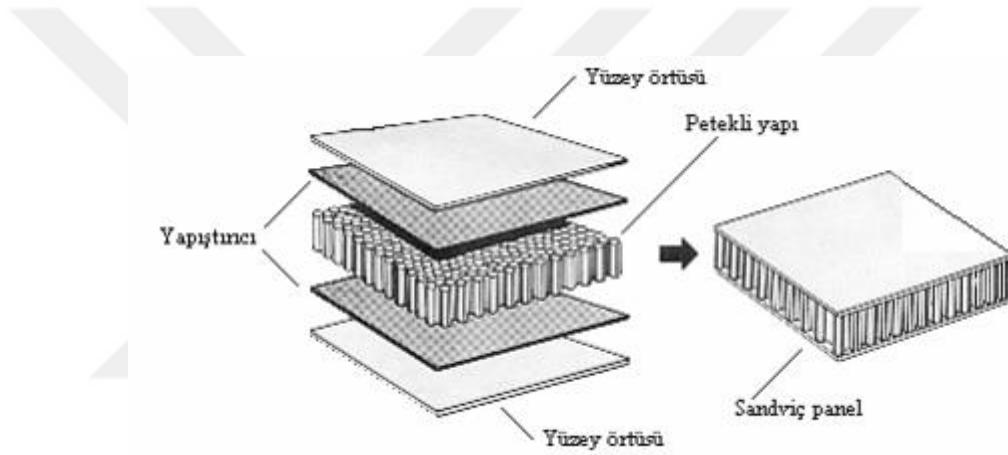


Şekil 1.3. Farklı çekirdek malzemelere sahip sandviç yapılar [6]

Petekli yapılar için sadece altıgen değil istenilen dayanım türüne göre farklı yapıda petek tipi oluşturulabilir.

1.3.1.1.c Yapıştırıcı Malzeme

Yapıştırıcı, elemanları bir arada tutan madde olarak adlandırılır. Yapışma; iki yüzeyin, iyonlar, moleküller ve atomlar arası etkileşimden dolayı oluşan çekim kuvvetleriyle bir arada tutturulması olarak tanımlanır. Yapıştırıcılar birçok fiziksel şekilde olabilir (sıvı, katı, macun, bant gibi). İki temel birleştirme işlemi vardır. Bunlar yapısal ve yapısal olmayan yapıştırma işlemidir. Yapısal yapıştırma, tasarım sınırları içinde yapının sürekliliğini kaybetmeden yük taşıyabilen yapıştırıcı ile birleştirilmesidir. Yapısal yapıştırıcılar uzay sanayi, otomotiv endüstrisi, gemcilik vb. birçok alanda kullanılmaktadır [7].



Şekil 1.4. Sandviç panellerin yapıştırılarak elde edilmesi [8]

1.3.1.2 Üretim Yöntemleri

Sandviç yapı genellikle sıcak presleme ile veya vakum torbası kullanımı ile veya uygun bir kalıp tasarlanarak üretilebilir. Sıcak preste levha ve önceden şekillendirilmiş paneller üretilir. Vakum torbası ile üretimde ise genellikle karışık şekilli ve kıvrımlı parçalar tercih edilir [9].

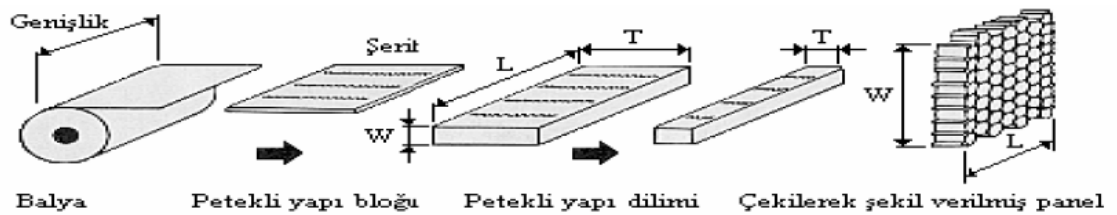
Bu çalışmada uygun bir kalıp tasarımı ile kalıplama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem; sandviç yapı için kullanılacak çekirdek malzemesi yüzey plakalar ve yapıştırıcı temel malzemelerinin yanında sandviç oluşumu sonrası kalıplama yaparak yüzeylerin birbirine tutunmasını tamamen sağlamaya dayanır. Bu üretim yönteminde dikkat edilmesi gereken en temel durum çekirdek ve yüzey levhalarının yapıştırıcıyı emme

kabiliyetleridir. Yüksek emilim kabiliyeti olan malzemelere uygulanan yapıştırıcıların yetersiz kalması oluşturulan sandviç yapısının da mekanik özelliklerin kötüleşmesine yol açacaktır. Ayrıca bu üretim yönteminde uygun kalıp boyutlarının seçimi, kalıp yüzey pürüzlülüğü ve kalıp sıkıştırma kuvveti dikkate bir şekilde ele alınmalıdır. Örneğin kalıp yüzey pürüzlülüğü sorunu, sandviç yapının her noktasında eşit kuvvet dağılımını engellediği için birçok birleşmemiş nokta meydana getirmektedir. Bir diğer örnek ise kalıp sıkıştırma kuvvetinin uygun tercih edilmesidir. Çünkü bu kuvvetin çok yüksek olması sandviç yapıya ait malzemelerin hasara uğramasına neden olabilmektedir.

1.3.1.2.a Petekli Yapı Üretim Yöntemleri

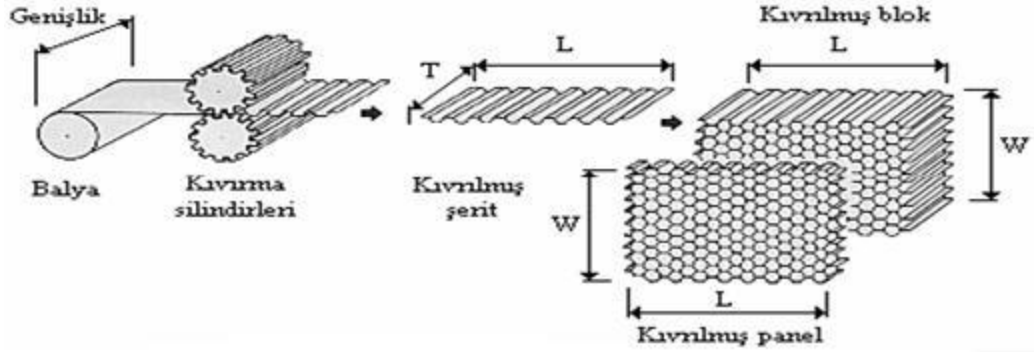
Bal peteği yapısının üretimi için yapının ana malzeme türüne göre değişiklik göstermekle birlikte genel anlamda en çok tercih edilen yöntemler uzatarak ve kıvrılarak şekil verme yöntemleridir.

Şekil 1.5’de görülen uzatarak şekil verme yöntemi, metal ve metal olmayan çekirdek yapı imalatında kullanılır. Genel olarak; levhaların şerit halinde kesilerek ve yapıştırıcı sürülerek, levhalar üst üste dizilir ve petekli yapı bloğu seçilen sıcaklıkta preslenme sonucu elde edilir [10].



Şekil 1.5. Uzatarak şekil verme yöntemi [10]

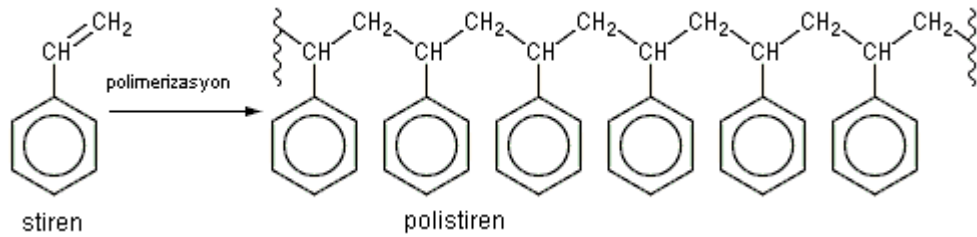
Tercih edilen diğer bir yöntem ise kıvrırma ile üretme yöntemidir. Bu yöntem genellikle et kalınlığı ve yoğunluğu fazla olan yüksek sıcaklıklarda çalışan petekli yapı imalatında kullanılır. Şekil 1.6’da görüldüğü üzere yöntemde şerit levhalar kıvrılarak düğüm noktalarına yapıştırıcı tatbik edilmesiyle ürün elde edilir[10].



Şekil 1.6. Kıvrırma metodu ile şekil verme [10]

1.3.1.2.b XPS Üretim Yöntemleri

Homojen hücre yapısında, genellikle ısı yalıtımı amacıyla üretilen ve kullanılan köpük malzemelerdir. XPS hammaddesi polistiren, şişirme yardımı ile sürekli bir ekstrüzyon işlemiyle sabit basınç altında köpük halinde üretilir. Kapalı hücre yapısına sahip levha haline getirildikten sonra ürün kullanım yerine uygun olarak yüzey işleme yapılır. Üretimi sırasında işlem parametreleri farklılığı ile çeşitli uygulama gereksinimlerini karşılamak üzere XPS ürün özelliklerinin değişikliği sağlanır [11].



Şekil 1.7. Polistiren'in kimyasal formülü [12]

1.3.1.3 Sandviç Yapılı Kompozitlerin Kullanım Yerleri

Sandviç yapılar, tek tür bir malzemenin sağlayamadığı özelliği iki veya daha fazla malzemenin birleşmesiyle oluştukları için istenilen özellikleri tek başına karşılayabilmektedirler. Sandviç yapıların türü ve çeşidi kullanım amacına göre değişmektedir. Sandviç yapı çekirdeğinin türüne göre hafiflik, esneklik, ısı iletkenlik

veya yangında alev iletmeme gibi kullanım alanına göre birçok özellik tercih edilebilir. Sandviç yapının alt ve üst kısmındaki malzemenin seçiminde ise yüksek mukavemetli malzemeler kullanılır, bu malzemelerin seçimi kullanım alanına ve istenilen özelliklere göre yapılır. Örneğin bir hız teknesi imalatında dış yüzeyi pürüzsüz ve suyu geçirmeyen bir malzeme çeşidi seçilebileceği gibi, askeri bir yapıda dış yüzey ani basınç yükselmelerine ve darbelere karşı malzeme çeşidi seçilmektedir [13].

Sandviç yapıları kompozitler pek çok alanda kullanılmaktadır. Örneğin; havacılık, uzay ve savunma sanayinde parça ve elemanların yapısında, denizcilik sektöründe, ev aletleri ve iş ekipmanlarında buzdolabı dondurucu ocaklar gibi makine, alet ve cihazlarda, yapı sektöründe örnekleri mevcuttur [14-15].

1.3.1.4 Sandviç Yapıların Avantaj ve Dezavantajları

Sandviç kompozitlerin diğer kompozit yapılara göre avantajları şu şekildedir [16]:

- 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
- Çekme dayanımlarının çelik ve alüminyuma göre 4-6 kat daha fazla olması
- Rijitliklerinin yoğunluklarına oranla, çelik ve alüminyumdan 3,5-5 kat daha fazla olması
- Yorulma mukavemetinin yüksek olması
- Darbe enerjisini absorbe etme kapasitesinin diğer malzemelere oranla önemli ölçüde yüksek olmasıdır.

Kompozitin üretim şartlarına, bileşenlerin özelliklerine bağlı olarak istenmeyen mekanik özellikler oluşabilir. Bunlar genellikle, kompozitin hafif olmaması, mukavemetsiz olması, malzemeler arası uyumsuzluktan kaynaklanan problemlerdir.

Örneğin, çekirdek malzemesinin düşük mukavemette olması ya da yapıştırıcı olarak kullanılan epoksinin organik çözücülere karşı dayanıksızlığı sandviç yapıda istenmeyen mekanik özellikler oluşturabilmektedir.

Genel olarak dezavantajları şu şekildedir [16]:

- Katlar arasında kalan hava ve gazlar malzemenin ömrünü azaltır.
- Ara katlar arasında kalan gizli yapışmaları incelemek zordur.
- Test yapma yöntemleri pahalıdır.
- Sıcaklık farklılıklarında bozulurlar.
- Sandviç kompoziti oluşturan her bir bileşenin olumlu-olumsuz tüm özelliklerinin ana yapıya tümüyle yansımalarıdır.

1.4 Literatür Araştırması

Sandviç yapılardaki çekirdek malzeme tercihi istenilen şartların genel özellikleri nedeniyle sınırlıdır. Bundan dolayı bal peteği yapılı sandviçlerde genellikle alüminyum bal peteği yapısı tercih edilmiştir [17-22]. Yeni çekirdek malzemeleri araştırılmaya devam etmektedir. Bunlardan bazıları polipropilen, nomex, polistiren, poliüretan vb. esaslı malzemeler olup bunlar ile ilgili yapılan çalışmalar kısıtlıdır [18,19,23,27,28]. Aşağıda literatürde yer alan sandviç yapılar ile ilgili çalışmalardan bazıları detaylandırılmıştır.

Wang vd. [17] yaptıkları çalışmada bal peteği yapısının yüksek hızlı darbe testindeki davranışını incelediler. Bal peteği olarak Alüminyum 5052-h18 kullandılar. Testlerde farklı hızlara göre zamana bağlı olarak gerilme ve şekil değiştirme sonuçlarını sundular. Ansys programıyla yapılan sayısal analizler ile deneysel yapılan testlerle de çalışmanın sonuçlarının doğruluğu kanıtlanmıştır.

Arslan ve Kaman [8] farklı kalınlıklarda alüminyum, bakır, cam elyaf/polyester ve kağıt/polyester petekli kompozitlerin mekanik davranışını incelediler. Bu kompozitlere darbe ve basma tesiri uyguladılar. Sonuç olarak basma deneyi sonucunda sabit hücre boyutunda farklı kalınlıktaki alüminyum petek kompozitler için yük artışı ile şekil değişimi lineer iken, maksimum yük değerinden sonra şekil değişiminin artmasıyla yük değerlerinde azalma olduğunu belirttiler. Yani et kalınlığı sabit iken, hücre boyutunun artması ile daha düşük yüklemeler ile aynı şekil değişimine ulaşıldığını gösterdiler.

Kuş ve Ekici [18] çalışmalarında, farklı çekirdek malzemeleri kullanarak sandviç kompozitlere delme işlemi uyguladılar. Bu sandviç plakalar; çekirdek yapısı alüminyum ve nomex olan 10 mm kalınlığında iki farklı bal peteğinin alt ve üst bölgelerine karbon elyaf takviyeli polimer kullanılarak oluşturulduğunu belirttiler. Onlar optik mikroskop ile hasar kontrolü sağladılar ve giriş ve çıkış delaminasyon faktörleri üzerindeki kesme hızı, ilerleme miktarı, çekirdek malzeme gibi durumların etkisini sundular.

Ercan vd. [19] yaptıkları çalışmada uçak sanayinde kullanılan kompozit malzemelerin standartlarına uygun olarak, ayrılma, çekme ve dört nokta eğme testini yaptılar. Onlar çalışmalarında Al-Al bal peteği kompozit ve Nomex bal peteği kullandılar. Malzemenin kullanıldığı bölgeye uygun olarak yüke ve zorlamaya göre testler yaptılar. Hasar gören bölgelere tamir uygulanmaya çalıştılar. Bunun bağlı olarak, 126 adet bal peteği kompozitlere uygulanan tamir sonucunda %3 oranında başarısız tamir uygulamasıyla tamamlamışlardır.

Subaşı vd. [20] çalışmalarında alüminyum damla desenli sac ve hazır cam takviyeli polyester levha kullanarak alüminyum bal peteği sandviç sac imal ederek üç nokta eğme deneyi yaptılar. Ayrıca cam takviyeli polyester levha kalınlığı ile çekirdek kalınlığı değişiminin eğilme dayanımı ile olan ilişkisini incelediler. Al bal peteğinin bir yüzeyine alüminyum damla desenli sac diğer yüzeyine ise cam takviyeli polyester kullandılar. Bu malzemelerin seçimi yapılırken doğru sonuç için taşımacılık alanında sıkça kullanılan damla desenli sac bir tarafta iken diğer tarafta ise kapalı alanda terleme yapmayı önleyen cam takviyeli polyester tercih ettiler. Üç nokta eğme deneyi sonucu farklı kalınlıklarda oluşan numunelerden elde edilen sonuçları karşılaştırdılar. Onlar değerlendirme için iki yönlü varyans analizini kullandılar ve cam takviyeli polyester ve

bal peteği kalınlığının eğme deneyinde önemli farklı değerleri olduğu sonucunu sundular.

Solmaz ve Kaman [21] yaptıkları çalışmada 4 farklı boyutta bal peteği hücreleri ve 4 farklı petek hücre kalınlığına sahip Alüminyum bal peteğinin iini köpük ile doldurdular ve yüzey plakaları ile kaplanmış sandviç kompozitleri basma testine maruz bıraktılar. Alüminyum bal peteği olarak, Al 1050 kullandılar ve 0.05, 0.10, 0.12, 0.15 mm kalınlıklarına sahip bal peteği hücreleri olan levhada 10, 15, 17, 27 mm hücre boyutlarını tercih ettiler. Köpük olarak termoset poliüretan kullandılar ve yüzey plakalarını polyester-cam fiberle kapladılar. Sonuç olarak hem petek hücre duvar kalınlığının hücre duvarı ince olana göre, hem de köpüklü olan hücrelerin köpüksüz olan hücrelere göre kritik burkulma yükünü artırdığını ifade ettiler. Ayrıca sandviç yapısının ağırlığını etkilemeyecek bir dolgu malzemesinin doldurulmasının uygulanabilirliğini vurguladılar.

Solmaz vd. [22], Solmaz ve Kamanın (2010) yaptıkları deneysel çalışmaları, sayısal olarak değerlendirmişlerdir. Onlar Ansys Workbench de lineer burkulma analizini yaptılar. İki analiz sonuçlarını oldukça yakın bulduklarını gösterdiler ve kullanılan yöntemin zaman ve maliyet açısından daha faydalı olduğunu vurguladılar.

Aslan, vd. [23] çalışmalarında alüminyum ve polipropilen bal peteğine ve poliüretan köpüğe karbon fiber yüzey katmanı oluşturarak sandviç yapı oluşturdular. Üç farklı sayıda (6, 8, 10) yüzey katmanına sahip karbon fiber kullandılar. Sandviç yapıları basma testine ve 3 nokta eğme testine tabi tuttular. Onlar 10 tabakalı karbon fiber yapısının mukavemeti düşük olduğunu ifade ettiler ve 8 tabakalı karbon fiber yapısının en iyi yüzey malzemesi olduğunu vurguladılar. Ayrıca kenar doğrultusunda basma deneyinde alüminyumun yüksek mukavemetli olmasına rağmen karbon fibere zayıf bağlanmasından dolayı en düşük eğme dayanımına sahip olduğunu da ifade ettiler. Bundan dolayı karbon fiber yüzeyli poliüretan köpüğün genel anlamda iyi mukavemetli sandviç bir yapı olduğunu gösterdiler.

Güler ve Ulay [24] çalışmalarında, bal petekli kompozit sandviç malzemeleri araştırdılar. Onlar polipropilen bal peteği malzemenin TS standartlara göre özelliklerini incelediler ve kontrplaklara göre karşılaştırma yaptılar. İncelemelerinde ara malzeme olarak bal peteği kullandılar ve dış yüzeyine farklı kalınlıklarda Okume kontrplak

yapıştırdılar. Kompozitleri eğme ve suda bekletme testlerine tabi tuttular ve sonucunda eğilme dirençleri ve su alma miktarlarını incelediler. Bal peteklerinin düşük yoğunluğuna rağmen yeterli mukavemete sahip oldukları ifade ettiler ve diğer levhalar ile karşılaştırıldığında 24 saat içerisinde daha az su aldığını tespit ettiler.

Tan ve Akil [25] yaptıkları çalışmada, 20mm kalınlığında polipropilen bal peteğinin alt ve üst yüzeylerini, fiber metal laminant ile kapladılar. Fiber metal laminantı ise iki Al plaka arasına cam elyaf takviyeli prepreg birleştirilmesi sonucu elde ettiler. Elde edilen sandviç kompoziti düşük hızlı darbe testine tabii tuttular. Parametre olarak, darbe hızı, absorbe edilen enerji, malzemenin darbe mukavemeti, düşürülen ağırlığın yükseklik durumunu belirlediler. Test sonucunda 9,12-11,76 J eşik enerjisi olarak belirlediler ve 15,68-19,62 J arasında malzemede yoğun hasar gözlemler.

Nagasankar vd. [26] çalışmalarında polipropilen bal peteğinin alt ve üst yüzeylerini cam elyaf takviyeli plastik (CTP) ile kapladılar ve numuneleri bir noktadan sabitleyerek, impuls tekniği kullanarak, bir çekiç ile numunenin orta noktasından darbe uygulayıp numunenin diğer uç kısmından frekans sonuçlarını elde ettiler. Çalışmada, farklı kalınlıklarda bal peteği ve CTP kullandılar ve takviye eleman olarak ise $2,50\text{g/cm}^3$ yoğunluğunda cam elyaf kullanarak farklı yönelim açıları oluşturdular. Oluşturdukları farklı lif yapılarına ve kalınlıklarına sahip polipropilen bal peteği sandviç kompozitler için, hem deneysel hem de teorik olarak çalışma yapıp sonuçları kıyasladılar.

Parsa vd. [27] yapılan çalışmada, ürettikleri sandviç yapısının kalıp içerisinde çift eğrilik oluşturduktan sonra geri yaylanmasını deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelediler. İki farklı kalınlıktaki sandviç yapıyı Al3105/Polipropilen/Al3105 şeklinde, yapıştırıcı olarak ise eritilmiş polipropilen kullanarak oluşturdular. Deney sonuçları ile sonlu elemanlar yöntemi sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğunu gösterdiler, panel kalınlık değişiminin iki yönde de geri yaylanma miktarını etkilediği ve sandviç kalınlığı artmasıyla tüm yay kavislerinde geri yaylanmasının (esneme) arttığını belirttiler.

Mocian vd. [28] çalışmalarında poliüretan ve polistiren çekirdek malzemelerin yüzeylerini alüminyum ile kaplayarak sandviç kompozit panel oluşturdular ve bu panellere darbe testi uyguladılar. Numunelere farklı hızlarda darbe testi uyguladıktan sonra yüzeyde ve çekirdekte oluşan delinmeleri incelediler ve alt plaka yüzeyinde hasar oluşup oluşmadığını gözlemler. Çalışma sonucunda polistirenin daha fazla enerji

absorbe ederek daha az zarar gördüğünü ve alt plaka olan alüminyum levhanın etkilenmediğini fakat poliüretana göre daha çok eğilme gösterdiğini belirttiler.

Kendall vd. [29] yaptıkları çalışmada Alüminyum 5052 H34 bal peteği yapılı çekirdek malzemesinin alt ve üst plakalarını Alüminyum 7075-T6 ile kaplanması ile oluşturulan sandviç malzemelerde, çekirdek malzeme ile plaka arasındaki yapışkan tabaka kalınlığı miktarının artmasıyla yarı statik deneyin sonuçlarını incelediler. Onlar testlerini farklı çökme derinliklerinde ve farklı yapıştırıcı film kalınlıkları için yaptılar. Sonuç olarak yapıştırıcı miktarı ile çökme miktarını, absorbe edilen enerji ile yapışkan miktarının artmasını ve bunlara bağlı olarak filmsel hasar miktarını değerlendirdiler.

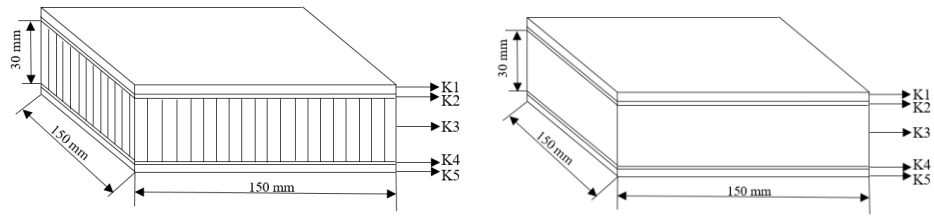
Işıktaş ve Taşkın [30] çalışmalarında sandviç kompozitlere V bükme yaparak geri esneme durumunu incelediler. Orta tabakada karbon elyaf kullanıp alt ve üst tabakalarda, Alüminyum 5754-H22 plaka kullandılar. V bükme işlemlerini saat yönünde ve tersinde olarak iki farklı şekilde, 6 farklı bükme açısında yaptılar. Elde edilen bükme sonrası geri esneme açıları ve oluşan yırtılmalar inceleyerek değerlendirdiler.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

Kompozit sandviç panellerin kullanım alanlarında beklenen performansı gösterebilmesi için üretim metodu, çekirdek malzeme, yüzey plakaları ve yapıştırıcı malzeme gibi pek çok parametrenin birbiri ile uyumlu tercih edilmesi gerekmektedir. Kompozit yapıyı oluşturan bu malzemeler, üretimden itibaren, nihai ürünün özelliklerini de doğrudan etkilemektedir. Üretilen kompozit sandviç panel numunelerin tabii tutulacağı test metoduna göre numune boyutlarının standartlara uygun olması gerekmektedir. Bu sebeple, üretim yöntemine karar verilmesiyle birlikte malzemenin geometrik tasarımı da düşünülmelidir.

Darbe testleri için üretilen numunelerin geometrik tasarımı ve boyutlandırması Şekil 2.1’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, sandviç paneller orta kısımda aynı kalınlıklarda PP ve XPS iki farklı çekirdek malzemesi olmak üzere K3 olarak ifade edilmiştir. Alt üst yüzeylerde farklı kalınlıklarda Alüminyum 6061 T6 plakalarda K1 ve K5 ile ifade edilmiştir. Bu alt ve üst yüzey plakalar ile çekirdek malzeme arasında K2 ve K4 ile ifade edilen, yapıştırıcı malzeme olan 0,25 mm yüzey kalınlığında Araldite 2015 epoksi bulunmaktadır. Alüminyum plakalar 0,5 ve 1 mm kalınlıklarında farklılık göstermekte olup dört farklı kombinasyonlarda numune elde edilmiştir. Kombinasyonlar, 0,5 mm yüzey plakalı PP, 0,5mm yüzey plakalı XPS, 1mm yüzey plakalı PP ve 1 mm yüzey plakalı XPS şeklindedir. Test numuneleri 150x150 mm boyutlarındadır. Her bir numuneden 2 adet olmak üzere toplam 24 adet numune üretimi yapılmıştır.



Şekil 2.1. Numunelerin geometrik tasarımı ve boyutlandırılması

Bu tez çalışmasında, kompozit malzemeler sınıfında yer alan sandviç panellerin düşük hızlı darbe davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Üretilen sandviç panellerin düşük hızlı darbe davranışı incelenmiş ve darbe cihazından elde edilen kinetik enerji (J)-zaman (s) ve temas kuvveti (N)-zaman (s) grafikleri yorumlanmıştır. Bu bölümde, üretim aşamasında kullanılan malzeme özellikleri, üretim yöntemi ve deneysel yöntem hakkında bilgilere yer verilmiştir.

2.1 Malzemeler

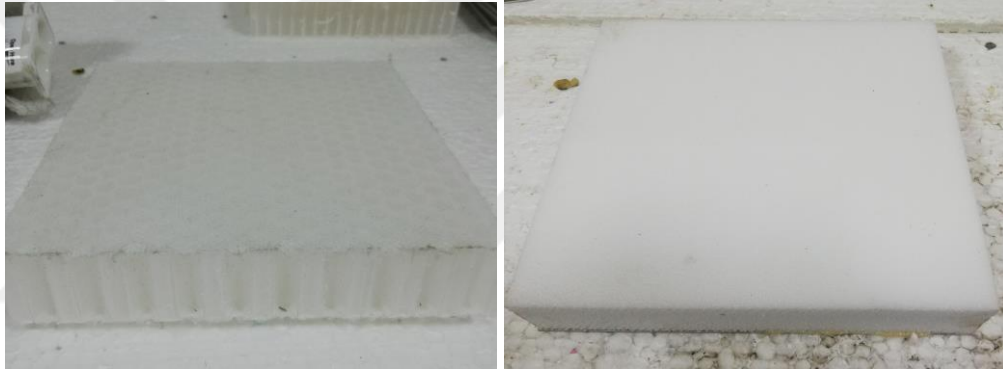
Bu çalışmada, sandviç panel numunelerin yapısı; çekirdek malzeme, alt ve üst plakalar ve yapıştırıcıdan oluşmaktadır. Çekirdek malzeme olarak bal peteği yapılı PP ve XPS yapılar kullanılmıştır. Alt ve üst plakalar için, farklı kalınlıklarda Alüminyum 6061 T6 plaka kullanılmıştır. Bu çekirdek malzemelerin yapıların alüminyum plakalar ile birleştirilmesinde ise Araldite 2015 epoksi yapıştırıcı tercih edilmiştir.

2.1.1 Çekirdek Malzemesi

Monomerlerin birbirine zincir oluşturmasıyla meydana gelen yapılar polimerlerdir. Makro molekül olarak adlandırılan polimer molekülünde bu yapı birimlerinden yüzlerce, binlerce ve daha fazlası birbirine bağlanmaktadır. Oligomer, bu sayı sınırının az olduğu alt sınır bölgesindeki polimerlere denir. Makro molekül ise üst sınır bölgesindeki polimerlere denir. Polimerler, Oligomerler ile makromoleküle ulaşan bu bölge için genel bir isimlendirilmez. Fakat gerek laboratuvarında gerekse pratik uygulamalar için hazırlanan polimerlerin çoğu genellikle 5,000-250,000 molekül ağırlığı bölgesinde bulunur [31]. Molekül ağırlığı, rijitlik ve köpüklü yapıları sayesinde kompozit yapıların çekirdek malzeme grubunda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada

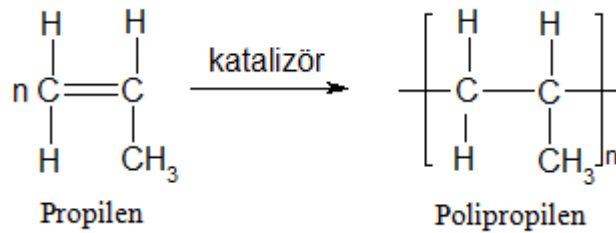
polimer yapıya sahip polipropilen ve ekstrüde polistiren köpük malzemeler kullanılarak sandviç yapılar üretilmiştir.

Numunelerin üretiminde kullanılan sandviç yapıların çekirdek malzemesinde, bal peteği yapılı PP ve köpük yapılı XPS malzemeler tercih edilmiştir. PP bal peteği malzemeler, Gencer Otomotiv Karasör ve Beyaz Eşya San. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. XPS köpük malzemeler ise Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Makina Motor Laboratuvar'dan temin edilmiştir ve malzeme görselleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Bu çalışmada, PP ve XPS kullanılarak üretilen kompozitlerin karşılaştırılması yer almaktadır.



Şekil 2.2. PP balpeteği ve XPS köpük

Bu çekirdek malzemelerinden ilki olan, Polipropilen (C_3H_6); ziegler–natta katalizörleri olarak bilinen $TiCl_3$, DEAC (dietilalüminyumklorür) ya da bazı metalosen katalizörlerinin varlığında propilen monomerinin polimerleşmesiyle elde edilir ve polimerleşme tepkimesi Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Genel polimerleşme tepkimesi [33]

Polipropilenler, gaz faz, bulk faz, slurry faz olmak üzere 3 değişik yolla üretilir. Polipropilenler çekme direnci en yüksek termoplastik sınıfında yer almaktadır. Isıya karşı dirençlidir. Çekme gerilimi 3,5 kg/mm²'den 386 kg/mm²'ye yükseltilebilir. Sıcaklığı, 150 °C'ye kadar olan buhar sıcaklıklarından etkilenmez [33]. Çalışmada kullanılan polipropilen malzemesi bal peteği yapısındadır. Yapıştırma esnasında petek boşluklarına dolmaması amacı ile polipropilen tül yapısı ile kaplanmış halde temin edilmiştir.

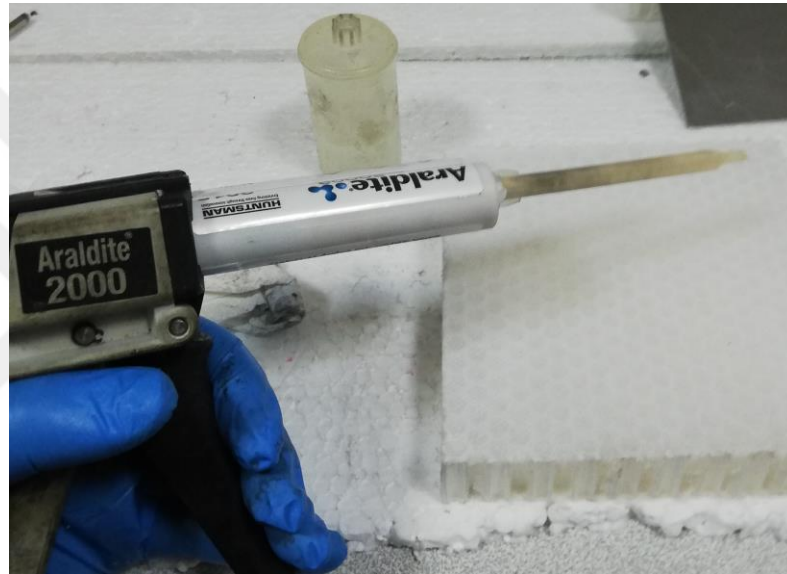
Diğer çekirdek malzememiz ise, Polistiren (C₈H₈) olup, ham maddesi petrol olan monomer yapıdaki stirenin polimerizasyonu ile üretilen bir polimerdir. Maksimum sıcaklık dayanımı 70 °C ve yoğunluğu 1,03-1,06 g/ml arasında değişir. Erime sıcaklığı 210-250 °C ve özgül ısısı 1,34 Kcal/Kg°C'dir. UV ışınlarına yüksek direnç gösterir, iyi darbe ve gerilme direnci ve işleme kolaylığı vardır. Alkali asit ve tuzlara karşı üstün bir direnç gösterir. Oda sıcaklığında katı halde bulunan polistiren, yüksek sıcaklıklarda kalıplanarak ve soğutularak istenilen şekilde üretilebilir. Oldukça kırılğan, sert ve parlak yapıdadırlar. Saf halde bulunan katı polistiren şeffaftır, ancak pigmentler kullanılarak istenilen renkte malzeme üretilebilir. Rijit ve köpük yapıları çok farklı alanlarda tercih edilmesinde avantaj sağlamaktadır. Düşük erime noktasına sahip ve düşük maliyeti sayesinde yapıştırıcı olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca izolasyon malzemesi olarak soğutma kuleleri, kauçuk yapı malzemeleri, çeşitli aletler, otomobil parçaları, paneller ve elektronik aletlerin plastik aksamlarında yaygın olarak kullanılır [32].

Ekstrüde Polistiren (XPS) malzemeler ekstrüzyon işlemi ile elde edilen sıkıştırılmış polistiren malzemenin genel adıdır. Polistiren ekstrüzyon işlemi ile üretim hattı boyunca istenilen kalınlıkta çekilir. Bilgisayar kontrolünde yapılan bu imalat ile homojen görünümünde, kararlı bir hücre yapısı elde edilir. Hücreler bütün yüzlerinden birbirine bağlıdır. Hareketsiz kuru hava sayesinde bilinen en iyi ısı yalıtımı sağlanmaktadır. Hattan çıkan malzemenin yüzeyi, zırlı veya pürüzlü yüzey olarak malzemenin kullanılacağı alana uygun olacak şekilde yapılandırılır. Bu yapı sayesinde XPS malzemeler bünyesine su almaz, nemden etkilenmezler [11].

2.1.2 Yapıştırıcı

Plaka ve çekirdek malzemelerinin birleştirilmesinde, Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilen 'Araldite 2015' kodlu epoksi

kullanılmıştır. Yapıştırıcı görseli Şekil 2.4’de verilmiştir. Ürün çalışma süresi 100 gr / 23 °C / 35 dk ve bu şartlar altında kürlenme süresi 6 saattir [34]. Bu tanım, 100 gr epoksiyi verimli kullanmak için oda sıcaklığında (23 °C) bekleme süresinin maksimum 35 dakika olması gerektiğini ifade eder. Bu sürenin aşılması veya sıcaklık değerinin değişmesi sonucunda epoksi erken donma meydana gelebilir ve istenilen mukavemet sağlanamayabilir. Bundan dolayı tam yapışma sağlanmadığı için bu hususlar dikkate alınmalıdır.



Şekil 2.4. Araldite 2015 epoksi tüpü ve Araldite 2000 epoksi tabancası

2.1.3 Alt ve Üst Yüzey Plakaları

Sandviç yapılı kompozit yapılarda çekirdek malzemesinin maruz kaldığı aksel yüklemeler, plakalar tarafından absorbe edilmektedir. Yanal yüklemelerin etkisi ise doğrudan yapıştırıcının viskozitesiyle ilişkilidir. Her iki etken baz alınarak malzeme seçimi yapılmaktadır. Darbe yükü altında malzemeler aksel zorlanmaya maruz kalacağı için çekirdek malzemelerin korunmasında yüzey plakalar ve bu plakaların yapıştırıcı malzeme ile tutunabilirliği oldukça önemlidir.

Sandviç yapı üretiminde çekirdek malzemelerin alt ve üst yüzeylerinde Alüminyum 6061 T6 kullanılmıştır. Akma mukavemeti 240-270 MPa, çekme mukavemeti 260-310 MPa ve Brinell sertlik değeri 95’tir. Tercih edilmesinde en yaygın olarak bilinen karakteristik özellikleri; yüksek sertlik, iyi sertleştirilebilirlik, yüksek korozyon

dayanımı ve kaynak edilebilir olmasıdır. Çalışmada, kalınlıkları 0,5mm ve 1 mm olan Al plakaların görselleri Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5. Alüminyum 6061 T6 plaka

2.2 Sandviç Üretimi

Sandviç üretimine başlarken gerekli olan bütün malzemeler bir arada toplanmıştır. Bunlar;

Alüminyum 6061 T6

PP bal peteği

XPS köpük

Epoksi (Araldite 2015)

Epoksi tabancası

Etanol

Parafin

Sandviç kütleme kalıbı

Gerekli malzemeler toparlandıktan sonra sandviç üretimine başlanmıştır.

Deney numunelerinin sayısı 24 adet olarak planlanmıştır. 6'şar adet 1mm kalınlığında Alüminyum plakalı PP ve XPS, ve 6'şar adet 0,5mm kalınlığında Alüminyum plakalı PP ve XPS çekirdek malzemeli sandviç yapılar üretilmiştir. PP ve XPS çekirdekler 150x150x30mm iken Al plakalar 150x150mm boyutlarında tercih edilmiştir.

Al plakalar Erciyes Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi atölyesinde sac kesme makinesinde uygun ölçülerde kesilmiştir.

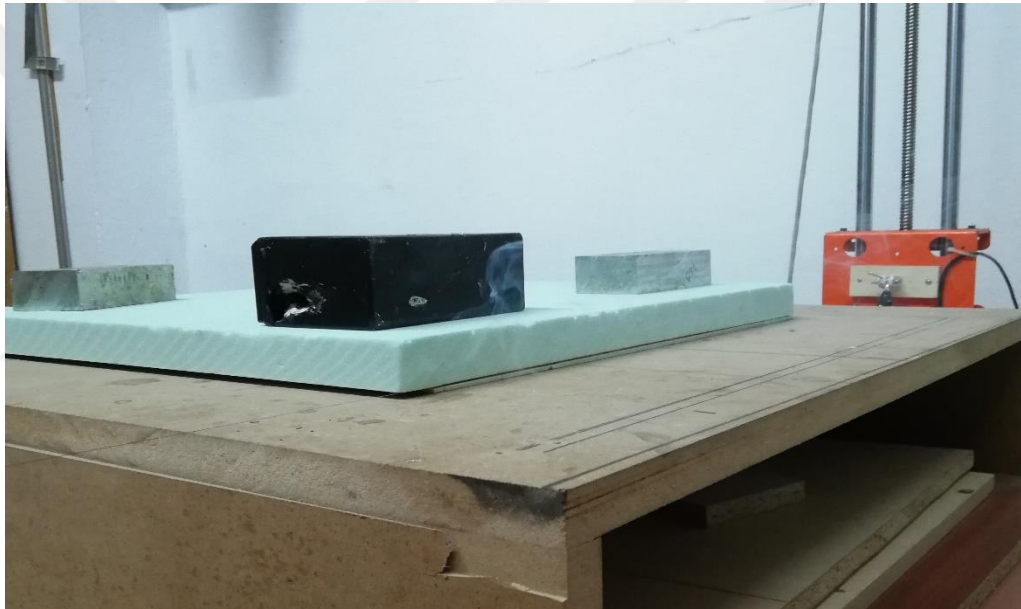


Şekil 2.6. Sac kesme makinesi

Farklı kalınlıktaki Alüminyum 6061 T6 sac levhalar belirlenen ölçülerde kesilmiştir. PP bal peteği de laboratuvarında testere kullanılarak uygun ölçülerde kesilmiştir. Fakat XPS köpük malzeme olduğu için testerede istenilen ölçülerde net bir şekilde kesmek mümkün değildir. Bu yüzden XPS malzemesi sıcak tel kesme yöntemi ile uygun ölçülerde kesilmiştir (Şekil 2.7-2.8).

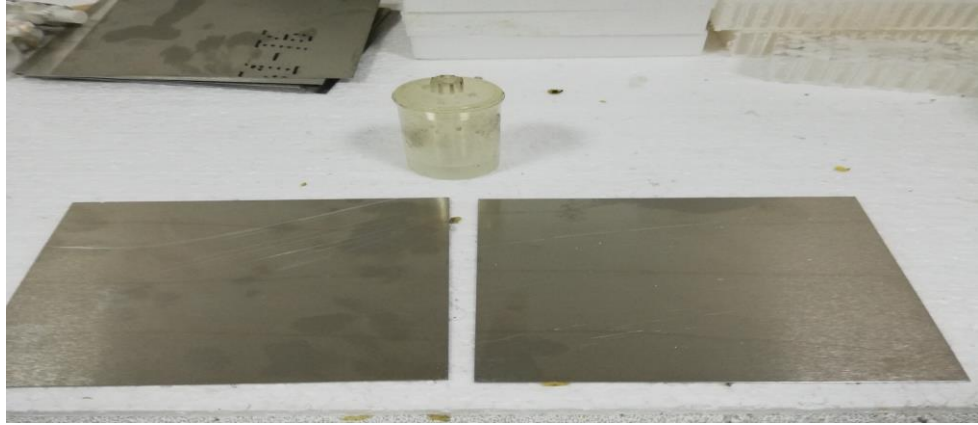


Şekil 2.7. Sıcak tel köpük malzeme kesme cihazı



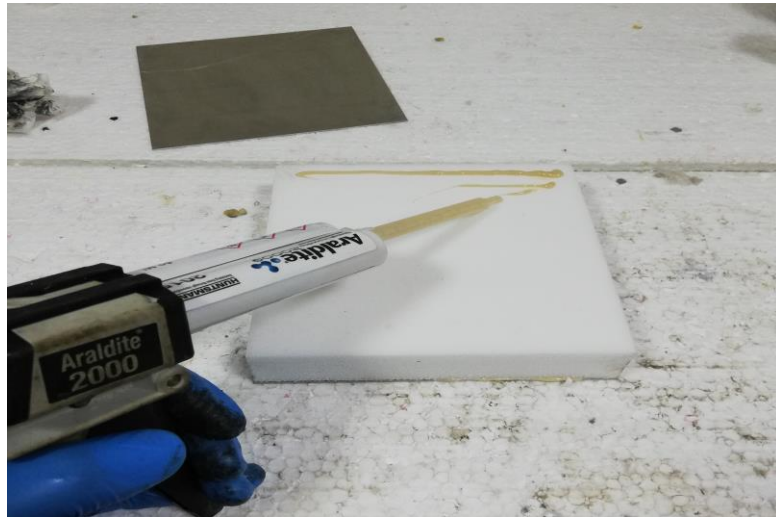
Şekil 2.8. Sıcak tel kesme uygulaması sırasında bir görüntü

PP ve XPS malzemeler istenilen ölçülerde kesildikten sonra alüminyum plakaların olduğu kompozit laboratuvarında sandviç yapımına hazır duruma getirilmiştir. Gerekli önlemler alındıktan sonra etanol ile alüminyum plakalar temizlenir. Bu temizlemenin amacı, plaka üzerinde yabancı malzeme toz vb. kirliliklerin uzaklaştırılarak yapışmayı engelleyecek durumların ortadan kaldırılmasıdır.



Şekil 2.9. Etanol ve yüzeyi temizlenecek alüminyum plakalar

Alüminyum plakaların yüzeyi etanol ile temizlendikten sonra, PP ve XPS malzemeler sırasıyla üst yüzeyleri fırça yardımıyla temizlenmiştir. Yüzeyle uygulanacak epoksi için, ilk önce Araldite 2015 epoksi tüpü, Araldite 2000 uygulama tabancasına yerleştirilmiştir ve çekirdek malzeme yüzeyine uygulanmıştır. Yüzeyin her bölgesinde eşit şekilde dağılmış olması önemlidir. Her bölgede eşit film tabaka kalınlığı oluşturmak için spatula yardımıyla sürülen epoksi üzerinden geçirilerek 0,25 mm kalınlığına ulaştırılarak film tabakası sağlanması amaçlanmıştır.



Şekil 2.10. Epoksi uygulanması

Çekirdek malzeme üzerinde oluşturulan epoksi tabakası, alüminyum plakanın temizlenen yüzeyi ile aynı hassasiyette, üzerinde harici bir atık, leke, küçük çapta dahi olsa parça bulunmamasına dikkat edilmiştir.

Al plaka, epoksi uygulanan yüzeyin tam üzerine gelecek şekilde yerleştirilerek baskı uygulanır. Bu baskı sonucu kenarlardan epoksi taşmasının gözlenmesi ile kenarlarda boşluk olmadığı anlaşılmaktadır. Al plaka yerleştirilen bölge altta kalacak şekilde, diğer yüzeye de aynı hassasiyette epoksi uygulanır. Kontrol edildikten sonra kürtleme için kalıp aşamasına geçilebilir.



Şekil 2.11. XPS köpük ve PP bal peteği üzerinde uygulanmış epoksi

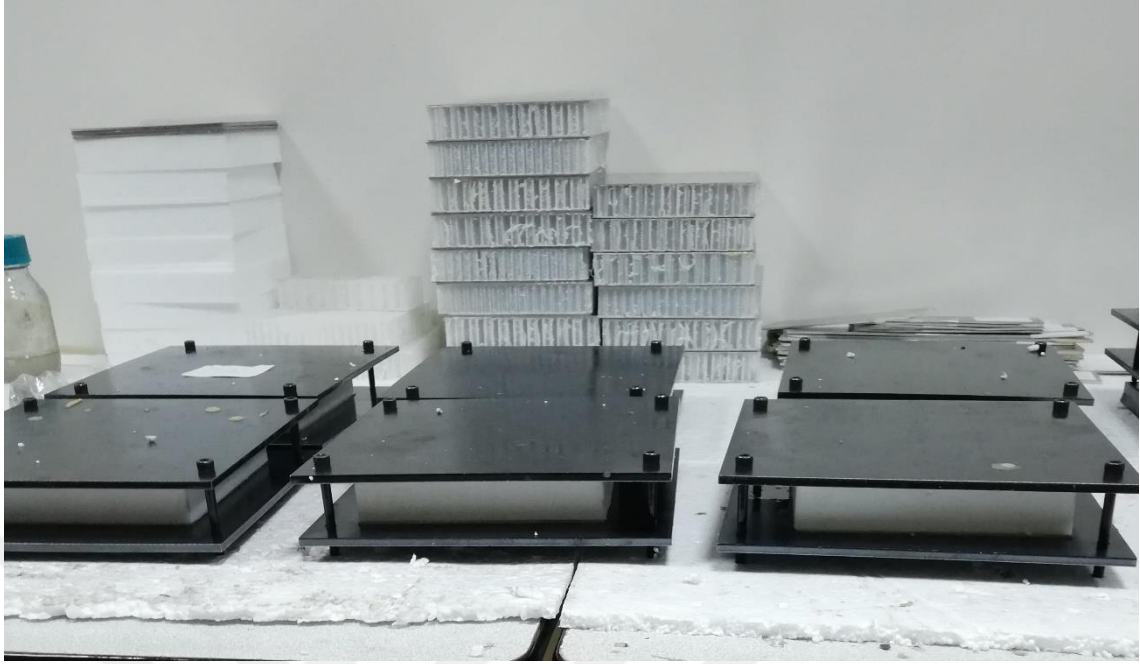
Çekirdek malzemenin her iki yüzeyine de, 0,25mm film kalınlığında Araldite 2015 epoksi uygulanarak Alüminyum 6061 T6 plakalar yapıştırılması sonucu sandviç yapı oluşturulmuştur. Fakat epoksi için önerilen kürlenme süresini doldurmadığı takdirde tam bir birleşme olmayacaktır. Kalıp malzemesi çelik olup boyutları 200x200x5mm'dir. Birleştirme de köşe noktalarından M6 alyan başlı 60mm uzunluğunda cıvatalar kullanılır. Bu yapı sayesinde içerisine yerleştirilen numuneler tam olarak yerleştirilebilir ve istenilen durumda vidalanabilir.

Kalıp içerisine yerleştirilmeden önce özellikle kalıbın iç yüzeylerinde tortu, bir önceki çalışmadan kalan donmuş epoksi parçaları olmamasına dikkat edilerek temizlenir. Kürtleme esnasında sandviç içinden epoksi akıp sandviç ile kalıbın birbirine yapışmasını engellemek için kalıbın temizlenen bölgesine parafin sürülerek tüm yüzeye uygulanır. Parafin sürülen yüzeyler sandviç panele tamamen temas edecek şekilde kapatılır ve alyan anahtarı ile kalıp, sandviç panel yüksekliğine göre sıkıştırılarak kürtleme süresince bekletilir.



Şekil 2.12. Parafin sürülmüş kalıp yüzeylerle sandviçin kapatılması

Bu işlem PP ve XPS için ayrı ayrı yapılır. Çalışma planlamasında olduğu üzere, farklı Al plaka kalınlıkları için de bu işlemler uygulanarak kalıplar içerisinde kürlenme süresince bekletilir. Kürlenme süresi dolan sandviç paneller kalıptan çıkarmak için, ilk önce cıvatalar gevşetilerek panellerin hareket edebilirliği kontrol edilir. Aksi durumda cıvata gevşetildiği durumda panel hareket etmiyorsa büyük olasılıkla panelden akan epoksi kalıba dökülmüş ve Al plaka ile kalıp yapışmıştır. Bu şekilde çıkartılmaya çalışılan panel, kalıpla birlikte genişerek alüminyum ve çekirdek malzeme arasında tutunmaları azaltabilir. Bu da test sonrası alınacak sonucun doğruluğunu etkileyecektir. Eğer yoğun bir yapışma görünmüyorsa cıvatalar tamamen çıkartılarak kalıp içerisinde paneller alınır. Paneller bu hassasiyetle çıkarıldıktan sonra test edilmek üzere hazırdır.



Şekil 2.13. Sandviç panellerin kürlenmesi

2.3 Düşük Hızlı Darbe Testi

Düşük hızlı darbe testi Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekanik Laboratuvarında bulunan Ceast Fractovis Plus ağırlık düşürme darbe deney cihazında yapılmıştır. Cihaz statik enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesi esasına göre çalışmaktadır. Bu cihaz ile istenilen yükseklik ve istenilen ağırlık ile serbest düşme tesirinde enerjiyi numuneye aktarıp, numunedeki enerji değişimini ve sonrasındaki hasarı incelemek mümkündür.



Şekil 2.14. Ceast Fractovis Plus darbe test cihazı

Bu tez çalışmasında ise sabit ağırlık (kütlelerin toplamı 10.3kg) kullanılarak farklı hız tesirindeki numunelerin düşük hızlı darbe davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada 24 adet numune kullanılmış, vurucu hızı olarak ise 2,20m/sn 3,12m/sn ve 4,4 m/sn'lik vurucu hızlar sırasıyla 25 J, 50 J ve 100 J enerji seviyeleri için tercih edilmiştir. İstenilen enerjilere göre vurucu ucun numuneye ulaştığındaki maksimum hızı aşağıdaki gibidir;

Belirlenen vurucu hızları için düşük hızlı darbe testleri gerçekleştirilmiş ve numunelerin markalanmasında XXXP00E000 modeli kullanılmıştır. Burada XXX bölümünü bal peteği PP için honeycomb kısaltılması olarak HC, XPS köpük için XPS şeklinde belirlenmiştir. P00 bölümü Al plaka kalınlığını ifade etmektedir. 0,5mm kalınlığı için P05, 1mm kalınlığı için P1 şeklindedir. E000 bölümünde ise farklı vurucu hızları için tesir eden enerji miktarları olan 25, 50 ve 100 J için sırasıyla E25, E50, E100 şeklinde markalama yapılmıştır.

Test uygulanan numuneler ve enerji durumları sırasıyla,

Tablo 2.1 Numunelerin İsimlendirilmesi

Numune Enerji	PP (HoneyComb)		XPS	
	0,5mm Plaka	1mm Plaka	0,5mm Plaka	1mm Plaka
25 J	HCP05E25	HCP1E25	XPSP05E25	XPSP1E25
50 J	HCP05E50	HCP1E50	XPSP05E50	XPSP1E50
100 J	HCP05E100	HCP1E100	XPSP05E100	XPSP1E100

Numuneler sırayla test cihazının alt kısmında bulunan sabitleme bölümüne yerleştirilmiştir. Cihaza bağlı programdan gerekli enerji miktarı girildikten sonra ilgili yük parçaya düşürülerek numunenin darbe tesirindeki enerji değişimine ait durum grafiği elde edilmiştir. Darbe sırasında sekmenin önlenmesi için cihazda bulunan alt ve üst tabla ile numune sabitlenmiştir. Ayrıca vurucu uçun darbe sonrası sekmemesi için ilk vuruştan sonra sekip malzemeye zarar vermesini önleyen bir sistem de deney cihazında mevcuttur.



Şekil 2.15. Numunenin sabitlenmesi

Sistem yük düşürme prensibine dayalı olduğundan dolayı, düştüğü yükseklikten numuneye temas edeceği ilk noktası arasındaki mesafe numuneye tesir eden enerji miktarını etkilemektedir. Bu yüzden numune cihaza yerleştirildikten sonra vurucu uç numuneye temas ettirilerek ilk nokta mesafesi belirlenir. Buna göre yük yükselttilerek düşürülür.



Şekil 2.16. Vurucu uç temas noktası belirleme

3. BÖLÜM

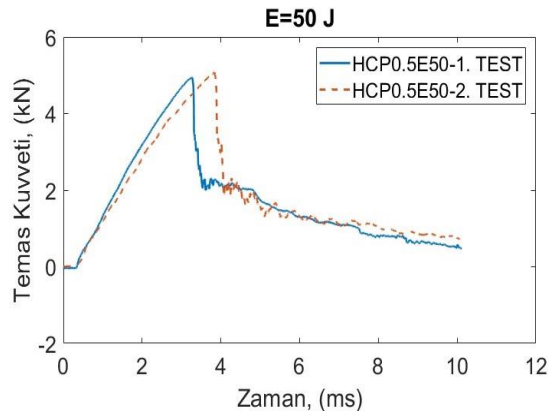
BULGULAR

Bu bölümde düşük hızda darbe testi uygulaması sonrasında numunelerde oluşan hasarların tesirleri görsel olarak detaylandırılmıştır. Ayrıca numunelerin özelliklerine göre karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmalarda üç farklı enerji seviyesinde;

1. aynı plaka kalınlığı için farklı çekirdek yapısının tesiri,
2. aynı çekirdek malzemesi için farklı plaka kalınlıklarının tesiri,

incelenmiştir. Hasar durumunun net görülebilmesi için numunelerin kesit görüntüsünü almak amacıyla, hasar bölgesi kesilerek görseller oluşturulmuştur. Düşük hızlı darbe test cihazından alınan veriler MATLAB [35] programına aktarılarak numuneler arasında karşılaştırma için kinetik enerji-zaman ve temas kuvveti-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Bu numunelerin görüntüsü üzerinde oluşan hasar durumları ve grafikleri yorumlanarak darbe davranış durumları değerlendirilmiştir. Görsellerdeki hasarlar genellikle, çökme, çekirdek malzemenin plakadan ayrılması, delinme ve çekirdek malzemenin kopması şeklindedir. Alt ve üst yüzey plaka kalınlığı ile çekirdek malzeme farklılığının bu hasarlara etkisi de ayrıca değerlendirilmiştir.

Her test birden fazla tekrarlanarak gerçek sonuca ulaşılması sağlanmıştır. Testler sonucunda uç sonuçlar elde edilmesi halinde bu testler üçüncü kez dahi yapılmıştır. Vurucu ucun üst plakada kalıp hasar oluşturmaması, çekirdek malzeme içinden geçtikten sonra alt plakada kalması gibi birçok durumda testlerin ikiden fazla yapılması da net sonuca ulaşmamıza kolaylık sağlamıştır.

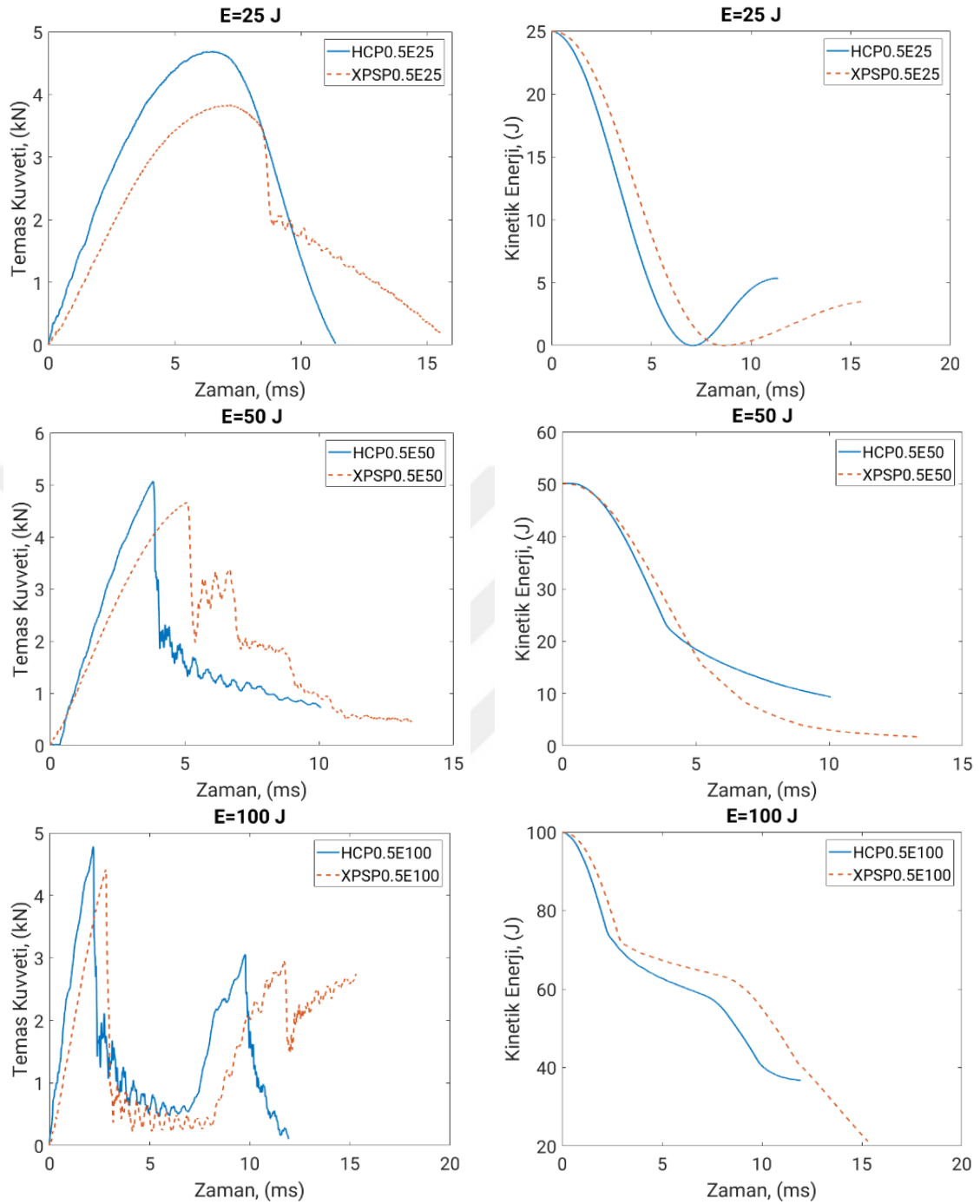


Şekil 3.1 Çekirdek malzemesi PP olan sandviç panellerin 50 J için iki kez tekrar edilen testlerin darbe enerjisi için temas kuvveti değişimleri (Plaka kalınlığı 0,5mm)

Şekil 3.1’de, 50 J enerji tesirinde kalan 0,5 mm Al plakaya sahip PP çekirdek malzemeli sandviç panellerin testlerinin tekrarlanması sonucu oluşan temas kuvveti – zaman grafiği görülmektedir. Burada da görüldüğü gibi test sonrası elde edilen temas kuvvetinin zamana bağlı değişiminde numunelerin darbe davranışı benzerdir. Buna bağlı olarak tüm numuneler için tekrarlı test sonuçlarının ortalaması göz önüne alınarak temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri elde edilmiştir. Deneysel analize bağlı olarak oluşabilecek hatalardan kaçınmak amacıyla bütün numuneler için testler en az iki kez tekrarlanmıştır.

3.1 Çekirdek Malzeme Etkisi

Bu tez çalışmasında çekirdek malzemesinin etkisinin incelenmesi için PP ve XPS malzeme kullanılmıştır. Plaka kalınlığı ve enerji seviyeleri sabit tutularak hasar bölgeleri alt ve üst plaka ve çekirdek malzemesi için incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre temas hasar bölgeleri ile ilgili görseller ve kuvveti - zaman, kinetik enerji - zaman grafikleri çizilmiştir.

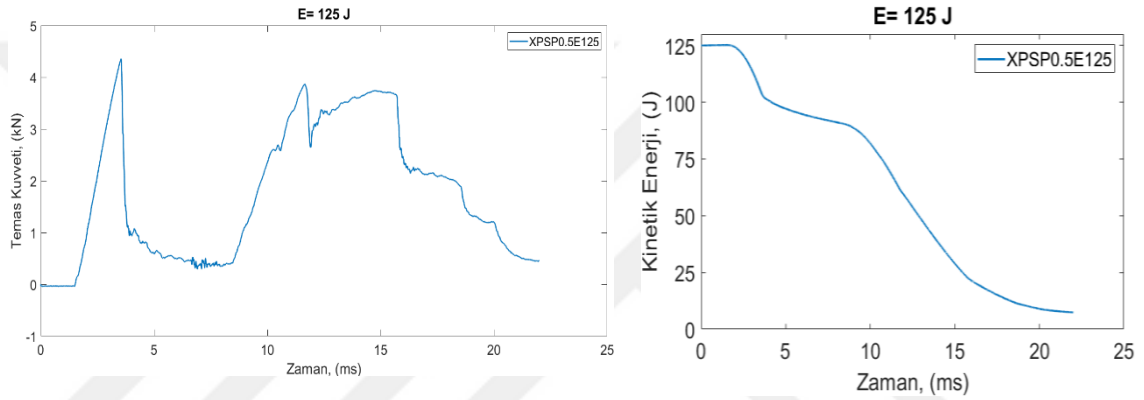


Şekil 3.2. Çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25,50 ve 100 J darbe enerjisi için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri (Plaka kalınlığı 0,5mm)

Şekil 3.2’de plaka kalınlığı 0.5 mm olmak üzere çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri gösterilmektedir. Burada PP’nin Al plaka hasara uğrayana kadar, XPS’e göre darbe testine dayanıklılığı görülmektedir. PP üst plakası hasarı için gerekli olan

enerjinin 30 J, XPS üst plakası için ise yaklaşık 35 J olmuştur. Ayrıca 70 J enerji de PP tamamen delaminasyon görülürken, XPS’de alt plaka delinmesi görülmemiştir.

Karşılaştırmanın net olması amacı ile PP bal peteğindeki tamamen delinmeyi ve absorbe ettiği enerjiyi gördüğümüz gibi XPS için de net bir sonuç elde etmeyi amaçladık. Bu yüzden fazla numune üretilerek, XPS de tamamen delinme görülmesi amaçlandı. Deney sonucu elde edilen temas kuvveti zaman ve kinetik enerji zaman grafiklerini oluşturarak numune hasar görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 3.3 Çekirdek malzemesi XPS olan sandviç panelin 125 J darbe enerjisi için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimi (Plaka kalınlığı 0,5mm)

Şekil 3.3’de XPS çekirdek malzemeli Al plaka kalınlığı 0,5mm olan sandviç panele uygulanan 125 J enerji seviyesi deki temas kuvveti zaman ve kinetik enerji zaman grafikleri elde edilmiştir. Şekil 3.2’de HCP05E100 tamamen delinme gösterirken, XPSP05E100’de enerji absorbesi devam etmiş ve plaka delinmemiştir. Buna bağlı olarak sandviç yapının tamamen delinmesini görebilmek amacıyla 125 J enerji seviyesinde yeni bir test uygulanmıştır. Bu test sonucunda, grafiklere bakıldığında 4kN üzerinde temas kuvvetiyle ve 25 J civarında üst Al plaka delinmeye başlamış ve hasar çekirdek malzeme içinde devam etmiştir. Alt plakaya ulaştığında yine Şekil 3.2’de XPSP05E100’de meydana gelen, alt Al plaka ve çekirdek malzeme ayrılması görülmüştür. Bu en net Şekil 3.3’de temas kuvveti zaman grafiğinin 10ms sonrasında oluşan ikinci tepe noktası sonrası ani düşme yerine tekrar bir temas zorlanmasından görmek mümkündür. Genel olarak 125 J enerji seviyesinde numune tamamen hasara

uğramıştır ve delinmiştir. Numunelerden alınan alt ve üst yüzey görüntüleri de eklenmiştir.



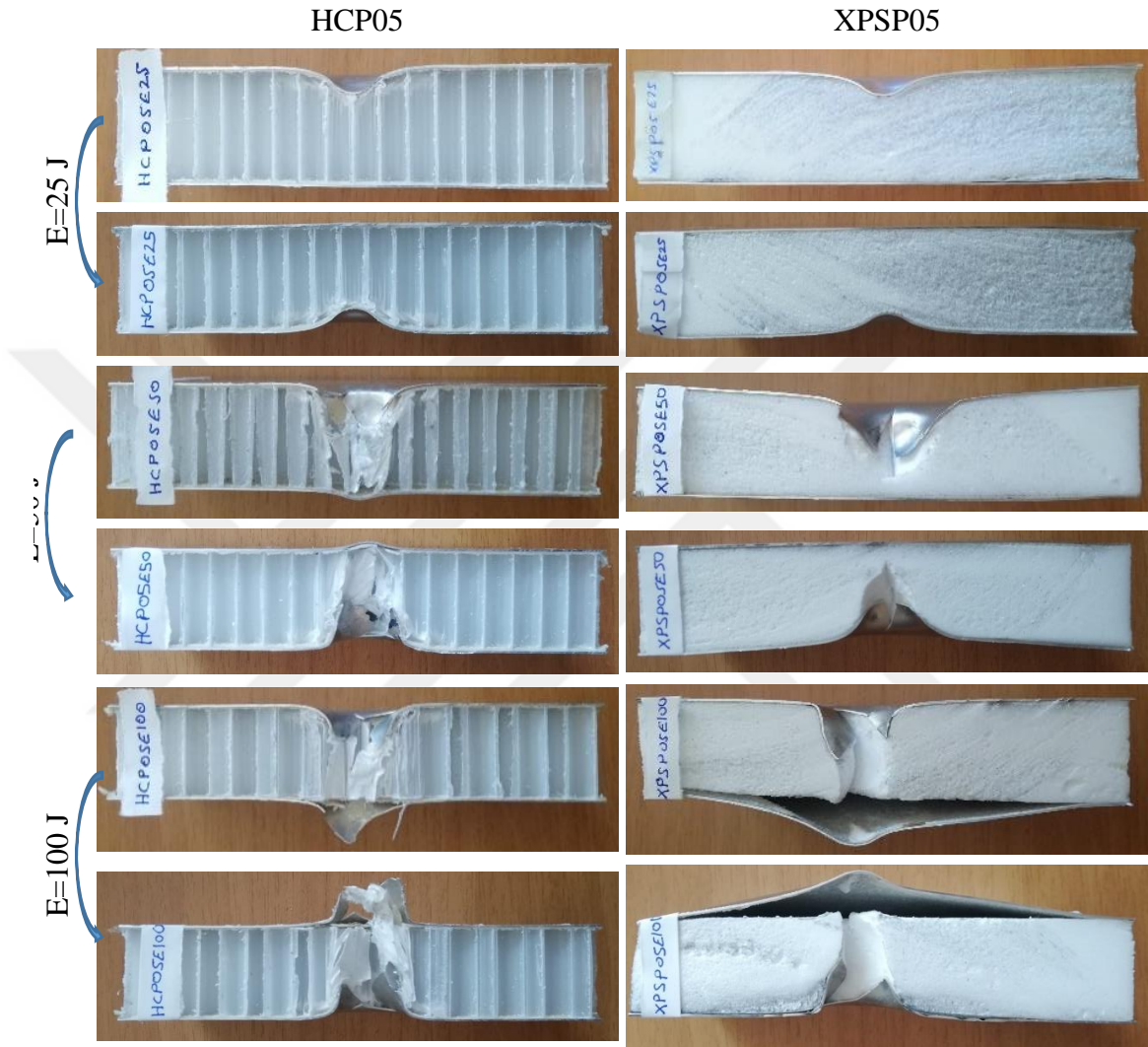
Şekil 3.4 Çekirdek malzemesi XPS olan sandviç panelin 125 J darbe enerjisi için, darbe sonrası hasar görüntüsü (Plaka kalınlığı 0,5mm)

Şekil 3.4’de, 125 J enerji tesiri altında olan 0,5mm Al plakaya sahip XPS’in tamamen hasara uğraması sonucu oluşan üst ve alt yüzeylerindeki görüntü elde edilmiştir. Çalışmada, 0,5mm Al plaka kalınlığına sahip numuneler için planlanan 25, 50 ve 100 J seviyesindeki enerjilerin, düşük hızlı darbe testi sonucunda sadece XPS’de tamamen delinme görülmemiştir. Buna bağlı olarak tam delinme durumunu inceleme amacıyla yapılan 125 J enerji seviyesinde 0,5 mm Al plaka kalınlığındaki XPS için düşük hızlı darbe test sonucu görüntüsü elde edilmiştir. Alt plaka köpükten ayrılarak tamamen hasara uğrarken aynı zamanda delinme durumu da görülmüştür.

25 J darbe enerjisine maruz kalan numuneler HCP0.5E25 ve XPSP0.5E25 için kinetik enerji zaman grafiği ve temas kuvveti zaman grafiği incelendiğinde 0.5mm kalınlığındaki Al plakalara sahip numunelerde PP bal peteği 25 J enerjinin daha kısa sürede tamamını absorbe ederken XPS için bu süre daha uzun sürmüştür. İki numune incelendiğinde XPS köpük sandviçin daha fazla enerji absorbe ettiği görülmektedir. Ayrıca temas kuvvetinde XPS köpük çekirdekli sandviç için 4kN altında bir temas kuvveti olup, bu kuvvetin Al plakaya daha fazla hasara uğrattığı grafikteki kırılma noktasından da açıkça görülür. PP malzeme için temas kuvveti zaman grafiğinde simetrik bir eğri oluşturması, PP’nin XPS’e göre daha rijit bir davranış gösterdiğinin kanıtıdır. Ayrıca her iki numune de vurucu ucu tekrar gönderirken, PP daha fazla enerji ile gönderdiği için vurucu uç hızlı ilerleme göstermiş ve test daha kısa sürmüştür.

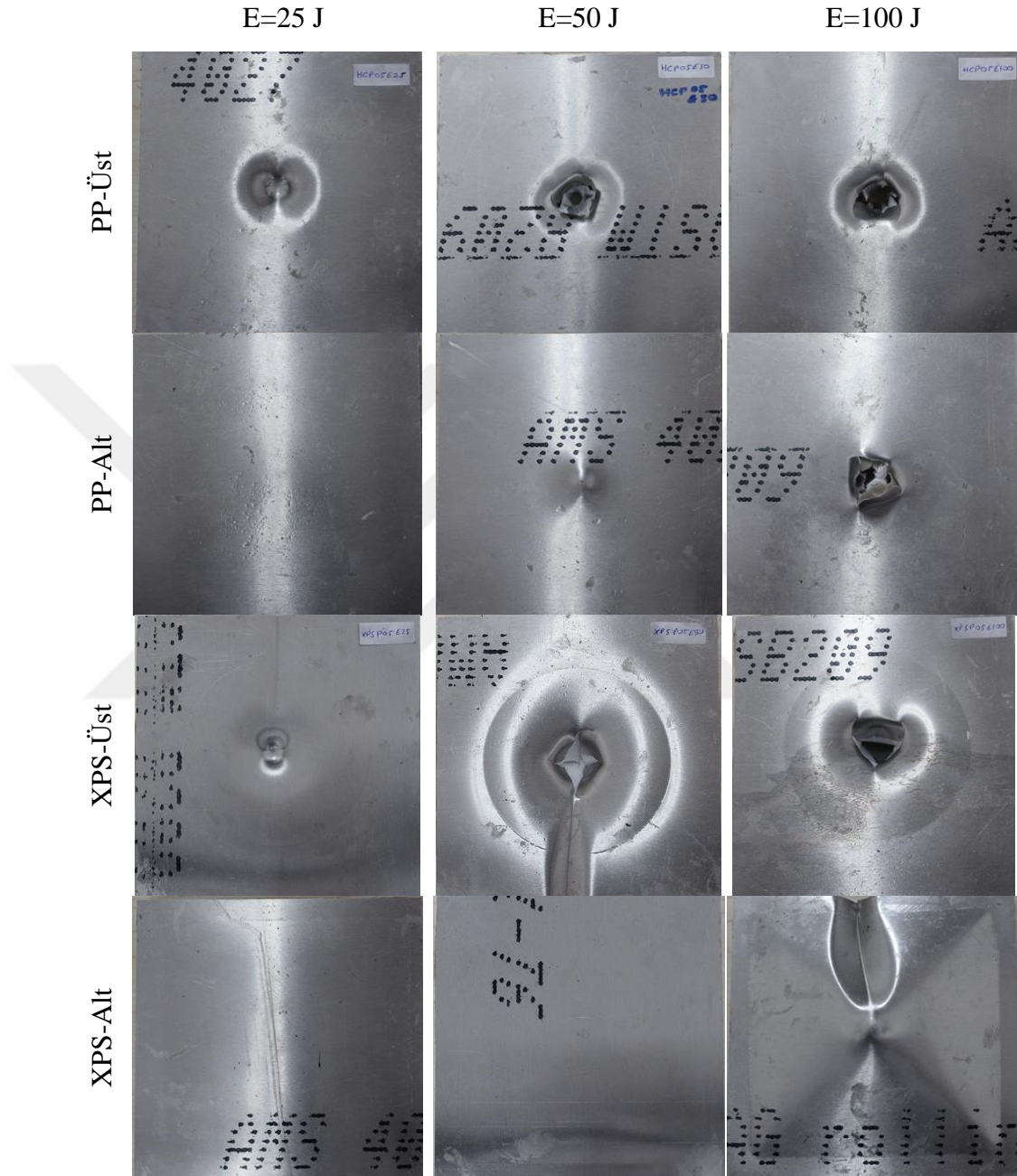
50 J darbe enerjisine maruz kalan HCP0.5E50 ve XPSP0.5E50 kinetik enerji zaman ve temas kuvveti zaman grafikleri incelendiğinde PP bal peteği sandviç yapısı grafikteki eğride görünen ilk kırılma noktasında 20 J seviyesi Al plakayı deldiğinin göstergesidir. Sonrasındaki eğim ise bal peteği bölgesinden geçişidir fakat alt plakayı delememiştir. XPS için bu değer 10 ile 20 J arasında net şekilde görülmektedir. Burada ise XPS köpüğe vurucu uç teması oluşmuş ve alt plakaya temas oluşmamıştır. Bu yüzden enerjyi köpük malzeme içerisinde tüketmiştir. Temas kuvveti grafiğinde ise bal peteği yapısı için 5 kN, XPS için 4 ile 5kN arasındaki ilk grafik tepesi Al plakanın delindiğini, sonrasındaki titreşim ise bal peteği ve XPS içinden geçiş sürecidir fakat XPS doğrultusu incelendiğinde 3kN'daki tekrar bir zorlanma görülmektedir. Bu XPS'in tepkisi ve delinmemesi durumudur. Bu yüzden aynı yükselme durumu bal peteği için görülmemektedir.

100 J darbe enerjisine maruz kalan HCP0.5E100 ve XPSP0.5E100 için kinetik enerji zaman ve temas kuvveti zaman grafikleri incelendiğinde, PP bal peteğinin tamamen hasara uğradığı ve 40 J den az bir enerjinin ise bu sandviç yapısını hasara uğratmak için fazla bir enerji olduğu ilk grafikteki kopmadan görülmektedir. Aynı durum XPS için geçerli değildir. Eğrideki ilk kırılma üst plakanın delinmesi, ikinci kırılma ise XPS'in hasara uğradığı enerji seviyeleridir. Sonrasındaki eğri ise alt plakanın hasar görüp delinmedi enerji seviyesini göstermektedir. Bu durum temas kuvveti zaman grafiğinde daha nettir. Her iki sandviç yapısı için ilk yükseklikler üst plakaların delindiği, ikinci belirgin yükseklikler alt plakalar içindir. Aradaki sürekli belirgin titreşim ise çekirdek malzemelerinin delinme sürecinin göstergesidir. Burada dikkat çeken bir durum ise geçen sürelerin, üst plaka ve alt plakaları için farklı, çekirdek yapılarının delinme süreçlerinin bir birine yakın olmasıdır.



Şekil 3.5. Çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi için, darbe sonrası kesit görüntüleri (Plaka kalınlığı 0.5 mm)

Şekil 3.5.'de 0.5 mm plaka kalınlığında, çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi için, darbe sonrası kesit görüntüleri yer almaktadır. Burada, 25 J enerjisi için her iki numunede çökme meydana gelirken, 50 J enerji seviyesinde vurucu ucun, PP ve XPS çekirdek yapısına temas ettiği görülmektedir. 100 J enerjide ise vurucu ucun alt plakaya kadar teması ve sandviç yapının tamamen hasarı görülmektedir. PP'de alt plaka delinme oluşurken XPS de alt plaka ile çekirdek malzeme arasında ayrılma görülmüştür.



Şekil 3.6. Çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi için, darbe sonrası hasar görüntüleri (Plaka kalınlığı 0,5mm)

Şekil 3.6.' de plaka kalınlığı 0.5 mm olan çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi için, darbe sonrası hasar görüntüleri yer almaktadır. Burada, 25 J enerji için PP'in ve XPS'e göre vurucu ucun daha fazla hasar verdiği, 50 J enerji de ise PP'nin alt plakasında hasar görülürken, XPS'in üst plakasının

hasar bölgesinin genişlediği görülmektedir. 100 J enerji için PP’de alt ve üst plakalar tamamen delinip sadece vurucu uç doğrultusunda hasar meydana gelirken, XPS’de sandviç yapısının tümüyle hasar görülmektedir.

Tablo 3.1. Düşük hızlı darbe testi sonrası numunelerde oluşan çökme derinliği ölçüleri

Numune Enerji	PP		XPS	
	0,5mm Plaka	1mm Plaka	0,5mm Plaka	1mm Plaka
25 Joule	6mm	4mm	6mm	2mm
50 Joule	33mm	6mm	25mm	5mm
100 Joule	45mm	18mm	44mm	10mm

Tablo 3.1.’de numunelerde oluşan maksimum çökme miktarlarının ölçülen değerlerine yer verilmiştir. Ayrıca numune hasara uğradıktan sonra alt plakanın delinmemesi fakat eğilmesi, alt plaka eğilirken parçalandığı durumlar göz önüne alınarak, numunenin ilk boyutuna göre test sonrası hasar durumundaki son değişim hali ele alınmıştır. Örneğin; XPSP05E100 numunesinin çökme miktarı 44mm’dir. Bunun nedeni alt plakanın delinmeden oluşturduğu eğilme karşısındaki en uç noktasının ölçüsü belirtilmiştir.

Genel olarak her bir numunede meydana gelen değişimler şu şekildedir;

HCP05E25, 0.5mm Al plaka kalınlığına sahip PP bal peteğinin düşük hızlı darbe testi 25 J enerji üst plakayı delerek bal peteğinin içyapısında hasar oluşturmuş fakat bal peteğini tamamen delememiş ve alt plakaya ulaşamamıştır. Şekil 3.6’da görüldüğü üzere alt plaka bir yükselti oluşmamıştır. Burada bal peteği tamamen hasara uğrayana kadar tüm enerjiyi kendi içerisinde harcayarak alt plakaya yansıtamamıştır.

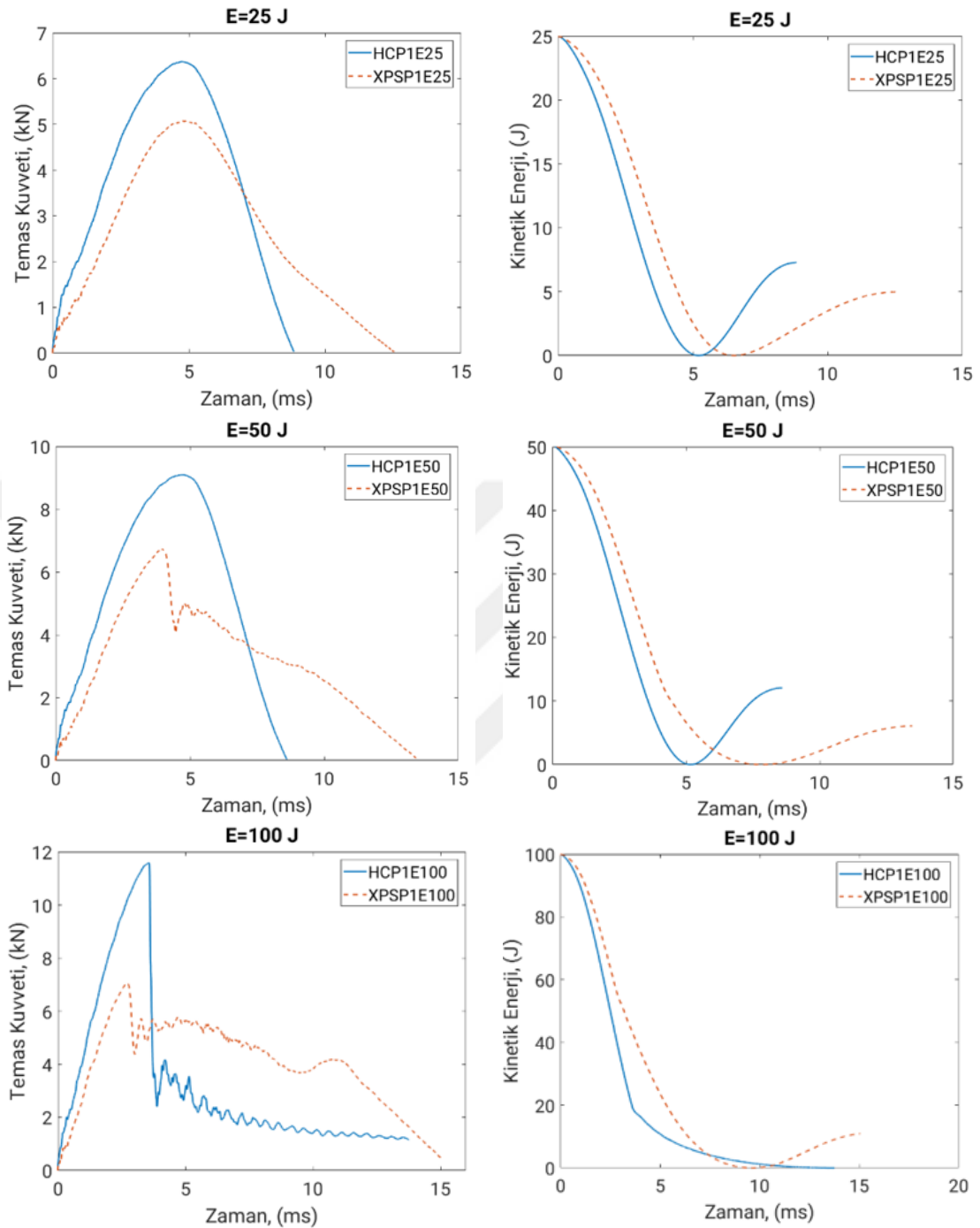
HCP05E50, 0.5mm Al plaka kalınlığına sahip PP bal peteğinin düşük hızlı darbe testinde 50 J enerji tesirinde üst plakayı delerek bal peteği çekirdeğini tamamen hasara uğratmış ve alt plakaya ulaşmıştır. Alt plaka yüzeyinde oluşan yükseltide vurucu ucun temas ettiği noktayı belirgin şekilde görmek mümkündür (Şekil 3.6). Fakat 0,5mm kalınlığındaki Al alt plakada delinme meydana gelmemiştir, çünkü 50 J enerji yeterli değildir.

HCP05E100, 0.5mm Al plaka kalınlığına sahip PP bal peteğinin düşük hızlı darbe testi sonucu incelendiğinde 100 J enerji, üst plakayı delerek bal peteği çekirdeğini tamamen hasara uğratmış ve alt plakaya kadar hasar ilerlemiştir. Ayrıca alt plaka tamamen delinmiş ve bu enerji altında numune tamamen hasara uğramıştır (Şekil 3.6).

XPSP05E25, 0,5mm Al plaka kalınlığına sahip XPS köpük çekirdek malzemeli sandviç panelin düşük hızlı darbe testinde 25 J enerji tesiri üst plakada çökme meydana getirmiş fakat plakada delinme olmamıştır. Sandviç panelin alt plakasında hiçbir değişiklik görülmemektedir (Şekil 3.6). Genel olarak üst plakada dairesel bir çökme ve buna bağlı olarak köpük yapısında ezilme meydana gelmiştir.

XPSP05E50, 0,5mm Al plaka kalınlığına sahip XPS köpük çekirdek malzemeli sandviç panelin düşük hızlı darbe testinde 50 J enerji tesiri üst plakada delinme meydana getirmiş ve bu tesir plakanın orta noktasından bir kenara doğru düzenli bir çökme oluşturmuştur. Bal peteği yapısında görülmeyen bu durum köpük yapısında belirgin hale gelmiştir. Delinme sonrasında köpükte de delinme ve delinme boyunca çatlak oluşumu gözle görülebilir seviyededir. Bu durumda sandviç panelin alt plakasında hasar gözlenmemektedir (Şekil 3.5., Şekil 3.6).

XPSP05E100, 0,5mm Al plaka kalınlığına sahip XPS köpük çekirdek malzemeli sandviç panelin düşük hızlı darbe testinde 100 J enerji tesirinde üst plakada ve köpükte de delinme meydana gelmiştir. Alt plaka da ise şişme meydana gelmiş ve alt plaka, epoksi, köpük bağlantısında oluşan gerilme köpükte çatlama yapmıştır. Böylece alt plakadan köpük ayrılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.7. Çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25,50 ve 100 J darbe enerjisi için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri (Plaka kalınlığı 1 mm)

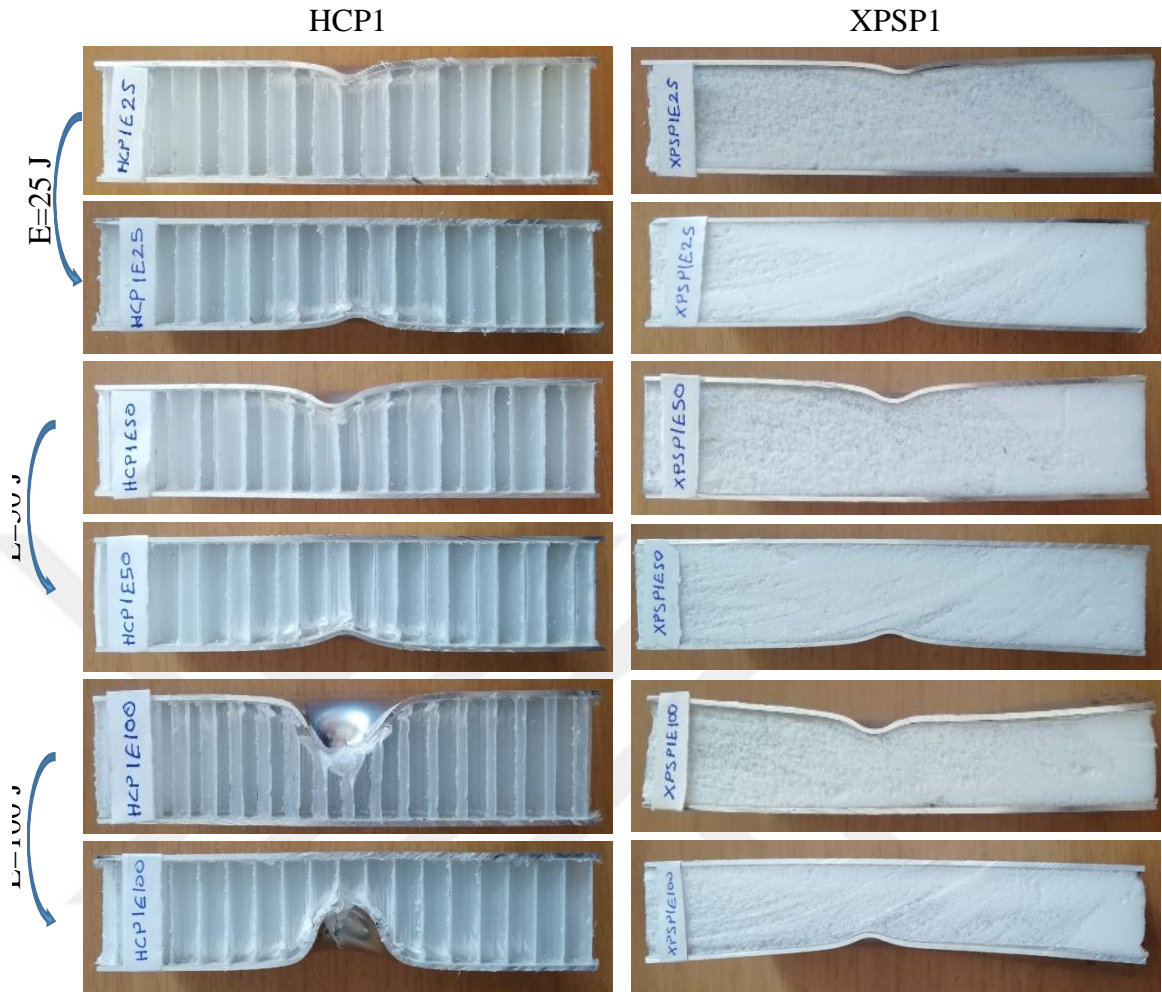
Şekil 3.7’de plaka kalınlığı 1 mm olmak üzere çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25,50 ve 100 J darbe enerjisi için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri gösterilmektedir. Burada PP’nin XPS’e göre daha fazla temas kuvvetine ulaştığı görülmektedir. 25 ve 50 J’de PP’nin XPS’e göre, absorbe ettiği enerji seviyesi

daha az iken, 100 J'de daha fazladır. Bu da Al plakada delinme sonrası PP çekirdek malzemesinin kolay daha hasara uğramasının sebebidir.

25 J darbe enerjisine maruz kalan HCP1E25 ve XPSP1E25 numuneleri için kinetik enerji zaman grafiği incelendiğinde iki numune içinde 25 J enerji yeterli olmamış ve tepki kuvvetleri ile sonuçlanmıştır. PP bal peteği sandviç yapısı daha kısa sürede enerjii absorbe ederken bu olay XPS için daha uzun sürmüştür. Temas kuvveti zaman grafiğinde ise PP bal peteği sandviç için 6kN üzerinde bir temas kuvveti söz konusu iken XPS için 5kN civarındadır. Diğer bir durum ise temas kuvveti sürelerinin XPS için daha uzun sürmesidir.

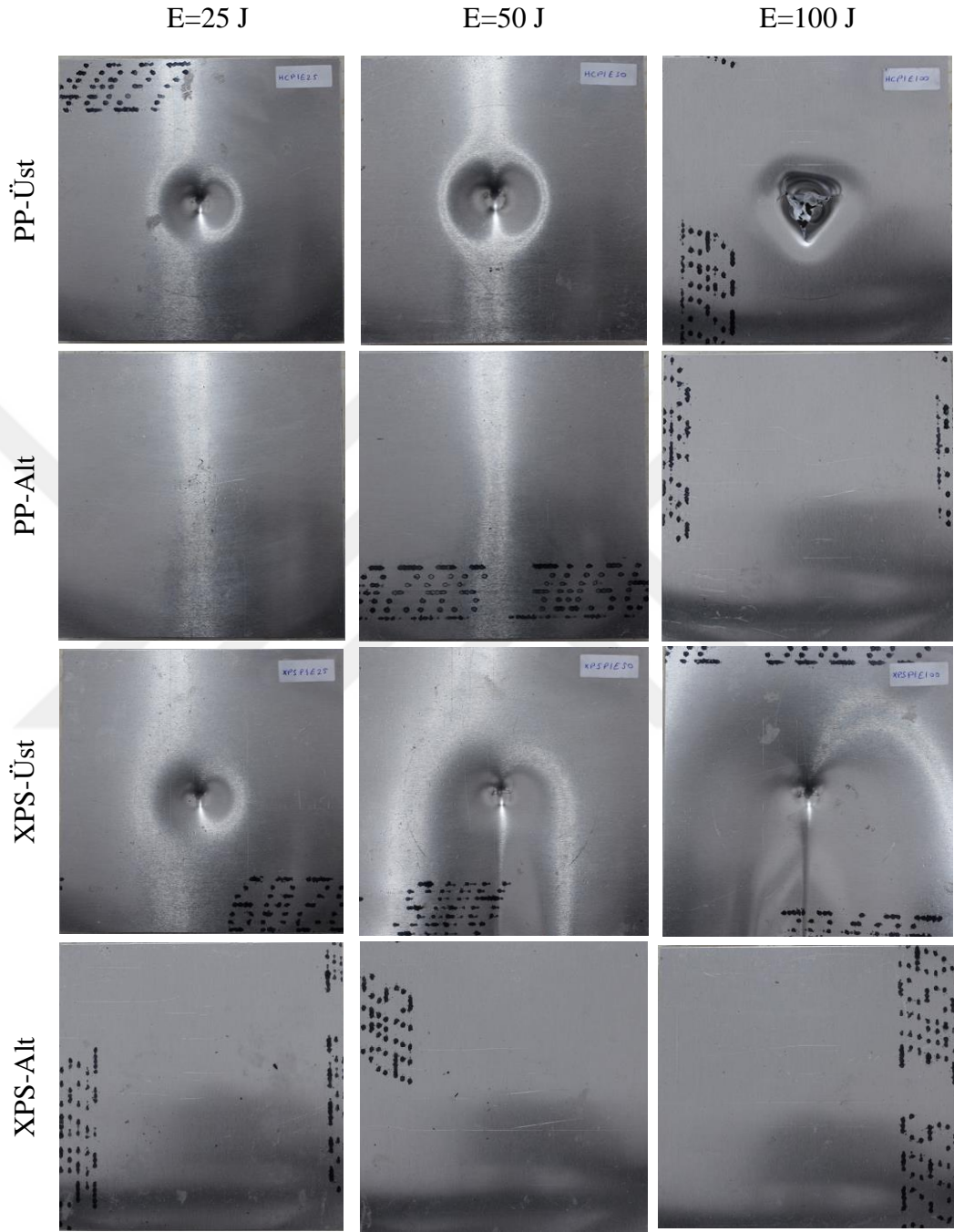
50 J darbe enerjisine maruz kalan HCP1E50 ve XPSP1E50 numuneleri için Şekil 3.7'de kinetik enerji zaman ve temas kuvveti zaman grafikleri oluşturulmuştur. Kinetik enerji zaman grafiğinde, PP sandviç yaklaşık 35 J plastik enerji absorbe ederken, XPS 45 J plastik enerji absorbe etmiştir. PP'e ait eğrini de kırılma görülmezken XPS'deki eğride ortalama 4ms'lik zaman bölümünde oluşan kırılma, XPS'in üst Al plakasında hasar oluştuğunu göstermektedir. Temas kuvveti zaman grafiğinde ise bal peteği sandviçte düzenli bir temas sonucu görülürken XPS'de ilk tepe oluşumu ve sonraki titreşim, XPS'in üst plakasında oluşan merkezden bir kenara doğru çukurlaşmaya sebep olmuştur. Bu da köpüğün darbe sonrası düzensiz kuvvet dağıtımından kaynaklanmaktadır.

100 J darbe enerjisine maruz kalan HCP1E100 ve XPSP1E100 numuneleri için kinetik enerji zaman ve temas kuvveti zaman grafikleri incelendiğinde bal peteği yapılı PP bal peteği sandviç ortalama 80 J enerji sonrası Al plaka delinerek hasara uğramıştır. XPS ise Al plaka delinme göstermemiş ve 10ms sonrası 20 J altında bir enerji ile tepki oluşturduğu grafikte de görülmektedir. Temas kuvveti grafiğine bakıldığında 12kN değerinde bir kuvvetle Al plaka ve bağlantılı olarak bal peteği yapısı hasarı gözlemlenmiştir. XPS sandviç ise 6kN civarında Al plaka teması ve tepkisi görülmektedir.



Şekil 3.8. Çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi için, darbe sonrası kesit görüntüleri (Plaka kalınlığı 1 mm)

Şekil 3.8.'de plaka kalınlığı 1 mm olmak üzere, çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi tesirinde darbe sonrası kesit görüntüleri yer almaktadır. 25 J enerjide PP ve XPS'de çökme meydana gelirken plaka delinmesi oluşmamıştır. 50 J enerjide çökme derinliği artarken XPS'in kenar bölümlerinde kopmalar oluşmuştur. 100 J enerjide ise PP üst plaka delinerek vurucu uç çekirdek teması başlarken, XPS'de çökme devam edip, kenar bölgelerinde parçalanmalar görülmektedir.



Şekil 3.9. Çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi için, darbe sonrası hasar görüntüleri (Plaka kalınlığı 1 mm)

Şekil 3.9.'da plaka kalınlığı 1 mm olan çekirdek malzemesi PP ve XPS olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J darbe enerjisi için, darbe sonrası hasar görüntüleri yer almaktadır. Burada, 25 J enerji için PP'in ve XPS'in vurucu uç temas bölgesi hasarı

görülmektedir. 50 J enerjide ise PP'nin hasar alanı genişlerken, XPS'de vurucu uç temas noktasında bir kenara doğru düzlemsel çökme görülmektedir. 100 J enerji için PP'de üst plaka tamamen delinip sadece vurucu uç doğrultusunda hasar meydana gelirken, XPS'de üst plaka delinmemiş ancak yapısal olarak hasara uğramıştır.

HCP1E25, 1mm Al plaka kalınlığına sahip PP bal peteğinin düşük hızlı darbe testinde 25 J enerji tesirinde plakada 8mm'lik bir girinti oluşmuştur (Tablo 3.1). Sandviç panelin alt plakasında darbe tesiri gözlenmemektedir (Şekil 3.9).

HCP1E50, 1mm Al plaka kalınlığına sahip PP bal peteğinin düşük hızlı darbe testinde 50 J enerji tesirinde, 25 J seviyesindeki enerjiye göre daha geniş bir bölgede hasar oluşturmuştur. Fakat plakada delinme meydana gelmemiştir. Çekirdek malzemesinde çökme ve yapısal bozulma oluşmuştur. Sandviç panelin alt plakasında değişiklik meydana gelmemiştir. Enerji tesiri üst Al plakaya ve bal peteğine aktarılmıştır.

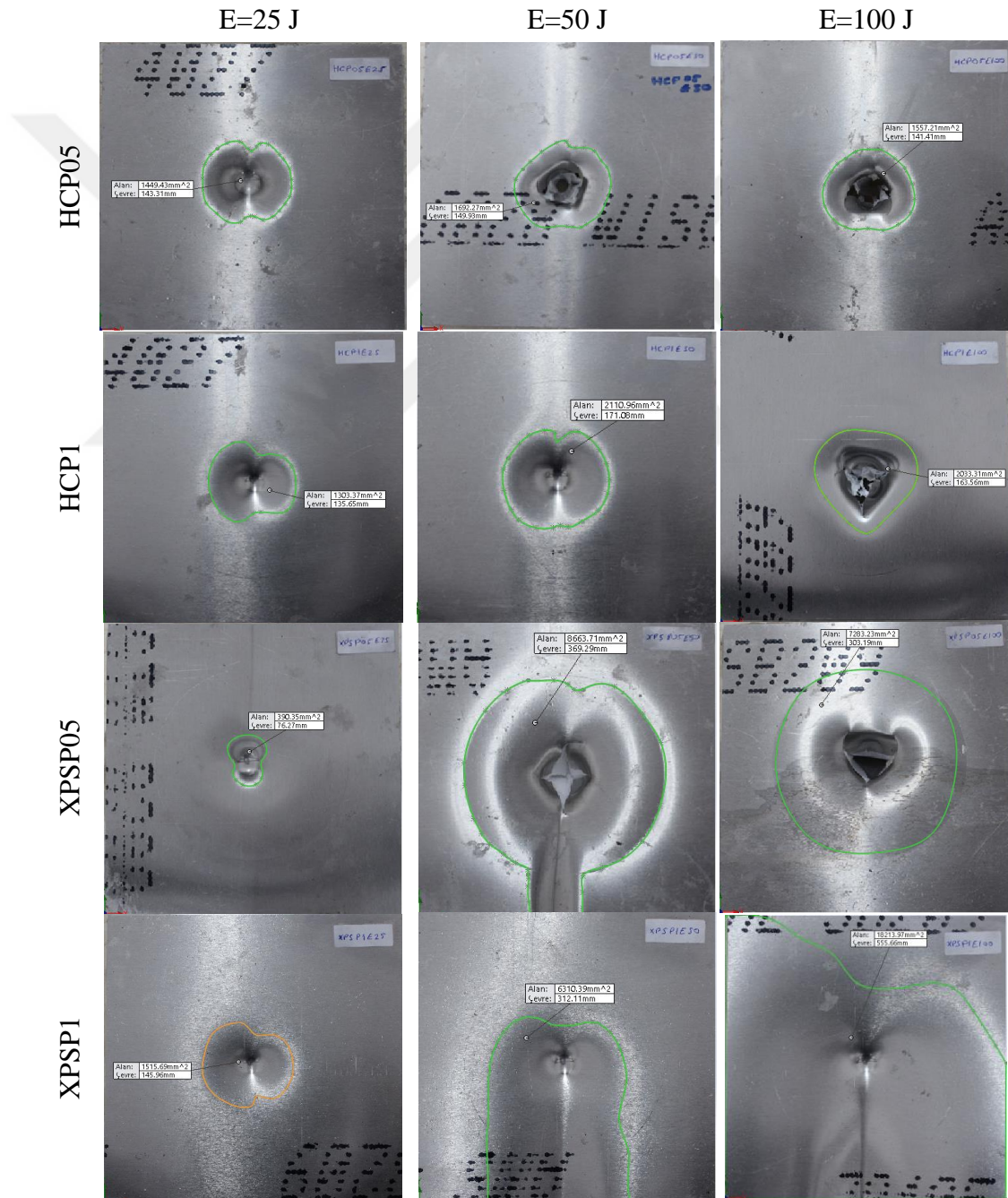
HCP1E100, 1mm Al plaka kalınlığına sahip PP bal peteğinin düşük hızlı darbe testinde 100 J enerji tesirinde üst plakada delinme meydana gelmiştir. Bal peteği yapısında ise delinme bölgesi boyunca hasar oluşmuştur. Fakat bal peteği yaklaşık 18mm kadar derinlikte bir hasara uğramıştır (Tablo 3.1) ve alt plakaya kadar bir etki meydana gelmemiştir (Şekil 3.8, Şekil 3.9).

XPSP1E25, 1mm Al plaka kalınlığına sahip XPS köpük çekirdek malzemeli sandviç panelin düşük hızlı darbe testinde 25 J enerji 1mm kalınlığındaki plakada sadece 2mm kadar bir çökme oluşturmuştur (Tablo 3.1). Sandviç panelin alt plakasında hasar gözlenmemiştir. Genel olarak bakıldığında yalnızca üst plakada çökme ve çökme miktarı kadar köpük malzeme deforme olmuştur.

XPSP1E50, 1mm Al plaka kalınlığına sahip XPS köpük çekirdek malzemeli sandviç panelin düşük hızlı darbe testinde Şekil 3.5'de XPSP05E50 ile XPSP1E50 karşılaştırıldığında 1 mm kalınlığındaki Al plakada daha derin bir çökme oluşmuştur ve bu çökme her iki numunede çökme merkezinden dış kenara doğru doğrusal meydana gelmiştir. Alt plaka yüzeyinde hasar tesiri gözlenmemiştir.

XPSP1E100, 1mm Al plaka kalınlığına sahip XPS köpük çekirdek malzemeli sandviç panelin düşük hızlı darbe testinde 100 J enerji tesirinde Al plakada vurucu uçun

geometrisi ile uyumlu bir derinlik oluşurken, doğrusal bir çökme tekrar görülmüştür. Bu derinlik XPSP1E50'dekinden daha fazladır. Oluşan bu doğrusal çökme sandviç yapının diğer iki kenarında ise Al plaka ile XPS'in ayrılmasına ve XPS çekirdek yapısında çatlamalara neden olmuştur. Alt plaka yüzeyinde ise şişme ve tümsek oluşumu görülmemiştir fakat alt Al plakadan da çekirdek malzeme kopması gözlemlenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.10. 0,5mm ve 1mm plaka kalınlığındaki PP ve XPS'in yüzey hasar alanları görüntüsü

Şekil 3.10'da 1mm ve 0,5mm Al plakalara sahip PP ve XPS'in üst yüzey hasar alanlarının bölgeleri belirtilerek ölçüldüğü görülmektedir. Burada Enerji seviyelerine, plaka kalınlıklarına ve çekirdek malzemelere bağlı olarak üst plakalarda oluşan hasar boyutları incelenmiştir. PP'de hasar oluşumu, her plaka kalınlığına sahip sandviç yapıda enerji seviyesine bağlı olarak değişirken, XPS'de çekirdek malzemenin enerji absorbe etme kapasitesine ve plaka kalınlığına bağlı olarak farklı sonuçların elde edilmesine neden olmuştur.

Tablo 3.2. 0,5mm ve 1mm plaka kalınlığındaki PP ve XPS'in yüzey hasar alanları

Numune Enerji	PP		XPS	
	0,5mm Plaka	1mm Plaka	0,5mm Plaka	1mm Plaka
25 Joule	1449,69mm ²	1303,37mm ²	390,35mm ²	1515,69mm ²
50 Joule	1692,27mm ²	2110,96mm ²	8663,71mm ²	6310,39mm ²
100 Joule	1557,21mm ²	2033,31mm ²	7283,23mm ²	18213,96mm ²

Tablo 3.2'de numunelerin üst plakalarında oluşan hasarların ölçülmesi sonucu veriler tablolaştırılmıştır. Şekil 3.10'da elde edilen veriler toplanarak oluşturulan bu tabloda yüzey hasar alanı en yüksek olan, 100 J enerji seviyesinde hasara uğrayan 1 mm plaka kalınlığına sahip XPS'dir. Üst plakada oluşan yüzey hasar alanı ise, 25 J enerji seviyesinde 0,5mm plaka kalınlığına sahip olan XPS'dir.

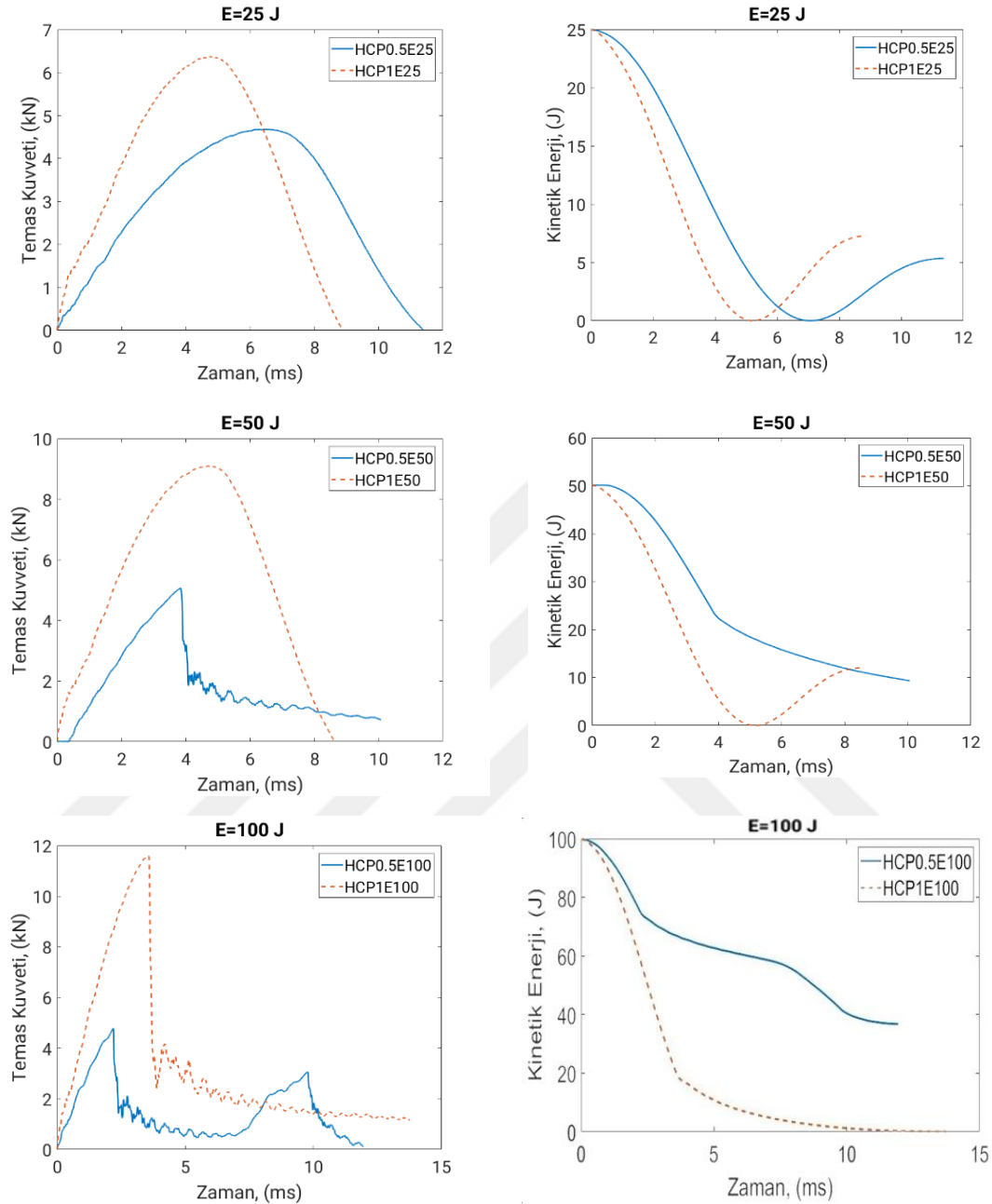
Tablo 3.3. Numunelere tesir eden enerjilere göre enerji absorbe yüzdeleri

Numune Kodu	Enerji Absorbe Yüzdesi	Numune Kodu	Enerji Absorbe Yüzdesi
HCP05E25	87,08	XPSP05E25	95,28
HCP05E50	82,12	XPSP05E50	98,82
HCP05E100	63,39	XPSP05E100	80,04
HCP1E25	78,24	XPSP1E25	88,04
HCP1E50	80,78	XPSP1E50	93,08
HCP1E100	98,31	XPSP1E100	93,58

Tablo 3.3’de, numunelere tesir eden enerjilerin, test sonucu numunenin absorbe oranı yüzdesi hesaplanmıştır. Burada tamamen hasara uğramış olan numuneler için yalnızca hasara uğradığı enerji temel alınmıştır. Bu tabloda enerji absorbe yüzdesi en az olan numune HCP05E100 gibi gözüксе de, bu numune tamamen hasara uğradığı için bu oran oluşmuştur. Numuneyi alt ve üst plakalar dahil, delen enerji 63,39 J dır. Genel olarak tablo incelendiğinde ise XPS köpüğün yüzde enerji absorbe etme oranı daha yüksektir. Ayrıca PP numuneler tamamen delinmediği sürece plaka kalınlığının artması, enerji absorbe oranını düşürmüştür.

3.2 Yüzey Plakası Kalınlığı Etkisi

Bu tez çalışmasında yapılan bir diğer çalışma aynı çekirdek malzemesi, farklı plaka kalınlığında, eşit enerji tesirinde sandviç yapının durumları incelenmiştir. Önceki grafiklerde malzemelerin enerji karışışında birbirleri ile olan farklılıklarına değinilmiştir burada ise farklı plaka kalınlıkları karşısındaki durumları incelenmiştir.



Şekil 3.11. Yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1mm olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri (Çekirdek Malzemesi: PP)

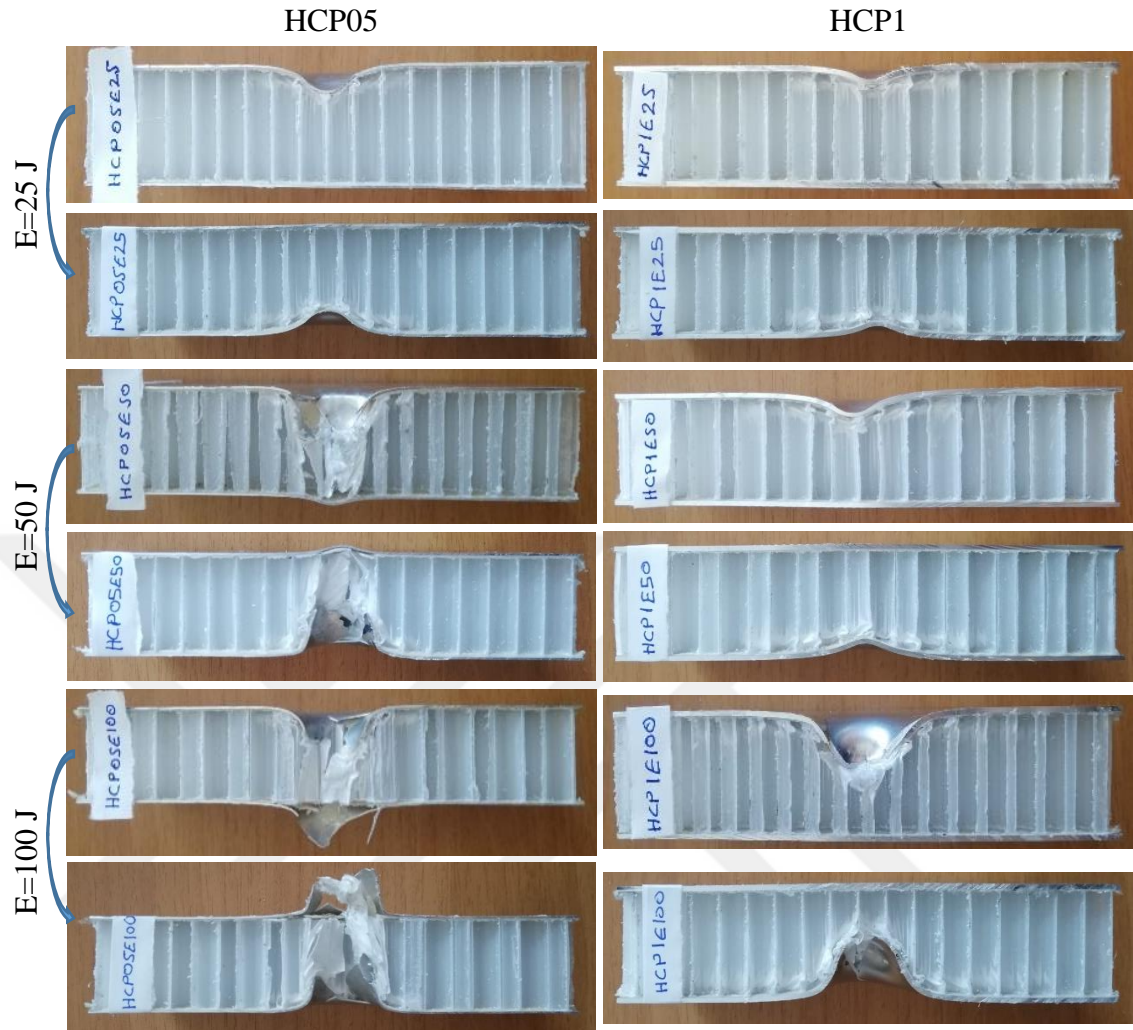
Şekil 3.11.'de PP çekirdek malzemesine sahip, yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1mm olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri gösterilmektedir. PP'nin Al plaka kalınlığının artması hasar ve delinmeyi azalttığı görülmektedir. 0,5mm kalınlığındaki plakanın delinmesi için yaklaşık 30 J enerji ihtiyacı oluşurken, 1mm kalınlığındaki Al plaka için 80 J enerji gerekmektedir. Buna

bağlı olarak da PP çekirdek yapısının delinmesi için gerekli olan enerji yetersiz kalmıştır.

Burada, 25 J düşük hızlı darbe testi enerjisine maruz kalan HCP0.5E25 ve HCP1E25 numuneleri için kinetik enerji zaman ve temas kuvveti zaman grafiklerinde, her iki numune için de uygulanan testte Al plakalara temastan itibaren darbe süresi 9 ve 11ms'dir. 1mm'lik plaka için 6kN'a kadar temas kuvveti olurken 0,5mm'lik plaka için 4kN civarındadır. İki sandviç panelde delinme görülmemiştir.

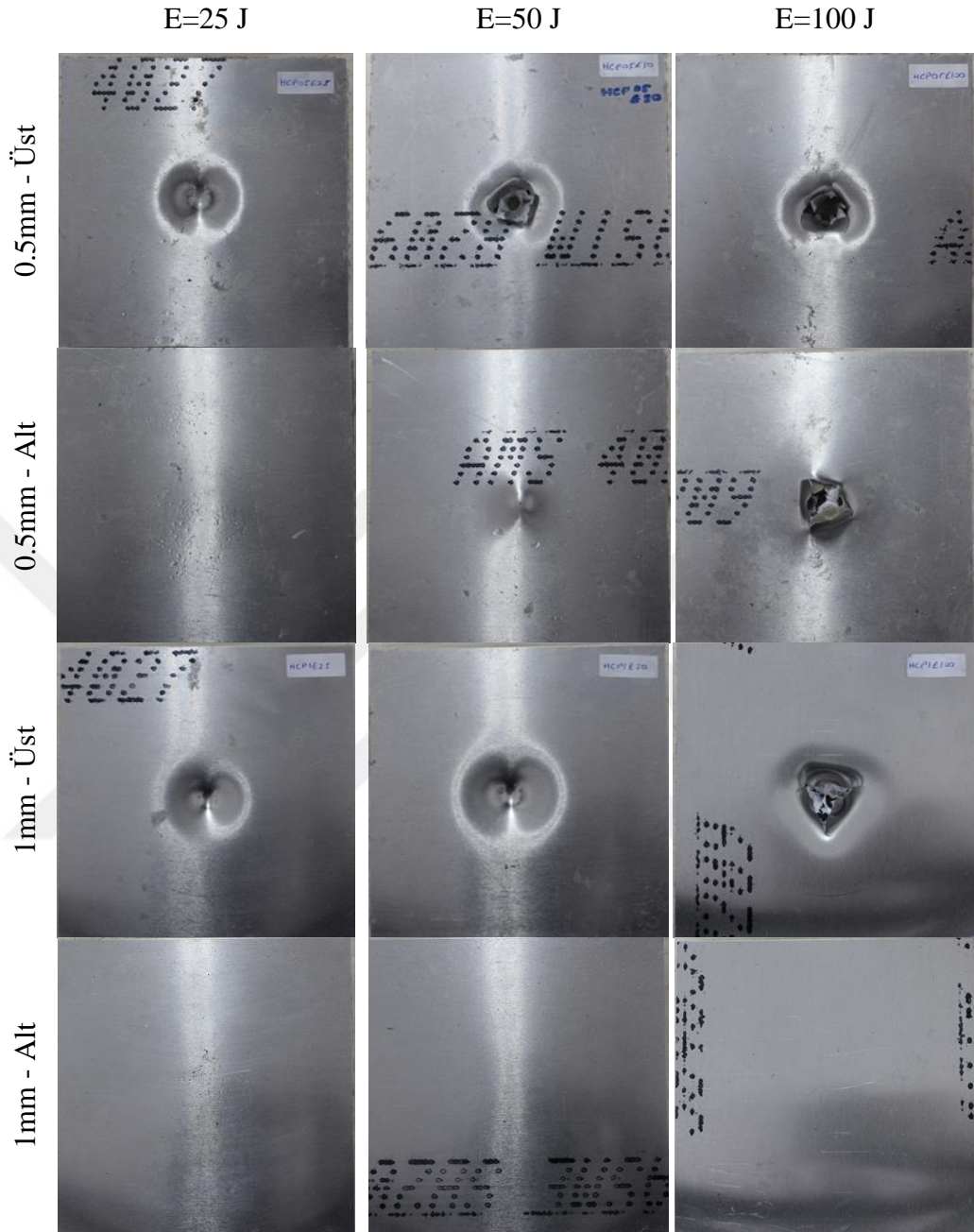
50 J düşük hızlı darbe testine maruz kalan HCP0.5E50 ve HCP1E50 numuneleri için kinetik enerji zaman ve temas kuvveti zaman grafiklerine incelendiğinde 30 J enerji ile 0,5mm'lik panelin üst plakasında delinme olduğu fakat 50 J enerjinin 1mm'lik üst plakaya sahip panelin hasara uğradığı fakat delinmediği görülmektedir. Ayrıca plaka kalınlıkları iki katı olmasına karşın temas kuvvetleri iki katına çıktığı anda delinme gerçekleşmemiştir.

100 J düşük hızlı darbe enerjisine maruz kalan HCP0.5E100 ve HCP1E100 numuneleri için kinetik enerji zaman temas kuvveti zaman grafikleri incelendiğinde 100 J enerji 1mm'lik plaka kalınlığı olan panel için sadece üst plaka ve içyapı hasarı oluştururken 0,5mm'lik plaka kalınlığına sahip panel için 60 J yakın bir enerji tamamen hasara uğraması için yeterli olmuştur. Kuvvet açısından bakıldığında plaka kalınlığına bağlı olarak gösterilen panellerde 12kN ile 4kN arasında bir fark görülmektedir.



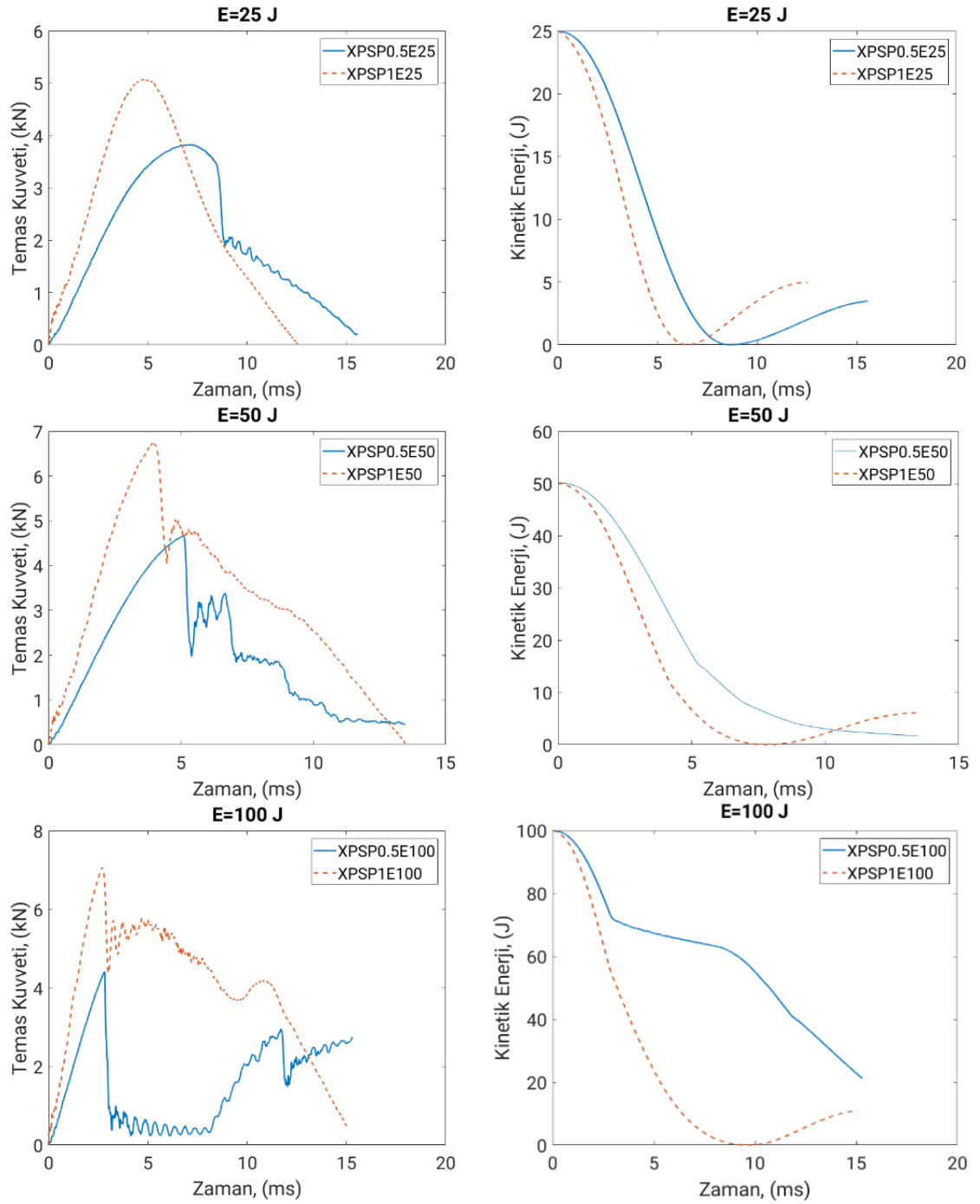
Şekil 3.12. Yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1 mm olan sandviç panellerin 25, 50, 100 J darbe enerjisi için darbe sonrası kesit görüntüleri (Çekirdek malzemesi: PP)

Şekil 3.12’de PP çekirdek malzemesine sahip yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1 mm olan sandviç panellerin 25, 50, 100 J darbe enerjisi için darbe sonrası kesit görüntüleri yer almaktadır. Bu kısım ile ilgili detaylı açıklamalar Şekil 3.5 ve Şekil 3.8’de detaylı olarak yapılmıştır. Burada kalınlığın tesirinin görülebilmesi için ilgili şekiller yeniden düzenlenmiştir. Plaka kalınlığının 0.5’den 1 mm artırılması hasar bölgesi hem üst plaka hem de çekirdek malzemesi üzerinde azalmaktadır.



Şekil 3.13. Yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1 mm olan sandviç panellerin 25, 50, 100 J darbe enerjisi için darbe sonrası hasar görüntüleri (Çekirdek malzemesi: PP)

Şekil 3.13.'de PP çekirdek malzemesine sahip yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1 mm olan sandviç panellerin 25, 50, 100 J darbe enerjisi için darbe sonrası alt ve üst Al plaka hasar görüntüleri yer almaktadır.. Bu kısım ile ilgili detaylı açıklamalar Şekil 3.6 ve Şekil 3.9'da detaylı olarak yapılmıştır. Burada kalınlığın tesirinin görülebilmesi için ilgili şekiller yeniden düzenlenmiştir. Plaka kalınlığının 0.5'den 1 mm artırılması hasar bölgesi hem üst plaka hem de çekirdek malzemesi üzerinde azalmaktadır.



Şekil 3.14. Yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1mm olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri (Çekirdek malzemesi: XPS)

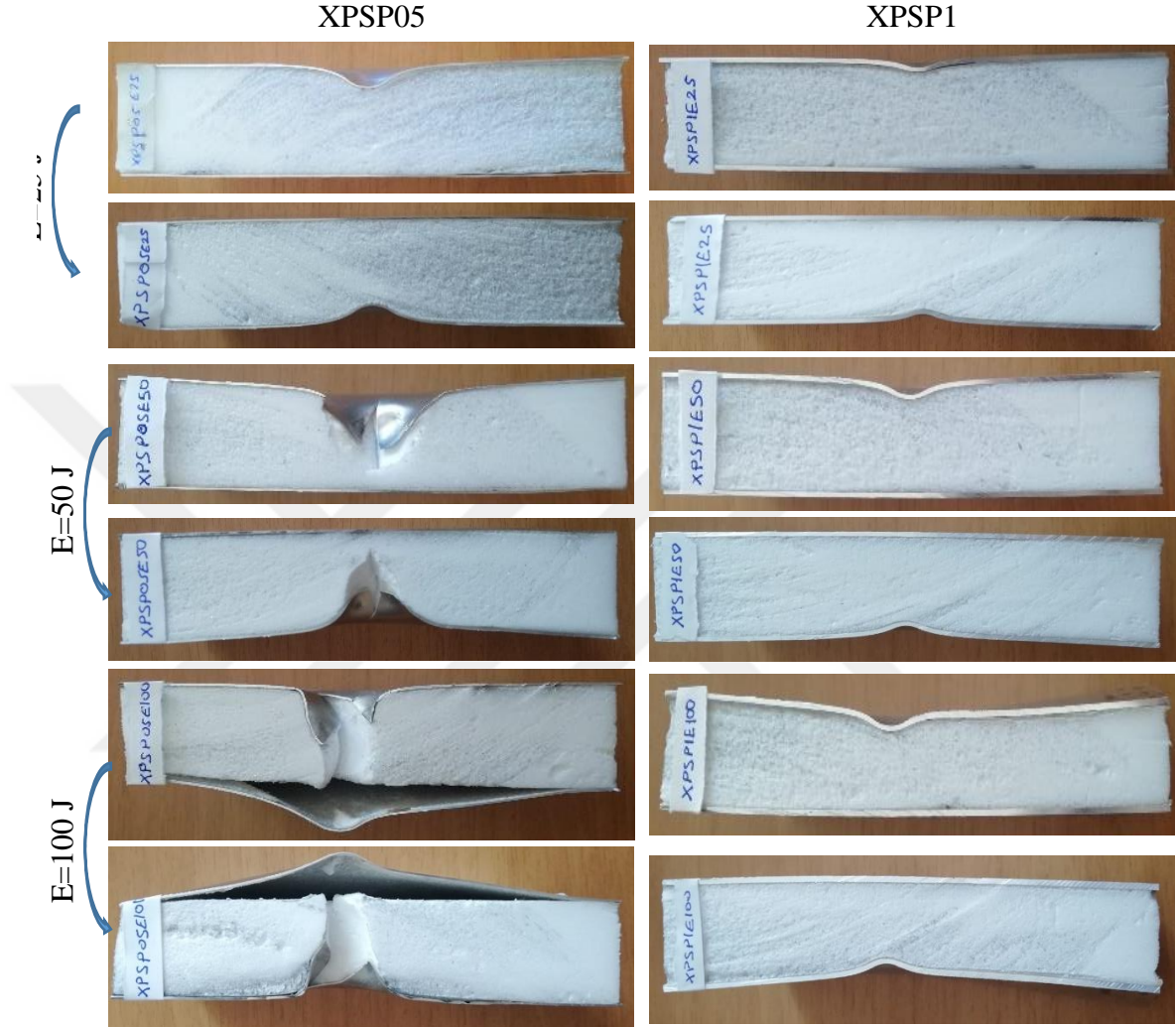
Şekil 3.14.'de XPS çekirdek malzemesine sahip, yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1mm olan sandviç panellerin 25, 50 ve 100 J için temas kuvveti ve kinetik enerji değişimleri gösterilmektedir. XPS'in plaka kalınlığı artırıldığında, 25 J enerjide plakalarında delinme görülmezken enerji absorbe miktarı birbirine yakındır. 0,5mm Al plaka

yaklaşık 30 J de hasara uğrarken, 1mm Al plaka için hasar oluşmuş fakat net bir delinme görülmemiştir.

25 J düşük hızlı darbe testine maruz kalan XPSP0.5E25 ve XPS1E25 numuneleri için Şekil 3.14 kinetik enerji zaman temas kuvveti zaman grafikleri hazırlanmıştır. Kinetik enerjileri sıfırlanma süreleri 6 ile 9ms civarında çok yakın süreler oluştursa da temas kuvvetlerine bakıldığında ortalama 1kN'luk bir fark vardır. Ayrıca 1mm'lik plakaya sahip panel için normal seyri devam ederken 0,5mm'lik panelde plaka hasara uğrama başlangıcı ve çekirdek malzemesinin oluşturduğu tepki de görülmektedir.

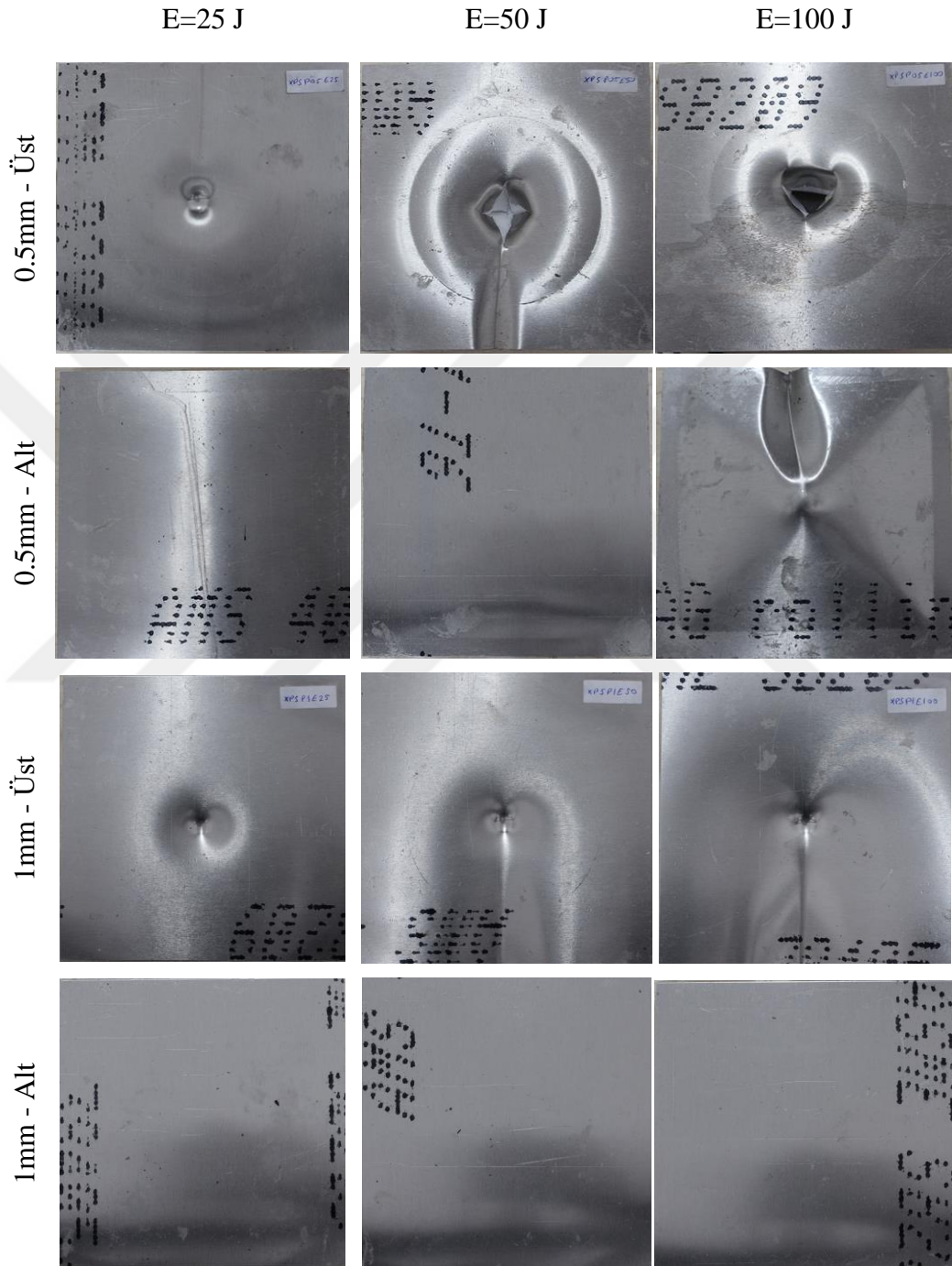
50 J düşük hızlı darbe testine maruz kalan XPSP0.5E50 ve XPS1E50 numuneleri için Şekil 3.10 kinetik enerji zaman ve temas kuvveti zaman grafiği oluşturulmuştur. 0,5mm'lik plaka ile kaplı XPS için bakıldığında 35 J enerjiye yakın kısmındaki değişim üst plakanın delinmeye başlanması fakat XPS köpükte delinme meydana getirmediği sadece plakaya yapışık olan kısımdan itibaren çatlama oluşturduğu görülmüştür. Temas kuvveti ise 4kN'da plakayı delerken ilerleyen bölgedeki titreşim, kalan enerjinin XPS köpükteki delinmeyi devam ettirirken oluşturmuştur. 1mm kalınlığındaki plaka için 7kN temas kuvveti oluşturulurken plakada sadece vurucu uç şekli kadar bir hasar söz konusudur. Ayrıca köşeye doğru olan ezilme de hem plaka hem köpük için hasar oluşturmuştur. Burada köpük hasarı varken delinme görülmemektedir.

100 J düşük hızlı darbe testine maruz kalan XPSP0.5E100 ve XPS1E100 numuneleri için Şekil 3.14 kinetik enerji zaman ve temas kuvveti zaman grafikleri oluşturulmuştur. 0,5mm'lik plakaya sahip XPS için kinetik enerji grafiği incelendiğinde 80-60 J arasındaki kırılma üst Al plaka delinmesi ve sonraki düzlükle birlikte gelen diğer kırılma ise köpüğün tamamen delinip alt plakada zorlanma oluşturduğu görülür. Temas kuvveti grafiğinde 4kN civarındaki kuvvetle ilk plakanın hasarı oluşurken aradaki titreşim köpük yapısındaki hasarı ve sonrasında görülen titreşimli yükselme ve tam olarak sıfırlanamama durumu ise alt plakanın delinmemesini göstermektedir. 1mm'lik plakaya sahip XPS için incelendiğinde üst plakaya tepki eden enerji yine üst plakayı delmek için yeterli olmadığı görülmektedir. Fakat temas kuvveti grafiği incelendiğinde 7kN civarında bir kuvvetle ilk temasta vurucu uç boyutunda çökme oluşturduğu ve sonrasında sandviç panelin bir köşesine doğru olan çöküntü sebebiyle oluşan bölgenin kuvvet etkisi grafikte titreşim çizgisi olarak yer almaktadır.



Şekil 3.15. Yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1 mm olan sandviç panellerin 25, 50, 100 J darbe enerjisi için darbe sonrası kesit görüntüleri (Çekirdek malzemesi: XPS)

Şekil 3.15.'de XPS çekirdek malzemesine sahip ve yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1 mm olan sandviç panellerin 25, 50, 100 J darbe enerjisi için darbe sonrası kesit görüntüleri yer almaktadır. Bu bölüm ile ilgili açıklamalar Şekil 3.5 ve Şekil 3.8'de detaylı olarak yapılmıştır. Burada kalınlığın tesirinin görülebilmesi için ilgili şekiller yeniden düzenlenmiştir. Plaka kalınlığının 0.5'den 1 mm artırılması, çekirdek malzeme delinmesini önlerken, alt plaka hasarı da oluşmamıştır.



Şekil 3.16. Yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1 mm olan sandviç panellerin 25, 50, 100 J darbe enerjisi için darbe sonrası hasar görüntüleri (Çekirdek malzemesi: XPS)

Şekil 3.16.'de XPS çekirdek malzemesine sahip yüzey plaka kalınlığı 0,5mm ve 1 mm olan sandviç panellerin 25, 50, 100 J darbe enerjisi için darbe sonrası alt ve üst Al plaka

hasar görüntüleri yer almaktadır. Bu kısım ile ilgili detaylı açıklamalar Şekil 3.6 ve Şekil 3.9'de detaylı olarak yapılmıştır. Burada kalınlığın tesirinin görülebilmesi için ilgili şekiller yeniden düzenlenmiştir. Plaka kalınlığının 0.5'den 1 mm artırılması alt plaka hasarını tamamen engellerken, üst plakada hasar yüzey alanı artmıştır.



4. BÖLÜM

TARTIŞMA – SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma

Bu tez çalışmasında çekirdek malzemesi bal peteği yapılı polipropilen ve ekstrude edilmiş polistiren köpük olan alt ve üst katmanları farklı kalınlıklarda alüminyum plakalarla kaplandıktan sonra düşük hızlı darbe testinde üç farklı enerjiye maruz kalarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir. 30mm yüksekliğinde 150x150mm boyutlarında çekirdek malzemeler yine aynı boyuttaki, 0,5mm ve 1mm kalınlığındaki alüminyum 6061 T6 plakaları, 0,25mm film tabak kalınlığına sahip Araldite 2015 ile yapıştırılarak 24 adet numune elde edilmiştir. Elde edilen numuneler Fractovis Plus darbe test cihazında 25, 50, 100 J enerji altında yük düşürme prensibine bağlı olarak test edilmiştir. Cihazdan alınan sonuçlar, kinetik enerji – zaman, temas kuvveti – zaman grafikleri oluşturulmuş ve numuneler kesitleri alınarak elde edilen görüntü ve grafik sonuçları değerlendirilmiştir. Değerlendirmede delinme ve temas yönünden hasarlar göz önüne alınmıştır.

4.2 Sonuç ve Öneriler

Enerji seviyesi arttıkça PP’de sadece vurucu uç temas bölgesi hasara uğrarken, XPS’in tamamında hasar gözlenmiştir. Aynı şekilde enerji seviyesi artmasıyla PP ile XPS arasındaki hasara uğrama süresi farkı azalmıştır.

25 J’de PP’deki hasar bölgesinin genişliği XPS’den daha fazla iken, enerji seviyesi 50 ve 100J’e artırıldığında XPS’deki hasar bölgesinin genişliği PP’dekinden daha fazla olmaktadır.

PP’in her düşük hızlı darbe testi sonunda vurucu ucun temas ettiği bölge boyunca hasar oluşurken, XPS’de bu bölge plakanın dış kenarlarına doğru uzanmaktadır. Dolayısıyla

sandviç yapının dış kenarlarına doğru bir çukurlaşma oluşmaktadır. Bu durum köpüğün düzensiz kuvvet dağılımının bir sonucudur.

Her iki çekirdek malzemesinin kullanıldığı sandviç yapılarda, plaka kalınlığı ile enerji seviyesinin aynı oranda artırılması sonucunda meydana gelen hasar dağılımı benzer olmaktadır.

XPS çekirdek malzemesinin kullanıldığı yapılarda her plaka kalınlığı için uygulanan enerji tesirinde çekirdek yapıda kopmalar ve plakalardan ayrılmalar meydana gelmiştir.



KAYNAKLAR

1. Beşergil, B., 2016. Kompozitler Temel İlkeler Test Metodları, Gazi Kitabevi, Ankara, 730
2. Şakar, G., Yaman M., Bolat, F. Ç., 2010. Alüminyum balpeteği sandviç yapıların serbest titreşim analizi, 133-138. 5. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 07-08 Haziran 2010, Bursa.
3. Ayrılmış, N., Ulay, G., Bağlı E., Özkan, İ., 2015. Ahşap sandviç kompozit levhaların yapısı ve mobilya endüstrisinde kullanımı. **Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi**, **15**(1): 37-48
4. Özen, O., 2018. Kompozit Sandviç Panel Üretimi ve Üretilen Panellerin Hasar Kriterlerine Göre Karşılaştırılması. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, s.48.
5. Sönmez, M. E.,2017. Bal Peteği Çekirdekli Sandviç Yapıların Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Optimizasyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.54.
6. Bitzer, T.,1997. Honeycomb Technology Materials, Design, Manufacturing, Applications and Testing, Chapman & Hall, Dordrecht, 233.
7. Marancı, Ş., 2009. Metal Plastik Birleştirmelerde Ara Yüzey İncelemesi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 38.
8. Arslan, N., Kaman, M., 2002. Alüminyum kağıt ve cam elyaf petek yapılı kompozitlerin üretim teknikleri ve mekanik özelliklerinin araştırılması. **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi**, **4** (3):113-123

9. 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, 64.
10. Engin, Z. B., 2011. Balpeteği Sandviç Kompozitlerin Darbe Analizinin İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 81.
- 11.XPS Türkiye, 2018. XPS nedir? (Web sayfası: <http://www.XPSturkiye.org/sayfa.asp?ID=129>), (Erişim Tarihi: Mayıs 2019).
12. Özgen Kimya ve Metal Ticaret, 2019. Polistiren (polystyrene) ps, (Web sayfası: <http://www.ozgenkimya.com/Polistiren.htm>), (Erişim tarihi: Mayıs 2019)
13. Bozkurt, S., 2014. Sandviç Kompozitlerin Mekanik Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 103.
14. Türkmen, İ., Durmuş, H., 2013. Deniz taşıtlarının üretiminde kullanılan kompozit malzemeler. **Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi**, **196**: 26-35.
15. Işık, A., 2008. Kompozit Malzemedен İmal Edilmiş Bir takviye Elemanının Eğilme ve Burkulma Yüğü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 92.
16. Kara, E., 2012. Çeşitli Elyaf Dizilimleriyle Oluşturulmuş Metal Köpük Çekirdekli Sandviç Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Hitit üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çorum, 90.
17. Wang, Z., Tian, H., Lu, Z., Zhou, W., 2014. High-speed axial impact of aluminum honeycomb – experiments and simulations. **Composites: Part B**, **56**: 1-8
18. Kuş, A., Ekici, E., 2017. Sandviç kompozitlerin delinmesinde delaminasyon faktörünün incelenmesi. **Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi**, **22** (3): 153-162

19. Ercan, H., Bekem, A., Doğu, M., Ünal, A., 2011. Uçak sanayiinde kullanılan balpeteği kompozitlerin tahribatsız muayeneleri ve tamiri. 521-526. 6th International Advanced Technologies symposium (IATS'11),16-18 Mayıs 2011, Elazığ.
20. Subaşı, S., Çetin, V., Şamandar, A.,2017. Kompozit panellerde CTP levha ve çekirdek kalınlığının mekanik özelliklere etkisi. **El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi**, **5(1)**: 135-145
21. Solmaz, M.Y., Kaman, M.O., 2010. Petek yapılı sandviç yapılarda köpük dolgusunun kritik burkulma yüküne etkisi. **E-journal of New World Sciences Academy**, **5(1)**: 25-34
22. Solmaz, M.Y., Şanlıtürk İ.H., Özben, T.,2010. Petek yapılı sandviç yapılarda köpük dolgunun kritik burkulma yüküne etkisinin sayısal olarak tespiti, 523-530 . 2. Ulusal tasarım imalat ve analiz kongresi, 11-12 Kasım 2010, Balıkesir.
23. Aslan, M., Güler, O., Çava, K., Alver Ü., Yüceloğlu, E., 2017. Sandviç panel kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine bir çalışma, 602-610. Uluslararası 2. savunma sanayi sempozyumu, 6-8 Nisan 2017, Kırıkkale.1109.
24. Güler, C., Ulay, G.,2009. Petekli (honeycomb) kompozit levhalar. **Mobilya Dekorasyon Dergisi**, **90**:78-92
25. Tan, C.Y., Akil, H. M., 2012. Impact response of fiber metal laminate sandwich composite structure with polypropylene honeycomb core. **Composites: Part B**, **43**: 1433-1438
26. Nagaskar, P., Prabu S. B., Velmurugan, R., 2015. Role of different fiber orientations and thicknesses of the skins and the core on the transverse shear damping of polypropylene honeycomb sandwich structures. **Mechanics of Materials**, **91**: 252-261
27. Parsa, M. H., Ahkami, S. N., Ettehad M., 2010. Experimental and finite element study on the spring back of double curved aluminum/polypropylene/aluminum sandwich sheet. **Materials and Design**, **31**: 4174-4183

28. Mocian, O., Constantinescu, D.M., Sandu M., Sorohan Ş., 2017. Impact response of polyurethane and polystyrene sandwich panels, 635-658. 2nd International Conference on Structural Integrity, 4-7 September 2017, Maderia, Portugal.
29. Kendall, P., Sun, M., Wowk, D., Mechefske, C., Yong Kim, I., 2020. Experimental investigation of adhesive fillet size on barely visible impact damage in metallic honeycomb sandwich panels. **Composites Part B**, **184**: 1-10
30. Işıktaş, A., Taşkın, V., 2020. Alüminyum-karbon elyaf sandviç kompozit levhaların V-bükme işleminde bükme açılarının ve bükme yönlerinin geri esneme üzerindeki etkisi. **BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **22** (1); 281-290
31. Baysal, B., 1981. Polimer Kimyası. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 366.
32. Sunay, M. S., 2012. Polimer-Polimer ve Polimer-Metaloksit Kompozit Sistemlerde Film Oluşum Davranışlarının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 178.
33. MEGEP, 2013. Kimya Teknolojisi, Propilen Türevleri ve Prosesleri. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 51.
34. Dost Kimya End. Ham. San. ve Tic. Ltd. Şti. Kompozit Shop, 2019. (Web sayfası: <https://www.kompozitshop.com/araldite-2015-epoksi-yapistirici-200ml>).(Erişim tarihi: Mayıs 2019)
35. MATLAB. Mathematical software, version 2009a, TheMathWorks.Erişim: <http://www.mathworks.com.7>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı:	Ömer ERDOĞAN
Uyruğu:	Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri:	27.05.1990 - Kayseri
Medeni Durum:	Bekar
e-mail:	omererdogan@bayburt.edu.tr
Yazışma Adresi:	Bayburt Üniversitesi Demirözü Meslek Yüksekokulu Demirözü / Bayburt

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2013
Lise	Sümer Lisesi, Kayseri	2008

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2018-Halen	Bayburt Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2016-2018	Asansör Kontrol Muayene Tic. Ltd. Şti.	Makine Mühendisi
2015-2016	Buğlem Asansör Kontrol Muayene Belg. Ltd. Şti.	Makine Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. "AHP Temelli Vikor ve Topsis Yöntemleri ile Tedarikçi Seçimi", *Meltem Karaatlı, Nuri Ömürbek, Ömer Erdoğan, Ceren Sarıncı (02.06.2016-04.06.2016), 17th International Symposium on Econometrics, Operations Research And Statistics, 2016*
2. "Production Parameters and Characterization of Hybrid Composites", *Munise Didem Demirbaş, Ömer Erdoğan, (26.04.2018-29.04.2018), II. International Vocational Science Symposium, 2018*
3. "Advantages and Disadvantages of Hybrid Composites According to Traditional Composites", *Munise Didem Demirbaş, Ömer Erdoğan, (26.04.2018-29.04.2018), II. International Vocational Science Symposium, 2018*
4. "Site ve Bina Yönetim Şirketlerinin, Asansör Bakımcı Firması Tercihinde AHP Temelli TOPSIS Uygulama Örneği", *Ömer Erdoğan, Ceren Sarıncı (17.04.2019-21.04.2019), International 5th Human And Civilization Congress From Past to Future, 2019*