

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE ÜRETİLEN BALPETEĞİ SANDVIÇ
KOMPOZİTLERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARININ
ARAŞTIRILMASI**

İsa KARATAŞ

Yüksek Lisans Tezi

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mekanik Bilim Dalı

HAZİRAN 2020

T.C.
Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE ÜRETİLEN BALPETEĞİ SANDVIÇ
KOMPOZİTLERİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞLARININ
ARAŞTIRILMASI**

Tez Yazarı

İsa KARATAŞ

Danışman

Doç. Dr. Yavuz Murat SOLMAZ

HAZİRAN 2020

ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Üç Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Balpeteği Sandviç Kompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının Araştırılması

Yazarı: İsa KARATAŞ

İlk Teslim Tarihi: 13.01.2020

Savunma Tarihi: 08.06.2020

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

İmza

Danışman: Doç. Dr. Yavuz Murat SOLMAZ

Onayladım

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa GÜR

Onayladım

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Tolga TOPKAYA

Onayladım

Batman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Soner ÖZGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Üç Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Balpeteği Sandviç Kompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının Araştırılması” Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

08/06/2020

İsa KARATAŞ



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında üç boyutlu yazıcı kullanılarak elde edilen ABS ve PLA termoplastik malzemeleri düşük hızlı darbe testine maruz bırakarak enerjiyi sönümleme kabiliyetleri araştırılmıştır. Solidworks paket programında tasarımı yapılan numuneler, ANSYS Workbench paket programı yardımı ile sayısal analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Her zaman her konuda destek veren, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca değerli zamanlarını bana ayıran bilgi, tecrübe ve değerli katkılarıyla beni yönlendiren Sayın Prof. Dr. Mete Onur KAMAN' a ve Sayın Öğretim Üyesi Dr. Mustafa GÜR' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Düşük hızlı darbe testlerinde Karadeniz Teknik Üniversitesi laboratuvar imkânlarını kullanmamı sağlayan Sayın Doç. Dr. Hasan GEDİKLİ'ye ve Arş.Gör. İsmail ÖZEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Deney numunelerimin hazırlama aşamasında destek sağlayan Sayın Eyüp ÇELİK' e teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan desteklerini esirgemeyen değerli babam Mehmet KARATAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yapılan çalışmanın yararlı olması temennisiyle.

İsa KARATAŞ

08/06/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. ERGİYİK BİRİKTİRME MODELLEME YÖNTEMİ	5
2.1. Üç Boyutlu Yazıcılar	6
2.2. Üç Boyutlu Üretim	7
2.3. Üç Boyutlu Yazıcıların Çalışma Şekli	7
2.4. Üç Boyutlu Yazıcıların Teknolojik Gelişimi	8
2.5. Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihçesi	8
2.6. Üç Boyutlu Yazıcıların Uygulama Alanları	8
2.7. Hızlı Modelleme Makineleri ile Üç Boyutlu Yazıcı	9
2.8. Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Hammaddeler	9
2.9. ABS Türü Filament.....	10
2.10. PLA Türü Filament.....	11
2.11. PLA ve ABS Filamentlerinin Kıyaslanması	11
3. KOMPOZİT MALZEMELER	12
3.1. Kompozit Malzeme	12
3.1.1. Matris Fazı.....	12
3.2.2. Takviye (fiber) fazı.....	13
3.2. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi.....	13
3.3. Kompozit Malzemelerin Başlıca Kullanım Yerleri	13
3.4. Kompozit Malzemelerin Avantajları	13
3.5. Kompozit Malzemelerin sınıflandırılması	13
3.5.1. Takviye Elemanının Yapısına Göre Kompozitler	14
4. MATERYAL VE METOT.....	23
4.1. Bal Peteği Geometrilik Çekirdek Yapıların Üretimi.....	23
4.2. Düşük Hızlı Darbe Testi	25
4.4. Sonlu Eleman Analizleri.....	26
4.4.1. Düşük Hızlı Darbe Testi İçin Sonlu Elemanlar Analiz yöntemi.....	26
5. BULGULAR	29

5.1. Düşük Hızlı Darbe Testi Sonuçları	29
6. SONUÇLAR	72
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Üç Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Balpeteği Sandviç Kompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının Araştırılması

İsa KARATAŞ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Haziran 2020, Sayfa xii+75

Sandviç kompozit yapılar yüksek eğilme mukavemeti, enerji ve titreşimleri absorbe edebilme gibi kabiliyetlerinden dolayı otomotiv, deniz ve havacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada sandviç yapının hücresel çekirdek kısmı bal peteği geometrisinde olup bu yapıları düşük hızlı darbe testine maruz bırakarak enerjiyi sönmülemeye karşı tepkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Sandviç kompozit yapıların çekirdek kısmı ABS ve PLA'dan oluşan termoplastik malzeme, alt üst kapak kısmı ise cam elyaf/polyester karışımından oluşmaktadır. Bu sandviç kompozit yapıların çekirdek kısmı üretilirken üç boyutlu yazıcı kullanılmıştır. 2 farklı hücre yüksekliği ve 3 farklı hücre boyutlarına sahip sandviç kompozit numuneleri 3 farklı enerji seviyesinde düşük hızlı darbe testine maruz bırakarak fiziksel ve mekanik davranışları incelenmiştir. Sandviç kompozit yapıdaki numunelerin düşük hızlı darbe testi sonrasında Solidworks'de modellenerek Ansys Workbench paket programında sayısal analizleri yapılmıştır. Numunelerin deneysel ve sayısal sonucunda PLA malzemesinin aynı hücre yüksekliğine sahip bal peteği yapılarda hücre boyutu azaldıkça malzemenin darbeye karşı ve enerjiyi sönmüleme kabiliyetinin arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde ABS termoplastik malzemesi de azalan hücre boyutuna bağlı olarak enerjiyi absorbe etme yeteneği artmıştır. Ancak aynı hücre boyutu ve aynı hücre yüksekliğine sahip her iki termoplastik malzeme için numunelere verilen enerjiler incelendiğinde PLA malzemesinin ABS malzemesine göre enerjiyi daha fazla yuttuğu deneysel olarak saptanmıştır.

Yapılan deneysel sonuçlar ile Ansys Workbench paket programında yapılan sayısal veriler mukayese edilerek sonuçların birbirine paralel olduğu görülmüştür. PLA malzemesinin ABS malzemesine göre enerjiyi sönmüleme kabiliyeti daha fazla olduğu bu sönmülemenin hücre yüksekliği ile arttığı da belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bal peteği, Sandviç kompozitler, Düşük hızlı darbe testi, ABS, PLA

ABSTRACT

Investigation of Low Velocity Impact Behaviour of Honeycomb Sandwich Composites Produced by Three Dimensional Printer

İsa KARATAŞ

Master Thesis

FIRAT ÜNİVERSİTY
Graduate School of Natural&Applied Sciences

Department of Machine
June 2020, Page: xii+75

Sandwich composite structures are widely used in automotive, marine and aerospace applications due to their high bending strength, ability to absorb energy and vibrations.

In this study, the cellular core part of the sandwich structure is in honeycomb geometry and the reactions of these structures to damping energy by exposing them to low-speed impact testing were studied experimentally and numerically. The core part of sandwich composite structures consists of thermoplastic material consisting of ABS and PLA, while the layer part consists of glass fiber/polyester mixture. A three-dimensional printer was used when the core part of these sandwich composite structures was produced. Sandwich composite samples with 2 different cell Heights and 3 different cell sizes were subjected to low-speed impact testing at 3 different energy levels and their physical and mechanical behavior was studied. Samples of sandwich composite structure were modeled at Solidworks after low speed impact testing and numerical analysis was performed in the ANSYS Workbench package program. The experimental and numerical results of the samples showed that the ABS material's ability to resist impact and damping energy increases as the cell size decreases in honeycomb structures with the same cell height. In the same way, PLA thermoplastic material has also increased energy absorption attitude with reduced cell size. However, when the energies given to the samples were examined for both thermoplastic materials with the same cell size and the same cell height, it was experimentally determined that ABS material ingested more energy than PLA material.

The experimental results were compared with the numerical data in the ANSYS Workbench package program and the results were shown to be parallel. It has also been determined that PLA material has more energy damping capability than ABS material, and this damping increases with cell height.

Keywords: Honeycomb, Sandwich composites, Low impact test, ABS, PLA

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1.	EBY Sisteminin çalışma prensibi	5
Şekil 2.2.	Üç Boyutlu Yazıcı	6
Şekil 2.3.	Üç Boyutlu Yazıcı Çalışma Tekniği	7
Şekil 2.4.	Üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş insan kafası modeli	9
Şekil 2.5.	Üç boyutlu yazıcı filament çeşitleri	10
Şekil 2.6.	ABS filament örneği	10
Şekil 2.7.	PLA filamen örneği	11
Şekil 3.1.	Kompozit malzeme	12
Şekil 3.2.	Matris fazı ve takviye fazı.....	12
Şekil 3.3.	Elyaf takviyeli kompozit malzeme	14
Şekil 3.4.	Partikül Takviyeli Kompozit Malzeme	15
Şekil 3.5.	Karma kompozit malzeme.	15
Şekil 3.6.	Tabakalı kompozit malzeme	16
Şekil 3.7.	Sandviç kompozit	17
Şekil 3.8.	Sandviç panelin yapıştırılarak elde edilmesi	18
Şekil 3.9.	Bal peteği geometrisi.	18
Şekil 3.10.	Nomex, kevlar, alüminyum ve termoplastik bal petekleri	19
Şekil 3.11.	Uzatarak şekil verme yöntemi ile bal petek hücre imalatı.	20
Şekil 3.12.	Kıvrırma yöntemi ile bal peteği yapı hücre imalatı.	20
Şekil 3.13.	Özel işleme maruz bırakılmış petek yapılı kompozitler.	21
Şekil 3.14.	Alüminyum petek yapılı kompozit levha.	21
Şekil 3.15.	Polipropilen petek yapılı kompozit panel	22
Şekil 4.1.	Ergiyik biriktirme metodu ile altıgen petekli yapı hücre üretimi	23
Şekil 4.2.	Petek hücre ile kompozit tabakaların yapıştırılması	24
Şekil 4.3.	Serteşme süreci tamamlanan ve tel testere yardımı ile temizlenen düşük hızlı darbe deney numuneleri.	24
Şekil 4.4.	Düşük hızlı darbe testi için hazırlanan çekirdek numuneleri	25
Şekil 4.5.	Düşük hızlı darbe test cihazı	25
Şekil 4.6.	Solidworks ile tasarlanan düşük hızlı darbe testi tasarımı	27
Şekil 4.7.	Ansys Workbench ile oluşturulmuş düşük hızlı darbe testi düzeneği	27
Şekil 5.1.	Düşük Hızlı Darbe Testi Sonrası Alüminyum ve ABS-PLA Deformasyon Farkı	29
Şekil 5.2.	Düşük hızlı darbe testi sonrası numuneler	30
Şekil 5.3.	Düşük hızlı darbe testi sonrası numuneler	31
Şekil 5.4.	HB=10 mm (hücre boyutuna) sahip ABS termoplastik petek yapılı sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi sonrası kuvvet-yer değiştirme grafiği.	32
Şekil 5.5.	HB=15 mm (hücre boyutuna) sahip ABS termoplastik petek yapılı sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi sonrası kuvvet-yer değiştirme grafiği.	33
Şekil 5.6.	HB=20 mm (hücre boyutuna) sahip ABS termoplastik petek yapılı sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi sonrası kuvvet-yer değiştirme grafiği.	34
Şekil 5.7.	HB=10 mm (hücre boyutuna) sahip PLA termoplastik petek yapılı sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi sonrası kuvvet-yer değiştirme grafiği.	35
Şekil 5.8.	HB=15 mm (hücre boyutuna) sahip PLA termoplastik petek yapılı sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi sonrası kuvvet-yer değiştirme grafiği.	36

Şekil 5.9.	HB=20 mm (hücre boyutuna) sahip PLA termoplastik petek yapılı sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi sonrası kuvvet-yer değiştirme grafiği.....	37
Şekil 5.10.	Düşük Hızlı Darbe Testi Sonrası Enerji Grafiği Örneği.	38
Şekil 5.11.	HY=10mm HB=10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik numunelerde hücre boyutunun 8J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi.....	39
Şekil 5.12.	HY=20mm HB=10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik numunelerde hücre boyutunun 8J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi.....	40
Şekil 5.13.	HY=10mm HB=10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik numunelerde hücre boyutunun 16J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi.....	41
Şekil 5.14.	HY=20mm HB=10mm, 15mm, 20mm olan ABS termoplastik numunelerde hücre boyutunun 16J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi.....	42
Şekil 5.15.	HY=10mm HB=10mm, 15mm, 20mm olan ABS termoplastik numunelerde hücre boyutunun 25J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi.....	43
Şekil 5.16.	HY=20mm HB=10mm, 15mm, 20mm olan ABS termoplastik numunelerde hücre boyutunun 25J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi.....	44
Şekil 5.17.	HY=10mm HB=10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik numunelerde hücre boyutunun 8J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi.....	45
Şekil 5.18.	HY=20mm HB=10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik numunelerde hücre boyutunun 8J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi.....	46
Şekil 5.19.	HY=10mm HB=10mm, 15mm, 20mm olan PLA termoplastik numunelerde hücre boyutunun 16J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi.....	47
Şekil 5.20.	HY=20mm HB=10mm, 15mm, 20mm olan PLA termoplastik numunelerde hücre boyutunun 16J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi.....	48
Şekil 5.21.	HY=10mm HB=10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik numunelerde hücre boyutunun 25J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi.....	49
Şekil 5.22.	HY=20mm HB=10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik numunelerde hücre boyutunun 25J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi.....	50
Şekil 5.23.	ABS çekirdek malzemesinde darbe testi sonrası görülen temas kuvvetleri	65
Şekil 5.24.	Temas kuvvetinin bal peteği geometrisinin hücre boyutu, hücre yüksekliği ve darbe enerjisi ile değişimi.....	66
Şekil 5.25.	Darbe deneyi sırasında ABS-PLA hücre boyutunun maksimum temas kuvvete etkisi.....	68
Şekil 5.26.	Darbe deneyi sırasında ABS malzemelerinin sönümlediği enerji miktarları	69
Şekil 5.27.	Darbe deneyi sırasında PLA malzemelerinin sönümlediği enerji miktarları	70

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Sayısal analizlerde kullanılacak olan malzemelerin mekanik özellikleri.....	26
Tablo 4.2. Modellerde oluşan eleman ve düğüm sayıları.....	28
Tablo 5.1. HY =10 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 8J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	52
Tablo 5.2. HY =20 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 8J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	53
Tablo 5.3. HY =10 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 16J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	54
Tablo 5.4. HY =20 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 16J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	55
Tablo 5.5. HY =10 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 25J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	56
Tablo 5.6. HY =20 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 25J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	57
Tablo 5.7. HY =10 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 8J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	58
Tablo 5.8. HY =20 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 8J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	59
Tablo 5.9. HY =10 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 16J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	60
Tablo 5.10. HY =20 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 16J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	61
Tablo 5.11. HY =10 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 25J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	62
Tablo 5.12. HY =20 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 25J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

EBY	: Ergiyik Biriktirme Yöntemi
ABS	: Akrilonitril-Butadien-Stiren
PLA	: Polilaktik Asit
Tg	: Camsı geçiş sıcaklığı
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi



1. GİRİŞ

Günümüzde farklı mühendislik alanlarında sıkça tercih edilen ve rağbet gören malzemelerin başında kompozit malzemeler gelmektedir. Teknolojik uygulamaların giderek artması ve hızlanması ile birlikte farklı malzemeler bulma yoluna gidilmiştir. Yalnızca bir malzeme kullanılarak kusursuz ve tavizsiz bir performans beklemek zor olduğundan birden fazla malzemeyi bir araya getirerek istenen özellikler sağlanmaya çalışılmıştır. Hafif olmasına karşın gösterdiği yüksek mukavemet sebebi ile uzay ve havacılık endüstrilerinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Sandviç kompozit malzemeler ise özellikle yüksek dayanımın ve düşük ağırlığın istendiği durumlarda tercih edilen yapılardır. En az iki farklı levha malzemesinin üst üste birleştirilmesiyle oluşturulur. Sandviç kompozit yapıların alt ve üst tabakalarının mukavemeti yüksek ama ince bir yapıya sahipken çekirdek kısmı, tabakalara göre mukavemeti düşük, enerjiyi sönümleme kabiliyeti yüksektir. Özellikle darbeli yükler altında yüksek mekanik davranış beklenen yerlerde enerjinin sönümlenebilmesi için bal peteği sandviç yapılar tercih edilmektedir. Bal peteği sandviç kompozitler darbe ve basma yükleri altında yüksek mukavemet gösteren yapılardır. Bal peteği geometrisindeki yapıların uygulamalarda tercih edilmesi için mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir ancak üretim aşaması maliyetli olması nedeni ile bu durum zorlaşabilmektedir. Bu özellikleri tespit edebilmek için darbe testi eğilme ve basma testi gibi çeşitli yollarla özellikleri belirlenebilmektedir. Bal peteği kompozitlerin yüzeyi darbe testlerinde ve basma testlerinde uygulanan yüke bağlı olarak yüksek dayanıma sahip oldukları bilinmektedir.

Liu ve arkadaşları (2019) çekirdek yapısı tüp dolgulu olan bal peteği yapısındaki sandviç malzemelerin düşük hızda darbe etkisini araştırmışlardır. Test için sekizgen yapıli petek çekirdeği modellenmiştir. Numuneler dikey ve eğik olarak düşük hızda darbe testine maruz bırakılmıştır. Test sonrası çekirdekdeki maksimum yer değıştirmeler, enerji sönümleme ve sınır reaksiyon kuvvetleri, sayısal ve deneysel olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tüp dolgulu sandviç malzemenin darbeye dayanım kapasitesi hakkında bilgiler vermiştir [1].

İlyas Türkmen ve N. Sinan Köksal (2013) el yatırması üretim yöntemiyle elde ettikleri kompozit malzemelerin çekme, üç nokta eğme ve düşük hızlı darbe testlerini yaparak malzemelerin darbe dayanımlarını incelemişlerdir. Test öncesi ve sonrası numunelerin ayrıntılı fotoğrafları çekilmiş ve karşılaştırılmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında elyaf katman sayısının artışına bağlı olarak malzemelerin absorbe ettiği enerji değeri de lineer bir artış göstermişlerdir [2].

Ümran Esendemir ve Haluk Karaca vakum infüzyon yöntemini kullanarak ürettikleri 100x100 mm boyutlarındaki cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin güneş görmeyen oda şartlarında hidroklorik asit çözeltisi içerisinde bekletip darbe davranışlarını gözlemlemişlerdir. Fractovis Plus darbe test cihazında 20 J ve 30 J enerjilerinde numuneleri test etmişlerdir. Yapılan

testin sonucunda asidik ortamın kompozit malzemelerin yükü taşıma performanslarının azalttığı görülmüştür [3].

Melis Yurdaskal ve Buket Okutan çekirdeği PVC köpük ve tabakaları elyaf camından yapılmış kompozitlerin darbe etkisi altındaki hasarlarını araştırmışlardır. Test cihazında 10 J, 25 J ve 80 J enerjilerinde numuneleri test etmişlerdir. Çalışma iki farklı geometriye sahip kare ve kavisli sandviç paneller üzerinde gerçekleşmiştir. Test sonucunda kare ve sandviç panellerin darbeye karşı gösterdikleri tepkiler karşılaştırılmıştır. Testte eğriliğin ve kavisliğin artmasıyla yer değiştirmenin arttığı, temas kuvvetinin azaldığı görülmüştür [4].

Zheng He ve arkadaşları tek yönlü elyaf takviyeli ve elle yerleştirme tekniğini kullanarak ürettikleri numuneleri çift eksenli ön yükleme ile düşük hızdaki darbeye karşı gösterdikleri etkiyi görmek için deneysel ve sayısal bir çalışma yapmışlardır. Boyutları 140x140 mm ve kalınlığı 2mm olan numunelerin sonlu elemanlar metoduyla bilgisayar ortamında analizlerini yapmışlardır. Bu analizlere bağlı olarak kuvvet-zaman ve enerji-zaman grafiklerini yorumlamışlardır. Testler ve sayısal analizler sonucunda kompozit malzemelerin darbeye karşı gösterdikleri performans takviye malzemenin yönüne, boyutuna ve eleman sayısı gibi parametrelerle doğru orantılı şekilde değiştiği görülmüştür[5].

Md Müslim Ansari ve arkadaşlarının FRP yapılı kompozit malzemelerin düşük hızdaki davranışlarını belirleyebilmek için kompozit numuneleri darbe testine maruz bırakmışlardır. Aynı numunelerin düşük hızdaki darbeye karşı gösterdikleri sayısal sonuçlarda sonlu elemanlar metodunu kullanarak elde etmişlerdir. Elde edilen sayısal ve deneysel veriler yardımı ile kompozit malzemelerin uğradıkları hasarlar incelenmiştir. İnceleme sonucunda kompozit malzemelerin oluşum şekli ve sınır şartları meydana gelen hasarda önemli bir faktör olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan sayısal verilerde 45° oryantasyonlu kompozit malzemelerin 300 ve 900 oryantasyonlu malzemelerden daha fazla hasar gördüğü belirlenmiştir [6].

T Sreekantha Reddy ve arkadaşları uzay sanayisinde ve otomotiv sanayisinde hızlıca yer alan ve bu uygulamalarda dikkate alınır bir potansiyelde kullanılan kompozit malzemenin mekanik özellikleri ve dayanımları açısından incelemişlerdir. Test sonrasında numunelerdeki hasar tipi ve maksimum yer değiştirmeler kompozit numunenin kalınlığına göre farklılık gösterdiği değerlendirilmiştir. Kompozit numunenin kalınlığı arttıkça maksimum yer değiştirme %50 azalmış numunenin gösterdiği dirençte kalınlığa bağlı olarak artmıştır. Beraberinde meydana gelen hasarın alanındaki değişimde kalınlıkla birlikte farklılık gösterdiği belirlenmemiştir [7].

Kemal Arslan ve arkadaşları alüminyum tabakalar ile desteklenmiş bal peteği sandviç yapıları düşük hızdaki darbe testine tabi tutarak numunelerin gösterdikleri hasar alanını ve emilen enerji performanslarını araştırmışlardır. Bal peteği sandviç kompozit malzemeler genellikle darbeden ötürü yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullandığı için testte alüminyum bal

peteğini kullanmışlardır. Sayısal modelini ANSYS paket programında yapıp analizler içinde LS-DYNA sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Elde edilen kinetik enerji ve temas kuvveti grafiklerinden malzemede meydana gelen şekil değiştirmeler ve hasar alanı hakkındaki durumlar incelenmiştir [8].

Ali Karacan yaptığı bir çalışmada farklı ortam koşullarına tabii tuttuğu kompozit malzemelerin mukavemetini incelemiştir. Numune boyutları 150x100 mm olan 8 ve 12 tabakalı cam elyaftan üretilmiştir. Numuneleri oda sıcaklığında üç farklı enerji seviyesinde (10 J, 20 J, 30 J) teste maruz bırakmışlardır. Absorbe edilen enerji miktarı ve maksimum kuvvet eğrileri belirlenmiştir. 12 tabakalı kompozit numunelerin üç farklı enerji seviyesinde 8 tabakalı kompozit numunelere göre darbe dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. Darbe testine maruz bırakılan numunelerin bir kısmına yama işlemi uygulanmıştır. Hem yamalı hem de yamasız numuneler darbe testi sonrası deniz suyu ve yağmur suyunda 3 ay boyunca bekletilmiştir. Beklemeden sonra numuneler ASTM standartlarında basma testine tabi tutulup basma dayanımları da incelenmiştir. Sonuçta yağmur ve deniz suyuna maruz bırakılan ayrıca yamalı uygulamaya tabi tutulan numunelerin basma dayanımlarının arttığı görülmüştür [9].

Arslan ve Güneşin yaptıkları bir çalışmada balpeteği sandviç yapıların Al6061 / B4C FGM yüzey levhalarına sahip, 0.30 kalibrelik numune üzerine simüle edilen mermi darbesini simüle eden yüksek hızda darbe davranışı tekli gaz tabancası ile incelemişlerdir. Numunelerin darbe deneyi sonuçlarını hasar ve deformasyon oluşumları açısından değerlendirmişlerdir. Sonuçlarda FGM yüzey levhalarının malzeme bileşimi varyasyonunun, hasar tipleri, enerji sönümleme kapasitesi ve sandviç yapının darbe mukavemeti için oldukça etkili bir parametre olduğunu ve bal peteği yapısındaki çekirdeğinin, sandviç yapının enerji yutma kapasitesine katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir [10].

Xie ve Zhou gerçekleştirdikleri bir çalışmada sayısal olarak alüminyum bal peteğinin ezilme davranışlarını incelemişlerdir. Deneysel sonuçları ve sonlu elemanlar analiz metodu sonuçlarını sayısal olarak hesaplayıp karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak hücre kalınlığı arttıkça ve hücre boyutu azaldıkça bal peteği yapısının enerji sönümleme kabiliyetinin arttığını gözlemlemişlerdir [11].

Galehdari ve arkadaşları bal peteği geometrisindeki sandviç kompozit numunelerden statik davranışlarını ve darbeye karşı davranışlarını belirleyebilmek için analizler yapmıştır. Analitik yöntem olarak Lower - bound metodunu kullanarak tepe gerilme formülünü hesaplamıştır. Çekme deneyleri sayesinde malzemelerin özelliklerini belirlemişlerdir. Ağırlık düşürme deneyi ve Santam basma deney cihazını kullanarak sayısal analizleri ile karşılaştırılmıştır. Sayısal ve deneysel uygulamalar birbirine paralel çıkmıştır [12].

Schubel ve arkadaşları gerçekleştirdikleri ağırlık düşürme testinde PVC köpük çekirdek ve örgü şeklindeki karbon fiber kompozitleri kullanmışlardır. Darbe elemanının temas ettiği

noktalarda gözle görülen delinmeler ve delaminasyonlar tespit edilmiştir. Darbe testinde kullanılan numuneler daha sonra basma testinden geçerek hasarsız numuneler ile kıyaslama yapılmıştır. Sonuç olarak meydana gelen delaminasyonlar numunelerin yükleri taşıma kabiliyetini azalttığı belirlenmiştir [13].

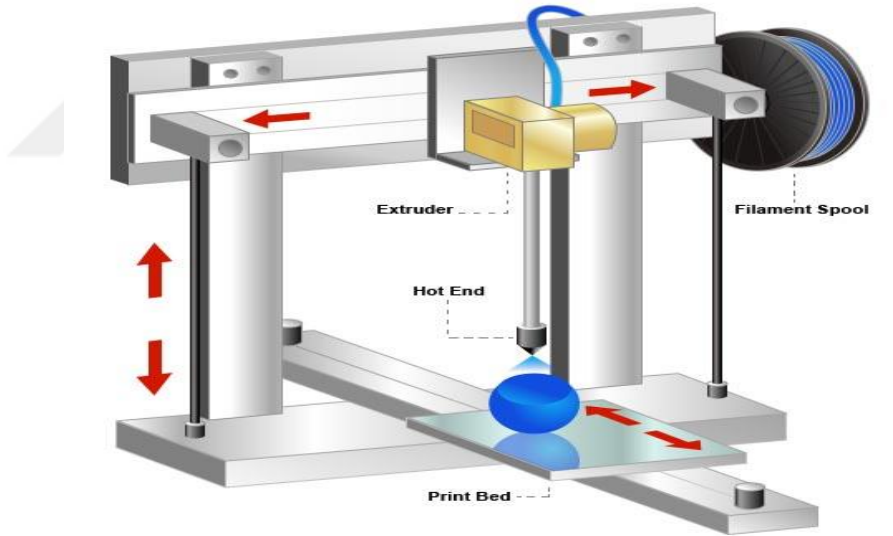
Freeman ve arkadaşları yorulma davranışları üzerine yaptığı bir çalışmada sandviç yapıdaki kompozit malzemeleri önceden darbe testine maruz bırakmıştır. Yüzey malzemesi olarak karbon fiber takviyeli olan sandviç kompozit numunelerin yorulma davranışlarının seyrini incelemiştir. Üç farklı darbe enerjisinde çekirdeğine köpük yerleştirilmiş bal peteği numuneler ile yüzey malzemesi 2-4 tabakalı karbon fiberden oluşan numuneler teste maruz bırakılmıştır. Darbe testinden sonra incelenen numuneler yorulma testlerine tabi tutulmuşlardır. Dört nokta eğilme deneyinde hasarlı ve hasarsız numuneler üzerinde test yapılmıştır. Testler sonucunda 10 J darbe enerjisinde numunenin sadece üst yüzeyi delinirken, 20 ve 30 J darbe enerjilerinde numunenin her iki tarafında da hasarlar oluşmuştur. 2 ve 4 tabakalı numunelerin darbe testine maruz bırakılması yorulma kapasitelerini etkilememiştir [14].

Topkaya ve arkadaşları gerçekleştirdiği bir çalışmada sandviç yapıdaki bal peteği kompozit numuneleri yorulma, basma ve üç nokta eğilme testlerinden geçirerek sonrasında düşük hızlı darbe testine maruz bırakıp statik ve yorulma performanslarını incelemişlerdir. Farklı hücre yüksekliği, hücre boyutu, hücre malzemesi ve kalınlığı kullanarak belirlenen testlere maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda bal peteği geometrisindeki sandviç kompozit yapılarda darbe testleri sonrası yorulma ve mukavemet özellikler belirlenmiştir [15].

Solmaz ve Çelik tarafından yapılan bir çalışmada çekirdek yapısı ABS ve PLA termoplastik malzemesinden oluşan numunelerin çekirdek üretiminde üç boyutlu yazıcı kullanmışlardır. Üretilen çekirdek malzemelerin alt ve üst kısmını polyester/cam fiber ile kaplatarak sandviç kompozit haline getirip üç nokta eğilme ve basma testlerine tabi tutmuşlardır. Üç farklı hücre yüksekliği ve üç farklı hücre boyutuna sahip numuneleri Ansys Workbench paket programında analizlerini gerçekleştirip deneysel sonuçlar ile kıyaslamışlardır. Artan hücre boyutuna paralel olarak numunelerin dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Hücre yüksekliğinin artması ile de eğilme dayanımının arttığı basma mukavemetinin azaldığı görülmüştür [16].

2. ERGİYİK BİRİKTİRME MODELLEME YÖNTEMİ

Son yıllarda gelişen ve hızlanan teknolojik üretim uygulamaları sanal ortamda tasarımı yapılan üç boyutlu nesnelerden katı model oluşturma yöntemleri birçok firma tarafından denenmiştir. Bu yöntemlerden biride 1984 yılında ilk çalışması yapılan üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanarak elde edilen katı modellemelerdir. Son zamanlarda Rep-rap projesi ile kullanılan üç boyutlu yazıcılar bu üretim tekniğinin maliyetini azaltmıştır. Bu metot ile daha çok katı halde bulunan termoplastik polimerlerden ABS ve PLA filamenleri tercih edilmektedir. Klasik bir ergiyik biriktirme metodunda, kullanılacak termoplastik katı filament şeklinde üretilip (Tg) üstünde ısıtılarak nozulden akışı sağlanır. Üretim tekniği ise nozulden eritilmiş şekilde çıkan filamenlerin katman katman birleşerek istenen katı modeli oluşturmaya dayanır. Bilinen kaynak ve döküm yöntemlerine rakip olan bir üretim şeklidir, bunun sebebi ise hızlı ve kolay üretim sağlayabilmesidir. Ergiyik biriktirme sisteminin çalışma tekniği Şekil 2.1'deki görselde belirtilmiştir.



Şekil 2.1. EBY Sisteminin çalışma prensibi

Kalıp ile parça yapısına uygun hammadde ihtiyacı gibi sorunları da ortadan kaldıran üç boyutlu yazıcı teknolojisi çeşitli birçok malzemeyi kullanabilmektedir. Örneğin talaşlı imalat yöntemlerinde üretim süresi oldukça uzun ve fire oluşma oranı da yüksektir. Üç boyutlu üretim yöntemlerinde fire oranı sıfıra yakın ve süre oldukça kısadır. Karmaşık, hareketli ve çok parçalı mekanizmaların üretilmesi bu metot ile çok kolay bir şekilde elde edilebilmektedir. ABS ve PLA bu hassas geometrilerin üretilmesinde kullanılan malzemelerdir. Fonksiyonel parçaların

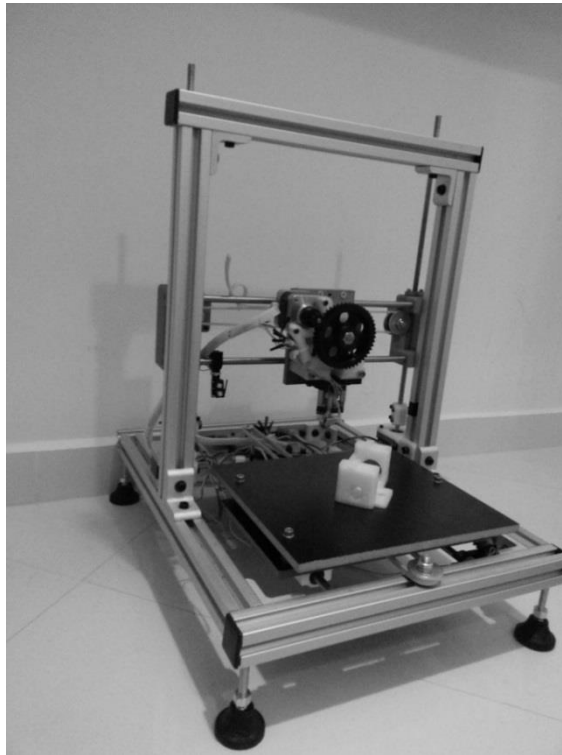
retiminde bu kadar belirgin bir Şekilde tercih edilmesinde kırılmaya, bükülmeye, uzamaya, esnemeye ve ucuz olması gibi parametrelere cevap vermesi kullanımını yaygınlaştırmıştır.

2.1. Üç Boyutlu Yazıcılar

Üç boyutlu yazıcılar sanaldaki CAD programlarında çizilmiş üç boyutlu bir dosyayı katı model haline getiren cihazlardır. Baskı esnasında nozülden eriyik halde çıkan hammadde veya filamenleri üst üste yığma işlemi yaparak istenen nesneyi meydana getirir. Bu Őekildeki retim tekniği ile geleneksel yollarla üretilmesi zor olan Őekillerin retimi sağlanmıştır.

Otomotiv, uzay sanayisi, mühendislik, medikal ve endüstriyel tasarım gibi birçok alanda hızlıca kullanım alanı bulan ucuz bir üretim sistemidir. Tasarımların kolayca aktarılabilmesi, düzeltmelerin hızlı bir Şekilde, rn fiyatının üretimden önce belli olması ve fire oranının minimum seviyede olması gibi avantajları vardır.

Ergiyik biriktirme yöntemi kullanarak üç boyutlu yazıcıdan üretim yapılabilmesi için genellikle ABS ve PLA gibi iki farklı termoplastikten meydana gelen filamen eşitleri kullanılır. Her filamenin bir camsı geçiş sıcaklığı vardır. Nozul mekanizması içinde bu camsı geçiş (Tg) sıcaklığına kavuşan filamen ergiyik halde nozul iinden akarak katman katman istenen nesneyi meydana getirir. Şekil 2.2' de üç boyutlu yazıcıya ait bir resim gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Üç Boyutlu Yazıcı

2.2. Üç Boyutlu Üretim

Üç boyutlu üretim üç boyutlu baskı olarak da adlandırılan sanal ortamda çizilmiş bir nesneyi katı modelini oluşturan bir mekanizmadır. Dövme talaşlı imalat enjeksiyon kalıbı gibi geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor olan karışık geometrideki malzemelerin üretiminde kullanılır. Üretim esnasında malzeme kullanımını ve sarfiyatını minimuma indirerek maliyet oranını düşürmektedir.

2.3. Üç Boyutlu Yazıcıların Çalışma Şekli

Üç boyutlu baskı tekniğinde günümüzde birçok türde teknolojiler kullanılmaktadır. Bu türlerin başında fused deposition diye adlandırılan birleşerek yığılma gelir. Polimer türlerindeki kurlama gibi tekniklerde bu sıralamada sayılabilir. Bu kadar sık kullanılsa bile ve değişik yazılım tasarımına sahipse de teknik olarak en çok tercih edilen sistem "fused deposition modeling" formatı ile çalışan cihazlardır. Bu yöntemde baskı başlamadan önce filamenin nozul sisteminde eritilmesi gerekir böylece eriyik olan filamen tabla üstünde kat kat yığılarak katı modeli oluşturur.

CAD programlarında üç boyutlu katı geometrik çizimi bulunan modelin iki boyutta kat kat dizilecek şekilde tablaya yapışıp donarak istenen üretim nesnesi elde edilmiş olur. Şekil 2.3' de Üç boyutlu yazıcının çalışma tekniği gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Üç Boyutlu Yazıcı Çalışma Tekniği

2.4. Üç Boyutlu Yazıcıların Teknolojik Gelişimi

Katmanların nasıl üretildiği ile alakalı üç boyutlu yazıcılarda birçok üretim şekli ve çeşidi vardır. Üç boyutlu baskı tekniğinde günümüzde birçok türde teknolojiler kullanılmaktadır. Bu türlerin başında fused deposition diye adlandırılan birleşerek yığılma gelir. Katı hali elde edilmek istenen modelim daha önce herhangi bir CAD programında çiziminin oluşturulması gerekir. Bu çizim için AutoCad, Solidworks ve bunlar gibi sıkça kullanılan pahalı program ve yazılımlar olduğu gibi, piyasa ve verilen eğitim ya da kurslarda çok başarılı performanlı ücretsiz programlarda bulunmaktadır. Üç boyutlu baskı tekniğinde genellikle üreticilerin veya kullanıcıların tercih ettiği termoplastiklerin başında ABS ve PLA malzemeleri gelmektedir.

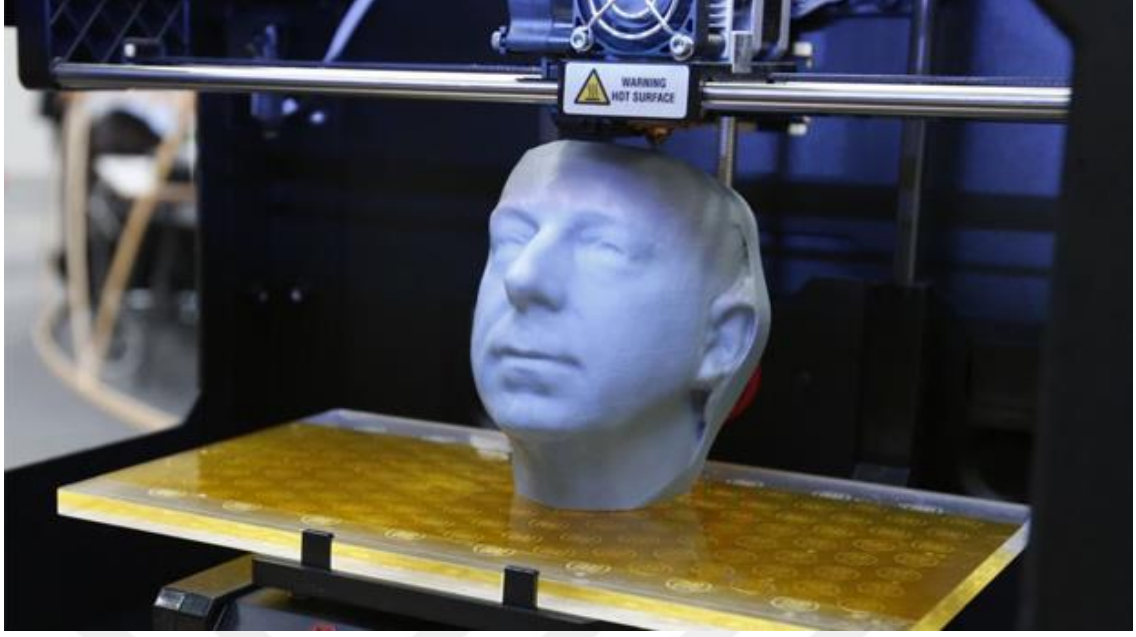
Nozülün ergiyik halde çıkıp tasarlanan katı modelleri elde edebilmek için kullanılan plastik malzemesinin erime sıcaklığına sağlıklı bir şekilde ulaşması gerekir. Çünkü pürüzlü veya düğümlü bir katman şekli istene katı modelde kusurlar ve kopmalara sebep olacaktır. Yazıcıya bağlı nozül tahrik hareketini tasarımı yapıp yazıcı tarafından desteklenen programdan alarak adeta CNC de kullanılan programlar gibi sıfır noktasından başlayarak ileri geri hareketleriyle üst üste biriktirme işlemini yaparak arzu edilen ve çizilen katı şekli meydana getirir.

2.5. Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihçesi

İlk çalışması 1984’lerde Chuck Hull of 3D Systems şirketi vasıtası ile oluşturulmuştur. Ama geline bu hızlı değişim teknoloji çağında gelişen üretim araştırmaları ile birlikte birçok şirket tarafından uygulanmaya koyulmuştur. Bundan 14 yıl önce başlayan REPRAP adında piyasaya sürülen açık kaynak kodlu üç boyutlu yazıcıların kullanımı ile üç boyutlu üretim teknolojisinin maliyeti azalmıştır. Bu çalışma sayesinde bireysel olarak da tasarlanan modelleri üç boyutlu yazıcıda kolayca katı halde elde etmek mümkün olmuştur.

2.6. Üç Boyutlu Yazıcıların Uygulama Alanları

Bu teknoloji ilk çıktığı zamanlarda birçok sektörde aşırı rağbet ve talep görerek kısırlaşmış, ilerleme kaydedemeyen sağlık alanında büyük bir çığır açmıştır. Üç boyutlu baskı yöntemi ile tıp sektöründe ve üniversite eğitimlerinde diş protezleri mumya gibi görünen insan vücutları kafatasları yapay organların üretimi gerçekleştirilerek bu alanda büyük ölçüde kolaylıklar sağlanmıştır. Üretimi karmaşık olan birçok parçada rahatça imal edilebilmektedir. Bu baskı işlemlerinin dahada yenilenmesi ve değişimle üç boyutta organların yapıp nakledilmesi bile söz konusu gündeme gelebilmektedir. Şekil 2.4’de 3D yazıcı kullanarak üretilen bir katı model gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş insan kafası modeli

2.7. Hızlı Modelleme Makineleri ile Üç Boyutlu Yazıcı

Hızlı modelleme istenen yerlerde kullanılan basite indirgenmiş mekanizmaların başında üç boyutlu yazıcılar gelmektedir. Hızları çözünürlükleri diğer hızlı modelleme mekanizmaları gibi olmasa da fiyatı hızlı modelleme teknolojisindeki cihazlardan daha ucuzdur.

Havacılık uzay deniz ve otomotiv sanayilerinde hızlı modelleme teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Hızlı modelleme cihazları üç boyutlu yazıcılardan büyük ve daha geniş yer kaplarlar. Son 10 sene içerisinde hızla yaygınlaşan ve tercih edilen üç boyutlu yazıcılar önümüzdeki zamanlarda da ne kadar hızla büyüyeceğinin büyük bir göstergesidir.

2.8. Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Hammaddeler

Üretim esnasında kullanacağımız hammadde nin kalitesi ve yoğunluğu elde edeceğimiz üründe aslında kalitesini ve şeklini değiştireceğini unutmamalıyız. Örneğin kalitesiz bir hammadde den oluşan filamenle elde edilen çok astronomik bir tasarım ile kaliteli fiyamenle üretilen bir elmanın kalite yapısı bir olmayabilir. Hammaddelerin mekanik ve kimyasal özellikleri değişkenlik göstereceğinden kullanılan cihazlarında özelliklerinde farklılıklar oluşacaktır. Çünkü erime ve donma sıcaklıklarını cihazlarda malzemenin mekanik özelliklerine göre seçilebilmektedir.

Eriterek kullanılan PLA ve ABS filamenlerini masaüstü şeklinde olan yazıcılarda da çok tercih etmektedir. Profesyonel tasarım ve hassas metalik baskılarda çelik titanyum gibi pahalı

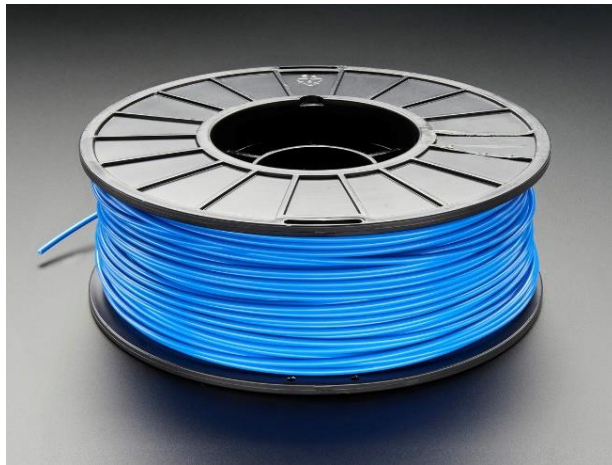
şekilde üretilen ve ergitilen malzeme türleri de vardır. Şekil 2.5’ de Üç boyutlu yazıcı filament çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Üç boyutlu yazıcı filament çeşitleri

2.9. ABS Türü Filament

Hammaddesi petrol olan bir termoplastik çeşididir. PLA malzemesine kıyasla gevrek olmayıp aksine zor kırılabilen ve mukavemet açısından PLA ya göre çok üstün mekanik davranış göstermektedir. Sanayide tampon malzemesi olarak ya da motosiklet kaskı yapımında sıklıkla kullanılan bir termoplastiktir. Sağladıkları yüksek verim sayesinde üç boyutlu yazıcıların hammaddesi olarak da bilinmektedir. Şekil 2.6’da ABS termoplastiğin örneği verilmiştir.



Şekil 2.6. ABS filament örneği

2.10. PLA Türü Filament

Şeker ve mısırın hammedelerinden meydana gelen bitkisel bir termoplastik olan PLA diye adlandırılan bir plastik türüdür. Bitkisel bazlı olduğundan yeşil plastik adı ile de bilinir. Diğer termoplastik malzemelere göre PLA plastiği daha fazla çevrecidir. Toprakta daha erken ayrıştırıcı özelliği olduğundan pek zarar vermeden yok olmaktadır. Sağlık açısından önemli bir faktör olan gıda ambalaj sisteminde tercih edilmektedir. Üç boyutlu yazıcılarda da istenen verimde ve düzeyde çalıştığı için sıklıkla tercih edilir. Şekil 2.7’ de PLA filament örneği görselde sunulmuştur.



Şekil 2.7. PLA filamen örneği

2.11. PLA ve ABS Filamentlerinin Kıyaslanması

ABS kullanımının uygulamalarda sağladığı üstünlükler şu şekilde sıralanabilir;

- ABS nin diğer filamen çeşitlerine göre mekanik üstünlükte olması.
- PLA nın ABS ye göre yüksek sıcaklardaki dayanım özelliği.
- Araçların aerodinamik göğüs tampon yapımında sıkça kullanılması.
- Diğer filamenlere göre daha ömürlü olması.

PLA kullanımının sağladığı yararlar şu şekilde sıralanabilir;

- Herhangi bir şey üretilirken tasarım tablasında sıcaklığa ihtiyaç duymaz.
- Çevreci olması gıda sanyisinde özellikle tercih sebebidir.
- Baskı esnasında herhangi bir buhar ve koku çıkartmaz.
- Baskıya yatkınlığı çok kolay işlenebilirliği tercih sebebidir.

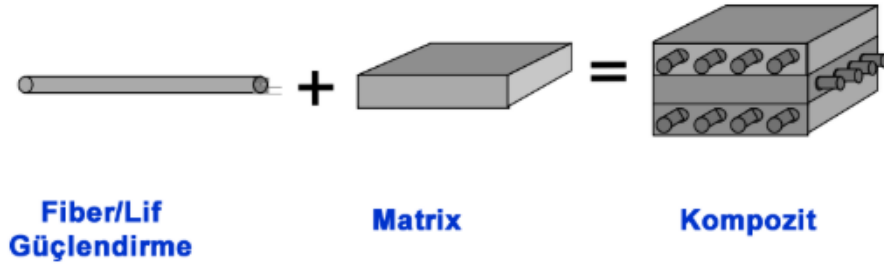
3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler genellikle bileşenlerinde tek tek mümkün olmayan sertlik, kuvvet, ağırlık, yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci, sertlik ve iletkenlik gibi özelliklere sahip olurlar.

3.1. Kompozit Malzeme

Genel olarak, bir kompozitin yapısı iki fazdan, bir matris ve bir takviye bileşenden oluşur. Matris sürekli faz ve takviye ise süreksizdir. Takviyenin görevi, kompozitin güçlendirilmesidir. Ve matrisin yapıştırma sorumluluğu vardır. Matris malzemeleri ve takviyeler arasında tanınabilir ara yüzler vardır. Birçok kompozit malzeme türü ve bunları sınıflandırmanın çeşitli yöntemleri vardır. Bir yöntem, polimerler, metaller ve seramikler içeren matris malzemelerine dayanır.

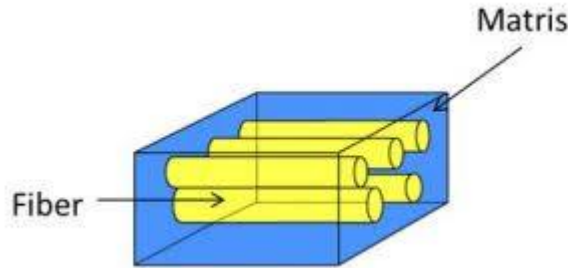
Diğer yöntem, elyaf, parçacık ve lifçikler (bıyık) şeklindeki takviye aşamasına dayanır. Bu lifçikler uzunlukları daha kısa liflerdir. Bu nedenle, parçacıklar, lifler veya lifçikler ile matris arasındaki bağ çok önemlidir. Şekil 3.1’ de Kompozit malzeme resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kompozit malzeme

3.1.1. Matris Fazı

Süreklidir ve birinci temel fazdır. Kuvveti paylaşılarak takviye fazını bir bütün halinde sarar. Şekil 3.2’ de matris fazı ve takviye fazı temsili resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Matris fazı ve takviye fazı

3.2.2. Takviye (fiber) fazı

İkinci fazdır ve matrisin dayanım ve rijitliğini artırır.

3.2. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi

Özellikle inşaat sektöründe eskiden beri süre gelen bir kullanım alanına sahiptir. Eski mimari ve konularda kullanılan klasik saman ile çamuru karıştırılması da bir kompozit işlemdir. Günümüzde ise çimento demir gibi temel yapı maddeleri samanla çamurun yerini almıştır. Başka bir örnek verebilecek olursak kağıt malzemesini verebiliriz. Günümüzde astronomik şekilde kullanım alanı olan kağıt reçine ve selülöz karışımından meydana gelen bir kompozit malzemedir. Her sektörde kullanım uygulamaları geniş bir alana yayılmıştır.

Uçak sanayisinde son zamanlarda kendini kanıtlamış ve kullanım sıklığını arttırmıştır. Uçakların iç tasarımlarında kullanım gövdelerinde motorlarında çok fazla tercih edilmektedir. Hafif ancak mukavemet dayanımı yüksek olması atmosferik ortamlardaki performanslarını arttırmaktadır.

3.3. Kompozit Malzemelerin Başlıca Kullanım Yerleri

Kompozit malzemelerin başlıca kullanım alanları; şehircilik, evde kullanılan beyaz eşyalar, elektrikte kullanılan malzemeler, havacılıkta ve otomotivde kullanılan tasarım parçaları tarım sektöründe gibi alanlarda kullanımı yaygınlaşmıştır.

3.4. Kompozit Malzemelerin Avantajları

Son zamanlarda metallerin mekanik davranış özelliklerinden fazla olmasından ötürü kompozit malzemeler sıkça tercih edilmektedir. Konstrüksiyonların kullanıldığı yerlere göre hafif olması istene yerlerde kompozit malzemelerin özgül ağırlığından ötürü tercih edilir. Isıya korozyona elektriğe sese karşı dayanımları yüksek olan fiber takviyeli kompozitler bu üstünlükleri sebebi ile çok fazla talep görmektedir. Ayrıca yüksek mukavemet, kolay şekillenebilme titreşim sönümlendirme gibi üstün mekanik özelliklere sahiptirler.

3.5. Kompozit Malzemelerin sınıflandırılması

Sınıflandırılmalarında belli bir şablon olmamasının sebebi kompozitlerde çok fazla malzemenin bir arada oluşturdukları yapıdır, ancak yine de bu yapılara uygun sınıflandırmayı şu şekilde yapabiliriz.

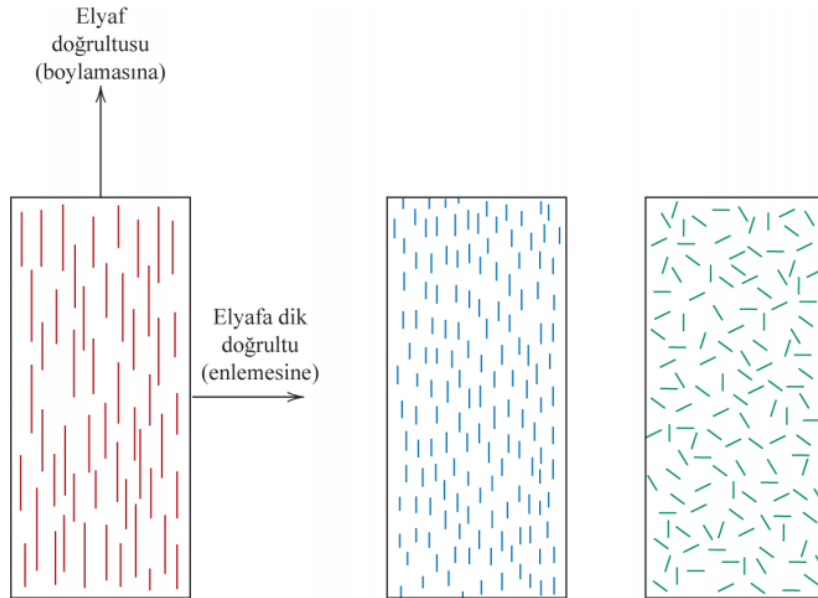
3.5.1. Takviye Elemanının Yapısına Göre Kompozitler

Takviye elemanının yapısına göre adlandırılan kompozitler altı sınıfa ayrılmaktadır,

- Takviyesinde elyafı kullanarak oluşturulan kompozitler
- Takviyesinde parçacıklı bir şekilde oluşan kompozitler
- Tabakaların birleştirilmesiyle elde edilen kompozitler
- Karma şekilde birleşen kompozitler
- Sandviç yapı elde etmek için oluşturulan kompozitler
- Altıgen yapıdaki bal peteği şeklindeki kompozitler

• Elyafli kompozitler

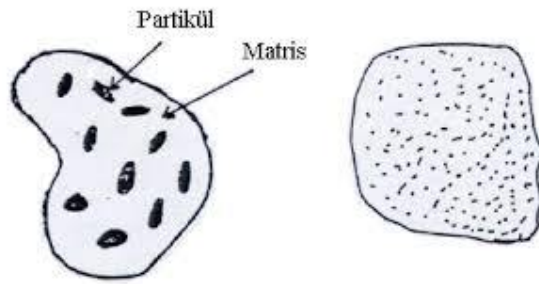
Elyafların dizilimi ve kullanıldığı katman sayısı kompozit malzemelerin dayanımına etki eden bir faktördür. Diziliş şekillerinden bile mukavemet özellikleri değişebilmektedir. Örneğin paralel şekilde diziliş mukavemeti arttıracak gibi dik eksen halinde yerleştirilen elyaflar dayanımı azaltabilmektedir. İzotropik dağılışı istenen yerlerde homojen bir şekilde elyafların dizilimi sağlanabilir. Çünkü kompozit malzemelerin mukavemetini büyük oranda belirleyen elyafların mukavemeti olacaktır. Kusursuz bir elyaf yapısı kompozitler için önem arz etmektedir. Uzunluk ve çap oranlarındaki değişkenlikler kompozit malzemedeki mukavemet değerlerinde de değişkenlik gösterecektir. Şekil 3.3’ de Elyafli kompozit resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Elyaf takviyeli kompozit malzeme

- **Parçacıklı Kompozitler**

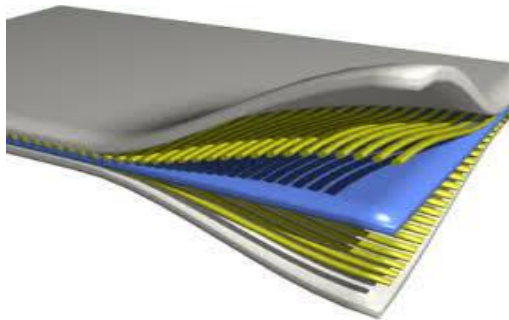
Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıkları halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılardır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler. Şekil 3.4’ de parçacıklı kompozitlere örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Partikül Takviyeli Kompozit Malzeme

- **Karma (Hibrid) kompozitler**

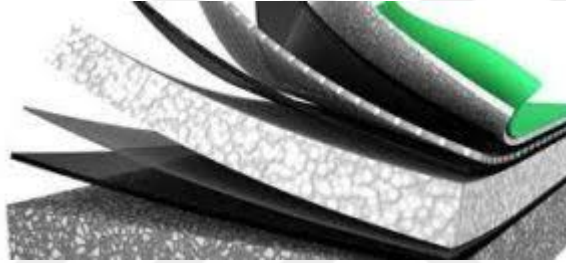
Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyafdır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyafdır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitden iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemetide kevlar elyafı kompozitden daha yüksek olmaktadır. Şekil 3.5’ de karma kompozitlere örnek görülmektedir.



Şekil 3.5. Karma kompozit malzeme [17].

- **Tabakalı Kompozit Malzemeler**

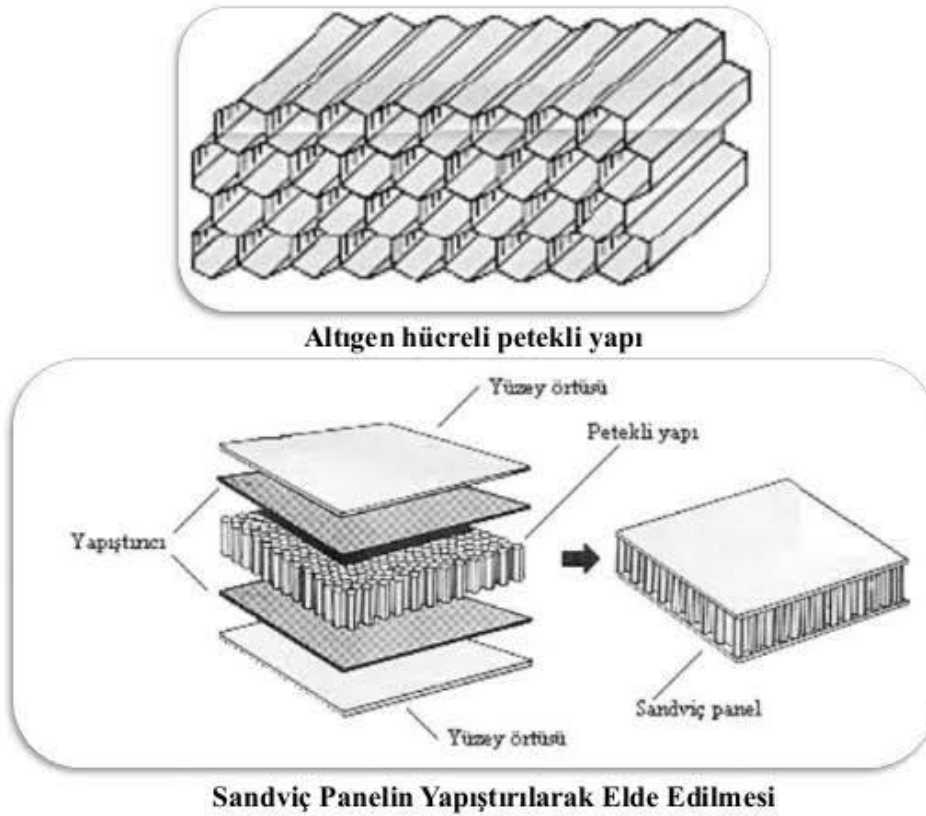
Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler. Ayrıca, uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzeme örneğidirler. Sandviç yapılar, yük taşımayarak sadece yalıtım özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler. Şekil 3.6’ da tabakalı kompozit malzeme görülmektedir.



Şekil 3.6. Tabakalı kompozit malzeme

- **Sandviç Kompozit Yapılar**

Bir sandviç kompozit elde edilirken farklı formdaki malzemenin alt ve üst yüzeylerini yapıştırıcı kullanarak yüzey örtüleri ile yapıştırılması sonucu elde edilir. Alt ve üst tabakalar izotropik malzeme veya fiber takviyeli tabakalardan da meydana gelebilir. Şekil 3.7’ de sandviç kompozit malzeme görülmektedir.



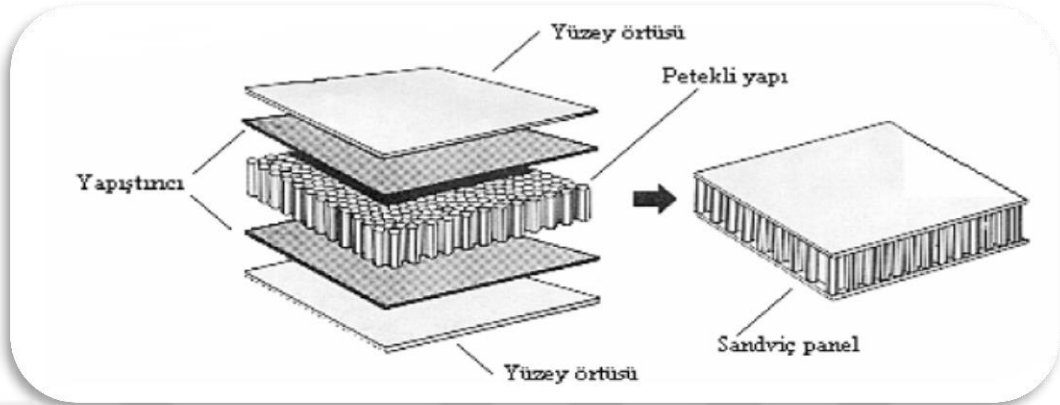
Şekil 3.7. Sandviç kompozit [18].

- **Bal Peteği Sandviç Kompozitler**

Bir sandviç kompozit, petekli yapının alt ve üst yüzeylerin yapıştırıcı kullanılarak yüzey örtüleri ile yapıştırılması sonucu elde edilir. Bal peteği geometrisi ise doğal olarak bal arılarının petekleri ile aynı olan çok ince tabakaların şekillendirilmesi ile elde edilir. Petek yapıli kompozitler, diğer sandviç konstrüksiyon ara malzemelerine oranla daha pahalıdır ve sandviç yapı haline dönüştürülmesi daha özel işçilik gerektirmektedir. Bu nedenle, genellikle denizcilik, havacılık ve uzay sektöründe yüksek mekanik dayanım sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Denizcilik sektöründe, tekne imalatı sırasında sandviç tekniği kullanılarak, teknenin mekanik dayanımı artırılmaktadır. Havacılık ve uzay sanayiine yönelik uygulamalarda ise, hafiflik ve rijitlik özellikleri önem taşımakta ve genellikle uçağın taban kaplamaları, kanat ve kuyruk parçaları, helikopter pervanesi gibi parçalar sandviç konstrüksiyon tekniği ile üretilmektedir. Son yıllarda bir çok binek ve spor otomobillerin tavan, direk ve gövdesinin bir çok kısımlarında, spor aletlerinde (yarış bisikleti kaburgası) ve rüzgar türbini pervanesi gibi bir çok alet ve makine imalatında petekli yapılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Sandviç yapılarıdaki kullanıma ilave olarak, petekli yapılar enerji sönümleme, radyo dalgası kalkanı, uyduların güneş

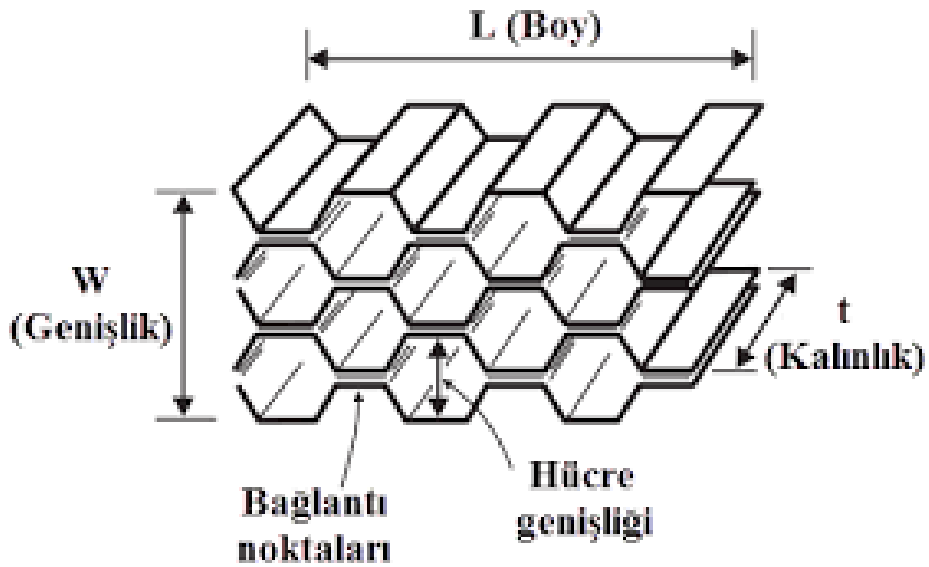
panelleri ve hava akımı doğrultucusu vb. olarak da yaygın bir kullanıma sahiptir. Şekil 3.8’ de Sandviç kompozit yapının yapıştırılarak oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Sandviç panelin yapıştırılarak elde edilmesi [18].

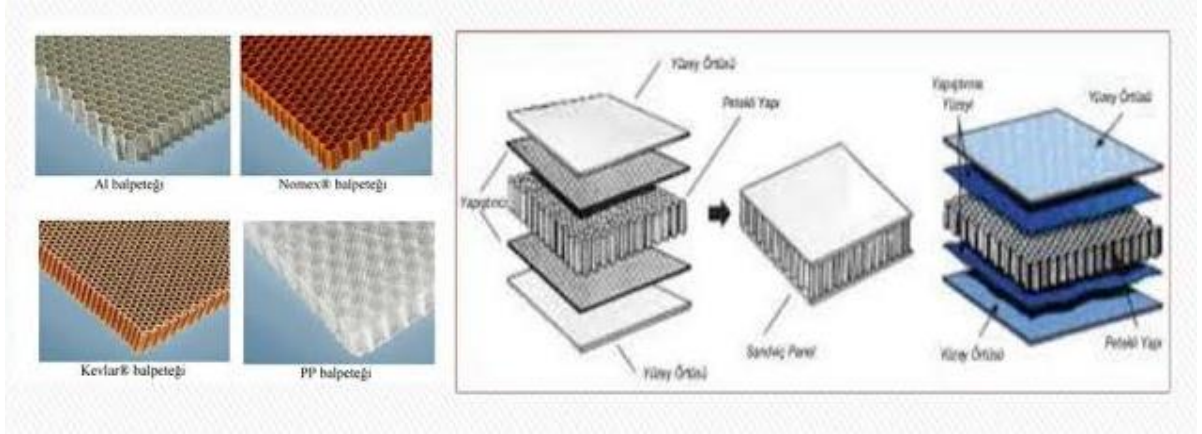
Bal peteğinin fiziksel yapısından bahsedersek;

Kullanacağımız malzeme ve sandviç kompozit malzemesinin maruz kalacağı uygulamaya göre bal peteğinin hücre boyutunu ve yüksekliği istenen boyutlarda tercih edilebilmektedir. En az malzeme kullanılmasını sağlamak için altıgen yapıyı ile istenilen kafes yapılar elde edilmektedir. Altıgen yapıdan dolayı en yüksek kaplamayı en küçük alanda elde edebiliriz. Bal peteği geometrisi Şekil 3.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Bal peteği geometrisi [20].

Honeycomb diye adlandırılan bal peteği yapılarını üç sınıfa ayırabiliriz; uçak ve otomotiv sanayisinde aşınmaya karşı direnci yüksek nomex ve kevlar bal petekleri, denizcilik ve demiryolu işletmelerinde kullanılan hafif, alev direnci yüksek alüminyum alaşımlı bal petekleri ile kimyasal ve ekonomik yönden avantajlı olan termoplastik bal petekleridir. Termoplastik, alüminyum, kevlar ve nomex bal petekleri Şekil 3.10’ da gösterilmiştir.



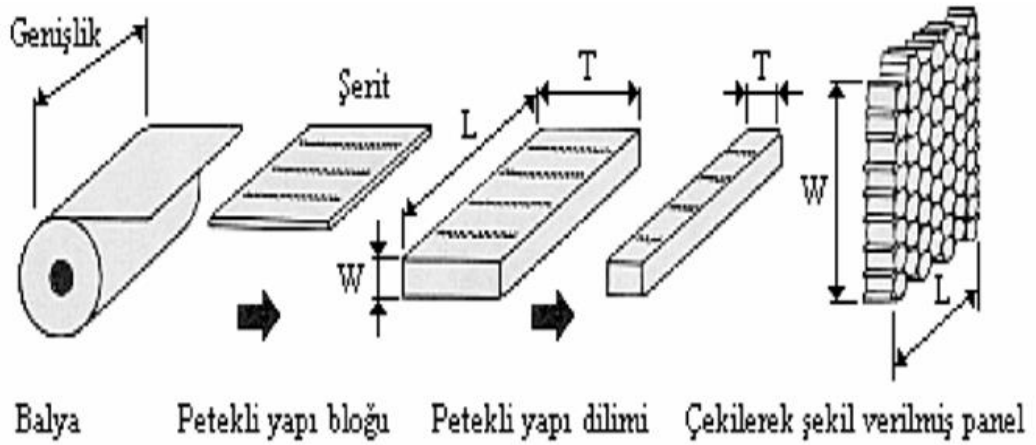
Şekil 3.10. Nomex, kevlar, alüminyum ve termoplastik bal petekleri

- **Bal Peteği Sandviç Kompozit Üretim Yöntemleri**

Metalik esaslı petek yapılar genelde kıvrırma veya uzatma yöntemi ile üretilirler. Kıvrırma yönteminde şerit levhalar istenilen ölçüde kıvrılarak düğüm noktalarına yapıştırıcı sürülmesi ile üst üste yığılarak oluşturulur. Uzatma yönteminde rulo halindeki çekirdek malzemesinin yapıştırıcı sürülmesi, rulo halindeki malzemenin üst üste dizilmesi ve sonra istenilen kalınlıkta kesilip çekilmesi ile oluşturulmaktadır.

Uzatarak Şekil Verme Yöntemi

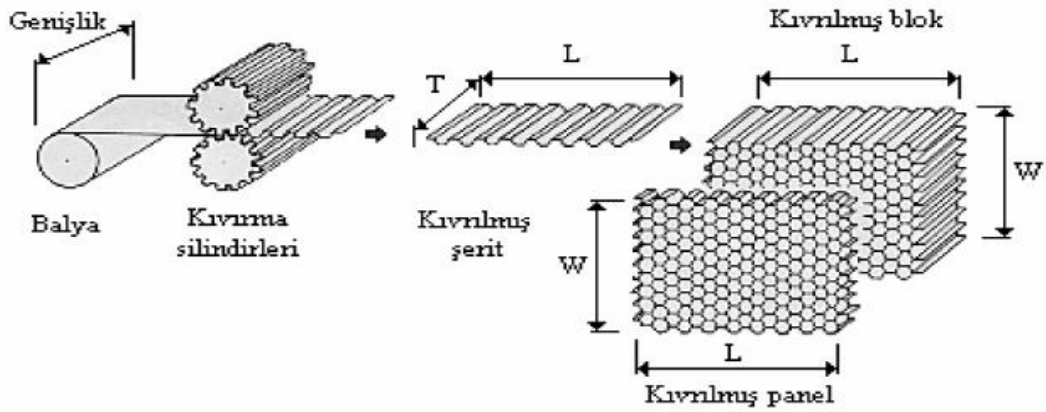
Uzatma yönteminde rulo halindeki çekirdek malzemesinin yapıştırıcı sürülmesi, rulo halindeki malzemenin üst üste dizilmesi ve sonra istenilen kalınlıkta kesilip çekilmesi ile oluşturulmaktadır. Uzatarak şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi Şekil 3.11’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Uzatarak şekil verme yöntemi ile bal petek hücre imalatı [18].

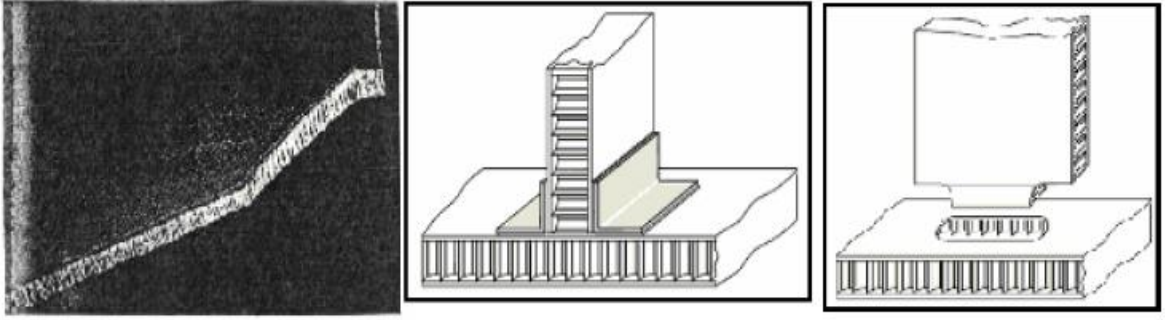
Kıvrırma Metodu

Kıvrırma yönteminde şerit levhalar istenilen ölçüde kıvrılarak düğüm noktalarına yapıştırıcı sürülmesi ile üst üste yığılarak oluşturulur. Kıvrırma yöntemi ile bal peteği yapı hücre üretimi Şekil 3.12’ de verilmiştir.



Şekil 3.12. Kıvrırma yöntemi ile bal peteği yapı hücre imalatı [18].

İstenilen sıcaklıkta bekletilen blokların üzerine levhalar koyulur. Arzu edilen kalınlığa göre bloktan kesilerek üretim yapılır. Üretilen petekli yapılar maruz kalacağı çalışma şartları da dikkate alınarak; temizleme (kenar tıraşlama), kesme, şekil verme ve ekleme işlemlerinden geçer. Özel işleme maruz bırakılmış petek yapılı kompozit örneği Şekil 3.13’ de verilmiştir.



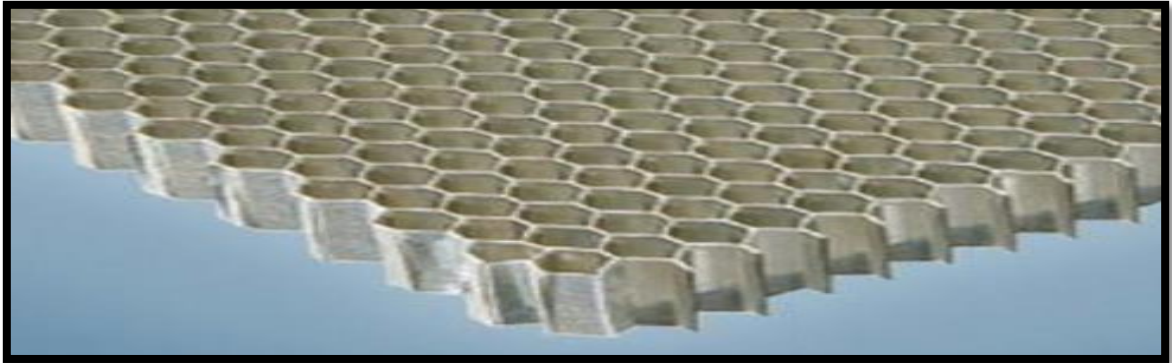
Şekil 3.13. Özel işleme maruz bırakılmış petek yapılı kompozitler [18].

Bal Peteği Kompozit Panel Tipleri ve Kullanım Alanları

Alüminyum çekirdekli paneller, hafiflik, basma ve kesme dayanımı, aleve dayanıklılık, aşınmaya dayanıklılık, korozyona dayanıklılık ve kolay işlenebilirlik özellikleri nedeniyle, kara, deniz yapılarında ve araçlarda önemli avantajlar sağlar;

- Hafiflik
- Sertlik
- Aleve dayanıklılık
- Yüksek basma, kesme dayanımı
- Aşınmaya karşı direnç

Yüzey düzgünlüğü Alüminyum petek yapılı kompozit levha Şekil 3.14’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Alüminyum petek yapılı kompozit levha [19].

Alüminyum petek yapılı kompozit levha uygulama alanları;

- Asansör kabini panelleri
- Yatlar ve gemiler için mobilya

- Sergileme panoları
- Taşıtlar için engelli rampaları
- Dış cephe kaplamaları
- Işık geçiren duvar ve bölmelerde
- Atölyelerde
- Kasa asma tavanlarında
- Tezgahlarda vb. yerlerde kullanımı mümkündür.

Polipropilen PP bal peteği kompozit levha kullanarak oluşturulan sandviç yapının rijitliği kalınlığın artırılmasıyla sağlanmaktadır ancak ağırlıkta ciddi bir artış yaşanmamaktadır

Polipropilen PP bal peteği kompozitler yüksek sıkıştırma dayanımı ve darbe (şok) direnci sayesinde yelkenli tekneler ve motor yatların yapısal uygulamaları için idealdir.

Polipropilen PP petek yapılı kompozit levha Şekil 3.15' de gösterilmektedir.



Şekil 3.15. Polipropilen petek yapılı kompozit panel

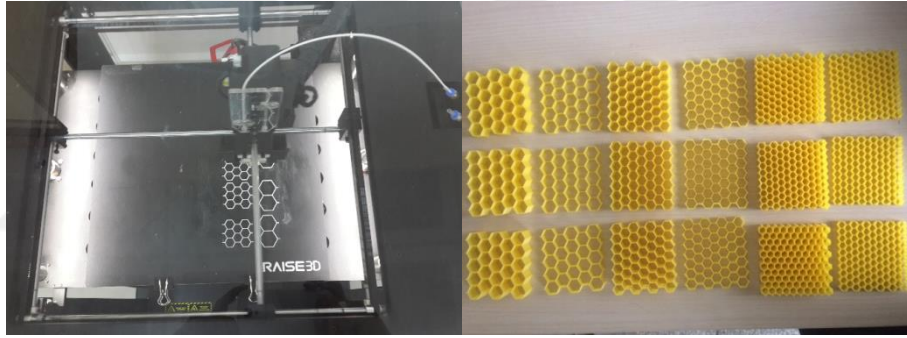
Polipropilen bal peteği kompozit levha kullanım alanları; teknelerin; gövdelerinde, kabin zeminlerinde, bölmelerde banko sistemlerinde ve mobilyalarda kullanılmaktadır.

4. MATERYAL VE METOT

Gerçekleştirilen bu çalışmada üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen petek yapılı sandviç kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe testi yardımı ile enerji absorbe kabiliyetleri deneysel olarak araştırılmıştır.

4.1. Bal Peteği Geometrilili Çekirdek Yapıların Üretimi

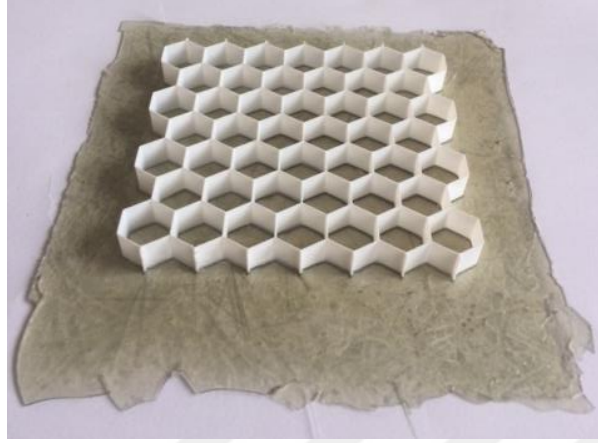
Yapılan bu çalışmada bal peteği sandviç kompozit yapıların çekirdek kısmı üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretimi gerçekleştirilmiştir. Hücrelerin üretimin de 1.75 mm çapına sahip nozul kullanılmıştır. Bal peteği geometrisindeki çekirdeklerin et kalınlığı 0.45 mm olarak belirlenmiş, ABS ve PLA termoplastik yapılı filamentler kullanılmıştır. Üretim yöntemi ve bu yöntem ile üretilen numuneler Şekil 4.1’ de görülmektedir.



Şekil 4.1. Ergiyik biriktirme metodu ile altıgen petekli yapı hücre üretimi

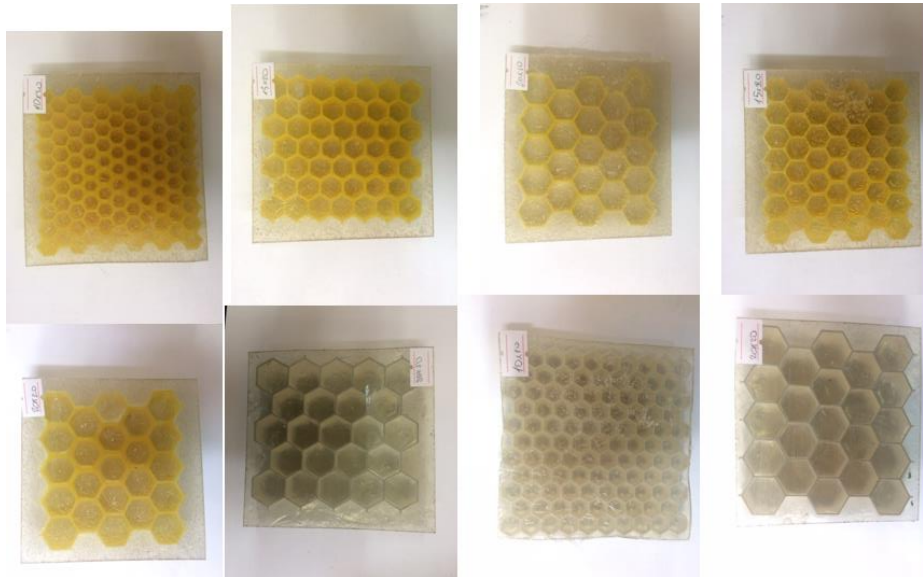
Solidworks’de üç boyutlu katı modeli tasarlanan altıgen bal peteği şeklindeki çekirdek hücreler üç boyutlu yazıcı kullanılarak ergiyik biriktirme metodu üretimi sağlanmıştır. Yapılan çalışmada örtü malzemesi olarak cam elyaf/ polyester karışımı kullanılmıştır. Matris malzemeyi oluşturan Erco polyester E-6 döküm tipindeki polyester reçine, sertleştirme kimyasalı olarak Erco Mek Peroksit– Ece Perox ve hızlandırıcı bileşen olarak da Erco Kobalt Oktaat (%6) - Ece Dryer kullanılmıştır. 35gr reçine, 3gr sertleştirici ve 3 gr hızlandırıcı kimyasallar istenilen sertleştirme oranlarında ayarlanarak seçilmiştir. Oluşturulan matris malzemesini iki kat halinde üst üste yerleştirilen cam elyaf üzerine iyice tüm yüzeylerine temas ettirilerek ortalama $t_f=2.2$ mm kalınlığında kompozit yüzey plakaları elde edilmiştir. Sandviç kompozit yapıları elde edebilmek için sıvı haldeki hazırlanan matris üzerine üç boyutlu yazıcıda üretilen altıgen petek yapıların cam elyaf üzerinde kürleşmesi sağlanmıştır. Bu işlem sonucunda matris malzemesi ile plaka

malzemesinin yük altında fiziksel birleşimi sağlanmıştır. Petek yapılı hücre ile kompozit plakanın birleştirilmesi Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Petek hücre ile kompozit tabakaların yapıştırılması

Katılma işlemi biten kompozit levha altıgen petek hücre yapısının diğer yüzeyi de aynı işlemler tekrarlanarak kompozit plakalar ile kapatılmıştır. Laboratuvar ortamında sertleşme işlemi biten bal petek yapılı kompozit levhalar sandviç kompozit yapı haline getirilmiştir. Şerit testere ile etrafındaki pürüzler temizlenerek deney numuneleri 100x100 mm boyutlarında ASTM D3753 standartlarında teste tabi tutulmak üzere hazırlanmıştır. Tel testere ile temizlenen düşük hızlı darbe deney numuneleri Şekil 4.3’ de gösterilmiştir.

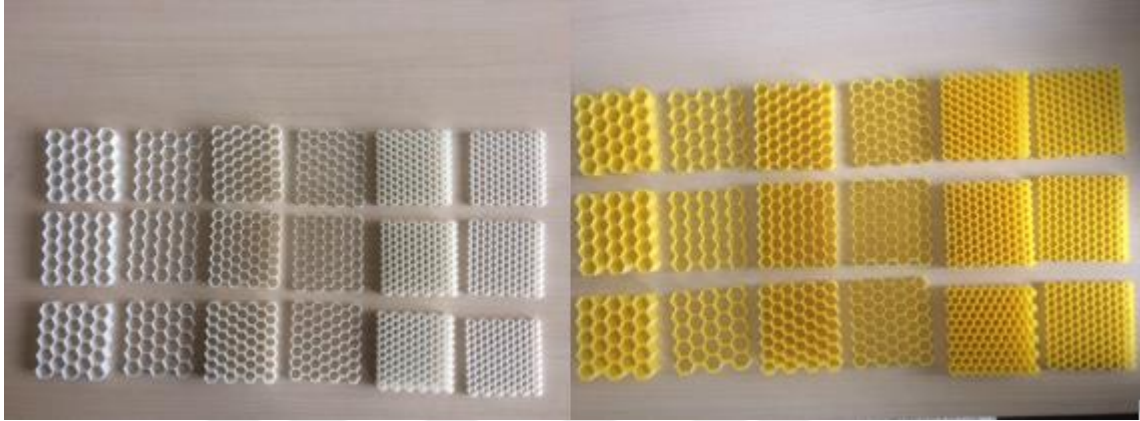


Şekil 4.3. Sertleşme süreci tamamlanan ve tel testere yardımı ile temizlenen düşük hızlı darbe deney numuneleri

4.2. Düşük Hızlı Darbe Testi

İmalatı gerçekleştirilen bal peteği sandviç kompozit levhaların enerji sönümleme kabiliyetleri düşük hızlı darbe testi yardımı ile deneysel olarak belirlenmiştir.

İki farklı hücre yüksekliği ve üç farklı hücre boyutuna sahip numuneler Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Düşük hızlı darbe testi için hazırlanan çekirdek numuneleri

Düşük hızlı darbe testleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde ilgili hocaların ürettiği düşük hızlı darbe test cihazında 8 J, 16 J ve 25 J enerji seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Düşük hızlı darbe test cihazı Şekil 4.5’ de görülmektedir.



Şekil 4.5. Düşük hızlı darbe test cihazı

Testler laboratuvar sıcaklığında (20⁰) küresel vurucu milin çapı 12.75 mm ve vurucu mil üzerindeki kütle ile 8,5 kg ağırlığındadır. Test cihazındaki düz plaka çeneleri ile numuneler kenarlardan sıkı bir halde tutturularak darbe testine hazır hale getirilmiştir. Ebatları 100x100 mm olan sandviç yapıdaki kompozit numuneler her bir boyutta 8J,16J ve 25J enerji seviyelerinde darbe testleri gerçekleştirilip bilgisayar programından veriler kayıt altına alınmıştır. Sayısal çalışmada dinamik analiz yapıldığından sandviç kompozit numunelerin maksimum enerji absorbe edebilmeleri deneysel olarak elde edilen kuvvet-zaman grafiklerinin lineer kısmının bitim noktasından tespit edilmiştir.

4.4. Sonlu Eleman Analizleri

Düşük hızlı darbe test cihazında elde edilen deneysel sonuçlardan yararlanılarak sayısal sonuçları elde edebilmek için sonlu elemanlar çözüm yönteminde Ansys Workbench 19.2 paket programından yararlanılmıştır. Sayısal analizlerde kullanılacak olan malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 4.1' de verilmiştir.

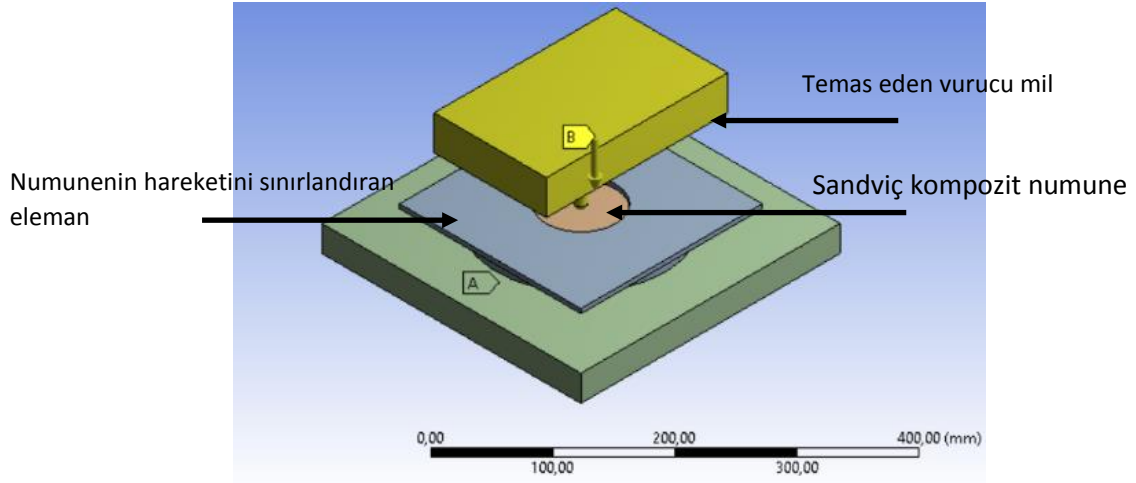
Tablo 4.1. Sayısal analizlerde kullanılacak olan malzemelerin mekanik özellikleri[16]

Mekanik özellikleri	PLA	ABS	Ortotropik (CTP) [3]	Çelik
Elastisite modülü (MPa)	3500	2390	$E_1=E_2=E_y= 5500$	200000
Poisson oranı	0.399	0.399	$\nu_{xy}= 0.33$	0.3
Kayma modülü (MPa)	1250.9	854,18	$G_{xy}= 2067.6$	76923

Sonlu eleman analizlerinde kullanılacak olan bal petek yapılı kompozit levhalar Solidworks 2017 paket programı yardımı ile tasarlanmıştır. Tasarımı tamamlanan petek yapılar Parasolid (XT) uzantısı ile kaydedilerek Ansys Workbench 19.2 paket programına aktarılarak sonlu eleman analizleri yapılmıştır.

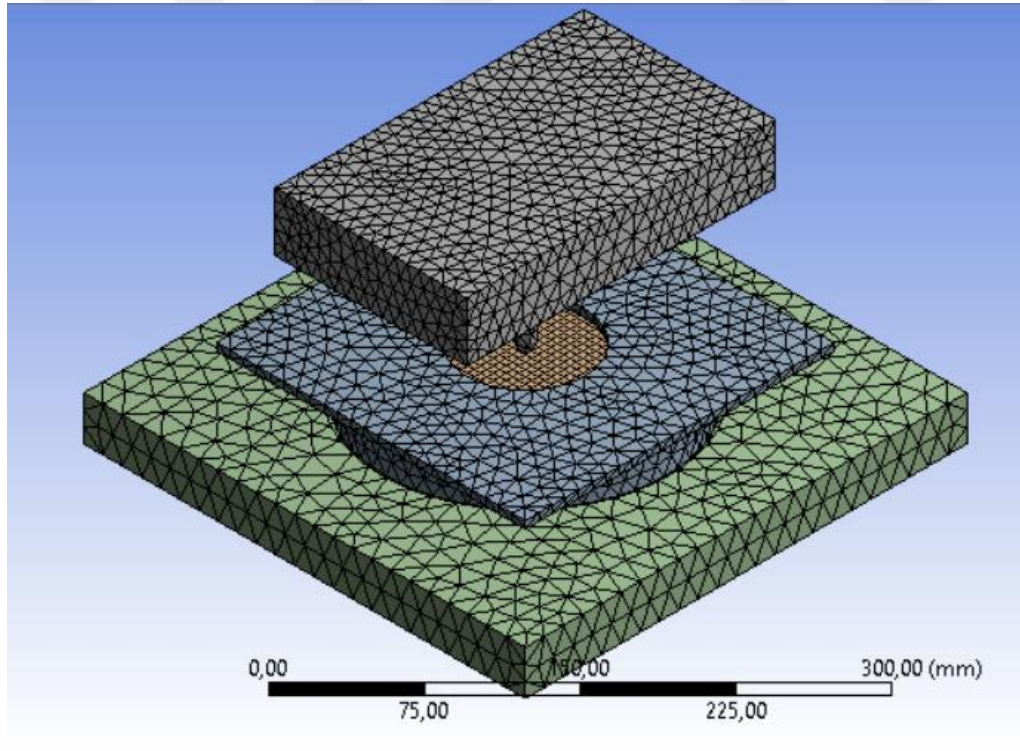
4.4.1. Düşük Hızlı Darbe Testi İçin Sonlu Elemanlar Analiz yöntemi

Ansys paket programında deney düzeneği modelinin oluşturulması uzun zaman almasından dolayı deney tasarımı Solidworks 2017 paket programı yardımı ile tasarlanmıştır. Tasarımı tamamlanan model Ansys Workbench paket programında sınır şartları girilerek sonlu elemanlara ayrılmıştır. Şekil 4.6' da sınır şartları uygulanmış tasarım görülmektedir.



Şekil 4.6. Solidworks ile tasarlanan düşük hızlı darbe testi tasarımı

Deney düzeneğinde kullanılan mevcut sınır şartlarının aynısı sayısal analizler uygulanırken de kullanılmıştır. PLA ve ABS sandviç kompozit numunelerin alt ve üst yüzeyleri deney sırasında olduğu gibi üç yönde de hareketi sınırlandırılmıştır. Darbe milinin sadece Y düşey ekseninde hareketi sağlanmıştır. Sonlu elemanlara bölünmüş düşük hızlı darbe testi modeli Şekil 4.7’ de görülmektedir.



Şekil 4.7. Ansys Workbench ile oluşturulmuş düşük hızlı darbe testi düzeneği

Yapılan sayısal analiz ile elde edilen sonuçların deneysel çalışmada uygulanan düzenek şartları ile benzer olması için numune üzerine yerleştirilen plaka sabitlenmiştir. Numunelerin düğüm ve eleman sayıları Tablo 4.2’ de verilmiştir.

Tablo 4.2. Modellerde oluşan eleman ve düğüm sayıları

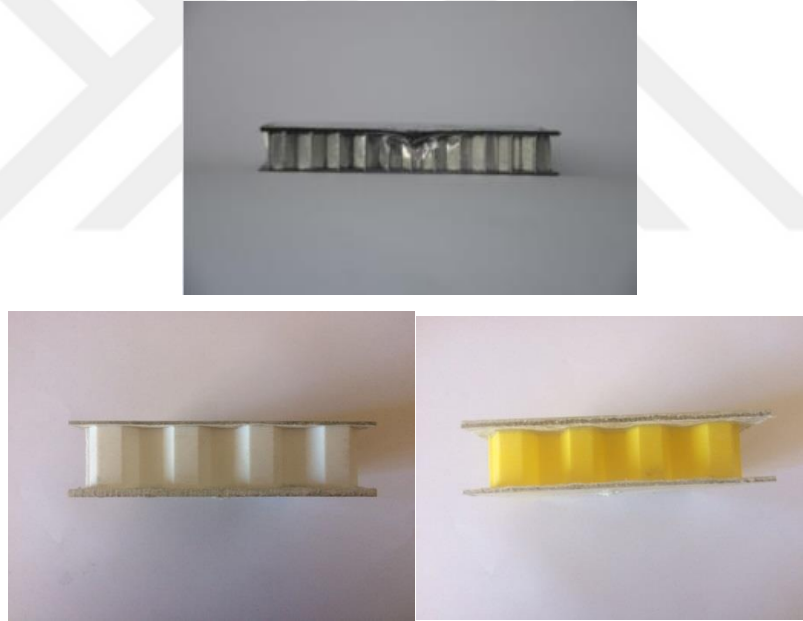
Hücre Boyutu (H, mm)	Hücre Yüksekliği (T, mm)	Malzeme	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
10	10	ABS, PLA	30971	20044
10	20		34235	25740
15	10		28505	14324
15	20		30125	17160
20	10		27881	13076
20	20		29687	16394

5. BULGULAR

Bu bölümde deneysel ve sonlu elaman analiz sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması ve numunelerde meydana gelen hasarlar incelenmiştir.

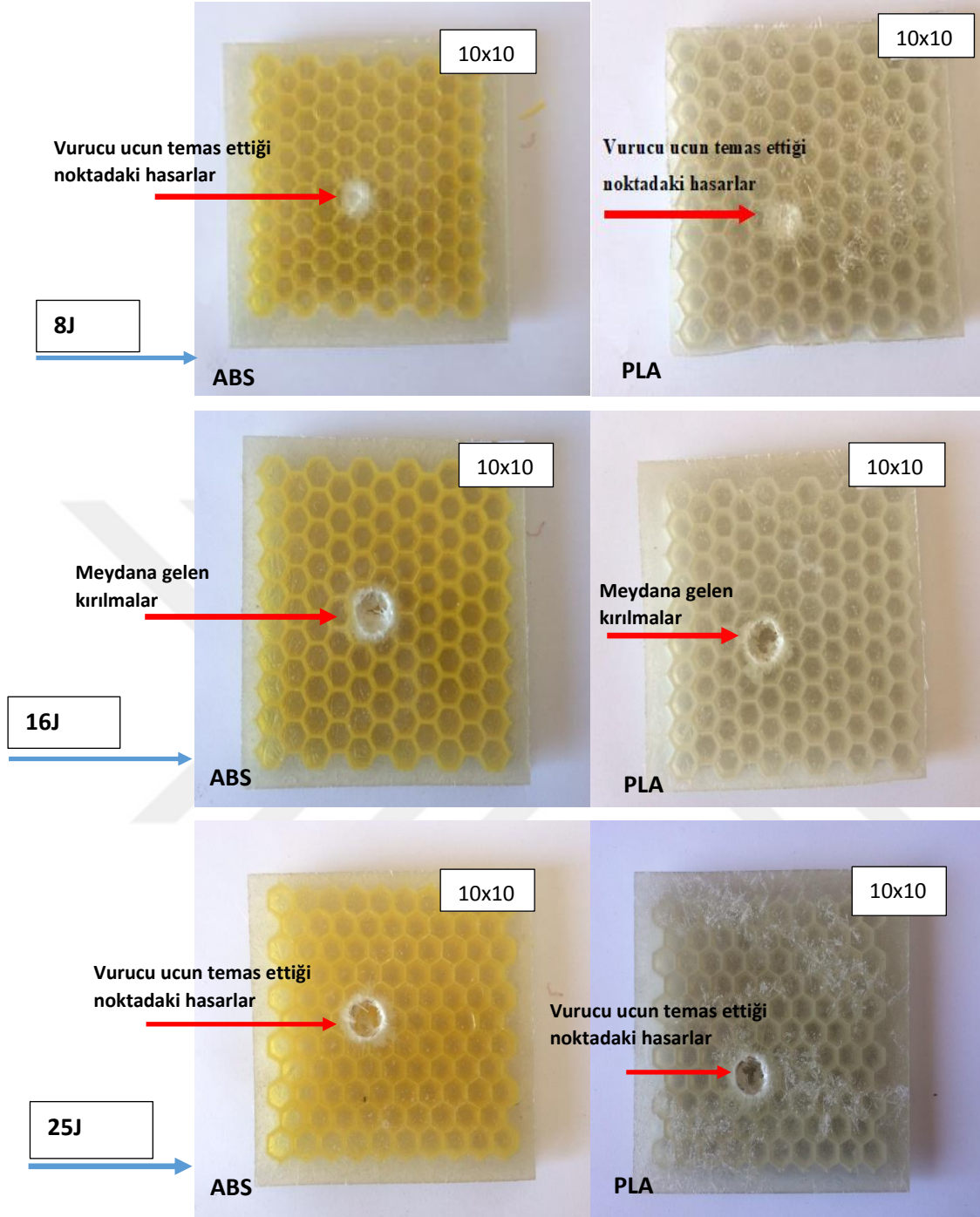
5.1. Düşük Hızlı Darbe Testi Sonuçları

Daha önceki literatür çalışmalarında örneğin alüminyum sandviç kompozit numunelerin düşük hızlı darbe testi incelendiğinde numunelerde meydana gelen deformasyonlar ABS ve PLA termoplastik numunelerde oluşması mümkün olmamaktadır [15]. Çünkü gevrek ve kırılgan olmaları sebebi ile sağlıklı olarak numune içindeki fiziksel deformasyonları incelemek zorlu bir iştir. Şekil 5.1’ de düşük hızlı darbe testi sonrasında aynı darbe enerjisi ile yüklenen alüminyum, ABS ve PLA numunelerinin deformasyon farkları gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Düşük Hızlı Darbe Testi Sonrası Alüminyum ve ABS-PLA Deformasyon Farkı

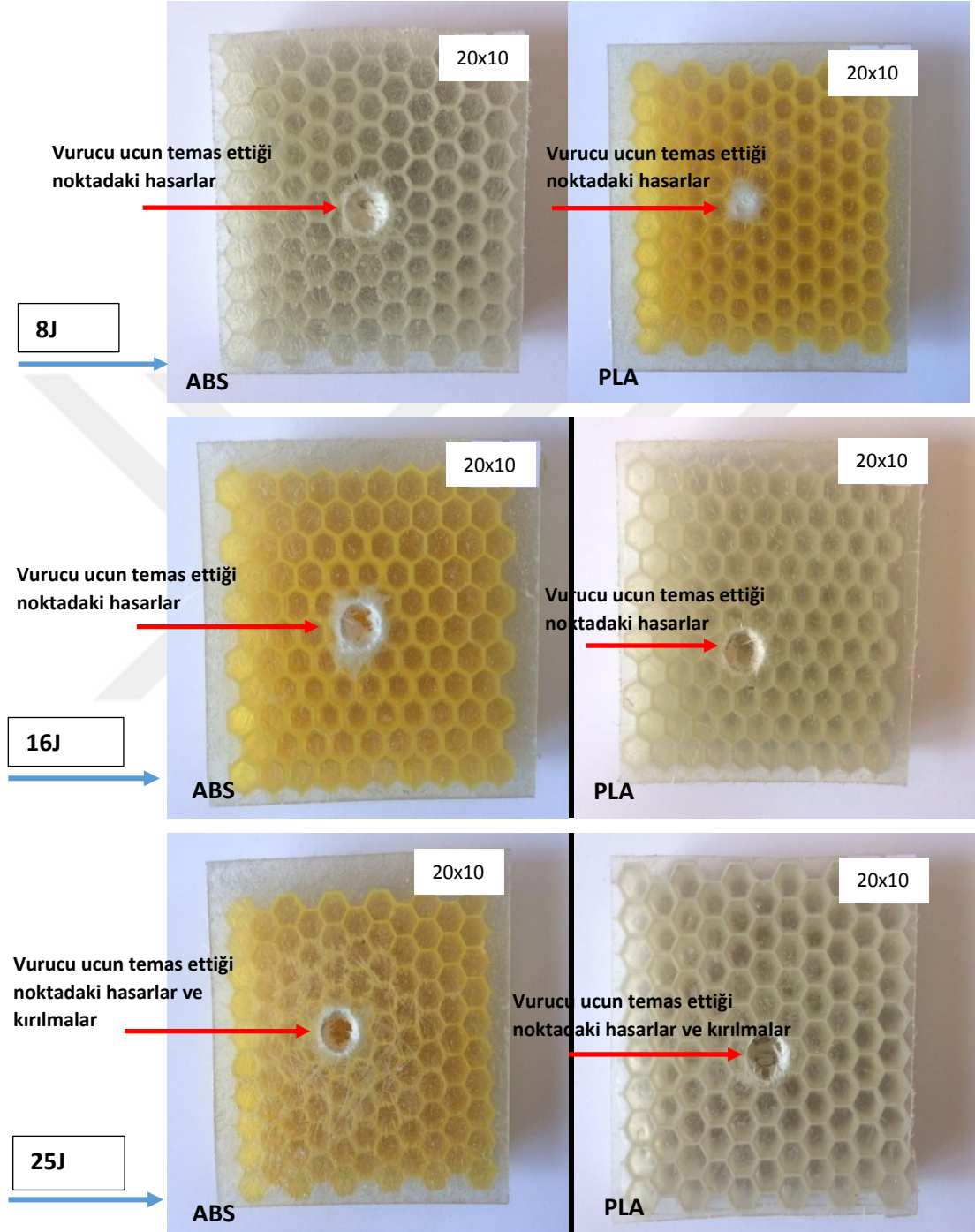
Sandviç kompozit numuneler adlandırılırken numune etiketinde belirtilen birinci rakam hücre yüksekliğini, ikinci rakam ise hücre boyutunu göstermektedir. Hücre yüksekliği 10mm hücre boyutu 10 mm olan çekirdek numunesi ABS ve PLA’ dan oluşan sandviç kompozit malzemeleri üç farklı enerji seviyesinde (25 J, 16 J, 8 J) düşük hızda darbe testine maruz bıraktıktan sonraki yüzey tabakalarında meydana gelen hasarlar ve enerji seviyelerinin numuneler üzerindeki etkileri Şekil 5.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Düşük hızlı darbe testi sonrası numuneler

Hücre yüksekliği 20 mm hücre boyutu 10 mm olan çekirdek numunesi ABS ve PLA' dan oluşan sandviç kompozit malzemeleri üç farklı enerji seviyesinde (25 J, 16 J, 8 J) düşük hızda darbe testine maruz bıraktıktan sonraki yüzey tabakalarında meydana gelen hasarlar ve enerji seviyelerinin numuneler üzerindeki etkileri Şekil 5.3' de gösterilmiştir. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 de 8J darbe enerjisinde her iki farklı numune türünde de yüzey tabaksında kırılmalar görülmüştür. 16J darbe enerjisinde üst sandviç tabaka kırılıp çekirdek numunesine kadar vurucu mil temas

etmiştir. 25 J darbe enerjisinde ise her iki numunede de alt ve üst tabakalarda kırılmalar meydana gelmiştir.

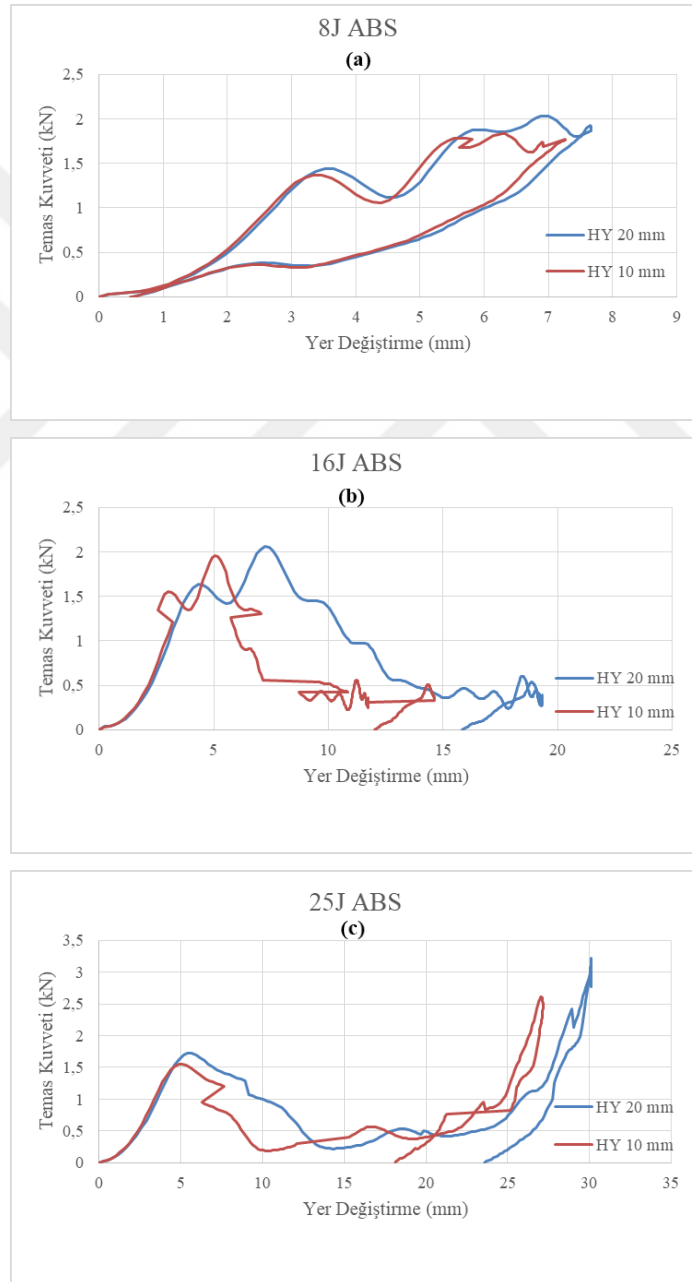


Şekil 5.3. Düşük hızlı darbe testi sonrası numuneler

Düşük hızlı darbe testine maruz bırakılan numunelerin darbeye karşı verdikleri tepkiler kuvvet- yer değiştirme grafiklerinde gösterilmiştir. Numunenin hasar durumuna göre kapalı ve açık eğri tipi olmak üzere iki farklı grafik şekli görülmektedir. Sandviç numunelerin üst

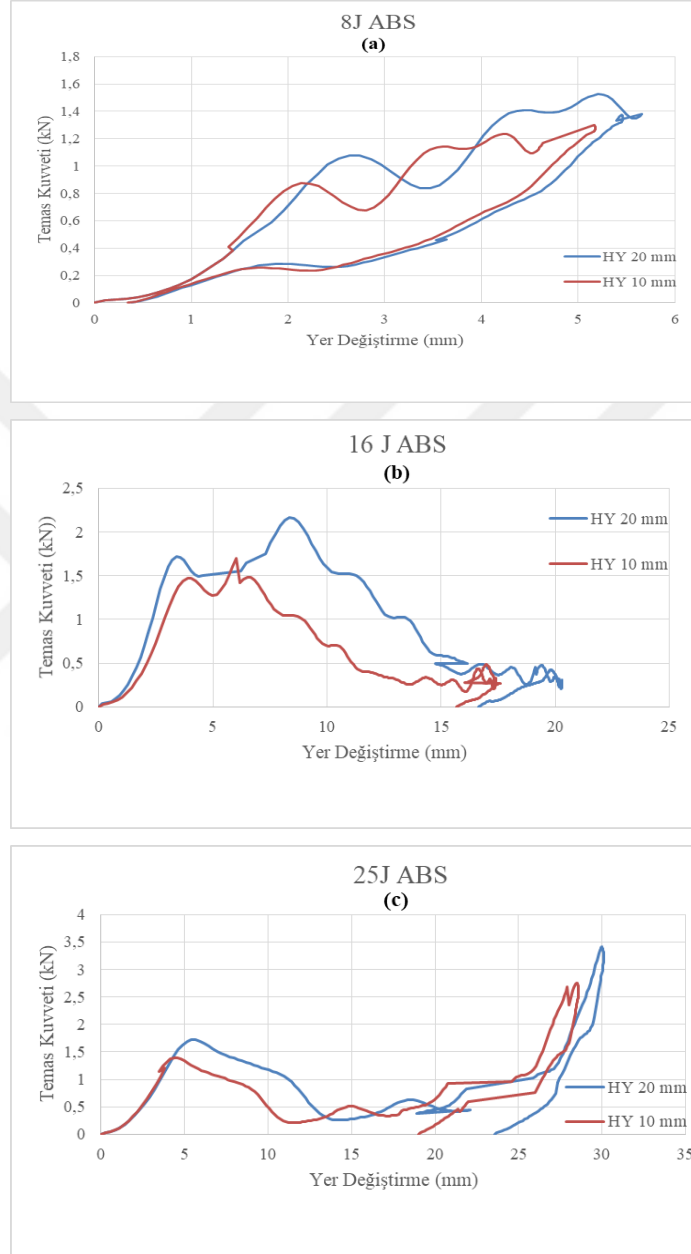
tabakalarının delinmediği numunelerin yer değiştirme grafikleri kapalı eğri grafiği ile gösterilmektedir. Darbe enerjisinin artış gösterdiği ve sandviç kompozit numunenin üst tabakasının delindiği durumda ise kuvvet yer değiştirme grafiği açık eğri ile gösterilir.

Şekil 5.4’ de hücre boyutu 10 mm olan sandviç kompozit numunelerin iki farklı hücre yüksekliğinde (hücre yüksekliği 10 mm ve 20 mm) ABS numunelerinin 8J,16 J ve 25J’da uygulanan düşük hızlı darbe testi sonucu elde edilen kuvvet-yer değiştirme eğrileri grafiklerde gösterilmiştir.



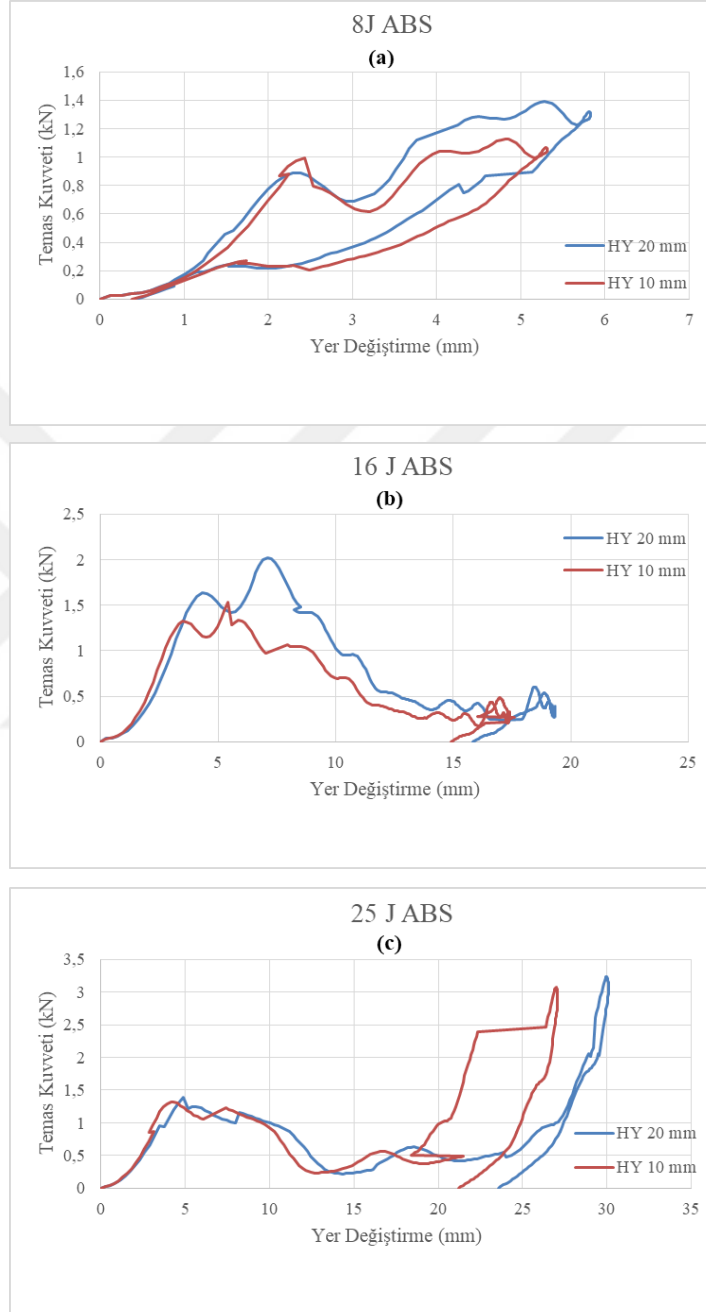
Şekil 5.4. HB=10 mm (hücre boyutuna) sahip ABS termoplastik petek yapılı sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi sonrası kuvvet-yer değiştirme grafiği. a)8J b)16J c)25J

Şekil 5.5’ de hücre boyutu 15 mm olan ABS sandviç kompozit numunelerin iki farklı hücre yüksekliğinde (hücre yüksekliği 10 mm ve 20 mm) 8J,16J ve 25J’ da uygulanan düşük hızlı darbe testi sonucu elde edilen kuvvet-yer değiştirme eğrileri grafiklerde gösterilmiştir.



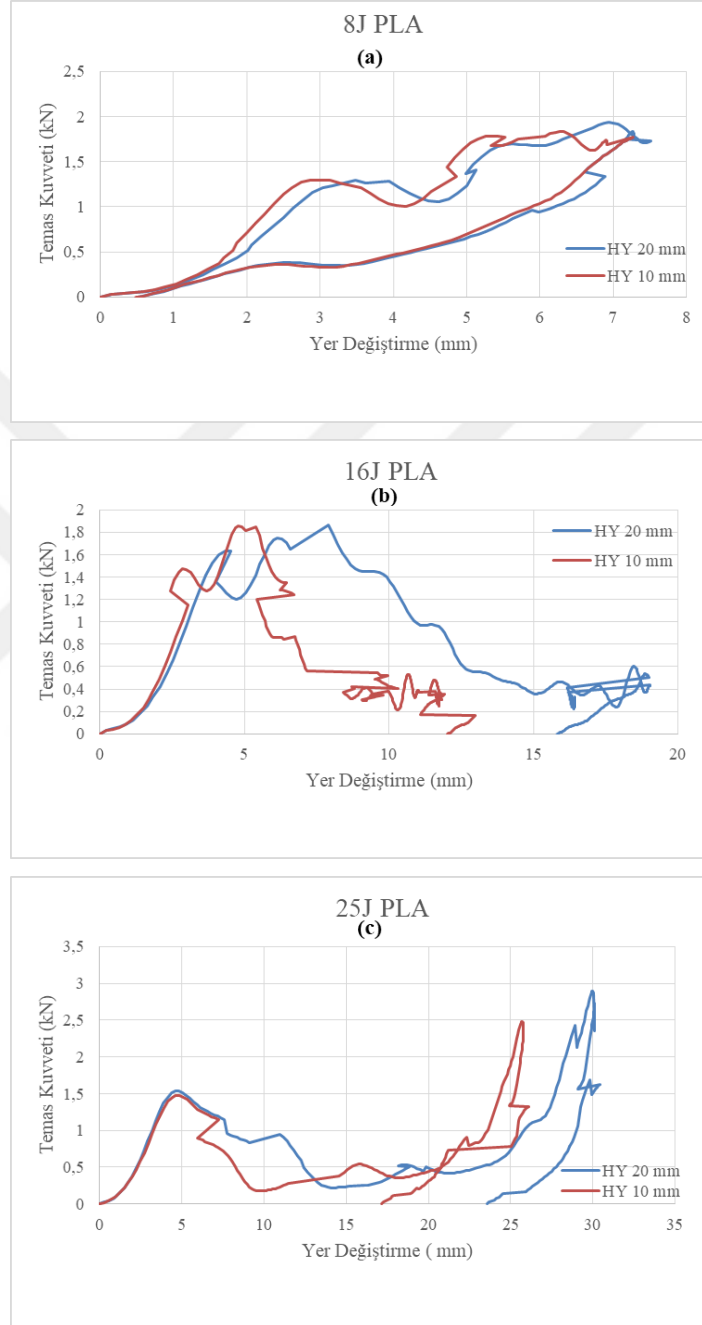
Şekil 5.5. HB=15 mm (hücre boyutuna) sahip ABS termoplastik petek yapılı sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi sonrası kuvvet-yer değiştirme grafiği. a)8J b)16J c)25J

Şekil 5.6’ da hücre boyutu 20 mm olan ABS sandviç kompozit numunelerin iki farklı hücre yüksekliğinde (hücre yüksekliği 10 mm ve 20 mm) 8J,16J ve 25J’da uygulanan düşük hızlı darbe testi sonucu elde edilen kuvvet-yer değiştirme eğrileri grafiklerde gösterilmiştir.



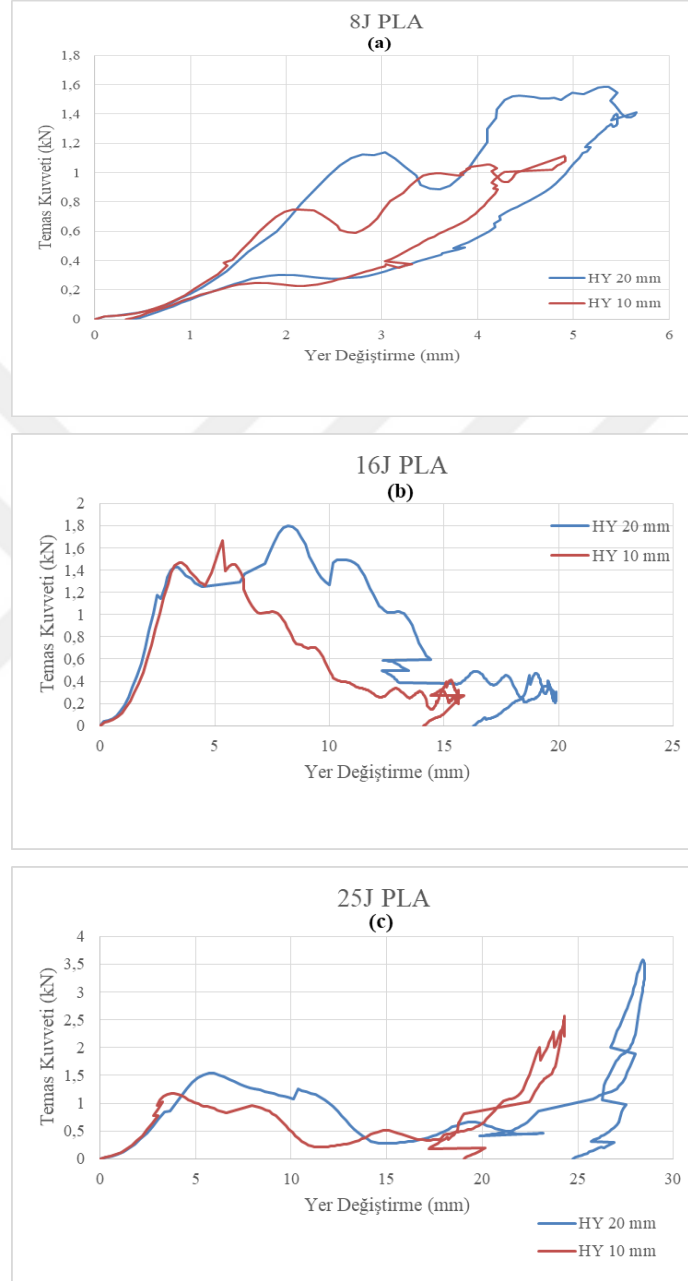
Şekil 5.6. HB=20 mm (hücre boyutuna) sahip ABS termoplastik petek yapıli sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi sonrası kuvvet-yer değiştirme grafiği. a)8J b)16J c)25J

Şekil 5.7’ de hücre boyutu 10 mm olan PLA sandviç kompozit numunelerin iki farklı hücre yüksekliğinde (hücre yüksekliği 10 mm ve 20 mm) 8J,16J ve 25J’da uygulanan düşük hızlı darbe testi sonucu elde edilen kuvvet-yer değiştirme eğrileri grafiklerde gösterilmiştir.



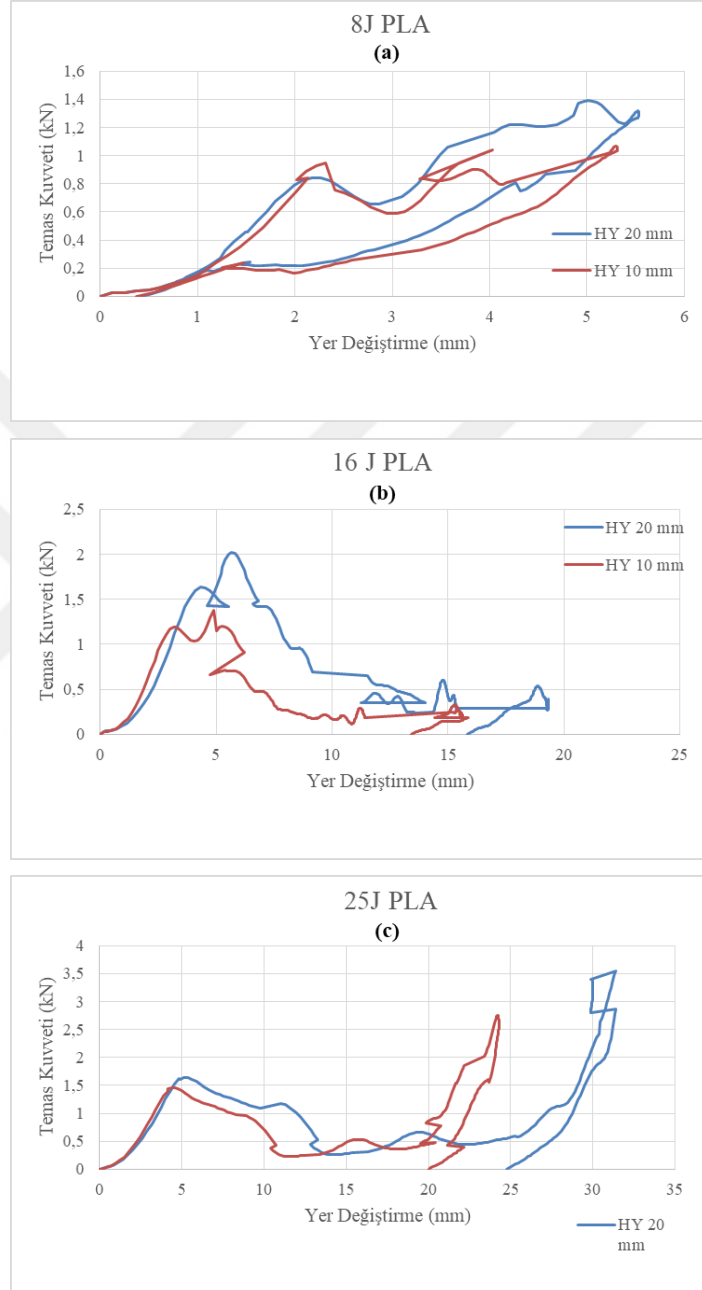
Şekil 5.7. HB=10 mm (hücre boyutuna) sahip PLA termoplastik petek yapıli sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi sonrası kuvvet-yer değiştirme grafiği. a)8J b)16J c)25J

Şekil 5.8’ de hücre boyutu 15 mm olan PLA sandviç kompozit numunelerin iki farklı hücre yüksekliğinde (hücre yüksekliği 10 mm ve 20 mm) 8J,16J ve 25J’da uygulanan düşük hızlı darbe testi sonucu elde edilen kuvvet-yer değiştirme eğrileri grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 5.8. HB=15 mm (hücre boyutuna) sahip PLA termoplastik petek yapılı sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi sonrası kuvvet-yer değiştirme grafiği. a)8J b)16J c)25J

Şekil 5.9’ da hücre boyutu 20 mm olan PLA sandviç kompozit numunelerin iki farklı hücre yüksekliğinde (hücre yüksekliği 10 mm ve 20 mm) 8J,16J ve 25J’da uygulanan düşük hızlı darbe testi sonucu elde edilen kuvvet-yer değiştirme eğrileri grafiklerde gösterilmiştir.



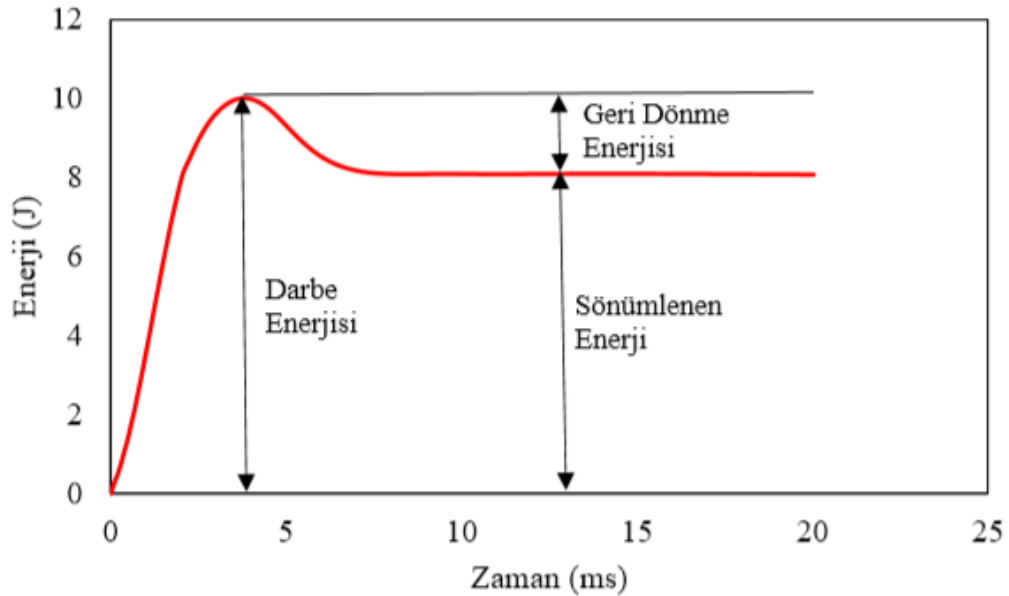
Şekil 5.9. HB=20 mm (hücre boyutuna) sahip PLA termoplastik petek yapılı sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe deneyi sonrası kuvvet-yer değiştirme grafiği. a)8J b)16J c)25J

Hücre boyutu 10 mm hücre yüksekliği 10 mm ve 20 mm boyutlarında olan ABS ve PLA sandviç kompozit numuneler yapılan düşük hızlı darbe deneyinde 8J'da her iki yükseklikte de üst tabakada mil ucunun temas ettiği noktalarda hafif çatlamlar ve matris hasarları gözlemlenmiştir.

Hücre boyutu 15 mm hücre yüksekliği 10 mm ve 20 mm boyutlarında olan ABS ve PLA sandviç kompozit numuneler 16 J darbe enerjisinde numunelerin üst tabakasında ciddi matris hasarları, çekirdek malzemede hasar başlangıcı, tabakalar arasındaki yapıştırıcının ayrılması sonucu görülen delaminasyonlar belirgin bir şekilde görülmüştür.

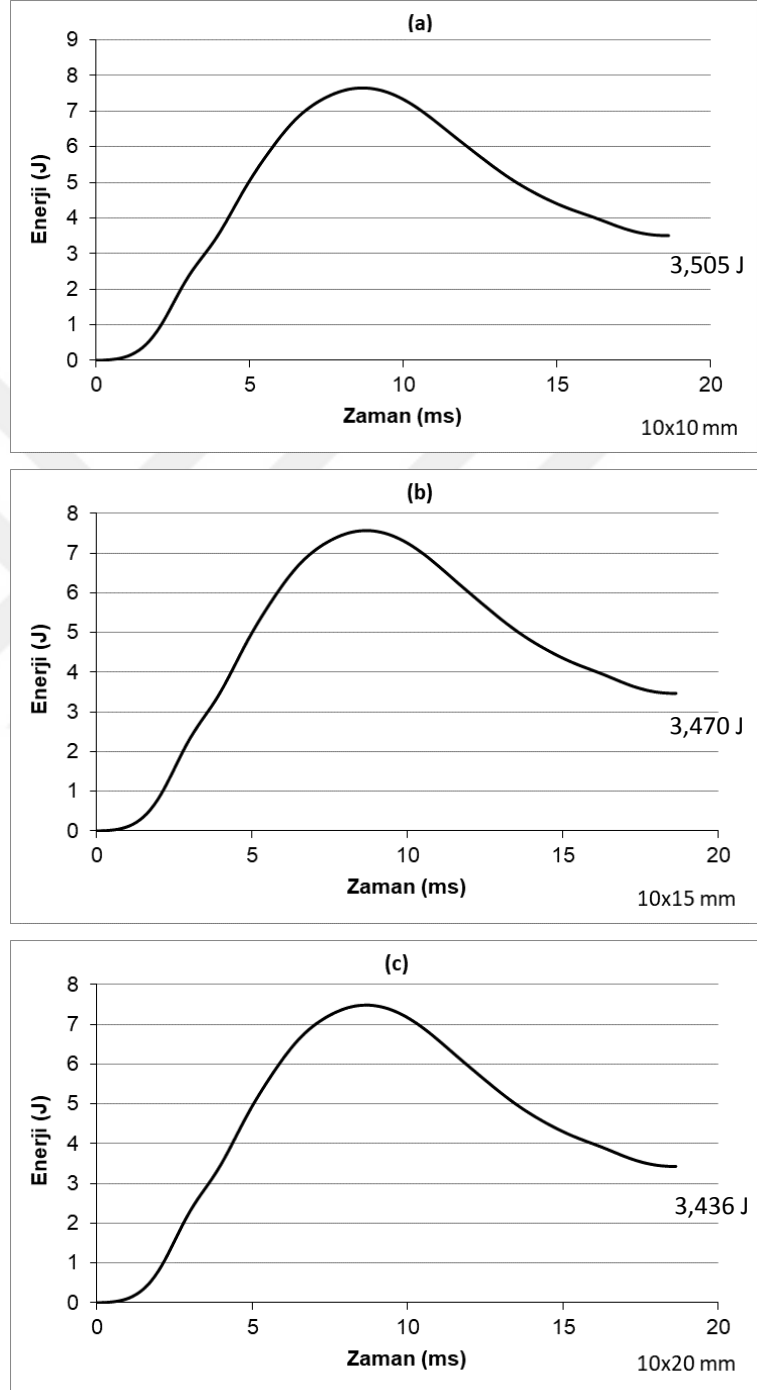
Hücre boyutu 20 mm hücre yüksekliği 10 mm ve 20 mm boyutlarında olan ABS ve PLA sandviç kompozit numuneler 25 J darbe enerjisinde alt ve üst tabakada matris hasarı, delaminasyonlar, çekirdek malzemede gözle görülür ezilme ve yapıştırıcı epoksinin tabakalardaki ayrılması gibi fiziksel belirtiler saptanmıştır.

Düşük hızlı darbe testi sonucunda elde edilen enerji-zaman grafiklerinde numunelerin sönümleyebildiği enerji miktarları elde edilmektedir. Aşağıda darbe testi sonrası numunelerde meydana gelen enerji değişimlerinin hücre boyutuna bağlı olarak sönümlediği enerji grafikleri gösterilmiştir. Şekil 5.10'da darbe testi sonrasında elde edilen darbe enerjisi, geri dönme enerjisi ve absorbe edilen enerjiyi gösteren bir grafik örneği verilmiştir.



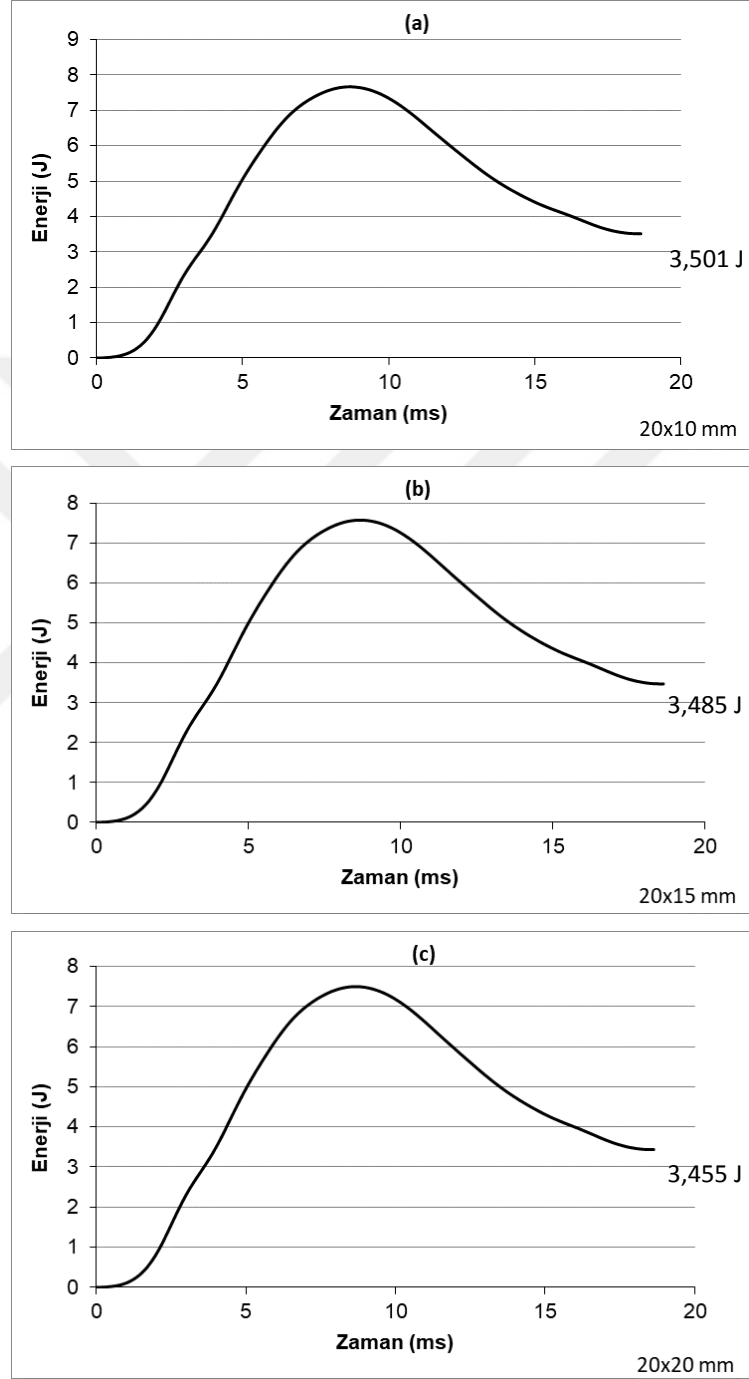
Şekil 5.10. Düşük Hızlı Darbe Testi Sonrası Enerji Grafiği Örneği [15].

Şekil 5.11’ de sandviç kompozit malzemesinin çekirdek kısmında hücre yüksekliği 10 mm olan ABS termoplastik numunelerinin üç farklı hücre boyutunda, (10 mm, 15 mm, 20 mm) 8J darbe enerjisinde elde edilen enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir.



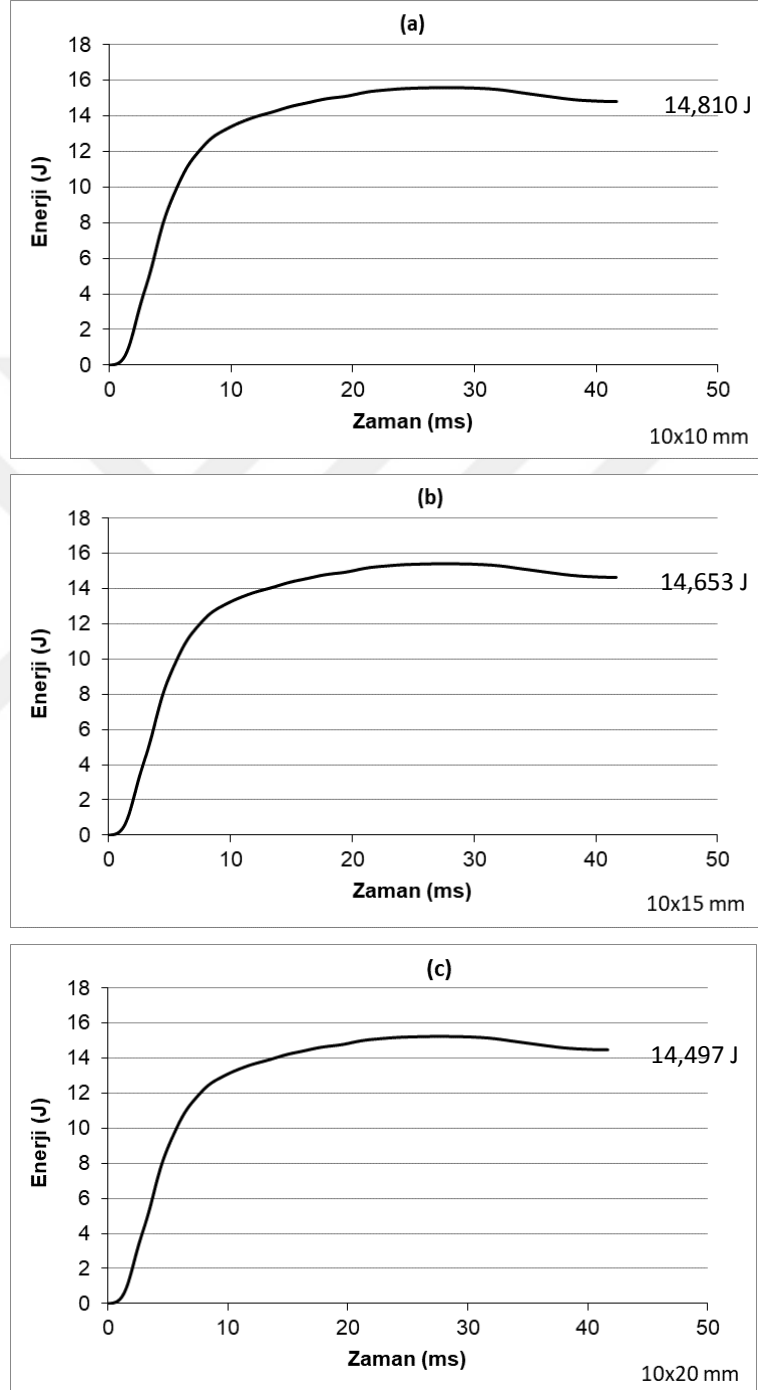
Şekil 5.11. HY=10mm HB=10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik numunelerde hücre boyutunun 8J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi. a)10x10 b)10x15 c)10x20

Şekil 5.12’ de sandviç kompozit malzemesinin çekirdek kısmında hücre yüksekliği 20 mm olan ABS termoplastik numunelerinin üç farklı hücre boyutunda, (10 mm, 15 mm, 20 mm) 8J darbe enerjisinde elde edilen enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir.



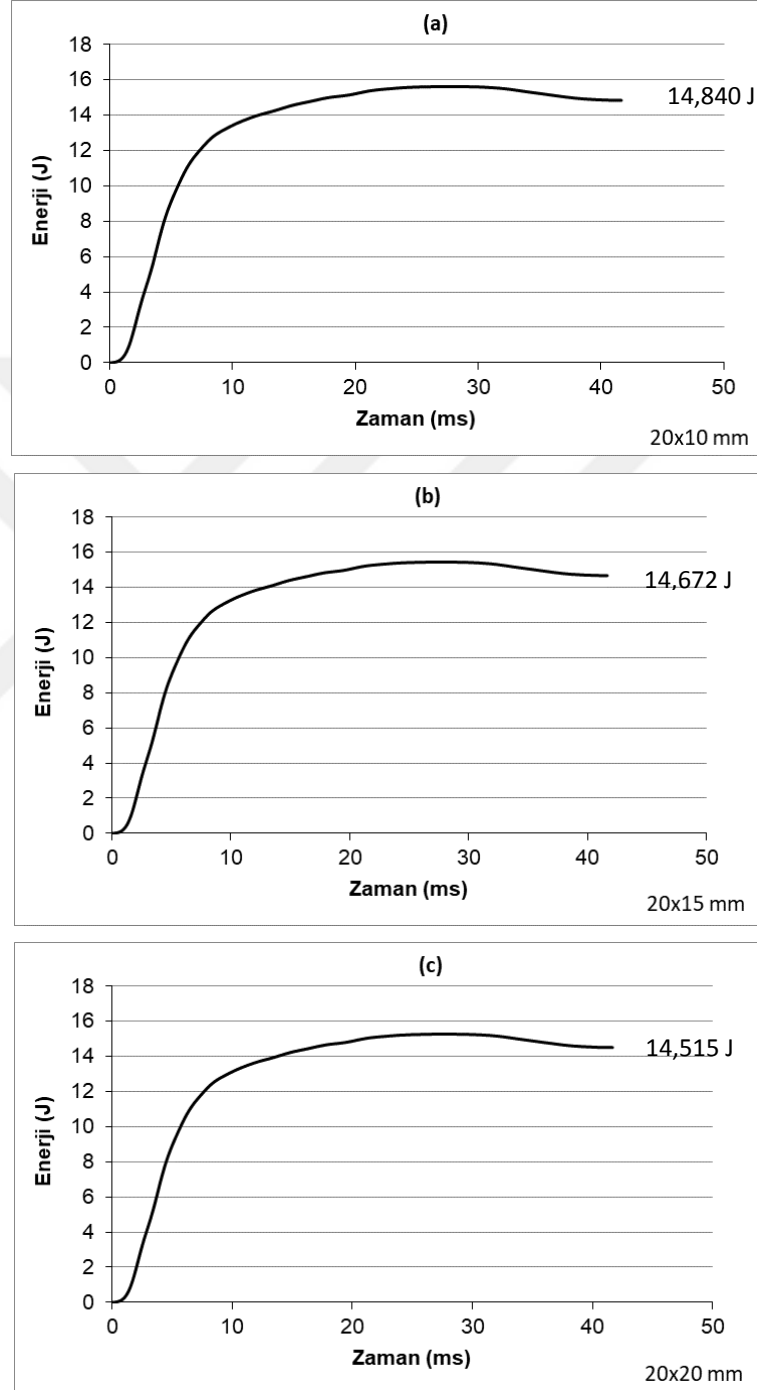
Şekil 5.12. HY=20mm HB=10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik numunelerde hücre boyutunun 8J darbe enerjisinde sönmölenen enerji miktarına etkisi. a)20x10 b)20x15 c)20x20

Şekil 5.13' de sandviç kompozit malzemesinin çekirdek kısmında hücre yüksekliği 10 mm olan ABS termoplastik numunelerinin üç farklı hücre boyutunda, (10 mm, 15 mm, 20 mm) 16J darbe enerjisinde elde edilen enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir.



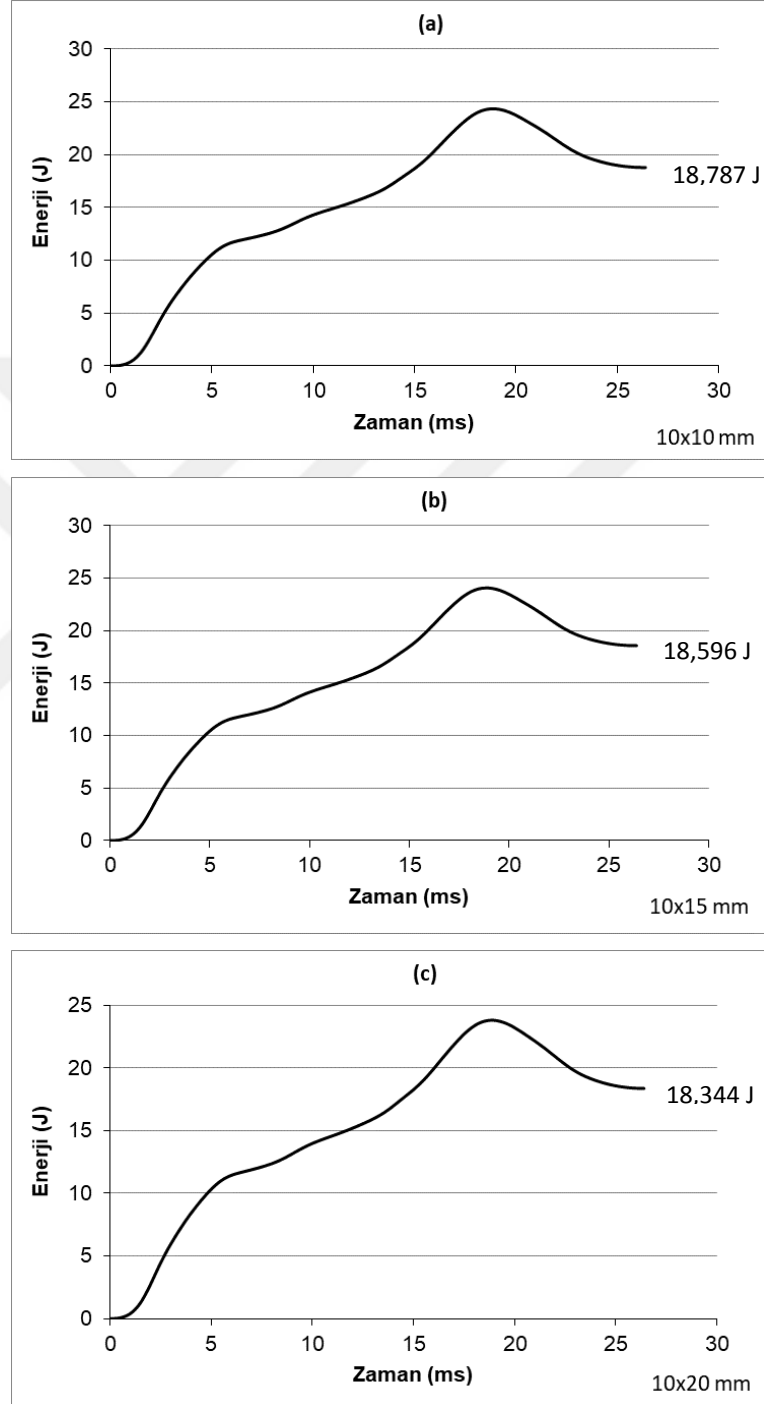
Şekil 5.13. HY=10mm HB=10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik numunelerde hücre boyutunun 16J darbe enerjisinde sönmölen enerji miktarına etkisi. a)10x10 b)10x15 c)10x20

Şekil 5.14’ de sandviç kompozit malzemesinin çekirdek kısmında hücre yüksekliği 20 mm olan ABS termoplastik numunelerinin üç farklı hücre boyutunda, (10 mm, 15 mm, 20 mm) 16 J darbe enerjisinde elde edilen enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir.



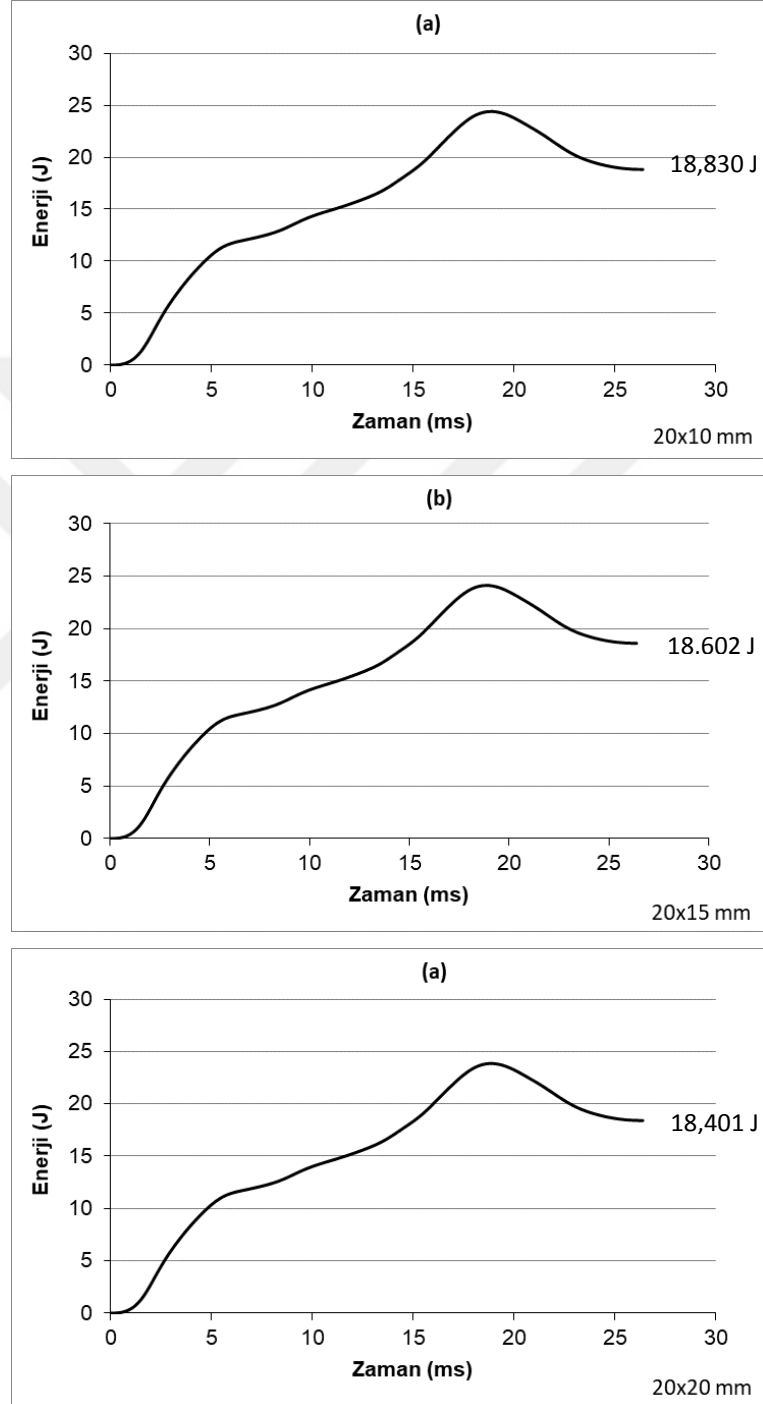
Şekil 5.14. HY=20mm HB=10mm, 15mm, 20mm olan ABS termoplastik numunelerde hücre boyutunun 16J darbe enerjisinde sönmölen enerji miktarına etkisi. a)20x10 b)20x15 c)20x20

Şekil 5.15’ de sandviç kompozit malzemesinin çekirdek kısmında hücre yüksekliği 10 mm olan ABS termoplastik numunelerinin üç farklı hücre boyutunda, (10 mm, 15 mm, 20 mm) 25 J darbe enerjisi de elde edilen enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir.



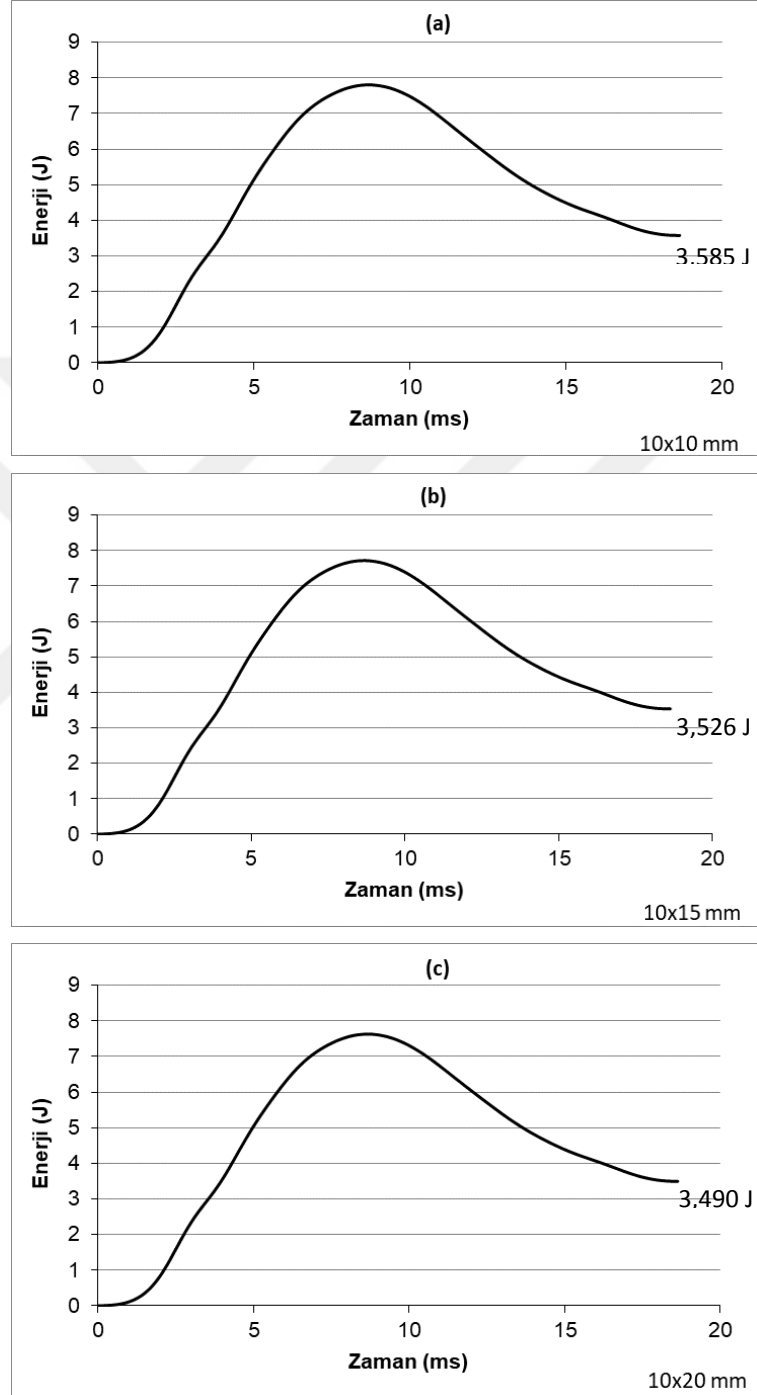
Şekil 5.15. HY=10mm HB=10mm, 15mm, 20mm olan ABS termoplastik numunelerde hücre boyutunun 25J darbe enerjisinde sönmölen enerji miktarına etkisi. a)10x10 b)10x15 c)10x20

Şekil 5.16’da sandviç kompozit malzemesinin çekirdek kısmında hücre yüksekliği 20 mm olan ABS termoplastik numunelerinin üç farklı hücre boyutunda, (10 mm, 15 mm, 20 mm) 25 J darbe enerjisinde elde edilen enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir.



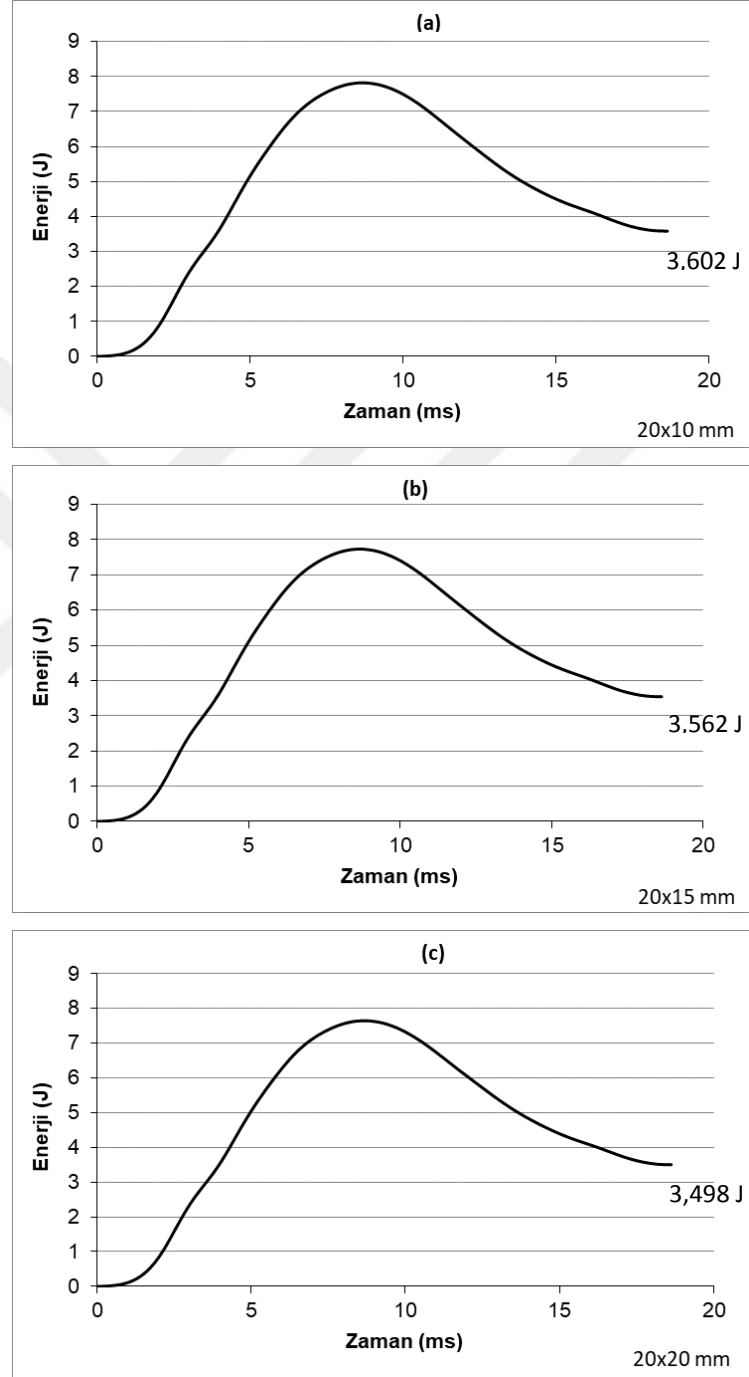
Şekil 5.16. HY=20mm HB=10mm, 15mm, 20mm olan ABS termoplastik numunelerde hücre boyutunun 25J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi. a)20x10 b)20x15 c)20x20

Şekil 5.17’ de sandviç kompozit malzemesinin çekirdek kısmında hücre yüksekliği 10 mm olan PLA termoplastik numunelerinin üç farklı hücre boyutunda, (10 mm, 15 mm, 20 mm) 8 J darbe enerjisinde elde edilen enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir.



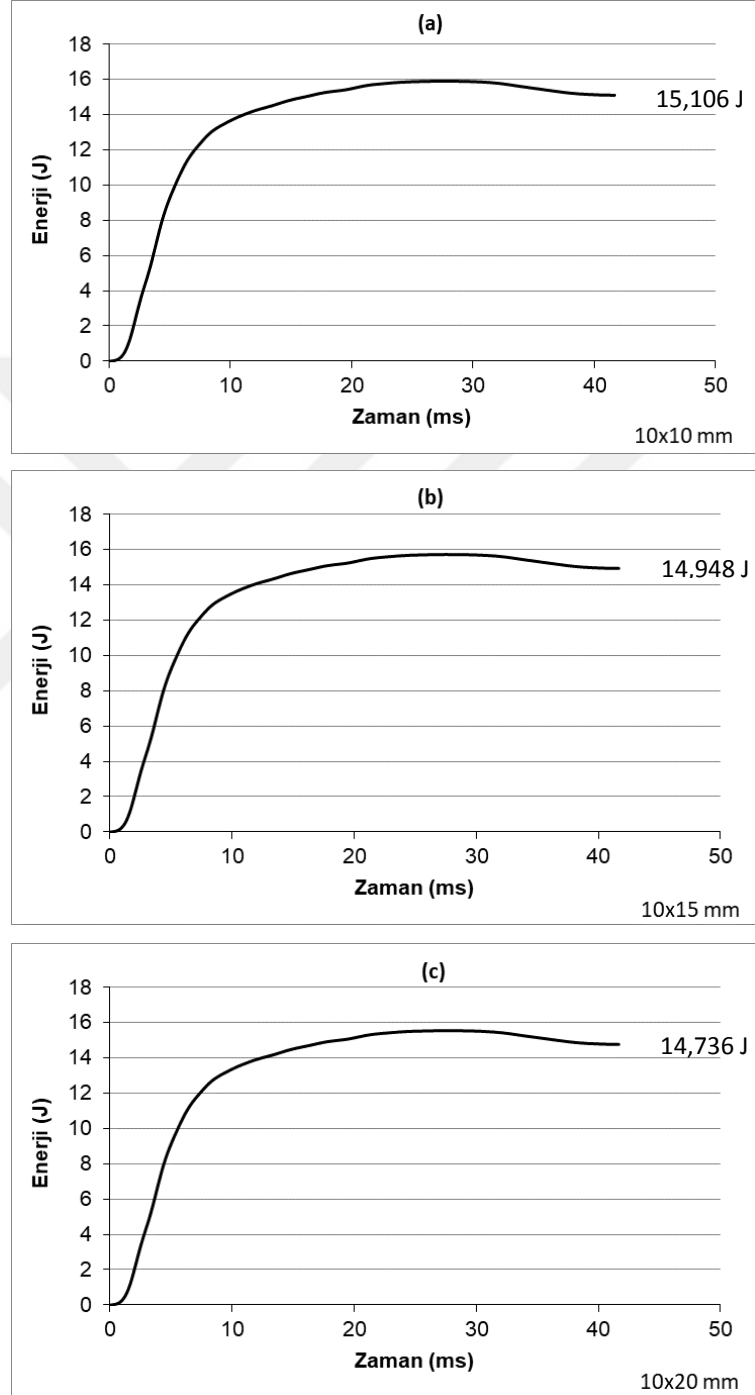
Şekil 5.17. HY=10mm HB=10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik numunelerde hücre boyutunun 8J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi. a)10x10 b)10x15 c)10x20

Şekil 5.18’ de sandviç kompozit malzemesinin çekirdek kısmında hücre yüksekliği 20 mm olan PLA termoplastik numunelerinin üç farklı hücre boyutunda, (10 mm, 15 mm, 20 mm) 8 J darbe enerjisinde elde edilen enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir.



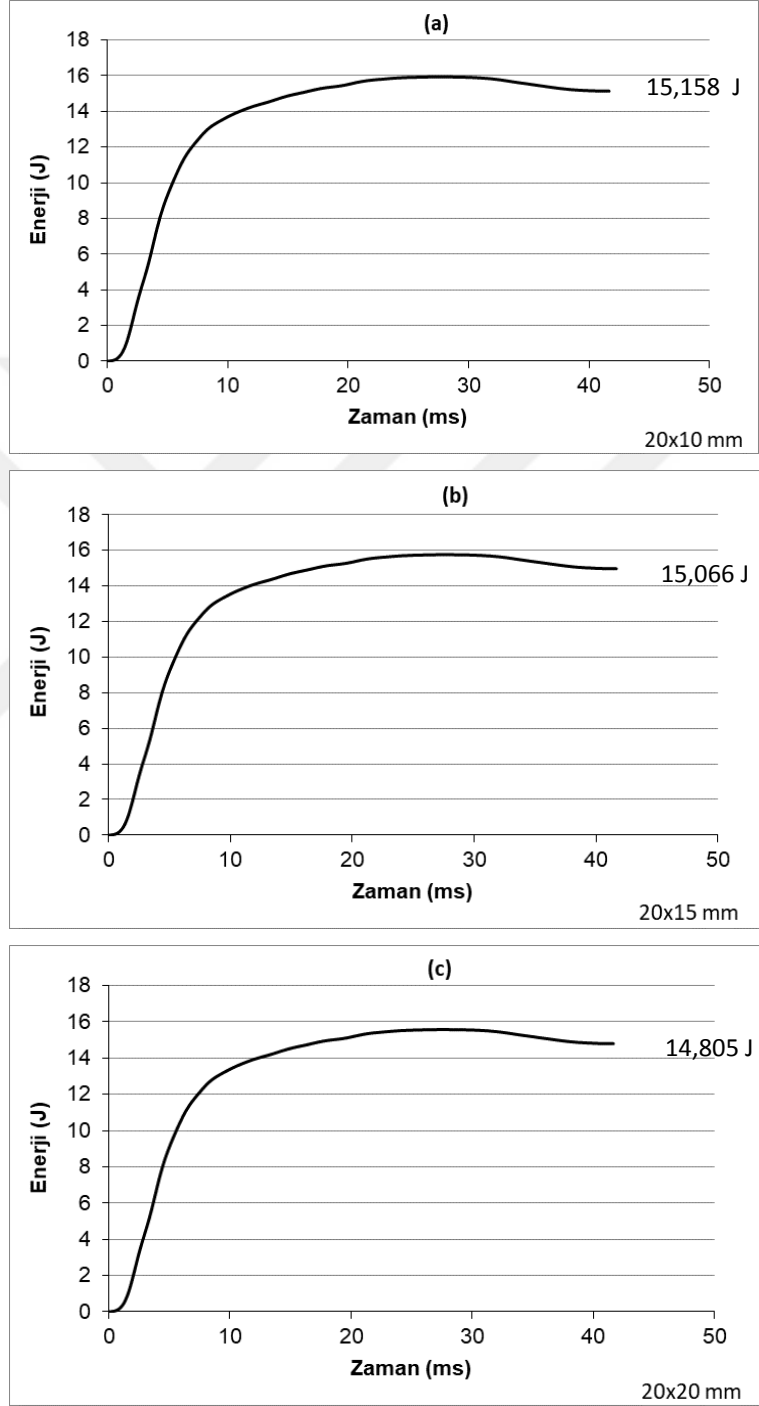
Şekil 5.18. HY=20mm HB=10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik numunelerde hücre boyutunun 8J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi. a)20x10 b)20x15 c)20x20

Şekil 5.19’ da sandviç kompozit malzemesinin çekirdek kısmında hücre yüksekliği 10 mm olan PLA termoplastik numunelerinin üç farklı hücre boyutunda, (10 mm, 15 mm, 20 mm) 16 J darbe enerjisinde elde edilen enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir.



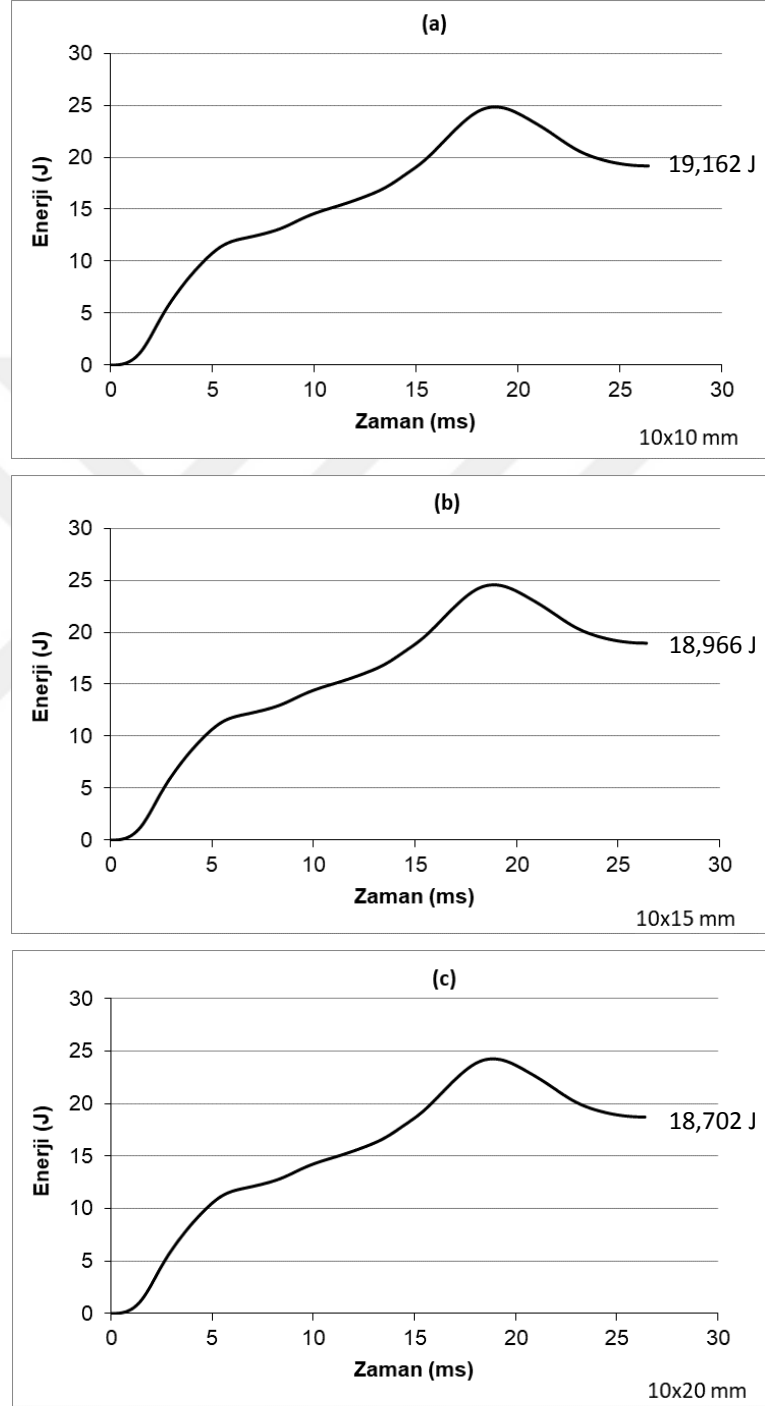
Şekil 5.19. HY=10mm HB=10mm, 15mm, 20mm olan PLA termoplastik numunelerde hücre boyutunun 16J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi. a)10x10 b)10x15 c)10x20

Şekil 5.20' de sandviç kompozit malzemesinin çekirdek kısmında hücre yüksekliği 20 mm olan PLA termoplastik numunelerinin üç farklı hücre boyutunda, (10 mm, 15 mm, 20 mm) 16 J darbe enerjisi elde edilen enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir



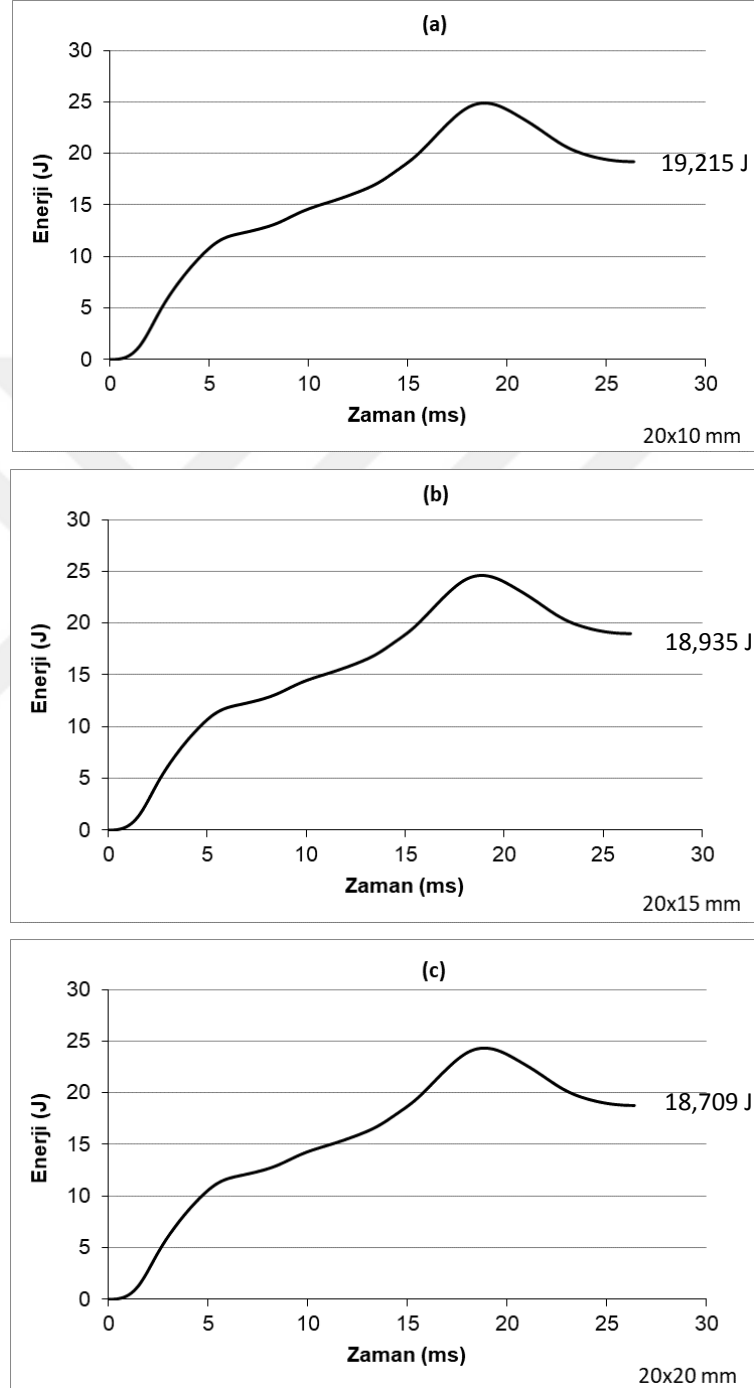
Şekil 5.20. HY=20mm HB=10mm, 15mm, 20mm olan PLA termoplastik numunelerde hücre boyutunun 16J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi. a)20x10 b)20x15 c)20x20

Şekil 5.21’ de sandviç kompozit malzemesinin çekirdek kısmında hücre yüksekliği 10 mm olan PLA termoplastik numunelerinin üç farklı hücre boyutunda, (10 mm, 15 mm, 20 mm) 25 J darbe enerjisinde elde edilen enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.21. HY=10mm HB=10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik numunelerde hücre boyutunun 25J darbe enerjisinde sönmölen enerji miktarına etkisi. a)10x10 b)10x15 c)10x20

Şekil 5.22’ de sandviç kompozit malzemesinin çekirdek kısmında hücre yüksekliği 20 mm olan PLA termoplastik numunelerinin üç farklı hücre boyutunda, (10 mm, 15 mm, 20 mm) 25 J darbe enerjisinde elde edilen enerji – zaman grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.22. HY=20mm HB=10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik numunelerde hücre boyutunun 25J darbe enerjisinde sönümlenen enerji miktarına etkisi. a)20x10 b)20x15 c)20x20

ABS termoplastik malzeme kullanılarak üretilen çekirdek numunelerin hücre boyutlarının farklı seçilerek aynı darbe enerjisindeki davranışları incelenmiştir. Grafiklerden çekirdek hücre boyutunun enerjiyi sönümleme üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Şekil 5.11-5.16'da yüksekliği sabit tutarak hücre boyutunu arttırdıkça her üç darbe enerji (8 J, 16 J, 25 J) seviyesinde de sönümlenebilen enerjinin azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla aynı yüksekliğe ve malzemeye sahip bal peteği ABS numunelerde hücre boyutu azaldıkça sönümlenen enerji miktarının da arttığı tespit edilmiştir.

Benzer şekilde PLA termoplastik malzeme kullanılarak üretilen çekirdek numunelerin hücre boyutlarının farklı seçilerek aynı darbe enerjisindeki davranışları incelenmiştir. Grafiklerden çekirdek hücre boyutunun enerjiyi sönümleme üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Şekil 5.17-5.22' de de yüksekliği sabit tutarak hücre boyutunu arttırdıkça her üç darbe enerji (8 J, 16 J, 25 J) seviyesinde de sönümlenebilen enerjinin azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla aynı yüksekliğe ve malzemeye sahip bal peteği PLA numunelerde hücre boyutu azaldıkça sönümlenen enerji miktarının da arttığı tespit edilmiştir.

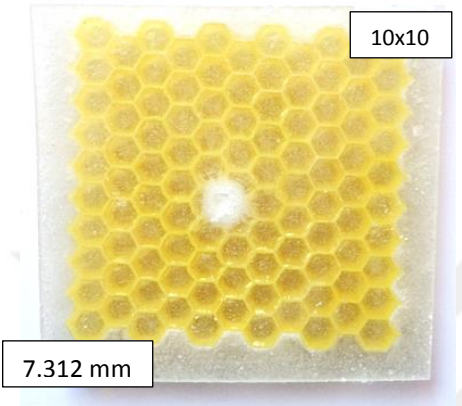
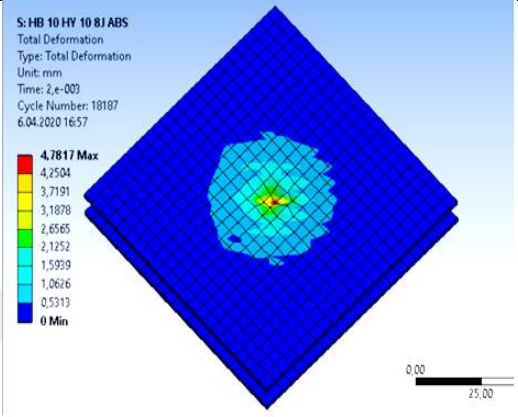
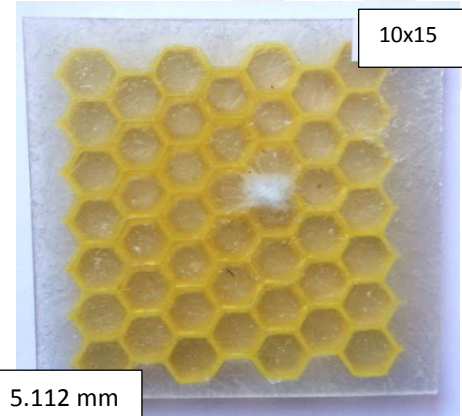
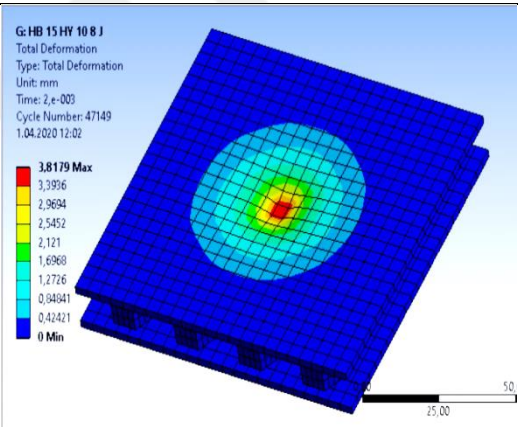
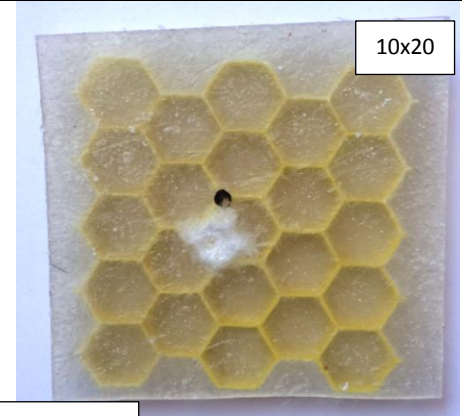
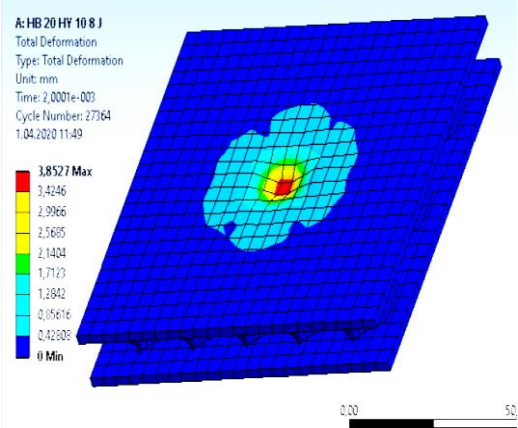
Görüldüğü üzere aynı hücre boyutuna sahip ABS ve PLA 20 mm yüksekliğindeki ve 10 mm yüksekliğindeki numunelerin enerjiyi yutabilme kabiliyetleri birbirine çok yakındır. Bu durumda literatür çalışmalarına paralel olduğunu göstermektedir. Ayrıca grafikte maksimum temas kuvvetlerinin de birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Düşük hızlı darbe testi sonrası elde edilen bu verilerden yola çıkarak, enerjiyi sönümleme kabiliyeti bakımından hücre boyutlarının öneminin hücre yüksekliğine oranla daha fazla önem taşıdığı görülmektedir. Hücre yüksekliği değişiminin enerji zaman grafiklerine belirgin olarak bir etkisi olmamıştır.

Sandviç kompozit numunelerin ANYS Workbench paket programında düşük hızlı darbe testi analizleri yapılırken deney düzeneğindeki gibi 12.75 mm çapındaki darbe mili, deney sırasında tespit edilen hızlar ile karşılaştırılmıştır. Tespit edilen hızlar 8 J darbe enerjisinde 1,9 m/sn, 16 J darbe enerjisinde 2,64 m/sn, 25J darbe enerjisinde 3,2 m/sn dir. Yapılan sayısal analizler sonucunda sandviç kompozit numunelerde oluşan deformasyon görüntüleri deneysel çalışmada meydana gelen deformasyon görüntüleri ile karşılaştırılmıştır. Deformasyonlar deneysel ve sayısal çalışmalarda numunelerin üst yüzey tabakalarında daha belirgin olduğu için tabakalı görüntüler seçilerek kaydedilmiştir. Alüminyum malzemesi kadar sünek olmayan deney numunelerinin çekirdek kısmındaki PLA ve ABS malzemelerinin, gevrek ve kırılgan yapısından dolayı kesit alınamadığı için en uygun görsel fotolar seçilmiştir.

Çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzemelerinden oluşan sandviç kompozit yapıdaki numuneler her iki termoplastik malzemedede de benzer hasar tiplerine uğramıştır. Hücre yüksekliği (HY) 10mm, hücre boyutları (HB) 10mm, 15mm, 20mm olan ABS çekirdekli sandviç kompozit numunelerin 8 J darbe enerjisinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testi sonrasında

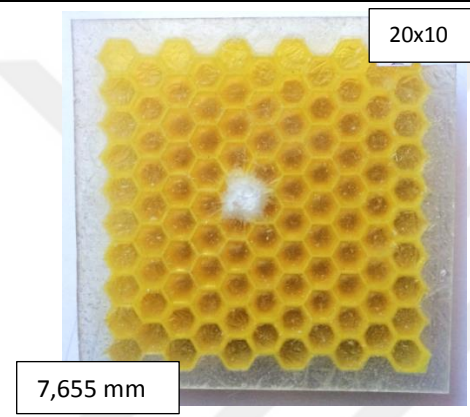
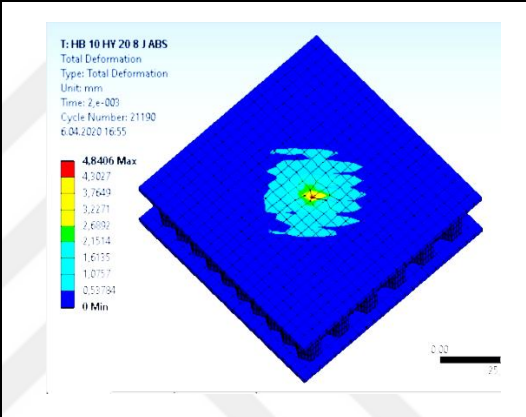
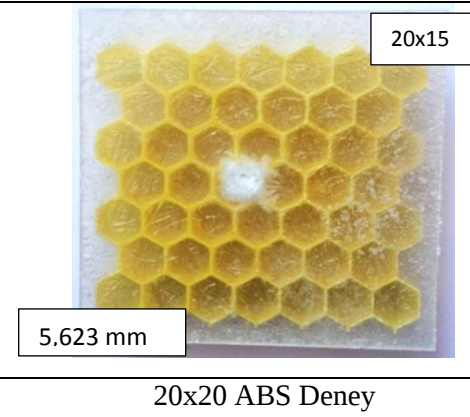
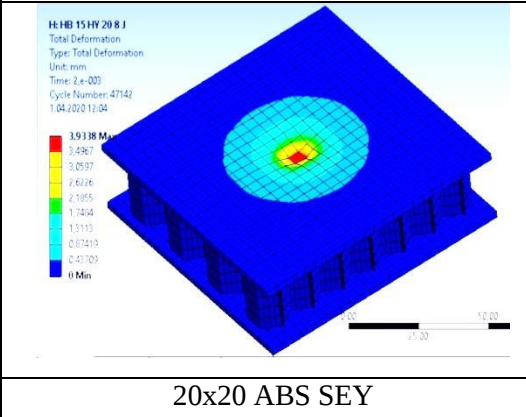
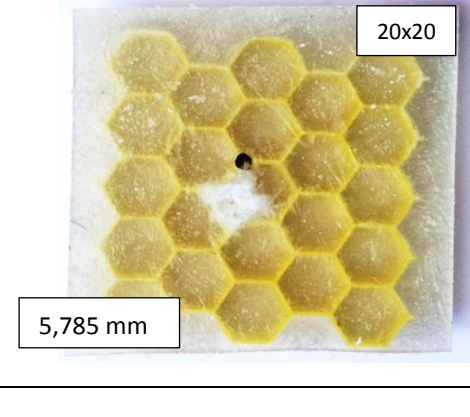
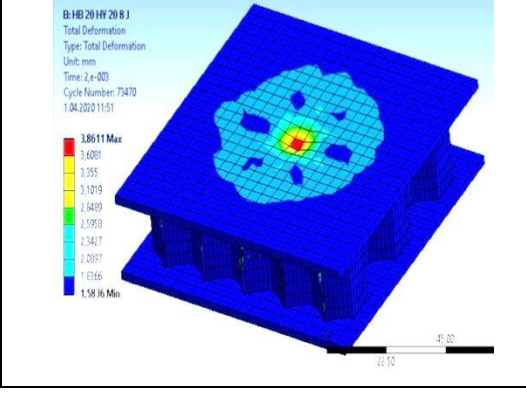
oluşan hasarların deneysel ve SEY(sonlu elemanlar yöntemi) görüntüleri Tablo 5.1’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. HY =10 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik petek yapı kompozit levhalarda 8J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

10x10 ABS Deney	10x10 ABS SEY
	
10x 15 ABS Deney	10x15 ABS SEY
	
10x20 ABS Deney	10x20 ABS SEY
	

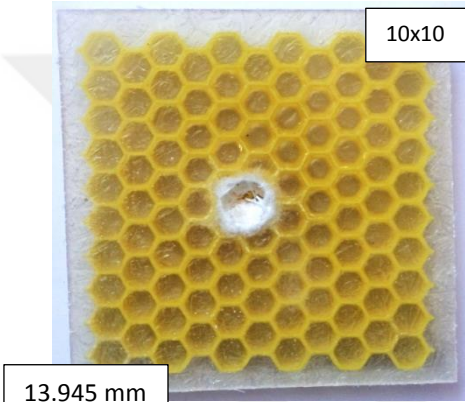
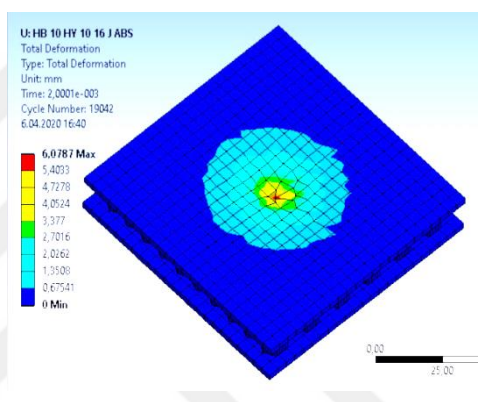
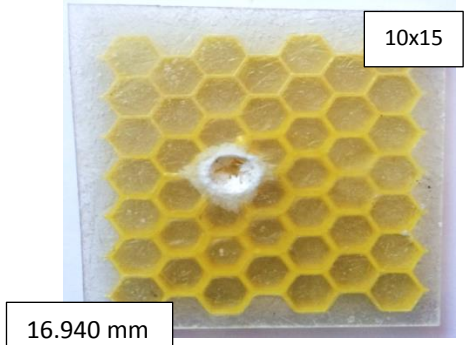
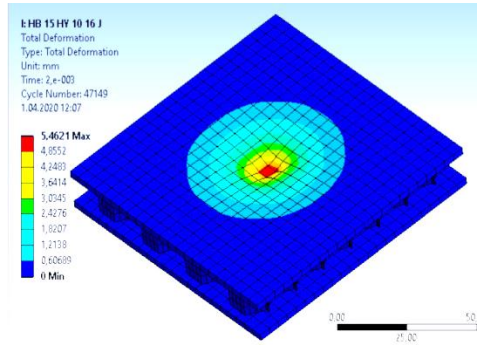
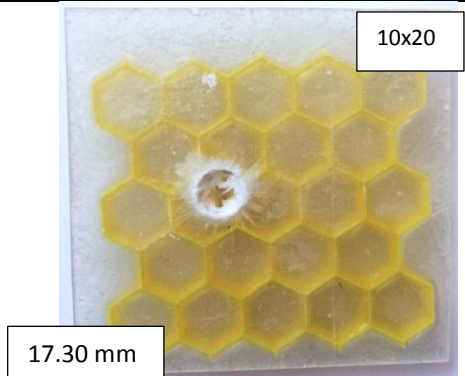
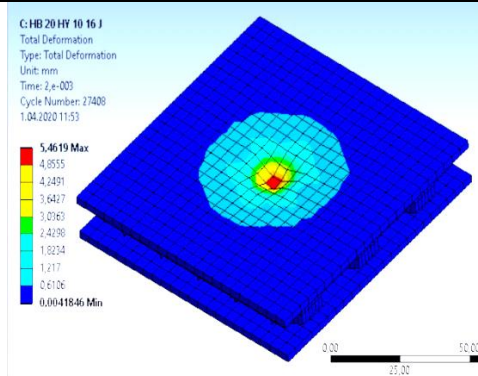
Çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzemelerinden oluşan sandviç kompozit yapıdaki numuneler her iki termoplastik malzemede de benzer hasar tiplerine uğramıştır. Hücre yüksekliği (HY) 20 mm, hücre boyutları (HB) 10mm, 15mm, 20mm olan ABS çekirdekli sandviç kompozit numunelerin 8 J darbe enerjisinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testi sonrasında oluşan hasarların deneysel ve SEY (sonlu elemanlar yöntemi) görüntüleri Tablo 5.2’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. HY =20 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhalarda 8J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

20x10 ABS Deney	20x10 ABS SEY
	
20x15ABS Deney	20x15 ABS SEY
	
20x20 ABS Deney	20x20 ABS SEY
	

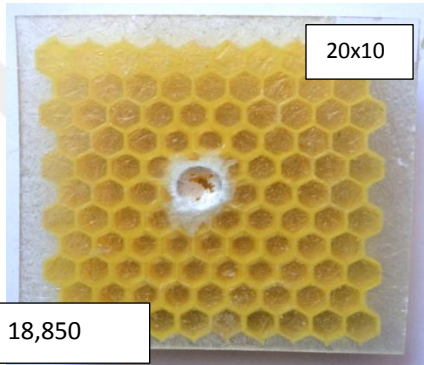
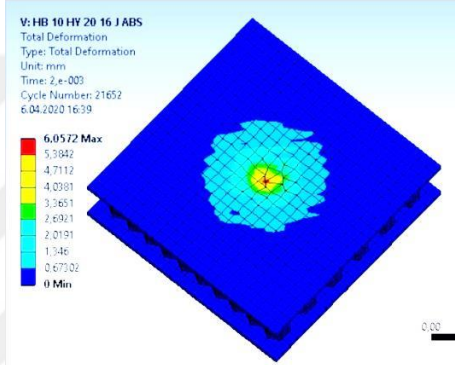
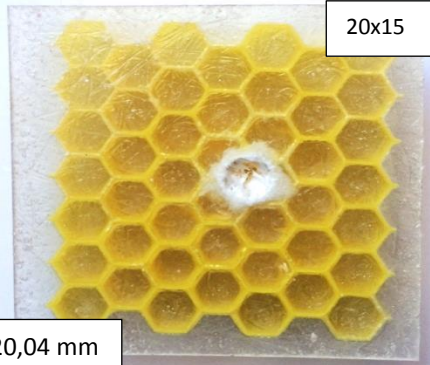
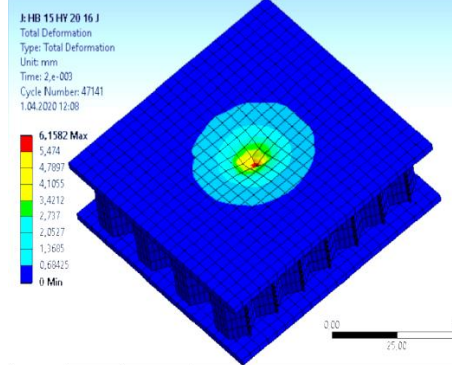
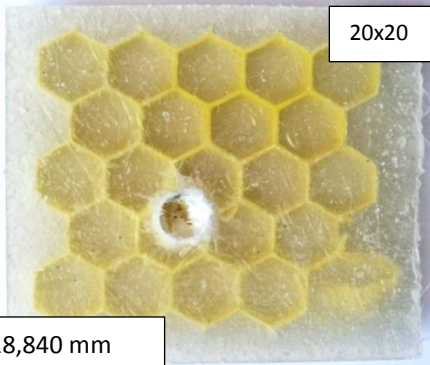
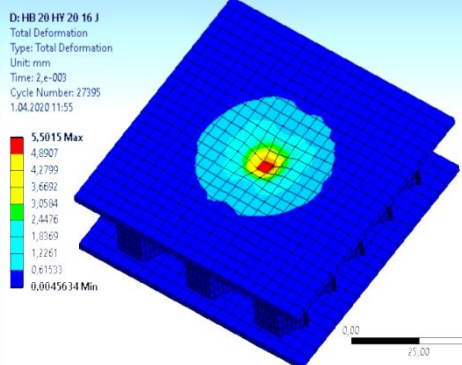
Çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzemelerinden oluşan sandviç kompozit yapıdaki numuneler her iki termoplastik malzemede de benzer hasar tiplerine uğramıştır. Hücre yüksekliği (HY) 10mm, hücre boyutları (HB) 10mm, 15mm, 20mm olan ABS çekirdekli sandviç kompozit numunelerin 16 J darbe enerjisinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testi sonrasında oluşan hasarların deneysel ve SEY(sonlu elemanlar yöntemi) görüntüleri Tablo 5.3’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.3. HY =10 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 16J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

10x10 ABS Deney	10x10 ABS SEY
	
10x15 ABS Deney	10x15 ABS SEY
	
10x20 ABS Deney	10x20 ABS SEY
	

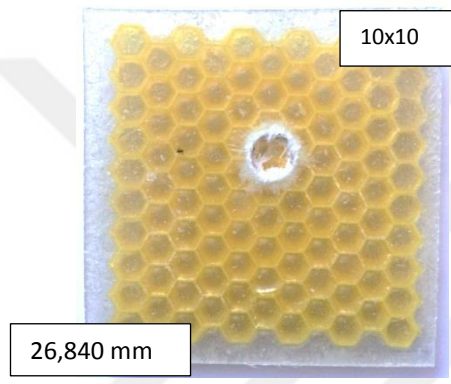
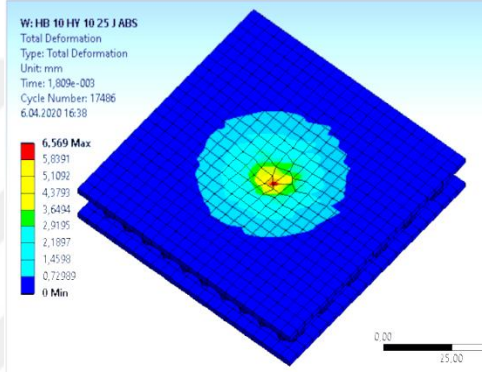
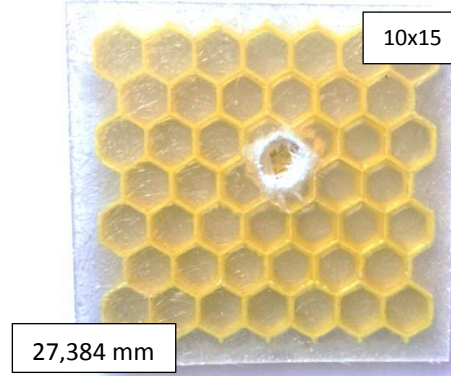
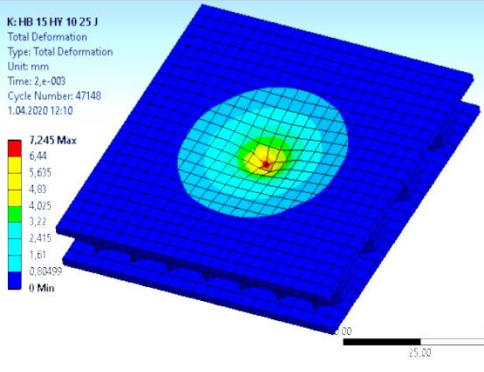
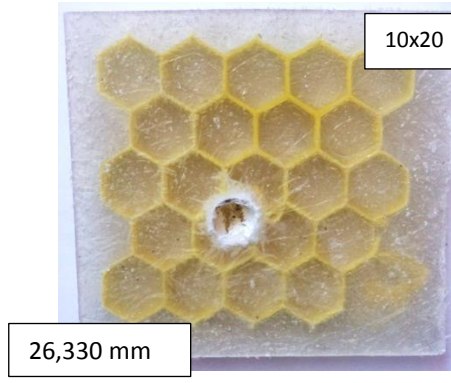
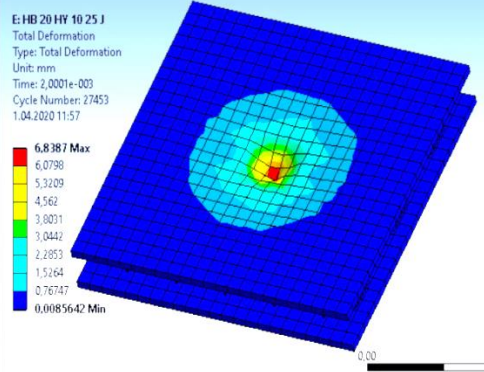
Çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzemelerinden oluşan sandviç kompozit yapıdaki numuneler her iki termoplastik malzemede de benzer hasar tiplerine uğramıştır. Hücre yüksekliği (HY) 20 mm, hücre boyutları (HB) 10mm, 15mm, 20mm olan ABS çekirdekli sandviç kompozit numunelerin 16 J darbe enerjisinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testi sonrasında oluşan hasarların deneysel ve SEY (sonlu elemanlar yöntemi) görüntüleri Tablo 5.4’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. HY =20 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 16J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

20x10 ABS Deney	20x10 ABS SEY
	
20x15 ABS Deney	20x15 ABS SEY
	
20x20 ABS Deney	20x20 ABS SEY
	

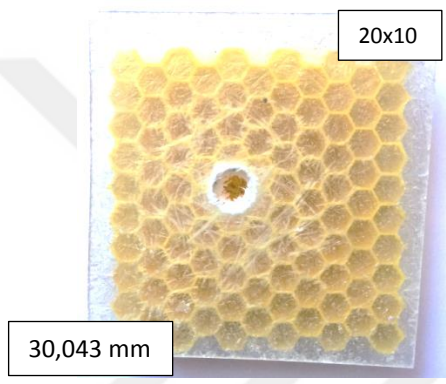
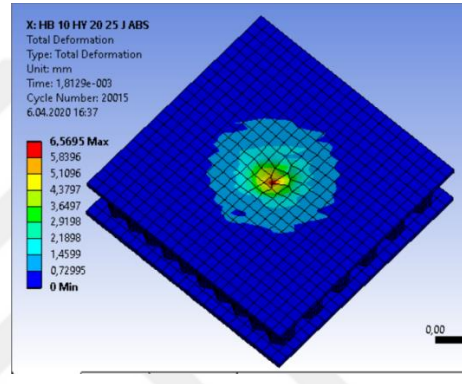
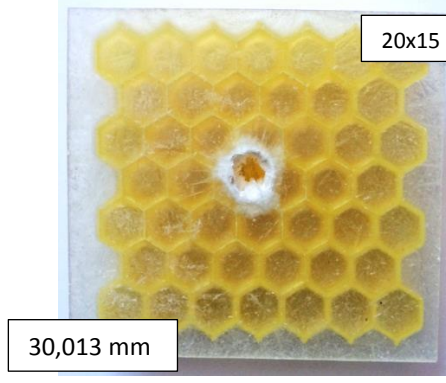
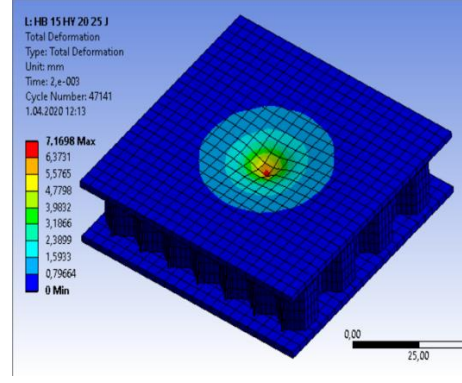
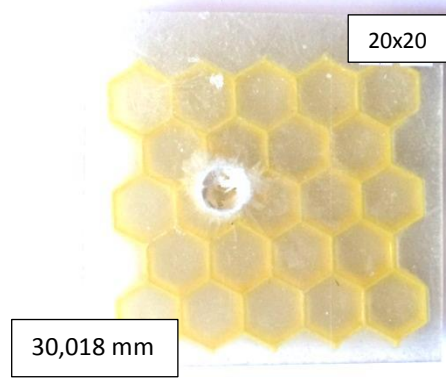
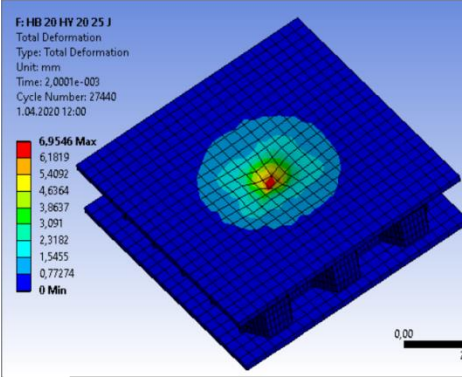
Çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzemelerinden oluşan sandviç kompozit yapıdaki numuneler her iki termoplastik malzemede de benzer hasar tiplerine uğramıştır. Hücre yüksekliği (HY) 10 mm, hücre boyutları (HB) 10mm, 15mm, 20mm olan ABS çekirdekli sandviç kompozit numunelerin 25 J darbe enerjisinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testi sonrasında oluşan hasarların deneysel ve SEY (sonlu elemanlar yöntemi) görüntüleri Tablo 5.5’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.5. HY =10 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 25J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

10x10 ABS Deney	10x10 ABS SEY
	
10x15 ABS Deney	10x15 ABS SEY
	
10x20 ABS Deney	10x20 ABS SEY
	

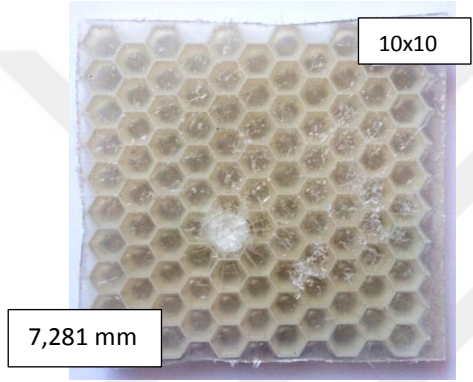
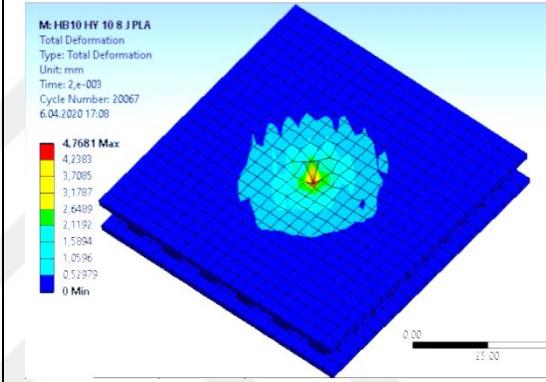
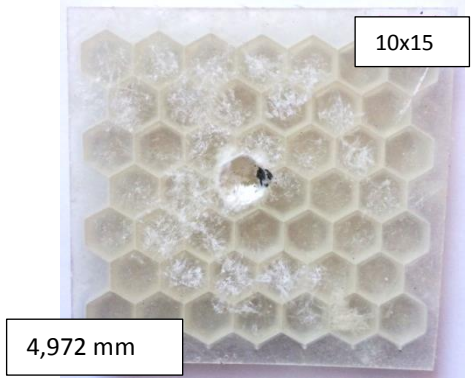
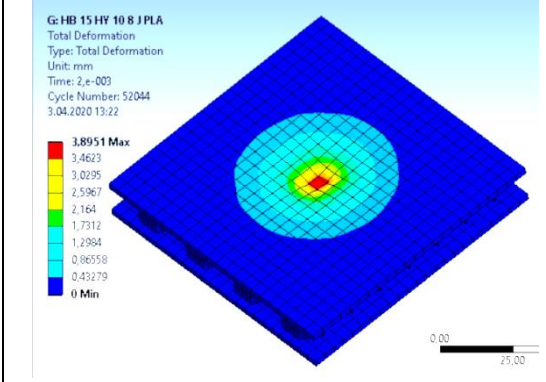
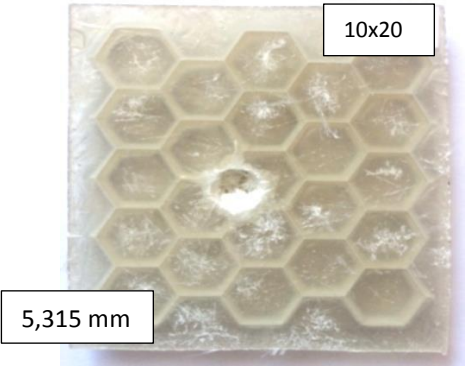
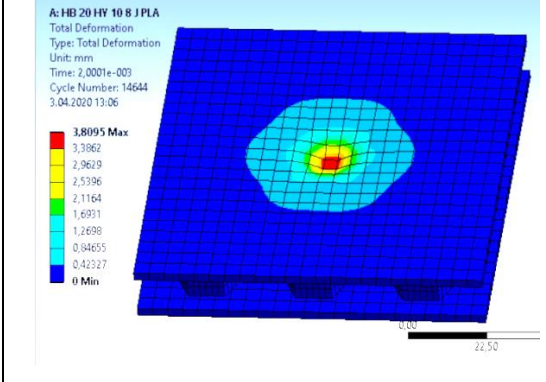
Çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzemelerinden oluşan sandviç kompozit yapıdaki numuneler her iki termoplastik malzemede de benzer hasar tiplerine uğramıştır. Hücre yüksekliği (HY) 20 mm, hücre boyutları (HB) 10mm, 15mm, 20mm olan ABS çekirdekli sandviç kompozit numunelerin 25 J darbe enerjisinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testi sonrasında oluşan hasarların deneysel ve SEY (sonlu elemanlar yöntemi) görüntüleri Tablo 5.6’ da gösterilmiştir.

Tablo 5.6. HY =20 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 25J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

20x10 ABS Deney	20x10 ABS SEY
	
20x15 ABS Deney	20x15 ABS SEY
	
20x20 ABS Deney	20x20 ABS SEY
	

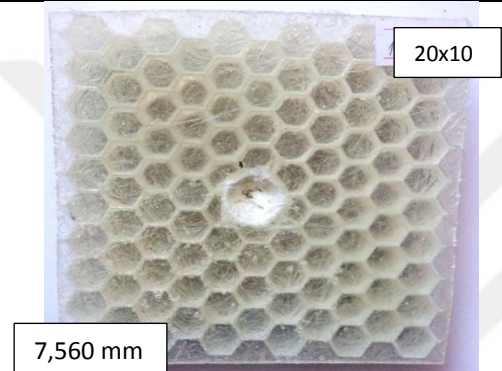
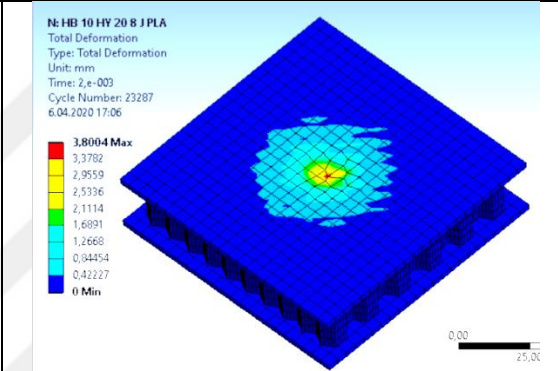
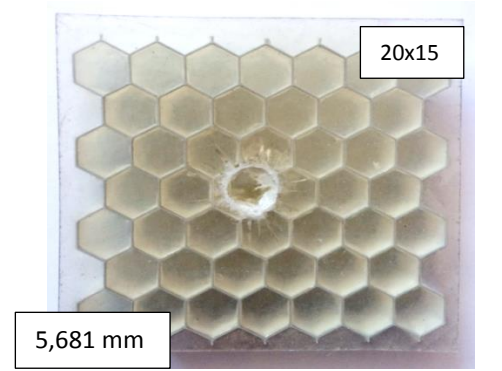
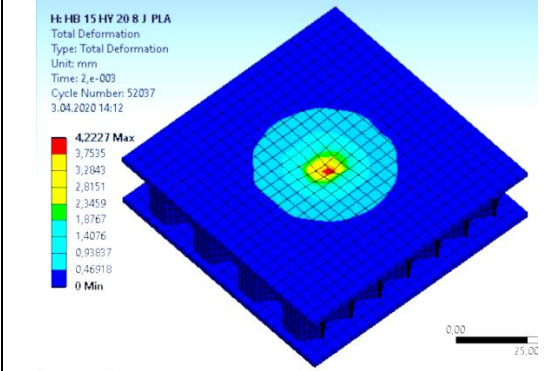
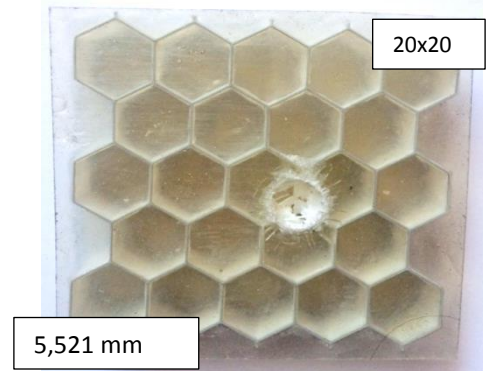
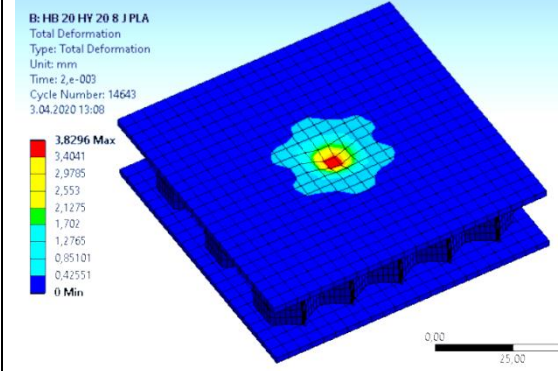
Çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzemelerinden oluşan sandviç kompozit yapıdaki numuneler her iki termoplastik malzemede de benzer hasar tiplerine uğramıştır. Hücre yüksekliği (HY) 10 mm, hücre boyutları (HB) 10mm, 15mm, 20mm olan PLA çekirdekli sandviç kompozit numunelerin 8 J darbe enerjisinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testi sonrasında oluşan hasarların deneysel ve SEY (sonlu elemanlar yöntemi) görüntüleri Tablo 5.7’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. HY =10 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 8J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

10x10 PLA Deney	10x10 PLA SEY
	
10x15 PLA Deney	10x15 PLA SEY
	
10x20 PLA Deney	10x20 PLA SEY
	

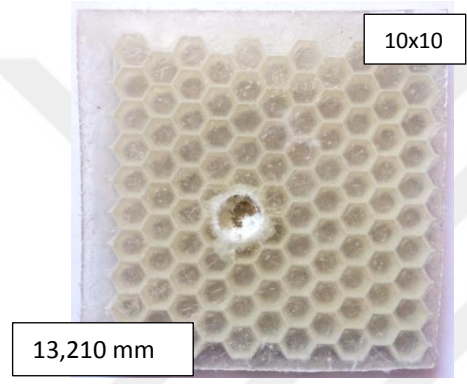
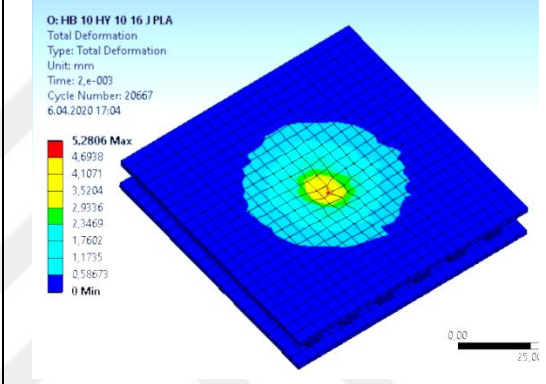
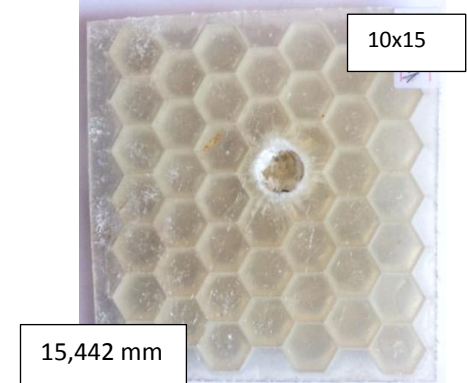
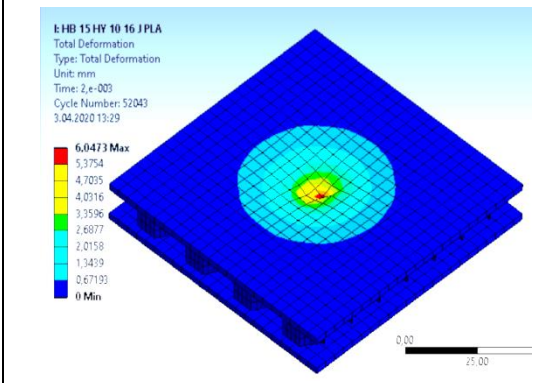
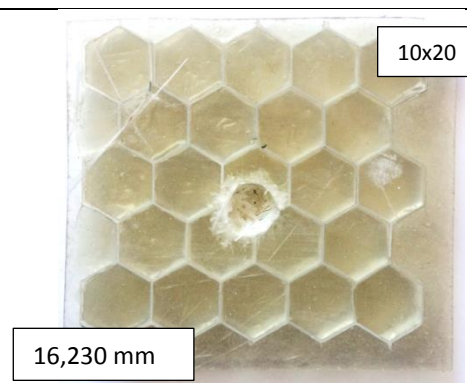
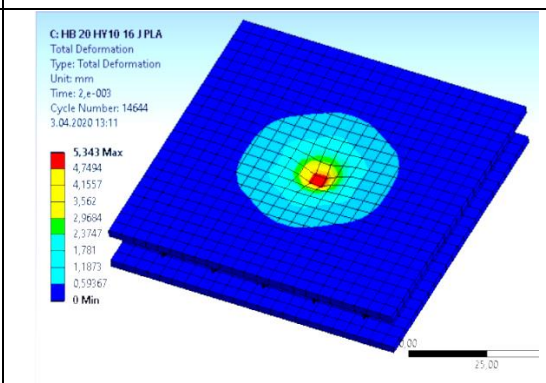
Çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzemelerinden oluşan sandviç kompozit yapıdaki numuneler her iki termoplastik malzemede de benzer hasar tiplerine uğramıştır. Hücre yüksekliği (HY) 20 mm, hücre boyutları (HB) 10mm, 15mm, 20mm olan PLA çekirdekli sandviç kompozit numunelerin 8 J darbe enerjisinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testi sonrasında oluşan hasarların deneysel ve SEY (sonlu elemanlar yöntemi) görüntüleri Tablo 5.8’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.8. HY =20 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhalarda 8J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

20x10 PLA Deney	20x10 PLA SEY
	
20x15 PLA Deney	20x15 PLA SEY
	
20x20 PLA Deney	20x20 PLA SEY
	

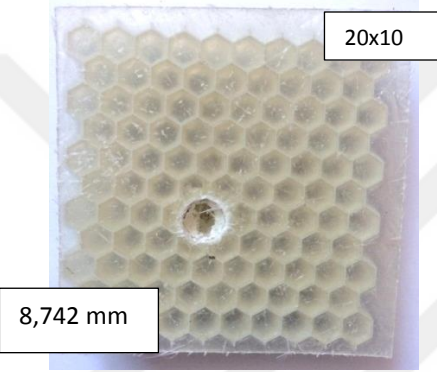
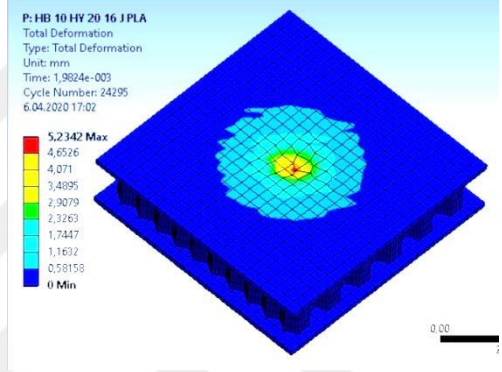
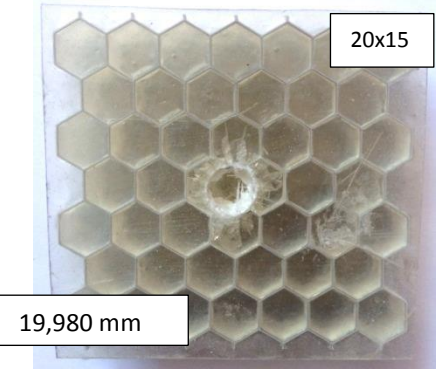
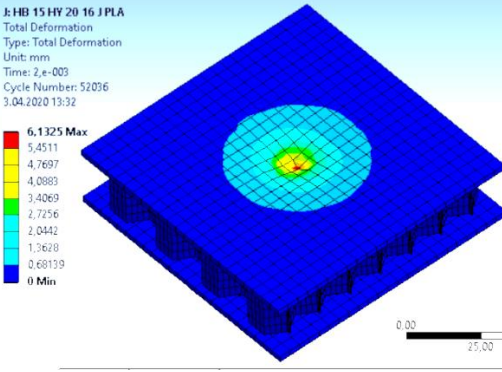
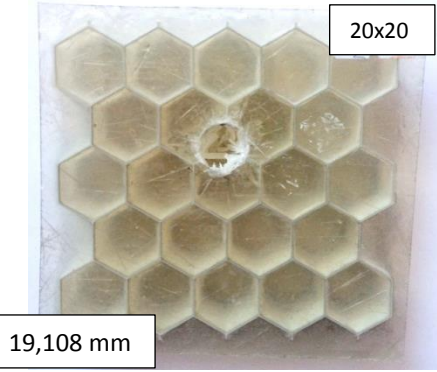
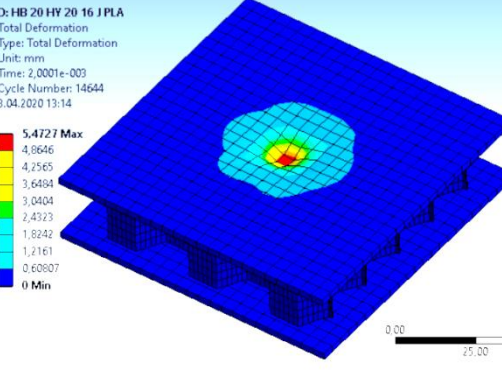
Çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzemelerinden oluşan sandviç kompozit yapıdaki numuneler her iki termoplastik malzemede de benzer hasar tiplerine uğramıştır. Hücre yüksekliği (HY) 10 mm, hücre boyutları (HB) 10mm, 15mm, 20mm olan PLA çekirdekli sandviç kompozit numunelerin 16 J darbe enerjisinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testi sonrasında oluşan hasarların deneysel ve SEY (sonlu elemanlar yöntemi) görüntüleri Tablo 5.9’ da gösterilmiştir.

Tablo 5.9. HY =10 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhalarda 16J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

10x10 PLA Deney	10x10 PLA SEY
	
10x15 PLA Deney	10x15 PLA SEY
	
10x20 PLA Deney	10x20 PLA SEY
	

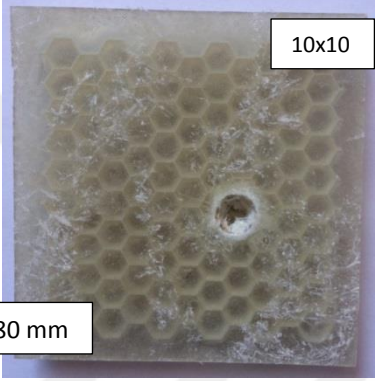
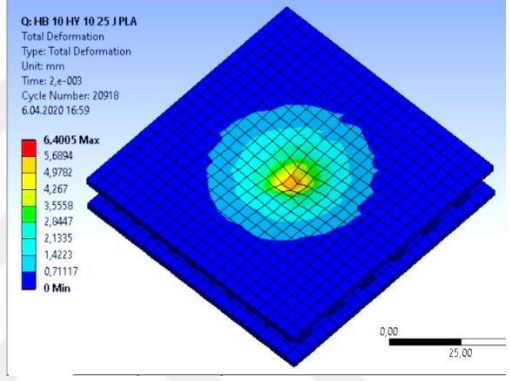
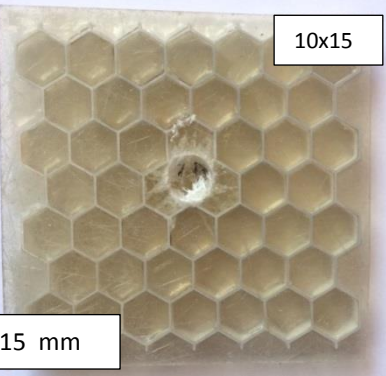
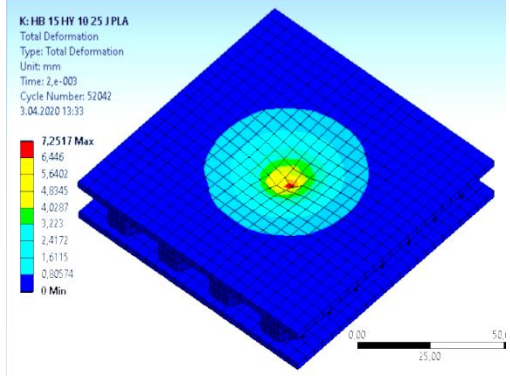
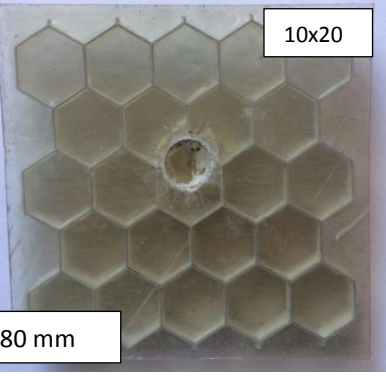
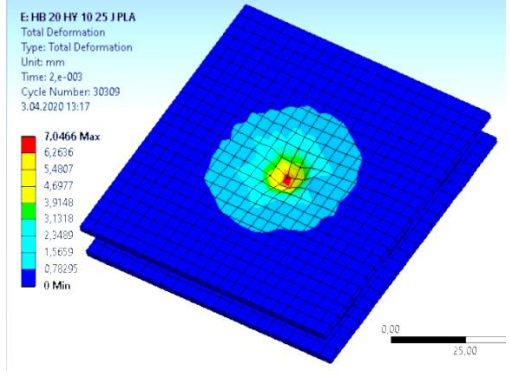
Çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzemelerinden oluşan sandviç kompozit yapıdaki numuneler her iki termoplastik malzemede de benzer hasar tiplerine uğramıştır. Hücre yüksekliği (HY) 20 mm, hücre boyutları (HB) 10mm, 15mm, 20mm olan PLA çekirdekli sandviç kompozit numunelerin 16 J darbe enerjisinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testi sonrasında oluşan hasarların deneysel ve SEY (sonlu elemanlar yöntemi) görüntüleri Tablo 5.10’ da gösterilmiştir.

Tablo 5.10. HY =20 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhalarda 16J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

20x10 PLA Deney	20x10 PLA SEY
	
20x15 PLA Deney	20x15 PLA SEY
	
20x20 PLA Deney	20x20 PLA SEY
	

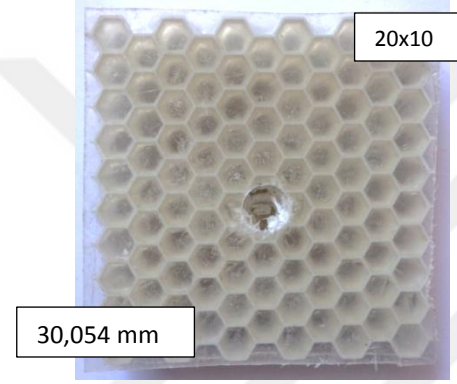
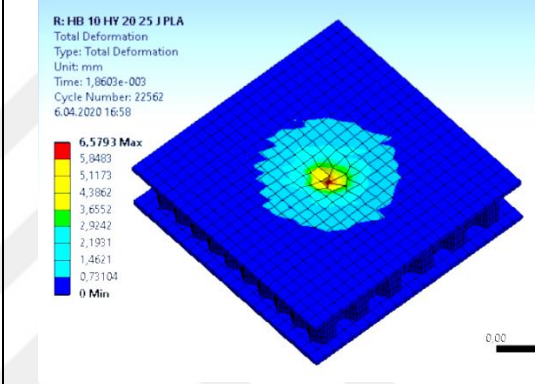
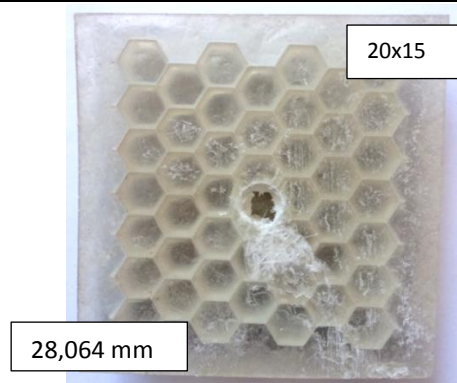
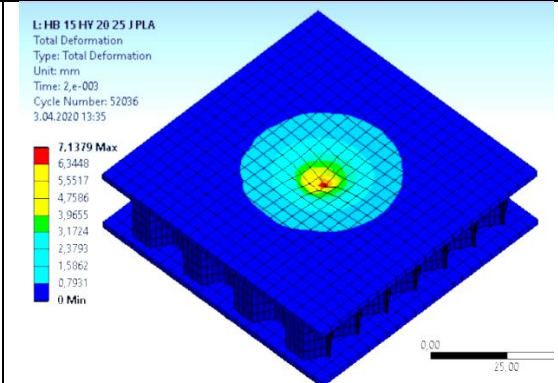
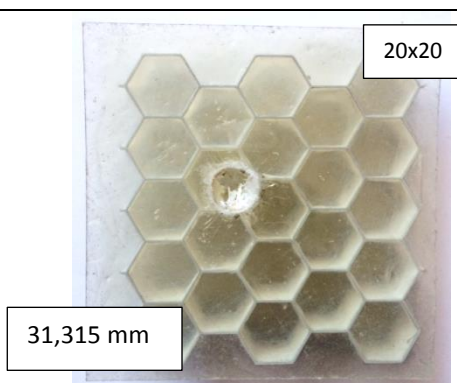
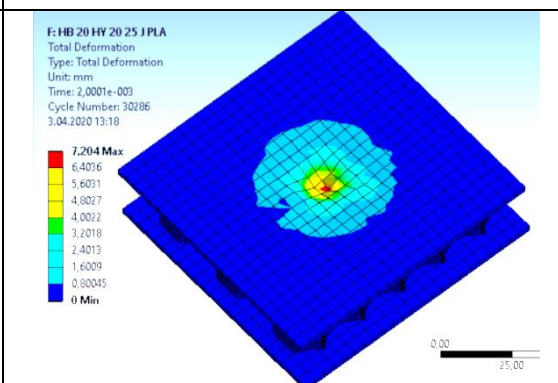
Çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzemelerinden oluşan sandviç kompozit yapıdaki numuneler her iki termoplastik malzemede de benzer hasar tiplerine uğramıştır. Hücre yüksekliği (HY) 10 mm, hücre boyutları (HB) 10mm, 15mm, 20mm olan PLA çekirdekli sandviç kompozit numunelerin 25 J darbe enerjisinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testi sonrasında oluşan hasarların deneysel ve SEY (sonlu elemanlar yöntemi) görüntüleri Tablo 5.11’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.11. HY =10 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda 25J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

10x10 PLA Deney	10x10 PLA SEY
	
10x15 PLA Deney	10x15 PLA SEY
	
10x20 PLA Deney	10x20 PLA SEY
	

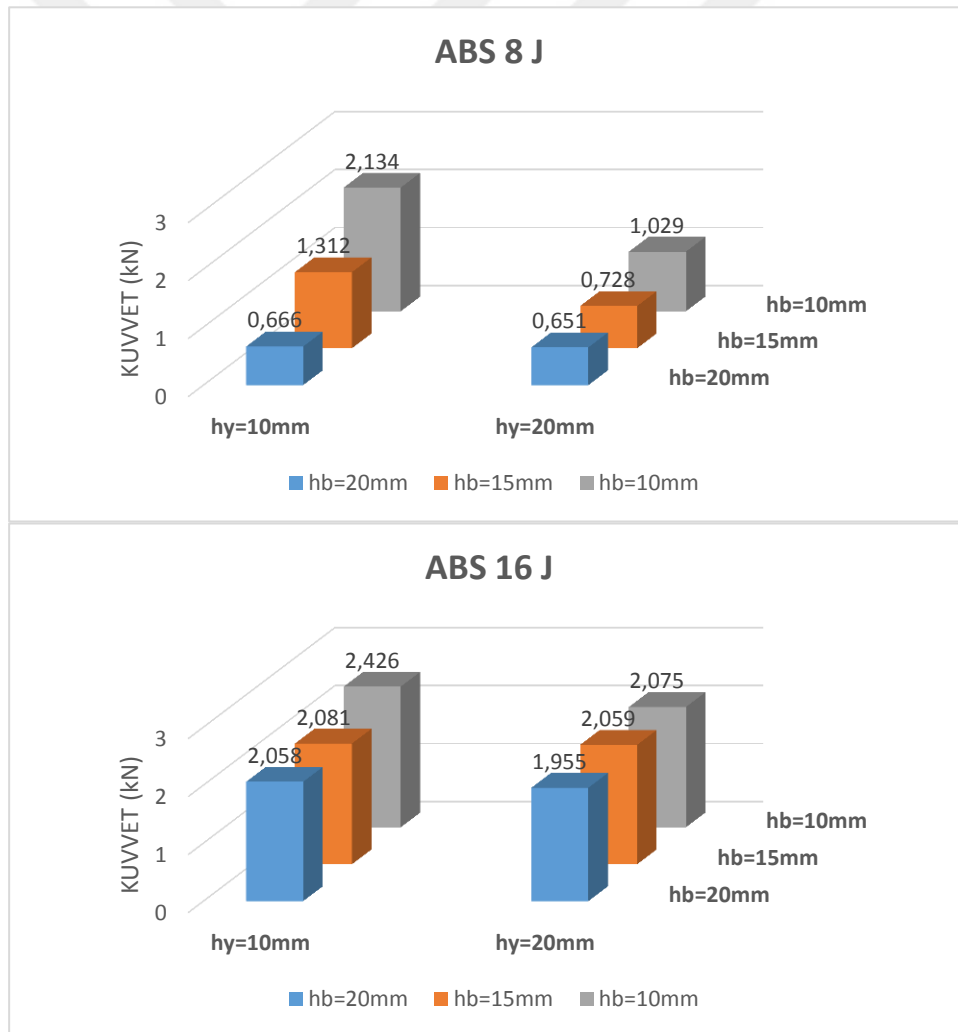
Çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzemelerinden oluşan sandviç kompozit yapıdaki numuneler her iki termoplastik malzemede de benzer hasar tiplerine uğramıştır. Hücre yüksekliği (HY) 20 mm, hücre boyutları (HB) 10mm, 15mm, 20mm olan PLA çekirdekli sandviç kompozit numunelerin 25 J darbe enerjisinde gerçekleştirilen düşük hızlı darbe testi sonrasında oluşan hasarların deneysel ve SEY (sonlu elemanlar yöntemi) görüntüleri Tablo 5.12’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.12. HY =20 mm, HB= 10mm,15mm,20mm olan PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhalarda 25J Darbe Enerjisinde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

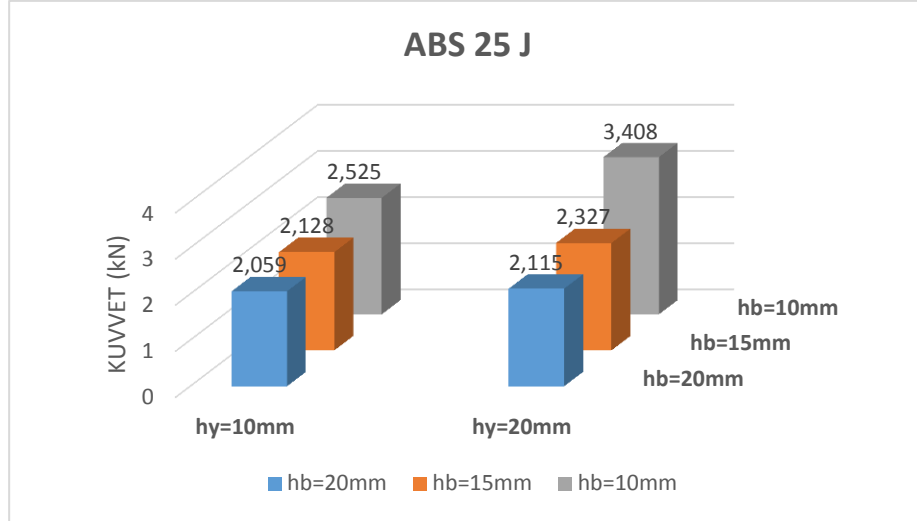
20x10 PLA Deney	20x10 PLA SEY
	
20x15 PLA Deney	20x15 PLA SEY
	
20x20 PLA Deney	20x20 PLA SEY
	

PLA ve ABS sandviç kompozit numunelerin deneysel ve sayısal çalışma sonucu oluşan hasar tiplerinin birbirine benzer olduğu gözlemlenmiştir. Sayısal ve deneysel sonuçlara bakıldığında kuvvet-yer değiştirme sonuçlarının birbirine paralel olmadığı görülmektedir. Nedeni ise ABS ve PLA çekirdek malzemelerinin üretim şekline kaynaklanmaktadır. ABS ve PLA termoplastik çekirdek numuneleri katman katman halinde üretilerek düşük hızlı darbe testine maruz bırakılmıştır. Sayısal analizleri gerçekleştirirken Workbench paket programı ABS ve PLA malzemelerinin katman katman üretimini göz ardı edip yekpare bir malzeme olarak kabul ederek analizler gerçekleştirilmiştir. Bu durumda deneysel ve sayısal sonuçların birbirine paralel çıkmasında olumsuz bir sonuç oluşturmaktadır.

Yapılan düşük hızlı darbe testi sonucunda ABS termoplastik çekirdek malzemesine sahip numunelerde temas kuvvetinin bal peteği geometrisinin hücre boyutu, hücre yüksekliği ve darbe enerjisi ile değişimi Şekil 5.23’de karşılaştırılmıştır.



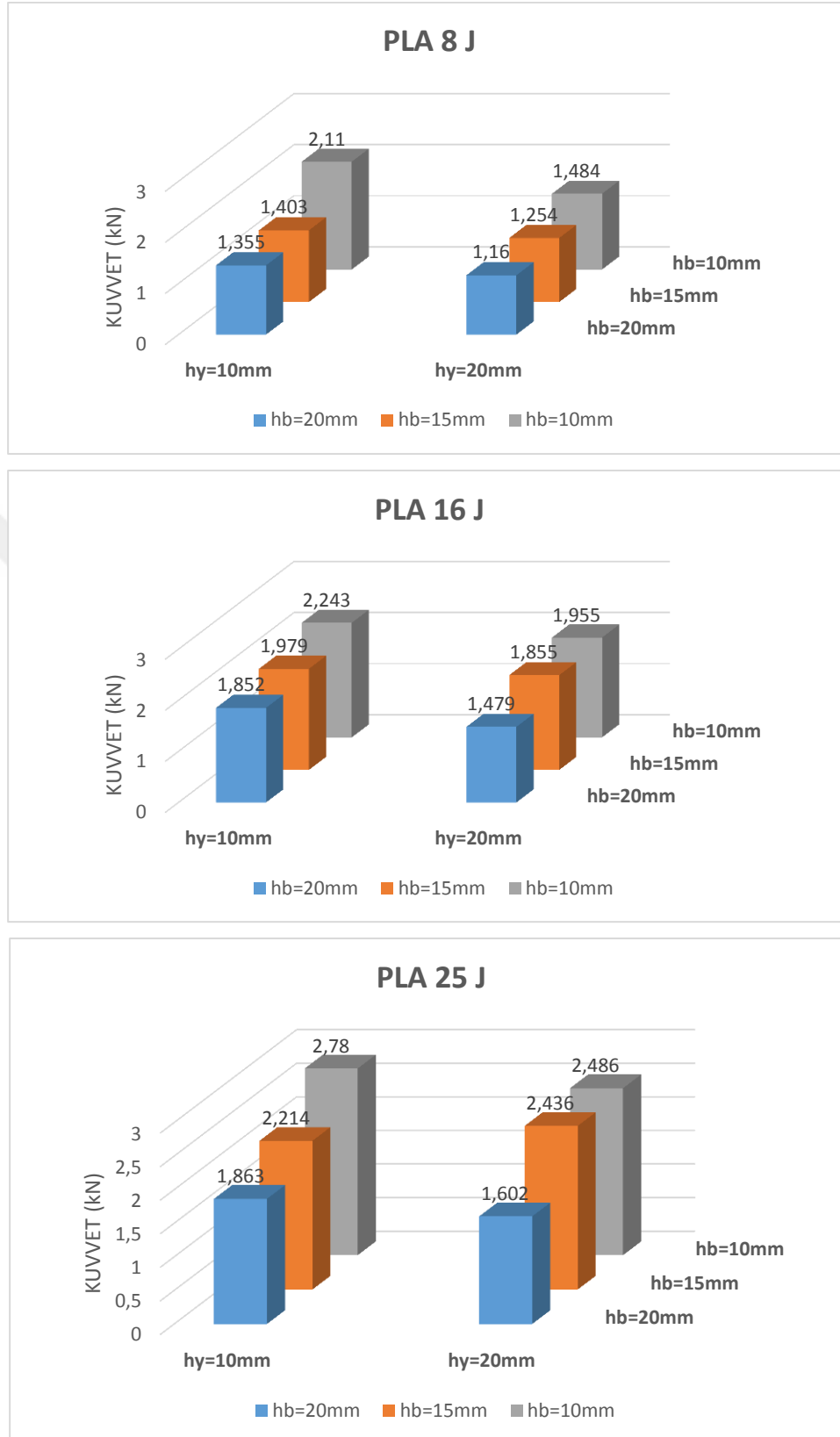
Şekil 5.23. ABS çekirdek malzemesinde darbe testi sonrası görülen temas kuvvetleri



Şekil 5.23. ABS çekirdek malzemesinde darbe testi sonrası görülen temas kuvvetleri (Devamı)

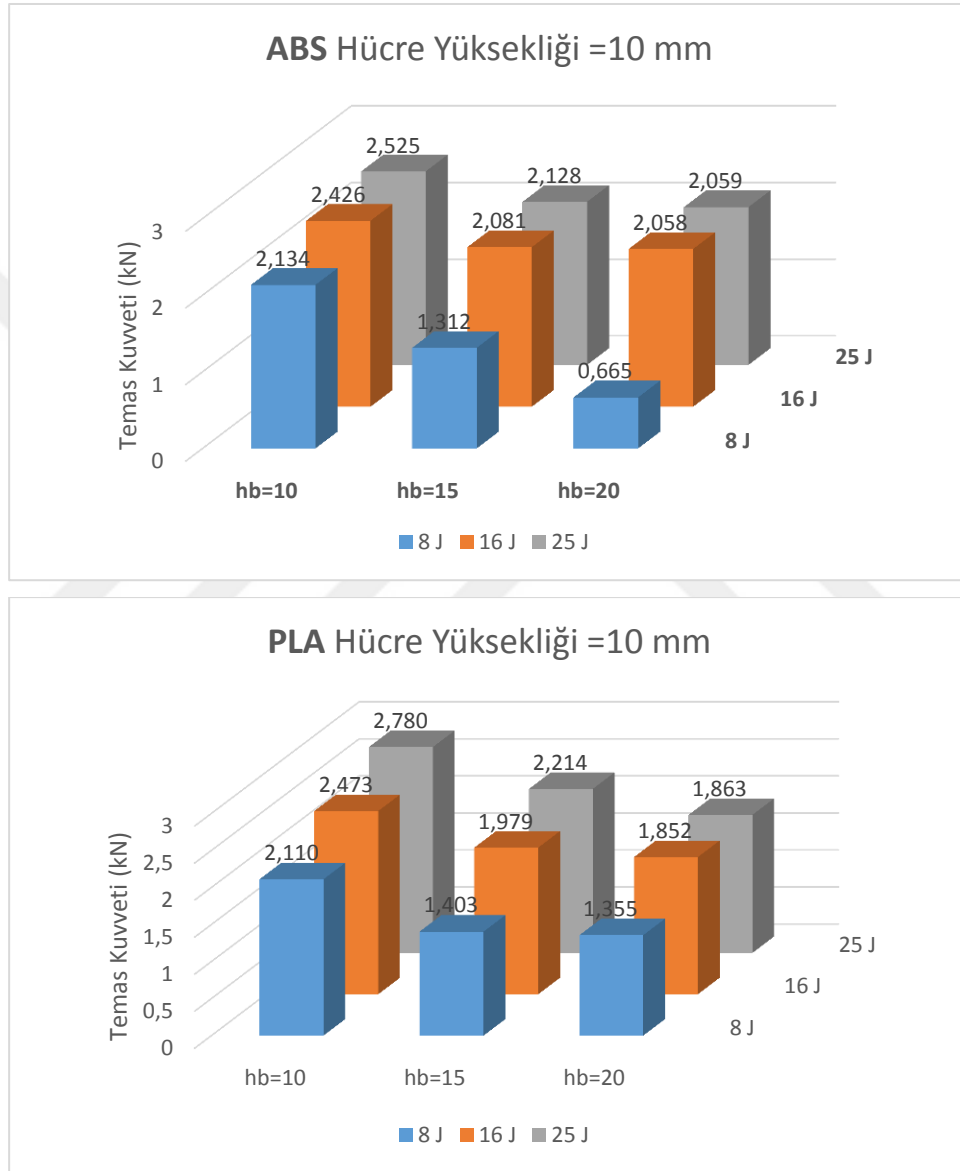
Şekil 5.23’de görüldüğü gibi üç farklı darbe enerji değeri için (8 J, 16 J, 25 J) bal peteği geometrisindeki ABS termoplastik çekirdek numunelerinin hücre boyutları azaldığında, elde edilen maksimum temas kuvveti değerlerinde de artışlar belirlenmiştir. Uygulanan darbe enerjilerinde 25 J darbe enerjisinin daha yüksek temas kuvveti elde edilmesini sağladığı görülmektedir. Bunun nedeni ise numune kalınlıklarının aynı olmasından dolayı darbe hızının arttıkça maksimum temas kuvvetinin de artmasıdır, fakat temas süresi pek fazla değişiklik göstermemektedir.

Alt ve üst tabaka kısımları cam elyaf /polyester karışımından meydana gelen sandviç kompozit yapıların PLA termoplastik çekirdek malzemesine sahip numunelerde uygulanan düşük hızlı darbe testinde temas kuvvetinin bal peteği geometrisinin hücre boyutu, hücre yüksekliği ve darbe enerjisi ile değişimi Şekil 5.24’ de karşılaştırılmıştır.

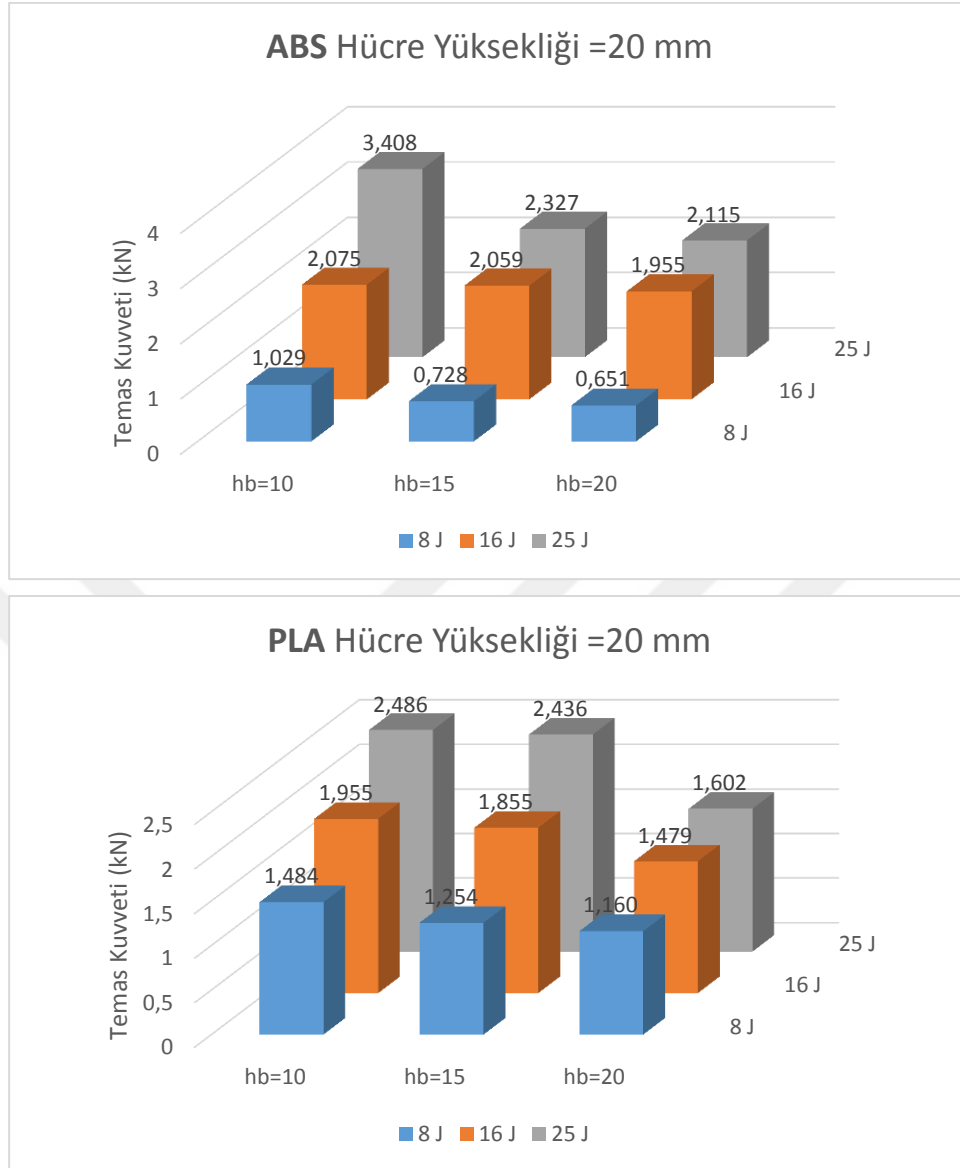


Şekil 5.24. Temas kuvvetinin bal peteği geometrisinin hücre boyutu, hücre yüksekliği ve darbe enerjisi ile değişimi

ABS çekirdek malzemesinde olduğu gibi PLA termoplastik çekirdek numunesinde de hücre boyutuna bağlı olarak temas kuvvetlerinde farklılık görülmektedir. Hücre boyutları küçüldükçe meydana gelen temas kuvvetlerinde artış meydana gelmektedir. Görüldüğü gibi aynı darbe enerjilerine maruz bırakılan iki farklı malzemeden ABS malzemesini temas kuvvetinin daha fazla olduğu ayrı ayrı enerjilere bakılarak da görülmektedir.



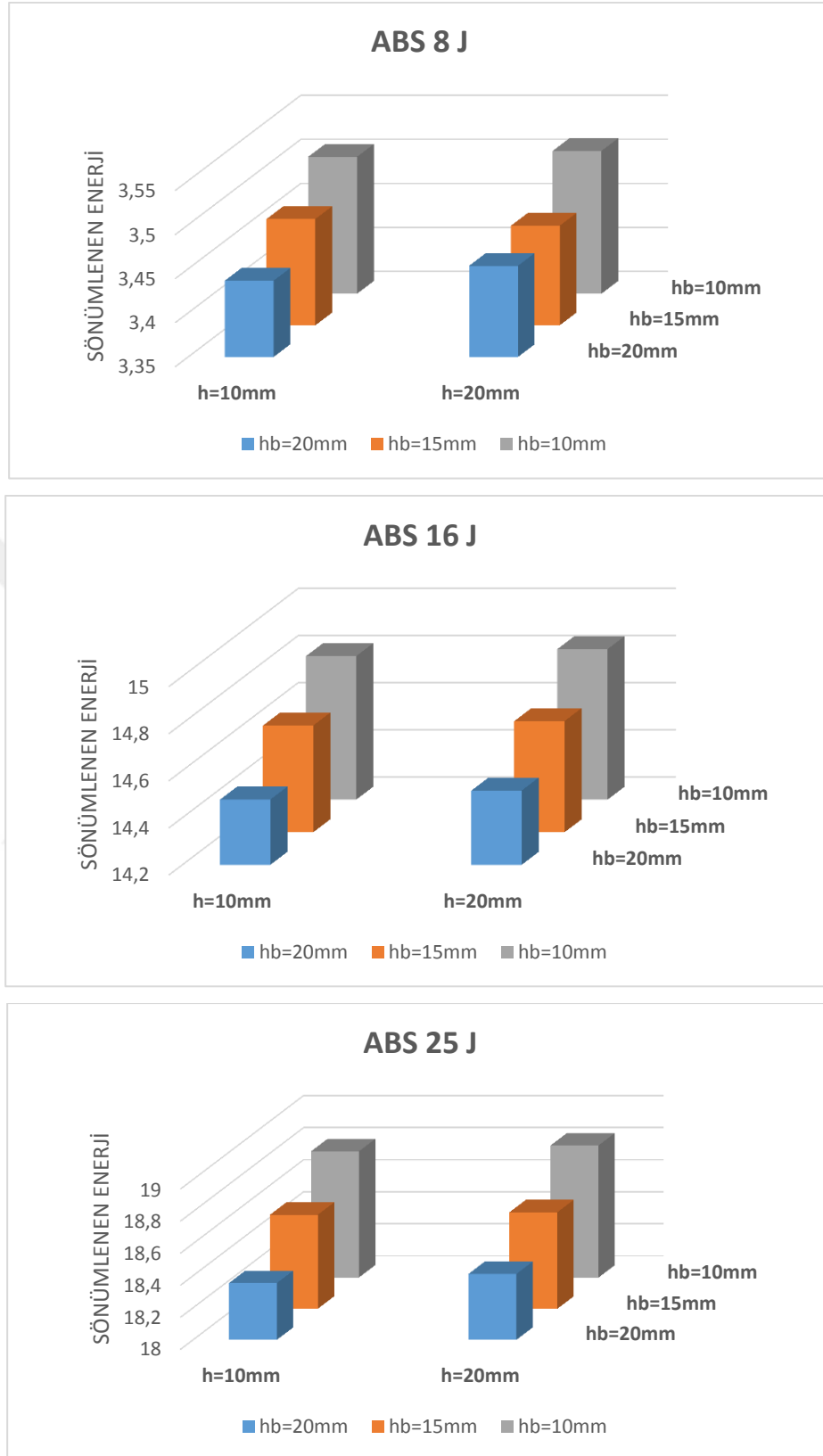
Şekil 5.25. Darbe deneyi sırasında ABS-PLA hücre boyutunun maksimum temas kuvvete etkisi



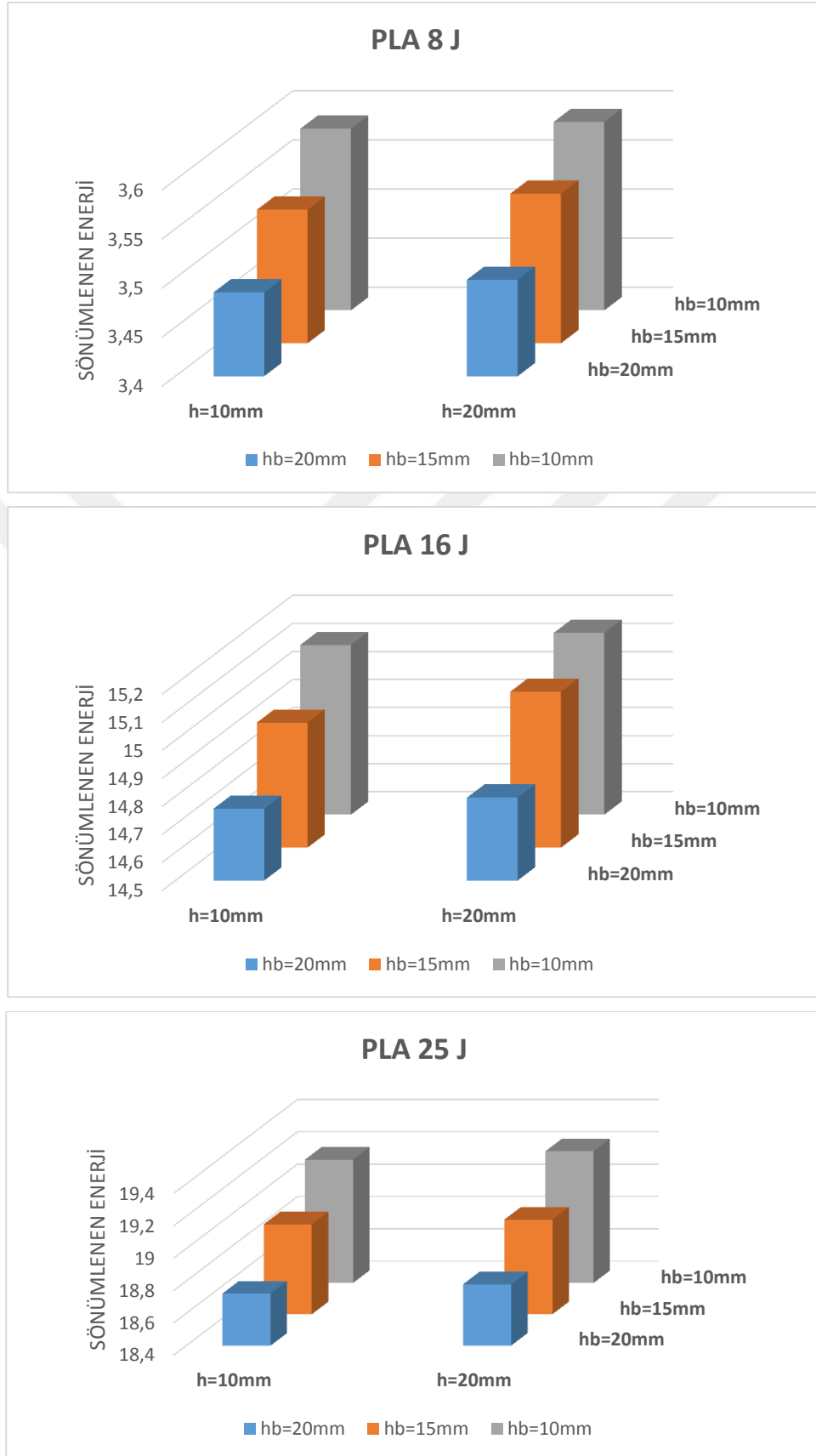
Şekil 5.25. Darbe deneyi sırasında ABS-PLA hücre boyutunun maksimum temas kuvvete etkisi (Devamı)

Hücre boyutlarının farklı enerji seviyelerine bağlı olarak düşük hızlı darbe testleri sırasında görülen maksimum temas kuvvetine etkisi Şekil 5.25’de verilmiştir. Hücre yükseklikleri sabit tutularak üç farklı darbe enerjilerinde grafikte de görüldüğü gibi hücre boyutu arttıkça hem ABS malzemesinin hemde PLA malzemesinin maksimum temas kuvvetinin arttığı görülmektedir.

Çekirdek kısmı ABS ve PLA termoplastik malzemesinden oluşan bal peteği sandviç kompozit numunelerin düşük hızlı darbe testlerinde absorbe edilen enerji miktarları Şekil 5.26’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.26. Darbe deneyi sırasında ABS malzemelerinin sönümlendiği enerji miktarları



Şekil 5.27. Darbe deneyi sırasında PLA malzemelerinin sönümlendiği enerji miktarları

Şekil 5.26 ve 5.27’de verilen sonuçlar üç farklı darbe enerjisi ile yapılan testlerde (8 J, 16 J, 25 J) her iki hücre yüksekliğinde de hücre boyutunun azalmasının sandviç numunelerin sönümlendiği enerji miktarını arttırdığını göstermiştir.

Darbe sırasında sönümlenen enerjiye etki eden başka bir faktör ise plakanın kalınlığı ve malzemesidir. Oldukça sert bir yapıya sahip olan cam elyaf/ polyester karışımından oluşan plakaların kalınlığı aynı olduğundan 8 J, 16 J, ve 25 J’da hem ABS hem de PLA malzemelerinin enerji sönümlerinde birbirine çok çok yakın çıkmıştır. Her ikisinde de 8J darbe enerjisinde etkilenmeyip 16 J ve 25 J enerjilerinde tabakaları benzer şekilde delinmiştir. 16 J ve 25 J darbe testlerinde, milin ucunun temas ettiği noktalarda fiziksel kırılmalar, cam elyafta kopmalar ve yüzeyde delaminasyonlar meydana gelmiştir.



6. SONUÇLAR

Bu çalışmada 36 adet çekirdek kısmı PLA ve ABS termoplastik malzeme olan sandviç kompozit numuneleri üç farklı darbe enerjisinde düşük hızda darbe testine maruz bırakarak bu numunelerin enerji sönümlene kabiliyetleri ve maksimum temas kuvvetleri incelenmiştir. Düşük hızda darbe testinde hücre boyutu ve hücre yükseklikleri parametrelerinin değişimi ile enerji yutma performansındaki etkileri incelenmiştir. Cihazdan okunan veriler ile kuvvet-zaman ve enerji-zaman grafikleri elde edilerek, Ansys Workbench paket programında sayısal analizleri yapılan sonuçlar ile kıyaslama yapılmıştır. Hücre boyutu ve yüksekliğine bağlı olarak sandviç kompozit yapıların emdiği enerji miktarlarında da farklılıklar gözlemlenmiştir.

Aynı modelde olan ve aynı teknikte üretilen ABS ve PLA çekirdek malzemelerinin yapılan düşük hızda darbe testi sonucunda farklı tepkiler verdiği gözlemlenmiştir. Hücre boyutu ve hücre yüksekliği aynı olan farklı iki çekirdek malzemesine sahip (ABS-PLA) numunelerde aynı enerji seviyelerinde teste tabi tutulduklarında PLA termoplastik çekirdek numunesinin ABS termoplastik çekirdek numunesine kıyasla daha fazla enerjiyi yuttuğu belirlenmiştir. Yapılan testte darbe davranışları hakkında maddeleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Çekirdek malzemeleri ABS ve PLA olan sandviç kompozitlerde 8 J, 16 J ve 25 J darbe enerjilerinde sönümledikleri enerji miktarları deneysel olarak her iki malzemede de birbirine yakın değerler çıkmıştır.
- ABS ve PLA numunelerinde üç farklı enerji seviyelerinde hücre boyutları azaldığında elde edilen temas kuvvetleri de artmıştır.
- Aynı darbe enerjilerine maruz bırakılan iki farklı malzemeden ABS malzemesinin temas kuvveti PLA malzemesine göre daha fazla çıkmıştır.
- ABS ve PLA numunelerinin her iki hücre yüksekliğinde de hücre boyutunun azalmasının sandviç numunelerin sönümlendiği enerji miktarını arttırdığı gözlenmiştir.
- ABS ve PLA numunelerinin 8 J, 16 J ve 25 J da hücre boyutu değişmeden hücre yüksekliklerinin iki katına çıkarılması sonucu temas kuvvetinde de azalmalar meydana gelmiştir.
- Yapılan her bir darbe enerjisi için 8 J da her iki malzemede de plaka delinmeden vurucu noktasına yakın yerlerde çatlamlar olurken 16 J ve 25 J da her iki numunede de plaka altına nüfuz eden kırılmalar gerçekleştirilmiştir.
- Delinme sınır değerlerine ulaşıncaya kadar her iki numunede de temas süreleri artmış, delinmeden sonra ise azalmıştır.

KAYNAKLAR

- [1]. Jiefu Liu, Wensu Chen, Hong Hao, Zhonggang Wang, " Numerical study of low-speed impact response of sandwich panel with tube filled honeycomb core", Volume 220, (2019).
- [2]. İlyas Türkmen., N. Sinan Köksal, " Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozit Malzemelerde (CTP) Elyaf Tabaka Sayısına Bağlı Mekanik Özelliklerin ve Darbe Dayanımının İncelenmesi", C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, (2013).
- [3]. Ümrhan E., Haluk K., " Düşük Hızlı Darbe Yüküne Maruz Kompozit Plakalara Asidik Ortamın Etkisi", Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, (2019).
- [4]. Melis Y., Buket Okutan B., " The effect of curvature on the impact response of foam-based sandwich composite panels", Steel and Composite Structures, (2016).
- [5]. Zheng He., Xuan Gu., Xiaoyu Sun., Jianxin Teng., YingShu Pang., " Experimental and numerical study of low impact damage in composite materials", International Core Journal of Engineering, (2017).
- [6]. Md. Muslim Ansari., Anupam Chakrabarti., M Ashraf Iqbal., " Effects of Impactor and other Geometric Parameters on Impact Behavior of FRP Laminated Composite Plate", AMSE JOURNALS, (2016).
- [7]. T Sreekantha R., K Mogulanna, K Gobinadha R., P Rama S., Vemuri M., "Effect of thickness on behaviour of E-glass / epoxy composite laminates under low velocity impact", Procedia Structural Integrity, (2019).
- [8]. Kemal Arslan, Recep Güneş, M.Kemal A., "Alüminyum Plakalar İle Takviyelendirilmiş Alüminyum Bal Peteği Sandviç Yapıların Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının İncelenmesi", V. Ulusal Havacılık Ve Uzay Konferansı, (2014).
- [9]. Ali Karacan, " Darbe Sonrası Farklı Ortam Koşullarına Maruz Bırakılan Kompozit Plakaların Basma Dayanımlarının Deneysel Olarak İncelenmesi", Isparta Makine Mühendisliği ABD. , (2018).
- [10]. Arslan Kemal, Güneş Recep., Experimental damage evaluation of honeycomb sandwich structures with Al/B4C FGM face plates under high velocity impact loads, Volume 202, 15 October 2018, Pages 304-312
- [11]. Xie S. ve Zhou, H., 2015, Analysis and optimisation of parameters influencing the outof-plane energy absorption of an aluminium honeycomb, Thin-Walled Structures, 89, 169-177.
- [12]. Galehdari SA, Kadkhodayan M, Hadidi-Moud S (2015) Low velocity impact and quasi-static in-plane loading on a graded honeycomb structure; experimental, analytical and numerical study. Aerospace Science and Technology 47:425–433. doi: 10.1016/j.ast.2015.10.010
- [13]. Schubel PM, Luo J-J, Daniel IM (2007) Impact and post impact behavior of composite sandwich panels. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 38:1051–1057. doi: 10.1016/j.compositesa.2006.06.022
- [14]. Freeman B, Schwingler E, Mahinfalah M, Kellogg K (2005) The Effect of LowVelocity Impact on the Fatigue Life of Sandwich Composites. Composite Structures 70:374–381. doi: 10.1016/j.comstruct.2004.09.027
- [15]. Tolga Topkaya, " Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Darbe Ön Hasarı Sonrası Yorulma Davranışlarının Araştırılması ", Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği ABD. , (2017).Galehdari SA, Kadkhodayan M, Hadidi-Moud S (2015) Low velocity impact and quasi-static in-plane loading on a graded honeycomb structure; experimental, analytical and numerical study. Aerospace Science and Technology 47:425–433. doi: 10.1016/j.ast.2015.10.010

- [16]. M.Yavuz Solmaz, Eyüp Çelik, ‘‘3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Mekanik Performanslarının Araştırılması’’ , Fırat Üniveristesi Makine Mühendisliği Mekanik ABD. , (2019).
- [17]. <https://www.ceyrekmuhendis.com/kompozit-malzeme-nedir/>
- [18]. N. Arslan, M. O. Kaman Alüminyum, Kağıt ve Cam Elyaf Petek Yapılı Kompozitlerin Üretim Teknikleri Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması DEÜ mühendislik fakültesi fen ve Mühendislik dergisi Cilt:4, Sayı:3, Sh.113-123 Ekim 2000
- [19]. <https://www.slideshare.net/DuranTuncel1/balpetei-kompozitler-56210673>.
- [20]. H. Akkuş, ‘‘ Bal Peteği Yapıların Mekanik Davranışlarının Nano Parçacık Takviyeli Yapıştırıcı Kullanılarak Deneysel Ve Teorik Olarak Araştırılması’’, Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği ABD. , (2016).



ÖZGEÇMİŞ

İsa KARATAŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Yeri : Elazığ
Doğum Yılı : 01/03/1993
Uyruğu : T.C.
Adres : Sürsürü Mahallesi Sokullu Sokak Toprak Sitesi 2 B Blok No:10 Kat:5 ELAZIĞ
E-posta : krts2323.mkna@gmail.com
Yabancı Diller : İngilizce

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans : Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalı
Lisans : Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği
Lise : Elazığ Atatürk Anadolu Lisesi