

**EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLMİŞ BALPETEĞİ
KOMPOZİT LEVHALARIN MEKANİK DAVRANIŞLARININ
ARAŞTIRILMASI**

HALUK YORGUN

ŞUBAT 2024

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLMİŞ BALPETEĞİ
KOMPOZİT LEVHALARIN MEKANİK DAVRANIŞLARININ
ARAŞTIRILMASI**



HALUK YORGUN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

ŞUBAT 2024

DİYARBAKIR

EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLMİŞ BALPETEĞİ KOMPOZİT LEVHALARIN MEKANİK DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

Haluk YORGUN tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Kadir TURAN
Danışman, **Makine Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Mete Onur KAMAN (*)
Makine Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir TURAN (**)
Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN
Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 13 / 02 / 2024

(*) Jüri Başkanı.

(**) Tez Danışmanı.



Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Haluk YORGUN

İmza:

TEŞEKKÜR

Danışmanım Prof. Dr. Kadir TURAN hocama yüksek lisans tezimin daha fikir aşamasında, deney numunelerini oluşturmada, deney sırasında laboratuvardaki yardımında, tez yazımındaki düzeltmelerde, grafiklerin oluşturulmasında ve yorumlanmasında verdiği destekten ötürü çok teşekkür ederim.

Deney sırasında; analizlerin yorumlanmasında, grafiklerin çizim aşamasında ve laboratuvarında sunduğu destek ve yol göstericiliği için Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN hocama çok teşekkür ederim.

Tez ile ilgili formların doldurulmasında ve tez aşamasında her türlü yardımı gösterdiği için Dr. Öğr. Üyesi Mesut HÜSEYİNOĞLU hocama çok teşekkür ederim.

Tez savunma sınavımın Jüri Başkanı Prof. Dr. Mete Onur KAMAN hocama tez ile ilgili önerileri için çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olup beni destekleyen aileme de sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
ABSTRACT.....	xviii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. EKLEMELİ İMALAT	9
3.1 Eklemeli İmalatın Tarihçesi	10
3.2 Eklemeli İmalat Süreci.....	13
3.2.1 Adım 1: CAD	13
3.2.2 Adım 2: STL'ye dönüştürme	14
3.2.3 Adım 3: Eklemeli imalat makinesine aktarma ve STL dosyası işleme.....	14
3.2.4 Adım 4: Makine kurulumu.....	14
3.2.5 Adım 5: Yapı	14
3.2.6 Adım 6: Kaldırma.....	14
3.2.7 Adım 7: İşlem sonrası.....	14
3.2.8 Adım 8: Uygulama.....	15
3.3 Eklemeli İmalat Yöntemleri.....	15
3.3.1 Ergiyik biriktirme yöntemi (FMD)	16
3.3.2 Stereolitografi (SLA).....	17
3.3.3 Dijital ışık işleme (DLP)	18
3.3.4 Seçici lazer ergitme (SLM/SLS)	19
3.3.5 Bağlayıcı püskürtme (BJ).....	20

3.3.6	Malzeme püskürtme	21
3.3.7	Laminatlı obje üretimi (LOM)	22
3.3.8	Elektron ışınli ergitme (EBM).....	24
3.4	Eklcmcli İmalatın Avantaj ve Dezavantajları.....	25
3.5	3D Yazıcı Filamentler	25
3.5.1	PLA filament	27
3.5.2	ABS filament	28
3.5.3	PETG filament.....	28
3.5.4	Antibakteriyel filament.....	28
3.5.5	Ahşap filament	29
3.5.6	Esnek PLA filament.....	29
3.5.7	Karbon fiberler	30
3.5.8	PC (Polikarbonat) filament.....	30
3.5.9	Naylon filament	30
3.5.10	HIPS.....	30
3.5.11	PVA	31
3.6	Eklcmcli İmalat Teknolojisinin Uygulama Alanları	31
3.7	Eklcmcli İmalat Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları	32
3.7.1	Avantajları	32
3.7.2	Dezavantajları.....	32
4.	KOMPOZİT MALZEMELER.....	33
4.1	Kompozitler.....	33
4.1.1	Kompozitin yapısı	34
4.1.2	Kompozit malzemelerin avantajları	35
4.1.3	Kompozit malzemelerin dezavantajları.....	38
4.1.4	Kompozit malzemelerin uygulanma alanları	39
5.	BALPETEĞİ KOMPOZİT LEVHALAR.....	40

5.1	Çekirdek (Core) Malzeme ve Özellikleri	40
5.2	Petek Yapılı (Honeycomb) Core Malzemeler	41
5.2.1	Hexagonal core.....	41
5.2.2	Ox-core.....	42
5.2.3	Flex-core	42
5.3	Bal Peteği Kompozit Levhalar	43
5.4	Petekli Yapı Çekirdek Üretim Yöntemleri	45
5.4.1	Uzatarak şekil verme yöntemi.....	46
5.4.2	Kıvrırma yöntemi	46
5.5	Petekli Sandviç Kompozit Malzemelerin Üretim Metodları.....	47
5.5.1	Sıcak pres yöntemi	47
5.5.2	Vakum yöntemi.....	48
5.5.3	Kalıplama yöntemi	49
5.6	Balpetek Yapılı Sandviç Kompozitlerde Hasar Türleri.....	50
6.	MALZEME VE YÖNTEM	51
6.1	Deney İçin Hazırlık	51
7.	BULGULAR VE TARTIŞMA	61
7.1	Üç Nokta Eğme Deneyi ve Sonuçları.....	62
7.2	ABS Malzemesi İle İmal Edilen Numuneler.....	63
7.2.1	E-Tip1 ABS içi boş 1,2 ve 3 nolu numuneler	63
7.2.2	E-Tip2 ABS kesik koni 1,2 ve 3 nolu numuneler	64
7.2.3	E-Tip3 ABS kum saati 1,2 ve 3 nolu numuneler	65
7.2.4	E-Tip4 ABS altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numuneler.....	66
7.3	PLA Malzemesi İle İmal Edilen Numuneler.....	68
7.3.1	E-Tip1 PLA içi boş 1,2 ve 3 nolu numuneler	68
7.3.2	E-Tip2 PLA kesik koni 1,2 ve 3 nolu numuneler	69
7.3.3	E-Tip3 PLA kum saati 1,2 ve 3 nolu numuneler	69

7.3.4	E-Tip4 PLA altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numuneler	70
7.4	Basma Deneyi ve Sonuçları.....	72
7.5	ABS Malzemesi İle İmal Edilen Numuneler.....	73
7.5.1	B-Tip1 ABS içi boş 1,2 ve 3 nolu numuneler	73
7.5.2	B-Tip2 ABS kesik koni 1,2 ve 3 nolu numuneler	74
7.5.3	B-Tip3 ABS kum saati 1,2 ve 3 nolu numuneler	75
7.5.4	B-Tip4 ABS altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numuneler	76
7.6	PLA Malzemesi İle İmal Edilen Numuneler.....	78
7.6.1	B-Tip1 PLA içi boş 1,2 ve 3 nolu numuneler	78
7.6.2	B-Tip2 PLA kesik koni 1,2 ve 3 nolu numuneler	78
7.6.3	B-Tip3 PLA kum saati 1,2 ve 3 nolu numuneler	79
7.6.4	B-Tip4 PLA altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numuneler.....	80
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
8.1	Sonuçlar.....	83
8.2	Öneriler.....	85
	KAYNAKLAR	87
	ÖZGEÇMİŞ	92

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Üretim süreçleri.	1
Şekil 3.1 Eklemeli üretim ile üretilmiş parçalar a) FAA onaylı T25 sıcaklık basınç sensörü (b) Rolls-Royce Trent XWB motoruna ait ön rulman yatağı görünüşü.....	9
Şekil 3.2 3D baskılı hücresel döngü sandalye.....	10
Şekil 3.3 3D yazıcı ile imal edilen ilk araba Urbee	12
Şekil 3.4 Sekiz aşamanın tümünü gösteren cad'in genel süreci	13
Şekil 3.5 Ergiyik biriktirme yönteminin çalışma prensibi	16
Şekil 3.6 SLA çalışma prensibinin gösterimi.....	18
Şekil 3.7 DLP yönteminin çalışma ilkesi.....	19
Şekil 3.8 SLM/SLS yönteminin çalışma prensibi.....	20
Şekil 3.9 Bağlayıcı püskürtme yönteminin çalışma prensibi	21
Şekil 3.10 Malzeme püskürtme şematığının gösterimi	22
Şekil 3.11 Laminatlı obje üretimi yönteminin çalışma prensibinin gösterimi	23
Şekil 3.12 200 mm x 200 mm Nextel 312/Blackglas reçine kompozit, LOM/kompozit şekillendirme eklemeli üretim prosesi kullanılarak üretilmiştir.....	23
Şekil 3.13 EBM prosesinin şematik olarak gösterim şekli	24
Şekil 3.14 EBM kullanılarak imal edilen Ti6Al4V alaşımlı yardımcı yapılar	25
Şekil 3.15 Eklemeli üretimin avantajları ve zorluklarının özeti	26
Şekil 3.16 Eritilerek dökülen plastik malzeme (filament)	27
Şekil 3.17 PLA filament örneği	27
Şekil 3.18 ABS filament ile imalat edilen lego parçaları.....	28
Şekil 3.19 Antibakteriyel filamentleri ile imal edilmiş malzemeler	29
Şekil 3.20 Ahşap filament örneği.....	29
Şekil 3.21 Esnek PLA filament örneği.....	30
Şekil 3.22 Otomobilde eklemeli imalat uygulamaları.....	31
Şekil 3.23 Eklemeli imalatın kullanıldığı sektörler.....	32
Şekil 4.1 Kompozit malzeme	33
Şekil 4.2 Kompozitin yapısı.....	35
Şekil 4.3 Betonarme betonun içindeki matris ve fiberler.....	35
Şekil 4.4 Korozyon örnekleri	36
Şekil 4.5 (a) Kompozit tekne, (b) Karbon fiber pervane örnekleri	37

Şekil 4.6 Farklı mühendislik malzemelerinin genel olarak mukayese edilmesi	38
Şekil 4.7 İki farklı yöntem ile üretilen kompozit malzemenin floresan ışığı altında incelenmesi.....	38
Şekil 4.8 Kompozit malzemeler, birçok önemli özelliği beraberinde bulundurması nedeniyle bazı sektörde tercih edilip kullanılmaktadır	39
Şekil 5.1 Yüksek performanslı çekirdek (core) malzeme	40
Şekil 5.2 Sandviç panel	41
Şekil 5.3 Hexagonal core	41
Şekil 5.4 Ox-core	42
Şekil 5.5 Flex-core	42
Şekil 5.6 Akustik paneller ve motor üzerindeki konumu.....	43
Şekil 5.7 Sandviç panelin imalat aşamaları; a) Demontaj vaziyeti, b) Montaj vaziyeti	44
Tablo 5.8 Hücre çeşitleri	45
Şekil 5.9 Uzatarak şekil verme yönteminin şematik gösterimi.....	46
Şekil 5.10 Kıvrırma yönteminin şematik gösterimi	46
Şekil 5.11 Sıcak pres yönteminin şematik olarak gösterimi	47
Şekil 5.12 Sıcak pres yöntemiyle imal edilmiş örnek bir kompozit yapı.....	48
Şekil 5.13 Vakum yönteminin şematik olarak gösterimi	48
Şekil 5.14 Vakum yöntemi ile imal edilmiş sandviç kompozit	48
Şekil 5.15 Kalıplama yönteminin şematik gösterimi	49
Şekil 5.16 Kalıplama yöntemiyle imal edilmiş örnek bir kompozit yapı	49
Şekil 5.17 Üç nokta eğilme testi sırasında sandviç kompozitte oluşan gerilmeler	50
Şekil 5.18 Balpeteği sandviçlerin hasar çeşitleri.....	50
Şekil 6.1 Balpeteği çekirdek kısmının üç boyutlu yazıcı kullanılarak imalatı.....	51
Şekil 6.2 Çalışmada incelenen balpeteği kompozitin çekirdek kısımları ve geometrik özellikleri	52
Şekil 6.3 Eğilme deneyi için hazırlanmış PLA ve ABS malzemelerden üretilmiş numune örnekleri	53
Şekil 6.4 Basma deneyi için hazırlanmış PLA ve ABS malzemelerden üretilmiş numune örnekleri	54
Şekil 6.5 Yüzey örtüsü olarak kullanılan kompozit levha	54
Şekil 6.6 Kompozit tabakanın kesim aşaması.....	55

Şekil 6.7 Hazırlanmış olan kompozit yüzey örtüleri (a) 50 mm x 170 mm,	
(b) 50 mm x 85 mm.....	55
Şekil 6.8 Deney numunelerinin adlandırma işlemi	56
Şekil 6.9 Tip2-PLA (50 mm x 170 mm) kesik koniye ait numunenin tartılma	
işlemi	57
Şekil 6.10 Yüzey örtüsünün tartılma işlemi	58
Şekil 6.11 Yapıştırıcı malzemenin kullanılması (a) Epoksi yapıştırıcı (b) Çekirdek yapı	
ile yüzey örtüsünün yapıştırılması	60
Şekil 6.12 Yapıştırıcının kuruması sonrası deneye hazır olan balpeteği kompozit	
numuneler.....	60
Şekil 7.1 Çekme-basma test cihazı.....	61
Şekil 7.2 Deney numunelerinin adlandırılma yöntemi	62
Şekil 7.3 Eğilme deneyinin açıklanması	62
Şekil 7.4 E-Tip1 ABS içi boş 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği.....	63
Şekil 7.5 E-Tip2 ABS kesik koni 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği ..	64
Şekil 7.6 E-TİP2-ABS-KK-1 nolu numunede oluşan hasarlar	64
Şekil 7.7 E-Tip3 ABS kum saati 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği....	65
Şekil 7.8 E-TİP3-ABS-KS-1 nolu numunede oluşan hasarlar	65
Şekil 7.9 E-Tip4 ABS altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim	
grafiği	66
Şekil 7.10 E-TİP4-ABS-AD-3 nolu numunede oluşan hasar	66
Şekil 7.11 ABS eğilme karşılaştırma grafiği	67
Şekil 7.12 E-Tip1 PLA içi boş 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği.....	68
Şekil 7.13 E-Tip2 PLA kesik koni 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim	
grafiği	69
Şekil 7.14 E-Tip3 PLA kum saati 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği..	69
Şekil 7.15 E-TİP3-PLA-KS-2 nolu numunede oluşan hasarlar	70
Şekil 7.16 E-Tip4 PLA altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim	
grafiği	70
Şekil 7.17 PLA eğilme karşılaştırma grafiği.....	71
Şekil 7.18 ABS ile PLA'nın eğilme testi karşılaştırılması.....	72
Şekil 7.19 (a) Metal levhanın basma deneyi için giyotin makasında kesilme işlemi	
(b) Kesim sonrası hali	73

Şekil 7.20 B-Tip1 ABS içi boş 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği	73
Şekil 7.21 B-TİP-PLA-İB-1 nolu numunede oluşan hasarlar	73
Şekil 7.22 B-Tip2 ABS kesik koni 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği	74
Şekil 7.23 B-TİP2-ABS-KK-3 nolu numunede oluşan hasar	75
Şekil 7.24 B-Tip3 ABS kum saati 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği	75
Şekil 7.25 B-TİP3-KS-2 nolu numunede oluşan hasarlar	76
Şekil 7.26 B-Tip4 ABS altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği	76
Şekil 7.27 ABS basma karşılaştırma grafiği	77
Şekil 7.28 B-Tip1 PLA içi boş 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği	78
Şekil 7.29 B-Tip2 PLA kesik koni 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği	78
Şekil 7.30 B-Tip3 PLA kum saati 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği	79
Şekil 7.31 B-TİP3-PLA-KS-1 nolu numunede oluşan hasar	80
Şekil 7.32 B-Tip4 PLA altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafikleri	80
Şekil 7.33 PLA basma karşılaştırma grafiği	81
Şekil 7.34 ABS ile PLA'nın basma testi karşılaştırılması	82

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 Eklemeli imalat yöntemleri.....	15
Tablo 6.1 Eğilme deneyi için üretilen ABS malzemeye ait numunelerin özellikleri.	57
Tablo 6.2 Eğilme deneyi için üretilen PLA malzemeye ait numunelerin özellikleri.	58
Tablo 6.3 Basma deneyi için üretilen ABS malzemeye ait numunelerin özellikleri .	59
Tablo 6.4 Basma deneyi için üretilen PLA malzemeye ait numunelerin özellikleri .	59
Tablo 7.1 ABS numuneler için elde edilen eğilme mukavemet değerleri	67
Tablo 7.2 PLA numuneler için elde edilen eğilme mukavemet değerleri.....	71
Tablo 7.3 ABS numuneler için elde edilen basma mukavemet değerleri	77
Tablo 7.4 PLA numuneler için elde edilen basma mukavemet değerleri	81

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
%	Yüzde
mm	Milimetre
m	Metre
mm ²	Milimetre kare
mm ³	Milimetre küp
~	Yaklaşık
μm	Mikrometre
°C	Santigrat Derece
g	Gram
kN	Kilo Newton
N	Kuvvet
dk	Dakika
Kısaltma	Açıklama
CNT	Karbon Nanotubes
CNC	Computer Numerical Control
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
CFRP	Karbon Fiber-Reinforced Polymer
FAA	The Federal Aviation Administration
3B	Üç Boyutlu
SLA	Stereolithography
FDM	Fused Deposition Modelling
CAD	Computer Aided Desing
MIT	Massachusetts Institute of Technology
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
STL	Standart Triangle Language
3D	3 Boyutlu

DLP	Digital Light Processing
SLM	Selective Laser Melting
BJ	Binder Jetting
LOM	Laminated Object Manufacturing
EBM	Electron Beam Melting
DMLS	Direk Metal Lazer Sinterleme
PLA	Polylactic Acid
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
PETG	Polyethylene Terephthalate Glycol-modified
AVM	Alışveriş Merkezi
PC	Polikarbonat
HIPS	High Impact Polystyrene
PVA	Polivinil alkol
Eİ	Eklemeli İmalat
PU	Poliüretan
PVC	Polivinil Klorür
PET	Polietilen Teraftalat
PMI	Polymethacrylimid
ASTM	American Society for Testing and Materials
PLS	Kısmi En Küçük Kareler
İB	İçi Boş
KK	Kesik Koni
KS	Kum Saati
AD	Altıgen Dolgu

ÖZET

EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLMİŞ BALPETEĞİ KOMPOZİT LEVHALARIN MEKANİK DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

YORGUN, Haluk

Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü

Danışman: Prof. Dr. Kadir TURAN

Şubat 2024, 110 sayfa

Bu çalışmada; eklemeli imalat ile üretilmiş olan farklı hücre yapılarına sahip balpeteği kompozit levhalara üç nokta eğilme testi ve basma testi uygulanarak yapıların mekanik davranışları araştırılmıştır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile PLA (Polylactic Acid) ve ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) malzemeden yararlanılarak bal peteği çekirdek kısmı üretilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılmak amacıyla 4 farklı çekirdek yapısına sahip 48 adet kompozit numunenin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bunlar içi boş, kum saati formunda, kesik koni şeklinde ve altıgen dolgulu balpeteği çekirdek yapıları numunelerden oluşmaktadır. Ayrıca hazırlanan yapılar kompozit yüzey örtüsü ile kaplanmıştır. Farklı malzeme türlerinin ve farklı çekirdek kısımların kompozit levhalar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan testler ile yük-sehim ve yük-deplasman grafikleri çizilerek eğilme mukavemet yükleri ve basma mukavemet yükleri sayısal olarak verilmiştir. Elde edilen veriler grafikler halinde sunulmuştur. Sonuç olarak görülmüştür ki; PLA malzemeden üretilen kompozit yapıların ABS malzemeye göre daha iyi mekanik özelliğe sahip olduğu, kompozit çekirdekli balpeteği kompozit yapıların minimum hafiflik ve maksimum mukavemet sağladığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Eklemeli üretim, kompozit malzemeler, balpeteği kompozit levhalar ve mekanik davranışlar

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF HONEYCOMB COMPOSITE PLATES PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING

YORGUN, Haluk

Master of Science, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kadir TURAN

February 2024, 110 pages

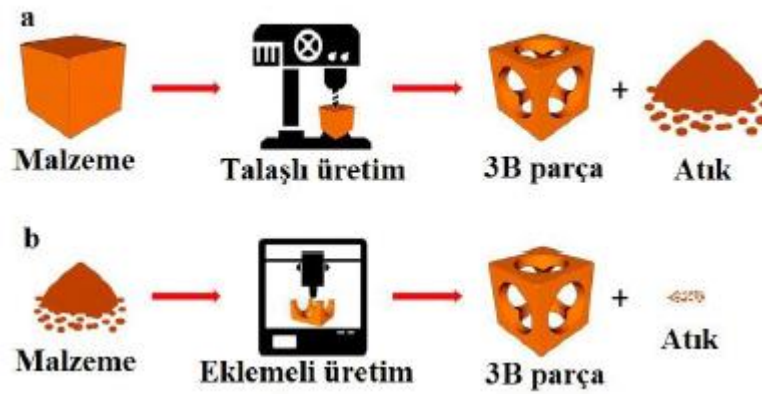
In this study; The mechanical behavior of the structures was investigated by applying three-point bending test and compression test to honeycomb composite plates with different cell structures produced by additive manufacturing. The honeycomb core part was produced using PLA (Polylactic Acid) and ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) materials with three-dimensional printing technology. 48 composite samples with 4 different core structures were produced for use in the experimental study. These consist of hollow, hourglass-shaped, truncated cone-shaped and hexagonally filled honeycomb core structured samples. Additionally, the prepared structures were covered with a composite surface cover. The effects of different material types and different core parts on composite sheets were examined. With the tests carried out, load-deflection and load-displacement graphs were drawn and bending strength loads and compressive strength loads were given numerically. The obtained data are presented in graphs. As a result, it was seen that; It has been observed that composite structures produced from PLA material have better mechanical properties than ABS material, and honeycomb composite structures with composite core provide minimum lightness and maximum strength

Keywords: Additive manufacturing, composite materials, honeycomb composite sheets and mechanical behavior

1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojinin hızlı ve önemli bir şekilde ilerlemesi; eğitim alanında yeniliklerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bilim topluluğu olabilmemiz için teknolojiden yararlanmak zorunlu bir hal almıştır. Bulut bilişim, simülasyon, otonom robotlar, siber güvenlik, nesnelerin interneti, büyük veri gibi birçok teknoloji yaşamımızı kolaylaştırmaktadır. Yaşamımızı kolaylaştıran 3 boyutlu yazıcılar, bilgisayar platformundan nesne tasarlanarak, elle tutulabilir somut objelere kısa bir zamanda çeviren cihazlardır [1].

Üretim, bir ürünün değerini arttıran değişimdir. Üretim modeli ise genel olarak, kâr elde etmek maksadıyla bir ürünün kıymetini arttırmak için ürünün temel bileşenlerinin işlenip içinde bulunduğu biçimden başka bir biçime dönüştürüldüğü düzen olarak tarif edilebilir. Üretim uygulaması değişik metotlarla gerçekleştirilmektedir. Üretim yöntemleri modern imalat, talaşlı imalat ve talaşsız imalat metotları olarak günümüzde tatbik edilmektedir. Talaşlı üretimde frezeleme yöntemleri, tornalama yöntemleri ağırlıklı olarak tercih edilirken talaşsız üretimde ise kaynak ve döküm alt proseslerinden faydalanılmaktadır. Modern üretim yöntemlerinde ise 3 boyutlu yazıcılar ve CNC makinelerden faydalanılmaktadır [2].



Şekil 1.1 Üretim süreçleri [3]

21. yüzyılda teknoloji ile ilgili yükselişlerin hızla ilerlemesiyle birlikte, uzay araçları, hava, deniz ve kara gibi günümüz taşıt araçlarında, gündelik hayatın içine yerleşmiş değişik ürünlerin üretiminde, çeşitli endüstri kollarında ve savunma sanayisinde hem

mukavemeti yüksek hem de ağırlıkça hafif malzemeler imal etmek, kullanmak ve tasarlamak bir zaruret haline dönüşmüştür. Malzemelerin bütün olarak kullanması ağırlık açısından ve ekonomik yönden avantaj sağlamadığı anlaşıldığından dolayı, farklı şekiller ve farklı kombinasyonlar ile sandviç ürün şekline getirilmiş olan malzemelerin kullanılmasına ilişkin çalışmalara başlanmıştır [4].

Çağdaş yapı teknolojileri, yeterli dayanıma sahip yapılar üretebilmek ve aynı zamanda toplam ağırlığı hafifletmeyi amaçladığı için kompozit malzemelerin kullanımı cezbedici bir hal almaktadır. Sandviç yapılar, tercih edilen kompozit malzemelerden biridir. Düşük ağırlıklarından ötürü hafif olup enerji emilimi, ısı yalıtımı, titreşim sönümleme ve yüksek eğilme dayanımı gibi birçok çeşitli niteliklerinden ötürü farklı endüstri sektörlerinde tercih edilmektedir. Eklemeli üretimin, sandviç yapıların üretiminde kullanılması malzemeye ekstra üstünlükler eklemiştir. Bu üstünlüklerin en dikkate alınacak özellikleri, geleneksel metotlarla imal edilmesi epeyce güç ya da olanaksız olan periyodik hücresel çekirdeğin geometrisini ve yapısını değişikliğe uğratarak, geniş bir çapta fonksiyonel ayrıcalıkların programlanabilmesine zemin hazırlayabilmesidir. Aynı zamanda periyodik hücresel yapılar, yüksek enerji emilimi, yüksek rijitlik ve düşük yoğunlukta yüksek eğilme dayanımı gibi pek çok üstünlük kazanmıştır. Eklemeli imalatın sağlamış olduğu geometrik serbestlik sayesinde çok farklı hücresel gereçler, sandviç panellerde çekirdek olarak değerlendirilmekte ayrıca malzeme için aranan fonksiyonel nitelikler hücre başkalaştırılmasıyla elde edilebilmektedir [5].

Eklemeli imalatın bize sağladığı üstün ve etkili özelliklerinden dolayı, hazırlanan bu yüksek lisans tez çalışmasında eklemeli imalat ile elde edilen balpeteği kompozit levhaların mekanik davranışları araştırılmıştır. Bu çalışmada özellikle çekirdek yapının kompozit üzerindeki etkileri araştırılmak istenmiştir. PLA ve ABS esaslı malzemeler deneyde kullanılmıştır. Numunelerin alt ve üst kısımlarında kompozit levhalar kullanılarak yüzey örtüsü oluşturulmuştur. Böylelikle 4 farklı çekirdek tipine sahip olan kompozitler imal edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ise hangi malzeme esaslı üretilen kompozit ve çekirdek yapının daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bharath [6] vd., köpük çekirdekli sandviç kompozitleri 3D ile yazdırıp oluşan yapıların mukavetini incelemişlerdir. Deneyde HDPE (yüksek yoğunluklu poli etilen) filament kullanmışlardır. Çekirdek için ise cam mikro balon (GMB) takviyeli HDPE köpük filamentler tercih etmişlerdir. GMB'nin %20, %40 ve %60 hacim oranlarında HDPE'ye göre hazırlamış olup daha sonra elde edilen köpüklü karışımları filament formuna göre ekstrüde etmişlerdir. Daha sonra malzemeleri eğilme testine tabi tutmuşlardır. GMB'nin eklenmesi sandviç kompozitlerde mukavemeti arttırdığı, 3D baskılı köpük çekirdekli sandviçlerin hiçbirinin kayma hatası nedeniyle kırılmadığı gözlemlenmiştir.

Alshaer ve Harland [7], toz yatağı füzyonu kullanılarak Naylon PA12'den yedi adet çekirdek yapıyı 3 boyutlu olarak basmışlardır. Üç nokta eğme testini kullanarak mukavemetlerini test etmişlerdir. Çekirdek yapıları CFRP yüzey katmanları ile birleştirildikten sonra teste geçmişlerdir. Bu çekirdekler içerisinde en sert ve hasara dayanıklı olan jiroid'in olduğunu belirtip, numunelerin bu özelliği ile havacılık alanında kullanımını desteklemiş olduklarını belirtmişlerdir.

Xiong [8] vd., bu çalışmada karbon fiber kompozit yumurta ve piramidal petek kirişlerin birbirine geçme metodu kullanılarak üretip, her iki kirişin eğilme özelliklerini incelemişlerdir. Yüzey ezilmesi ve çekirdek ayrılması gibi hasar türlerini saptamışlardır. Ayrıca deneyde sonlu elemanlar yöntemi sayesinde sandviç kirişlerin oranını hesap etmişlerdir.

Hassan [9] vd., hibrit liflerin kullanımı, çekirdek yapısının tasarımı ve nanofillerlerin (CNT'ler) eklenmesi olmak üzere üç tasarım değişkeni incelemişlerdir. Çalışmada CNT'ler ile fiber malzemeler arasında bağın kuvvetli olduğu, Kevlar'a CNT'nin ilave edilmesi kompozitin darbe dayanımını arttırdığını ayrıca CNT'lerin darbe enerjisi arttıkça panelin tokluğunun da arttığı belirtmişlerdir.

Pirouzfaz ve Zeinedini [10], çalışmalarında erimiş filament (FDM) ile üretilmiş olan balpeteğinin eğilme özelliklerini araştırmışlardır. Petek yapıları nomex ve alüminyum malzemelerden imal etmişlerdir. Petek yapılar için 1, 1,5 ve 2 mm olmak üzere üç

farklı hücre duvarı kalınlığını dikkate almışlardır. Bu hücre kalınlıklarının yanında petek yapıları yatay ve dikey yönde de inceleyip sonuç olarak; en büyük eğilme sertliği hücre çeperi kalınlığı 1,5 mm olan dikey çekirdekli sandviç panelde olduğunu tespit etmişlerdir.

Solmaz ve Çelik [11], yaptıkları tez çalışmasında balpeteği yapısına sahip kompozit malzemelere basma yükü uygulayarak numunelerde oluşan hasar tiplerini araştırmışlardır. Bu petekleri 14 ve 25 mm hücre boyutlarında, PLA ve ABS çekirdek yapılarına sahip olan hücre tiplerinden üretmişlerdir. Çalışmada yüzey tabakası olarak cam fiber ve polyester reçine kullanımını tercih etmişlerdir. Eksenel basma testine maruz bıraktıkları numunelerde kritik burkulma yük değerlerini belirlemişlerdir. Kritik burkulma yükü, PLA malzemeden imal edilen 7 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğine sahip olan kompozitte görülüp sayısal değeri 23200 N olarak tespit etmişlerdir. PLA malzemeden üretilen numunelerin ABS'ye göre daha üstün özellikleri olduğunu analiz etmişlerdir.

Ercan [5], bu çalışmada sandviç yapıya sahip olan PLA ve CFR-PLA malzemeden üretilen kompozitlere basma ve üç nokta eğme testleri uygulamış olup eğme deneyine ait numuneleri PLA, basma deneyine ait olan numuneleri ise PLA ve CFR-PLA malzemelerini kullanarak imal etmiştir. Ayrıca bu numunelerin hücre boyutlarını 5x5x5 mm olarak sabitleyip, hücre şekillerini farklı tasarımlarda üretmiştir. Eğme testinin standardı ASTM C393/C393M iken basma testinin standardı ise ASTM C365'e uygun olarak testleri yapmıştır. Deney sonucu PLA ile üretilen numunelerin basma dayanımı daha yüksek, CFR-PLA ile üretilen numunelerin ise kuvvet altında elastik şekil değiştirmesini daha yüksek olarak bulmuştur.

Çelik ve Gür [12], Ergiterek Biriktirme Yöntemini kullanarak 3 boyutlu yazıcı ile imal edilen ABS ve kırılmış karbon fiber numuneleri bu deneyde incelemişlerdir. Numunelerin imal edilmesinde ABS kompozit filamentleri tercih etmişlerdir. Numuneleri 3 boyutlu yazıcı ile üretilip, yazıcının baskı kafasını x eksenini ile 0°/90° ile +45°/-45° arasındaki farklı açılarda ayarlayıp iç yapılarını yazdırmışlardır. Elde ettikleri bu numuneleri çekme testine maruz bırakıp mekanik sonuçlarını

incelemişlerdir. Çekme testi sonucunda ise; numunelerin kırılma yüzeylerini analiz etmişlerdir.

Önal ve Temiz [13], bio çekirdekli sandviç kompozit malzemelere kenar basma testi uyguladıkları bu çalışmada; numuneler üzerinde hasar yükü, çekirdek kalınlığı ve dış yüzey tabaka sayısı gibi etkileri araştırıp, ASTM C364 standardına uygun olarak test yapmışlardır. Çekirdek yapıda çeşitli kalınlıklarda (4 mm, 6 mm, 8 mm ve 10 mm) balsa odunları seçip, dış yüzey tabaka sayısını ise 8 ve 12 tabakalı olarak kaplamışlardır. Ayrıca 0° , $0/90^\circ$ ve $\pm 45^\circ$ diziliminde elyaf epoksi kompozitler tercih etmişlerdir. Kenar basma testi sonucunda çekirdek yapıda hasar oluşumu, ara yüzey ayrılması ve burkulma olduğunu numunelerde gözlemlemişlerdir.

Özsolak [14], bu çalışmada eklemeli imalat yöntemlerini ve kullanılan malzemeleri araştırmıştır. Toz malzemeler, Ti alaşımları ve Al alaşımları gibi malzemelerin eklemeli imalat üretiminde kullanımı ile ilgili bilgiler vermiştir. Böylece eklemeli imalat yöntemlerinde kullanılan malzemelerin esnekliği mümkün kılabilirdiği gibi son parçada da istenilen özellikleri sağladığını belirtmiştir.

Yeşiloğlu [15], eriyik yığma modelleme yöntemi ile PLA malzemeden farklı yoğunluk ve dolgu yapısına sahip parçalar üretmiştir. Hücre boyutları $5 \times 5 \times 5$ mm, izafi yoğunlukları ise %20, %30 ve %50 değerlerindedir. Dolgu geometrilerini ise Cross, Octet ve Gyroid türlerinde yapılar tasarlamıştır. Bu numunelere basma, darbe ve çekme testleri uygulamıştır. En fazla şekil değişimi Cross dolgu geometrisine sahip numunede, en fazla çekme dayanımını ise Octet dolgu geometrisine sahip yapıda olduğunu belirtirken, izafi yoğunluğun artması dolgu geometrisine sahip numunelerin mekanik özelliklerini azalttığını tespit etmiştir.

Özsoy ve Sayın [2], bu deneyde çekme testi için eklemeli imalat metodunun bir yöntemi olan eriyik yığma modelleme yöntemini kullanarak numuneler üretmişlerdir. Çekme deneyini ASTM standartlarına uygun olarak yapmışlardır. Deney için çekme hızını 1 mm/s olarak ayarlamışlardır. 12 adet çekme testi numunesini PLA malzemeden üretmiş olup fan hızı, katman kalınlığı, baskı hızı ve doldurma oranı gibi parametrelerin etkilerini incelemişlerdir. Kısmi En Küçük Kareler (PLS)

algoritmasının çekme dayanımı sonuçlarını 98,3 oranında doğru tespit etmeyi başarmışlardır. Çekme dayanımı sonuçları, doğruluk payının bayağı yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır.

Karabıyık ve Apak [16], mavi renkli polilaktik asit (PLA) malzemelerinden Ergiyik Biriktirme Yöntemi ile üretilen numunelere sertlik ölçümü ve çekme testleri uygulayarak mekanik özellikleri bu çalışmada araştırmışlardır. Dolgusu için eş merkezli, çizgi ve ızgara desenleri seçmişlerdir. Doluluk oranları ise deneyde %20, %60 ve %100 olmak üzere 3 farklı değeri seçmişlerdir. Malzemeleri 20 mm/s, 40 mm/s ve 60 mm/s baskı hızlarında imal etmişlerdir. 3D yazıcı olarak HyperCube makine kullanmayı tercih etmişlerdir. Deney numunelerini ASTM D638-14 standardına göre imal etmişlerdir. Numunelerin doluluk oranındaki artışın çekme mukavemetini arttırdığını ayrıca sertlik değerine etkisinin ise çekme ve uzama verilerine etkisi hakkında bilgi verilmiştir.

Atlıhan [3] vd., bu çalışmada, 3 boyutlu yazıcılar ile hücreli yapı katmanlardan oluşan dörtgen-beşgen-altıgen ve yuvarlak bal peteğe sahip numuneleri imal etmişlerdir. PLA plastik malzemesini numuneleri oluşturmada kullanmışlardır. Oluşturulan bu hücreli yapıların deney numunelerin doğal frekansları üzerindeki etkisini nümerik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyde 150x15x8 mm boyutlarında içi dolu kirişler imal edip her bir kirişin hacmini 4320 mm³ olarak hesaplamışlardır. Tasarlanıp üretimi yapılan kirişe titreşim analizleri uygulanıp elde edilen verileri ANSYS ile karşılaştırmışlardır. Analiz sonuçları doğal frekansların birbirine yakın sonuçları verdiği görülmüş olup balpeteği geometrisinin doğal frekans üzerindeki etkisini belirtmişlerdir.

Gül [17], bu çalışmada; sandviç kompozitlerde kullanılan malzeme türü, ortam sıcaklığı ve kalınlığın mekanik özellikler üzerindeki etkisini üç nokta eğilme testi uygulayarak incelemiştir. Karbon fiber plakalar elle yatırma yöntemiyle; çekirdek yapıları ise nomex, alüminyum ve polipropilen ile imal etmiştir. Deneyde kullanılan çekirdeklerin kalınlığını ise 5 mm ve 20 mm olarak belirlemiştir. Numuneler oda sıcaklığında ve -40 °C’de üç nokta eğilme testine maruz bırakılarak, ortam sıcaklığında numunelerin teste karşı göstermiş oldukları dayanımı araştırmıştır. Ortam sıcaklığı ise

-40 °C'ye sıvı nitrojen sayesinde getirilerek, ASTM C393'e göre test yapıp numunelerin boyutlarını 5x30x130 mm ve 20x30x130 mm olarak hazırlamıştır. Yapılan deneylerden sonra malzemeler üzerinde oluşan deformasyonlar ve malzemedeki deformasyon bölgelerini göstermiştir.

Kıyak ve Kaman [18], bu deneyde, fiber kompozit malzemeden sandviç kompozitler üretmişlerdir. Çekirdeklerin hücre yapısı ise kare olarak üretilip, üretim esnasında yüzey kapakları gibi karbon fiber kompozit malzeme kullanmışlardır. Yalnız çekirdek yapıda yapıştırıcı kullanmamış olup iç içe sıkı geçme tekniğini bu çalışmada tercih etmişlerdir. Numuneler 10 mm çekirdek yüksekliğinde 16 hücreli ve 20 mm çekirdek yüksekliğinde 64 hücreli olarak imal edilmiş olup sonuç olarak üretilen numunelerin yanal basma dayanımları incelenmiştir. Elde edilen verileri ANSYS programında karşılaştırmışlardır.

Solmaz [19] vd., polyester/cam fiberden imal edilen yüzey örtüleri, 0,15 mm kalınlığa sahip alüminyumdan imal edilen petek hücre ve yaklaşık olarak 0,45 mm kalınlığa sahip polyester reçine emdirilmiş kâğıt tercih edilerek elde edilen altıgen yapıli kompozitlere üç nokta eğilme testi uygulanarak eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Hücre duvarlarını yapıştırıcı kullanılarak birleştirmişlerdir. Hücre boyutlarını ise 5, 15 ve 25 mm olarak üç farklı boyutta tasarlamışlardır. Alüminyum hücreli yapıların eğilme dayanımları kâğıt hücreli yapılara göre daha yüksek çıktığı belirtilip, petek hücrelerin kayma rijitlikleri ve eğilme dayanımlarını incelemişlerdir.

Sönmez [20], yapılan bu deneyde üç nokta eğme testi kullanılarak sandviç yapıların mekanik özelliklerini inceleyip ayrıca çekme testi ile de katmanlar arası adhezyon kuvvetini araştırmıştır. Sandviç yapıların yüzey levhalarını alüminyumdan üretmiştir. Bal peteği çekirdeği ise polipropilen malzemeden imal etmiş olup hücre çapı 8 mm, hücre yüksekliği 10 mm ve çekirdek boyutları 150 mm x 150 mm olarak tasarlamıştır. Tabakaları birbirine yapıştırmak için üç farklı yapıştırma yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemler; epoksi, titanyum dioksit partiküle eklenmiş epoksi ve epoksi emdirilmiş cam elyaf dokuma kumaşı tercih etmiştir. Bu yapıştırma yöntemlerini ile tabakalar arasında kullanmıştır. Sonuç olarak; epoksi emdirilmiş cam elyaf kumaşı ve titanyum

dioksit partiküle eklenmiş epoksi ile üretilen deney numunelerinin çekme ve üç nokta eğme testinde yapıların dayanımını arttırdığını tespit etmiştir.

Güler [21], eklemeli üretim modellerinin basımından sonra bal peteği yapıları dereceli hassas döküm yöntemi ile imal etmiştir. Bu yöntemin diğer adı ise kayıp mum yöntemi olduğunu belirtmiştir. Düz altıgen ve kaydırmalı altıgen bal peteği yapılarını içeren numuneler elde etmiştir. Bu numunelerin farklı hücre kalınlıkları ve çaplarına sahip numunelerden oluştuğunu belirtmiştir. Üretim aşamasında düz ve kaydırmalı altıgen geometride bal peteği numunelerini Voxeljet VX500 üç boyutlu yazıcı kullanarak elde etmiştir. Düzgün altıgen bal peteği 0,8 mm et kalınlığı, 6,2 mm ve 10,8 mm hücre çapları olacak şekilde modellenirken, kaydırmalı altıgen alüminyum bal peteği ise 0,8 mm et kalınlığına sahip, 6,2 mm ve 10,8 mm hücre çapında olacak şekilde tasarlamıştır. Hazırladığı numuneleri x,y ve z doğrultularında numunelerin her biri 50 mm x 50 mm x 50 mm ölçülerinde hazırlayarak tek tek eksenel basma testine maruz bırakmıştır. Basma testi sonucunda elde ettiği grafiklere göre kaydırmalı altıgen yapıya sahip bal peteği yapıların hem basma gerilmesi değerinin hem de mekanik özelliklerinin düz altıgen yapı bal peteğine göre daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

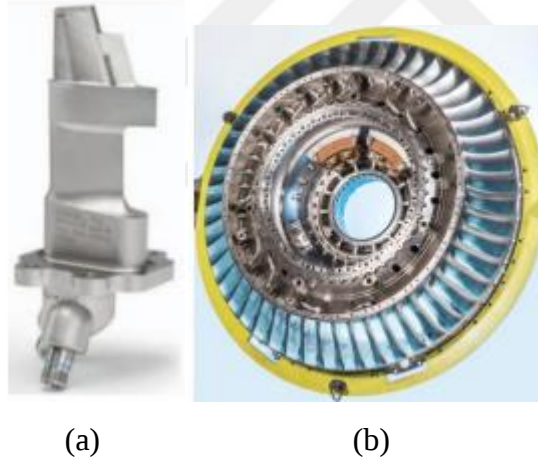
Tatlı [22], Eriyik Yığma Tekniği (FDM) kullanılarak yapılan bu deneyde 200x200x210 mm yazdırma hacmi kapasitesinde olan 3 boyutlu yazıcı tasarımını ve üretimini gerçekleştirmiştir. Üç boyutlu yazıcı ile polilaktik asit (PLA) malzemeden üretilen farklı iç dolgu geometrisine sahip olan beş adet numuneye üç nokta eğilme, çekme ve darbe testlerini uygulamak için üretmiştir. Üretim sonucunda ise iç dolgu geometrisinin numuneler üzerindeki etkisini araştırmıştır.

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında ise; balpeteği kompozit levhalar kullanılarak içi boş, kum saati, kesik koni ve altıgen dolgulu formundaki çekirdek yapıya sahip numuneler üretilmiştir. Kompozit yüzey örtüsü ile kaplanan bu yapılara üç nokta eğilme testi ve basma testi uygulanıp elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

3. EKLEMELİ İMALAT

Serbest formlu üretim, 3 boyutlu baskı veya hızlı prototip üretme isimleriyle de anılan eklemeli imalat, “makineyle işleme gibi çıkarmalı imalat metotlarına karşı, malzemelerin 3 boyutlu model verilerinden parçalar üretmek için genellikle üst üste tabakaların özdeşleştirme prosesidir” [23].

Eklemeli üretim, modern üretim metotlarından birisidir. Bu metodun mantığı, birbiri üzerine tabaka halinde malzeme eklemeye dayanmaktadır. Bu metodun amacı; geometrik düzensizlik nedeniyle geleneksel imalat üretim ile imalatı muhtemel olmayan veya imalatı zor olan parçaların üretimi yapılarak, üretim edilebilirlik kısıdını yok edip sonlandırmaktır. Yakın zamanlardaki literatür kaynaklarında da bu konuyla ilgili uygulamalara ve araştırmalara ehemmiyet verildiği görülmektedir [24].



Şekil 3.1 Eklemeli üretim ile üretilmiş parçalar a) FAA onaylı T25 sıcaklık basınç sensörü (b) Rolls-Royce Trent XWB motoruna ait ön rulman yatağı görünüşü [24]

Rolls-Royce Trent XWB-97 eklemeli üretim metodundan ARCAM Elektron ışıını ile ergitme ile üretilen en büyük havacılık/motor eseridir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi motorun üstünde yer alan ve 48 aerofoile sahip olan takriben 1,5 m çapında ve 0,5 m kalınlığındaki Titanyumdan ön rulman yatağı eklemeli üretim metoduyla imal edilmiştir. Burada tasarım sürecinde maliyet ve üretim hızı optimize edilerek, eklemeli üretim ile üretim süresi %30 azalmıştır [24].

3.1 Eklemeli İmalatın Tarihçesi

Günümüzde “Üç boyutlu (3B) yazıcı” ile anlatılan teknoloji esasında 1970’li yıllarda tasarımların numunelerini, hızlı prototipleme olarak üretmeyi hedeflemiştir. Esasen 80’li yıllarda başlayarak numune yerine gerçek parça üretimi gündeme alınmıştır. Seramik ve metalden doğrudan fonksiyonel parçalar imal edilmesiyle elde edilen üretim metodunun ismi “Eklemeli İmalat” olarak 90’lı yıllarda anılmaya başlanmıştır [1].

Eklemeli imalat teknolojilerinin ortaya çıkmasına yazılım programları, kontrol sistemleri, bilgisayarlar ve lazer teknolojilerindeki gelişmeler teknolojinin ilerlemesine yardımcı olmuştur. Japonya’da Murutani, Amerika’da Hull, Fransa’da Andre ve arkadaşları birbirine oldukça benzeyen metotlar için 1984 yılında patent başvurularını yaptılar. Bu patentlerde mevcut bulunan ortak nokta üç boyutlu bir parçanın imal edilmesi için malzemenin tabakalar halinde istiflenmesini anlatmalarıydı. Stereolitgrafi cihazıyla eklemeli imalat teknolojisinde ticari atılımı yapan ve başarı sağlayan ilk şirket 3D Systems olmuştur. Bu cihazın imal edilmesi ve başarılı bir biçimde kullanılmasıyla birlikte eklemeli üretim teknolojisinin başlangıcı oluşmuştur [25].



Şekil 3.2 3D baskılı hücresel döngü sandalye [26]

Üç Boyutlu yazıcıların tarihsel süreci ise şu şekilde yol almıştır [27]:

-Charles Hull Stereolitografi (SLA-1) ismiyle 1986 senesinde ilk patentini elde etmiştir. Üç boyutlu yazıcıyı piyasa süren ilk bilim insanı olan Charles Hull üç boyutlu Systems Corporation adlı firmanın kurucusudur.

-Carl Deckard isimli bilim adamı 1988 senesinde toz taneciklerini lazer aracılığıyla birleştirme tekniğini kullanarak Stereolitografi metoduna yardımda bulunmuştur. Eriyik Malzeme Şekillendirme (FDM) tekniğini ortaya çıkaran Stratasys Inc. isimli firmanın kurucusu olan Scott Crump'tır.

-Stratasys Inc. firması Eriyik Malzeme Şekillendirme (FDM) yönteminin patentini elde etmiştir. Daha sonra 1992 senesinde üç boyutlu yazıcıları bireysel ve profesyonel olarak geliştirmiştir.

-Z Corp ve Arcam MCP technology gibi firmaların yanı sıra 1993-1999 seneleri arasında Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) sistemli bilgisayar programları ortaya çıkmıştır. Birçok üç boyutlu yazıcı işletmeleri bilgisayar destekli programların iş birliği ile bu sektörde rehberlik yapmaya başlamıştır.

-Massachusetts Institute of Technology (MIT) mürekkep püskürtmeli yazıcı içerisine yapıştırıcı ve toz ilave ederek oluşturduğu imalat metodunu 1995 senesinde “Üç Boyutlu Yazıcı” olarak tanımlamıştır. (Endüstriyel kullanım ve genel kullanım alanlarında başka isimlerle anılan üç boyutlu yazıcıların en kapsamlı kullanımını MIT aracılığıyla ileri sürülmüştür.

-Dr. Bowner tarafından 2004 senesinde Rep-Rap “Kendin Yap Kendin Geliştir” konseptli kendi makine aygıtlarını üreten üç boyutlu yazıcı planlanmıştır.

-Rep-Rap tasarısı ile üç boyutlu yazıcılar 2006 senesinde geniş topluluklara erişmiştir.

-Makerbot isimli firmanın Thingiverse isimli internet sitesinde üç boyutlu yazıcı modellerinin içerisinde yer aldığı aynı zamanda üç boyutlu modüller sanal ortamda 2008 senesinde tanıtılmıştır.

-Rep-Rap konseptiyle kit biçiminde üretilen ilk ticari üç boyutlu yazıcılar 2009 senesinde satışa çıkarılmıştır.

-Kor Ecologic firması üç boyutlu yazıcı ile 2011 senesinde Urbee adında bir araba imal etmişlerdir.



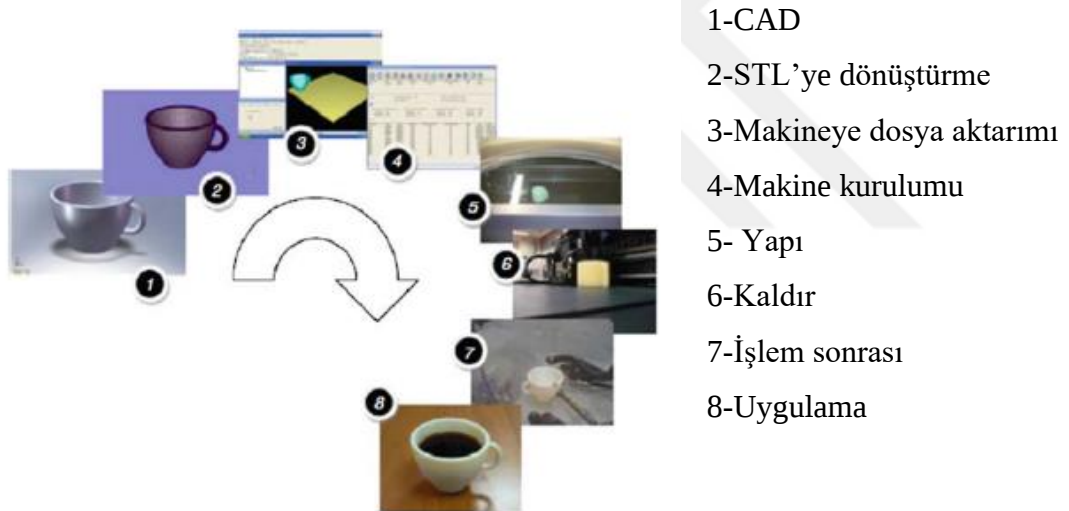
Şekil 3.3 3D yazıcı ile imal edilen ilk araba Urbee [28]

- Layer Wise isimli firma 2012 senesinde insan çenesini üç boyutlu yazıcılar ile üretmiştir.
- 2015 senesinde ulusa sesleniş konuşması yapan ABD Başkanı Barack Obama, üç boyutlu yazıcı sayesinde geleceğin sanayi devrimini oluşturacağını söylemiştir.
- Daniel Kelly's Laboratuvarı üç boyutlu yazıcı ile 2016 senesinde kafatası imal etmiştir.
- Carbon 3D üç boyutlu yazıcılarda Düzenli Sıvı Ara Geçişli Üretim teknolojisi sayesinde mevcut teknolojiyi 5-100 kat daha fazla yüksek hıza ulaştırdıklarını açıklamıştır [27].

Dünya genelinde yapılan yatırımlar üç boyutlu yazıcı teknolojisinde gelişmelere bağlı olarak her geçen gün artmaktadır. Üç boyutlu yazıcılara yapılan yatırımlar Wohlers Raporu'na göre 2013 senesinde 3,07 milyar ve 2018 senesinde 12,8 milyar dolardır. Üç boyutlu yazıcılar organik, tekstil sektöründe, metal ve bunun farklı işkollarında tercih edilmektedir. Sculpteo raporundaki ifadeye göre sağlık sektörünün %7'si, hizmet sektörünün %9'u, tüketici ürünlerinin %17'si, teknolojik ürünlerin %13'ü ve sektörel ürünlerin %17'si üç boyutlu yazıcı teknolojisini kullanmaktadır. İşletme şirketleri ileriye dönük araştırmalarını ve yatırımlarını öncelikli olarak üç boyutlu yazıcılar üzerinde uygulamaya koymuşlardır. Üç boyutlu yazıcıların geleceğe etkisi her geçen gün daha da artmaktadır. [27].

3.2 Eklemeli İmalat Süreci

Eklemeli İmalat, sanal CAD açıklamasından fiziksel netice kısmına geçen bir dizi hamleyi kapsar. Değişik ürünlerin eklemeli imalatı, farklı derecelerde ve farklı şekillerde işlemler içerecektir. Görselleştirme modelleri için nispeten basit ve küçük ürünler yalnızca eklemeli imalattan yararlanabilirken, daha büyük mühendislik kapsamına sahip, daha karışık ürünler geliştirme prosesi boyunca çok sayıda aşama ve yineleme sırasında da eklemeli imalatı içerebilir. Ayrıca, ürün geliştirme sürecinin ilk aşamaları, üretilebilme hızı nedeniyle eklemeli imalatın kullanıldığı yalnızca kaba parçalar gerektirebilir. İşlemin izleyen adımlarında, parçaları işlemeden önce özenli bir temizlik ve son işlem (yüzey hazırlama, boyama bir de zımparalama dahil) gerektirebilir. Özetlemek gerekirse, Şekil 3.4'teki çoğu eklemeli imalat işlemi, en azından bir dereceye kadar aşağıdaki sekiz adımı içerir [29].



Şekil 3.4 Sekiz aşamanın tümünü gösteren cad'in genel süreci [29]

3.2.1 Adım 1: CAD

Tüm eklemeli imalat kısımları, dış geometriyi bütünüyle belirten bir yazılım modelinden başlamalıdır. Bu, neredeyse her profesyonel CAD katı modelleme yazılımı kullanımını içerebilir yalnız çıktı bir 3D katı veya yüzey gösterimi şeklinde olmalıdır. İşte bu gösterimi kurmak amacıyla tersine mühendislik ekipmanı (örneğin, optik tarama ve lazer) da kullanılabilir [29].

3.2.2 Adım 2: STL'ye dönüştürme

Hemen hemen her eklemeli imalat makinesi, fiili bir standart haline gelen STL belge formatını tasdik eder. Günümüzde hemen hemen her CAD sistemi böyle bir belge formatını çıkarabilir. Bu dosya, özgün CAD modelinin hem dış kapalı görünüşlerini açıklar hem de dilimlerin hesap işlemini yapmak için temel oluşturur [29].

3.2.3 Adım 3: Eklemeli imalat makinesine aktarma ve STL dosyası işleme

Parçanın niteliklerini eksiksiz belirtmek için STL belgesi eklemeli imalat makinesine iletilmelidir. Burada, dosyanın yapı için doğru boyut, konum ve yönlendirme olacak şekilde bazı genel manipülasyonları olabilir [29].

3.2.4 Adım 4: Makine kurulumu

Eklemeli üretim makinesi, oluşturma işleminden önce düzgün bir şekilde kurulmalıdır. Bu tür ayarlar, malzeme kısıtlamaları, enerji kaynağı gibi yapı parametreleriyle ilgili olacaktır [29].

3.2.5 Adım 5: Yapı

Parçayı inşa etmek esas olarak otomatik bir süreçtir ama makine büyük ölçütte denetim olmadan ilerleyebilir. Malzemenin tükenmesi, yazılım veya güç arızaları vb. hataların oluşmadığına güvenmek için sadece makinenin yüzeysel olarak gözlemlenmesi gerekir [29].

3.2.6 Adım 6: Kaldırma

Eklemeli imalat makinesi montajı tamamladıktan sonra, parçalar çıkarılmalıdır. Örneğin; çalışma sıcaklıklarının yeterince düşük olmasını veya aktif olarak hareket eden parçaların bulunmamasını sağlamak için emniyet kilitlerine sahip olabilecek makine ile etkileşim gerektirebilir [29].

3.2.7 Adım 7: İşlem sonrası

Makineden parçalar uzaklaştırıldıktan sonra, kullanıma geçilmeden önce parçalara temizlik işlemi gerekebilir. Parçalar bu adımda zayıf kalabilirler ancak çıkarılması gerekli olan destekleyici özelliklere sahip olabilirler [29].

3.2.8 Adım 8: Uygulama

Parçalar artık kullanıma hazır olabilir. Bununla birlikte, kullanım için birkaç işlem gerekebilir. Örneğin, kabul edilebilir bir yüzey dokusu ve son kat vermek için astarlama ve boyama gerektirebilirler [29].

3.3 Eklemeli İmalat Yöntemleri

Eklemeli üretim teknolojilerinde kullanılan değişik metotlar olmasının yanında ortak özellikleri, hammaddenin tabakalar şeklinde birbirinin üstüne bırakılarak istenilen modelin üç boyutlu olarak fiziksel bir somut nesneye dönüştürülmesi ilkesine dayanmaktadır. Tabakaların üretim hammadresi olarak kullanılması ve oluşturma teknikleri malzemenin özellikleri hakkında değişiklikler gösterebilmektedir. Her yöntemin diğer yöntemlerle mukayese edilirse farklı dezavantajları ve avantajları mevcuttur. [15].

Bu yöntemler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir:

Tablo 3.1 Eklemeli imalat yöntemleri

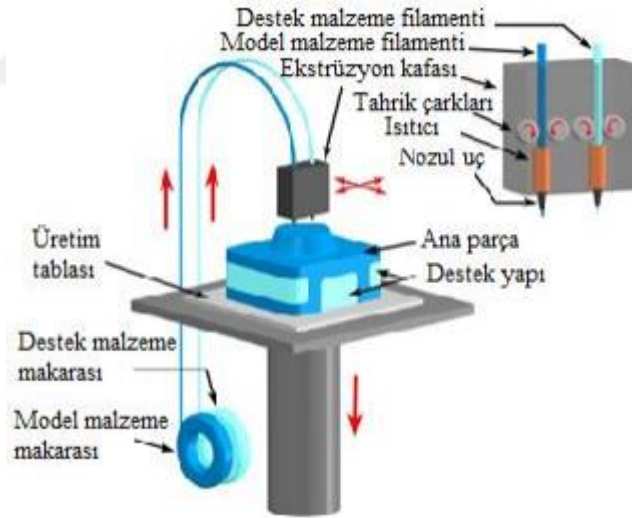
1-Ergiyik Biriktirme Yöntemi (Fused Deposition Modelling - FDM)
2-Stereolithography, SLA (Stereolitografi) Vat Photopolymerization
3-Dijital Işık İşleme (Digital Light Processing – DLP)
4-Seçici Lazer Ergitme / Sinterleme (Selective Laser Melting / Sintering – SLM/SLS)
5-Bağlayıcı Püskürtme (Binder Jetting – BJ)
6-Malzeme Püskürtme (Material Jetting)
7-Laminatlı Obje Üretimi (Laminated Object Manufacturing – LOM)
8-Elektron Işınlı Ergitme (EBM)

Mevcut bulunan tüm eklemeli imalat yöntemleri içerisinde en yaygın olanı, Ergiyik Biriktirme Yöntemi olarak da ifade edilen Fused Deposition Modeling (FDM)'dir. Sebebi ise kullanım rahatlığı, ticari olarak tedarik edilebilmesi ve ekonomik erişilebilirliği olan çeşitli malzemelerdir [30].

3.3.1 Ergiyik biriktirme yöntemi (FMD)

Ergiyik biriktirme yönteminde (FMD) kullanılan malzemeler polimer esaslı malzemelerdir [30].

FMD, basit eklemeli imalat metodudur. Bu metotta filament denen termoplastik polimer karışık istikametlerde dönen iki merdanelerden geçer. Bu filament merdanelerden ısıtıcıya doğru yönlendirilir. Eriyen polimer itme kuvvetinin etkisi sayesinde, meme ismi verilen parçadan çapını düşürerek çalışma tablasına akar. Filamentlerin çapları çoğunlukla 2,85 mm veya 1,85 mm iken en fazla tercih edilen meme çapları ise genellikle 0,4 mm ve 0,2 mm'dir. Eritilerek dışarı akan polimer X-Y ekseninde istenilen yönde hareket ettirilerek bir katman oluşturulur. İtme etkisi ve işleme hızı ile akış hızının bir sonucu olarak X ve Y eksenlerinde tabaka kalınlığı meydana gelir. Bu biçimde meydana gelen tabakaların Z eksenini boyunca toplanıp yığılmasıyla birlikte son ürün 3B olarak elde edilir [15].



Şekil 3.5 Ergiyik biriktirme yönteminin çalışma prensibi [30]

Ergiyik biriktirme metodunda özellikleri daha da iyileştirilmiş termoplastiklerin kullanımına ait yahut kompozit malzemelerin kullanımına özgü araştırmalar ve çalışmalar gün geçtikçe daha da artmaktadır. Değişik malzeme arayışlarına yönelen bazı filament üreten firmaların çeşitli çalışmaları da bulunmaktadır [30].

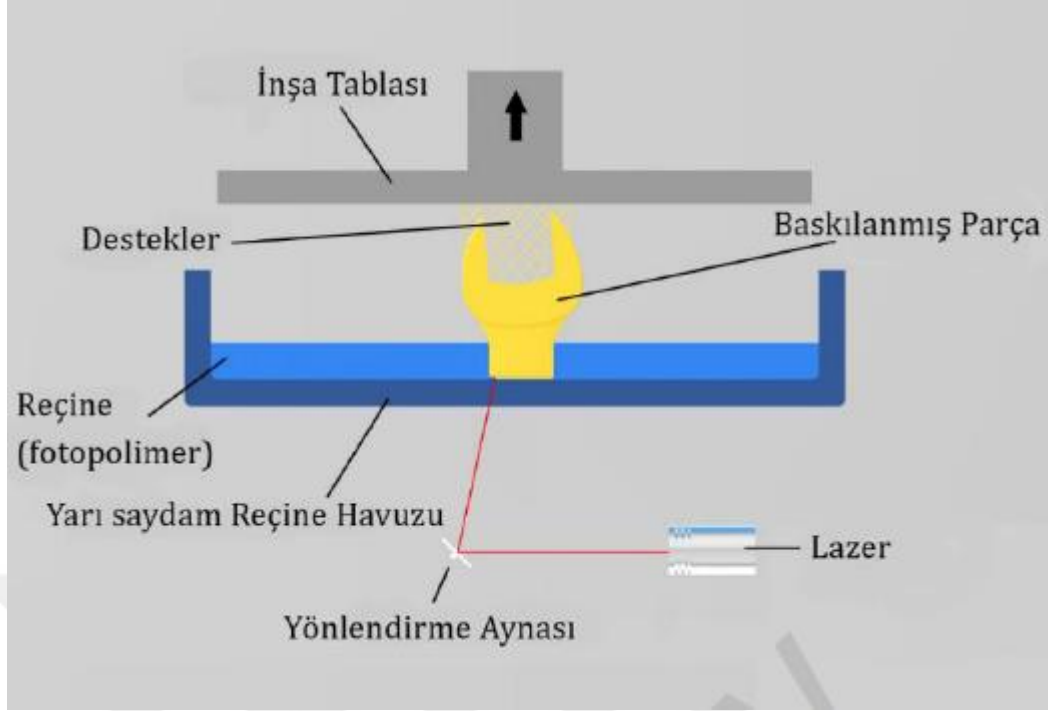
3.3.2 Stereolitografi (SLA)

Stereolitografi, řu anda mevcut olan en önemli eklemeli üretim teknolojilerinden biridir. Bu teknoloji, bir ışınlama ışık kaynağı kullanılarak sıvı ışığa hassas bir polimerin kűrlenmesini veya katılaşmasını içerir; kimyasal bir tepkimeyi (sertleşme reaksiyonu) indűklemek, çok sayıda kűk molekűlű birbirine baėlamak ve yűksek oranda çapraz baėlı bir polimer oluřturmak için gereken enerjiyi saėlar [31].

SLA alışma prensibi aşağıdaki gibidir:

- Yapı platformu öncelikle sıvı fotopolimer tankına, sıvının yűzeyi için bir kat yűksekliėinde dűzgűn bir řekilde yerleřtirilir.
- UV lazer vasıtasıyla, fotopolimer reçinesini katılaştırarak ve sertleştirerek bir sonraki tabakayı meydana getirir. Ayna galvanotre ismi verilen bir ayna seti yardımıyla lazer ışını önceden belirlenmiş hedefe odaklanır. Modelin bűtűn kesit bölgesi ışık vasıtasıyla kűrlenir. İmal edilen parça böylelikle tamamen katılaşır.
- Tabakanın biri sonlandığında platform gűvenli bir mesafede yukarıya doğru hareket ettirilir. Bu adımlar her tabaka için ayrı ayrı tekrarlanır.
- Bu işlemler sonlandıktan sonra parça istenilen şekilde tam kűrlenmemiř halde bulunabilir. Parça temizlendikten sonra ısı ya da mekanik dayanım talep ediliyorsa UV ışığı yardımıyla kűrleme işlemi uygulanır [32].

Sıvı reçine, fotopolimerizasyon ismi verilen uygulama ile katı hale getirilir. Bu katılaştırma esnasında, UV lazerin ışığı ile sıvı reçineyi meydana getiren monomer karbon zincirleri aktive edilerek katılaşması sağlanır. Böylelikle molekűler yapı birbirleri arasında bağlı kalarak, kırılmaz ve gűlű bağlar meydana getirirler. Bu işlem (fotopolimerizasyon) geri dnűřűme uygun bir işlem değildir. SLA parçalarını sonradan sıvı biçime çevirmenin herhangi bir yolu bulunmamaktadır. Isıtıldığında erimesi gerekirken yanarlar. Bu yanmanın başlıca sebebi SLA ile imal edilen malzemelerin, FDM'nin kullandığı termoplastiklerin tersine termoset polimerlerden űretilmesidir [32].



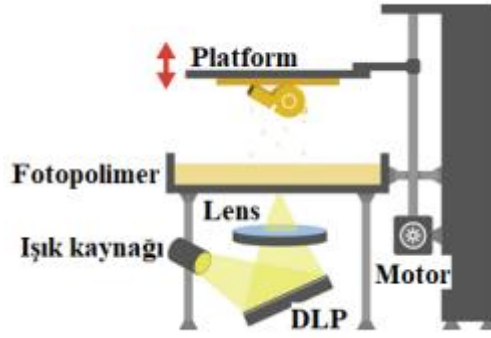
Şekil 3.6 SLA çalışma prensibinin gösterimi [33]

SLA teknolojisi olabildiğince geniş bir kullanım alanına sahiptir. Karmaşık şekilde dizayn edilen modellerin imalatı için mükemmel çözümler sunar. Malzeme seçeneğinin geniş olması ile birçok iş kolu tarafından tercih edilmektedir [32].

3.3.3 Dijital ışık işleme (DLP)

SLA ve DLP teknolojileri birbirine bayağı benzeyen teknolojilerdir. Bu iki teknoloji arasındaki asıl fark ışık kaynaklarının tamamen birbirine benzememesidir. Bu baskı teknolojisinde UV lazerin yerine reçine havuzunun alt kısmında bir projektör bulunmaktadır. DLP daha çabuk baskı hızına ulaşır. Bunu da DLP’de bulunan projektör bir defada tüm tabaka yüzeyine etki ederken SLA işleminde ise tabaka lazer ışını tarafından taranarak ilerler. SLA yönteminin aslında yüksek çözünürlük istenen parçalarda kullanımı daha uygundur [34].

Projektörün yansıttığı her bir tabakaya ilişkin imajlar piksellerden meydana geldiği için DLP teknolojisinde tabaka kenarlarında küçük dörtgensel hacimler oluşur. Basım kalitesinin ve hacminin projektörün çözünürlüğüyle ilişkisi bulunmaktadır [34].



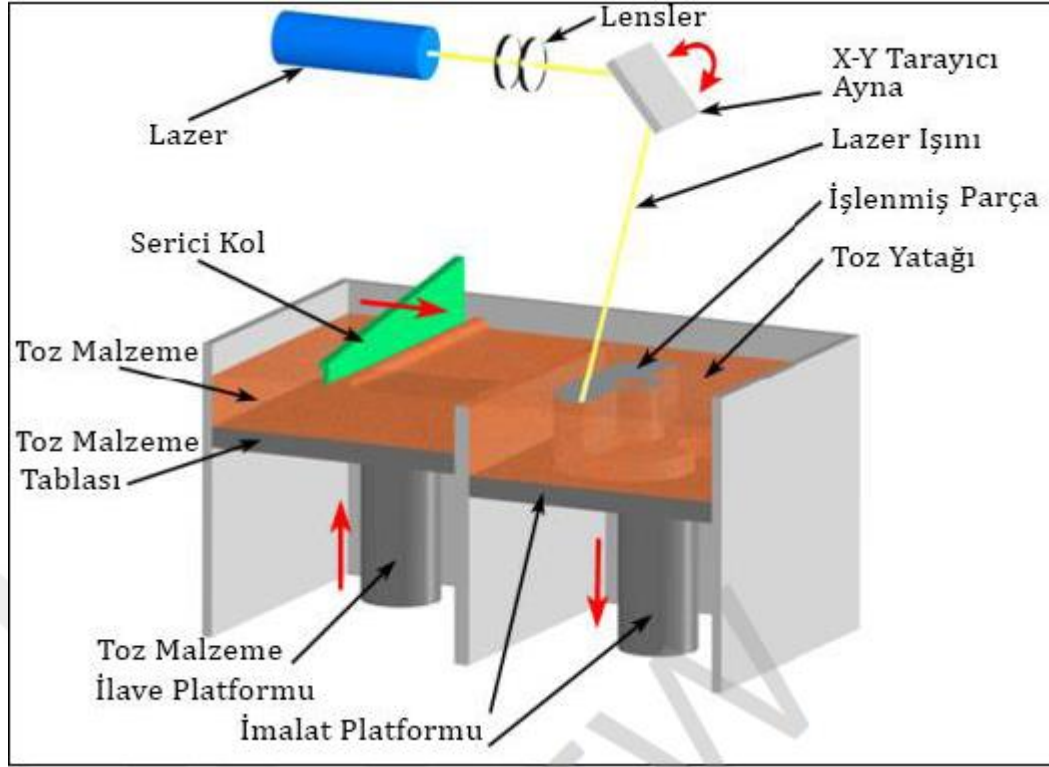
Şekil 3.7 DLP yönteminin çalışma ilkesi [34]

Bu eklemeli üretim yöntemi pürüzsüz yüzey kalitesi ve ince ayrıntıları olan modeller için uygun iken, gevrek ve mekanik parçalar için uygun değildir.

3.3.4 Seçici lazer ergitme (SLM/SLS)

SLS, yapı alanına yayılmış ince toz tabakalarını zıt yönde dönen bir toz tesviye silindiri kullanarak ($\sim 0,1$ mm kalınlığında) birleştirir. Parça oluşturma işlemi nitrojen gazı ile kaplanan kapalı bir mekân içinde oluşturulur. Böylece toz halde bulunan malzemenin bozulması ve oksidasyonu önlenmiş olur [25].

Yapı platformundaki mevcut bulunan toz, toz haline getirilen malzemenin cam geçiş sıcaklığının ve/veya malzemenin erime noktasının hemen altında yüksek bir sıcaklığa maruz bırakılır. İnşa platformunun üstüne kızılötesi ısıtıcılar konulur. Bu kızılötesi ısıtıcılar, yapı alanını kaplamadan önce tozu önceden ısıtmak için besleme kartuşları ile oluşturulmakta olan parça etrafında yüksek bir sıcaklığı muhafaza etmek için yapı platformunun üstüne konulur. Tek tip bir sıcaklığın muhafaza edilmesi, tozun bu ön ısıtması işlemin lazer gücü ihtiyacını minimum seviyeye düşürmek ve yapı platformu içinde yükseltilmiş olan parçanın bükülmesinin önüne geçmek için gereklidir. Ayrıca daha az lazer enerjisi kullanmak için ön ısıtma yapılabilir [25].

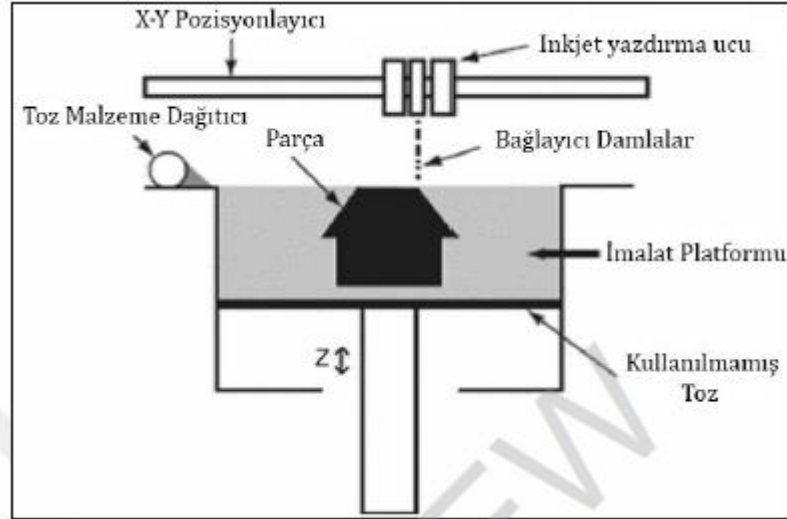


Şekil 3.8 SLM/SLS yönteminin çalışma prensibi [33]

3.3.5 Bağlayıcı püskürtme (BJ)

Kısa zaman önce ortaya çıkan ve halen bu yöntem ile ilgili çalışmalar yapılan Bağlayıcı Püskürtmeli İmalat eklemeli üretim metotlarından biridir. Büyüme evresinde olmasından ortamı, oranı, sinterleme sürekliliği ve net bir bağlayıcı türü saptanamamıştır [35].

Bu yöntemde bağlayıcı bir madde ve toz bazlı bir malzeme kullanılır. Bu yöntemde kullanılan bağlayıcı madde toz durumunda bulunan malzeme tanelerini kuvvetli bir birleştirici ile birbirine bağlamak ile görevlidir. Bağlayıcı, sıvı haldeki tabakaya bir 2B yazıcıda olduğu gibi püskürtme yöntemiyle uygulanır. Bütün tabakalar için bu işlem Şekil 3.9'daki gibi tek tek uygulanır. Aşağıya kadar inen alt tabla tabaka sürükleyici merdane yardımıyla aşağıya iniş olan platforma toz malzeme serperek yüzeyi doldurur. Bu işlemden sonra diğer tabakaya geçilmiş olur. Bu işlem parça tabakaları bitene kadar yinelenir [33].



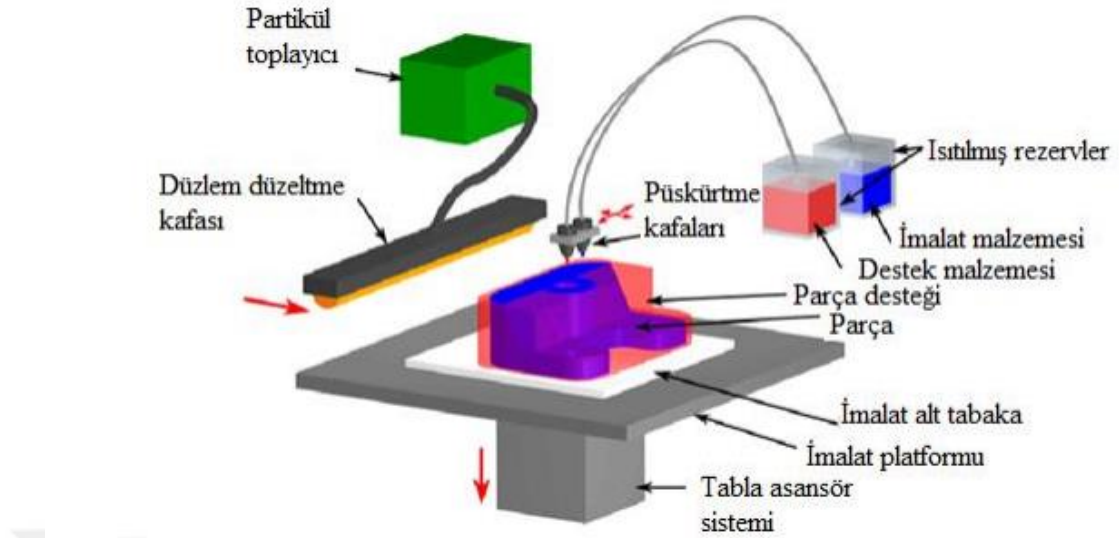
Şekil 3.9 Bağlayıcı püskürtme yönteminin çalışma prensibi [33]

Bu yöntemde iki malzeme kullanılır: Bir sıvı bağlayıcı ve toz baz malzemesi. Toz parçacıklarını birbirine bağlamak için yapışkan bir malzeme nozzler sayesinde püskürtülür. Bu sayede yapı haznesinde bulunan toz düzenli bir şekilde tabakalar halinde yayılır. Bitmiş olan parça, kapta bulunan bağlayıcı kalıntıları ile toz bazlı malzeme birbirine yapıştırılmıştır. Bu işlemler bittikten sonra kalan toz parça üzerinden temizlenir. 3D baskı için bir sonraki parça kullanılır. Bu teknoloji ilk defa 1993 senesinde Massachusetts Institute of Technology’de geliştirilmiş olup 1995 senesinde ise Z Corporation tarafından özel bir lisans almıştır [36].

Bağlayıcı püskürtme ile 0,1 mm’ye kadar küçük parçalar üretilebilir. Bu parçalar pürüzsüz ve iyi bir yüzey kalitesine sahip olup parçaların üzerinde dokular ve logolar bile yapabiliriz [37].

3.3.6 Malzeme püskürtme

Malzeme katılaştığı platforma veya yapı yüzeyine püskürtülür. Şekil 3.10’da görüldüğü gibi model kat kat düzenlenir. Malzeme biriktirme işlemi ise platformun üstünde yatay hareket eden ağızlık sayesinde sağlanır. Malzemelerin biriktirilmesini denetleme metotlarına ve makinelerin karmaşıklığına bakılarak farklılık görülebilir. Son aşama olarak malzeme katmanları ultraviyole (UV) ışığı sayesinde kürleme işlemi gerçekleştirilir [38].

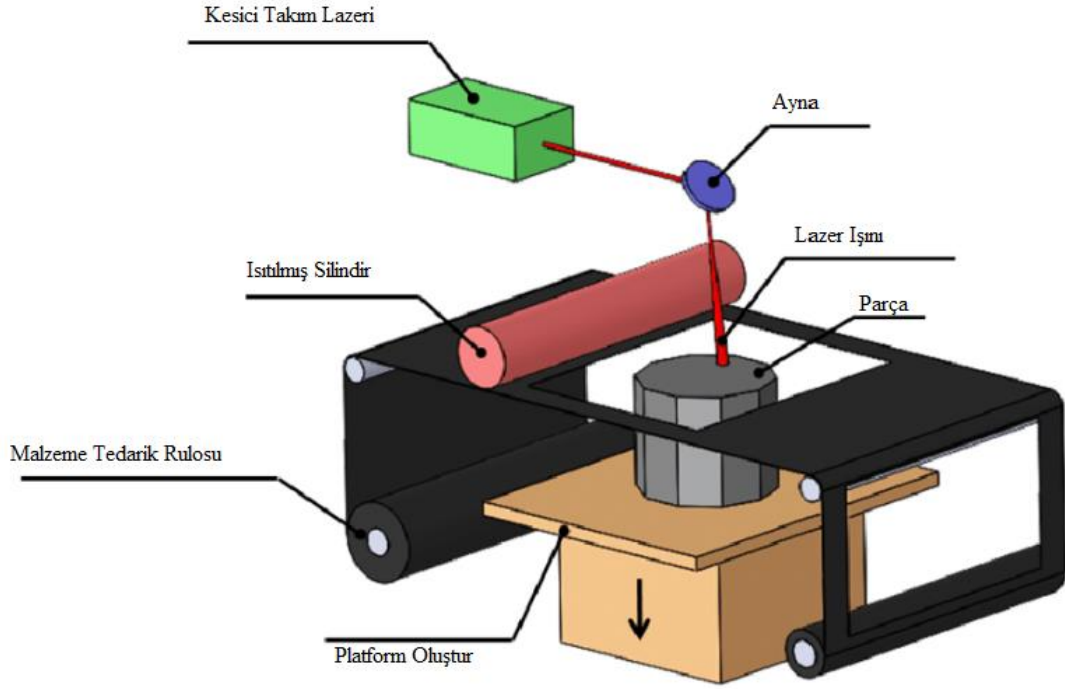


Şekil 3.10 Malzeme püskürtme şematığının gösterimi [38]

Malzeme püskürtme 3D baskı teknolojisi, gerçekçi prototipler için mükemmel bir seçimdir ve mükemmel seviyede yüksek doğruluk, ayrıntı ve pürüzsüz yüzey kalitesi sağlar. Materyal püskürtme, bir tasarımcının bir tasarımı birden fazla renkte ve bir dizi malzemeye tek bir baskıda basmasına imkân tanır. Malzeme püskürtme teknolojileriyle baskı yapmanın başlıca sakıncaları, UV ile aktiveleştirilmiş fotopolimerlerin zamanla mekanik özelliklerini kaybetmesi, yüksek maliyet ve kırılğan hale gelebilmesidir [39].

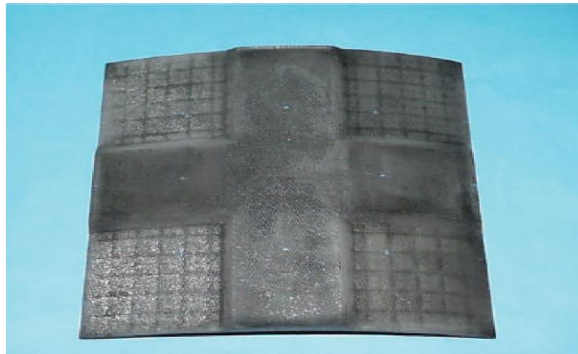
3.3.7 Laminatlı obje üretimi (LOM)

İşlem şu şekilde gerçekleştirilir. Levha, ısıtılmış bir rulo ile bir alt katmana yapıştırılır. Lazer, prototipin istenen boyutlarını izler. Lazer, atıkların çıkarılmasını kolaylaştırmak için parça olmayan alanı çapraz şekilde tarar. Tabakası tamamlanmış platform aşağı doğru hareket eder. Taze malzeme katmanı yerine yuvarlanır. Platform, bir sonraki tabakayı almak için yeni konumuna iner. Prototip veya tam model hazırlanana kadar süreç tekrarlanır [40].



Şekil 3.11 Laminatlı obje üretimi yönteminin çalışma prensibinin gösterimi [41]

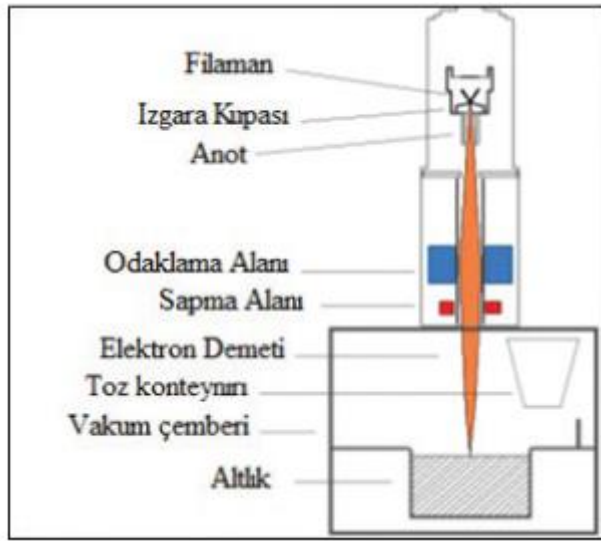
LOM işlemi kimyasal bir tepkime içermediğinden dolayı, kapalı bir mekâna ihtiyaç duyulmamaktadır, böylelikle büyük modeller daha kolay bir şekilde oluşturulabilmektedir. LOM sırasında kullanılan malzemeler de iyi, ucuz, tutarlı ve kolay erişilebilir malzemeler olmalıdır. LOM işlemi ile içi boş parçalar oluşturulamaz. Aynı zamanda karmaşık geometrili parçaları oluşturmak için de pek ideal bir yöntem değildir. Bu işlem hassas parçalar üretmediğinden, işlevsel prototipler oluşturulamaz. Bu sebeple, LOM yöntemi kavramsal prototipler, tasarım veya form için test edilebilecek ölçekli modeller oluşturmak için tercih edilebilir. Aynı zamanda, bir metal döküm işlemi, kum kalıplanmış döküm gibi geleneksel üretimde kullanım ve çeşitli desenler yapmak için de kullanılabilir. [42].



Şekil 3.12 200 mm x 200 mm Nextel 312/Blackglas reçine kompozit, LOM/kompozit şekillendirme eklemeli üretim prosesi kullanılarak üretilmiştir [26]

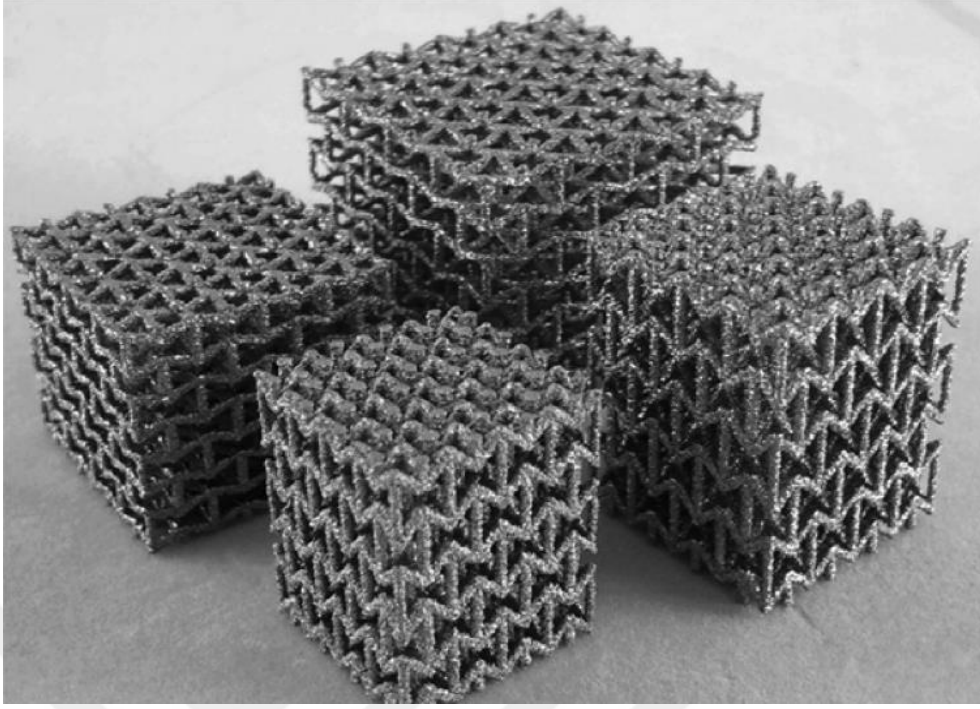
3.3.8 Elektron ışını ergitme (EBM)

EBM ile yapılan tabakalı üretim yöntemi İsveç'te bulunan Arcam şirketi tarafından geliştirildi. Bu yöntem Direk Metal Lazer Sinterleme'ye (DMLS) benzer bir yöntemdir. Çünkü metal tozlardan katı bir model ortaya çıkarmaktadır. EBM'deki ısı kaynağı elektron ışınlarıdır. Yoğun metal tozlarını kuvvetli bir elektron ışını ile eriten EBM teknolojisi, modeli tabaka tabaka inşa eden bir süreçtir. Otomotiv, tıp ve savunma gibi çeşitli alanlarda başarılı bir biçimde kullanılan üretim prosesidir. Bunun yanında çevre dostu olduğu için güvenli bir teknolojidir [43].



Şekil 3.13 EBM prosesinin şematik olarak gösterim şekli [44]

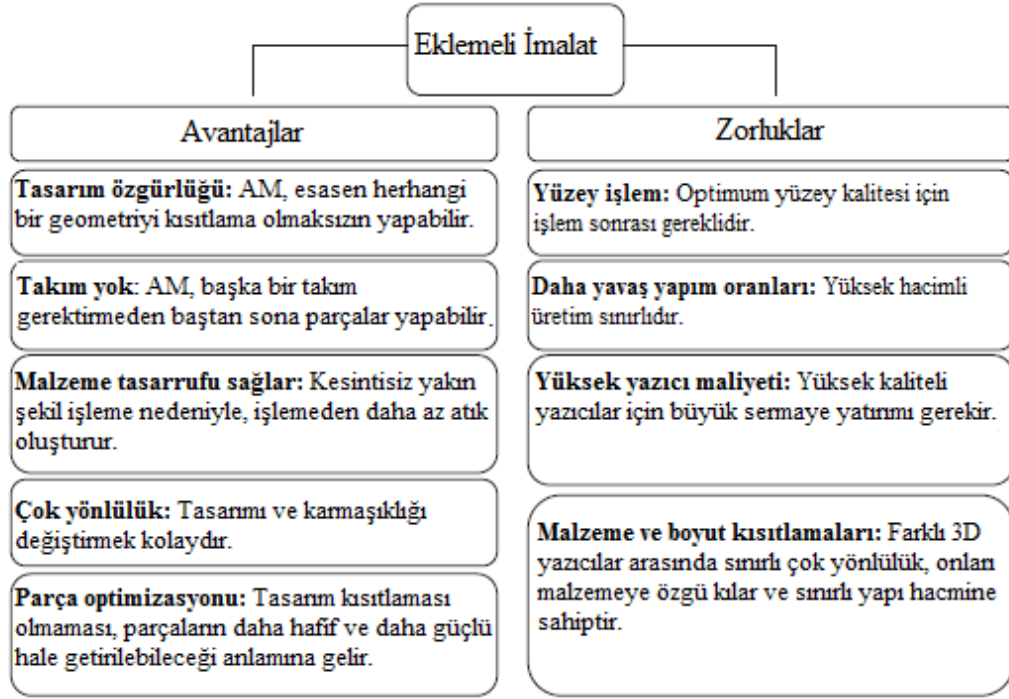
EBM süreci, birkaç büyük ayrımla SLM ile benzerlik gösterir. Enerji kaynağı olarak lazer kullanan SLM'den farklı olarak, EBM'de enerji kaynağı olarak bir elektron ışını kullanılır. Ayrıca elektron ışını yüksek vakum koşullarında metal tozlarını birleştirir. EBM'de tercih edilen toz genellikle boyut olarak daha büyüktür (SLM'ye kıyasla) ve 60-105 μm aralığındadır. Daha büyük bir toz boyutu, minimum özellik boyutunun ve yüzey pürüzlülüğünün EBM'de SLM'ye kıyasla daha büyük olma eğiliminde olduğu manasına gelir [8].



Şekil 3.14 EBM kullanılarak imal edilen Ti6Al4V alaşımlı yardımcı yapılar [26]

3.4 Eklemeli İmalatın Avantaj ve Dezavantajları

Her eklemeli imalat sürecinin avantajları ve dezavantajları vardır. Bir eklemeli imalat işlemi olarak hem doğrudan hem de ciltli baskının birincil avantajları arasında düşük maliyet, yüksek hız, ölçeklenebilirlik, birden fazla malzemede parça oluşturma kolaylığı ve renk yazdırma yeteneği bulunur. Baskı makinelerinin maliyeti diğer Eİ makinelerine, özellikle de lazer kullananlara göre çok daha düşüktür. Genel olarak, baskı makineleri monte edilebilir standart bileşenlerden (sürücüler, depolama, baskı kafaları), diğer makinelerde ise makineye özgü çok daha fazla bileşen bulunur. Yüksek hız ve ölçeklenebilirlik birbiriyle ilişkilidir. Yüzlerce veya binlerce nozulu olan baskı kafaları kullanılarak, çok fazla malzemeyi hızlı ve hatırı sayılır bir alana yatırmak mümkündür [29].



Şekil 3.15 Eklemeli üretimin avantajları ve zorluklarının özeti [26]

3.5 3D Yazıcı Filamentler

3D yazıcıda belirli bir modeli basmak için doğru filament tercihi yapmak her geçen gün daha da zorlaşıyor, bunun sebebi ise 3D yazıcılar ile basım yapılabilecek modern malzemelerin sayısı giderek artıyor. FDM 3D yazıcılarda, ABS ve PLA tercih edilen iki temel polimerdir. Bu iki polimer sektördeki otoritesini sürdürmektedirler. Diğer polimerlerin ise FDM 3D yazıcıların geleceğinde önemli bir görev üstlenmesi de kuvvetle muhtemeldir. Saf polimerler ve kompozitler gibi filamentlerin daha popüler olduğunu görüyoruz. Ticarete kullanılan saf polimerler şunlardır: ABS, PC, TPU (Esnek), PETG, PLA ve Naylon [45].

Üç boyutlu yazıcının çalışma şekli FDM teknolojisinde bir hayli basittir. Nozzle uçtaki plastik eritilip döküldükten sonra bir yapı inşasında olduğu nesneler tabaka tabaka meydana getirilir. Bu plastik malzemeye ise filament adı verilir. 3D yazıcı filament çeşitlerinden en fazla rağbet görenler PLA ve ABS'dir. Bunun yanında Naylon, HIPS, PETG, PVA gibi filamentler de kullanılmaktadır. %30-40 oranında karıştırılan PLA ile çoğunlukla; karbon fiberler, bambu, esnek PLA, pirinç, bakır, antibakteriyel filamentler, ağaç kabuğu, sıcaklığa duyarlı, PLA, tahta, bronz ve ışığa hassas gibi malzemeler de piyasada yer almaktadır. Bu malzemeler sayesinde tasarımınıza yaraşır harikulade modeller üretebilirsiniz [46].



Şekil 3.16 Eritilerek dökülen plastik malzeme (filament) [46]

3.5.1 PLA filament

PLA (Polylactic Acid), şeker kamışı ve mısır nişastasından imal edilen organik bir termoplastik ve biyopolimerdir. ABS ile karşılaştırıldığında daha parlak bir görünüme sahip olduğu görülmektedir. İnsan sağlığına zararlı bir etkisi bulunmamaktadır. FDM teknolojisini kullanılarak PLA baskı 3D yazıcı cihazı ile yapılabilir. 3D yazıcı dışında; plastik su şişelerinde, plastik kaplar, bazı paketleme malzemeleri ve streç filmler de bulunmaktadır [46].



Şekil 3.17 PLA filament örneği [46]

3.5.2 ABS filament

Petrol bazlı bir termoplastik olan ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) yüksek bir mukavemete sahiptir. ABS baskı FDM teknolojisini kullanılarak yapılabilir. Bunun için ayrıca bir tabla ısıtıcıya sahip bir 3D yazıcı bulunmalıdır. Tümüyle kapalı bir kasaya sahip olan 3D yazıcılarla kaliteli ve sorunsuz baskılar yapılabilir. Bu filamentlere verilecek en güzel örnek LEGO parçalarıdır [46].



Şekil 3.18 ABS filament ile imalat edilen lego parçaları [46]

3.5.3 PETG filament

Termoplastik bir malzemedir. PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol-modified); sentetik fiber, mutfak gereçleri, kek kalıpları, yiyecek saklama kapları ve meşrubat kapları gibi yerlerde kullanılmaktadır. PLA ve ABS'ye bir seçenek olan PETG filamentidir. PETG, ABS'den daha esnek ve daha güçlü bir özelliğe sahiptir. Bu filament tamamen geri dönüştürülebilir. Basımı ise PLA filamenti gibi basit bir şekildedir [46].

3.5.4 Antibakteriyel filament

Özellik olarak PLA'ya çok benzeyen bir filament türüdür. PLA katkılı bir filamenttir. Bu sebeple, basım esnasında ortamda insan sağlığı için zehirli ve zararlı bir gaz oluşturmamaktadır. Kullanılan parçalar yüzey üzerinde bakterileri barındırmayan bir türdür. Kullanım alanları olarak; mutfak, musluk kolları, AVM'lerin tuvaletlerindeki kapı kolları, banyolarda, yemek ve eğitim sektöründe tercih edilir [46].



Şekil 3.19 Antibakteriyel filamentler ile imal edilmiş malzeme örnekleri [46]

3.5.5 Ahşap filament

Ahşap filament ile imal edilen nesneler elle tutulduğunda tahta hissi vermektedir. PLA ve ahşap lifinden üretilen bu filamentler hoş bir görünüme sahiptirler. Ancak çekme direncinden ve esnekliğinden taviz vermektedirler. Bundan dolayı, dayanıklılık isteyen sistemlerde ve hareketli modellerde tercih edilemeyebilir [46].



Şekil 3.20 Ahşap filament örneği [46]

3.5.6 Esnek PLA filament

Bu filamentlerin basımı zor olan bir malzemedir. Diğer adı Termoplastik Elastomerler (TPE)'dir. Yüksek gerilmelere ulaşabilen bu esnek filament için özel olarak dizayn edilen nozzle ve ekstrüder gerekmektedir [46].



Şekil 3.21 Esnek PLA filament örneği [46]

3.5.7 Karbon fiberler

Sert bir yapıya sahip karbon fiberler nesnelerin imalatı sırasında tabakalar güzel bir şekilde yapışır. Üretim sırasında nozzle'ın aşınma durumu olacağından dolayı nozzle, elverişli bir malzeme ile kaplanması gerekmektedir. Diğer filamentlere oranla fiyatı pahalıdır [46].

3.5.8 PC (Polikarbonat) filament

Bu filament daha çok endüstri sanayisinde kullanılır. Polikarbonat, termoplastik bir ürün olduğundan ötürü 3B yazıcılarda kullanılabilir. Ayrıca güçlü bir malzeme çeşidi olduğundan dolayı ise koruyucu kasklar, koruyu kalkanlar ve koruyucu gözlüklerin imalatında tercih edilir. Bir diğer özelliği ise esnek ve yüksek sıcaklığa dayanabilen bir malzeme çeşididir. PC filament ile üretilen bazı nesneler 120 °C'ye kadar şeklini muhafaza edebilirler. Baskı kalitesinin ve dayanımının iyi olmasını istiyor isek, iç ortam sıcaklığını olabildiğince yüksek seviyede tutmamız gerekmektedir [46].

3.5.9 Naylon filament

Bu filamentin kimyasal dayanımı ve mekanik özellikleri iyi olup, neme karşı dayanıklılığı oldukça düşüktür [45].

3.5.10 HIPS

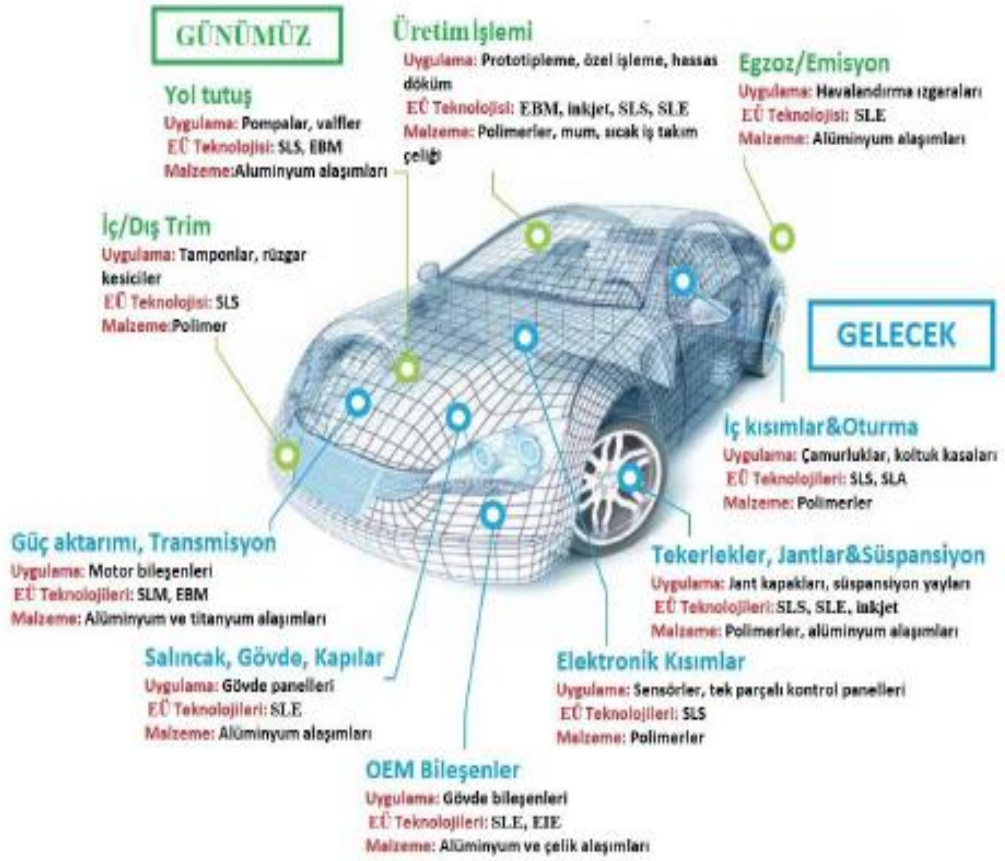
Açılımı High Impact Polystyrene olan bu polimer erime özelliğine sahiptir. Destek ürünü olarak ABS filamentleriyle beraber kullanılır [46].

3.5.11 PVA

Suda erime özelliğine sahip olan bu polimer genellikle kompleks tasarımlara sahip yapılarda tercih edilir. Genellikle PLA filamentler destek malzemesi olarak kullanılır. Basım işlemi destek malzemesi ile yapılırsa üretim kalitesi daha da artacaktır [46].

3.6 Eklemeli İmalat Teknolojisinin Uygulama Alanları

Medikal, sinema, eğitim, eğlence, otomotiv, havacılık ve diğer sektörlerde yaygın olarak kullanılan bir imalat teknolojisidir [34].



Şekil 3.22 Otomobilde eklemeli imalat uygulamaları [3]



Şekil 3.23 Eklemeli imalatın kullanıldığı sektörler [47]

3.7 Eklemeli İmalat Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

3.7.1 Avantajları

- Eklemeli imalat özel kalıp gibi araçlara ihtiyaç duyulmamasından dolayı, maliyet kazancı gibi avantajlara sahiptir.
- Yedek parça üretimi mümkün olduğundan dolayı bakım ve onarım işlemlerinde kullanılır.
- Oluşan atık malzeme miktarının azalmasında fayda sağlar.
- Kompleks geometri ile donatılmış önemli parçaları üretmek imkân dahilindedir.
- Eİ, gözenekli hafif parçaları imal etmede kullanılır.
- Ticari havacılık sektörlerinde kullanılarak atmosfere bırakılan karbondioksit oranının yıllık bazda düşüş yaşanacağı hesaplanmıştır.
- Eklemeli imalatın hafif olması nedeniyle, önemli bir avantaj olarak birçok sistemde yakıt tüketiminde azalma sağlayacaktır [48].

3.7.2 Dezavantajları

- Eklemeli imalat sisteminin kurulması için yüksek bir yatırım yapılması gerekir.
- Kullanılan malzemeler maliyet olarak pahalıdır.
- Yakıt, araç, gereç, gaz ve ham madde gibi yüksek giderleri vardır.
- Kılcal çatlak oluşma ihtimali fazladır.
- Eklemeli imalat işleminin yavaş olmasından dolayı seri üretim için elverişli değildir.
- İmalat sonucu elde edilen parçalara, parlatma ve ısıtma işlemi gibi uygulamalara gereksinim duyulabilmektedir [48].

4. KOMPOZİT MALZEMELER

4.1 Kompozitler

Kompozit, ayrı ayrı imal edilen ve kendini meydana getiren bileşenlerden daha kuvvetli nitelikler elde etmek için birleştirilen iki veya daha fazla fazdan ortaya çıkan bir malzemedir. Buradaki faz sözcüğü, örneğin katı bir metal içerisinde aynı hücre yapısına sahip tanelerin toplamı gibi, homojen bir malzeme kütleini ifade etmektedir. Genel olarak kompozitlerin yapısı, matris ismi verilen bir faz içerisinde parçacık veya elyaf (fiber) şeklindeki diğer fazın karışımı şeklindedir [49].



Şekil 4.1 Kompozit malzeme [42]

Kompozitler hem doğada bulunur (örneğin ağaç gövdesi) hem de yapay olarak üretilirler. Sentetik kompozitler çok daha fazla ilgi çekmektedir. Bu kompozitler, elyaf takviyeli plastikler gibi polimerik bir matris içerisine cam elyaflar ilavesini, epoksi-kevlar kompozit gibi bir plastik içerisine diğer bir plastiğin elyaflarını katılmasını ve sinterlenmiş karbür kesici takım üretmek için kobalt içerisine tungsten karbür parçacıklarının ilavesi gibi metal bir matrise seramik eklenmesini de kapsar [49].

Bir kompozit malzemenin özellikleri; bileşenlerin fiziksel şekillerine, kendini oluşturan bileşenlere ve bileşenlerin birleştirilme şekline bağlıdır. Bazı kompozitler yüksek mukavemet ve hafiflik gibi özelliklere aynı anda sahip olduklarından tenis raketleri, balık oltaları, tekne gövdeleri, uçak parçaları ve araba gövdeleri gibi uygulamalar için çok uygundur. Diğer kompozitler arasında bazıları, örneğin

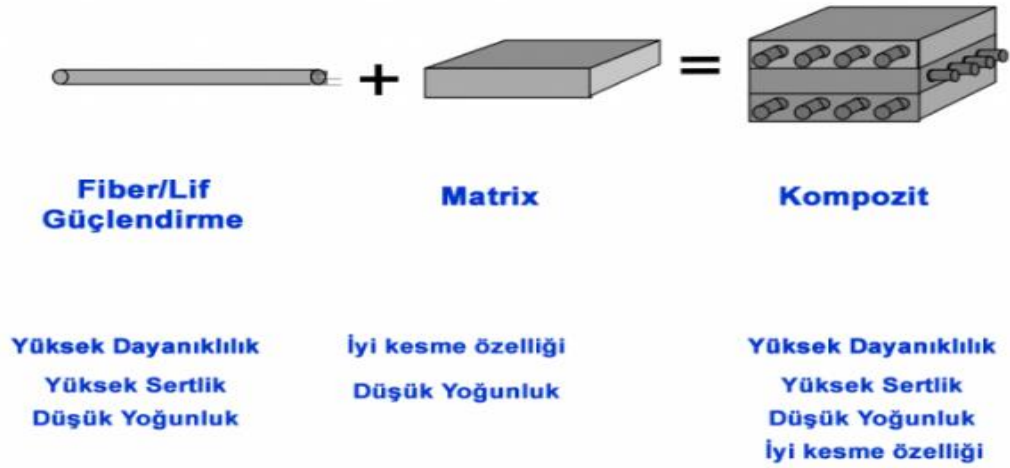
sinterlenmiş karbür kesici takımlar, yüksek mukavemetli ve serttir ve bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda muhafaza edebilmektedirler [49].

4.1.1 Kompozitin yapısı

Kompozit malzeme inceleme altına alındığında üç ana yapı görülmektedir. Bunlar; takviye elemanı (dolgu malzemesi), matris ve ara yüzeydir [50].

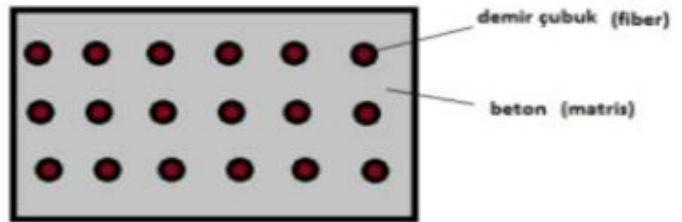
Kompozit malzemelerde dolgu malzemesi diğer adıyla takviye elemanı olarak farklı türde malzemeler seçilir. Dolgu malzemesi olarak elyaf, lif, seramik, tabaka ve metal partiküller kullanılabilir. Takviye elemanı (dolgu malzemesi) farklı yapılandırma (karma kompozit, hibrit) şekillerinde de kullanılabilir. Kompozit malzemelere ad verilirken takviye elemanının şekliyle isimlendirirler. Takviye elemanını asıl görevi; malzemeye gelen yükü yüklenmek, malzemenin hacmini arttırmak ve matris yapıya yardımcı olmaktır [51].

Matris malzemesi, kompozit yapıyı meydana getiren materyallerin tutulmasını sağlayıp, istenilen şekli almasına yardımcı olan ürünlerdir. Matris kompozit malzemelerin yapısında tok bir yapı oluşturarak gerilmeleri karşılayıp, liflerde oluşan çatlamları ve kopmaları önler. Kullanılan malzemenin özelliğine göre kimyasal reaksiyonlara ve fiziksel etkilere karşı yapıyı korur. Kompozit malzeme üzerindeki basınç dayanımını araştırmak istersek matris malzemesinin dayanımına bakmamız bize bilgi verecektir. Matrisin akmaya karşı gösterdiği direnç (viskozite) önemlidir. Çünkü malzemelerin şekillendirilebilmesinde büyük rol oynayıp, sıvı halde kullanımı tercih edilir. Kompozit malzemeyle yapılacak olan imalatlarda matrisin maliyeti, ısıl direnci, sertleşme süresi ve kimyasal özelliği gibi ögeler belirleyicidir [51].



Şekil 4.2 Kompozitin yapısı [52]

Takviye malzemesi, malzemenin üzerine gelen zorlanmayı üstlenen bölüm olup ayrıca malzemeye asıl direnci veren kısımdır. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi betonarme betonun içerisindeki çelik çubuklar takviye fazı iken, çubukların batmış olduğu beton ise matristir. İlk çağlarda insanların kullanmış olduğu kerpiçte buna güzel bir örnektir. Kerpiçte; sarmaşık dalları ve saman takviye malzemesi iken, killi çamur ise matris malzemesidir [53].



Şekil 4.3 Betonarme betonun içindeki matris ve fiberler [54]

4.1.2 Kompozit malzemelerin avantajları

-Hafif: Kompozit malzemeler, metaller ve birçok ahşaba göre çok daha hafiftir. Özellikle ağırlıkla ilgilenen sektörler tasarımlarında kompozit malzemeleri kullanarak ağırlığı azaltmaktadırlar. Örneğin; otomotiv, denizcilik ve havacılık sektörlerinde

yakıttan tasarruf sağlamak amacıyla tercih edilmektedir. Boeing 787 metal malzemeden çok kompozit malzemeden imal edilmiştir [54].

-Yüksek Mukavemet: Alüminyum ve çeliğe göre daha dayanıklı olan kompozitler değişik şekillerde imal edilebilirler [54].

-Ağırlıkla İlgili Kuvvet: Çelik malzemeler çok güçlü ve ağırdır, bambu direkler ise güçlü olup aynı zamanda hafiftir. Kompozit malzemeler ise hem güçlü hem de hafif olması sayesinde en yüksek mukavemet-ağırlık oranına sahiptir olmuştur [54].

-Korozyon Direnci: Hava koşulları, açık hava ve sıcaklık gibi etkenler malzemeler üzerinde korozyona sebep olabilirler. Kompozit malzemeler oluşacak bu hasara karşı dayanıklıdır [54].



Şekil 4.4 Korozyon örnekleri [55]

-Yüksek Darbe Dayanımı: Kompozitler, darbeleri emmek için yapılabilir. Bu özelliğinden dolayı savunma sanayisinde, kurşun geçirmez yelek ve askeri araçları patlamalardan korumak için kompozitler tercih edilmektedir [54].

-Tasarım Esnekliği: Kompozitler, diğer malzemelere göre daha kolay bir şekilde kompleks biçimlerde kalıplanabilir. Örneğin; eğlence amaçlı teknelerin çoğu fiberglas (cam elyaf) kompozitlerden yapılmıştır, böylece malzemeler kolayca karmaşık şekillerde kalıplanabilir ve bu da maliyetleri düşürürken tekne tasarımını iyileştirir. Kompozitlerin yüzeyi ayrıca herhangi bir yüzeyi taklit edecek şekilde kalıplanabilir [54].



(a)



(b)

Şekil 4.5 (a) Kompozit tekne, (b) Karbon fiber pervane örnekleri [56]

-Parça Konsolidasyonu: Kompozit malzemelerden yapılmış parça, tüm metal parça grubunun yerini alabilir. Böylece bir yapıdaki veya makinedeki parça sayısı azaltılmış olup her yönden tasarruf sağlanmış olacaktır. Bu tasarruf; zamanı, maliyeti ve ürüne yapılacak olan periyodik bakımı azaltacaktır [54].

-Boyutsal Kararlılık: Ahşap malzemeler nemli ortamda şişerler ve küçülürler. Kompozit malzemeler ise ıslak ve kuru ortamlarda şekillerini ve boyutlarını muhafaza ederler. Örneğin; uçaklar irtifa kazandıkça veya kaybettikçe kanadın şeklinde ve boyutunda herhangi bir değişim olmaz [54].

-İletken Olmayan: Kompozit malzemeler iletken değildir, yani elektriği iletmezler. Bu özellik onları elektronikte, elektrik direklerinde ve devre kartlarında kullanılır hale getirir [54].

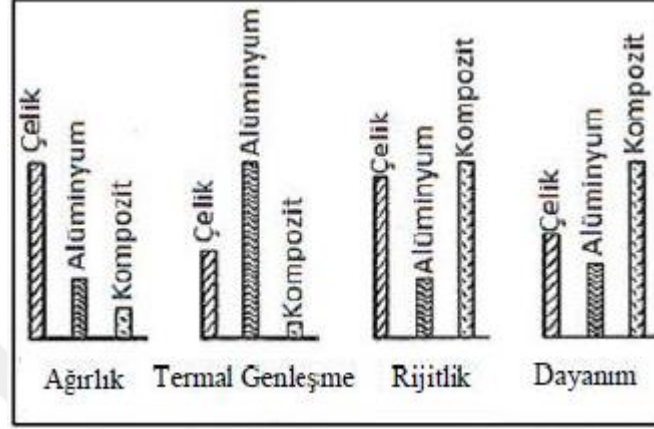
-Manyetik Olmayan: Bir malzemenin manyetik olabilmesi için metal içermesi gerekir. Kompozit malzemeler metal içermediğinden dolayı manyetik değildirler. Bu nedenle hassas elektronik cihazların çevrelerinde rahatlıkla kullanılabilirler [54].

-Radar: Kompozit malzemeler radar sinyallerinin olduğu yerlerde ve radar ekipmanlarının faaliyet gösterdiği yerlerde kullanılan ideal bir malzemedir. B-2 gizli bombardıman uçağı bu özelliğe örnek olarak verilebilir [54].

-Düşük ısı iletkenliği: Bu özelliği sayesinde ısı ve soğuğu kolayca iletmeyip, yalıtkan özellik gösterirler [54].

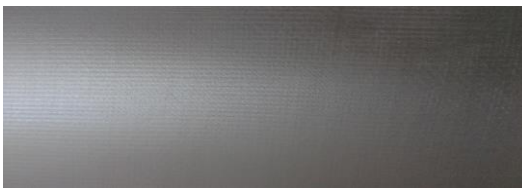
-Dayanıklılık: Bu özellik ile yapılan yapılar ya da üretilen cihazlar uzun ömürlü olup, bakım ve onarım ihtiyacına daha az gereksinim duyulmuştur. Şu an bile günümüzde yarım asır boyunca hizmet veren kompozitten yapılan birçok yapı bulunmaktadır [54].

Tablo 4.1 Farklı mühendislik malzemelerinin genel olarak mukayese edilmesi [17]



4.1.3 Kompozit malzemelerin dezavantajları

- Kompozitlerin yüksek üretim maliyeti vardır [57].
- Kompozitlerin bakım ve onarım işlemi, metallere göre daha karmaşıktır [57].
- Mekanik karakterizasyonu metal yapılara göre daha komplekstir [57].
- Metallere yapışmazlar. Fırınılamadan (pişirmeden) kullanılamazlar [58].
- İmalatı pahalıdır [58].
- Kesme, eğilme, çekme ve basmaya ait mukavemet sonuçları benzer kompozit malzemelerde farklılık gösterir [58].
- Kesme işlemi veya malzemede delik delme gibi yapılan işlemler kompozitte bulunan liflerde açılmaya sebep olmaktadır [58].
- Hava zerrecikleri ve nem, kompozitlerin yorulma ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler [58].



(a) Vakum infüzyon yöntemi



b) El yatırma yöntemi

Şekil 4.6 İki farklı yöntem ile üretilen kompozit malzemenin floresan ışığı altında incelenmesi

4.1.4 Kompozit malzemelerin uygulanma alanları

Kompozit malzemelerin birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

- Sağlık sektörü
- Savunma sanayi
- Otomotiv
- Denizcilik
- Raylı sistemler
- Rüzgâr enerjisi
- Uzay ve Havacılık
- İnşaat
- Zemin kaplamaları
- Kimya sanayisi
- Müzik aletleri
- Dış cephe kaplama
- Spor ekipmanları
- Robot teknolojisi
- Elektronik alanı [59].



Şekil 4.7 Kompozit malzemeler, birçok önemli özelliği beraberinde bulundurması nedeniyle bazı sektörde tercih edilip kullanılmaktadır [60]

Küresel kompozit piyasası her yıl yaklaşık %10 oranında genişlemektedir. Bu piyasanın ilerleyen yıllarda daha da büyümesi bekleniyor. En fazla artışın ise yapı, otomotiv ve havacılık alanında olması kompozit malzemeye verilen önemi göstermektedir [60].

5. BALPETEĞİ KOMPOZİT LEVHALAR

5.1 Çekirdek Malzeme ve Özellikleri

Çekirdek malzemeler, sert fakat daha hafif olan ürünleri üretebilmek için kullanılırlar. Çekirdek malzemeler kullanımında amaç, malzemelerin kalınlığını hafif olan ürünlerle artırmak böylece malzemenin de gücünü artırmaktır [61].



Şekil 5.1 Yüksek performanslı çekirdek (core) malzeme [62]

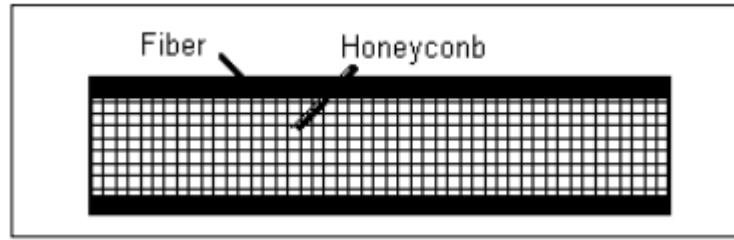
Uygun malzemeyi kullanarak ses yalıtımı, ısı iletkenliği ve yangına karşı dayanıklılık sağlanabilir. Çekirdek malzeme kullanımı sandviç yapıların imalatında da kullanılır. Sandviçler, yüzeyde görünen laminattan, çekirdek malzemedan ve arka yüzey laminattan meydana gelir. Laminatta bir çekirdeğin kullanılması, az bir ağırlık artışıyla daha kalın bir laminat oluşturur. Sertlik laminatın kalın olmasının neticelerinden biridir [61].

En yaygın olan çekirdek malzemeler şunlardır:

- Poliüretan (PU) Köpük Malzemeler
- Polivinil Klorür (PVC) Köpük Malzemeler
- Polietilen Teraftalat (PET) 3D Core Malzemeler
- Balsa (Ahşap) Levhalar
- Petek Yapılı Çekirdek Malzemeler
- Dokunmamış (Non-Woven) Core Malzemeler
- Termoplastik
- PMI Köpük [61].

5.2 Petek Yapılı Çekirdek Malzemeler

Petek yapılı malzemeler düşük ağırlık ve yüksek dayanıklılık gerektiren ürünlerin imalatında kullanılır. Bundan dolayı havacılık, otomotiv ve nakliye sektörlerinde peteklerin kullanımı oldukça yaygındır. Petek malzemeler polipropilen gibi plastik, alüminyum gibi metal, polyamid fiber ve kâğıt gibi malzemelerden de imal edilebilirler. Ağırlıkça düşük olan panelleri de petekler aracılığıyla imal edilebilir. Bal peteğinin pek çok türü vardır. Bunlardan birkaçı şunlardır: termoplastik, alüminyum ve nomex bal peteği [61].

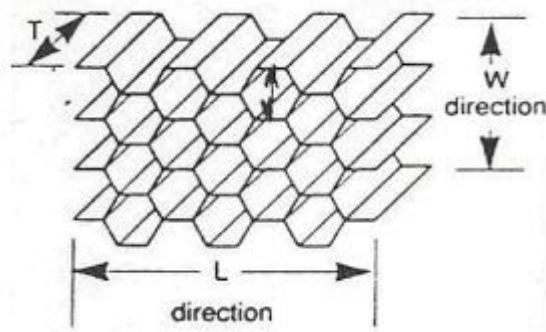


Şekil 5.2 Sandviç panel [63]

Bal peteği; yapı malzemesi olarak metal olmayan kevlar, alüminyum, ısıya dayanıklı bir tür olan aramid ve nomex gibi malzemelerden yapılmıştır. Yüzey plakaları ise kompozit fiber ve alüminyumdan yapılmıştır. Tercih edilen honeycomb türleri ve yapı doğrultuları aşağıdaki gibidir [63].

5.2.1 Hexagonal core

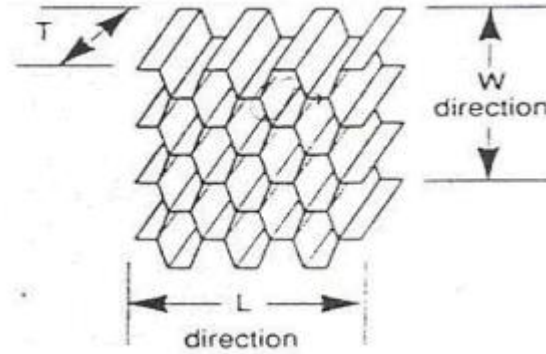
En sık kullanılan hücreli honeycomb yapılarıdır. Bu yapılar metalik malzemelerde ve metalik olmayan malzemelerde tercih edilebilir [63].



Şekil 5.3 Hexagonal core [63]

5.2.2 Ox-core

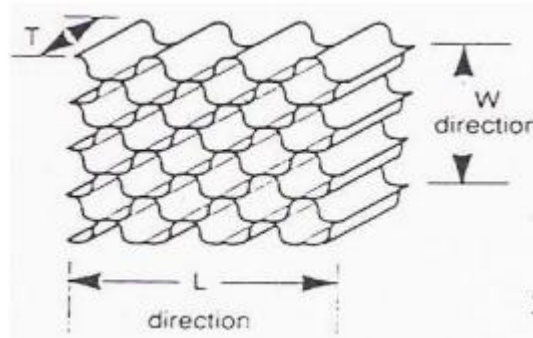
“L” yönünde kolayca eğilme sağlayan, “W” yönünde ise dikdörtgensele şekilde genişletilebilen hexagonal honeycomb yapılarıdır. Ox-core, hexagonal honeycomb ile kıyaslandığında “W” kesme mukavemeti özellikleri artma yönünde, “L” kesme mukavemeti özellikleri ise azalma yönünde meyillidir [63].



Şekil 5.4 Ox-core [63]

5.2.3 Flex-core

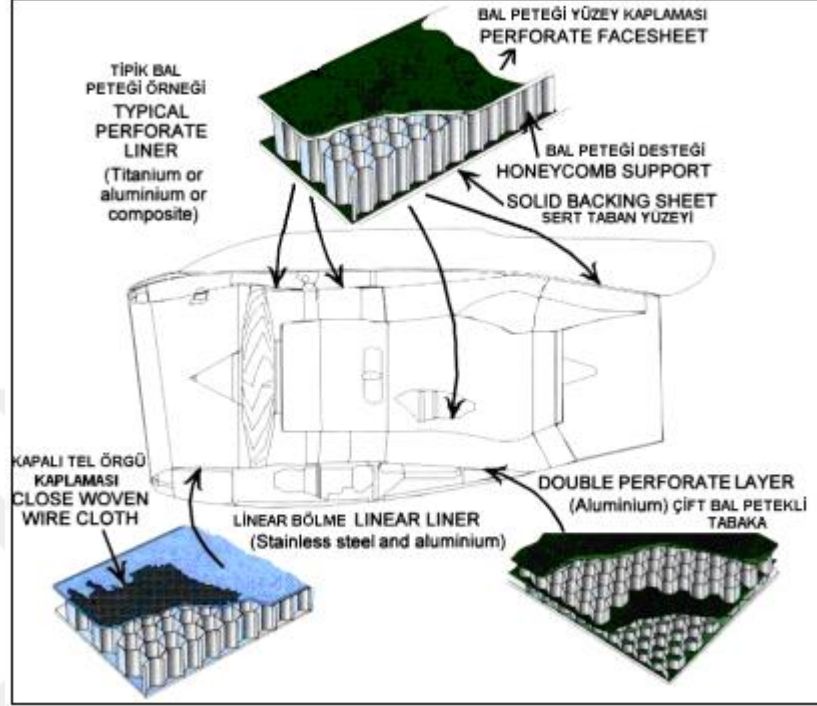
Bütün doğrultularda uzayıp kısalabilen bir yapıya sahiptir. Bu sayede hücre duvarları herhangi bir eğilme ve bükülmeye maruz bırakılmadan şekil verilebilir. Bu özellikleri neticesinde eğimli yüzeylerde kullanılabilir. Flex-core, hexagonal honeycomb'ın kullanıldığı alanlarda da kullanılabilir [63].



Şekil 5.5 Flex-core [63]

Motorun çalışması sırasında oluşan gürültüyü önlemek için akustik paneller imal edilmiştir. Bu akustik panellerin dış yüzeyleri keten bezi tabaka ile kaplanıp ses önleyici özellik kazandırılmıştır. Keten bezi ile birlikte tek örgülü sık dokunmuş olan

“close woven wire cloth” bulunmaktadır. Akustik paneller Şekil 5.6’da görüldüğü gibi motor ile motor kaportası arasına döşenmiştir [64].



Şekil 5.6 Akustik paneller ve motor üzerindeki konumu [64]

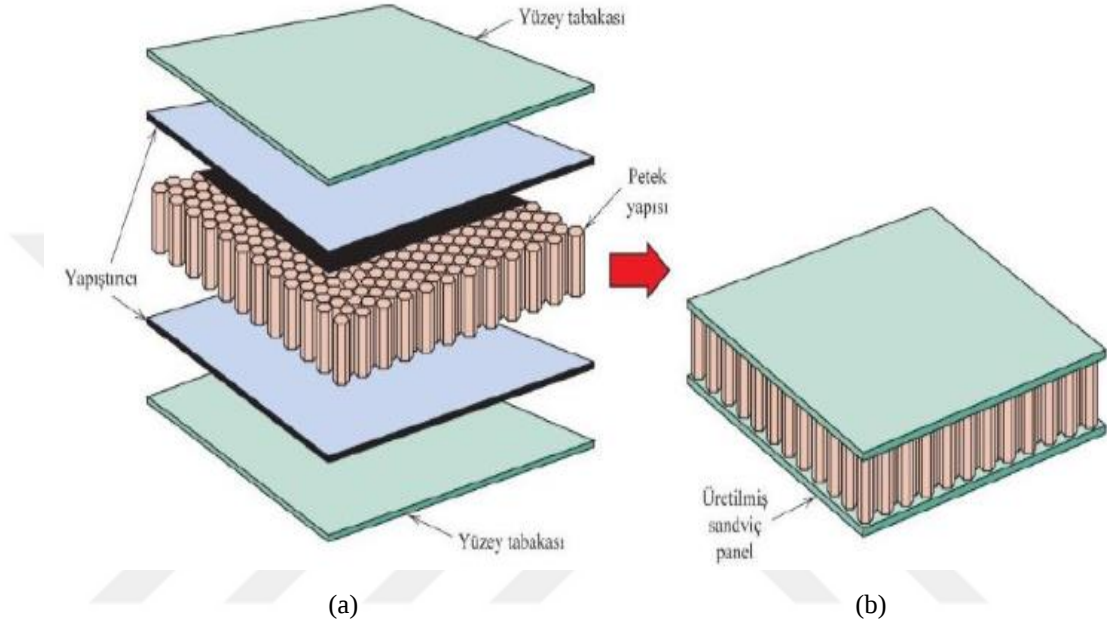
5.3 Bal Peteği Kompozit Levhalar

Bal peteği kompozit levhalar, ince ve mukavemetli olan iki katmanın arasına petek yapılı çekirdeğin yerleştirilmesiyle elde edilir. Yüzeyler arası yük transferinin birbirine aktarılabilmesi için güçlü yapıştırıcılar ile bağlanmıştır. Böylece yüksek rijitlik elde edilmiştir [65].

Bal peteği kompozit malzemeler ilk olarak 1940’lı yıllarda havacılık alanında uçakların gövde yapısında kullanılmaya başlanmıştır. Ancak günümüzde ise birçok sektörde kullanılmaktadır. Bunlar; reklamcılık, denizcilik, taşımacılık, havacılık, inşaat ve mimari gibi birçok sektörde tercih edilmektedir. Bal peteği malzemelerin özellikleri sıralanacak olursa; korozyona karşı gösterdiği direnç, esnek olması, kırılmaya karşı dayanımı, maksimum basma, enerjiyi absorbe etme gibi özellikleri mevcut bulunmaktadır [66].

Hem mukavemetin hem de hafifliğin arandığı alanlarda balpeteği kompozit panellerin kullanımında artış görülür [65].

Çekirdek malzeme, ara yapıştırıcı, alt ve üst yüzey levhalar balpeteği kompozit panellerin yapısını oluşturmaktadır [65].

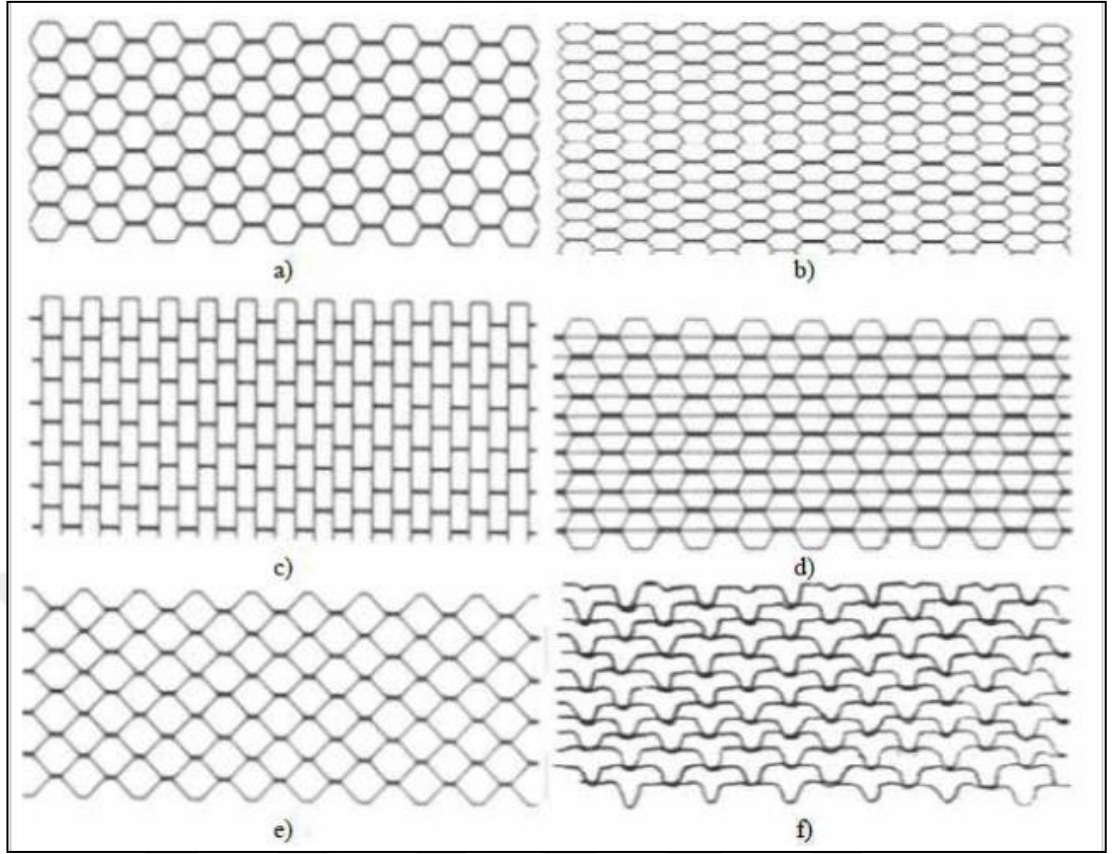


Şekil 5.7 Sandviç panelin imalat aşamaları; a) Demontaj vaziyeti, b) Montaj vaziyeti [65]

Balpeteği kompozitler içerisinde en çok tercih edilen altıgen petek yapısıdır. Ancak altıgen petek yapısından başka petekli yapılarda bulunmaktadır. Bu petek yapıları hücre türleri Şekil 5.8’de gösterilmiştir. [65].

Bunlar;

- a) Altıgen petekli yapı,
- b) Az uzatılmış altıgen yapı,
- c) Aşırı uzatılmış dikdörtgen yapı,
- d) Takviye edilmiş altıgen yapı,
- e) Kare petekli yapı,
- f) Flex petekli yapıdır [65].



Şekil 5.8 Hücre çeşitleri [65]

Balpeteği yapılar imal edilirken çeşitli yapıştırıcılar uygulanmaktadır. Bu yapıştırıcılardan bazıları;

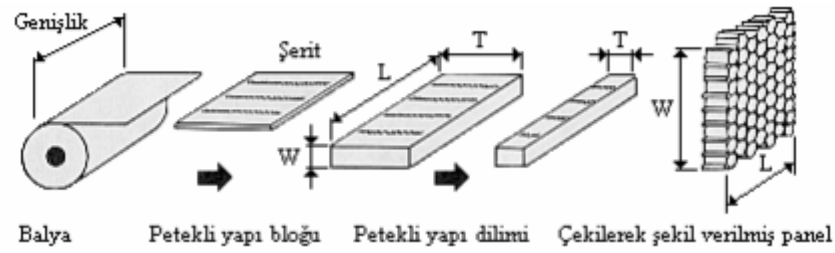
- vinilfenolik,
- poliimid,
- üretan,
- nitrilfenolik,
- polyamid
- epoksi yapıştırıcılardır [67].

5.4 Petekli Yapı Çekirdek Üretim Yöntemleri

Petekli yapı çekirdek üretim yöntemlerinde genel olarak iki temel yöntem kullanılır. Bu iki temel yöntemden ilki uzatarak şekil verme yöntemidir. Diğer temel üretim yöntemi ise kıvrırma yöntemidir.

5.4.1 Uzatarak şekil verme yöntemi

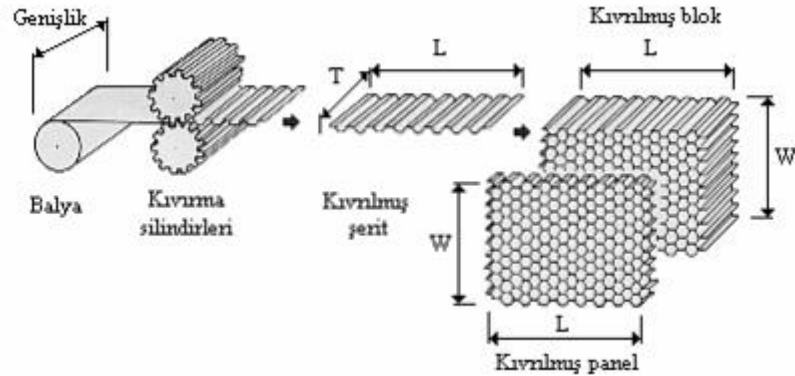
Petekli yapı hücrelerin imalatında en çok tercih edilen yöntemdir. Bu üretim yapılırken öncelikle levhalar şerit şeklinde kesilip yapıştırılır. Daha sonra kesilen levhalar üst üste biriktirilerek belirli bir sıcaklıkta preslenir. İstenen ölçülerde kesilen alüminyum kütük yapıları çekme işlemine maruz bırakılır. Şekil 5.9’da görüldüğü gibi levhalar şekil aldıktan sonra üretim tamamlanmış olur. İster metal olsun ister metal olmasın hücre üretimi için rahatlıkla tercih edilebilir [68].



Şekil 5.9 Uzatarak şekil verme yönteminin şematik gösterimi [68]

5.4.2 Kıvrırma yöntemi

Petekli yapı temel üretim yöntemlerinden diğeri ise kıvrırma yöntemidir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan yapıların üretiminde kullanılır. Kıvrırma yönteminde levhalar planlanan şekilde kıvrılır. Daha sonra bağlanan noktalara uygun yapıştırıcı kullanılır. Akabinde levhalar üst üste bırakılır ve uygun sıcaklığa maruz bırakılır. Böylelikle Şekil 5.10’da görüldüğü gibi üretim tamamlanır [68].



Şekil 5.10 Kıvrırma yönteminin şematik gösterimi [68]

5.5 Petekli Sandviç Kompozit Malzemelerin Üretim Metodları

Petekli sandviç kompozit malzemelerin üretim metodu 3'e ayrılır.

1-Sıcak pres yöntemi

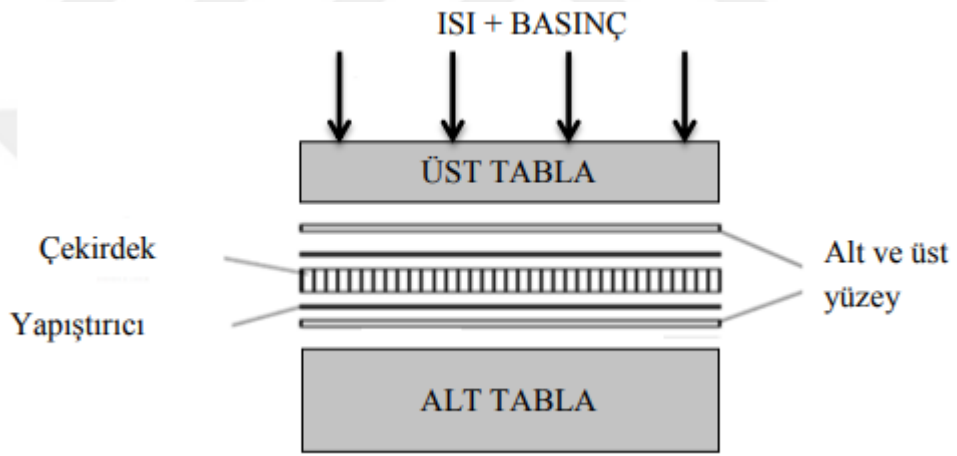
2-Vakum yöntemi

3-Kalıplama yöntemidir [69].

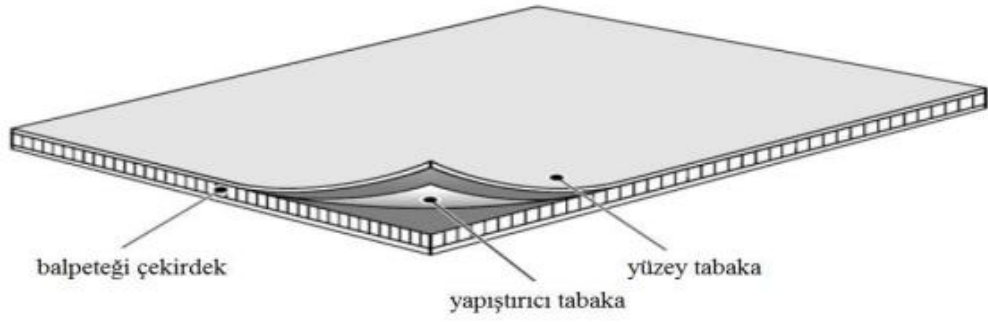
Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

5.5.1 Sıcak pres yöntemi

Basit yapılı sandviç kompozit panellerin imalatında tercih edilir. Parçanın imalat süreci bir defada bitecek biçimde düzenlenir. Genellikle prepreg ve metalik yüzeylerle donatılmış sandviç kompozit üretiminde kullanımı tercih edilir. Şekil 5.11'de görüldüğü gibi alt ve üst yüzeyler arasında kalan çekirdek kısım uygun yapıştırıcı ile yapıştırıldıktan sonra alt ve üst tabla arasına yerleştirilip sandviç üretimi yapılabilir. Yalnız burada yapıştırma işlemi yapılmadan önce yüzey tabakalarına sıcak pres uygulanır [69].



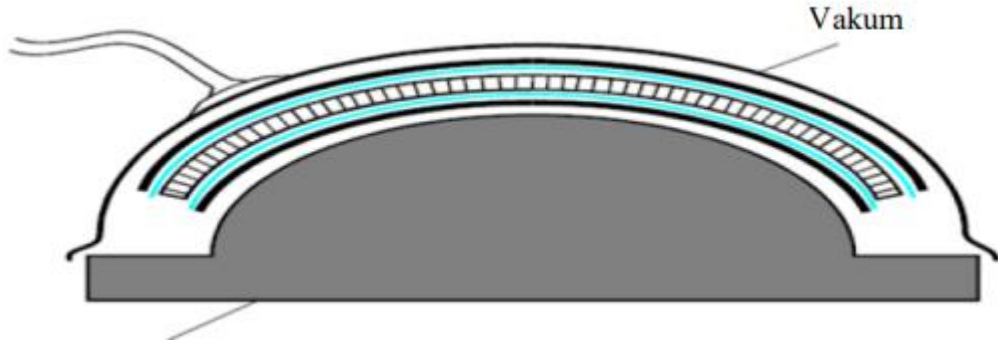
Şekil 5.11 Sıcak pres yönteminin şematik olarak gösterimi [69]



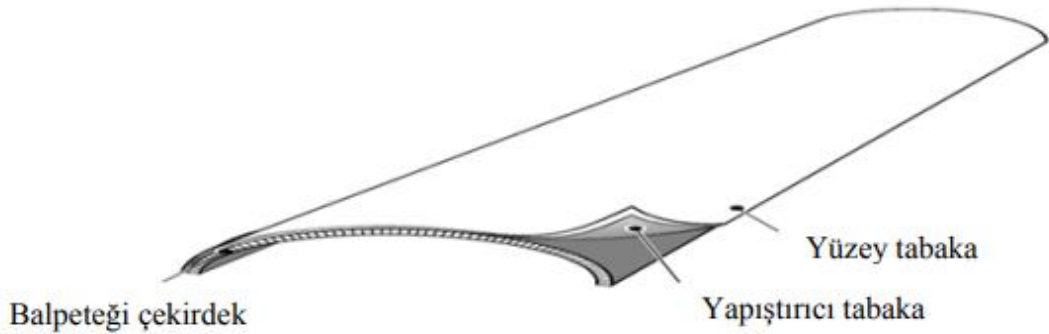
Şekil 5.12 Sıcak pres yöntemiyle imal edilmiş örnek bir kompozit yapı [69]

5.5.2 Vakum yöntemi

Karmaşık yapıya sahip sandviç panellerin imalatında tercih edilir. Yöntemin adından da anlaşılacağı gibi imalat vakum vasıtasıyla yapılmaktadır. Üretimi yapılacak olan parçalar, sıcak pres yöntemindeki gibi bir defada bitecek şekilde planlanmalıdır. Parçanın sertleştirilmesi otoklav ya da fırın aracılığıyla yapılabilir. Vakum yöntemi, reçine emdirilmiş elyaf (prepreg) yüzeylerle donatılmış sandviç levhaların imalatında kullanılabilir [69].



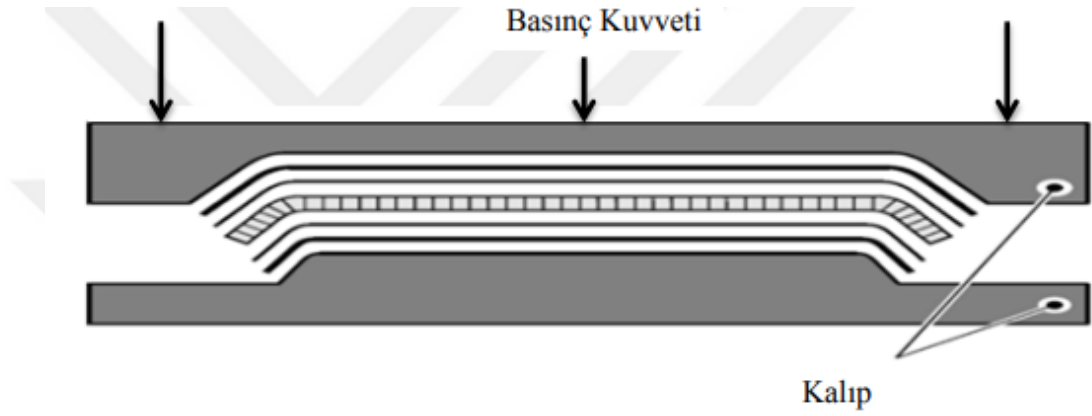
Şekil 5.13 Vakum yönteminin şematik olarak gösterimi [69]



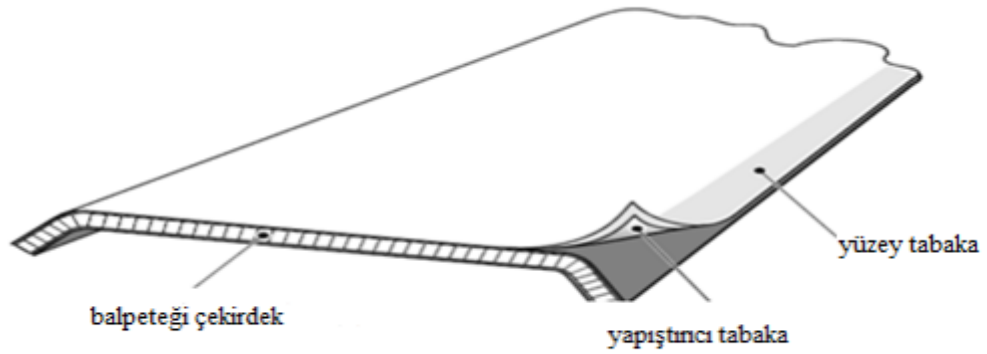
Şekil 5.14 Vakum yöntemi ile imal edilmiş sandviç kompozit [69]

5.5.3 Kalıplama yöntemi

Seri imalat yapılan çalışmalarda genellikle tercih edilen bir yöntemdir. Kalıplama yönteminin tercih edilmesindeki temel amaç yüzey kalitesinin yüksek olduğu parçalar imal edebilmektir. Genellikle ısıtıcı ekipmanlar ve basınç kullanılarak sertleştirilen sandviç yapılar kalıplama yöntemi için kullanılan tekniktir [69].

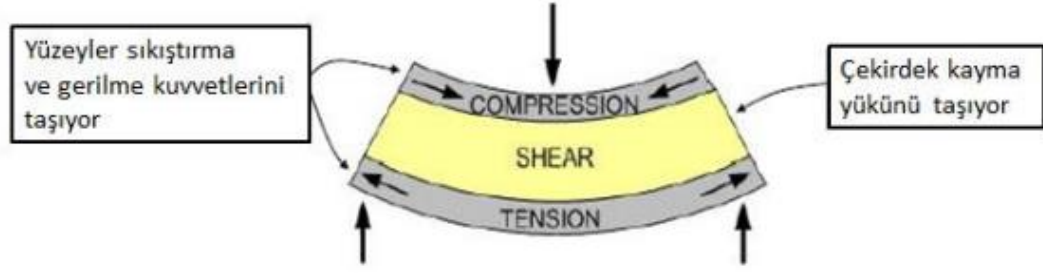


Şekil 5.15 Kalıplama yönteminin şematik gösterimi [69]



Şekil 5.16 Kalıplama yöntemiyle imal edilmiş örnek bir kompozit yapı [69]

5.6 Balpetek Yapılı Sandviç Kompozitlerde Hasar Türleri



Şekil 5.17 Üç nokta eğilme testi sırasında sandviç kompozitte oluşan gerilmeler [17]

Şekil 5.17’de görülen üç nokta eğilme testine tabi tutulan sandviç kompozite uygulanan yük sonucu çekirdek kısmında, alt ve üst yüzeylerinde çeşitli gerilmeler meydana gelmiştir. Bu gerilmeler şunlardır:

- Çekirdek kısmında kesme gerilmesi,
- Alt yüzeyde çekme gerilmesi,
- Üst yüzeyde ise basma gerilmesi oluşmuştur.

Balpeteği kompozit yapılarda oluşan hasar türleri Şekil 5.18’de verilmiştir.

	Dayanç hatası		Yüzey ezilmesi modeli
	Balpeteği kompozitlerin rijitliği		Hücreler arası kıvrılma
	Balpeteği kompozitin burkulması		Bölgesel basınçla oluşabilecek hata
	Balpeteği kompozitte kesme kıvrımlarının oluşumu		

Şekil 5.18 Balpeteği sandviçlerin hasar çeşitleri [17]

6. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada; eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş balpeteği kompozit levhaların mekanik davranışları deneysel yöntemlerle araştırılmıştır. Bu çalışma yapılırken deney numunesinin çekirdek kısmı PLA ve ABS esaslı filament kullanılarak, dış kısım ise camfiber/epoksi tabakalı kompozit levha kullanılarak üretilmiş olup balpeteği kompozit levhaların eğilme ve basma davranışları araştırılmıştır.

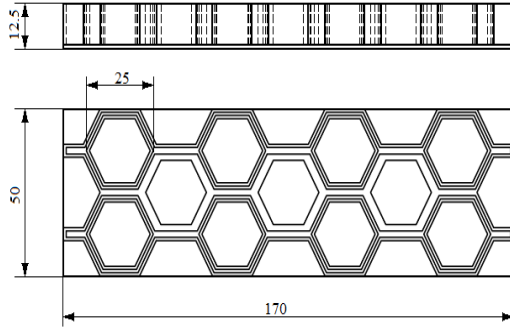
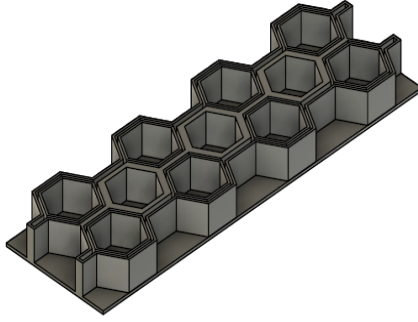
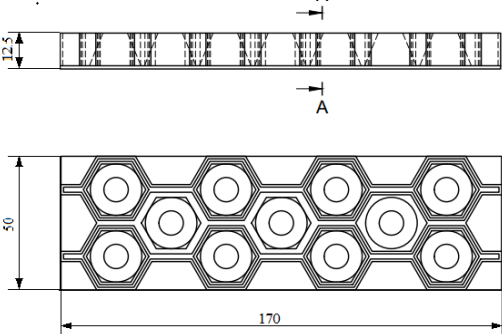
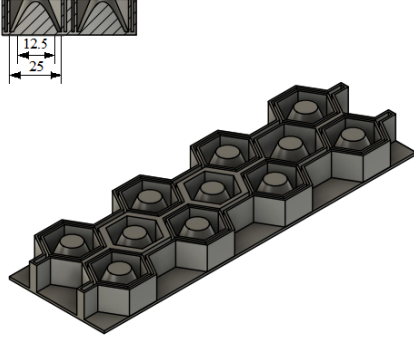
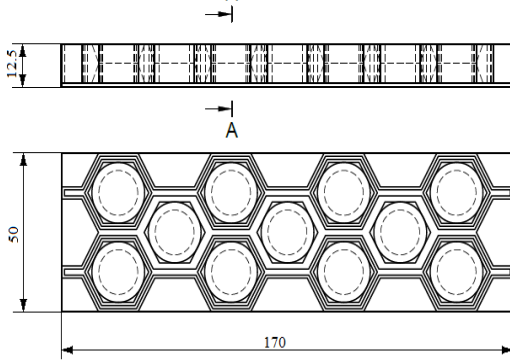
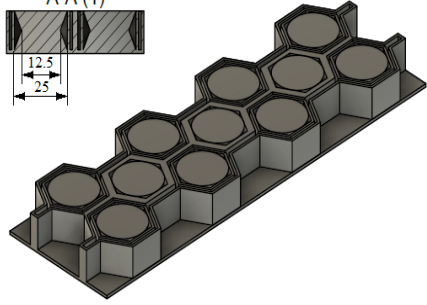
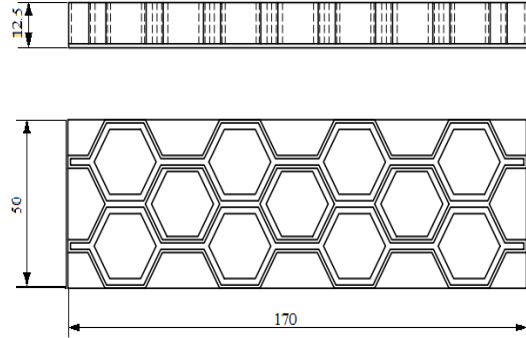
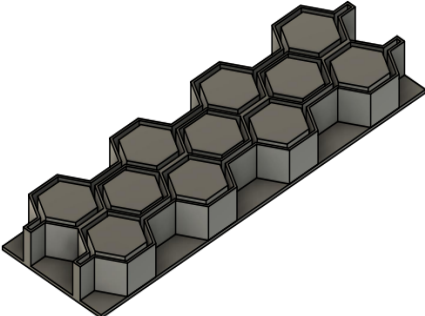
6.1 Deney İçin Hazırlık

Bu deneysel çalışmada, üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak PLA ve ABS malzemeden 25 mm hücre çapına sahip, 12,5 mm hücre duvarı yüksekliğinde ve hücre duvarı kalınlığı 1,2 mm olan bal peteği çekirdek kısmı üretilmiştir.



Şekil 6.1 Balpeteği çekirdek kısmının üç boyutlu yazıcı kullanılarak imalatı

Şekil 6.1’de balpeteği çekirdeklerin üç boyutlu yazıcı kullanılarak imal edilme süreci görülmektedir. Bu süreçte önceden üç boyutlu olarak hazırlanan sanal numunelerin üç boyutlu yazıcı yardımı ile çeşitli kimyasal ve ısı işlemlere maruz bırakılarak imalatı yapılmıştır. Parametre olarak ise 4 farklı hücre tipi üretilmiştir. Bu yapıların çekirdek kısımları ve geometrik özellikleri Tip1, Tip2, Tip3 ve Tip4 şeklinde adlandırılarak teknik resimleri Şekil 6.2’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

TİP 1		
TİP 2		
TİP 3		
TİP 4		

Şekil 6.2 Çalışmada incelenen balpeteği kompozit yapının çekirdek kısımları ve geometrik özellikleri

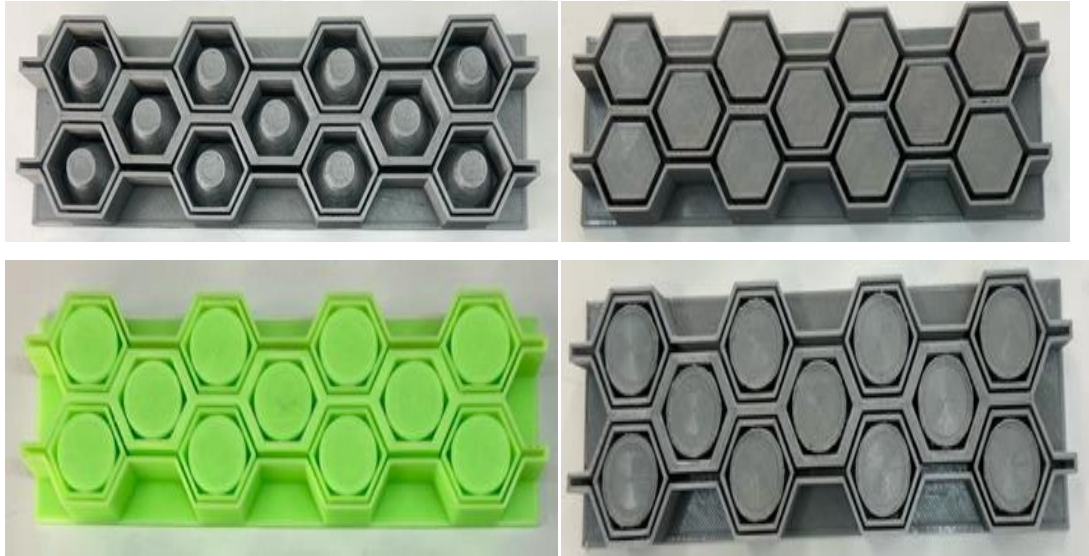
Tip 1: İçi boş balpeteği çekirdek yapıları numune.

Tip 2: Kesik koni şeklinde dolgulu balpeteği çekirdek yapıları numune.

Tip 3: Kum saati formunda dolgulu balpeteği çekirdek yapıları numune.

Tip 4: Altıgen dolgulu balpeteği çekirdek yapıları numune.

Eğilme deneyi için 50 mm x 170 mm boyutlarında Tip1, Tip2, Tip3 ve Tip4 balpeteği çekirdek yapıları numunelerden 24 adet üretilmiştir. Çalışmada kullanılan balpeteği kompozit levhaların 12 tanesi PLA esaslı malzemeden geriye kalan diğer 12 tanesi ise ABS esaslı malzemeden imal edilmiştir. Gri renkli olan numuneler PLA, yeşil renkli olan numuneler ise ABS malzemeden üretilmiştir. Burada mevcut bulunan 4 tip çekirdek yapıda hücre çapı, hücre duvarı yüksekliği, hücre duvarı kalınlıkları ve boyut parametreleri sabit tutulmuştur. Değişken olan parametre ise; numunelerin üretim aşamasında kullanılan malzeme çeşidi olmuştur.



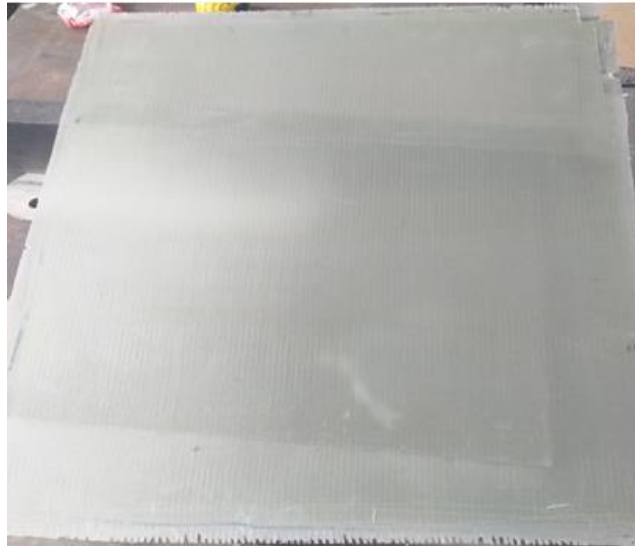
Şekil 6.3 Eğilme deneyi için hazırlanmış PLA ve ABS malzemelerden üretilmiş numune örnekleri

Basma deneyi için ise 50 mm x 85 mm boyutlarında Tip1, Tip2, Tip3 ve Tip4 balpeteği çekirdek yapıları numunelerden 24 adet üretilmiştir. Eğilme deneyi için hazırlanan parametreler basma deneyi için de aynı şekilde hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan balpeteği kompozit numunelerin 12 tanesi PLA esaslı malzemeden geriye kalan diğer 12 numune ise ABS esaslı malzemeden imal edilmiştir.



Şekil 6.4 Basma deneyi için hazırlanmış PLA ve ABS malzemelerden üretilmiş numune örnekleri

Eğilme ve basma testi için hazırlanmış olan numunelerde yüzey örtüsü olarak kullanılmak amacıyla 6 tabakalı 600 g/m² örgülü camfiber/epoksi tabakalı kompozit levha kullanılmıştır.



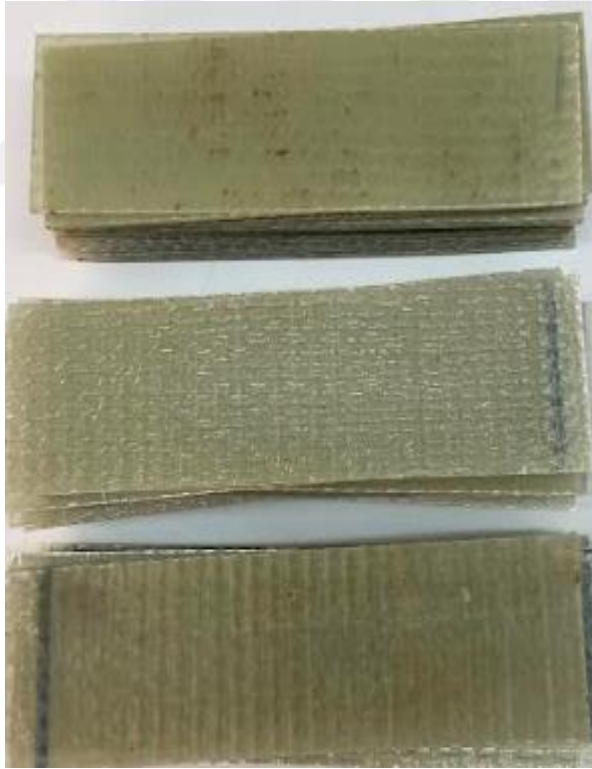
Şekil 6.5 Yüzey örtüsü olarak kullanılan kompozit levha

Yüzey örtüsü için hazırlanan kompozit levha eklemeli üretim ile imalat edilmiş olan 50 mm x 170 mm (üç nokta eğilme testi için) ve 50 mm x 85 mm (basma testi için) boyutlarındaki çeşitli hücre yapılarına sahip balpeteği numuneleri örtecek bir şekilde yatar daire testere yardımıyla toplamda 48 adet parça kesimi yapılmıştır.



Şekil 6.6 Kompozit tabakanın kesim aşaması

Kesimi yapılan kompozit levhalar hazırlanan balpeteği çekirdek yapılı numunelerin yüzeyini tam kapatacak şekilde olup olmadığı deney öncesinde kontrol edilmiştir.



(a)

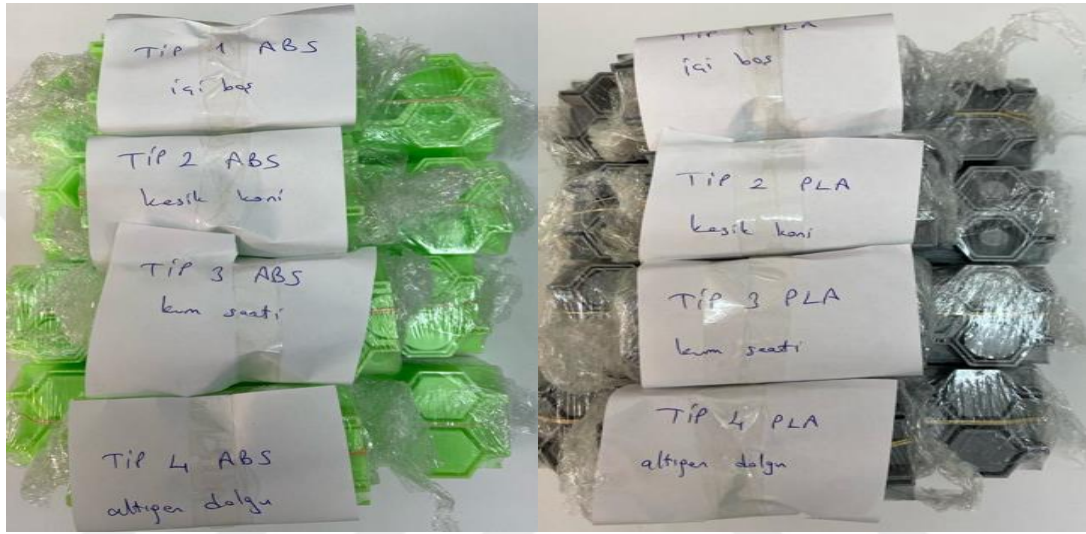


(b)

Şekil 6.7 Hazırlanmış olan kompozit yüzey örtüleri (a) 50 mm x170 mm, (b) 50 mm x 85 mm

Hazırlanan numuneler temiz ve pürüzsüz bir zemine bırakılıp numunelerin karışmaması için tek tek adlandırma işlemi yapılmıştır. Bu adlandırmalar; Tip1 PLA

içi boş (1-2-3), Tip2 PLA kesik koni (1-2-3), Tip3 PLA kum saati (1-2-3), Tip4 PLA altıgen dolgu (1-2-3) nolu numuneler olarak adlandırılmıştır. Ayrıca numunelerin adlarının önüne E (eğilme) ve B (basma) harfleri de eklenerek numunelerin hangi deneyde kullanıldığı belirlenmiştir. Aynı adlandırma metodu ABS malzemeleri içinde yapılmıştır. Deney numunelerinin adlandırılma işlemi 7. Bölüm’de Şekil 7.2’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Deney numunelerinin adlandırma işlemi

Yüzey örtüsü ile balpeteği çekirdek yapılı numuneler yapıştırılmadan önce ayrı ayrı hassas terazi ile ölçümü yapılmıştır.

Tablo 6.1, Tablo 6.2, Tablo 6.3 ve Tablo 6.4’te ABS ve PLA esaslı malzemeden üretilen balpeteği çekirdek yapısına sahip olan numunelerin adları, hücre yapıları, boyutları, ağırlıkları, alt ve üst tabaka yüzey örtülerinin özellikleri belirtilmiştir.

Tablo 6.1 Eğilme deneyi için üretilen ABS malzemeye ait numunelerin özellikleri

Numune adı	Hücre yapısı	Numunenin boyutu (mm)	Numunenin ağırlığı (g)	Alt yüzey tabakası ağırlığı (g)	Üst yüzey tabakası ağırlığı (g)
Tip1-Abs-1	İçi boş	50x170	31,01	29,28	28,45
Tip1-Abs-2	İçi boş	50x170	31,12	31,32	28,62
Tip1-Abs-3	İçi boş	50x170	31,23	29,12	27,67
Tip2-Abs-1	Kesik koni	50x170	43,36	30,96	29,26
Tip2-Abs-2	Kesik koni	50x170	43,58	29,22	28,15
Tip2-Abs-3	Kesik koni	50x170	43,70	30,96	31,05
Tip3-Abs-1	Kum saati	50x170	47,94	29,46	28,49
Tip3-Abs-2	Kum saati	50x170	47,95	31,33	27,82
Tip3-Abs-3	Kum saati	50x170	47,84	27,68	30,61
Tip4-Abs-1	Altıgen dolgu	50x170	42,67	27,55	27,87
Tip4-Abs-2	Altıgen dolgu	50x170	42,92	28,80	27,06
Tip4-Abs-3	Altıgen dolgu	50x170	42,42	28,15	28,06



Şekil 6.9 Tip2-PLA (50 mm x 170 mm) kesik koniye ait numunenin tartılma işlemi

Tablo 6.2 Eğilme deneyi için üretilen PLA malzemeye ait numunelerin özellikleri

Numune adı	Hücre yapısı	Numunenin boyutu (mm)	Numunenin ağırlığı (g)	Alt yüzey tabakası ağırlığı (g)	Üst yüzey tabakası ağırlığı (g)
Tip1-Pla-1	İçi boş	50x170	37,88	30,15	29,52
Tip1-Pla-2	İçi boş	50x170	37,74	30,80	27,01
Tip1-Pla-3	İçi boş	50x170	38,22	29,75	28,23
Tip2-Pla-1	Kesik koni	50x170	49,12	30,15	30,15
Tip2-Pla-2	Kesik koni	50x170	49,81	31,21	28,14
Tip2-Pla-3	Kesik koni	50x170	50,26	30,55	30,59
Tip3-Pla-1	Kum saati	50x170	52,34	29,39	27,62
Tip3-Pla-2	Kum saati	50x170	54,89	27,71	28,27
Tip3-Pla-3	Kum saati	50x170	55,45	27,90	27,95
Tip4-Pla-1	Altıgen dolgu	50x170	49,06	30,25	30,13
Tip4-Pla-2	Altıgen dolgu	50x170	48,34	30,43	30,23
Tip4-Pla-3	Altıgen dolgu	50x170	47,16	28,14	29,83



Şekil 6.10 Yüzey örtüsünün tartılma işlemi

Tablo 6.3 Basma deneyi için üretilen ABS malzemeye ait numunelerin özellikleri

Numune adı	Hücre yapısı	Numunenin boyutu (mm)	Numunenin ağırlığı (g)	Alt yüzey tabakası ağırlığı (g)	Üst yüzey tabakası ağırlığı (g)
Tip1-Abs-1	İçi boş	50x85	15,50	14,46	14,96
Tip1-Abs-2	İçi boş	50x85	15,28	14,85	14,12
Tip1-Abs-3	İçi boş	50x85	15,23	14,36	14,80
Tip2-Abs-1	Kesik koni	50x85	21,84	14,86	14,97
Tip2-Abs-2	Kesik koni	50x85	21,92	14,37	14,10
Tip2-Abs-3	Kesik koni	50x85	21,92	14,44	14,70
Tip3-Abs-1	Kum saati	50x85	24,30	14,75	14,15
Tip3-Abs-2	Kum saati	50x85	24,27	14,42	15,68
Tip3-Abs-3	Kum saati	50x85	24,14	14,41	14,80
Tip4-Abs-1	Altıgen dolgu	50x85	21,49	13,77	14,49
Tip4-Abs-2	Altıgen dolgu	50x85	21,34	14,54	13,07
Tip4-Abs-3	Altıgen dolgu	50x85	21,32	14,77	14,56

Tablo 6.4 Basma deneyi için üretilen PLA malzemeye ait numunelerin özellikleri

Numune adı	Hücre yapısı	Numunenin boyutu (mm)	Numunenin ağırlığı (g)	Alt yüzey tabakası ağırlığı (g)	Üst yüzey tabakası ağırlığı (g)
Tip1-Pla-1	İçi boş	50x85	18,94	13,14	14,50
Tip1-Pla-2	İçi boş	50x85	18,87	13,82	15,47
Tip1-Pla-3	İçi boş	50x85	19,11	14,76	14,23
Tip2-Pla-1	Kesik koni	50x85	24,71	14,70	14,98
Tip2-Pla-2	Kesik koni	50x85	24,92	15,16	12,90
Tip2-Pla-3	Kesik koni	50x85	25,23	15,04	13,40
Tip3-Pla-1	Kum saati	50x85	27,35	14,43	14,00
Tip3-Pla-2	Kum saati	50x85	27,75	14,75	14,35
Tip3-Pla-3	Kum saati	50x85	28,00	14,30	14,81
Tip4-Pla-1	Altıgen dolgu	50x85	25,00	14,47	14,23
Tip4-Pla-2	Altıgen dolgu	50x85	24,65	14,83	14,41

Tip4-Pla-3	Altıgen dolgu	50x85	24,81	15,30	14,91
------------	---------------	-------	-------	-------	-------

Numunelerin tartılma işlemi bittikten sonra yüzey örtülerinin yapıştırılma aşamasına geçilmiştir. Bu yapıştırma işleminde LOCTITE EA 9466 epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcı reçine ve sertleştirici olmak üzere iki tüpten oluşmaktadır. Reçine ve sertleştirici tüpleri karıştırılarak uygulamaya hazır hale getirilmiştir. Bu yapıştırıcı, fırça ve çubuk vasıtasıyla yüzey örtülerine sürülüp çekirdek kısımlar yüzey örtülerin arasında bırakılmıştır. Bu işlemin ardından numunelerin üzerine ağırlık bırakılarak oda sıcaklığında 48 saat boyunca yapıştırıcının kuruması beklenmiştir.



Şekil 6.11 Yapıştırıcı malzemenin kullanılması (a) Epoksi yapıştırıcı (b) Çekirdek yapı ile yüzey örtüsünün yapıştırılması

Şekil 6.12’de PLA ve ABS esaslı malzemelerden üretilen, yüzey örtüsü ile kaplanan, epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan ve ayrı ayrı adlandırılıp deneye hazır hale getirilen numuneler görülmektedir.



Şekil 6.12 Yapıştırıcının kuruması sonrası deneye hazır olan balpeteği kompozit numuneler

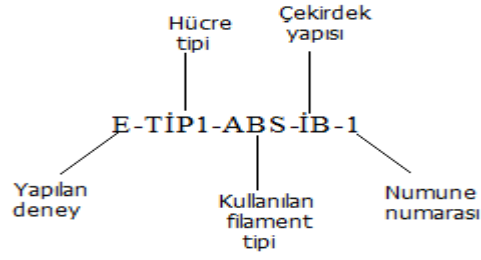
7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üretilen deney numunelerinin üç nokta eğilme testi ve basma testini gerçekleştirebilmek için Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Mekanik Merkez Laboratuvarında mevcut bulunan Instron 8801 marka çekme-basma test cihazı kullanılarak deney yapılmıştır. Üç nokta eğilme ve basma deneyi oda sıcaklığında 5 mm/dk ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.1 Çekme-basma test cihazı

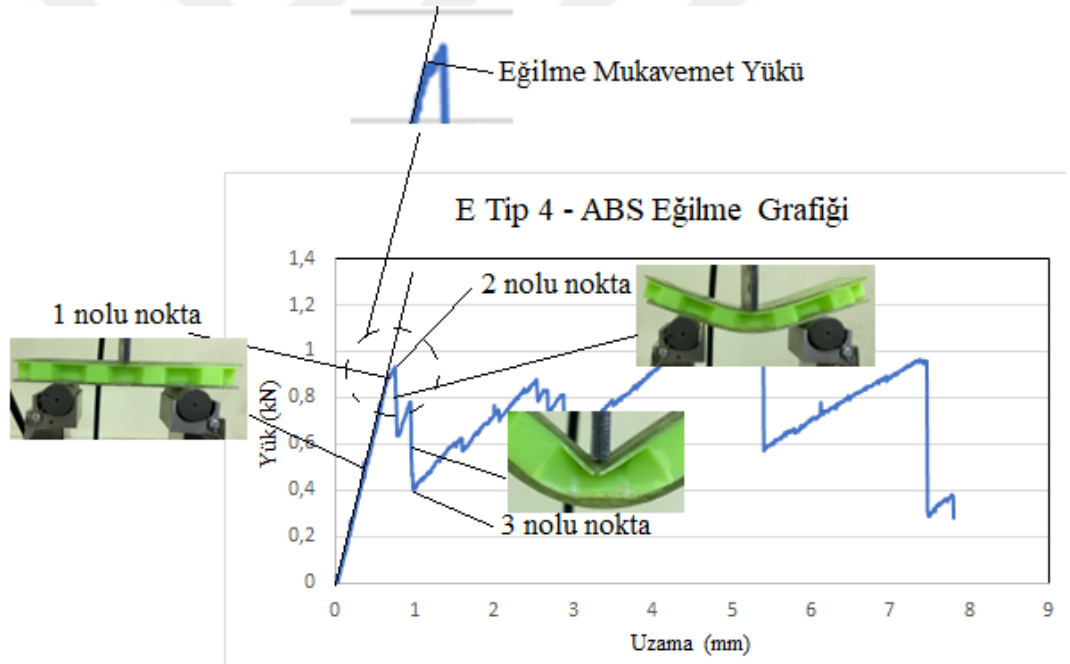
Cihazımızın üst çenesi sabit, alt çenesi ise hareketli bir cihazdır. Test aşamasında ve test sonunda oluşan veriler cihaza bağlı olan bir bilgisayar tarafından excel formatında elde edilmiştir. Bu veriler adlandırarak bilgisayara kaydedilmiş olup; Şekil 7.2'deki yöntem ile numunelerin adlandırması yapılmıştır. E-TİP1-ABS-İB-1 şeklinde yapılan adlandırmanın açılımı ABS malzemesi ile üretilen içi boş balpeteği çekirdeğe sahip 1 nolu numunenin eğilme testi, aynı şekilde B-TİP4-PLA-AD-2 açılımı ise PLA malzemesi ile üretilen hücrenin içi altıgen dolgu olan 2 nolu numunenin basma testinin açılımıdır. Bu yöntem ile imal edilen numuneler ve oluşturulan grafikler adlandırılmıştır.



Şekil 7.2 Deney numunelerinin adlandırılma yöntemi

7.1 Üç Nokta Eğilme Deneyi ve Sonuçları

Bu bölümde üretilmiş olan 4 farklı çekirdek türü, iki farklı malzemeden üretilen, boyutların genişliği 50 mm, uzunluğu ise 170 mm olan numuneler üç nokta eğilme deneyine maruz bırakılmıştır. Her tip için 3 adet numunenin testi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.3 Eğilme deneyinin açıklanması

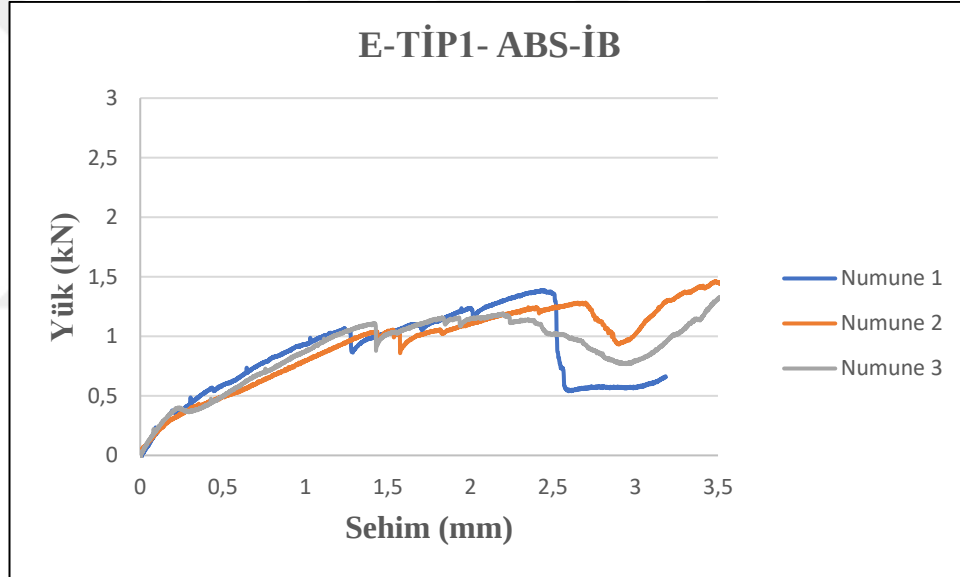
Eğilme deneyi sonucunda Şekil 7.3'te TİP4 ABS esaslı malzemeden üretilen altıgen dolgulu balpeteği çekirdek yapıya sahip 1 nolu numune (E-TİP4-ABS-AD-1) için elde edilen eğilme deney sonuçları gösterilmiştir. Deney başlangıcından itibaren 1 nolu noktaya kadar yüklerin lineer olarak arttığı elastik bölge görülmektedir. 1 nolu noktada görülen resimde yük değeri aşıldıktan sonra eğilmenin başladığı görülmüş olup bu nokta eğilme mukavemet yükü olarak kabul edilmiştir. Grafik üzerindeki 2 nolu

resimde görüldüğü üzere grafik eğilmeye başlamıştır. 3 nolu noktaya kadar hücre duvarı ezilmesi görülmüştür. 3 nolu noktadan sonra hücre duvarı ezilmesinden dolayı bir mukavemet artışı gerçekleştiği grafikten gözlemlenmiştir.

7.2 ABS Malzemesi İle İmal Edilen Numuneler

Deney cihazımıza ait pako şalter ve bilgisayar açıldıktan sonra üç nokta eğilme deneyi aparatı ile mekanik özelliği araştırılacak olan numunenin test cihazına bağlantısı yapılmıştır. Numuneler ayrı ayrı adlandırma işlemi tamamlandıktan sonra sırasıyla teste tabi tutulmuştur.

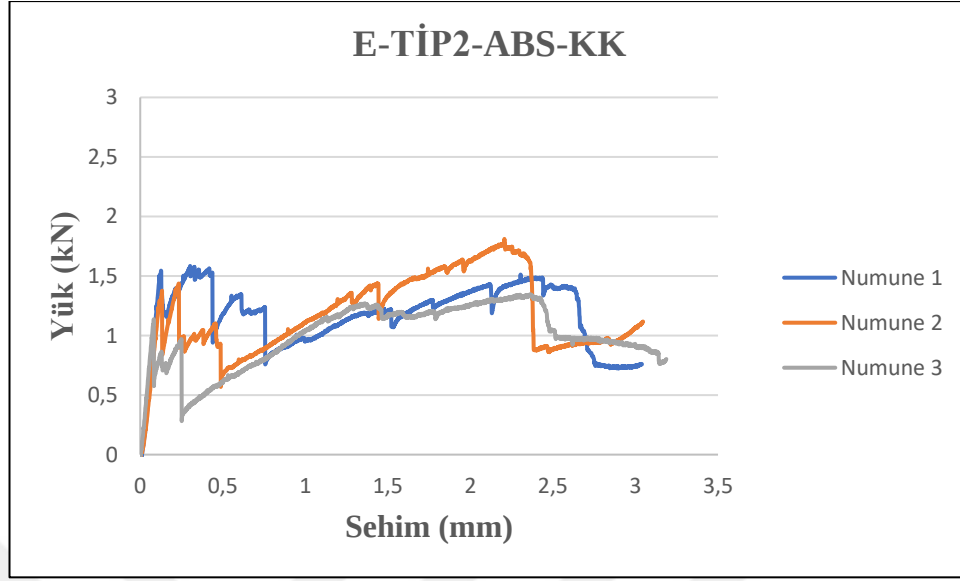
7.2.1 E-Tip1 ABS içi boş 1,2 ve 3 nolu numuneler



Şekil 7.4 E-Tip1 ABS içi boş 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği

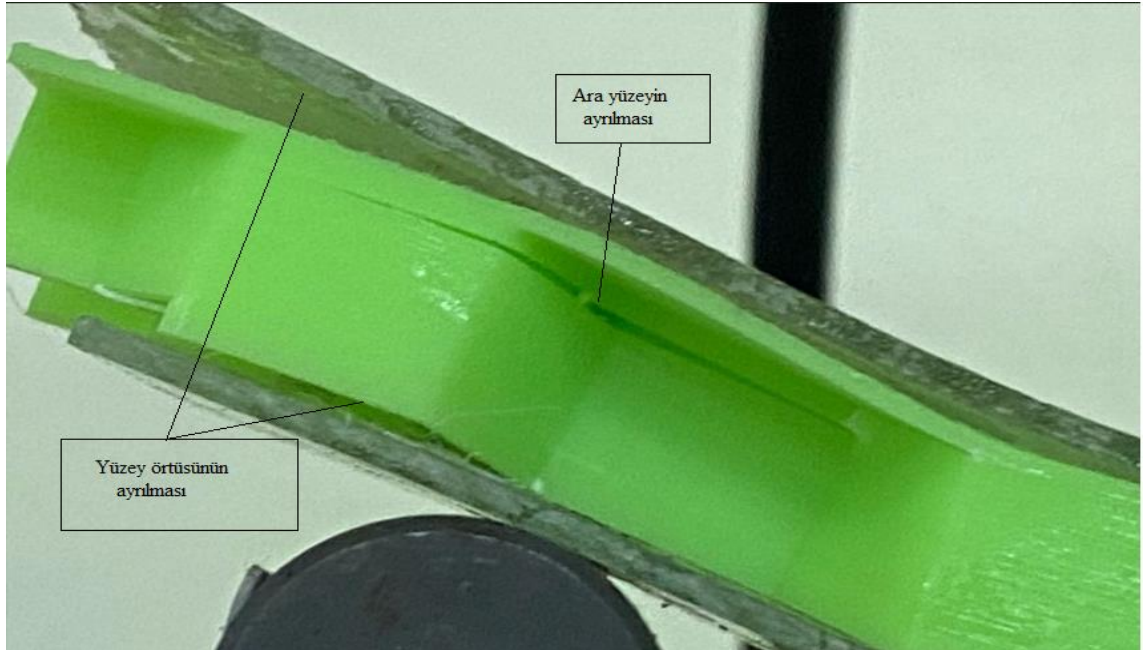
Şekil 7.4'te içi boş (Tip1) ABS esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapılı numunelerin eğilme deneyi sonucu elde edilen yük-sehim grafiği görülmektedir. Eğilmenin başladığı nokta olarak birinci numune için 364,6 N, ikinci numune için 305,6 N ve üçüncü numune için 341,3 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama eğilme mukavemet yükü ise 337,17 N olarak bulunmuştur.

7.2.2 E-Tip2 ABS kesik koni 1,2 ve 3 nolu numuneler



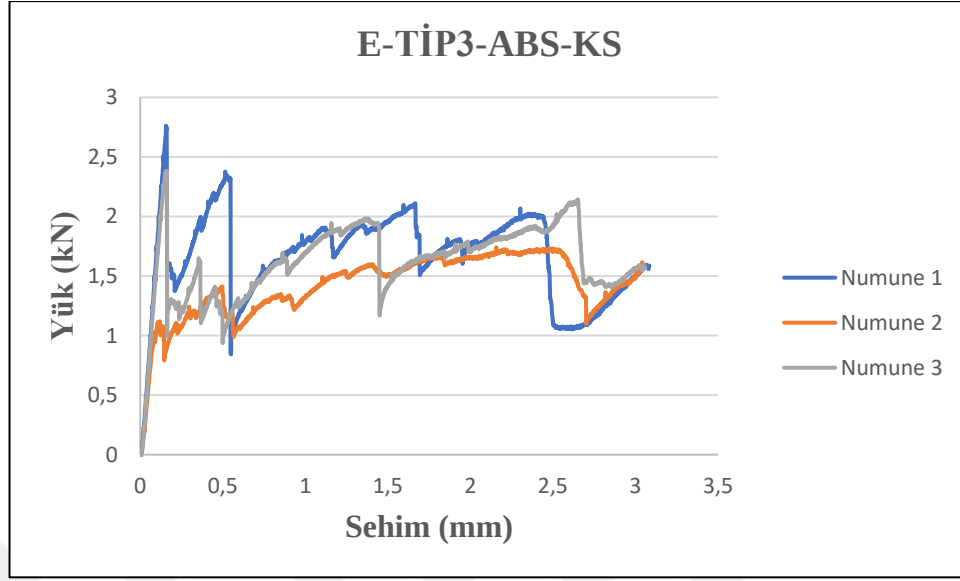
Şekil 7.5 E-Tip2 ABS kesik koni 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği

Şekil 7.5'te kesik koni şeklinde (Tip2) ABS esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapıları numunelerin eğilme deneyi sonucu elde edilen yük-sehim grafiği görülmektedir. Eğilmenin başladığı nokta olarak birinci numune için 1340,2 N, ikinci numune için 1193,5 N ve üçüncü numune için 791,1 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama eğilme mukavemet yükü ise 1108,27 N olarak bulunmuştur.



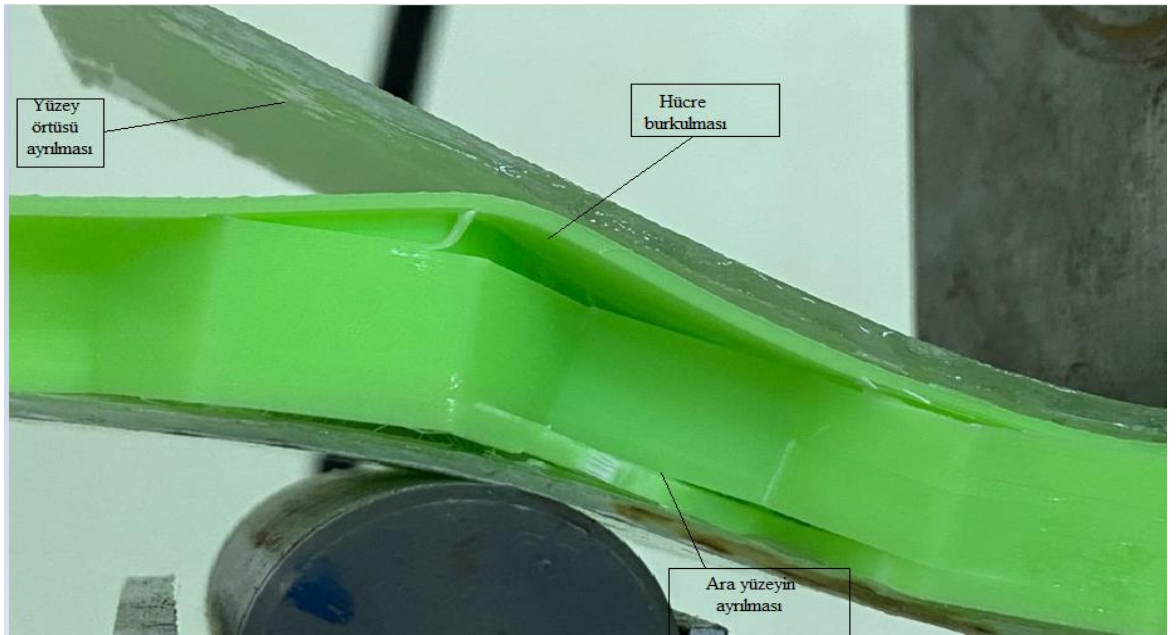
Şekil 7.6 E-TİP2-ABS-KK-1 nolu numunede oluşan hasarlar

7.2.3 E-Tip3 ABS kum saati 1,2 ve 3 nolu numuneler



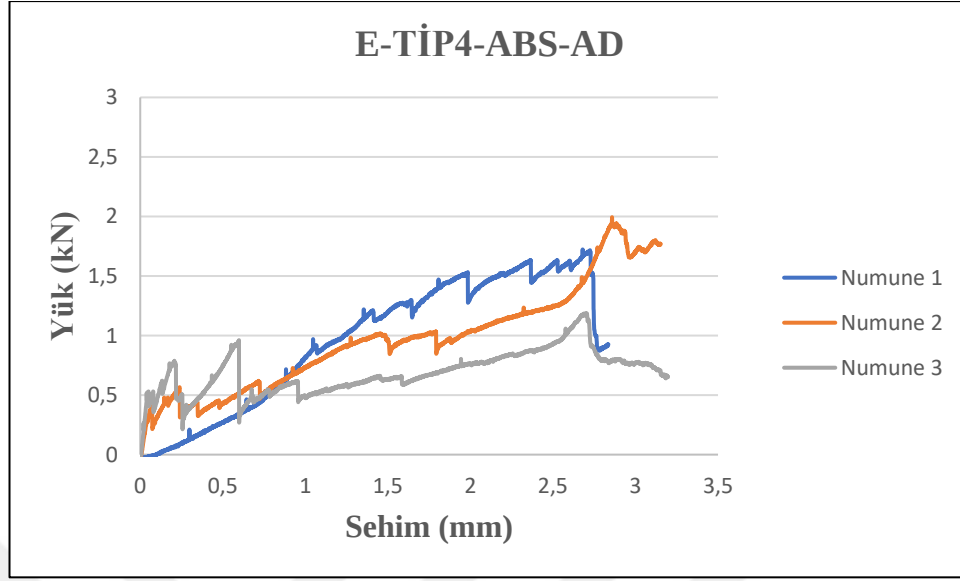
Şekil 7.7 E-Tip3 ABS kum saati 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği

Şekil 7.7’de kum saati formunda (Tip3) ABS esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapıları numunelerin eğilme deneyi sonucu elde edilen yük-sehim grafiği görülmektedir. Eğilmenin başladığı nokta olarak birinci numune için 2370,2 N, ikinci numune için 1108,7 N ve üçüncü numune için 2348 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama eğilme mukavemet yükü ise 1942,3 N olarak bulunmuştur.



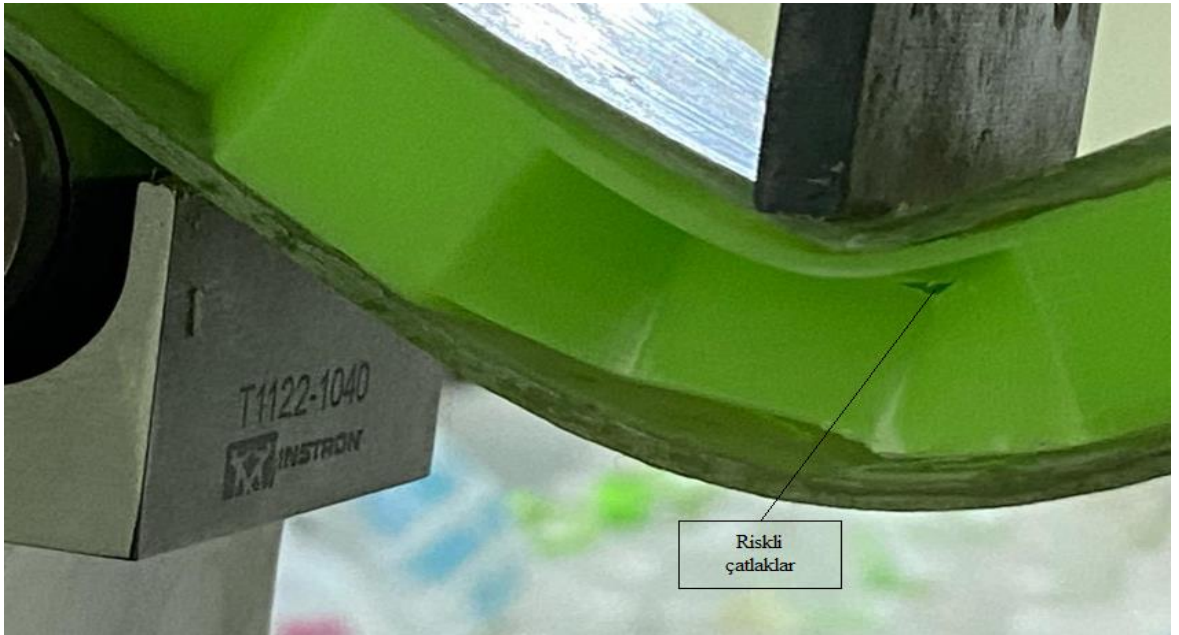
Şekil 7.8 E-TİP3-ABS-KS-1 nolu numunedeki hasarlar

7.2.4 E-Tip4 ABS altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numuneler



Şekil 7.9 E-Tip4 ABS altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği

Şekil 7.9'da altıgen dolgulu (Tip4) ABS esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapıları numunelerin eğilme deneyi sonucu elde edilen yük-sehim grafiği görülmektedir. Eğilmenin başladığı nokta olarak birinci numune için 810,5 N, ikinci numune için 403,4 N ve üçüncü numune için 465,7 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama eğilme mukavemet yükü ise 559,87 N olarak bulunmuştur.

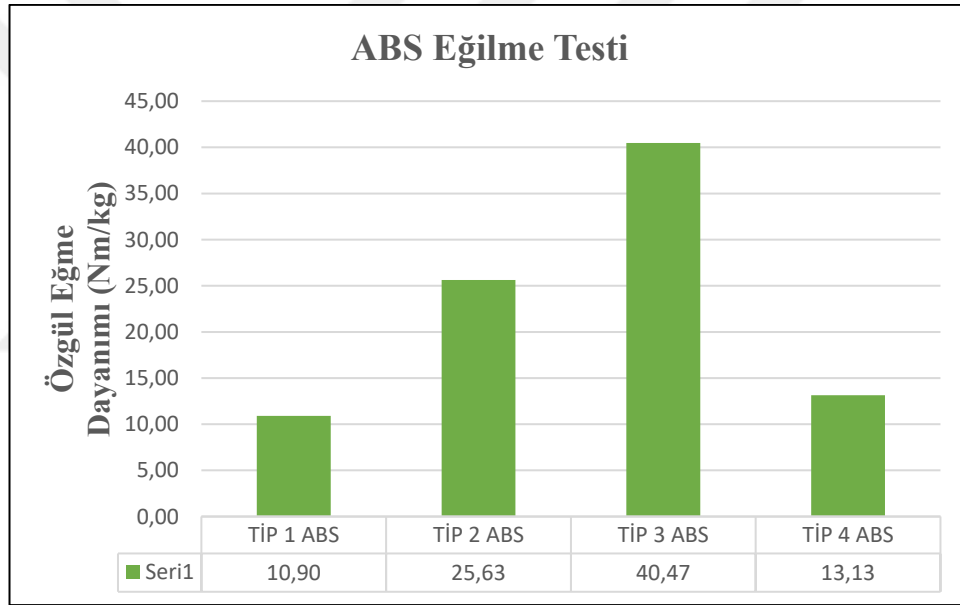


Şekil 7.10 E-TİP4-ABS-AD-3 nolu numunede oluşan hasar

Tablo 7.1 ABS numuneler için elde edilen eğilme mukavemet değerleri

Numune Adı	1 Nolu Numune (N)	2 Nolu Numune (N)	3 Nolu Numune (N)	Ortalama Yük (N)
TİP 1 ABS	364,60	305,60	341,30	337,17
TİP 2 ABS	1340,20	1193,50	791,10	1108,27
TİP 3 ABS	2370,20	1108,70	2348,00	1942,30
TİP 4 ABS	810,50	403,40	465,70	559,87

Tablo 7.1’de ABS esaslı malzemeden üretilen numunelerin eğilme deneyi sonucu meydana gelen eğilme mukavemet yük değerleri tablo halinde sunulmuştur.



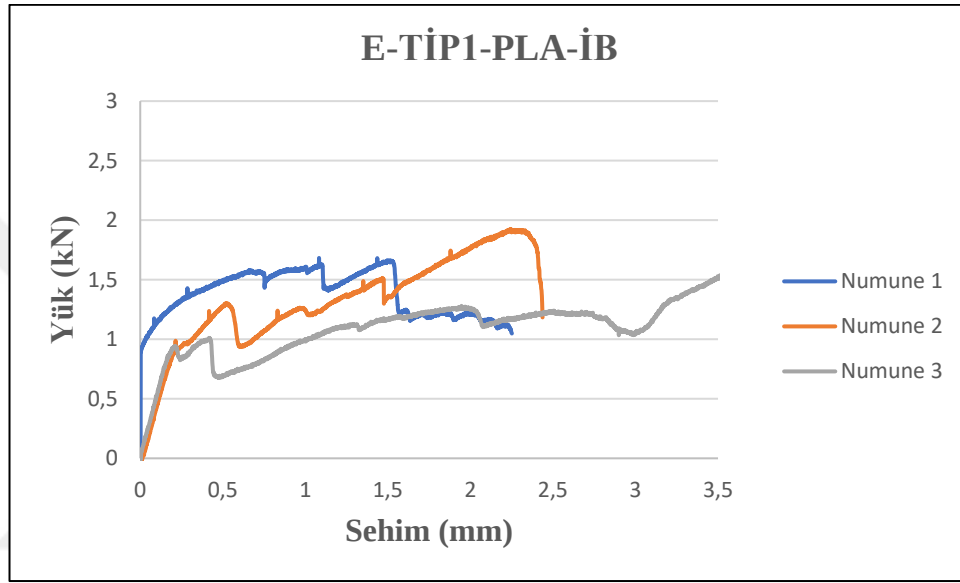
Şekil 7.11 ABS eğilme testi karşılaştırma grafiği

Şekil 7.11’de ABS esaslı malzemeden üretilen balpeteği kompozitlerin sütun grafiğinde özgül eğme dayanımı karşılaştırılması yapılmıştır. Özgül eğme dayanımı numunelerin eğilme dayanımının ağırlığına bölünmesiyle elde edilmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda Tip3 kum saati formunda dolgulu olan balpeteği yapılı çekirdek numunenin diğer numunelere göre özgül eğme dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür. Özgül eğme dayanımının sıralaması Tip3>Tip2>Tip4>Tip1 şeklinde olduğu grafikten okunmuştur.

Tablo 7.1 ve Şekil 7.11 kendi arasında değerlendirildiğinde ağırlık göz önüne alınmadığı durumda eğilme mukavemeti en yüksek olan numunenin ABS-TİP3 nolu numunenin olduğu fakat ağırlıkları göz önüne alındığı durumda ise en yüksek özgül eğme dayanımının yine ABS-TİP3 olduğu görülmüştür.

7.3 PLA Malzemesi İle İmal Edilen Numuneler

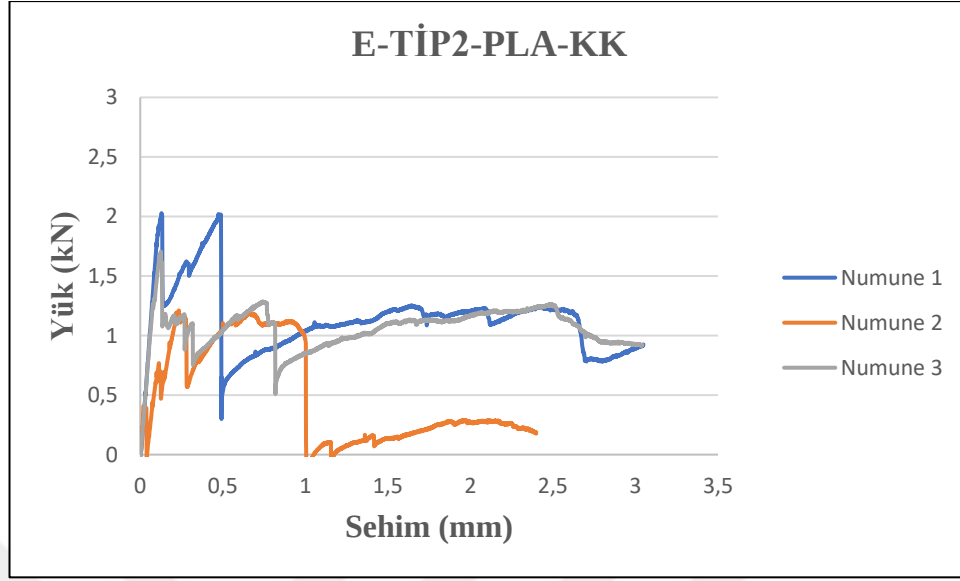
7.3.1 E-Tip1 PLA içi boş 1,2 ve 3 nolu numuneler



Şekil 7.12 E-Tip1 PLA içi boş 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği

Şekil 7.12’de içi boş (Tip1) PLA esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapılı numunelerin eğilme deneyi sonucu elde edilen yük-sehim grafiği görülmektedir. Eğilmenin başladığı nokta olarak birinci numune için 2984,3 N, ikinci numune için 863,1 N ve üçüncü numune için 916,5 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama eğilme mukavemet yükü ise 1587,97 N olarak bulunmuştur.

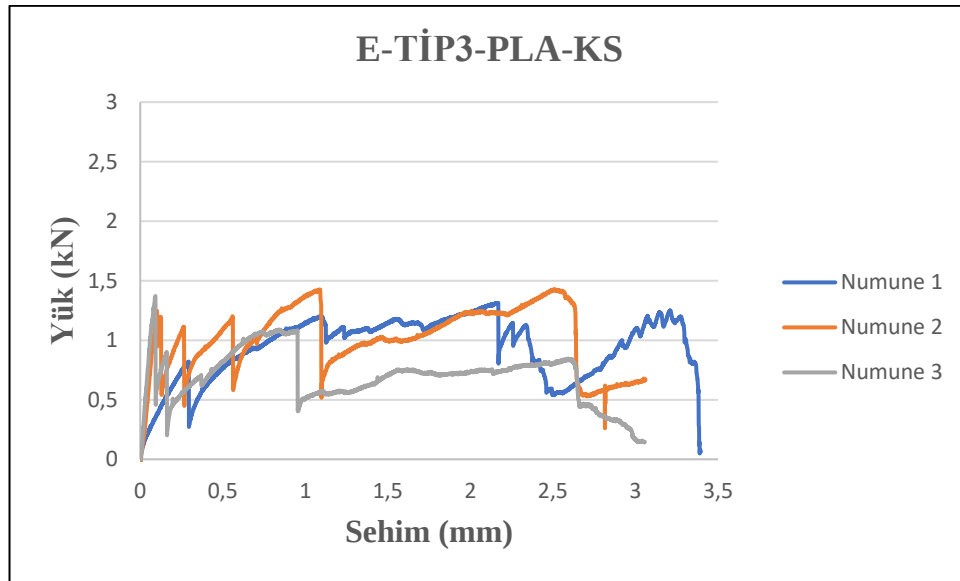
7.3.2 E-Tip2 PLA kesik koni 1,2 ve 3 nolu numuneler



Şekil 7.13 E-Tip2 PLA kesik koni 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği

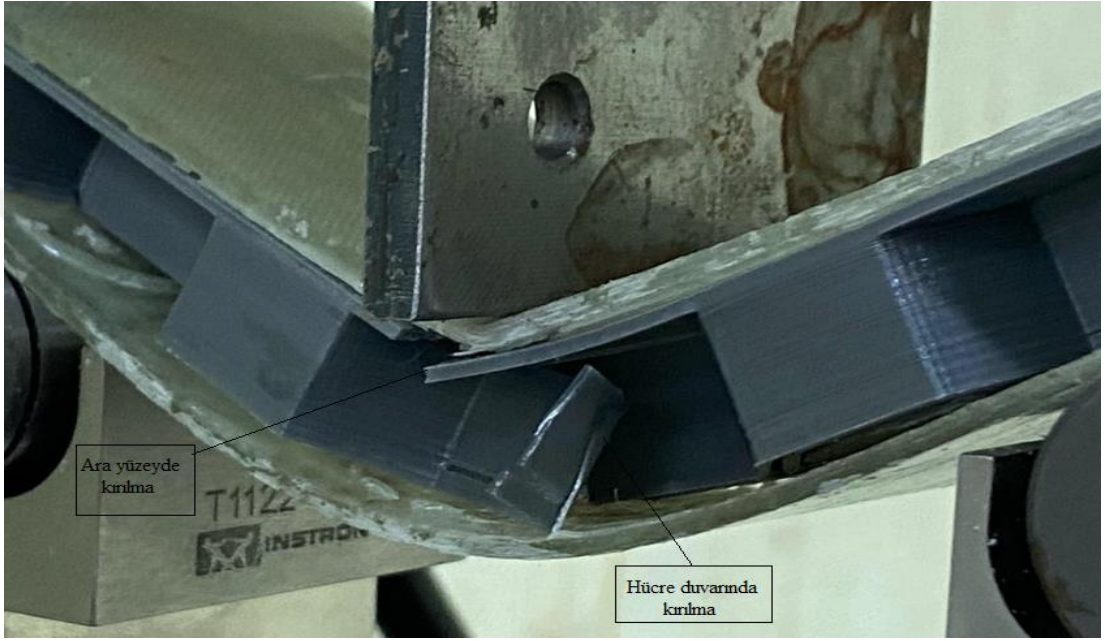
Şekil 7.13'te kesik koni şeklinde (Tip2) PLA esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapıları numunelerin eğilme deneyi sonucu elde edilen yük-sehim grafiği görülmektedir. Eğilmenin başladığı nokta olarak birinci numune için 1982,1 N, ikinci numune için 227,8 N ve üçüncü numune için 1687,6 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama eğilme mukavemet yükü ise 1299,17 N olarak bulunmuştur.

7.3.3 E-Tip3 PLA kum saati 1,2 ve 3 nolu numuneler



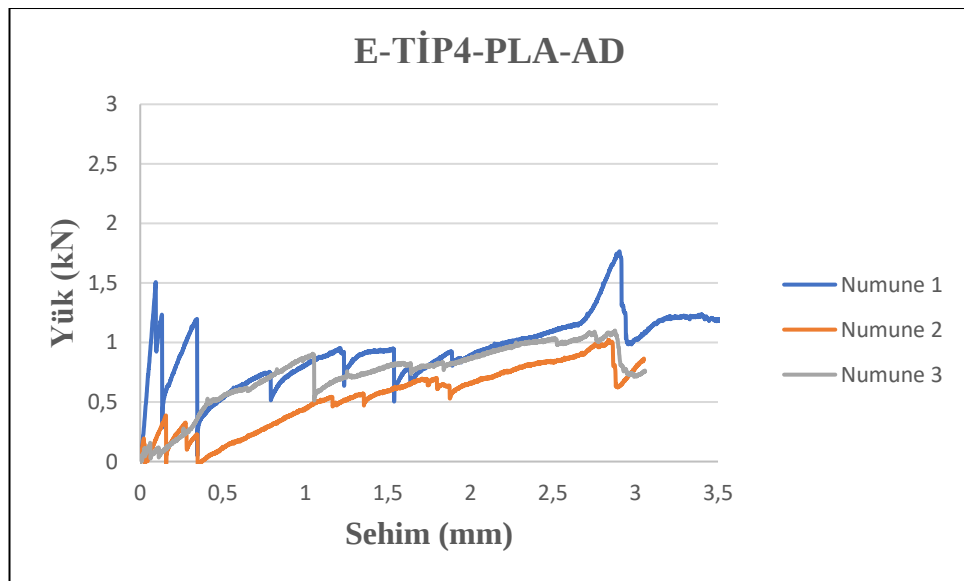
Şekil 7.14 E-Tip3 PLA kum saati 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği

Şekil 7.14’de kum saati formunda (Tip3) PLA esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapıları numunelerin eğilme deneyi sonucu elde edilen yük-sehim grafiği görülmektedir. Eğilmenin başladığı nokta olarak birinci numune için 400,6 N, ikinci numune için 994,4 N ve üçüncü numune için 1288,1 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama eğilme mukavemet yükü ise 894,37 N olarak bulunmuştur.



Şekil 7.15 E-TİP3-PLA-KS-2 nolu numunedeki oluşan hasarlar

7.3.4 E-Tip4 PLA altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numuneler



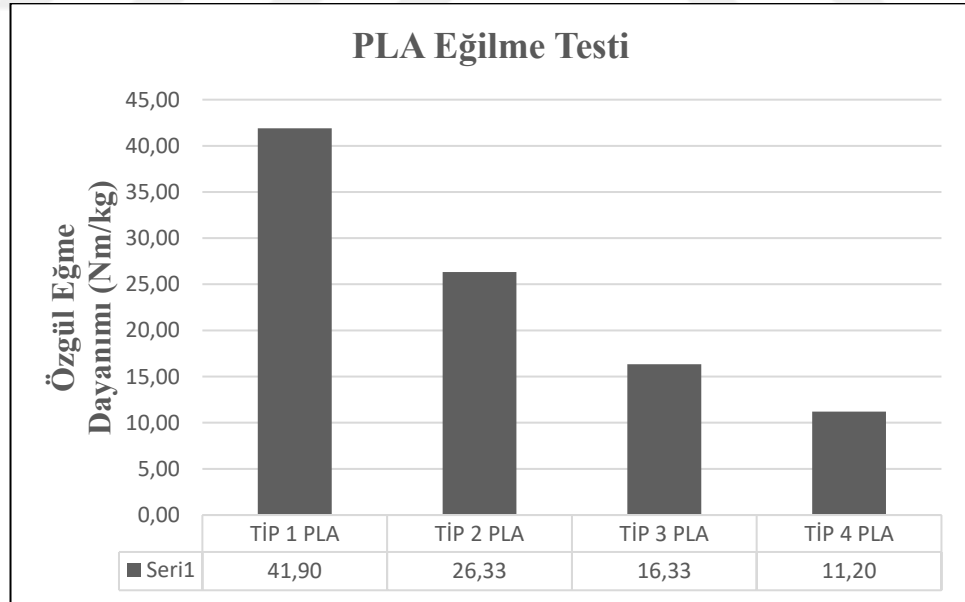
Şekil 7.16 E-Tip4 PLA altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-sehim grafiği

Şekil 7.16’da altıgen dolgulu (Tip4) PLA esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapıları numunelerin eğilme deneyi sonucu elde edilen yük-sehim grafiği görülmektedir. Eğilmenin başladığı nokta olarak birinci numune için 1101,2 N, ikinci numune için 27,3 N ve üçüncü numune için 499,8 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama eğilme mukavemet yükü ise 542,77 N olarak bulunmuştur.

Tablo 7.2 PLA numuneler için elde edilen eğilme mukavemet değerleri

Numune Adı	1 Nolu Numune (N)	2 Nolu Numune (N)	3 Nolu Numune (N)	Ortalama Yük (N)
TİP 1 PLA	2984,30	863,10	916,50	1587,97
TİP 2 PLA	1982,10	227,80	1687,60	1299,17
TİP 3 PLA	400,60	994,40	1288,10	894,37
TİP 4 PLA	1101,20	27,30	499,80	542,77

Tablo 7.2’de PLA esaslı malzemeden üretilen numunelerin eğilme deneyi sonucu meydana gelen eğilme mukavemet yük değerleri tablo halinde sunulmuştur.

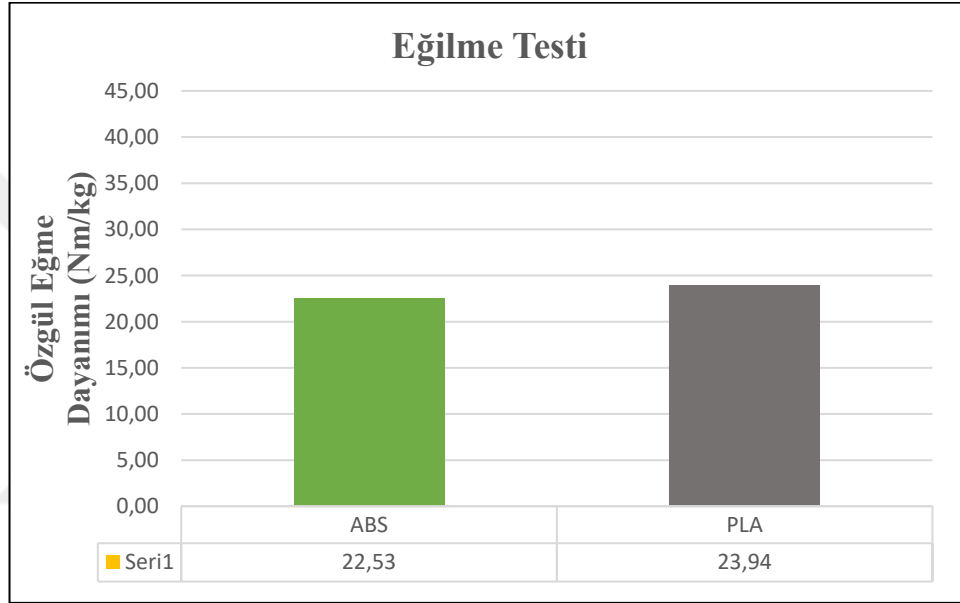


Şekil 7.17 PLA eğilme testi karşılaştırma grafiği

Şekil 7.17’de PLA esaslı malzemeden üretilen balpeteği kompozitlerin sütun grafiğinde karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Tip1 içi boş balpeteği çekirdek yapıları numunenin diğer numunelere göre özgül eğme dayanımının

daha yüksek olduğu görülmüştür. Özgül eğme dayanımının sıralaması Tip1>Tip2>Tip3>Tip4 şeklinde olduğu grafikten okunmuştur.

Tablo 7.2 ve Şekil 7.17 kendi arasında değerlendirildiğinde ağırlık göz önüne alınmadığı durumda eğilme mukavemeti en yüksek olan numunenin PLA-TİP1 nolu numunenin olduğu fakat ağırlıkları göz önüne alındığı durumda ise en yüksek özgül eğme dayanımının yine PLA-TİP1 nolu numune olduğu görülmüştür.



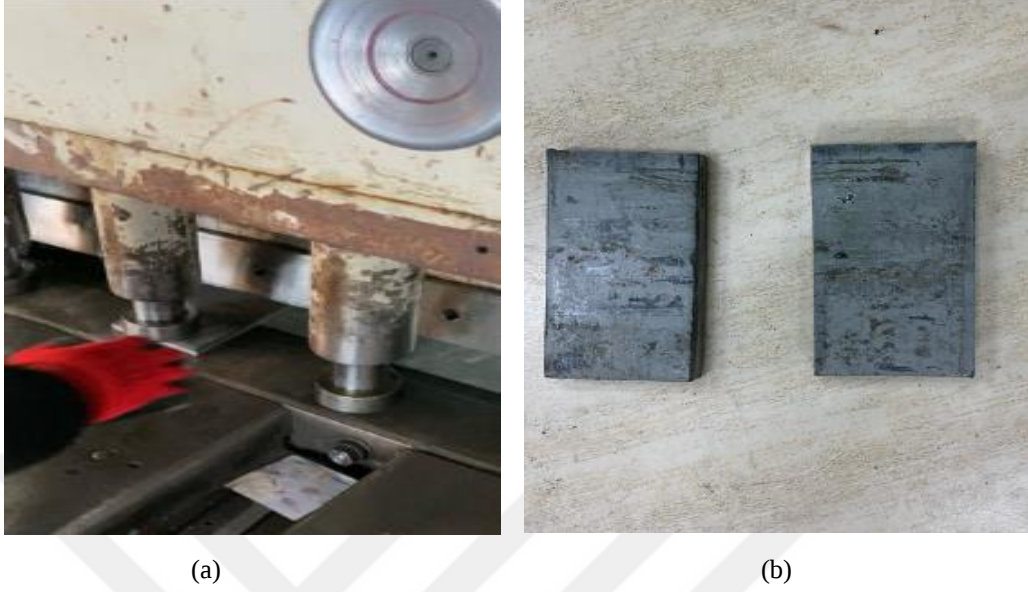
Şekil 7.18 ABS ile PLA'nın eğilme testi karşılaştırılması

ABS esaslı malzeme ve PLA esaslı malzeme ile imal edilen balpeteği yapıların üç nokta eğilme deneyi sonucu özgül eğme dayanımları Şekil 7.18'de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu ABS esaslı malzemenin özgül eğme dayanımı 22,53 Nm/kg iken PLA esaslı malzemenin özgül eğme dayanımı ise 23,94 Nm/kg bulunmuştur.

7.4 Basma Deneyi ve Sonuçları

Bu bölümde üç nokta eğilme testinde olduğu gibi 4 farklı çekirdek türü, iki farklı malzemeden üretilen, boyutlarının genişliği 50 mm, uzunluğu ise 85 mm olan numuneler basma testine maruz bırakılmıştır. Her tip için 3 adet numunenin testi gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.19'da basma testi için numunelerin alt ve üst yüzeylerine yerleştirmek için 120 mm x 200 mm boyutunda olan levha numune boyutlarına uygun olacak şekilde yani 50 mm x 85 mm boyutlarında kesilerek iki adet levha elde

edilmiştir. Burada levhanın kalınlığına ve yüzeyinin pürüzsüz olmasına özellikle dikkat edilmiştir.

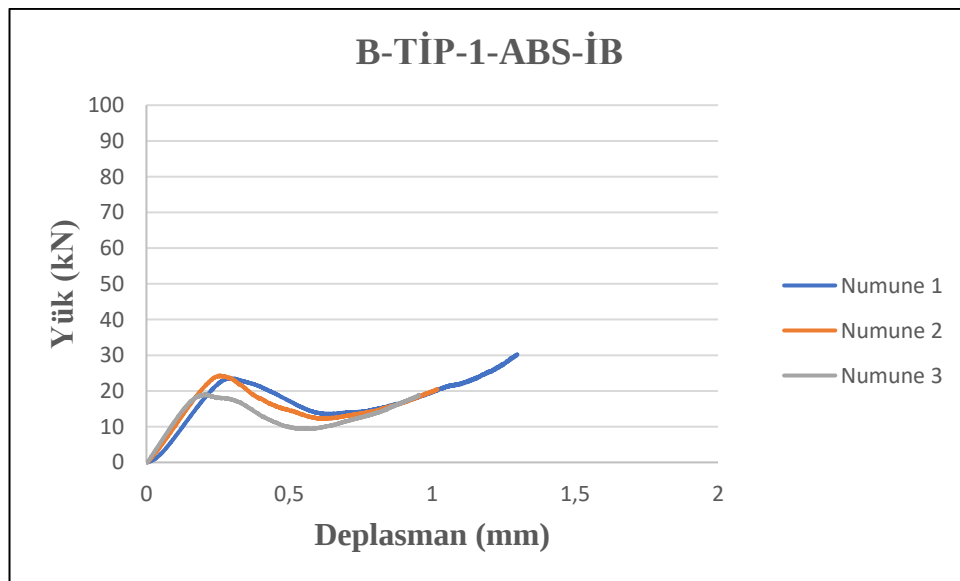


Şekil 7.19 (a) Metal levhanın basma deneyi için giyotin makasında kesilme işlemi (b) Kesim sonrası hali

7.5 ABS Malzemesi İle İmal Edilen Numuneler

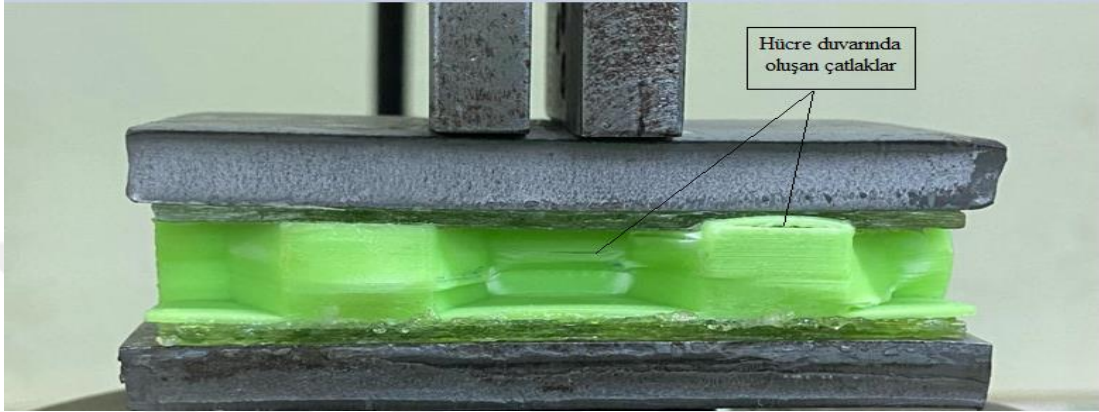
7.5.1 B-Tip1 ABS içi boş 1,2 ve 3 nolu numuneler

Deney cihazı aktif hale getirilip hazırlanan aparatlar ve numuneler sırasıyla basma test cihazına yerleştirilmiştir. Basma deneyi için numuneler adlandırılıp test başlatılmıştır.



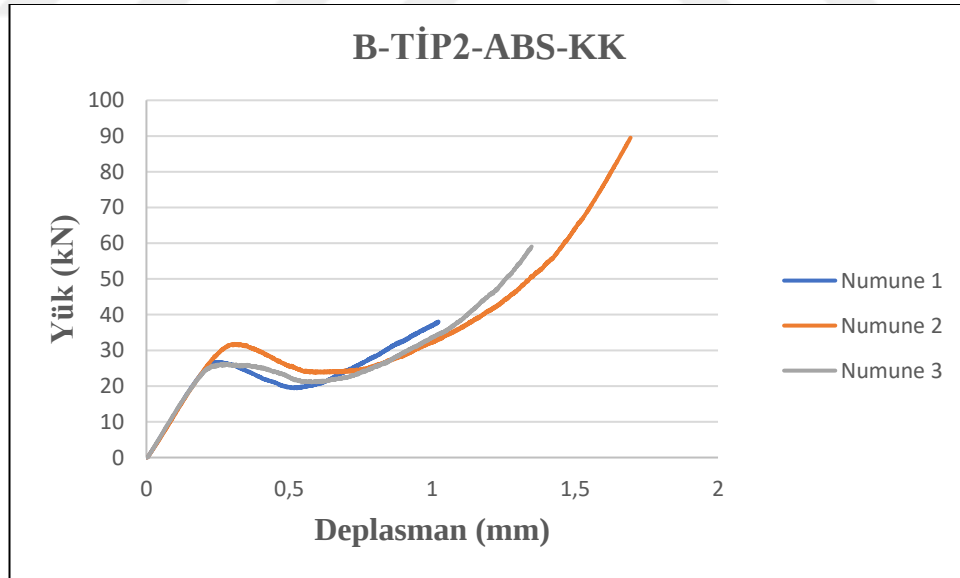
Şekil 7.20 B-Tip1 ABS içi boş 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği

Şekil 7.20’de içi boş (Tip1) ABS esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapılı numunelerin basma deneyi sonucu elde edilen yük-deplasman grafiği görülmektedir. Basmanın başladığı nokta olarak birinci numune için 254,6 N, ikinci numune için 264,4 N ve üçüncü numune için 199,5 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama basma mukavemet yükü ise 239,5 N olarak bulunmuştur.



Şekil 7.21 B-TİP-PLA-İB-1 nolu numunede oluşan hasarlar

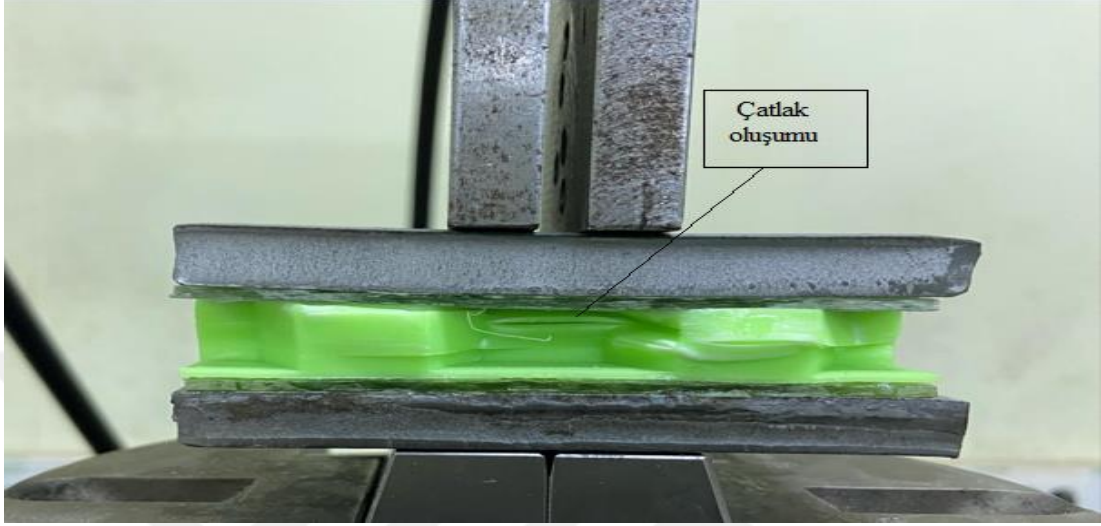
7.5.2 B-Tip2 ABS kesik koni 1,2 ve 3 nolu numuneler



Şekil 7.22 B-Tip2 ABS kesik koni 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği

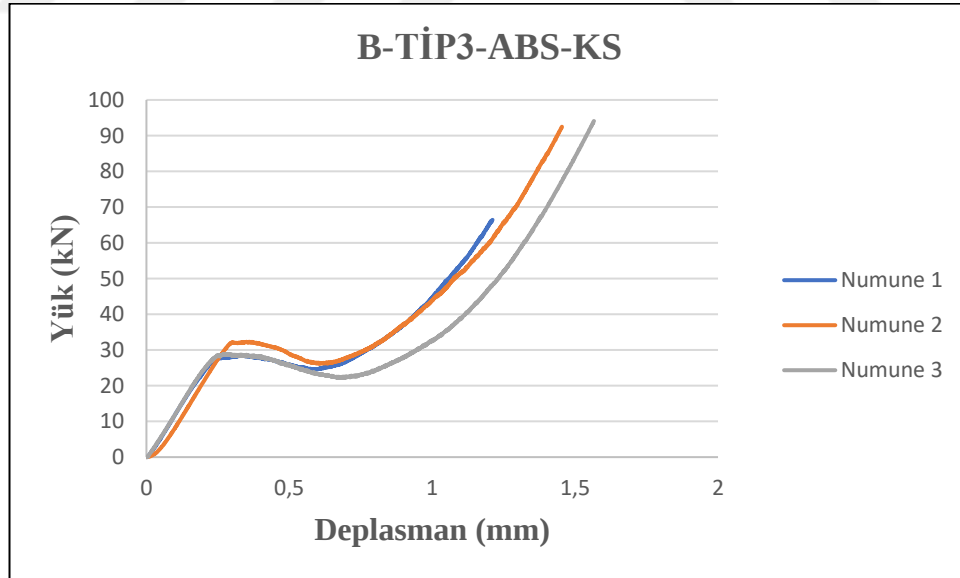
Şekil 7.22’de kesik koni şeklinde (Tip2) ABS esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapılı numunelerin basma deneyi sonucu elde edilen yük-deplasman grafiği görülmektedir. Basmanın başladığı nokta olarak birinci numune için

290,6 N, ikinci numune için 315,7 N ve üçüncü numune için 261,6 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama basma mukavemet yükü ise 289,3 N olarak bulunmuştur.



Şekil 7.23 B-TİP2-ABS-KK-3 nolu numunede oluşan hasar

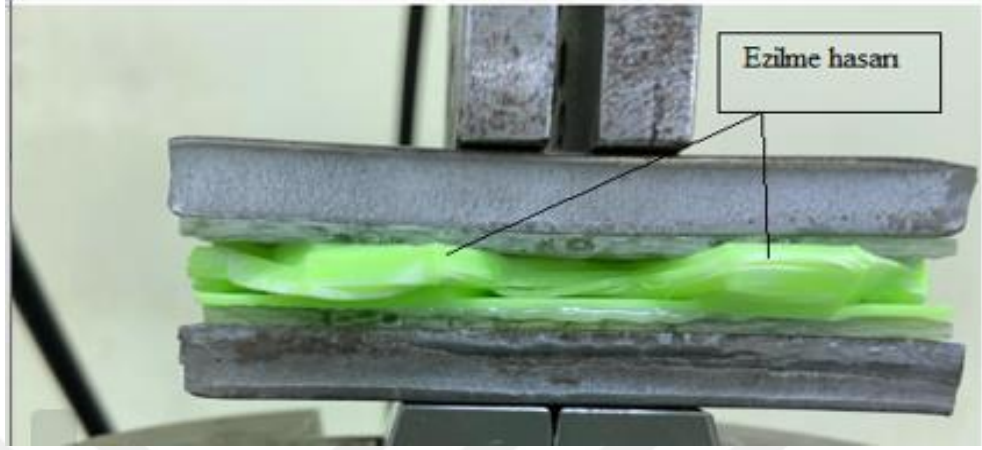
7.5.3 B-Tip3 ABS kum saati 1,2 ve 3 nolu numuneler



Şekil 7.24 B-Tip3 ABS kum saati 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği

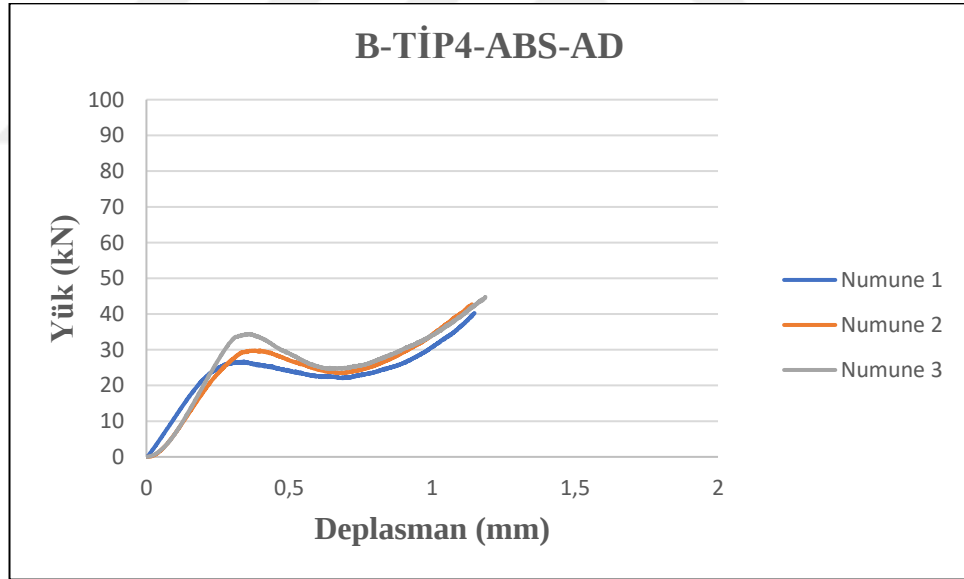
Şekil 7.24'te kum saati formunda (Tip3) ABS esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapılı numunelerin basma deneyi sonucu elde edilen yük-deplasman grafiği görülmektedir. Basmanın başladığı nokta olarak birinci numune için 297,3 N, ikinci numune için 374,2 N ve üçüncü numune için 314,1 N olarak tespit

edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama basma mukavemet yükü ise 328,53 N olarak bulunmuştur.



Şekil 7.25 B-TİP3-KS-2 nolu numunede oluşan hasarlar

7.5.4 B-Tip4 ABS altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numuneler



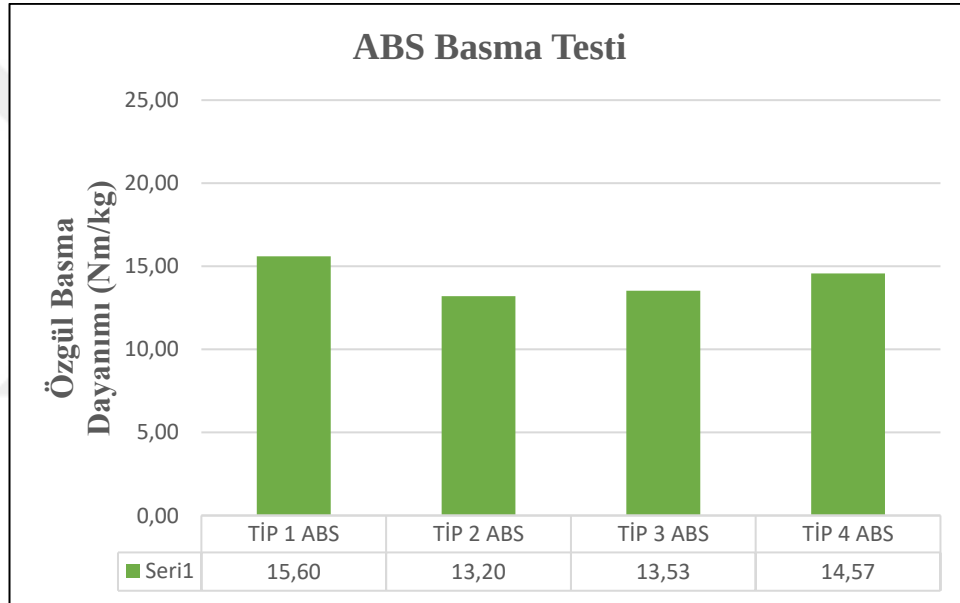
Şekil 7.26 B-Tip4 ABS altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği

Şekil 7.26’da altıgen dolgulu (Tip4) ABS esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapıları numunelerin basma deneyi sonucu elde edilen yük-deplasman grafiği görülmektedir. Basmanın başladığı nokta olarak birinci numune için 259,1 N, ikinci numune için 285,8 N ve üçüncü numune için 388,7 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama basma mukavemet yükü ise 311,2 N olarak bulunmuştur.

Tablo 7.3 ABS numuneler için basma mukavemet değerleri

Numune Adı	1 Nolu Numune (N)	2 Nolu Numune (N)	3 Nolu Numune (N)	Ortalama Yük (N)
TİP 1 ABS	254,60	264,40	199,50	239,50
TİP 2 ABS	290,60	315,70	261,60	289,30
TİP 3 ABS	297,30	374,20	314,10	328,53
TİP 4 ABS	259,10	285,80	388,70	311,20

Tablo 7.3'te ABS esaslı malzemeden üretilen numunelerin basma deneyi sonucu meydana gelen basma mukavemet yük değerleri tablo halinde sunulmuştur.



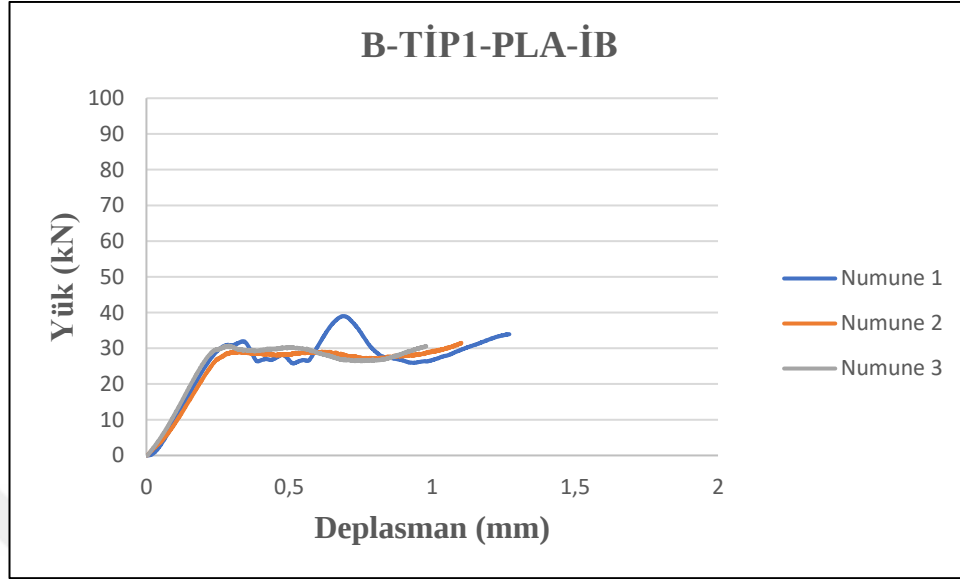
Şekil 7.27 ABS basma testi karşılaştırma grafiği

Şekil 7.27'de ABS esaslı malzemeden üretilen balpeteği kompozitlerin sütun grafiğinde karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Tip1 içi boş balpeteği çekirdek yapıli numunenin diğer numunelere göre özgül basma dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür. Özgül basma dayanımının sıralaması Tip1>Tip4>Tip3>Tip2 şeklinde olduğu grafikten okunmuştur.

Tablo 7.3 ve Şekil 7.27 kendi arasında değerlendirildiğinde ağırlık göz önüne alınmadığı durumda basma mukavemeti en yüksek olan numunenin ABS-TİP3 nolu numunenin olduğu fakat ağırlıkları göz önüne alındığı durumda ise en yüksek özgül basma dayanımının ABS-TİP1 nolu numune olduğu görülmüştür.

7.6 PLA Malzemesi İle İmal Edilen Numuneler

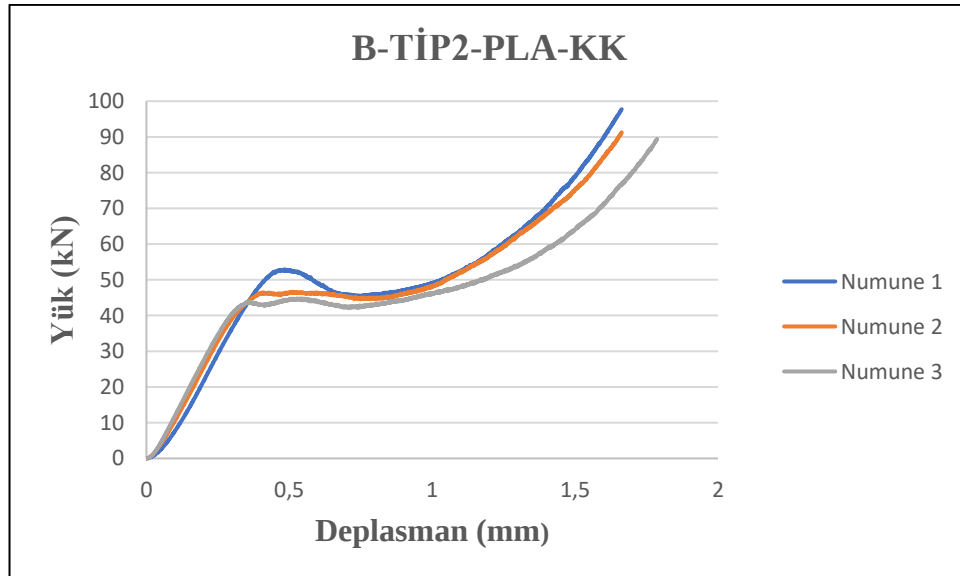
7.6.1 B-Tip1 PLA içi boş 1,2 ve 3 nolu numuneler



Şekil 7.28 B-Tip1 PLA içi boş 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği

Şekil 7.28'de içi boş (Tip1) PLA esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapılı numunelerin basma deneyi sonucu elde edilen yük-deplasman grafiği görülmektedir. Basmanın başladığı nokta olarak birinci numune için 333,4 N, ikinci numune için 319,4 N ve üçüncü numune için 337,9 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama basma mukavemet yükü ise 330,23 N olarak bulunmuştur.

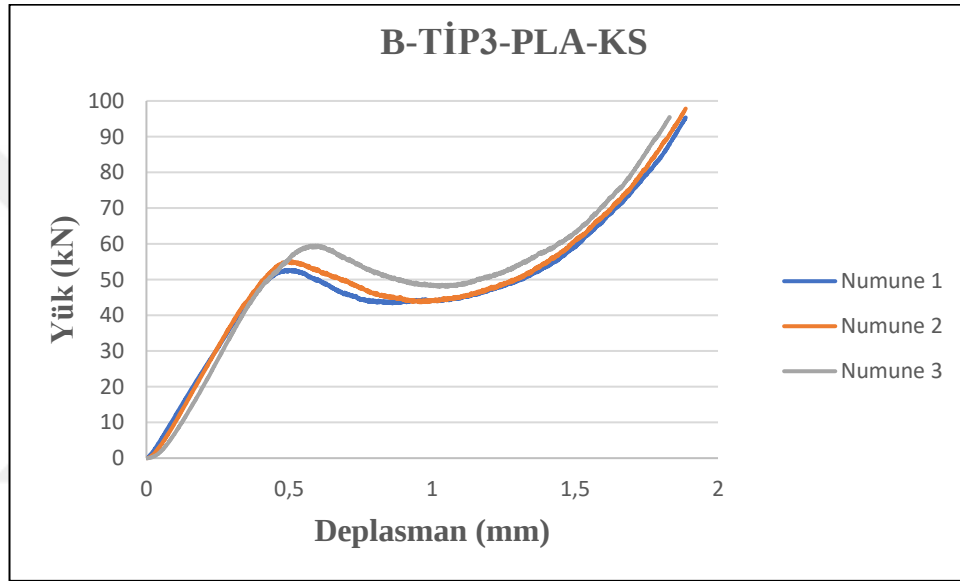
7.6.2 B-Tip2 PLA kesik koni 1,2 ve 3 nolu numuneler



Şekil 7.29 B-Tip2 PLA kesik koni 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği

Şekil 7.29’da kesik koni şeklinde (Tip2) PLA esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapıları numunelerin basma deneyi sonucu elde edilen yük-deplasman grafiği görülmektedir. Basmanın başladığı nokta olarak birinci numune için 526,7 N, ikinci numune için 470,3 N ve üçüncü numune için 462,9 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama basma mukavemet yükü ise 486,63 N olarak bulunmuştur.

7.6.3 B-Tip3 PLA kum saati 1,2 ve 3 nolu numuneler



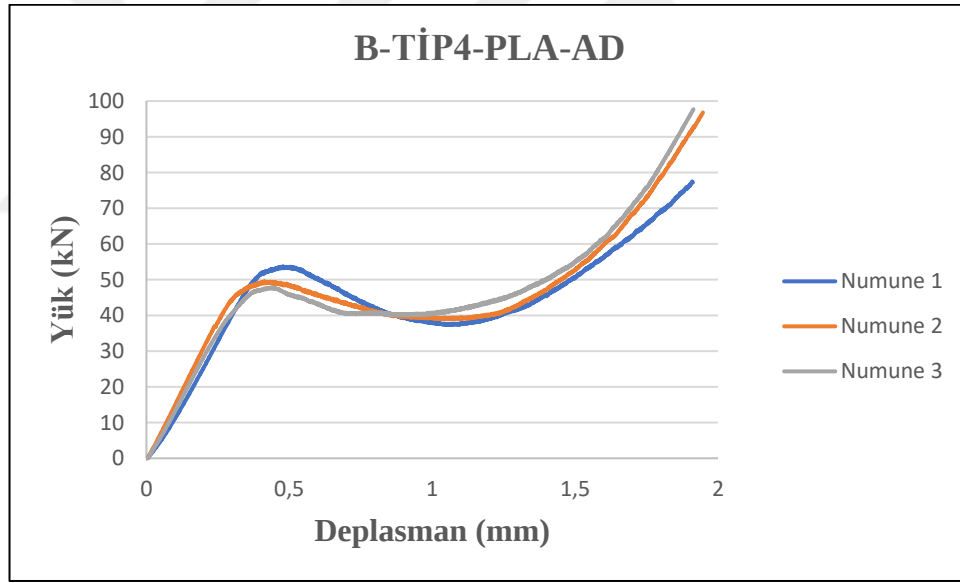
Şekil 7.30 B-Tip3 ABS kum saati 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafiği

Şekil 7.30’da kum saati formunda (Tip3) PLA esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapıları numunelerin basma deneyi sonucu elde edilen yük-deplasman grafiği görülmektedir. Basmanın başladığı nokta olarak birinci numune için 513,7 N, ikinci numune için 556 N ve üçüncü numune için 566,3 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama basma mukavemet yükü ise 545,33 N olarak bulunmuştur.



Şekil 7.31 B-TİP3-PLA-KS-1 nolu numunede oluşan hasar

7.6.4 B-Tip4 PLA altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numuneler

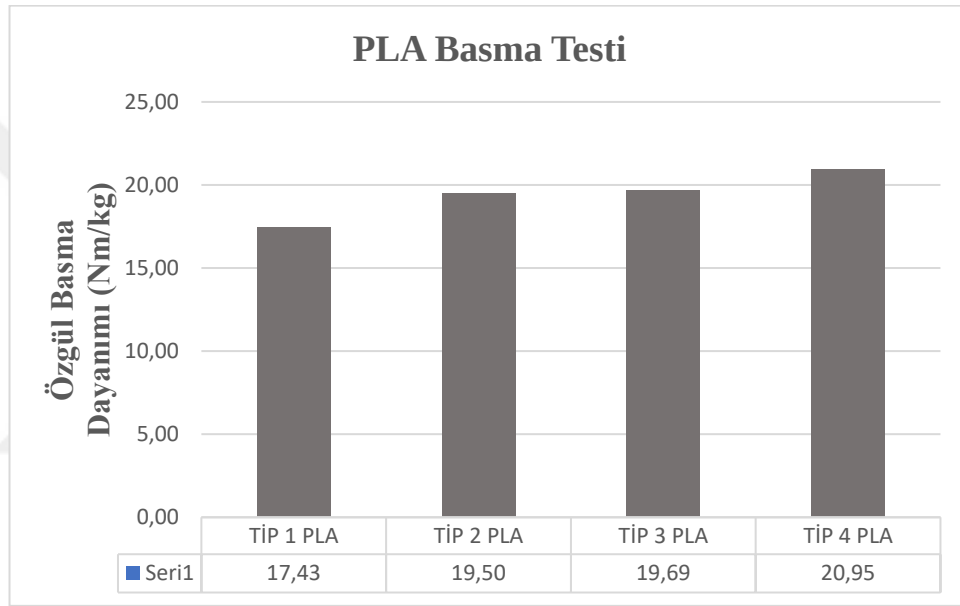


Şekil 7.32 B-Tip4 PLA altıgen dolgu 1,2 ve 3 nolu numunelere ait yük-deplasman grafikleri

Şekil 7.32’de altıgen dolgulu (Tip4) PLA esaslı malzeme ile üretilmiş olan balpeteği çekirdek yapıları numunelerin basma deneyi sonucu elde edilen yük-deplasman grafiği görülmektedir. Basmanın başladığı nokta olarak birinci numune için 585,5 N, ikinci numune için 518,8 N ve üçüncü numune için 456,1 N olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu üç numunenin ortalama basma mukavemet yükü ise 520,13 N olarak bulunmuştur.

Tablo 7.4 PLA numuneler için basma mukavemet değerleri

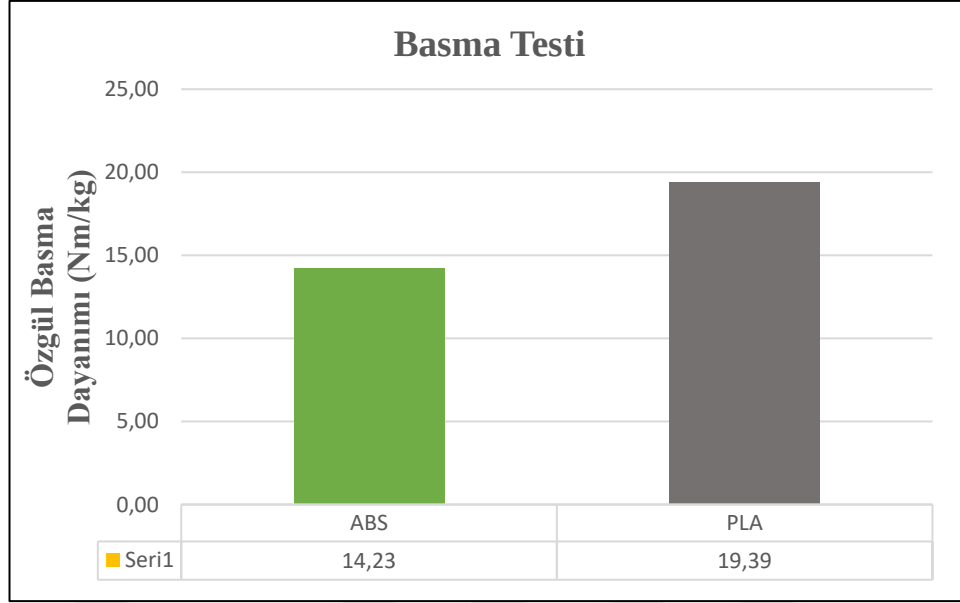
Numune Adı	1 Nolu Numune (N)	2 Nolu Numune (N)	3 Nolu Numune (N)	Ortalama Yük (N)
TİP 1 PLA	333,40	319,40	337,90	330,23
TİP 2 PLA	526,70	470,30	462,90	486,63
TİP 3 PLA	513,70	556,00	566,30	545,33
TİP 4 PLA	585,50	518,80	456,10	520,13



Şekil 7.33 PLA basma testi karşılaştırma grafiği

Şekil 7.33'te PLA esaslı malzemeden üretilen balpeteği kompozitlerin sütun grafiğinde karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Tip4 altıgen dolgulu balpeteği çekirdek yapıları numunenin diğer numunelere göre özgül basma dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür. Özgül basma dayanımının sıralaması Tip4>Tip3>Tip2>Tip1 şeklinde olduğu grafikten okunmuştur.

Tablo 7.4 ve Şekil 7.33 kendi arasında değerlendirildiğinde ağırlık göz önüne alınmadığı durumda basma mukavemeti en yüksek olan numunenin PLA-TİP3 nolu numunenin olduğu fakat ağırlıkları göz önüne alındığı durumda ise en yüksek özgül basma dayanımının PLA-TİP4 nolu numune olduğu görülmüştür.



Şekil 7.34 ABS ile PLA'nın basma testi karşılaştırılması

ABS esaslı malzeme ve PLA esaslı malzeme ile imal edilen balpeteği yapıların basma deneyi sonucu özgül basma dayanımları Şekil 7.34'te karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu ABS esaslı malzemenin özgül basma dayanımı 14,23 Nm/kg iken PLA esaslı malzemenin özgül basma dayanımı ise 19,39 Nm/kg bulunmuştur.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, üç nokta eğilme testi ve basma testi uygulanarak numunelerin mekanik özellikleri elde edilip deney sonlandırılmıştır. Bu deneyler sonrasında numunelerin ayrı ayrı eğilme mukavemet yükleri ve basma mukavemet yükleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda özgül eğme ve özgül basma dayanımları belirlenmiştir. Elde edilen yükler ve sonuçlar çizgi ve sütun grafikleri ile gösterilmiştir.

8.1 Sonuçlar

Üç nokta eğilme testi için gözlemlenen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- ABS esaslı malzeme ile üretilen balpeteği çekirdek yapıları numunelerin eğilme mukavemet yükleri büyükten küçüğe doğru; kum saati formunda (Tip3), kesik koni şeklinde (Tip2), altıgen dolgulu (Tip4) ve içi boş (Tip1) yapıları numuneler şeklinde tespit edilmiştir.
- ABS malzeme ile üretilen numunelerde en fazla eğilme mukavemet yükü Tip3 kesik koni şeklinde dolgulu 1 nolu balpeteği çekirdek yapıları (E-TİP3-ABS-KS-1) numuneye ait olup eğilme mukavemet yükü 2370,2 N olarak bulunmuştur.
- ABS esaslı malzeme ile imal edilen numunelerin ortalama eğilme mukavemet yükü 986,9 N olarak bulunmuştur. Özgül eğme dayanımı ise Tip3>Tip2>Tip4>Tip1 şeklinde sıralanmıştır.
- PLA esaslı malzeme ile üretilen balpeteği çekirdek yapıları numunelerin eğilme mukavemet yükleri büyükten küçüğe doğru; içi boş (Tip1), kesik koni şeklinde (Tip2), kum saati formunda (Tip3) ve altıgen dolgulu (Tip4) yapıya sahip numuneler olarak tespit edilmiştir.
- PLA malzeme ile üretilen numunelerde en fazla eğilme mukavemet yükü Tip1 içi boş 1 nolu balpeteği çekirdek yapıları (E-TİP1-PLA-İB-1) numuneye ait olup eğilme mukavemet yükü 2984,3 N olarak bulunmuştur.
- PLA esaslı malzeme ile imal edilen numunelerin ortalama eğilme mukavemet yükü 1081,07 N olup ABS malzeme göre daha yüksek çıkmıştır. Özgül eğme dayanımı ise Tip1>Tip2>Tip3>Tip4 şeklinde sıralanmıştır.

- ABS esaslı malzeme ile PLA esaslı malzemelerin özgül eğme dayanımları karşılaştırıldığında PLA esaslı malzemenin özgül eğme dayanımı daha yüksek çıkmıştır.
- Üç nokta eğilme testinde sisteme eğilme komutu verildikten sonra eğilme başlamış, deney numunesi herhangi bir hasara uğramadan eğilmeye devam etmiştir. Belli bir noktadan sonra artık eğilmenin direnci başlamıştır ve bunun sonucunda hücrelerde burkulma meydana gelmiştir. Hücreler burkulduktan sonra hücreler sıkışmıştır ve mukavemet artmıştır. Çünkü artık cisim eğilmeye karşı daha çok direnme göstermiştir. Ayrıca eğme numunelerinde oluşan ilk deformasyonun yüzey örtülerinde olduğu gözlemlenmiştir.
- Üç nokta eğilme deneyinde hem ABS hem de PLA esaslı malzemeden üretilen balpeteği kompozit yapılarda genel olarak yüzey örtüsü ayrılması, hücre burkulması, hücre kayması ve bölgesel hücre kırılması gözlemlenmiştir.
- Hemen hemen bütün eğilme deneylerinde öncelikle kompozit yüzey örtüsü çekirdek kısımdan ayrılmıştır. Daha sonra numunelerde çeşitli hasarlar meydana gelmiştir.

Basma testi için elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki yorumlamalar yapılabilir.

- ABS esaslı malzeme ile üretilen balpeteği çekirdek yapıları numunelerin basma mukavemet yükleri büyükten küçüğe doğru; kum saati formunda (Tip3), altıgen dolgulu (Tip4), kesik koni şeklinde (Tip2) ve içi boş (Tip1) yapıları numuneler şeklinde tespit edilmiştir.
- ABS malzeme ile üretilen numunelerde en fazla basma mukavemet yükü Tip4 altıgen dolgulu 3 nolu balpeteği çekirdek yapıları (E-TİP4-ABS-AD-3) numuneye ait olup basma mukavemet yükü 388,7 N olarak bulunmuştur.
- ABS esaslı malzeme ile imal edilen numunelerin ortalama basma mukavemeti 292,13 N olarak bulunmuştur. Özgül basma dayanımı ise $Tip1 > Tip4 > Tip3 > Tip2$ şeklinde sıralanmıştır.
- PLA esaslı malzeme ile üretilen balpeteği çekirdek yapıları numunelerin basma mukavemet yükleri büyükten küçüğe doğru; kum saati formunda

(Tip3), altıgen dolgulu (Tip4), kesik koni şeklinde (Tip2) ve içi boş (Tip1) yapıya sahip numuneler olarak tespit edilmiştir.

- PLA malzeme ile üretilen numunelerde en fazla basma mukavemet yükü Tip4 altıgen dolgulu 1 nolu balpeteği çekirdek yapılı (B-TİP4-PLA-AD-1) numunede olup bu değer 585,5 N olarak görülmüştür.
- Ayrıca PLA esaslı malzeme ile imal edilen numunelerin ortalama basma mukavemet yükü 470,58 N olup ABS malzeme göre daha yüksek çıkmıştır. Özgül basma dayanımı ise Tip4>Tip3>Tip2>Tip1 şeklinde sıralanmıştır.
- ABS esaslı malzeme ile PLA esaslı malzemelerin özgül basma dayanımları karşılaştırıldığında PLA esaslı malzemenin özgül basma dayanımı daha yüksek çıkmıştır.
- Basma deneyinde ise cisim yük altında bırakılmıştır. Böylece daha çok direnmeye başlamıştır. Çünkü başlangıçtaki yüksekliği kısalmıştır. Tabi bu sırada hasar meydana gelmiştir. Cisim artık ezilme aşamasına geçerek ezilmeye başlamıştır. Ama aynı zamanda ise yük devam etmiştir. Kısılan cismin ise basmaya karşı direncinin daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Genel olarak yapılan testler sonucu PLA ile imal edilen numuneler ABS ile imal edilen numunelere göre daha üstün mekanik özellikler göstermiştir.

8.2 Öneriler

Sonuç olarak aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- Hücre şekilleri (içi boş yapı, kesik koni şekli, kum saati formu ve altıgen dolgulu gibi balpeteği çekirdek yapıların tasarımı yapılırken daha güçlü bir eğilme dayanımı isteniyorsa hücre şekil tiplerinin özenle seçilmesi gerekmektedir.
- Kullanılan malzeme çeşidi eğilme ve basma dayanımında önemli ve etkili bir parametre olduğu göz ardı edilmemelidir.
- Minimum hafiflik ve maksimum mukavemet sağladığından dolayı balpeteği kompozit malzemeler rahatlıkla tercih edilebilir.
- Tasarımcılar deneydeki gibi üretilen kompozit levhalardan ve malzemelerden yapılar tasarlamak isterlerse eğilme deneylerinde görüldüğü gibi ilk önce yüzey örtüsü çekirdek kısımdan ayrıldığından

dolayı iyi bir yapıştırıcı kullanmaları ve titiz bir uygulama çalışması yapmaları gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] K. Özsoy, B. Duman, "Eklemeli İmalat (3 Boyutlu Baskı) Teknolojilerinin Eğitimde Kullanılabilirliği," International Journal Of 3d Printing Technologies And Dıgıtal Industry, 2017, ss. 36-48.
- [2] K. Özsoy, H. Sayın, "Eklemeli İmalat ile Üretilen PLA Esaslı Malzemenin Çekme Dayanımının Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanarak Tahmini," Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, no. 9, 2021, ss. 15-25.
- [3] G. Özer, "Eklemeli Üretim Teknolojileri Üzerine Bir Derleme," Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2020.
- [4] G. Atlıhan, İ. Ovalı, A. Eren, "Eklemeli İmalat Yöntemiyle Üretilmiş Bal Petekli Yapıların Titreşim Davranışlarının Nümerik Ve Deneysel Olarak İncelenmesi," Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind., 5 (2): 98-108, (2021).
- [5] N. Ercan, "3b Eklemeli Üretim Yöntemiyle Üretilmiş Hücresel Kafes Yapılı Sandviç Panellerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [6] H.S. Bharath, Dileep Bonthu, Suhasini Gururaja, Pavana Prabhakar, Mrityunjay Doddamani "Flexural response of 3D printed sandwich composite," Composite Structures 263 (2021) 113732.
- [7] Ahmad W. Alshaer , Daniel J. Harland, "An investigation of the strengt hand stiffness of weight-saving sandwich beams with CFRP face sheets and seven 3D printed cores," Composite Structures 257 (2021) 113391.
- [8] Jian Xiong, Li Ma, Ariel Stocchi, Jinshui Yang, Linzhi Wu, Shidong Pan, "Bending response of carbon fiber composites and wich beams with three dimensional honeycomb cores," Composite Structures 108 (2014) 234-242.
- [9] Noha M. Hassan, Zied Bahroun, Awab Mohamed, Ahmed Baker, Khalid Jijakli, Ali Saqr, "Designing an impactresistant sandwich panel composite using struct based structures," Composite Structures 258 (2021) 113432.
- [10] Sabah Pirouzfaz, Afshin Zeinedini, "Effect of geometrical parameters on the flexural properties of sandwich structures with 3D-printed honeycomb core and E-glass/epoxy Face-sheets," Structures 33 (2021) 2724-2738.
- [11] M. Solmaz, E. Çelik, "3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Basma Yüğü Altındaki Performanslarının Araştırılması," Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi, 30(1), 277-286, 2018.
- [12] S. Çelik, Y. Gür, "3 Boyutlu Yazıcı İle Üretilen ABS Ve Karbon Fiber Takviyeli ABS Kompozitlerde Üretim Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi," Araştırma Makalesi, BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 23(1), 200-209, 2021.
- [13] T. Önal, Ş. Temiz, "Bio Çekirdekli Sandviç Yapıların Kenar Basma Mukavemeti Davranışlarının Araştırılması," Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8 (2021) 142-153.
- [14] O. Özsolak, "Eklemeli İmalat Yöntemleri Ve Kullanılan Malzemeler," International Journal of Innovative Engineering Applications 3, 1 (2019), 9-14.

- [15] R. Yeşiloğlu, "Eklemeli İmalat İle Üretilen Farklı Dolgu Geometrisi Ve Yoğunluğa Sahip PLA Esaslı Yapıların Mekanik Davranışlarının Deneysel Olarak Araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Türkiye, 2022.
- [16] Ö. Karabıyık, K. Apak, "Eklemeli imalat yöntemiyle PLA malzemeden üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi," Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 13 (2), 62-68, 2021.
- [17] B. Gül, "Karbon Elyaf Takviyeli Petek Yapılı Sandviç Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Çekirdek Malzemenin Türü Ve Kalınlığının Etkisi," Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- [18] B. Kıyak, M. O. Kaman, "Karbon Fiber Kompozit Sandviç Levhaların Yanal Mukavemet Davranışlarının Araştırılması," Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18 (2018) 015902 (684-691).
- [19] M. Y. Solmaz, M. O. Kaman, K. Turan, A. Turgut, "Petek Yapılı Kompozit Levhaların Eğilme Davranışlarının İncelenmesi," Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi Fırat Univ. Journal of Engineering, 22 (1), 1-11, 2010.
- [20] M. E. Sönmez, "Bal Peteği Çekirdekli Sandviç Yapıların Özelliklerinin Geliştirilmesi Ve Optimizasyonu," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [21] F. Güler, "Eklemeli İmalat Destekli Dereceli Hassas Döküm Yöntemi İle Bal Peteği Yapıların Üretimi Ve Karakterizasyonu," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [22] O. TATLI, "Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, İmalatı Ve Dolgu Geometrisinin Mekanik Özelliklere Etkisi," Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [23] <http://eklemeliimalat.info.tr/1-giris/> Erişim tarihi: 16.11.2022
- [24] K. Özsoy, B. Duman, D. İçkale Gültekin, "Havacılık, Uzay Ve Savunma Sanayi İçin Eklemeli İmalat İle Metal Parça İmalatı," 4TH International Congress On 3d Printing (Additive Manufacturing) Technologies And Digital Industry, 11-14 April, 2019, Antalya, TR.
- [25] V. Tokdemir, "3d Yazıcılar İçin Ahşap Biyo-Kompozit Filament Üretimi Ve Bazı Özelliklerinin İncelenmesi," Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, 2022.
- [26] A. Bandyopadhyay, S. Bose, Additive Manufacturing, Boca Raton, Taylor & Francis Group, 2020, p.p. 1-400.
- [27] M. B. Tümer, "Üç Boyutlu Yazıcılar Ve Günümüz Mimarisinde Kullanımı," Yüksek Lisans Tezi, Işık Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2020.
- [28] <http://www.prototip.org/3d-printing/> Erişim tarihi: 18.11.2022
- [29] I. Gibson, D. Rosen ve B. Stucker, Additive Manufacturing Technologies, Business Media, New York, 2010, p.p.1-18.
- [30] Efecan Karaman, O. Çolak, "Eriyik Biriktirme Yönteminde Farklı Üretim Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi," ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2019, 1(2): 90-99.

- [31] Ba'rtolo P. J. "Stereolithographic Processes," Stereolithography Materials, Processes and Applications, Paulo Jorge Ba'rtolo, Leiria, Portugal: Polytechnic Institute of Leiria, 2011, p.p. 1-36.
- [32] <https://fibilo.com/sla-3d-baski-teknolojisi/> Erişim tarihi: 23.11.2022
- [33] M. E. Dokuz, "3 Boyutlu DLP Yöntemiyle HA Katkılı Kompozit Üretimi ve Karakterizasyonu." Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [34] H. K. Sürmen, "Eklemeli İmalat (3b Baskı): Teknolojiler Ve Uygulamalar," Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı 2, 2019.
- [35] M. Gürgen, M.C. Kayacan, "Bağlayıcı Püskürtmeli Metal Eklemeli İmalatta Kullanılan Parametreler," Uluborlu Mesleki Bilimler Dergisi 3:1 (2020) 19-27.
- [36] <https://www.kaizen40.com/3d-printer-teknolojileri-nelerdir/> Erişim tarihi: 28.11.2022
- [37] <https://www.mokotechnology.com/tr/binder-jetting/> Erişim tarihi: 28.11.2022
- [38] Ö. Kor, "Bağlayıcı Püskürtmeli Eklemeli İmalat İle İmal Edilen Parçaların Bronz Emdirilerek İçyapı Özelliğinin İncelenmesi." Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [39] <https://make.3dexperience.3ds.com/processes/material-jetting> Erişim tarihi: 28.11.2022
- [40] https://en.wikipedia.org/wiki/Laminated_object_manufacturing Erişim tarihi: 28.11.2022
- [41] https://www.researchgate.net/figure/Laminated-Object-Manufacturing-LOM-10_fig4_352769550 Erişim tarihi: 28.11.2022
- [42] <https://tr.wordssidekick.com/what-is-laminated-object-manufacturing-20987> Erişim tarihi: 29.11.2022
- [43] <https://www.btech.com.tr/tr/ebm-electron-beam-melting/> Erişim tarihi: 29.11.2022
- [44] <https://metaldunyasi.com.tr/tr/arsiv/2014/67/elektron-demet-ergitme-yontemi-ile-titanyum-alasimlarinin-uretimi.html> Erişim tarihi: 29.11.2022
- [45] <https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/67-filamentlerin-detayli-karsilastirilmesi> Erişim Tarihi: 06.12.2022
- [46] <https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/39-3d-yazici-filament-ozellikleri#:~:text=PLA%20Filamenti,daha%20parlak%20bir%20g%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BCye%20sahiptir.> Erişim Tarihi 06.12.2022
- [47] <https://digi-mode.com.tr/eklemeli-imalat/> Erişim Tarihi: 13.12.2022
- [48] https://www.sfm yazilim.com/eklemeli_imalat_nedir.html Erişim Tarihi: 13.12.2022
- [49] GROOVER, MIKELL P., Principles of Modern Manufacturing (Modern İmalatın Prensipleri) 4. Basımdan Çeviri, Nobel Akademik Yayıncılık, s.9-10, 2016.

- [50] <https://teknoloji.org/kompozit-malzeme-nedir-kompozitlerin-kullanim-alanlari/> Erişim Tarihi: 19.12.2022
- [51] F. Yastımoğlu, A. Özkan, "Tekrarlanan Yükler Altında Kompozit Malzemelerin Yapılarının İncelenmesini Amaçlayan Deney Aygıtı Tasarımı," Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (2017) 56-66.
- [52] <https://teknoloji-tasarim.com/kompozit-nedir/> Erişim Tarihi: 19.12.2022
- [53] <https://www.slideshare.net/DuranTuncel1/balpetei-kompozitler-56210673> Erişim Tarihi: 19.12.2022
- [54] R.R. Nagavally, "Composite Materials - History, Types, Fabrication Techniques, Advantages, And Applications," Kakatiya Institute of Technology & Science, Warangal, Telangana, India.
- [55] <https://stmcoatech.com/korozyon-turleri/> Erişim Tarihi: 21.12.2022
- [56] <http://kompozithayalleri.com/denizcilik-uygulamalarinda-kompozit-malzeme-kullanimi/> Erişim Tarihi: 21.12.2022
- [57] P. Thori, P. Sharma, M. Bhargava, "An Approach Of Composite Materials In Industrial Machinery: Advantages, Disadvantages And Applications," International Journal Of Research In Engineering And Technology, 2013.
- [58] A. G. Y. İlaslan, İ. Kandemir, "Kanat Gövde Tipindeki Bir İnsansız Hava Aracının Yapısal Tasarımı Ve Analizi," Özel Sayı 28, S. 775-780, Kasım 2021.
- [59] <https://santiyegunlugu.com/kompozit-malzemelerin-kullanildigi-alanlar/> Erişim Tarihi: 21.12.2022
- [60] <http://kompozithayalleri.com/kompozit-malzemelerin-kullanim-alanlari/> Erişim Tarihi: 21.12.2022
- [61] https://unsalkompozit.com/icerik?lang=tr_tr&blog=cekirdek-core-malzemeler-ve-ozellikleri Erişim Tarihi: 20.01.2023
- [62] <https://www.saertex.com/en/support/press-service/saerfoam-from-saertex-the-all-inclusive-high-performance-core> Erişim Tarihi: 20.01.2023
- [63] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Uçak Bakım, "Metal Olmayan Uçak Malzemeleri 525MT0003," Ankara, 2011
- [64] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Uçak Bakım, "Motorun Toplanması 525MTO066," Ankara, 2011
- [65] <https://insapedia.com/bal-petegi-honeycomb-kompozit-paneller-ve-ozellikleri/> Erişim Tarihi: 20.01.2023
- [66] <https://malzemebilimi.net/honeycombnedir.html> Erişim Tarihi: 20.01.2023
- [67] F. Öztekin, "Bal Peteği Ve Özgün Tasarım Çekirdekli Sandviç Kompozit Yapıların Mekanik Analizlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapılması," Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [68] 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 2002.

[69] B. Kıyak, ‘‘Karbon Fiber Kompozit Çekirdekli Sandviç Levhaların İmalatı Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması,’’ Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

YORGUN, Haluk

Web sayfası

(Research Gate, Academia, vs.)

-

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2024
Lisans	Dicle Üniversitesi	2018
Lise	Ziya Gökalp (Y.D.A) Lisesi	2004

İş Denevimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2012-Devam ediyor	Diyarbakır Adliyesi	Tekniker

Yabancı Dil

İngilizce, orta düzey

Yayınlar

1. Haluk Y, Kadir T, Eklemeli İmalat ile Üretilmiş Balpeteği Kompozit Levhaların Mekanik Davranışlarının Araştırılması, Dicle Üniversitesi - 1. Uluslararası Fen Bilimleri Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, 2023, Diyarbakır-Türkiye
- 2.
- 3.
- 4.

Özel İlgiler

Kitap okumak, film izlemek ve spor yapmak.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Haluk YORGUN		
Öğrenci No	21818001		
Ana Bilim Dalı	Makine Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Kadir TURAN		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	-		
Tez Başlığı	Eklemeli İmalat ile Üretilmiş Balpeteği Kompozit Levhaların Mekanik Davranışlarının Araştırılması		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	110		
Raporlama Tarihi	11.03.2024		
Benzerlik Oranı (%)	14		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 110 sayfalık kısmına ilişkin, 11/03/2024 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 14 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☐Kaynaklar hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☒Diğer (Her şey dâhil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Haluk YORGUN

Tarih: 11.03.2024

İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr. Kadir TURAN

İmza:

Tarih: 11.03.2024

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Sedat BİNGÖL

İmza:

Tarih: 11.03.2024