



**EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN PLA MALZEMELERDE CAM VE
KARBON ELYAF KAPLAMALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Yusuf KIR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yusuf KIR

24/06/2025

EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN PLA MALZEMELERDE CAM VE KARBON ELYAF KAPLAMALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Yusuf KIR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2025

ÖZET

Günümüzde üretim süreçlerini kolaylaştıran ve giderek daha fazla tercih edilen yöntemlerden biri de eklemeli imalat teknolojisidir. Bu üretim yöntemi, geleneksel yöntemlerinden farklı olarak, parçaların katman katman üst üste eklenerek oluşturulmasını esas alır. Böylece, malzeme kullanımı daha verimli hale gelir ve atıklar en aza indirilmiştir. Eklemeli imalat teknikleri arasında en yaygın olarak kullanılanlardan biri ergiyik biriktirme yöntemidir. Bu çalışmada, ergiyik biriktirme yöntemiyle farklı doluluk oranlarında ve örgü desenlerinde PLA malzemeler üretilmiştir. Üretilen numuneler 200 gr/m² cam elyaf, 300 gr/m² cam elyaf ve 300 gr/m² karbon elyaf kompozit kumaşlarla kaplanmıştır. Kaplama uygulanmış numuneler ile kaplamasız numuneler arasındaki performans farkları analiz edilmiştir. Kaplama işlemi, el yatırma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Eklemeli imalat sürecinde, dolgu oranı %50, %75 ve %90 olarak belirlenmiş; örgü geometrisi olarak ise kübik, sekizlik ve gyroid desenleri tercih edilmiştir. Numuneler, ASTM D638 standardına uygun olarak çekme testi için hazırlanmıştır. Çekme testleri sonucunda; kopma uzaması, gerilme dayanımı, maksimum yük, akma dayanımı ve kopma dayanımı değerleri değerlendirilmiştir. Elde edilen verilerde, maksimum yük değeri en yüksek 212 N ile %90 dolgu oranına sahip, sekizlik örgü modelindeki 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı numunelerde ölçülürken; en düşük maksimum yük değeri ise 39 N ile %50 dolgu oranına sahip, sekizlik modeldeki kaplamasız numunede kaydedilmiştir. Deney bulguları, %90 dolgu oranına sahip karbon elyaf kaplamalı sekizlik modelin, kaplamasız %50 dolgu oranlı sekizlik modele kıyasla yaklaşık beş kat daha yüksek maksimum yük taşıma kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Kopma uzaması açısından değerlendirildiğinde, en yüksek değer 2,273 mm ile kübik örgü modeline sahip kaplamasız numunede gözlemlenmiş; en düşük değer ise 0,910 mm olarak, yine kübik modeldeki 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı numunede tespit edilmiştir. Bu veriler, kaplama sonrası sünekliğin azaldığını ve parçanın daha gevrek bir yapıya dönüştüğünü göstermektedir. Kaplama uygulamasının, numune dayanımını artırırken sünekliği düşürdüğü ve kırılabilirliği artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bilim Kodu : 91448
Anahtar Kelimeler : PLA, kaplama, eklemeli imalat, karbon elyaf, cam elyaf
Sayfa Adedi : 75
Danışman : Doç. Dr. Selçuk YAĞMUR

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GLASS AND CARBON FIBER COATINGS
ON MECHANICAL PROPERTIES OF PLA MATERIALS PRODUCED BY ADDITIVE
MANUFACTURING

(M. Sc. Thesis)

Yusuf KIR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2025

ABSTRACT

One of the increasingly preferred methods that facilitates modern production processes is additive manufacturing technology. Unlike traditional manufacturing methods, this technique is based on building parts layer by layer. In this way, material usage becomes more efficient and waste is minimized. Among additive manufacturing techniques, one of the most commonly used is the Fused Deposition Modeling (FDM) method. In this study, PLA materials were produced using the FDM method with varying infill ratios and lattice patterns. The produced specimens were coated with 200 g/m² glass fiber, 300 g/m² glass fiber, and 300 g/m² carbon fiber composite fabrics. The performance differences between coated and uncoated specimens were analyzed. The coating process was carried out using the hand lay-up method. During the additive manufacturing process, the infill densities were set at 50%, 75%, and 90%, and the chosen infill geometries were cubic, octet, and gyroid patterns. The specimens were prepared for tensile testing according to the ASTM D638 standard. As a result of the tensile tests, properties such as elongation at break, tensile strength, maximum load, yield strength, and breaking strength were evaluated. According to the obtained data, the highest maximum load value 212 N was recorded in the specimen with 90% infill density, octet pattern, and 300 g/m² carbon fiber coating. In contrast, the lowest maximum load 39 N was observed in the uncoated specimen with 50% infill density and the same octet pattern. Experimental findings revealed that the carbon fiber-coated octet-pattern specimen with 90% infill density had nearly five times higher maximum load-bearing capacity compared to the uncoated specimen with 50% infill in the same pattern. In terms of elongation at break, the highest value of 2,273 mm was observed in the uncoated specimen with a cubic pattern, while the lowest value 0,910 mm was found in the 300 g/m² carbon fiber-coated specimen with the same cubic pattern. These results indicate that ductility decreases and the part becomes more brittle after the coating process. It was concluded that while the coating application increases the strength of the specimen, it reduces its ductility and increases brittleness.

Science Code : 91448
Key Words : PLA, coating, additive manufacturing, carbon fiber, glass fiber
Page Number : 75
Supervisor : Assoc. Prof. Selçuk YAĞMUR

TEŞEKKÜR

Tez alıőmam sűresince alıőmalarımda yol gűsteren bilgi ve tecrűbelerini paylaőan deęerli danıőman hocam Do. Dr. Selçuk YAĐMUR' a, test aőamasında yardımlarından dolayı Arő. Gűr. Bűőra ALIK' a, Gazi Ŭniversitesi İmalat Műhendislięi bűlűműnűn deęerli akademik ve idari kadrosuna, bu çalıőmanın gerçekleőtirilmesinde sundukları destekler için őűkranlarımı iletirim.

Tez çalıőmam sűrecinde sabır ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme, bu sűrete bana çokça destek olan deęerli arkadaőlarım Ezgi KARTBABA ve Sena AMASYA' ya teknik bilgi birikimiyle bana destek olan Yılmaz DEMİR arkadaőıma teőekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. KURAMSAL TEMELLER	13
3.1. Eklemeli İmalat Teknolojisi	13
3.2. Eklemeli İmalat İşlem Adımları	14
3.2.1 Bilgisayar destekli tasarım (CAD)	15
3.2.2. STL formatına dönüştürme ve dosya işleme	16
3.2.3. Dilimleme programına aktarma	16
3.2.4. Üretim parametrelerinin belirlenmesi	17
3.2.5 Üretim.....	18
3.2.6. Parça temizleme işlemi.....	19
3.2.7. Son işlem	19
3.3. Eklemeli İmalat Yöntemleri ile Geleneksel Yöntemlerinin Kıyaslanması	22
3.4. Eklemeli İmalat Çeşitleri.....	22
3.4.1. Eriyik biriktirme modelleme	23
3.4.2. Seçici lazer sinterleme.....	25
3.4.3. Direkt metal lazer sinterleme	26
3.4.4. Seçici lazer ergitme	26
3.4.5. Elektron ışını eritme	27

	Sayfa
3.4.6. Fotopolimerizasyon (SLA).....	27
3.4.7. Polyjet baskı	29
3.4.8. Binder 3DP	29
3.4.9. Lamine nesne imalatı (LOM).....	30
3.4.10. Lazer tasarlanmış net şekil (LENS)	31
3.4.11. Elektron ışın kaynağı (EBW)	32
3.5. Eklemeli İmalat Süreçleri Arasındaki Karşılaştırmalar	32
3.6. Eklemeli İmalatta Kullanılan Kompozit Malzemeler	33
3.6.1. Karbon elyaf.....	33
3.6.2. Cam elyaf	34
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
4.1. Test Malzemesi	38
4.1.1. 200 gr/m ² ve 300 gr/m ² cam elyaf.....	39
4.1.2. 300 gr/m ² karbon elyaf kumaş.....	40
4.1.3. Epoksi reçine	41
4.2. Deney Numunesi Tasarım ve Üretim Adımları	42
4.2.1. Test numunelerinin tasarımı	42
4.2.2. Test numunelerinin baskı parametrelerinin belirlenmesi	43
4.3. Numunelere Kompozit Kaplama Uygulaması	46
4.3.1. Kaplama uygulama adımları	46
4.4. Çekme Cihazı ve Test Süreci	49
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	53
5.1.Çekme Testi Sonuçları	53
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ	75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. ASTM standartları eklemeli imalat teknolojisi sınıflandırma	22
Çizelge 3.2. Filament çeşitleri ve özellikleri	25
Çizelge 3.3. Eklemeli imalat teknolojilerinin genel avantajları ve dezavantajları	33
Çizelge 3.4. Karbon elyaf temel özellikleri	34
Çizelge 3.5. Cam elyaf teknik özellikleri	35
Çizelge 4.1. Deney numunelerinin parametreleri	37
Çizelge 4.2. ESUN PLA filamentin özellikleri.....	38
Çizelge 4.3. Cam elyaf kumaş özellikleri	39
Çizelge 4.4. 300gr/ m ² karbon elyaf kumaş özellikleri.....	40
Çizelge 4.5. Resin norm hard a+b ekstra sert kompozit reçinesi temel özellikleri.....	41
Çizelge 4.6. Baskı parametre modelleri	44
Çizelge 4.7. Two trees bluer yazıcı teknik özellikleri	45

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Eklemeli imalat kullanım alanları.....	14
Şekil 3.2. Eklemeli imalat işlem sırası.....	14
Şekil 3.3. Hatalı tasarım düzenleme adımları	15
Şekil 3.4. Model dosyaların STL formatı	16
Şekil 3.5. Ultimaker cura programın parça dilimleme işlemi.....	17
Şekil 3.6. Model üretim öncesi makine ayarlamaları	18
Şekil 3.7. Eklemeli imalat parça üretimi.....	18
Şekil 3.8. Eklemeli imalatta üretim sonrası işlemler	19
Şekil 3.9. Eklemeli imalatta son işlem adımı.....	20
Şekil 3.10. FormLabs- UV kürleştirme makinesi	21
Şekil 3.11. Geleneksel imalat ve eklemeli imalat üretim parça şematik gösterimi	22
Şekil 3.12. Eriyik biriktirme yöntemi şematik gösterimi.....	24
Şekil 3.13. Seçici lazer sinterleme şeması	25
Şekil 3.14. Direkt metal lazer sinterleme ile imalat şematigi	26
Şekil 3.15. Seçici lazer ergitme.....	27
Şekil 3.16. Fotopolimerizasyon prosesleri, SLA	28
Şekil 3.17. Polyjet yöntemi şematik	29
Şekil 3.18. Binder 3DP cihazı.....	30
Şekil 3.19. LOM cihazı.....	30
Şekil 3.20. Farklı katman kalınlıkları ile yüzey açısı arasındaki ilişki	31
Şekil 3.21. Lazer tasarlanmış net şekil cihazı	31
Şekil 3.22. Doğrudan enerji depolama imalat yöntemi.....	32
Şekil 3.23. Karbon elyaf kumaş çeşitleri	34
Şekil 3.24. Cam elyaf kumaş dokuma çeşitleri.....	35
Şekil 4.1. Esun PLA karşılaştırılması	39

Şekil	Sayfa
Şekil 4.2. Cam elyaf çeşitleri	40
Şekil 4.3. 300 gr/m ² karbon elyaf kumaş	41
Şekil 4.4. Kompozit reçinesi	42
Şekil 4.5. ASTM D638 standardı tip IV	42
Şekil 4.6. Test numunelerin üretim aşaması-1	43
Şekil 4.7. 3D yazıcı, two trees bluer	44
Şekil 4.8. Test numuneleri	45
Şekil 4.9. Çekme numunelerinde kaplama işlemi ön hazırlık-1	47
Şekil 4.10. Çekme numunelerine kaplama işlemi ön hazırlık-2	47
Şekil 4.11. Kaplama işlemi	48
Şekil 4.12. Kaplama uygulaması-1.....	48
Şekil 4.13. Kaplama uygulaması-2	49
Şekil 4.14. Utest Profi X6 çekme test cihazı	50
Şekil 4.15. Çekme testi uygulaması	51
Şekil 4.16. Gerilme-gerinim grafikleri.....	51
Şekil 5.1. %50 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma uzaması grafiği.....	54
Şekil 5.2. %50 dolgu yoğunluğundaki numunelerde gerilme dayanımı grafiği	54
Şekil 5.3. %50 dolgu yoğunluğundaki numunelerde maksimum yük grafiği.....	55
Şekil 5.4. %50 dolgu yoğunluğundaki numunelerde akma dayanımı grafiği.....	55
Şekil 5.5. %50 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma dayanımı grafiği	55
Şekil 5.6. %75 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma uzaması grafiği	57
Şekil 5.7. %75 dolgu yoğunluğundaki numunelerde gerilme dayanımı grafiği	57
Şekil 5.8. %75 dolgu yoğunluğundaki numunelerde maksimum yük grafiği	57
Şekil 5.9. %75 dolgu yoğunluğundaki numunelerde akma dayanımı grafiği.....	58
Şekil 5.10. %75 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma dayanımı grafiği	58
Şekil 5.11. %90 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma uzaması grafiği	60

Şekil	Sayfa
Şekil 5.12. %90 dolgu yoğunluğundaki numunelerde gerilme dayanımı grafiği	60
Şekil 5.13. %90 dolgu yoğunluğundaki numunelerde maksimum yük grafiği	60
Şekil 5.14. %90 dolgu yoğunluğundaki numunelerde akma dayanımı grafiği.....	61
Şekil 5.15. %90 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma dayanımı grafiği	61
Şekil 5.16. Çekme testi sonrası kaplamasız numuneler	62
Şekil 5.17. Çekme testi sonrası 200gr/ m ² cam elyaf kaplamalı numuneler.....	62
Şekil 5.18. Çekme testi sonrası 300gr/ m ² cam elyaf kaplamalı numuneler.....	62
Şekil 5.19. Çekme testi sonrası 300gr/ m ² karbon elyaf kaplamalı numuneler	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

g	gram
E	Enerji yoğunluğu
v	Tarama hızı
m²	Metrekare
t	Katman kalınlığı
h	Tarama aralığı

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Derneği
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CF	Carbon Fiber (Karbon Elyaf)
EBM	Elektron Işını Ergitme
Eİ	Eklemeli İmalat
GF	Glass Fiber(Cam Elyaf)
PLA	Polilaktik Asit
PVA	Polivinil Alkol
SLA	Stereolitografi
SLS	Seçici Lazer Sinterleme
UV	Ultraviyole

1. GİRİŞ

Gelişen sanayi sektöründe üretim hacmi ve çeşitliliği her geçen gün artmaktadır. Üretim hızı üretim altyapısındaki esneklik ve maliyet unsurları gibi faktörler, ileri üretim teknolojilerinin kullanımını giderek daha önemli hale getirmektedir.

Son yıllarda üretim süreçlerini kolaylaştırması nedeniyle yaygınlaşan yöntemlerden biri de eklemeli imalat teknolojisidir. Her geçen gün gelişen teknolojiyle farklı alanlarda kullanım kolaylığı sağlamaktadır (Kahraman, 2018).

Eklemeli imalat geleneksel üretimdeki talaş kaldırma yöntemlerinin aksine malzemelerin birleştirilerek katmanlar halinde üst üste eklenmesi prensibine dayanan karmaşık geometri ve serbest formlu parçaların imal edilmesine olanak sağlayan pratik bir imalat yöntemidir (Minetola, 2020). Ürünlerin farklı malzeme ve geometrik yapılarından dolayı çeşitli eklemeli imalat teknolojileri geliştirilerek havacılık, otomotiv savunma sanayii, gıda, eğlence sektörü ve tıp gibi çeşitli sektörlerin kullanımına sunulmuştur (Yaragatti 2021; Szymczyk-Ziółkowska, 2020).

Tüm malzeme işlemleri yöntemlerinde olduğu gibi eklemeli imalat süreçlerinde malzeme özellikleri, hız ve maliyet gibi özelliklerle sınırlıdır. Eklemeli imalat malzemelerinin ve makinelerinin performans kapasiteleri aynı geometrinin seri üretimi için geleneksel imalat yönteminin (örn. plastik enjeksiyon) gerisinde kalabilir ancak küçük ve orta ölçekli üretimler için geleneksel imalattan daha iyi performans gösterebilir.

Eklemeli imalat proseslerinde topoloji optimizasyon yöntemleri bilgisayar destekli yazılımlarla tasarımların inceleme ve uygulama işlemlerinin yapılması maliyeti düşük hafif yapı eklemeli imalat teknolojileri tercih sebebi olmaktadır (Çelik, 2016).

Eklemeli imalat yöntemlerinin en yaygın kullanıldığı ve bilindiği yöntem ergiyik biriktirmeli modelledir. İmalat sürecinde 3D yazıcı teknolojilerinden faydalanmaktadır. Günümüzde ev tiplerinde olmak üzere çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. 3D yazıcılarda üretim süreci hızlı olsa, basit ve düşük maliyetli olsa da üretilen parçaların yüzey işlemleri istenilen pürüzsüzlükte çıkmaya bilmektedir (Dizon, Espera, Chen Advincula, 2018).

Bu çalışmada eklemeli imalat teknolojilerinden biri olan 3D yazıcılar aracılığıyla üretilen numunelerin yüzeylerine kompozit kumaş kaplama işlemi uygulanmıştır. Kullanılan numunelerde, üretim öncesi tasarım sürecinde belirlenen yoğunluk oranı ile parçanın iç yapısında tercih edilen örgü deseni, temel belirleyici parametreler arasında yer almıştır. Üretilen numuneler farklı doku çeşitliliğindeki cam elyaf ve karbonfiber kompozit kumaşlarla kaplanmıştır. Üretilen numunelere, çekme testi uygulanarak deneylerle test edilmiş ve belirlenen kritik parametreler doğrultusunda en başarılı sonuçlar analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak, eklemeli imalat yöntemiyle üretilmiş parçaların kompozit kumaşla kaplanmasının dayanım üzerindeki etkisi ve yüzey düzgünlüğü gibi özellikleri detaylı şekilde incelenmiştir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taraması kapsamında incelenen bilimsel kaynaklar arasından, bu çalışmaya katkı sağlayabilecek bazı çalışmalar aşağıda özet biçimde sunulmuştur.

Yeşiloğlu, eklemeli imalat ile üretilen farklı dolgu geometrisi ve yoğunluğa sahip pla yapıların modellerinde üretilen numunelere çekme, basma ve darbe deneyleri yapmıştır. Sonucunda genel olarak izafi yoğunluğun artmasıyla tüm dolgu geometrilerinde mekanik özellikleri kötüleştiği görmüştür. En fazla çekme dayanımı octet, en fazla şekil değişimi cross geometrisinde olduğu sonucuna ulaşmıştır (Yeşiloğlu, 2022).

Aslan, kalıp ihtiyacı duymadan laminat kompozit malzemelerin hazırlanmasında eklemeli üretimin avantajlarından faydalanılması hedeflemiştir. Bunu yapmak için, kompozit malzeme, eklemeli üretimle üretilen polilaktik asit (PLA) çekirdeği üzerine karbon fiber kumaş uygulanarak hazırlanmıştır. 2 katmanlı ve 3 katmanlı örnekler, 50 J darbe enerjisi uygulanarak ağırlık düşüşü testlerinde kullanmıştır. 2 katmanlı örneklerde tam hasar gözlemlenirken, 3 katmanlı örneklerde 23,63 J emilen enerjiyle kısmi hasar meydana gelmiştir. Ayrıca, kuvvet-zaman grafiği, kompozit yapısının kendine has bir desenini göstermiştir. Çekme testleri, örneklerin sınırlı uzama ile kırılma sergilediğini ve PLA çekirdeğinin gerilme-şekil değiştirme davranışına hiçbir katkı sağlamadığını ortaya koymuştur. Ancak, üç noktalı eğilme testinin gerilme-şekil değiştirme eğrisinde, termoset karbon fiber laminant tabakası ve termoplastik PLA çekirdeğine atfedilen iki aşama gözlemlenmiştir (Aslan, 2023).

Özdoğan, eklemeli imalat parametrelerinden doluluk oranı, katman kalınlığı, nozul sıcaklığı ve tarama açısının PLA malzeme üzerindeki akma mukavemeti, maksimum eğilme gerilmesi, rezilyans, tokluk, elastiklik modülü gibi mekanik özelliklere ve baskı süresine etkileri incelemiştir. Çoğu durumda katman kalınlığının azalması, doluluk oranının artması nozul sıcaklığının artması ile mekanik özelliklerin iyileştiği sonucuna varmıştır. Ayrıca yapılan testler baskı süresinin de doluluk oranı ile doğru, katman kalınlığı ve sıcaklık ile ters orantılı olduğunu gözlemlenmiştir (Özdoğan, 2021).

Koçak, 3D baskı kullanılarak polilaktik asitten (PLA) üretilen bir model parçanın yüzey özelliklerini iyileştirmiştir. Çekme ve eğilme testlerine uygun numuneler üretmiş, bu numunelerin yüzeylerine mermer/alümina katkılı kompozit kaplama işlemi uygulamıştır. Daha sonra, PLA ve kaplama ara yüzü SEM altında adezyon açısından incelemiştir. Ayrıca mekanik özelliklerin değerlendirilmesi amacıyla yüzey sertliği ölçümleri gerçekleştirmiş ve çekme ile eğilme testleri uygulamıştır. Çalışma sonucunda 3D baskı yöntemiyle üretilen bir model parçaya kompozit kaplama işlemi pratik ve etkili bir şekilde başarıyla uygulamıştır. Kompozit kaplama sayesinde pürüzlülük ve sertlik gibi yüzey özellikleri iyileştirmiştir (Koçak, 2021).

Angel, kompozit bazlı baskı parçasının yüzeyi galvaniz kaplanarak iletkenliği artırmaya çalışmıştır. Ölçümler için test parçası üretilerek kaplama yapmıştır. Kompozit filamentin iletkenlikleri ve elektrodepozisyon oranları, baskı yönünün bir fonksiyonu olarak ölçmü; bu yaklaşımın uygulanabilirliğini değerlendirmek için yapışma testleri yapmıştır (Angel, 2021).

Barone, eklemeli imalat yöntemiyle üretilmiş karbon fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerini geliştiren iki kaplama yapmıştır. Nem emilimi üç boyutlu baskı parçalarının mekanik özelliklerini etkilemiştir. Bu nedenle, mevcut çalışma, kısa karbon fiberlerle güçlendirilmiş poliamiddenden oluşan 3D baskılı numunelerin nem emilimi üzerindeki iki farklı kaplamanın, UV ile kürlenmiş bir akrilat reçine ve bir akrilik verniğin etkilerini araştırmıştır. Sonuç olarak hem akrilik hem de UV reçine kaplamalarla emilimde önemli bir azalmanın yanı sıra bu numunelerin mekanik özelliklerinde önemli gelişmeler olduğunu göstermiştir (Barone, 2020).

Sevil, PLA malzemeden üretilmiş parçaların servis şartları altında yüzey çizilmelerine dayanımı düşük olduğunu belirtmiştir. 3D yazıcılarla üretilmiş parçaların yüzey çizilmelerine dayanımını artırmak amacıyla bu çalışmada üretilen silindirik parçanın yüzeyi üç farklı toz ve epoksi reçine kullanarak kaplamıştır. Yüzeyi kaplama sonrası partikül takviyeli kompozit haline gelen numuneler erozif aşınma testlerine maruz bırakmıştır. Eroziyon aşınma testleri sonrası kütle kayıpları ve yüzey pürüzlülük analizlerini gerçekleştirerek aşınma dayanımı karakterizasyonu gerçekleştirmiştir.

Literatür araştırmasındaki yapılan çalışmalardan yenilikçi üretim yöntemlerinden eklemeli imalat ve kompozit sanayi birleşimiyle oluşan üretim metotlarıyla parçalarda hafifleme ve

dayanım artışının sağlanabileceği uygulamalı olarak kullanılabilmesi yapılan çalışma incelemelerden uygunluk sonuçları çıkarmıştır (Sevil, 2019).

Apak, eklemeli imalat yöntemiyle PLA filament malzemesinden üretim yapılan numuneleri farklı üretim parametreleri altında değerlendirmiştir. Bu parametreler arasında sertlik ve çekme testleri uygulanarak numunelerin mekanik özellikleri incelemiştir. İlk parametre olarak; %20, %60 ve %100 doluluk oranları incelemiştir. İkinci parametre olarak; Çizgi kafes ve orta merkezli olmak üzere üç farklı dolgu deseni kullanmıştır. Üçüncü parametre olarak ise; 20 mm/sn, 40 mm/sn ve 60 mm/sn hızlarında üç farklı üretim hızı uygulamıştır. Elde edilen sonuçlarla, en iyi mekanik özelliklere sahip ürünü elde etmek için uygun doluluk oranı, dolgu deseni ve üretim hızlarının belirlenmesi amaçlamıştır. Yapılan testler sonucunda; doluluk oranındaki artış ile birlikte numunelerin çekme mukavemeti de arttığını gözlemlemiştir. Bununla birlikte, dolgu deseni ve üretim hızındaki değişikliklerin çekme mukavemeti üzerinde anlamlı bir etkisini görememiştir. Ayrıca, doluluk oranının yükselmesi ve üretim hızının düşmesi, numunelerin uzama değerlerinde azalmaya yol açtığını gözlemlemiştir (Apak, 2019).

Yeşil, polimer matrisli kompozit malzeme parçalarının farklı yöntemlerle birleştirilmesinin birleşme bölgesinin çekme kuvvetine olan etkileri incelemiştir. İlk olarak, çift yönlü dokumaya sahip karbon fiber kumaşla takviye edilen epoksi kompozit çekme testi numuneleri üretmiştir. Kompozit numune üretimi, elle yatırma yöntemiyle yapılmış ve ardından sıcak presle preslemiştir. Üretilen numuneler, ASTM D412 standardına uygun boyutlarda hazırlamıştır. Numuneler, ortadan ikiye bölünerek çeşitli birleştirme yöntemleriyle birleştirmiştir. Birleştirme yöntemleri arasında vida ile vidalama yaygın ve düşük maliyetli bir çift bileşenli yapıştırıcı ile yapıştırma, kompozit malzemenin üretildiği laminasyon reçinesiyle yapıştırma ve aynı laminasyon reçinesinin karbon fiber tozu ile katkı andırılarak yapıştırılmasına yer vermiştir. Yapıştırılan numuneler çekme testine tabi tutulmuş ve birleşme kuvvetleri karşılaştırmıştır. Vida ile birleştirilen numunelerin kopma kuvveti en düşük değeri verirken, düşük maliyetli çift bileşenli yapıştırıcı ile yapıştırılan numunelerin kopma kuvveti en yüksek değeri göstermiştir (Yeşil, 2020).

Korkmaz, elle yatırma yöntemi kullanılarak farklı lineer yoğunluk, çözgü ve atkı sıklığı çözgü ve atkı numarası ile dokuma kumaş konstrüksiyonlarına sahip karbon elyaf takviyeli ve karbon nano tüp ile modifiye edilmiş epoksi kompozit malzemelerin üretilmesi ve bu

malzemelerin mekanik, termal ve kırılma yüzeylerinde karakterize etmiştir. Ayrıca kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak kullanılan epoksi reçine sisteminin çok katmanlı karbon nano tüplerle modifiye edilmesinin ve farklı dokuma kumaş konstrüksiyonlarının tabakalı kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılmasını da amaçlamıştır. Bu doğrultuda, çok katmanlı karbon nano tüplerle modifiye edilmiş epoksi nano kompozitler hazırlanmış ve çeşitli özelliklere sahip dokuma karbon elyaf takviye elemanları kullanarak tabakalı kompozit malzemeler üretilmiştir (Korkmaz, 2014).

Abasov, bu tez çalışmasında hem endüstri hem akademi hem de bireysel kullanıcılar tarafından ilgiyle karşılanan malzeme ekstrüzyon tabanlı eklemeli imalat yöntemiyle üretilen polimer matris kompozitlerin özelliklerini tahmin etmek amacıyla modelleme çalışmaları yapmıştır. Bu sayede doğru üretim parametrelerine, minimum sayıda deneme yanılma ile ulaşılması hedeflemiştir. Hem malzeme özelliklerini hem de üretim parametrelerini göz önünde bulunduran analitik model hem deneysel çalışmalarla hem de literatürdeki önceki araştırmalarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Geçmişteki araştırmalarla geliştirilen modellere göre daha iyi bir yakınsama değeri elde etmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar analizleri yapılmış ve seçilen bir ürüne, malzeme ekstrüzyon tabanlı eklemeli imalat yöntemiyle üretilen farklı malzeme özellikleri atanarak topoloji optimizasyonu gerçekleştirmiştir (Abasov, 2022).

Doğru, yüksek performanslı polimerler, yüksek erime sıcaklıkları nedeniyle pahalı ve eklemeli imalat ile işlenmesi zor olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, saf polimerlerin mukavemet özelliklerini artırmak amacıyla kısa elyaf takviyesi kullanmıştır. Eklemeli imalat yönteminde üretim yapmak için, tez çalışmasında kısa elyaf takviyeli polimer matris filamentleri tasarlanmıştır. Poliamid, geniş uygulama alanı ve üstün mekanik, termal ve kimyasal özellikleri nedeniyle matris malzeme olarak belirlemiştir. Tasarlanan filamentler pahalı ve işlenmesi zor malzemelerin yerine kullanılabilir, standart eklemeli imalat cihazlarıyla kolayca işlenebilecek ürünlerin tasarlanmasını sağlayacak ve test edilebilir ürünler üretilmiştir. Bu alanda kullanılan malzeme çeşitliliğinin artması, eklemeli imalat yöntemiyle üretilen ürünlerin endüstriyel kullanım alanını genişletecek ve enjeksiyon kalıplama, vakum infüzyon veya basınçlı kalıplama olmadan kompozit yapılar amaçlamıştır. Elyaf takviyeli polimer filamentleriyle, özellikle havacılık, savunma otomotiv ve tıp

endüstrilerinde, karmaşık geometrilere sahip düşük maliyetli ürünler üretimi amaçlamıştır (Doğru, 2022).

Karaahmetoğlu, kompozit malzemelerdeki tabakaların türü, miktarı, yerleşim düzeni ve oryantasyon açıları gibi değişken parametreler, hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerini etkileyen temel faktörleri belirtmiştir. Bu çalışmada, karbon fiber ve cam elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin üretim sırasının, kompozitin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Malzemenin özellikleri, çeşitli testler ile değerlendirilmiştir. Testlerde kullanılan malzemeler, epoksi reçine, cam elyaf ve karbon elyaf olup, hot press yöntemiyle farklı dizilimlerde iki adet cam-karbon elyaf takviyeli hibrit kompozit levha üretilmiştir. Üretilen numuneler, çekme testi ve üç nokta eğme testi olmak üzere iki farklı deneyle incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, diziliş sırasının bu malzemelerin mekanik özelliklerine olan etkisi değerlendirilmiştir (Karaahmetoğlu, 2025).

Gebel, karbon ve cam fiber takviyeli, ultraviyole ışınla kürlenebilen polimer matrisli kompozit ürünlerin üretimi için yeni bir eklemeli imalat yöntemi geliştirilmiş ve çeşitli parametreler incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda, cam fiberin karbon fiberden daha uygun olduğunu tespit etmiştir. Cam fiber takviyeli kompozit parçaların üretimi optimize etmiştir. Deneyler için özel bir nozul tasarımı yapmış, nozul çıkışında biriken kompozit lifler ultraviyole ışınları ile kürlenerek üretim süreci tamamlamıştır (Gebel, 2018).

Sharma, katman kalınlığı, doluluk oranı ve yazdırma hızı olmak üzere 3 önemli proses değişkeni, ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) ile üretilen örneklerin çekme ve basma dayanımına etkilerini incelemek için ele almıştır. Deneyler, deney tasarımı (DOE) metodolojisini temel alarak gerçekleştirmiştir. Son dönemdeki çalışmalarında genellikle bir proses değişkenine odaklanmış ve bunun FDM ile işlenmiş parçaların mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Elde ettiği sonuçları, DOE ve optimizasyon teknikleri ile analiz etmiştir. Deneysel sonuçlar, üç proses değişkeninden katman kalınlığı ve doluluk oranının FDM yapılarının mekanik özellikleri üzerinde büyük bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Diğer bir proses değişkeni ise daha az etkileyici özelliklere sahip olup, belirli bir aralıkta etkisini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, DOE ve optimizasyon teknikleri ile analiz etmiştir. Deneysel sonuçlar, üç proses değişkeninden katman kalınlığı ve doluluk oranının FDM yapılarının mekanik özellikleri üzerinde büyük bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur.

Diğer bir proses değişkeni ise daha az etkileyici özelliklere sahip olup, belirli bir aralıkta etkisini göstermiştir (Sharma, 2019).

Karakuş, sekiz faktör için uygulanarak deney numuneleri tasarlamıştır. Tasarladığı deney numuneleri, ergiyik yığıma modelleme tekniği ve %30 cam elyaf takviyesi içeren poliamid filament kullanarak bir eklemeli imalat yöntemi ile 3D yazıcıda üretmiştir. Üretilen numunelerin ağırlıkları hassas terazi ile ölçmüş, yüzey pürüzlülükleri optik mikroskopla incelemiştir. Numuneler üzerinde çekme testleri yapmış ve mekanik özellikleri değerlendirmiştir. Deneylerde elde edilen verileri kullanarak üretim faktörleri ve seviyeleri, en yüksek çekme gerilmesi değerini elde etmek amacıyla optimize etmiştir (Karakuş, 2024).

Koca, eklemeli imalat yöntemi ile üretilen parçaların yüzey kalitesinin iyileştirilmesine odaklanmıştır. Özellikle FDM (Fused Deposition Modeling) yöntemiyle üretilen Polilaktik asit (PLA) parçalarının yüzey pürüzlülüğünü ve genel yüzey özelliklerini geliştirmeyi hedeflemiştir. Yüzey pürüzlülüğü, eklemeli imalatla üretilen parçaların mekanik özelliklerini doğrudan etkileyebilen önemli bir faktördür, bu nedenle çalışmada bu konuda çeşitli yüzey iyileştirme teknikleri ele almıştır. Sonuç olarak parçaların yüzey özelliklerini iyileştirmek için etkili son işlem yöntemlerinin seçilmesinin malzeme kalitesini arttırmak ve daha estetik açıdan tatmin edici parçalar üretmek için büyük bir öneme sahip olduğunu vurgulamıştır. Bu iyileştirmeler, endüstriyel uygulamalarda daha verimli ve dayanıklı parçaların üretilmesine olanak sağladığını belirtmiştir (Koca, 2021).

Arıkan ve arkadaşları, eklemeli imalat (AM) yöntemleriyle üretilen malzemelere uygulanan kaplama işlemlerini inceleyen bir derleme makalesi sunmuşlardır. Çalışmada, eklemeli üretimle elde edilen malzemelerin yüzey kalitesini artırmak ve dayanıklılıklarını güçlendirmek amacıyla kullanılan çeşitli kaplama tekniklerine odaklanılmışlardır. Kaplama uygulamaları, genellikle malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek için tercih edilen etkili yöntemlerdendir. Eklemeli imalatla üretilen malzemelere uygulanan kaplamaların, bu malzemelerin performansına nasıl etki ettiğini araştırmışlardır. Çalışmanın bulgularına göre, kaplama yöntemleri, yüzey pürüzlülüğü, aşınma direnci korozyon dayanıklılığı ve estetik gibi özelliklerde önemli iyileştirmeler sağlamakta olup kaplama malzemesinin seçimi, eklemeli imalat parçalarının performansını doğrudan etkileyen bir faktör olarak vurgulamışlardır.

Ayrıca, kaplama işlemleri, eklemeli imalatla üretilen parçaların endüstriyel uygulamalarda daha verimli bir şekilde kullanılabilmesini sağlayan kritik bir adım olarak öne çıkmışlardır (Arıkan, 2023).

Nesli, eklemeli imalat yöntemlerinden seçici lazer eritme (SLE) ile üretilen Inconel 718 ve elektron ışını ergitme (EIE) ile üretilen Ti-6Al-4V numunelerinin yüzeylerine lazerle parlatma (LP) işlemi uygulanarak yüzey özellikleri incelemiştir. Sonuçlara göre, LP işlemi, Inconel 718 numunesinin yüzey pürüzlülüğünü %90, Ti-6Al-4V numunesinin ise %94 oranında iyileştirmiştir. Ayrıca, SLE-Inconel 718 numunesinin dendritik yapısı ve EIE-Ti 6Al-4V numunesinin ($\alpha+\beta$) mikro yapısı LP ile değiştirmiştir. LP işlemi, Inconel 718 ve Ti-6Al-4V numunelerinin mikro sertliklerini sırasıyla %18 ve %12,5 oranında artırmıştır. Sayısal modelleme ile lazerle malzeme yüzeyi arasındaki ısı etkileşim incelenmiş ve yeniden ergimiş ve ısıdan etkilenmiş alanlar doğrulamıştır (Nesli, 2022).

Menezes ve arkadaşları, katmanlı üretim tekniklerinin fonksiyonel kaplama üretiminde kullanım potansiyelini araştırmak ve bu alandaki güncel uygulamaları ortaya koymuşlardır. Fonksiyonel kaplamalar, özellikle aşınma, korozyon, yüksek sıcaklık ve basınç gibi zorlu koşullarda malzeme yüzeyini koruma işlevini göstermişlerdir. Bu bağlamda, soğuk sprey ve lazer toz yatağı eritme gibi katmanlı üretim tekniklerinin, kaplama kalitesine etkisi mikro yapısal değişimleri ve işlem parametreleri ile ilişkisi değerlendirmişlerdir. Çalışma hem akademik araştırmalar hem de endüstriyel uygulamalar açısından katmanlı üretimin sunduğu avantajlara dikkat çekmeyi amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, katmanlı üretim tekniklerinin fonksiyonel kaplama üretiminde önemli avantajlar sağladığını ortaya koymuşlardır. Katı hâl (ör. soğuk sprey) ve ergime esaslı (ör. lazer tabanlı) yöntemlerin her biri, farklı metal ve alaşımlar üzerinde başarılı kaplamalar oluşturabilmişlerdir. Özellikle mikro yapı özellikleri, yüzey sertliği ve korozyon direnci gibi performans kriterleri, işlem parametrelerine bağlı olarak optimize edilebilmişlerdir. Ayrıca, bazı çalışmalar moleküler düzeyde tabaka oluşum mekanizmasını açıklayarak bilimsel temeli güçlendirmişlerdir. Sonuç olarak, katmanlı üretim teknikleri; yüksek hassasiyet, düşük malzeme israfı ve özelleştirilebilir yapısıyla geleneksel kaplama yöntemlerine alternatif ileri teknoloji uygulamaları için büyük bir potansiyel taşıdığını belirtmişlerdir (Kumar, 2021).

Zhang, seramikler ve seramik takviyeli metal matrisli kompozitler (CMMC'ler) üzerine lazer eritme biriktirme (Laser Melting Deposition - LMD) yöntemi amaçlamıştır.

Geleneksel üretim yöntemlerinin karşılaştığı yüksek maliyet ve enerji tüketimi sorunlarına çözüm sunan LMD teknolojisinin, kaplama verimliliği ve maliyet etkinliği açısından avantajları araştırmış aynı zamanda karşılaşılan yapışma problemleri, çatlak oluşumu ve tokluk azalması gibi teknik zorluklar ele almıştır. Bu inceleme, LMD tabanlı kaplama teknolojilerinin endüstriyel uygulamalarda daha etkin kullanılabilmesi için mevcut sorunlara yönelik çözümler ve gelişim yönelimleri hakkında bilgi sağlamayı hedeflemiştir. Lazer eritme biriktirme (LMD) yöntemi, seramik ve CMMC bazlı kaplamaların üretiminde yüksek kaplama verimliliği ve düşük iş gücü maliyeti gibi önemli avantajlar sunmuştur. Ancak kaplama ile alt tabaka arasındaki zayıf bağlanma çatlak oluşumu ve azalan tokluk gibi problemler, uygulamanın yaygınlaşmasını sınırlamıştır. Mevcut çalışmalar, bu sorunların üstesinden gelmek için yeni malzeme bileşimleri, işlem parametrelerinin optimizasyonu ve teknolojik iyileştirmeler üzerine yoğunlaştığını belirtmiştir. Bu gelişmeler, LMD teknolojisinin biyomedikal, havacılık ve elektronik gibi ileri mühendislik alanlarında daha güvenilir ve yaygın bir şekilde kullanılmasının önünü açmıştır (Zhang, 2021).

Guerrero ve arkadaşları, paslanmaz çelik parçaların yapışmaz kaplamalarının üretiminde kullanılan eklemeli imalat (AM) ve çıkarma imalat (SM) tekniklerini kaplama performansı açısından karşılaştırmayı amaçlamıştır. Yüzey pürüzlülüğü, kaplamanın alt tabakaya yapışması, su damlası kayma açısı ve aşınma direnci gibi önemli özellikler incelenerek eklemeli imalatın bu kaplamalar üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Eklemeli imalatla üretilen paslanmaz çelik parçalar, geleneksel çıkarma imalat yöntemine kıyasla daha yüksek yüzey pürüzlülüğünü göstermişlerdir. Seramik kaplamalar, eklemeli imalatta alt tabakaya daha iyi yapışma ve aşınma direnci sunarken, FEP kaplamalar her iki yöntemde benzer performans olduğunu göstermişlerdir. Genel olarak, eklemeli imalat yöntemi yapışmaz kaplamalarda pürüzlülük, yapışma ve aşınma direnci açısından önemli avantajlar sağladığını belirtmişlerdir (Guerrero, 2023).

Kurt, ergiyik biriktirme yöntemiyle üretilen PLA (Polilaktik Asit) 3D baskı parçaların yüzeylerine karbon fiber kumaş kaplama uygulaması yapmıştır. Amaç, karbon fiber kumaş kaplamasının parçaların mekanik dayanım, sertlik ve darbe direnci üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kaplama işlemi, epoksi reçine kullanılarak laminasyon yöntemiyle gerçekleştirmiş ve ardından kurutma aşamasından geçmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında kaplanmış ve kaplanmamış PLA çekme, eğilme ve darbe testleri yapmıştır. Sonuçlar, karbon fiber kaplamanın mekanik özelliklerde belirgin bir iyileşme sağladığını

özellikle eğilme dayanımının %30 oranında arttığını göstermiştir. Ayrıca kaplama, yüzey aşınmasına karşı da önemli bir direnç kazandırmıştır.

Çalışmanın sonunda, PLA 3D baskı parçaların karbon fiber kumaş kaplama yöntemiyle performansının artırılabilceği ve bu yöntemle hafif, dayanıklı kompozit parçaların üretilebileceği sonucuna varmıştır. Bu yaklaşım, özellikle prototipleme ve hafif yapısal uygulamalarda ekonomik ve etkili bir çözüm sunmuştur (Kurt, 2022).

Demirok, cam ve karbon elyafların dokuma formlarını içeren yüksek performanslı kompozit lamine yapıların matrisi olarak polilaktit (PLA) biyopolimerinin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada, 2-14 katman arası 2x2 twill karbon elyaf (CF) ve 1x1 düz dokuma cam elyaf (GF) formları arasına PLA tozları yerleştirilerek sıkıştırılmalı kalıplama ile lamine yapılar üretilmiştir. Ayrıca, PLA matrisli laminatların mekanik performansı, aynı katman sayısı ve tipine sahip Epoksi matrisli laminatlarla karşılaştırmıştır. Deneyler sonucunda, PLA'nın dokuma karbon ve cam elyaf katmanları ile lamine edilmesinin mekanik ve termal özelliklerde önemli gelişmeler sağladığını gözlemlemiştir. PLA/CF laminatların mekanik özelliklerinin Epoksi/CF laminatlara yakın olduğu, ancak PLA/GF laminatlarda cam elyaf ile PLA matrisi arasındaki zayıf yapışma nedeniyle mekanik performansın daha düşük kaldığını tespit etmiştir. Bu nedenle, mekanik performans açısından, dokuma karbon elyaf laminatlarda geleneksel termoset epoksi matrisi biyobazlı ve yenilenebilir PLA matrisi ile değiştirilebilirken, cam elyaf laminatlar için PLA ile uyumlu bir birleştirme işleminin gerekli olduğu sonucuna varmıştır (Demirok, 2022).

Nguyen ve arkadaşları, PLA matrisli kompozit parçaların yüzeylerine cam elyaf kumaş kaplama uygulanarak yüzey modifikasyonu ve yapışma performansı iyileştirmiştir. Çalışmada, PLA parçaların yüzeylerine cam elyaf kumaş yerleştirilmiş ve sıkıştırılmalı kalıplama yöntemiyle laminatlar oluşturmuşlardır. Oluşturulan kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri kapsamlı şekilde test etmişlerdir. Sonucunda, cam elyaf kaplamanın PLA kompozitlerde mekanik dayanımı ve termal stabiliteyi artırdığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca PLA ve cam elyaf arasındaki yüzey yapışmasının iyileştirilmesi için yüzey modifikasyon tekniklerinin önemli olduğunu vurgulamışlardır. Bu çalışmada, PLA bazlı kompozitlerde cam elyaf kumaş kaplamasının uygulanabilirliğini ve performans artışını ortaya koymuşlardır (Nguyen, 2022).

Zhao ve arkadaşları, 3D yazıcı ile üretilen polilaktik asit (PLA) parçaların mekanik performansını artırmak amacıyla karbon elyaf kumaş kaplama (lamination) yöntemi kullanmışlardır. PLA parçaların yüzeylerine karbon elyaf kumaş yerleştirilip, sıkıştırılmalı kalıplama ve laminasyon işlemleri uygulamışlardır. Bu sayede, kaplama yapılmış PLA kompozitlerin çekme dayanımı, sertliği ve genel mekanik özelliklerinde anlamlı iyileşmeler elde etmişlerdir. Ayrıca, karbon elyaf kumaş kaplamasının, PLA matris ile elyaflar arasındaki yük transferini artırdığını ve böylece kompozitlerin dayanımını artırdığını belirtmişlerdir. Çalışmada, 3D baskı ile üretilen PLA parçalarının karbon elyaf kumaş kaplama ile etkin şekilde güçlendirilebileceğini gözlemlemişlerdir (Zhao, 2021).

Bu çalışmada, ergiyik biriktirme imalat yönteminde literatür çalışmalarında en çok tercih edilen baskı parametreleri kullanılarak eklemeli imalat ile üretilen parçalara kompozit kumaşlarla kaplama işlemi uygulanmış, parçalarda üretim maliyeti düşürülerek dayanımı yüksek malzemelerin üretilebilirliği araştırılmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında eklemeli imalat yöntemlerinde kaplama uygulama çalışmaları incelenmiştir. Çalışmada ana malzeme yapısını bozmadan kompozit alanında kullanılan kumaş ve üretim yöntemleri kullanarak kaplanan numunelere yapılan çekme testleri yardımıyla malzeme dayanımının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

3. KURAMSAL TEMELLER

Eklemeli imalat yöntemleriyle üretimlerde tasarımının prototip aşamasından ürün sürecine kadar bütün aşamalarda kullanılabilirliği bulunmaktadır. Termoplastikler, metaller ve biyokimyasal gibi farklı sektörlere uygun malzemelerin kullanıldığı farklı üretim yöntemleri bulunmaktadır. Eklemeli imalatın yanı sıra kompozit sanayii sektörün dede çok geniş çalışma alanları ve üretim metotları bulunmaktadır. Son yıllarda kompozit sanayii ve eklemeli imalat teknolojileri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Boehm, 2021).

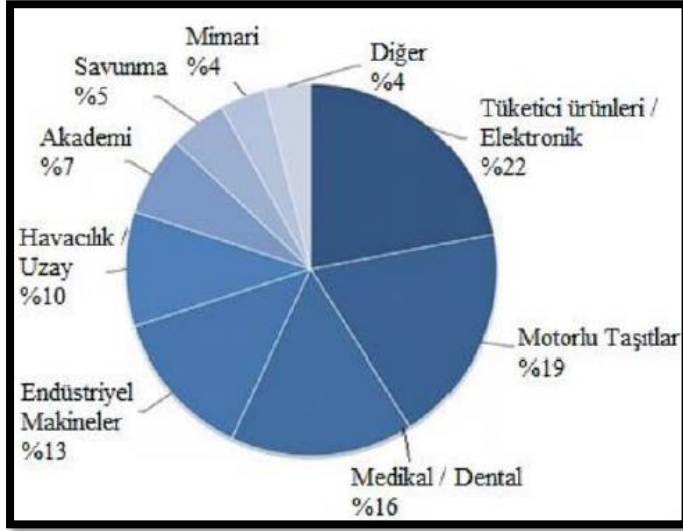
3.1. Eklemeli İmalat Teknolojisi

Eklemeli imalat, plastik, metal ve organik malzemeler gibi çeşitli malzemelerin kullanılmasıyla, üç boyutlu tasarımlar doğrultusunda katmanların ardışık olarak üst üste eklenmesi prensibine dayanan bir üretim yöntemidir (Kahraman, 2018). Eklemeli imalatın bu üretim prensibine dayanması, yönteme kolay kullanım imkânı sunmakta ve esnek üretim kabiliyeti sağlayarak karmaşık geometrilere sahip yapıların zahmetsizce üretilebilmesini mümkün kılmaktadır. Bu teknoloji ilk olarak stereolitografi yöntemiyle ortaya çıkmış olup son yıllarda giderek daha fazla ilgi görerek çeşitli sektörlerde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. (Vayre, 2012).

Havacılık, uzay, savunma sanayi, mimari, sağlık ve biyomedikal gibi alanlarda eklemeli imalat teknolojisi üretimleri görülmektedir (Guo, 2013). Eklemeli imalat ile üretim parçalarındaki üretim kolaylığı, malzeme tasarrufu düşük maliyet sebebiyle hızlı bir şekilde geliştirmeye ve yaygınlaşma hızlı bir şekilde devam etmektedir (Horn, 2012).

Eklemeli imalat teknolojisinin ilk amacı, görsel ve dokunsal iletim aracı olarak uyum ve işlev konseptinin ilk test parçalarını yaratmaktır. Şekil 3.1'de eklemeli imalat kullanım alanları verilmiştir. Kullanım alanları şöyledir:

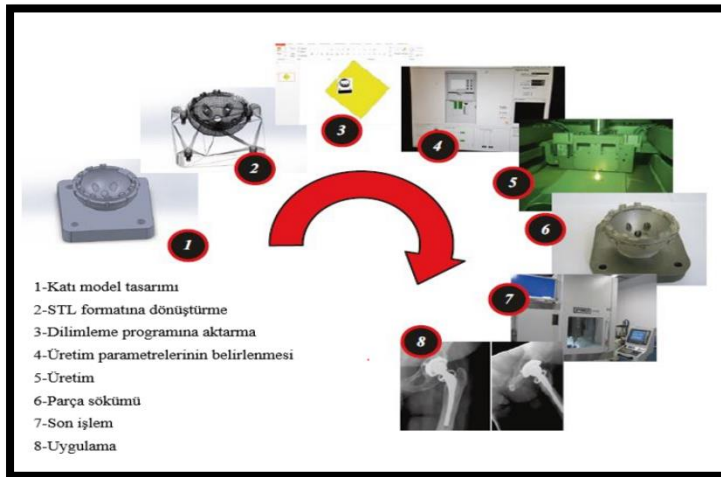
- Görsel yardımlar
- Sunum modelleri
- İşlevsel modeller
- Takma ve montaj
- Prototip işleme için kalıplar



Şekil 3.1. Eklemeli imalat kullanım alanları (Verhoef, 2018)

3.2. Eklemeli İmalat İşlem Adımları

Eklemeli imalat tasarım parçasının fiziksel sonuç parçasına doğru ilerleyen bir dizi adım içerir. Şekil 3.2'de eklemeli imalat işlem sırası verilmiştir. Eklemeli imalat süreçleri sekiz adım içermektedir.



Şekil 3.2. Eklemeli imalat işlem sırası (Gibson, 2020)

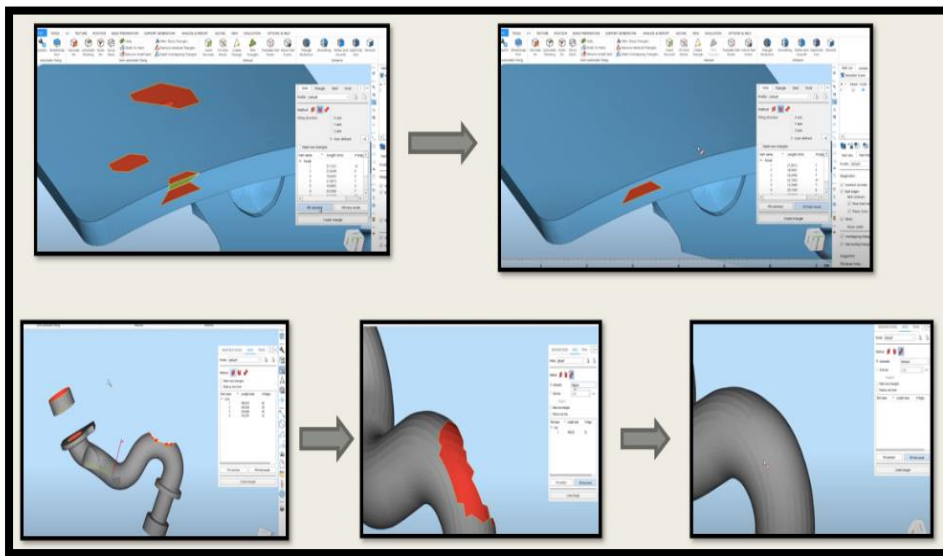
Üretilecek parçaların 3B modeli dijital ortamda elde edildikten sonra, model dosyası dilimleme yazılımının desteklediği uygun bir formatta dönüştürülür. Ardından, model dilimleme yazılımına aktarılır ve katmanlara ayrılarak G-kodları oluşturulur. Bu G-kodları

3B yazıcıya aktarılır ve baskı işlemi için yazıcı hazırlanır. Baskı süreci başlatıldığında fiziksel obje üretilir.

Son olarak, elde edilen obje üzerindeki destek yapıları temizlenir ve son işlem adımları gerçekleştirilerek, nihai ürün elde edilir (Gibson, 2020).

3.2.1. Bilgisayar destekli tasarım (CAD)

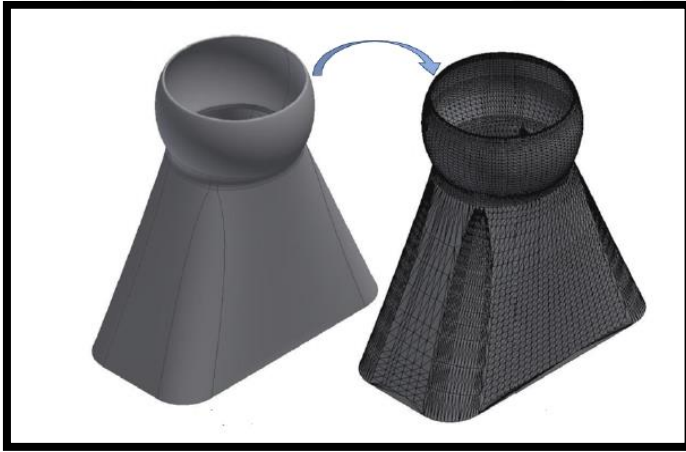
Tüm eklemeli imalat parçaları, dış geometriyi tam olarak tanımlayan bir yazılım modeline dayanmaktadır. Bu profesyonel CAD katı modelleme yazılımının kullanılabilmesi gibi 3B tersine mühendislik ekipmanları (örneğin, lazer ve optik tarama) kullanılarak da oluşturulabilir ancak nihai çıktı 3B katı veya yüzey modellemesi olmalıdır. Tasarımlarda kullanılan 3B yazıcı teknolojisi yöntemi ve yazıcının hassasiyeti göz önünde bulundurularak yapıldığında, daha verimli sonuçlar elde edilebilir (Gibson, Rosen, Stucker and Khorasani 2021). Eğer tasarım modeli bir 3B tarama sistemi ile oluşturulmuşsa, detaylı bir analiz yapılmalı, yüzeydeki kusurlar mesh tamir yazılımlarıyla düzeltilmeli ve boyutlar kontrol edilmelidir. Şekil 3.3'te hatalı tasarım düzenleme adımları verilmiştir. Tasarım aşamalarında Solidworks, Catia ve NX gibi katı modelleme programları kullanılırken hata giderme onarım gibi işlemler için Materialise Magics programları kullanılabilir (Gibson, Rosen Stucker and Khorasani, 2020).



Şekil 3.3. Hatalı tasarım düzenleme adımları (Materialise, 2025)

3.2.2. STL formatına dönüştürme ve dosya işleme

Geleneksel üretim yöntemlerinden farklı olarak, bu süreçte modelin STL (stereolitografi) formatında bir dosyaya dönüştürülmesi gerekmektedir. STL, bir nesnenin yüzeylerini çokgenler aracılığıyla tanımlar. Parçaların mümkün olan en yüksek kalitede basılmasını sağlamak için, çokgen boyutları makinenin minimum çözünürlüğünden daha küçük olmalıdır (Din, 2017). Modellere kafes yapısı atılarak parçanın dilimlenme aşamasına yardımcı olur. Şekil 3.4'te model dosyaların STL formatı verilmiştir. STL, günümüzde 3D baskı uygulamalarında en yaygın kullanılan format olmasına rağmen, son yıllarda AMF veya 3MF gibi alternatif formatlar da gelişmiştir (Kahraman, 2018).



Şekil 3.4. Model dosyaların STL formatı (Din, 2017)

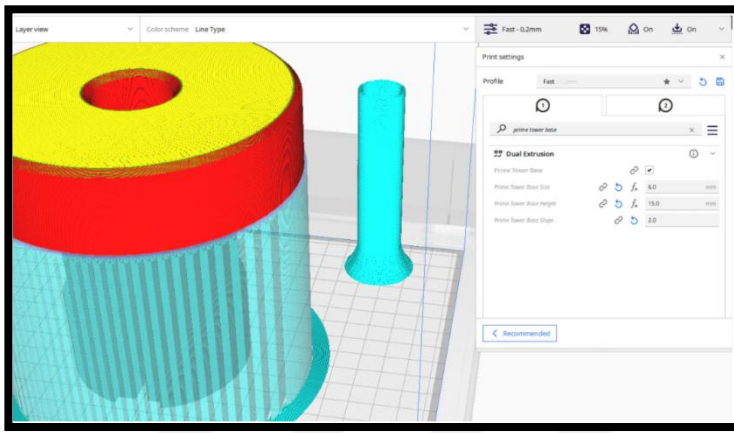
3.2.3. Dilimleme programına aktarma

STL dosyası eklemeli imalat makinesine aktarılmalıdır. Parçanın üretimine başlanmadan önce, bu model, bilgisayar destekli bir yazılım ile hazırlanmalıdır. Bu yazılım, genellikle eklemeli imalat makinesini üreten firmaların sağladığı yazılımlardır. STL formatındaki dosyaları alarak G koda dönüştürür. Yazılım sayesinde parçanın yazıcı tablasındaki yönü yerleşimi, kullanılacak malzemenin türü, sıcaklık ayarları, baskı hızı, baskı yoğunluğu ve katmana kalınlığı özelleştirme imkan sunmaktadır.

Dilimleme programında parçaların üretiminde destek yapıları çok önemlidir. Parçanın deformasyona uğramasını ve platformdan atılmasını engeller. Üretim sonrası parçanın daha kolay platformdan çıkarılmasına olanak sağlar. Birden fazla parça aynı anda yüklenebilir ve birlikte yazdırılabilir.

Bu parçalar, aynı parçanın birden fazla örneği (bu durumda kopyalama işlevi kullanılabilir) veya tamamen farklı STL dosyaları olabilir. STL dosyaları aynı zamanda doğrusal olarak kolayca ölçeklendirilebilir.

İyi bir destek yazılımı baskı süresi ve kullanılacak hammadde miktarı belirlenmesinde de önemli bir etkiye sahiptir. Son yıllarda gelişen dilimleme programlarında yaygın olarak Ultimaker Cura, Simplify 3D, Slic3r, Meshmixer vb. programlar kullanılmaktadır. Şekil 3.5'te ultimaker cura programının parça dilimleme işlemi verilmiştir.



Şekil 3.5. Ultimaker cura programının parça dilimleme işlemi (Boyut Kat, 2021)

3.2.4. Üretim parametrelerinin belirlenmesi

Eklemeli imalat makinesinin üretime başlamadan önce doğru şekilde ayarlanması gerekir. Bu ayarlamalar, modeli ince katmanlara ayıran dilimleme işlemi, baskı parametreleri olarak katman kalınlığı, malzeme türü, baskı sıcaklığı ve hızı gibi özellikleri belirlemek ve yazıcıya özgü talimatları oluşturmak gibi işlemleri içerir. Yazılım parametrelerinin yanı sıra makinenin fiziksel olarak hazırlanması da gereklidir. Üretici baskı işleminin tamamlanabilmesi için makinede yeterli üretim malzemesinin bulunduğundan emin olmalıdır. Şekil 3.6'da model üretim öncesi makine ayarlamaları verilmiştir. Gerekli ayarlar yapıldıktan ve malzemeler yüklendikten sonra, 3D model baskı için hazırdır.



Şekil 3.6. Model üretim öncesi makine ayarlamaları (Yıldız, 2021)

3.2.5 Üretim

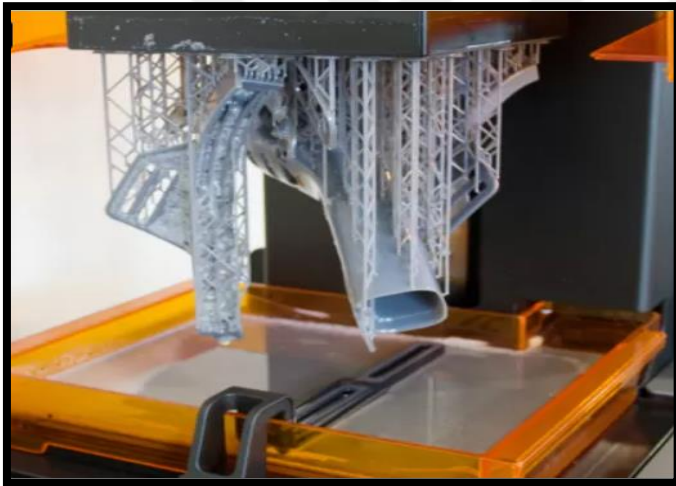
Bilgisayar desteği kullanılsa da eklemeli imalat sürecinin ilk aşamaları, önemli ölçüde manuel müdahale, etkileşim ve karar alma gerektiren yarı otomatik işlemlerden oluşur. Bu hazırlık adımları tamamlandığında, süreç bilgisayar tarafından kontrol edilen üretim aşamasına geçer. Yazıcı, makinenin kurulumundan alınan talimatlara dayanarak eklemeli imalat sürecine başlar. Parçanın üretimi çoğunlukla otomatik olup, makine denetimsiz bir şekilde çalışabilir. Katman katman malzeme, kullanılan teknolojiye bağlı olarak sertleştirilir kürlenir veya yerleştirilir, nihai nesne bu şekilde inşa edilir. Şekil 3.7’de eklemeli imalat parça üretimi verilmiştir. Malzeme, lazerler, ısı veya diğer enerji kaynaklarıyla seçici olarak yerleştirilebilir ya da bağlayıcı ajanlar kullanılarak katmanlar birleştirilebilir. Malzeme bitmesi, enerji kaybı ya da yazılım arızası gibi sorunlar meydana gelmediği sürece, AM makineleri üretim tamamlanana kadar bu katmanlama işlemini tekrar eder.



Şekil 3.7. Eklemeli imalat parça üretimi (ColorPlus3D, 2020)

3.2.6. Parça temizleme işlemi

Parçaların üretim süreci tamamlandıktan sonra, yazdırılan nesnenin üretim platformundan çıkarılması ve kullanıma veya ek işleme için hazırlanması amacıyla çıkarma ve temizlik işlemleri genellikle gereklidir. Bazı eklemeli imalat yöntemlerinde, bileşenin üretimi için kullanılan malzemelere ek olarak, ikincil destek malzemeleri de kullanılır. Şekil 3.8’de eklemeli imalatta üretim sonrası işlemler verilmiştir. Desteklerin kolayca çıkarılabilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiş olsa da bu adım çoğunlukla kullanıcıdan büyük bir fiziksel çaba gerektirir. 3D baskı yapılan parçada, yüzeyinde fazla malzeme, iplik parçaları, toz veya destek kalıntıları gibi artıklar bulunabilir ve bunların temizlenmesi gerekir. Temizlik ve çıkarma işlemi, kullanılan AM teknolojisi, malzeme türü ve basılan nesnenin gereksinimlerine göre farklılık gösterebilir.



Şekil 3.8. Eklemeli imalatta üretim sonrası işlemler (Dreanbot3D, 2008)

3.2.7. Son işlem

Bu aşamada basılmış parçaların uygulama amacıyla son halinin verilmesi sürecini tanımlar. Basılan parçanın istenen özelliklerine göre, ek son işlem adımları gerekebilir. Bu adımlar yüzey bitişini iyileştirmek, mekanik özellikleri artırmak veya fonksiyonel özellikler eklemek için ısı işlemleri, yüzey işlemleri veya başka teknikler içerebilir.

Metal parçaların kalıntı gerilmelerini azaltmak amacıyla ısı işlemleri uygulanır. Yüzey işlemleri, özellikle taşlama ve parlatma, yüzeydeki pürüzlülüğü azaltmak için kullanılır ve bu genellikle Z ekseninde üretim sırasında oluşan merdiven etkisinden kaynaklanır.

Basılan ürünün kalitesi özenle korunmalı ve son işlem doğru bir şekilde yapılmalıdır, aksi takdirde işlevselliği ve performansı olumsuz etkilenebilir. Şekil 3.9’da eklemeli imalatta son işlem adımı verilmiştir.



Şekil 3.9. Eklemeli imalatta son işlem adımı (Altan, 2019)

Tüm projeler için tüm adımlar gerekli olmasa da son işlemede 5 adım belirleyebiliriz:

Temizlik, sabitleme, kütleme veya sertleştirme, yüzey bitirme ve boyama.

Temizlik

Çözünmeyen destek malzemesi nispeten güçlüdür ve yalnızca bıçak veya pense gibi aletler kullanılarak çıkarılabilir. Çözünür destek malzemesi kullanıldığında, modele zarar verme riski daha düşüktür. Destek yapıları suda veya Limonen adı verilen bir kimyasalla çözülebilir. Çözünür malzemelere örnek olarak HIPS (ABS malzemesiyle destek olarak kullanılır) ve PVA'dır (PLA malzemesiyle destek olarak kullanılır).

Sabitleme

Basılı nesnedeki istenmeyen delikleri veya çatlakları onarmak için dolgu maddeleri ve sertleştiriciler kullanılmaktadır örneğin derz macunları. Ayrı ayrı yazdırılan parçaların birbirine eklenmesi gerektiğinde kullanılır. ABS baskılar, aseton kullanılarak birbirine kaynaklanabilir veya yapıştırılabilir.

Kürleme

Model basıldıktan sonra özel sertleştirme makineleri, parçayı optimum mekanik özelliklerine getirmek için modeli ısıtır. Sertleştirme işlemlerinde UV ışını kullanılır (SLA ve CLIP). Şekil 3.10'da Formlabs UV kürleştirme makinesi verilmiştir.



Şekil 3.10. FormLabs- UV kürleştirme makinesi (Formlabs, 2021)

Yüzey pürüzlülüğü

Destek yapısının modele iliştiirildiği katman çizgileri veya temas noktaları, farklı tanecikli zımpara kağıdı kullanılarak modelin yüzeyi zımparalanarak giderilebilir. Buharlar nesnenin dış tabakası ile reaksiyona girer. Katman çizgileri eriyerek modele parlak bir görünüm verir.

Boyama

Renklendirilmesi gereken parçalar ideal olarak beyaz malzeme kullanılarak basılabilir. Model boyanmadan önce genellikle bir astar tabakası uygulanır. Boyama, bir fırça veya sprey kullanılarak elle yapılabilir (Beamler, 2018).

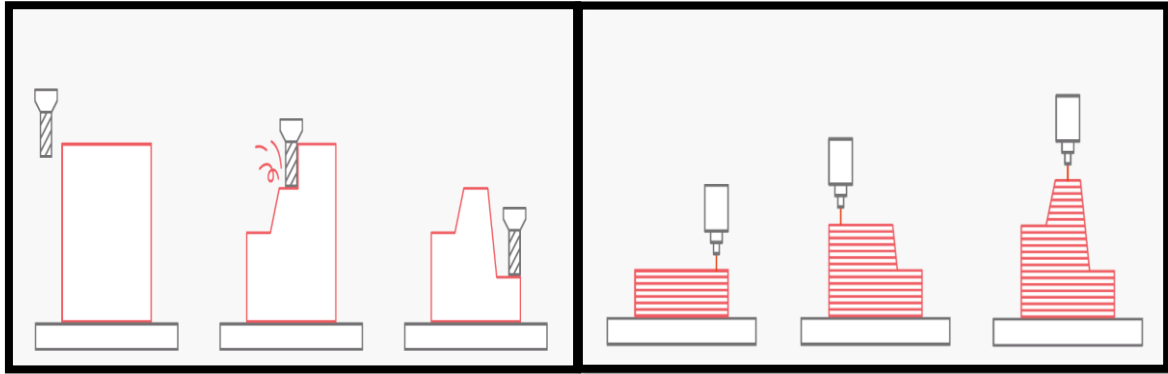
Uygulama

Basılan parçalar, belirlenen performans gereksinimlerine uyup uymadığını doğrulamak amacıyla inceleme ve kalite kontrol işlemlerine tabi tutulabilir. Son işlem adımlarının ardından, tamamlanmış 3D basılmış parçalar, belirli bir kullanım amacına veya son ürünle entegrasyona göre hazır hale gelir. Bu parçaların ilave işlemlerden geçmesi gerekebilir.

Örneğin, uygun bir yüzey kalitesi ve doku sağlamak amacıyla boya ve astar uygulanması gerekebilir. Ayrıca, nihai model veya ürünün oluşturulması için bu parçalar, diğer mekanik ya da elektronik bileşenlerle birleştirilmelidir.

3.3. Eklemeli İmalat Yöntemleri ile Geleneksel Üretim Yöntemlerinin Kıyaslanması

Eklemeli imalat, işlevsel malzemeler kullanarak yüksek hassasiyetle tasarımlar oluşturabilen hızlı uygulamalar sunmaktadır. Bu teknolojinin, özel bir takıma ihtiyaç duymadan çalışabilmesi, kurulum maliyetlerini düşük tutmaktadır. Geleneksel üretim teknikleriyle karşılaştırıldığında, geleneksel makinelerle yapılan üretime göre önemli avantajlar sunar (Özdoğan, 2021). Bu teknoloji ilk ortaya çıktığında ve son döneme kadar cihazlar çoğunlukla prototip üretimi için kullanılıyordu. Bu nedenle üretim süreçlerinde tolerans aralıkları geniş tutulmuş ve bu konuya yeterince dikkat edilmemiştir. Sonuç olarak, eklemeli imalat geleneksel üretim yöntemlerinde olduğu gibi, eklemeli imalatın tolerans standartları da henüz gelişmemiştir. Şekil 3.11’de geleneksel imalat ve eklemeli imalat şematigi verilmiştir. Ayrıca, bu teknolojilerde belirli tasarım kurallarının olmaması ve elde edilen sonuçların standartlaştırılmamış olması söz konusudur (Gao, 2015).



Şekil 3.11. Geleneksel imalat ve eklemeli imalat şematik gösterimi (Huckstepp, 2019)

3.4. Eklemeli İmalat Çeşitleri

Çizelge 3.1’de ASTM standartları eklemeli imalat teknolojisi sınıflandırması verilmiştir. Sık kullanılan eklemeli imalatlar tercih edilmiştir.

Çizelge 3.1. ASTM standartları eklemeli imalat teknolojisi sınıflandırma (ASTM, 2012)

Yöntem	Teknoloji	Kullanılan Malzeme	Kullanılan Enerji
Malzeme Ekstrüzyonu	Eriyik Biriktirme Modelleme (FDM)	Termoplastik	Termal Enerji
		Seramik Çamurları	
		Metal Macunları	
Toz Füzyonu	Seçici Lazer Sinterleme (SLS)	Poliamid/Polimerler Metal Tozları Seramik Tozları	Yüksek Güçte Lazer Işını
	Direkt Metal Lazer Sinterleme		
	Seçici Lazer Ergitme (SLM)		Elektron Işını
	Elektron Işını Ergitme (EBM)		
Foto polimerizasyon	Sterolitografi (SLA)	Foto polimer	Ultraviyole Lazer
		Seramikler	
Malzeme Püskürtme	Polyjet-Inkjet Baskı	Foto polimer	Termal Enerji
		Vaks	
Bağlayıcı Püskürtme	Dolaylı Mürekkep Püskürtmeli Baskı (Binder 3DP)	Polimer Tozları	Termal Enerji
		Seramik Tozları	
		Metal Tozları	
Katman Laminasyonu	Lamine Nesne İmalatı (LOM)	Polimer Film	Lazer Işını
		Metal Sac	
		Seramik Bant	
Yönlendirilmiş Enerji Birikimi	Lazer Tasarlanmış Net Şekil (LENS)	Erimiş Metal Tozu	Lazer Işını
	Elektronik Işın Kaynağı (EBW)		

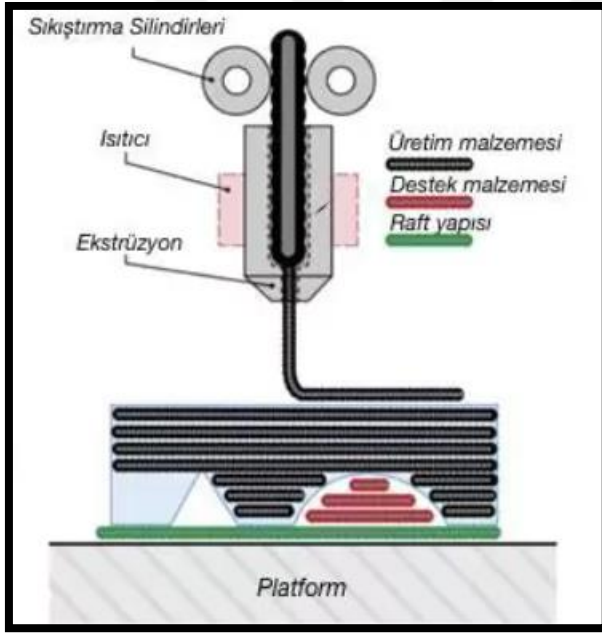
3.4.1. Eriyik biriktirme modelleme

Eriyik biriktirme modelleme işleminde, filament şeklindeki malzemeler eritilip bir nozuldan geçirilerek katmanlar halinde şekillendirilir. Bu katmanlar, soğuyarak son ürünü oluşturur. Parçanın bir bölümü inşa edilirken, ekstrüzyon nozulu veya inşa platformu X ve Y eksenleri üzerinde hareket eder. Sonraki katman için ya platform aşağı iner ya da ekstrüzyon memesi Z eksenine doğru yukarıya hareket eder.

Eklemeli imalat, çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olması, düşük maliyetli olması ve fonksiyonel prototipler, karmaşık yapılar ve nihai ürünler üretme kapasitesi ile tanınır.

Eklemeli imalat alanında, termoplastik parçaların üretimi için yaygın olarak tercih edilen bir tekniktir.

Stratasys, 1991 yılında bu teknolojiyi ticari olarak kullanıma sunmuştur. Eklemeli imalat günlük yaşamda, akademik alanda ve sanayide hızla artmaktadır. Bu artış, üretim teknolojilerindeki gelişmelerin bir sonucu olarak, alternatif üretim yöntemleriyle elde edilmesi güç ve zaman alıcı karmaşık geometrilerin kolayca üretilmesine olanak tanımaktadır. Şekil 3.12’de eriyik biriktirme yöntemi şematik gösterimi verilmiştir. Bu yöntem, fonksiyonel bileşenlerin yanı sıra biyouyumlu malzemelerle üretilen mekanik olarak sağlam prototiplerin üretimini de kolaylaştırmaktadır. Çizelge 3.2’de filament çeşitleri ve özellikleri verilmiştir.



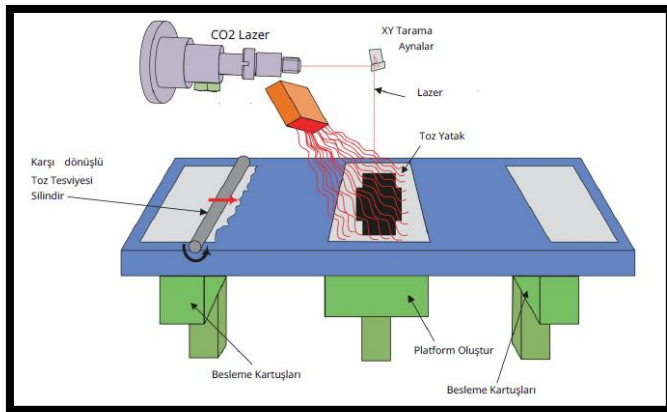
Şekil 3.12. Eriyik biriktirme yöntemi şematik gösterimi (Başcı, 2021)

Çizelge 3.2. Filament çeşitleri ve özellikleri (Zeren, 2023)

Filament	Güçlü Yönü	Uygunluk	Basım Sıcaklığı	Yatak Sıcaklığı	Yatak Yapısı	Sertlik (1→5)	Baskı Kolaylığı (1→5)
PLA	Tamamen doğal ve doğada çözünür.	Prototipleme ve diğer türler	200–235°C	50–65°C	Pritt veya Mavi Maskeleme Bandı	3	5
ABS	Güçlü ve dayanıklı	Son kullanım parçaları ve koruyucu kutular	240–260°C	80–100°C	Kapton Bant / Saç Spreyi	4	3
PETG	Son derece dayanıklı ve esnek	Yüksek darbe ve yüksek gerilimli parçalar	245–265°C	70–80°C	Kapton Bant	3	4
Ahşap	Ahşap dokusu	Moda, dekor ve aksesuar	195–220°C	50–60°C	Pritt veya Mavi Maskeleme Bandı	2	4
Esnek PLA	Oldukça esnek polimer	Esnek ve dayanıklı parçalar	235–255°C	60–70°C	Pritt veya Mavi Maskeleme Bandı	2	3

3.4.2. Seçici lazer sinterleme

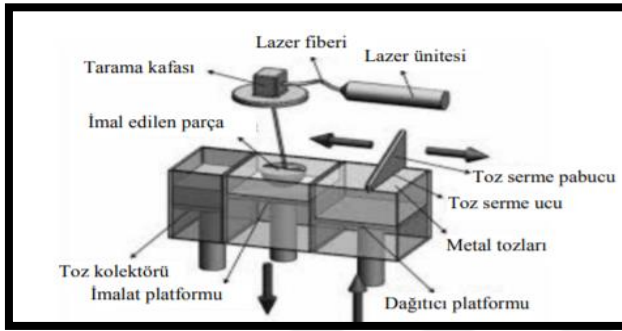
SLS tekniğinde, sıcaklık, polimerin erime noktasının hemen altına kadar artırılır. Üretim platformu, yeniden kaplama bıçağı tarafından ince bir toz katmanıyla kaplanır. Ardından, CO2 lazeri, bir sonraki katman üzerinde tarama yapar ve polimer tozu tanelerini sinterleyerek birbirine bağlar. Bu süreç, parça tamamlanana kadar devam eder. Şekil 3.13'te seçici lazer sinterleme şeması verilmiştir. Termoplastik polimer tozlarının kullanımının iki pratik avantajı vardır: Birincisi, tozu yumuşatmak için düşük lazer güçleri yeterlidir; ikincisi ise, üretim platformu ile parça arasında herhangi bir destek yapısına ihtiyaç bulunmamasıdır çünkü sinterlenmemiş toz bu destek işlevini doğrudan sağlar (Zarringhalam, 2006).



Şekil 3.13. Seçici lazer sinterleme şeması (Zarringhalam, 2006)

3.4.3. Direkt metal lazer sinterleme

Direkt Metal Lazer Sinterleme, parçaların lazerle birleştirilmesiyle çalışan bir tekniktir. Şekil 3.14’te direkt metal lazer sinterleme ile imalat şematiği verilmiştir. Metal tozları lazer ışını sayesinde eriyerek birleşir. Metal tozu, bir hazneye yerleştirilir ve özel bir baskı yatağı lazerin eriteceği uygun miktarda toz alır. Baskı yatağı, gerekli katmanlar oluşana kadar hareket eder. Direkt Metal Lazer Sinterleme, metal tozlarının bağlayıcı malzeme kullanılmadan doğrudan lazerle sinterlenmesini sağlar (Khorasani, 2018).



Şekil 3.14. Direkt metal lazer sinterleme ile imalat şematiği (Longhitano, 2015)

3.4.4. Seçici lazer ergitme

Seçici lazer sinterleme ile benzer şekilde çalışır, ancak burada lazer toz malzemeyi tamamen eritir ve bir nesne ortaya çıkarır. Şekil 3.15’te seçici lazer ergitme şematiği verilmiştir. Seçici lazer ergitme işlemi, metal tozunun ince bir katman halinde üretim platformuna yayılmasıyla başlar ve güçlü bir lazer, belirli bir tasarıma göre toz taneciklerini eriterek birleştirir. Bu yöntem, metal ve alaşımlar üzerinde yaygın olarak kullanılır ve karmaşık üretilmesini sağlar.

Proses parametrelerinin SLM yöntemi üzerindeki etkileri, denklemde gösterilmektedir.

E: Enerji yoğunluğu (J/mm³);

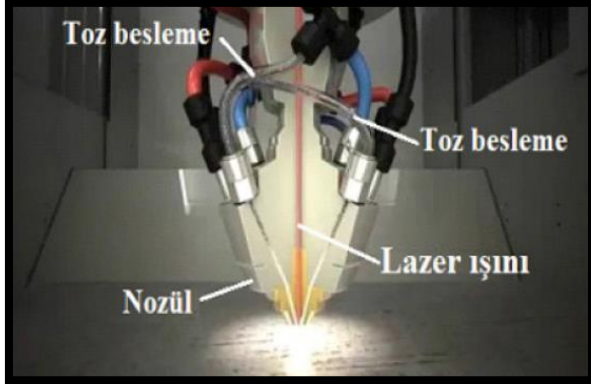
P: Lazer gücü (W);

v: Tarama hızı (mm/s);

$$E = \frac{P}{v \cdot h \cdot t}$$

h: Tarama aralığı (mm);

t: Katman kalınlığı (mm).



Şekil 3.15. Seçici lazer ergitme (Normandie AeroEspace, 2018)

3.4.5. Elektron ışını eritme

Elektron Işını Ergitme, metal tozlarının yüksek enerjili bir elektron hüzmesi ile eritildiği bir 3D üretim sürecidir. Elektron hüzmesi, manyetik bir alan tarafından yönlendirilen elektronlardan oluşan bir akış üretir ve her katman metal tozu eriyerek, CAD modelinde tanımlanan hassas spesifikasyonlara uygun bir nesne oluşturur. Üretim, yüksek derecede reaktif malzemelerin oksidasyona uğramaması için vakumlu bir odada yapılır.

Kullanılan metallerin doğal özelliklerinden en iyi şekilde yararlanarak yüksek dayanıklılığa sahip parçalar üretir ve döküm metallerin ya da diğer üretim yöntemlerinin kullanılması sırasında birikebilecek kirleticileri ortadan kaldırır. Havacılık, otomotiv savunma petrokimya ve tıbbi uygulamalar için bileşenler yazdırmak için kullanılır. Elektron ışını eritme teknolojisi, tescillenmiş bir teknolojidir yazıcıları çalıştırmak için uzman teknisyenler gerektirir. EBM, SLM' den çok daha hızlı olabilse de, SLM daha düzgün ve daha hassas parçalar üretir.

3.4.6. Fotopolimerizasyon (SLA)

Stereolithography (SLA), vat fotopolimerizasyon tekniklerinden biri olup, sıvı reçineyi katman katman sertleştirmek için lazer ışını kullanır. Lazer, reçinenin yüzeyinde belirli alanları tarayarak, 3D nesnenin şekline uygun şekilde sertleşmesini sağlar. Şekil 3.16'da fotopolimerizasyon işlemi verilmiştir. Bu yöntem, sıvı reçinenin istenilen bölgelerini seçici bir şekilde kürleyerek, her katmanı sırayla oluşturur. Platform daha sonra aşağıya çekilir ve inşa platformunun üzerine yeni bir sıvı reçine tabakası yayılır, ardından süreç, parça tamamen şekillene kadar tekrar eder.

SLA yöntemi yüksek yüzey kalitesi, mükemmel hassasiyet ve detaylı özellikler üretme yeteneği ile tanınır. Temel SLA süreci şu aşamalardan oluşur:

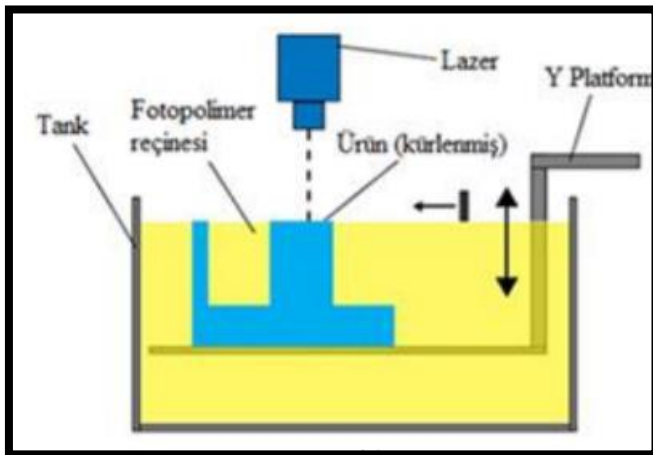
Hazırlık: Işığa duyarlı ve kürlenebilen sıvı foto polimer reçine, bir tanka konur ve tank yapı yatağına yerleştirilip, ilk katman yüksekliğine ayarlanır.

Katmanlama: Platform tanka indirilir ve üzerine ince bir sıvı reçine tabakası yayılır. Katman kalınlığı, SLA makinesine ve uygulama gereksinimlerine göre değişir.

Kürleme: Sıvı reçine, lazer ışınıyla seçici olarak ışığa maruz bırakılır ve 3D modelin yapısına uygun olarak kürlenir. Lazer, nesnenin kesitini sıvı reçineye aktararak, katman katman sertleşmesini sağlar

Yapı inşası: İlk katman kürlendikten sonra, platform aşağıya indirilir ve yeni bir sıvı reçine tabakası yayılır. Lazer, yeni katmanı tarayarak kürler ve süreç, 3D model tamamlanana kadar katman, katman devam eder.

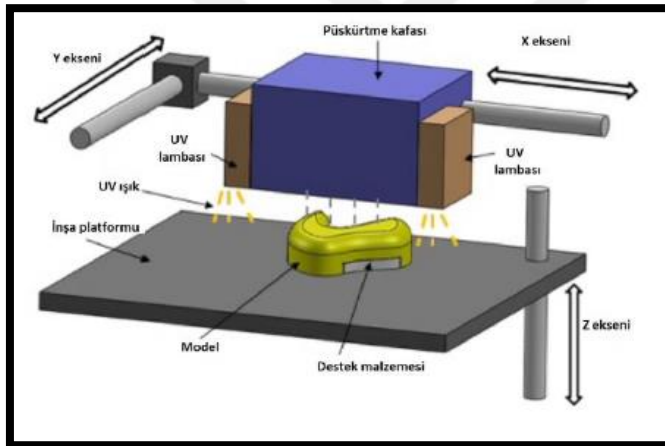
Son işlem: Yazdırma işlemi tamamlandığında, parça reçineden çıkarılır, fazla reçine temizlenir ve son özellikleri elde etmek için yıkanarak ek kürleme işlemine tabi tutulabilir (Konta, García-Piña and Serrano, 2017).



Şekil 3.16. Fotopolimerizasyon prosesleri, SLA (Loughborough University Additive Manufacturing Research Group, 2021)

3.4.7. Polyjet baskı

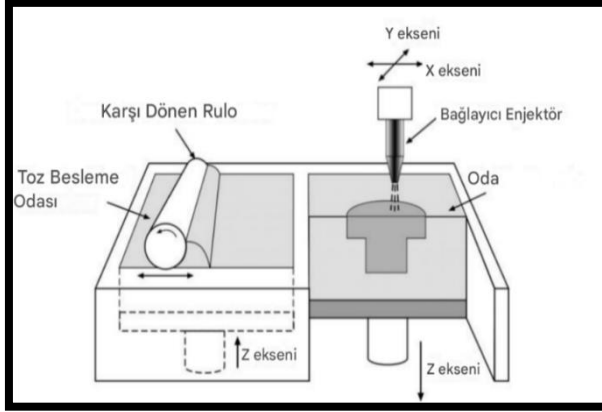
Bu yöntem, akrilik bazlı olup, birden fazla nozul içeren baskı kafalarından büyük miktarda akrilik foto polimer katmanları püskürterek hızlı ve verimli bir şekilde malzeme biriktirmeyi sağlar. Jetting (püskürtme) sistemleri, en yaygın kullanılan 3D yazıcı türleri olarak kabul edilmektedir. Şekil 3.17’de polyjet yöntemi şematığı verilmiştir. Bu yazıcılar küçük ve ucuz tüketici modellerinden, on binlerce dolara mal olabilen büyük profesyonel cihazlara kadar geniş bir yelpazeye sahiptir. PolyJet, yüksek hassasiyetle düzgün ve hassas parçalar üretebilen mükemmel bir eklemeli üretim teknolojisidir. Bu yöntemle, kauçuk ve sert malzemelerden şeffaf ve opak malzemelere, hatta biyoyumlu malzemelere kadar çok çeşitli malzemeler üretilebilir. Ayrıca, farklı ürün boyutları ve üretim hacimleri için uygundur (Gay, Blanco, Pelayo, Noriega and Fernandez, 2015).



Şekil 3.17. Polyjet yöntemi şematik (Udroiu, 2017)

3.4.8. Binder 3DP

Üç boyutlu nesnelerin oluşturulmasında, toz malzeme üzerine bağlayıcı sıvı püskürtülerek katman, katman birleştirilen bir eklemeli yöntemidir. Bu süreçte, bir toz malzeme yatağına seçici olarak bağlayıcı püskürtülür ve her katman, bu bağlayıcı ile birbirine bağlanarak sertleşir. Binder 3DP, metal, seramik, plastik gibi farklı toz malzemelerle çalışabilir ve özellikle hızlı prototip üretimi, düşük maliyetli imalat ve karmaşık yapıların üretimi için kullanılır. Şekil 3.18’de binder 3DP cihazı verilmiştir. Yöntem, hızlı üretim kapasitesi ve geniş malzeme yelpazesi ile öne çıkar (Mostafaei, 2021).

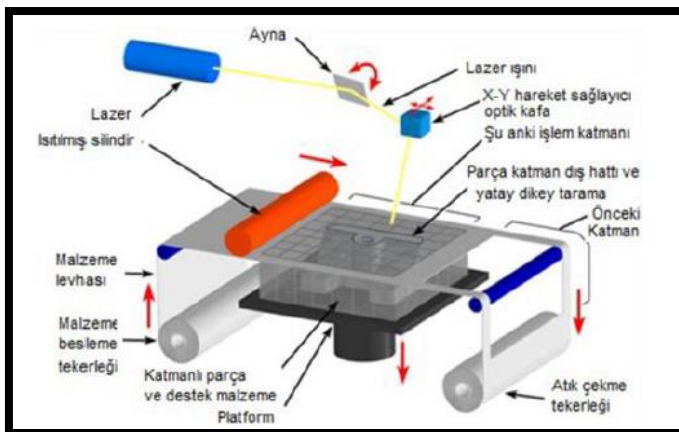


Şekil 3.18. Binder 3DP cihazı (Mostafaei, 2021)

3.4.9 Lamine nesne imalatı (LOM)

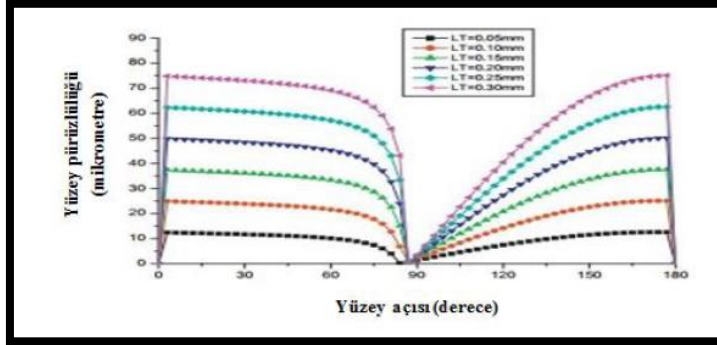
Lamine nesne imalat yöntemi, parçaların üretileceği bir platforma sahip bir cihazda gerçekleştirilir. Şekil 3.19’da LOM cihazı verilmiştir. Platformun yüzeyine, malzeme rulosundan bir merdane yardımıyla ilk katman serilir. Bu malzemenin yüzeye tutunabilmesi için belirli bir sıcaklıkta çalışan bir silindir malzemenin üzerinden geçer. Ardından, lazer ile ilk katman, CAD verilerine göre kesilir.

Parça üretimi tamamlandıktan sonra, lazer ile ana parçadan ayrılan atıklar temizlenir. Lamine nesne imalatı yönteminde, kâğıt, plastik, metal ve seramik gibi sac formunda katı malzemeler kullanılır. Bu yöntem, karmaşık yapıların üretimi ve yüksek doğruluğun sağlanması nedeniyle tıp, mimarlık, seramik endüstrisi ve kalıp üretiminde tercih edilmektedir (Ozsoy, 2017).



Şekil 3.19. LOM cihazı (Ozsoy, 2017)

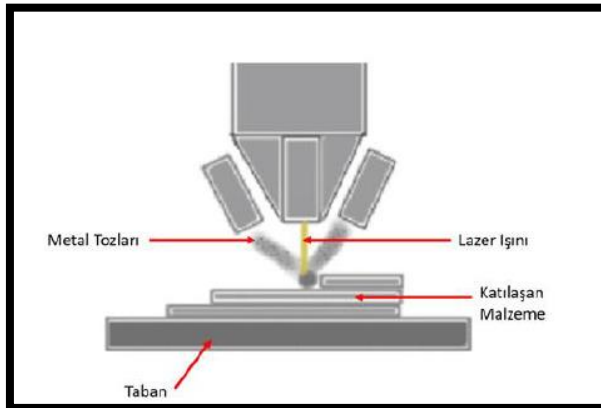
LOM (tabakalı obje imalatı) yöntemi ile üretilen parçaların yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin araştırılması üzerine yaptıkları bir çalışmada, tabaka kalınlığının (LT) artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını, yüzey açısının 90° olması durumunda ise yüzey pürüzlülüğünün düştüğünü ortaya koymuştur. Şekil 3.20’de farklı katman kalınlıkları ile yüzey pürüzlülüğü ve yüzey açısı arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 3.20. Farklı katman kalınlıkları ile yüzey pürüzlülüğü ve yüzey açısı arasındaki ilişki (Ahn, 2012)

3.4.10. Lazer tasarlanmış net şekil (LENS)

Lazer toz şekillendirme (LENS) teknolojisi, direkt enerji depolama yöntemlerinden biridir ve katmanlı bir tabakayı eritip katılaştırmak için lazer optiği, toz ağızlığı ve inert gaz bileşenlerinden oluşan bir sistem kullanır. Şekil 3.21’de lazer tasarlanmış net şekil cihazı verilmiştir. Bu yöntemde, metal bir plaka üzerine lazerle eriyik havuzu oluşturulur ve bu havuzun üzerine ağızlıkla tozlar püskürtülerek tozların eritilip katılaştırılması sağlanır üretim gerçekleştirilir. Katlaşan malzeme bir önceki katmanın üzerinde birikmektedir.

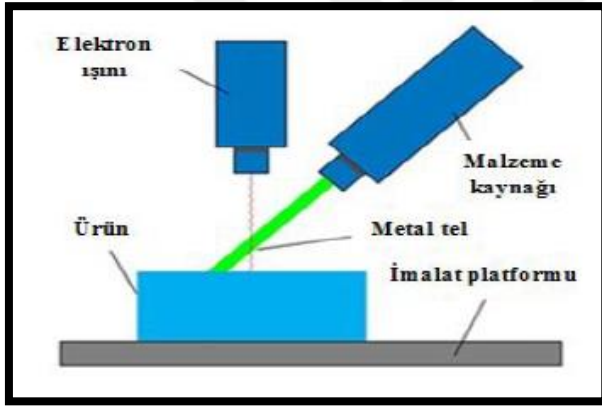


Şekil 3.21. Lazer tasarlanmış net şekil cihazı (Pham, 2012)

3.4.11. Elektron ışın kaynağı (EBW)

Elektron ışın kaynak teknolojisi, eklemeli imalat yöntemlerinden biri olup kökeni oldukça eskiye dayanır. İlk kez, reaktif ve refrakter parçaları birleştirmek amacıyla nükleer alanda kullanılmıştır. Şekil 3.22’de doğrudan enerji depolama imalat yöntemi verilmiştir. Bu yöntemle, yoğunlaştırılmış elektron ışınları belirli bir bölgeye yönlendirilerek kaynak işlemi yapılır. Isı, belirli bir bölgede yüksek seviyelere çıkarak, kaynak sonrası parçalarda gerilme ve deformasyon oluşmaz.

Elektron ışınının atmosferle etkileşimde bulunmaması için kaynak işlemi genellikle vakum altında yapılır. Elektron ışın kaynağı, özellikle metal parçaların işlenmesinde kullanıldığı için çoğunlukla havacılık ve otomotiv sektörlerinde tercih edilmektedir (Aydın, 2016).



Şekil 3.22. Doğrudan enerji depolama imalat yöntemi (Additive Manufacturing Research Group, 2017)

3.5. Eklemeli İmalat Süreçleri Arasındaki Karşılaştırmalar

Eklemeli imalat teknolojileri ile basılan parçaların yüzey dokusu ve çözünürlüğü önemli ölçüde farklılık gösterebilir. Çizelge 3.3’te eklemeli imalat süreç teknolojilerinin genel avantajları ve dezavantajları verilmiştir. SLA gibi teknolojiler ve sıvı reçineler ve UV ile kütleme kullanan yöntemler, yüksek çözünürlük ve pürüzsüz yüzey imkânı sunarak karmaşık detaylar veya ince özellikler gerektiren uygulamalar için uygun hale gelir. Toz tabanlı teknolojiler, örneğin SLS kullanılan toz malzemelerin doğası nedeniyle daha pürüzlü yüzey dokularına sahip olabilirken, FDM ve malzeme püskürtme süreçlerinde yüzey dokusu ve çözünürlük açısından bazı sınırlamalar bulunabilir (Ngo, Kashani Imbalzano, Nguyen and Hui, 2018).

Çizelge 3.3. Eklemeli imalat süreç teknolojilerinin genel avantajları ve dezavantajları (Gao 2015)

	Eriyik Biriktirme (FDM)	Seçici Lazer Sinterleme (SLS)	Sterolitografi (SLA)	Binder Jetting (BJ)
Yazıcı Maliyeti	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Malzeme Fiyatı	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Kullanım Kolaylığı	Kolay	Orta derece	Orta derece	Orta derece
Baskı Çözünürlüğü	Düşük	Orta derece	Yüksek	Yüksek
Yüzey Kalitesi	Düşük	Orta derece	Orta derece	Orta derece
Ürün Gücü	Orta derece	Yüksek	Düşük	Orta derece
Genel Kullanım Alanları	Prototipleme	İleri Endüstriler	Prototip	İleri Endüstriler

3.6. Eklemeli İmalatta Kullanılan Kompozit Malzemeler

3.6.1. Karbon elyaf

Karbon elyaf malzemesi genellikle Poliakrilonitril liflerinden üretilir. PAN lifleri, çeşitli termal işlemlerden geçirilerek karbon fiberlere dönüştürülür. İlk adımda, PAN lifleri 200 300 °C arasında bir sıcaklıkta atmosfer koşullarında stabilize edilir, bu işlem liflerin ısıl kararlılığını sağlamak içindir. Ardından, bu lifler inert bir atmosferde 1000 °C'nin üzerinde bir sıcaklıkta ve belirli bir süre boyunca yüksek gerilim altında ısıl işlem görerek karbon yapısına dönüşür (Nunna, 2018). Şekil 3.23'te karbon elyaf kumaş çeşitleri verilmiştir. Karbon elyafın kullanım alanları oldukça çeşitlidir; bunlar arasında havacılık inşaat otomotiv, tekne ve yat yapımı, rüzgar enerjisi türbinleri ve spor ekipmanları gibi sektörler yer alır.

Çizelge 3.4'te karbon elyaf temel özellikleri verilmiştir. Karbon fiberler, ana yapılarında aromatik halkalar barındıran karbon elyaflarının işlenmesiyle üretilir. Bu işlemlerden ilki liflerin ısıtılmasıdır. Isıtılan elyaflar daha sonra kesilerek veya toz haline getirilerek grafitleştirilir (Fu, Gui, Cao, Liu, Zhou and Zhang, 2014).

Çizelge 3.4. Karbon elyaf temel özellikleri (Bunsell and Harris, 2017)

Özellik	Değer/Değer
Yoğunluk	1,6–2,0 g/cm ³
Çekme Dayanımı	3000–7000 MPa
Elastik Modül	200–700 GPa
Sıcaklık Dayanımı	300°C
Isıl Genleşme Katsayısı	0,5–1,0 × 10 ⁻⁶ /°C
Kırılma Modülü	70–100 GPa



Şekil 3.23. Karbon elyaf kumaş çeşitleri

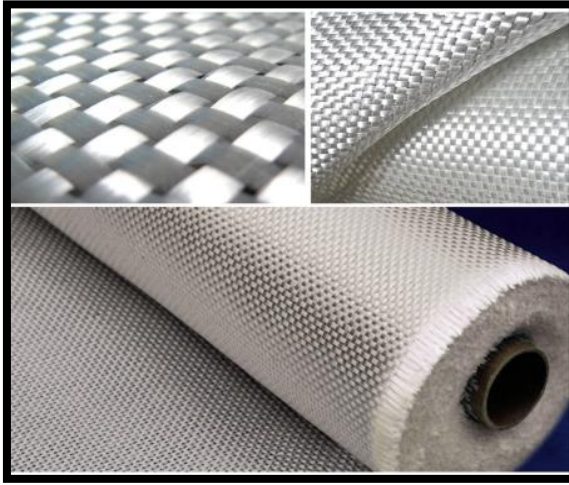
3.6.2. Cam elyaf

Cam elyaf, cam elyafı ile polimerlerin birleşiminden oluşan bir kompozit malzemedir. Dayanıklılığı ve hafifliği sayesinde inşaat, otomotiv, havacılık ve denizcilik gibi farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılır. Bu malzeme, cam elyaflarının bir polimer reçinesi içinde yer alacak şekilde yerleştirilmesiyle üretilir. Böylece yüksek mukavemet ve düşük ağırlık özellikleri kazanılır. Çizelge 3.5'te cam elyaf teknik özellikleri verilmiştir.

Şekil 3.24'te cam elyaf kumaş dokuma çeşitleri verilmiştir. Cam elyaf kompozitlerinin avantajları arasında, aynı ağırlıkta çelikten çok daha fazla mukavemet sağlama, metal yerine kullanıldığında korozyon ve paslanma sorunlarını ortadan kaldırma ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olma gibi özellikler bulunur. Ancak dezavantajları da mevcuttur üretim maliyetleri geleneksel malzemelere kıyasla daha yüksek olabilir ve cam elyaf çatlama ya da kırılma gibi fiziksel hasarlara karşı daha hassas olup bu durum bakım ve onarım maliyetlerini artırabilir (Davis, 1999; Chawla, 2012)

Çizelge 3.5. Cam elyaf teknik özellikleri (Matthiesen, 2015)

Özellik	Değer/Değay
Yoğunluk	2,5–2,6 g/cm ³
Çekme Dayanımı	2000–4000 MPa
Elastik Modül	70–90 GPa
Sıcaklık Dayanımı	200–400°C
Isıl Genleşme Katsayısı	$5-9 \times 10^{-6} /^{\circ}\text{C}$



Şekil 3.24. Cam elyaf kumaş dokuma çeşitleri



4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında Two Trees Bluer 3 boyutlu yazıcısıyla Polilaktik asit (PLA) filament kullanılarak Solidworks programında tasarlanan ASTM D638 standardına uygun çekme testi numuneleri Cura dilimleme programında üretimleri yapılmıştır. Üretilen numunelere 200 gr/m² ve 300 gr/m² cam elyaf, 300 gr/m² karbon elyaf kumaş kaplama işlemi yapılarak numunelere çekme testi yapılmış ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çizelge 4.1’de deney numunelerinin parametreleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney numunelerinin parametreleri

Numune No	1. Değişken % Doluluk Oranı	2. Değişken Dolgu Deseni	3. Değişken Kompozit Kumaş Çeşidi
1	50	Kübik	Kaplamasız
2	75	Kübik	Kaplamasız
3	90	Kübik	Kaplamasız
4	50	Sekizlik	Kaplamasız
5	75	Sekizlik	Kaplamasız
6	90	Sekizlik	Kaplamasız
7	50	Gyroid	Kaplamasız
8	75	Gyroid	Kaplamasız
9	90	Gyroid	Kaplamasız
10	50	Kübik	200gr/m ² Cam Elyaf
11	75	Kübik	200gr/m ² Cam Elyaf
12	90	Kübik	200gr/m ² Cam Elyaf
13	50	Sekizlik	200gr/m ² Cam Elyaf
14	75	Sekizlik	200gr/m ² Cam Elyaf
15	90	Sekizlik	200gr/m ² Cam Elyaf
16	50	Gyroid	200gr/m ² Cam Elyaf
17	75	Gyroid	200gr/m ² Cam Elyaf
18	90	Gyroid	200gr/m ² Cam Elyaf
19	50	Kübik	300gr/m ² Cam Elyaf
20	75	Kübik	300gr/m ² Cam Elyaf
21	90	Kübik	300gr/m ² Cam Elyaf
22	50	Sekizlik	300gr/m ² Cam Elyaf
23	75	Sekizlik	300gr/m ² Cam Elyaf
24	90	Sekizlik	300gr/m ² Cam Elyaf
25	50	Gyroid	300gr/m ² Cam Elyaf
26	75	Gyroid	300gr/m ² Cam Elyaf
27	90	Gyroid	300gr/m ² Cam Elyaf
28	50	Kübik	300gr/m ² Karbon Elyaf
29	75	Kübik	300gr/m ² Karbon Elyaf

Çizelge 4.2. Deney numunelerinin parametreleri (Devamı)

Numune No	1. Değişken % Doluluk Oranı	2. Değişken Dolgu Deseni	3. Değişken Kompozit Kumaş Çeşidi
30	90	Kübik	300gr/m ² Karbon Elyaf
31	50	Sekizlik	300gr/m ² Karbon Elyaf
32	75	Sekizlik	300gr/m ² Karbon Elyaf
33	90	Sekizlik	300gr/m ² Karbon Elyaf
34	50	Gyroid	300gr/m ² Karbon Elyaf
35	75	Gyroid	300gr/m ² Karbon Elyaf
36	90	Gyroid	300gr/m ² Karbon Elyaf

4.1. Test Malzemesi

Bu tez çalışmasında çekme numunelerinin üretimlerinde ESUN marka 1.75 mm çapa sahip PLA filament kullanılmıştır. Çizelge 4.2’de Esun PLA filamentin özellikleri verilmiştir. PLA tercih sebeplerinde üretim sırasında yaygın olarak kullanılan, baskı kolaylığı, uygun fiyatlı ve 3 boyutlu yazıcılarda en çok malzeme olduğu göz önüne alınmıştır. Şekil 4.1’de Esun PLA karşılaştırılması verilmiştir. Tüm numuneler ASTM D638 type 4 “American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics” standardına uygun olacak şekilde üretilmiştir (ASTM International, 2014).

Çizelge 4.3. ESUN PLA filamentin özellikleri (eSUN, 2007)

Özellik	Değer
Yoğunluk	1.24 g/cm ³
Erime Sıcaklığı	180-220°C
Baskı Sıcaklığı	190-210°C
Isıtma Tablası Sıcaklığı	50-60°C
Çekme Dayanımı	50-70 MPa
Çekme Modülü	2,800-4,000 MPa
Uzama	%6-10
Darbe Dayanımı	Düşük
Sertlik (Vickers)	40-70 HV
Isıl Şekil Değiştirme Sıcaklığı (HDT)	50-60°C
Biyolojik Çözünürlük	Evet, biyolojik olarak çözünebilen



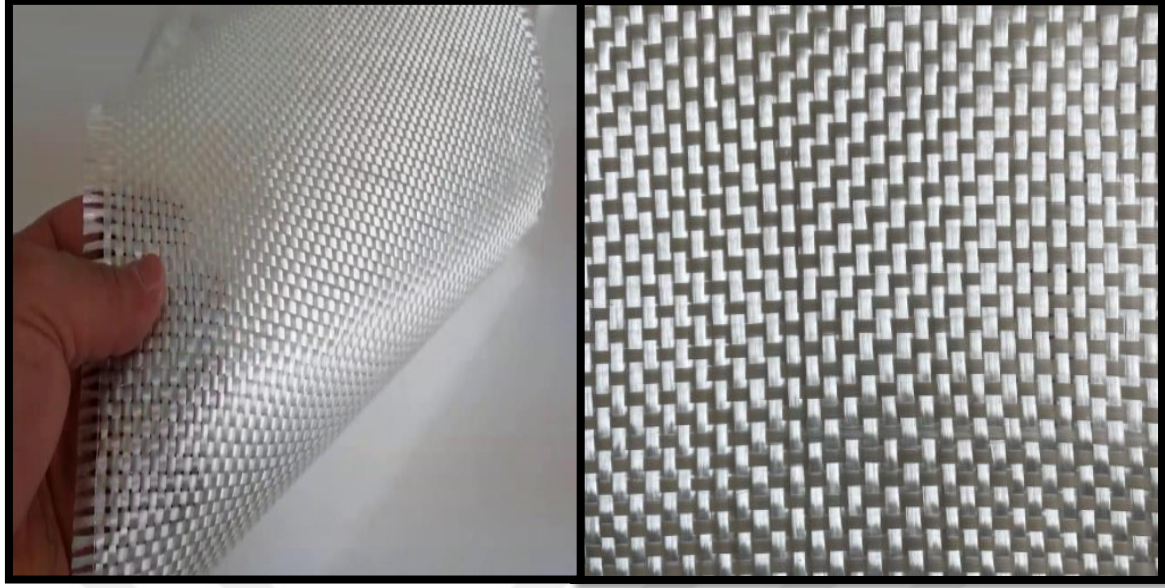
Şekil 4.1. Esun PLA karşılaştırılması (eSUN, 2007)

4.1.1. 200 gr/m² ve 300 gr/m² cam elyaf

Eklemeli imalat yöntemlerinden 3D yazıcı ile üretilen test numuneleri 200 ve 300 gr cam elyaf ile kaplanacaktır. 200 gr/m² ve 300 gr/m² cam elyaf kumaşlar, genellikle kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan cam elyaf takviyeli tekstil malzemeleridir. Çizelge 4.3'te cam elyaf kumaş özellikleri verilmiştir. Bu kumaşlar, polimerler, reçineler veya epoksi gibi bileşiklerle birleşerek güçlü, hafif ve dayanıklı kompozit yapılar oluşturulmasına yardımcı olur. Şekil 4.2'de cam elyaf çeşitleri verilmiştir. 200 gr ve 300 gr cam elyaf kumaşlar arasındaki temel fark, metrekare başına ağırlıklarının değişmesidir. Bu fark kumaşın dayanıklılığını, sertliğini ve hangi uygulamalarda kullanılacağını belirleyebilir.

Çizelge 4.4. Cam elyaf kumaş özellikleri (Bai, 2013)

Özellik	200 gr Cam Elyaf Kumaş	300 gr Cam Elyaf Kumaş
Ağırlık (Metrekare Başına)	200 g/m ²	300 g/m ²
Yoğunluk	2.5 g/cm ³	2.5 g/cm ³
Lifi Çapı	5-10 µm	5-10 µm
Erime Sıcaklığı	1200°C	1200°C
Çekme Mukavemeti	2000-4000 MPa	2000-4000 Mpa
Darbe Dayanımı	Orta seviye	Yüksek
Çekme Modülü (Elastik Modül)	70-80 Gpa	70-80 Gpa



(a)

(b)

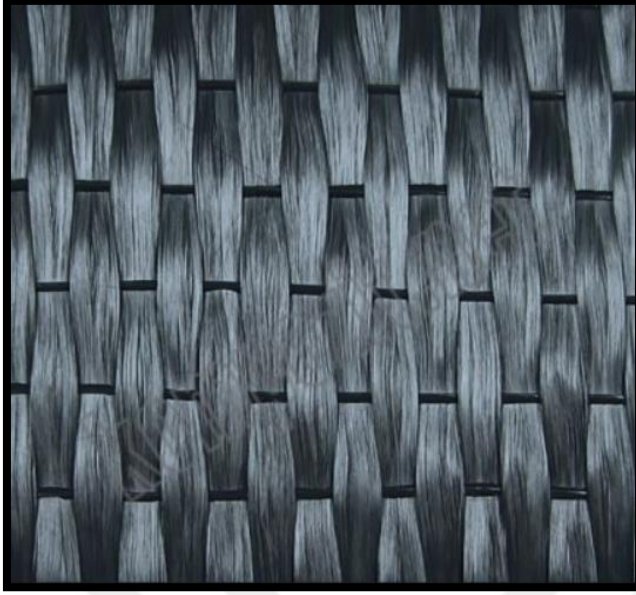
Şekil 4.2. Cam elyaf çeşitleri (a) 200 gr/m² cam elyaf (b) 300 gr/m² cam elyaf

4.1.2. 300 gr/m² karbon elyaf kumaş

Eklemeli imalat yöntemlerinden 3d yazıcı ile üretilen test numuneleri test sonuçlarının farklı karşılaştırmalar yapılması için 300 gr/m² karbon elyafı ile kaplanacaktır. 300 gr/m² karbonfiber kumaş, hafif ancak son derece sağlam kompozit malzemelerin üretiminde yaygın bir şekilde kullanılan bir takviye materyalidir. Çizelge 4.4'te 300 gr/m² karbon elyaf kumaş özellikleri verilmiştir. Yüksek mukavemetleri, sert yapıları ve düşük ağırlıkları sayesinde karbon fiber kumaşlar; otomotiv, havacılık, spor ekipmanları ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Şekil 4.3'te 300 gr/m² karbon kumaş verilmiştir. 300 gr/m² karbon fiber kumaş, metrekarede 300 gram ağırlığa sahip olup genellikle hafif kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadır.

Çizelge 4.5. 300 gr/m² karbon elyaf kumaş özellikleri

Özellik	Değer
Ağırlık (Metrekare Başına)	300 g/m ²
Yoğunluk	1.6-2.0 g/cm ³
Çekme Mukavemeti	3000-7000 MPa
Çekme Modülü (Elastik Modül)	120-150 GPa
Uzama	%1-2
Esneklik Modülü	70-80 GPa



Şekil 4.3. 300 gr/m² karbon elyaf kumaş

4.1.3. Epoksi reçine

Çalışmada 3 boyutlu yazıcıda üretilen numuneler kompozit kumaşlarla kaplanırken birleştirici görevi gören reçine Norm Hard A+B epoksi kullanılacaktır. Bu reçine yüksek sertlik ve dayanıklılık sağlamak amacıyla özel olarak formüle edilmiş bir epoksi reçinesidir. Çizelge 4.5'te reçine norm a+b temel özellikleri verilmiştir. Bu reçine, A ve B bileşenlerinin karıştırılmasıyla aktive edilir ve genellikle kompozit malzeme üretiminde kullanılır. "Ekstra Sert" ifadesi, bu reçinenin özellikle yüksek sertlik ve yüksek dayanıklılık sağlamak için tasarlandığını gösterir. Şekil 4.4'te kompozit reçineler verilmiştir. Epoksi reçineler, güçlü yapıları, kimyasal dayanıklılıkları ve mekanik özellikleriyle bilinir.

Çizelge 4.6. Resin norm hard a+b ekstra sert kompozit reçinesi temel özellikleri (Epoksi Market, 2015)

Özellik	Değer
Bileşenler	A (Reçine) ve B (Sertleştirici)
Reçine Türü	Epoksi Reçinesi
Karıştırma Oranı	2:1 veya 3:1 (A: B)
Sertleşme Süresi	20-30 dakika
Kürleşme Süresi	12-24 saat
Isı Dayanıklılığı	100-120°C



(a)

(b)

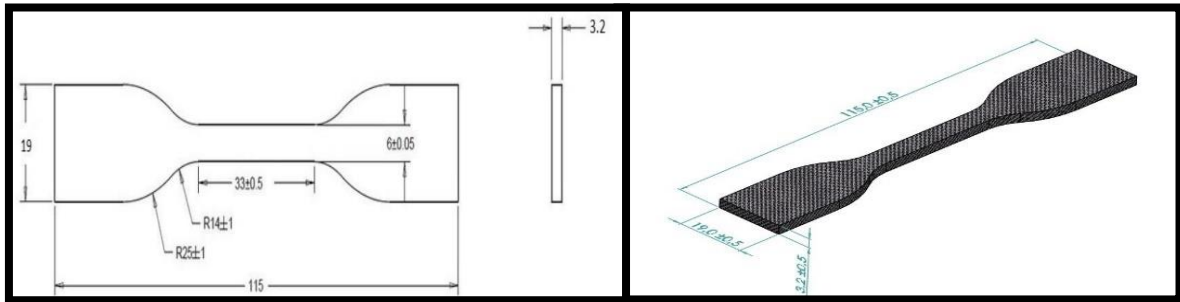
Şekil 4.4. Kompozit reçinesi (a) Norm hard reçine ve sertleştirici (b)Epoksi reçine (Epoksi Market, 2015)

4.2. Deney Numunesi Tasarım ve Üretim Adımları

Test numunelerinin tasarım ve üretim aşmalarından sonra kaplama işlemleri yapılarak çekme test cihazında çekme testleri uygulanmıştır.

4.2.1. Test numunelerinin tasarımı

Üretilcek test numuneleri ASTM D638 standardına uygun ölçülerde Solidworks programında katı modellemesi yapılmıştır. Tasarımı tamamlanan test numuneleri Solidworks programında STL formatına dönüştürülür. Şekil 4.5'te ASTM D638 tip IV numuneler verilmiştir.

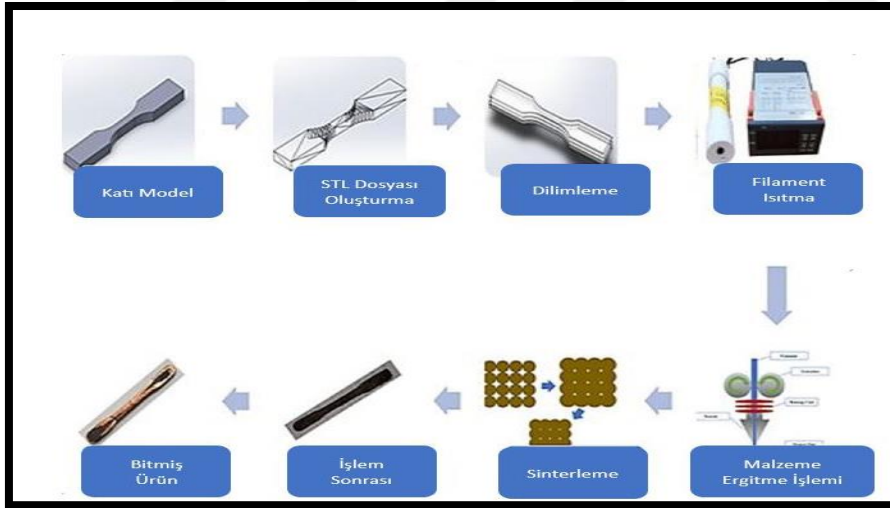


Şekil 4.5. ASTM D638 standardı tip IV (ASTM International, 2014)

4.2.2. Test numunelerinin baskı parametrelerinin belirlenmesi

STL formatındaki test numuneleri dilimleme programı olan Ultimaker Cura'ya aktarılmıştır. Dilimleme programlarında tasarımın üretim adımları ve detayları belirlenmiştir. Burada kompozit kaplama işlemlerine ek olarak üretimde kritik olan ve test yöntemlerinde belirleyici özellikleri kapsayan adımlara yer verilmiştir. Bu adımlar parçanın doluluk oranı ve dolgu modelidir. Dilimleme programında numunelere %50, %75 ve %90 dolgu yoğunluğu girdileri tanımlanmıştır. Ayrıca üretimlerde kübik, sekizlik ve gyroid şeklinde üç farklı dolgu modeline yer verilmiştir.






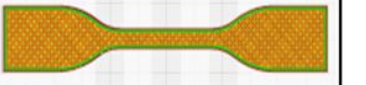



Dilimleme aşamasında ekstrüder sıcaklığı, tabla sıcaklığı ve katman kalınlığı gibi özellikler tüm numuneler için sabit girilmiştir. Dilimleme programı parametrelerinde üretim esnasında parçaların baskı tablası yüzeyinden veya sıcaklık faktörlerinden etkilenerek kalkmaması için kenar yapı levhası ayarı yapılmıştır. Baskı parametrelerinin ayarlarının ardından dilimleme işlemi yapılarak parçanın gCode verileri sd kart veya usb bellek yardımıyla 3 boyutlu yazıcı arayüzüne aktarılmıştır. Şekil 4.6'da test numune üretim aşamaları verilmiştir.



Şekil 4.6. Test numunelerin üretim aşaması-1 (Mohammadizadeh, 2020)

Ultimaker Cura programında dilimleme parametrelerinin farklı olduğu %50, %75 ve %90 dolgu yoğunluğunda kübik, sekizlik, gyroid dolgu modeli üretim gCode verileri aktarılmıştır. Çizelge 4.6'da baskı parametre modelleri verilmiştir. Çekme testlerinde doğru değerlerin alınabilmesi için kumpas ve hassas tartı gibi ölçüm araçları kullanılmıştır.

Çizelge 4.7. Baskı parametre modelleri

%50 Dolgu Yoğunluğu Kübik	%75 Dolgu Yoğunluğu Kübik	%90 Dolgu Yoğunluğu Kübik
		
%50 Dolgu Yoğunluğu Sekizlik	%75 Dolgu Yoğunluğu Sekizlik	%90 Dolgu Yoğunluğu Sekizlik
		
%50 Dolgu Yoğunluğu Gyroid	%75 Dolgu Yoğunluğu Gyroid	%90 Dolgu Yoğunluğu Gyroid
		

4.2.3. 3 Boyutlu yazıcıda parça üretimi

Test parça üretimleri için ergiyik biriktirme teknolojisine sahip Two Trees Bluer yazıcı kullanılmıştır. Şekil 4.7’de yazıcı verilmiştir. Yazıcı özellikleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. 3D yazıcı, two trees bluer

Çizelge 4.8. Two trees bluer yazıcı teknik özellikleri (Callister, 2017)

Nozzle Çapı	0.4mm
Yapı Hacmi	235x235x280mm
Baskı Hassasiyeti	$\pm 0.1-0.2\text{mm}$
Tabaka Kalınlığı	0.1-0.4mm
Makine Hızı	10 ~ 300 mm / s
Baskı Hızı	20-200mm/s
Ekstrüzyon Kafa Sıcaklığı	260 ° C
Baskı Tabla Sıcaklığı	100 ° C
Yazılım Biçimi	STL, OBJ
Dosya Formatını Yazdır	gCode
Kullanıma Uygun Filamentler	PLA, ABS, Petg, Shore 95A TPU, PVA

G-kodu oluşturulan data yazıcıda basılmaya hazır hale gelir. G-kod usb bellek ya da sd kart ile yazıcıya aktarılır. Yazıcının kontrol panelinden data dosyasının bulunur ve yazdırılması için komut verilir. Yazıcı ekstrüder kafasını ve baskı tablasının ısıtıcı bloğunu kullanılacak malzemeye göre seçilen sıcaklığa getirir. Ekstrüder kafası yazıcıda başlangıç noktasına giderek belirtilen değerlerin tamamlanmasını bekler. Ekstrüder temizleme işlemlerini gerçekleştirir. Sonrasında parça baskı platformu üzerindeki konumuna gelerek üretime başlar. Şekil 4.8’de test numuneleri verilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 4.8. Test numuneleri (a) PLA malzeme numuneleri (b)Numunedeki ölçü kontrolü

Üretilen test numuneleri tasarım dosyasındaki ölçülerle üretim sonrası numunelerin önemli kesitleri dijital kumpas yardımıyla ölçülerek ölçü doğruluğu kontrol edilmiştir.

4.3. Numunelere Kompozit Kaplama Uygulaması

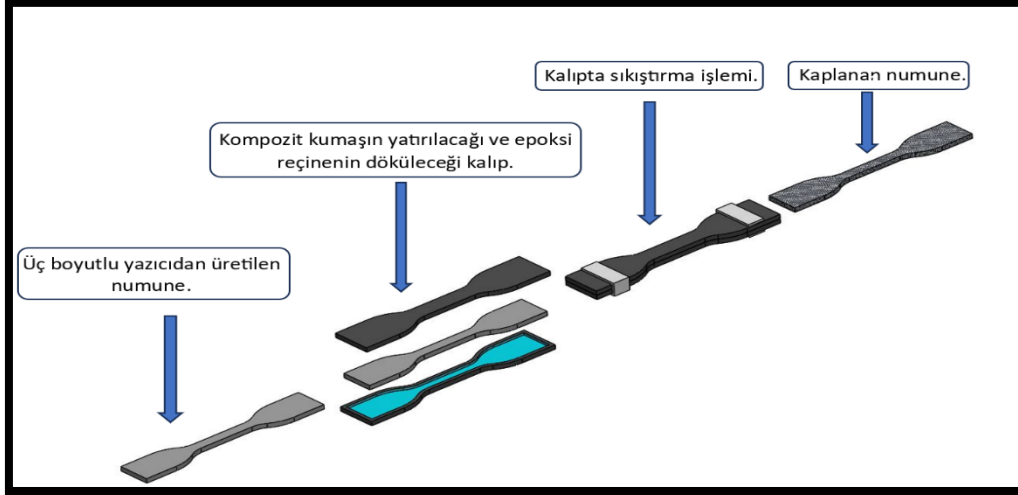
Üretimi yapılan numuneler kompozit kumaşlarla kaplama yapılarak farklı parametrelerde ayrılmıştır.

4.3.1. Kaplama uygulama adımları

Eriyik biriktirme yöntemiyle çalışan 3 boyutlu yazıcılar kullanılarak, farklı üretim parametrelerinde elde edilen numunelerin yüzeylerine cam elyaf ve karbon elyaf kumaşlarla kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaplama sürecinde kullanılan malzemeler arasında 200 gr ve 300 gr cam elyaf ile 300 gr karbon elyaf kumaş yer almaktadır. Tüm kaplama işlemleri, el yatırma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan el yatırma yöntemi, bu çalışmada kaplama aşamasında tercih edilen uygulama tekniği olmuştur. İlgili üretim adımları ise şu şekildedir:

Kaplama işlemine başlamadan önce, numune yüzeyleri uygun şekilde temizlenmiş, gerek duyulması halinde yüzey pürüzlendirme işlemi uygulanmıştır. Şekil 4.9'da çekme numunelerinde kaplama işlemi ön hazırlık-1 verilmiştir. Bu adım, kompozit kumaşın yüzeye daha iyi tutunabilmesi için önem arz etmektedir. Ardından, uygun reçine karışımı hazırlanmış ve bu işlemde Norm Hard A+B epoksi reçinesi tercih edilmiştir. Kompozit kumaşlar, numune parçalarının şekil ve boyutlarına uygun olarak kesilmiştir. Kaplama öncesinde numune ve kumaşların yerleştirileceği kalıpların yüzeylerine kalıp ayırıcı madde sürülerek, kaplama işlemi sonrasında numunenin kolayca ayrılması sağlanmıştır. Sonrasında, önceden kesilen kompozit kumaş parçaları bu reçineyle kaplanmış yüzeylerin üzerine dikkatlice yerleştirilmiştir.

Şekil 4.10'da çekme numunelerinde kaplama işlemi ön hazırlık-2 verilmiştir. Kumaş yerleştirildikten sonra, yüzeyin tamamına yeniden reçine uygulanarak kumaşın tam olarak doyması ve yüzeye düzgün bir şekilde yapışması sağlanmıştır. Tüm bu işlemlerin ardından kaplama sürecini tamamlamak üzere reçinenin kurlenmesi yani sertleşmesi için gerekli süre beklenmiştir. Reçinenin sertleşmesi tamamlandıktan sonra, numuneler kalıptan çıkarılmış ve kenarlarında oluşan çapaklar temizlenerek son haline getirilmiştir. Şekil 4.12 ve şekil 4.13'te kaplama uygulaması verilmiştir.

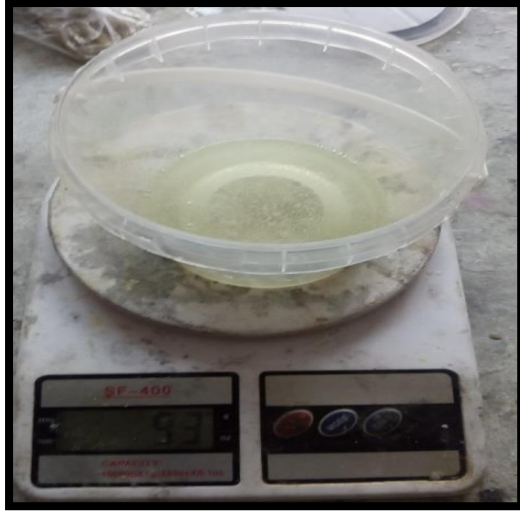


Şekil 4.9. Çekme numunelerinde kaplama işlemi ön hazırlık-1 (Kır ve Yağmur, 2025)



Şekil 4.10. Çekme numunelerine kaplama işlemi ön hazırlık-2

Numune üretiminde kullanılan kompozit kumaşların kaplanma aşamasında bağlayıcı malzeme olarak Norm Hard A+B tipi epoksi esaslı reçine tercih edilmiştir. Bu iki bileşenli sistem, yüksek dayanıklılık ve sertlik gerektiren uygulamalara yönelik özel olarak formüle edilmiştir. A ve B bileşenleri belirli oranlarda karıştırıldığında aktifleşen reçine, genellikle kompozit malzemelerin üretim süreçlerinde kullanılmaktadır. "Ekstra Sert" ifadesi, bu epoksinin üstün mekanik dayanıklılık ve sertlik özelliklerine sahip olduğunu vurgulamaktadır. Şekil 4.11'de kaplama işlemi verilmiştir. Epoksi reçineler; yüksek mukavemet, kimyasal direnç ve mekanik özellikleriyle ön plana çıkar. Uygulama öncesi kullanılacak reçine miktarı hassas terazilerle ölçülerek, bileşenler uygun oranlarda karıştırılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.11. Kaplama işlemi (a) Hasas tartıda epoksi karışımı (b) Epoksi uygulaması



(a)

(b)

Şekil 4.12. Kaplama uygulaması-1 (a) kaplamasız pla (b) 200 gr/m² cam elyaf kaplamalı numuneler



(a)

(b)

Şekil 4.13. Kaplama uygulaması-2 (a) 300 gr/m² cam elyaf (b) 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı numuneler

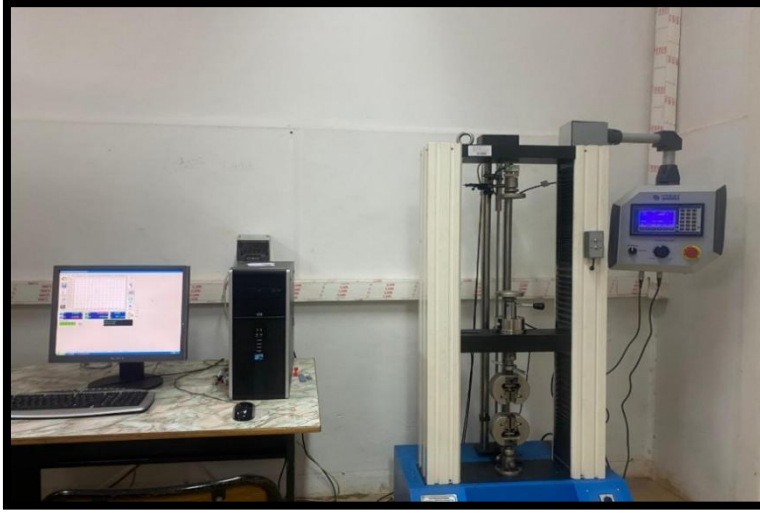
4.4. Çekme Cihazı ve Test Süreci

Çekme testi, bir malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla uygulanan temel deney yöntemlerinden biridir. Bu test sürecinde, malzeme bir ucundan sabitlenirken diğer ucundan kontrollü bir şekilde çekilerek üzerine çekme kuvveti uygulanır. Deney sırasında malzemenin gerilme (stress) ve birim uzama (strain) değerleri kaydedilir. Çekme testi malzemenin dayanıklılığı, elastikiyet sınırı, kopma noktası, maksimum çekme dayanımı ve elastik davranış özelliklerinin analiz edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Callister and Rethwisch, 2017).

Çekme testlerinin ilk aşaması, ASTM D638 standardı esas alınarak, 10 kN kapasiteli UTEST Profil X6 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.14'te Utest profil x6 çekme cihazı verilmiştir. Tüm numuneler, elle sıkıştırılabilen kelepçe tipi tutuculara yerleştirilmiş ve testler, numuneler tamamen kopana kadar sabit bir yer değiştirme hızıyla sürdürülmüştür. Maksimum yük, akma dayanımı, kopma uzaması, kopma dayanımı ve gerilme dayanımı gibi veriler kaydedilmiştir.

Çekme testinde kopma uzaması bir malzemenin kopmadan önce ne kadar şekil değiştirdiğini gösteren kopma uzaması, başlangıçtaki ölçü uzunluğuna göre hesaplanarak yüzde şeklinde belirtilir (Callister and Rethwisch, 2018).

Maksimum yük , çekme testi sırasında uygulanan kuvvet, belirli bir noktaya kadar artar ve bu sürecin en yüksek kuvvet değeri maksimum yük olarak adlandırılır. Genellikle bu değer akma noktasının ardından fakat kopma gerçekleşmeden önce ortaya çıkar (Dieter, 1986). Çekme testinde akma dayanımı, malzemenin geri dönüşü olmayan bir şekil değişimine uğramaya başladığı noktadaki gerilme düzeyini belirtmektedir (Callister and Rethwisch 2018).

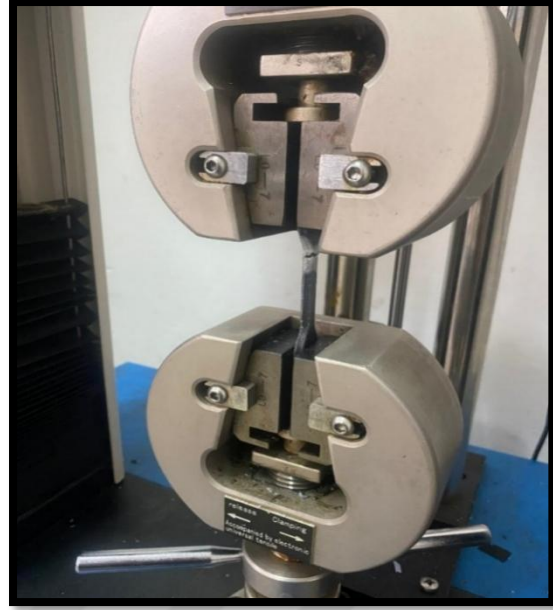


Şekil 4.14. Utest Profi X6 çekme test cihazı

Test işleminin öncesinde program girdilerine ASTM638 Type 4 standart seçilerek numune ölçüleri girilmiştir. Sonrasında çekme hızı sabit tutularak 5mm/dk olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.15'te çekme testi uygulaması verilmiştir. Öncesinde hazırlanan numuneler çekme cihazının çenesine yerleştirilerek sırasıyla çekme işlemi uygulanmıştır. Çekme işleminin sonucundaki veriler kullanılarak gerilme-gerinim grafikleri elde edilmiştir. Şekil 4.16'da gerilme gerinim grafikleri verilmiştir. Toplamda 36 adet çekme testi gerçekleştirilmiştir.

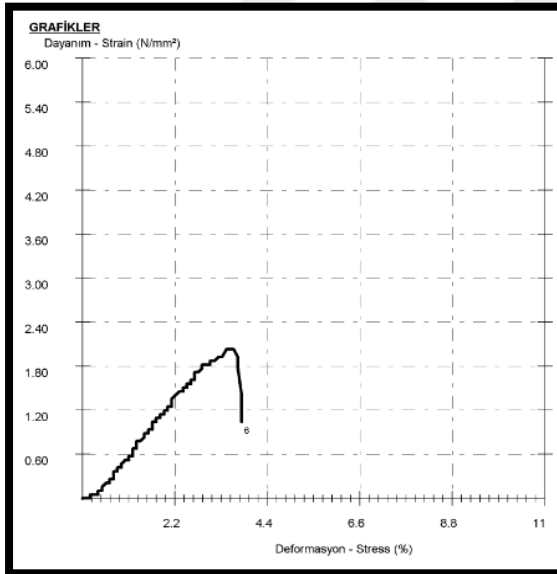


(a)

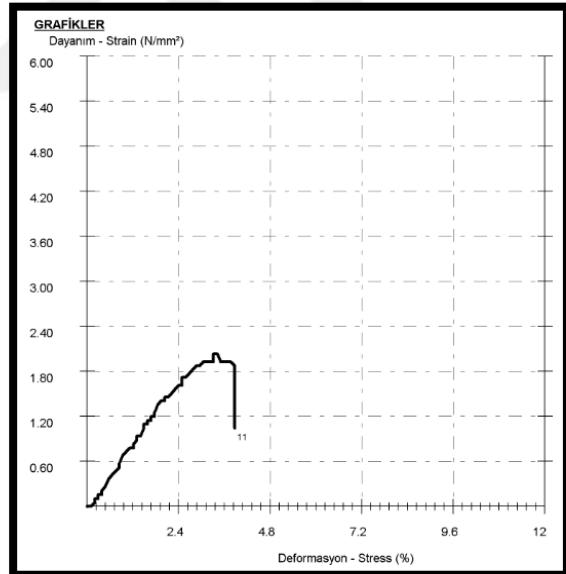


(b)

Şekil 4.15. Çekme testi uygulaması (a) kaplamasız numune testi (b) cam elyaf kaplama testi



(a)



(b)

Şekil 4.16. Gerilme-gerinim grafikleri (a) %50 yoğunluk kübik kaplamasız (b) %90 yoğunluk gyroid kaplamasız



5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada eklemeli imalat yöntemlerinde ergiyik biriktirme yöntemi kullanılarak PLA malzemeden üretilen parçalara kompozit kumaşlar ile kaplama uyulmasının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Elde edilen grafiklerde akma dayanımı, kopma dayanımı kopma uzaması gerilme dayanımı ve maksimum yük değerleri incelenmiştir.

5.1. Çekme Testi Sonuçları

Bu çalışmada farklı üretim parametrelerine sahip numuneler kaplamasız, 200 gr/m² cam elyaf, 300 gr/m² cam elyaf ve 300 gr/m² karbon elyaf kompozit kumaşlarla kaplama yapılan numunelere sabit parametreler uygulanarak çekme testi yapılmıştır. Test sonuçları grafiklere aktarılarak yorumlanmıştır.

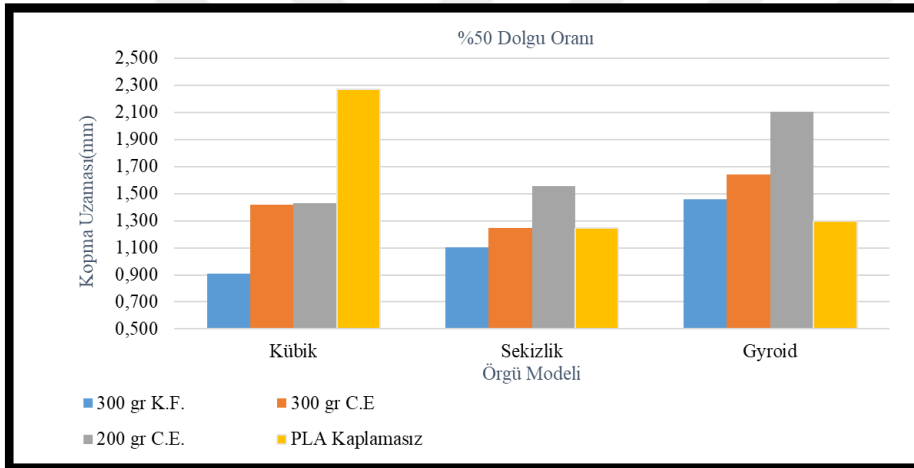
Çalışmada %50 dolgu yoğunluğuna sahip numunelerde kopma uzaması, gerilme dayanımı maksimum yük, akma dayanımı ve kopma dayanımı test sonuçları farklı grafiklerde örgü modeli ve kaplama çeşidine göre verilmiştir. %50 dolgu yoğunluğuna sahip çekme numunelerinde Şekil 5.1’de kopma uzama değerleri yer almaktadır. Yapılan test sonrasında kopma uzama değeri en yüksek kübik örgü modelindeki kaplamasız yapıdaki numunede 2,273mm olarak gözlemlenmiştir. En düşük kopma uzama verisi 0,910mm kübik yapıdaki 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı numunede gözlemlenmiştir. Değerler incelendiğinde kaplama etkisiyle süneklik azalarak parçada gevreklik artmıştır.

Dolgu yoğunluğu %50 olan numunelerin Şekil 5.2’de gerilme dayanımı incelenmiştir. İncelenen grafik sonuçlarında gerilme dayanımı en yüksek 7,549 N/mm² 300 gr/m² karbon elyaf kaplama dokusuna sahip gyroid örgü modelli numunedir. Gerilme dayanımı en düşük sekizlik yapıdaki kaplamasız 2,031 N/mm² numunede gözlemlenmiştir. Karbon elyaf kumaşlı kaplamalı numune kaplamasız yapıya göre yaklaşık 4 kat daha fazla gerilme dayanımına sahiptir.

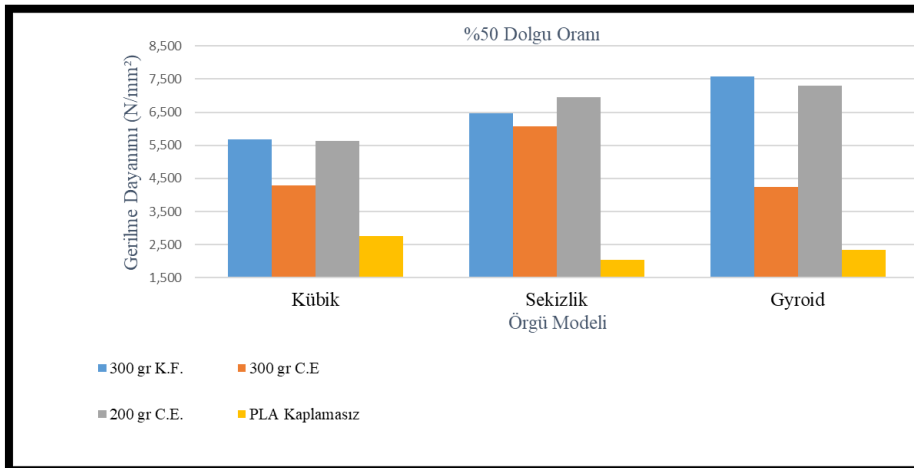
Şekil 5.3’te maksimum yük değerleri yer almaktadır. %50 yoğunluğa sahip numunelerde en yüksek veri 191 N değerinde 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı gyroid gözlemlenmiştir. Maksimum yük değeri en düşük sekizlik yapıda kaplamasız numunede 39 N olarak

kaydedilmiştir. Kaplamalı numune yaklaşık 5 kat daha fazla maksimum yük değerine sahiptir.

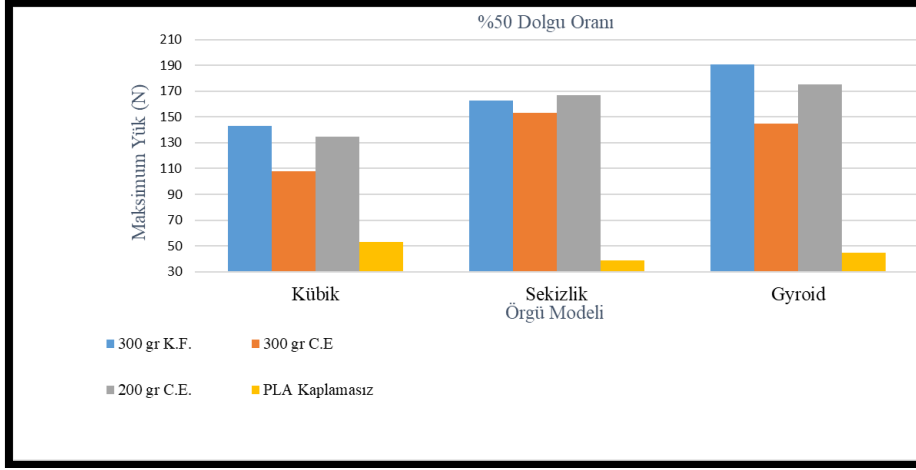
Grafik verilerine göre en yüksek akma dayanımı $5,476 \text{ N/mm}^2$ değerine sahip 300 gr/m^2 cam elyaf kaplamalı sekizlik modelindeki numunede gözlemlenmiştir. $1,354 \text{ N/mm}^2$ değerinde sekizlik yapıdaki kaplamasız numune ise en düşük akma dayanımına sahiptir. Bu iki değer arasındaki fark, kaplamasız numuneye göre yaklaşık %304,4 oranında bir artışı ifade etmektedir. Şekil 5.5'te yer alan kopma dayanımı grafiğinde en yüksek değere gyroid yapıdaki 300 gr/m^2 karbon elyaf kaplamalı $7,579 \text{ N/mm}^2$ değerindeki numune gözlemlenmiştir. En düşük değer $1,042 \text{ N/mm}^2$ sekizlik yapıdaki numunededir. Bu iki değer arasında neredeyse sekiz kat fark oluşmaktadır.



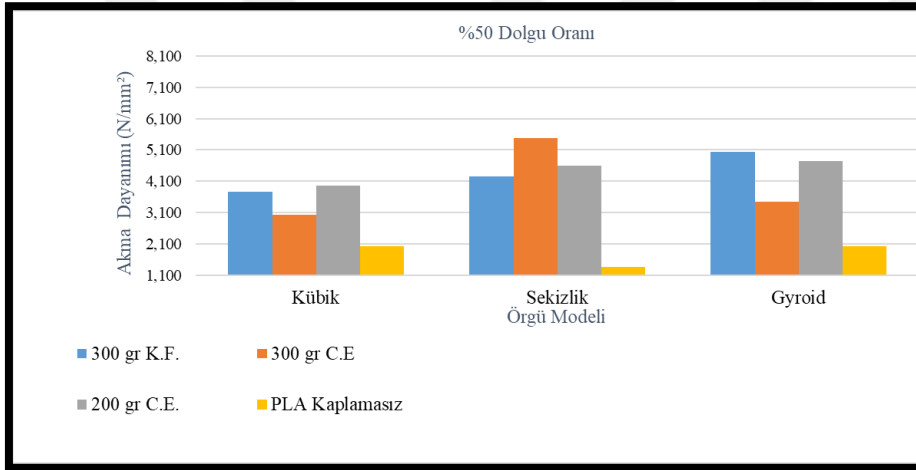
Şekil 5.1. %50 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma uzaması grafiği



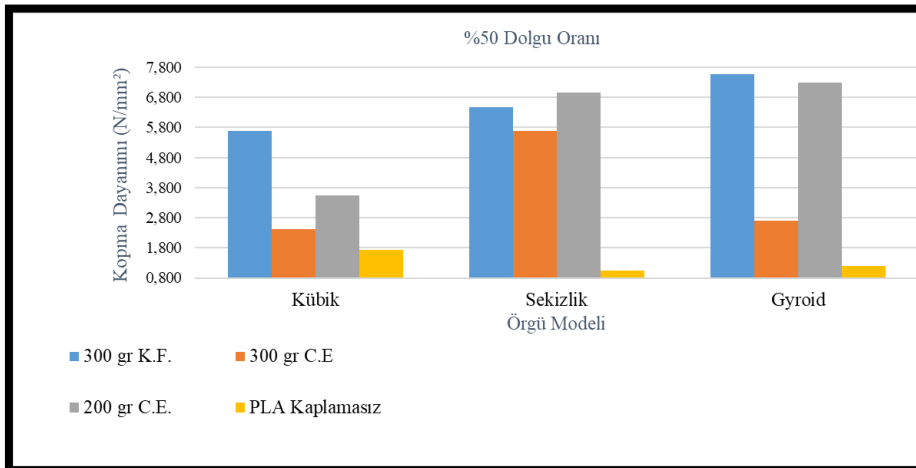
Şekil 5.2. %50 dolgu yoğunluğundaki numunelerde gerilme dayanımı grafiği



Şekil 5.3. %50 dolgu yoğunluğundaki numunelerde maksimum yük grafiği



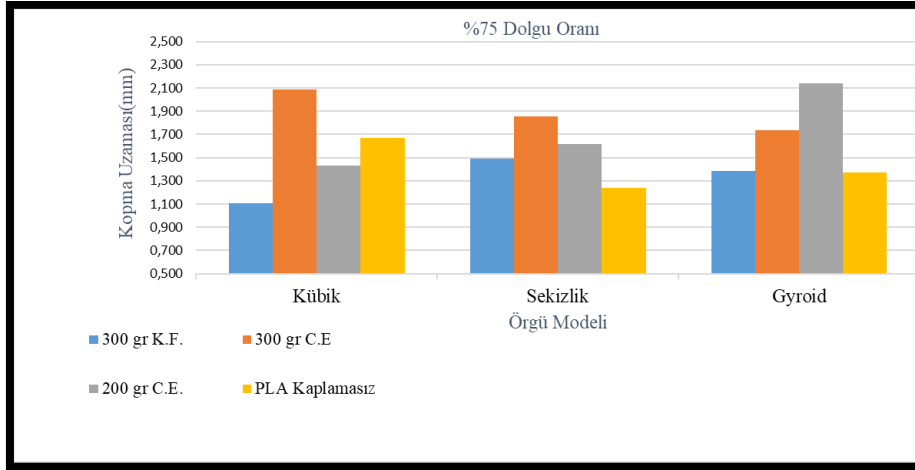
Şekil 5.4. %50 dolgu yoğunluğundaki numunelerde akma dayanımı grafiği



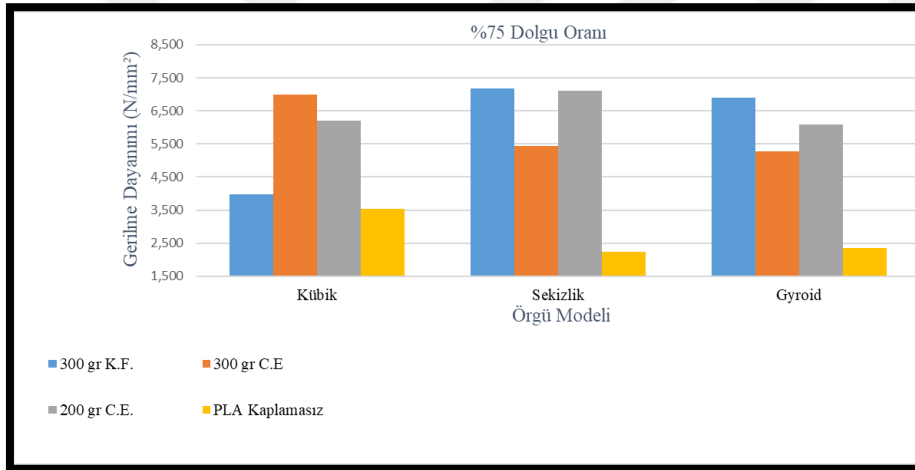
Şekil 5.5. %50 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma dayanımı grafiği

Bu çalışmada, %75 dolgu yoğunluğuna sahip numunelerin kopma uzaması, gerilme dayanımı, maksimum yük, akma dayanımı ve kopma dayanımı test sonuçları, örgü modeli ve kaplama türüne göre değerlendirilmiş ve grafiksel olarak sunulmuştur. Numuneler, örgü geometrisi, dolgu oranı ve kaplama özelliklerine göre gruplandırılmıştır. Şekil 5.6'da sunulan verilere göre, en yüksek kopma uzaması 2,140 mm ile 200 gr/m² cam elyaf kaplamalı gyroid örgü modeline sahip numunede ölçülmüştür. Buna karşılık, en düşük değer 1,108 mm olarak, 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı kübik yapıdaki numunede kaydedilmiştir. Bu sonuçlara göre, en yüksek kopma uzaması değeri, en düşük değere kıyasla yaklaşık %93,15 oranında daha fazladır. Kopma uzamasındaki bu fark, malzemelerin süneklik özellikleri üzerinde kaplama türü ve örgü geometrisinin önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Gyroid örgü yapısı ve cam elyaf kaplama, malzemenin deformasyon kabiliyetini artırarak sünek davranış sergilemesine katkı sağlamıştır. Öte yandan, karbon elyaf kaplamalı kübik yapı, daha düşük kopma uzamasıyla daha gevrek bir kırılma davranışı göstermiştir. Bu durum, yüksek rijitlik ve düşük deformasyon kabiliyetiyle ilişkilendirilerek malzemenin darbe altında ani kırılma eğilimini artırabileceğini göstermektedir. Şekil 5.7'de sunulan veriler, %75 dolgu yoğunluğuna sahip numunelerin gerilme dayanımı sonuçlarını ortaya koymaktadır. Gerilme dayanımı açısından en yüksek değer, 7,183 N/mm² ile 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı sekizlik örgü modeline sahip numunede elde edilmiştir. Buna karşın, en düşük gerilme dayanımı değeri 2,240 N/mm² olup, bu değer sekizlik örgü yapısına sahip kaplamasız numunede gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, karbon elyaf kumaş kaplamanın mekanik performansına olumlu katkı sağladığını göstermektedir. Nitekim kaplamalı numune kaplamasız numuneye göre yaklaşık dört kat daha yüksek gerilme dayanımı sergilemiştir.

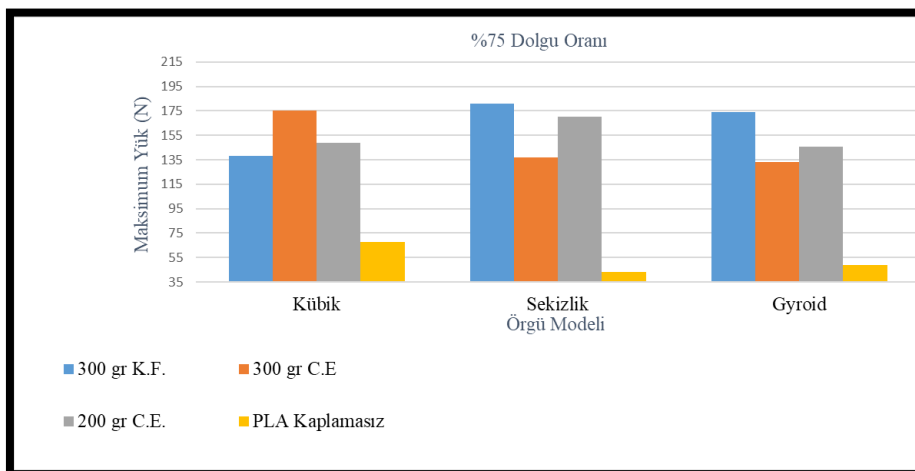
Şekil 5.8'de gözlemlenen maksimum yük değerlerine ait en yüksek değer 181 N olarak sekizlik yapıdaki 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı numunede gözlemlenirken en düşük maksimum yük değeri 43 N olarak kaplamasız sekizlik yapıdaki numunede gözlemlenmiştir. Şekil 5.9'da akma dayanımı verilerinde en yüksek 5,458 N/mm² 200 gr/m² cam elyaf kumaş kaplamalı kübik yapıdaki numunede gözlemlenirken en az akma dayanımı sekizlik örgü modelinde 1,563 N/mm² olarak ölçülmüştür. Şekil 5.10 grafiğinde %75 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma dayanımı incelenmiştir. İncelenen grafik değerlerinde en yüksek kopma dayanımı sekizlik yapıdaki 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı numunede 6,944 N/mm² olarak ölçülürken en küçük değeri sekizlik yapıdaki kaplamasız numunede 1,198 N/mm² gözlemlenmiştir. Kaplamanın etkisi yaklaşık beş kat daha fazla olmuştur.



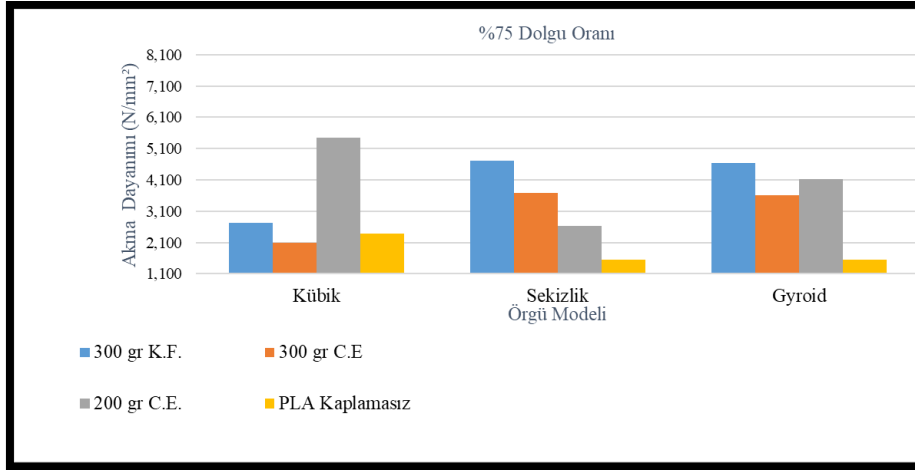
Şekil 5.6. %75 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma uzaması grafiği



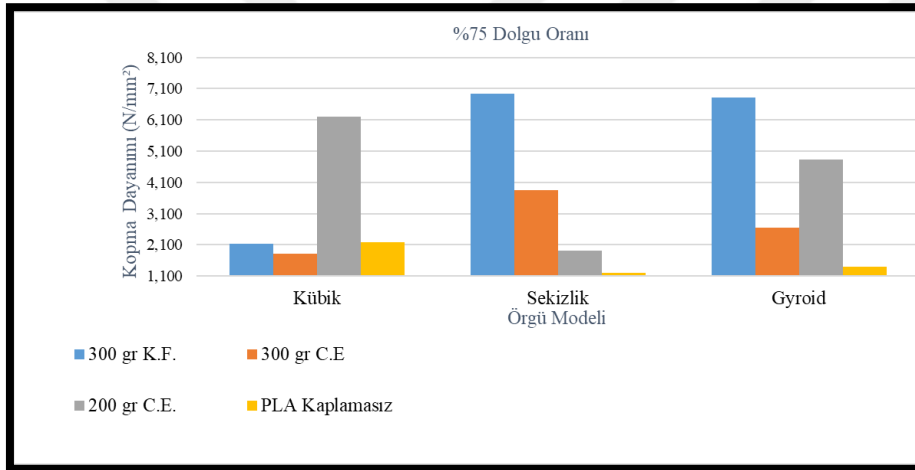
Şekil 5.7. %75 dolgu yoğunluğundaki numunelerde gerilme dayanımı grafiği



Şekil 5.8. %75 dolgu yoğunluğundaki numunelerde maksimum yük grafiği



Şekil 5.9. %75 dolgu yoğunluğundaki numunelerde akma dayanımı grafiği



Şekil 5.10. %75 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma dayanımı grafiği

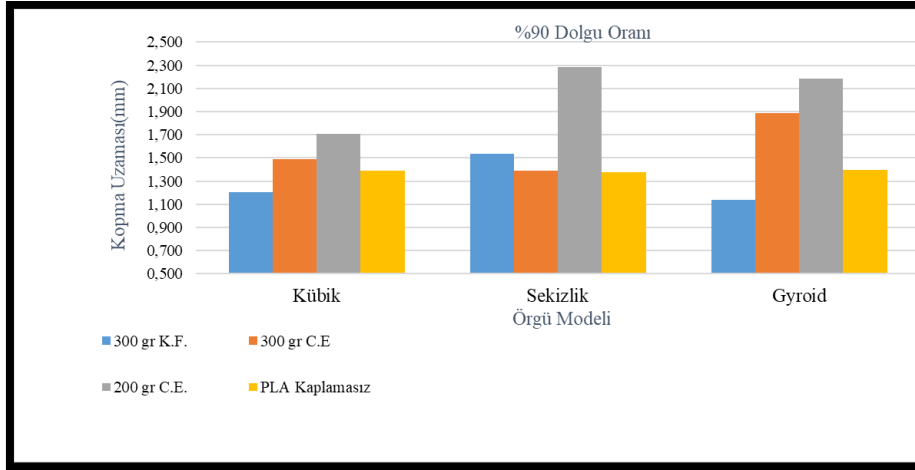
Grafik verilerinde %90 dolgu yoğununda incelemelerde bulunulmuştur. Numuneler, örgü yapısı, dolgu oranı ve kaplama karakteristiklerine göre sınıflandırılmıştır. Şekil 5.11’de sunulan veriler doğrultusunda, kopma uzaması açısından en yüksek değer 2,285 mm ile 200 gr/m² cam elyaf kaplamalı sekizlik örgü modeline sahip numunede ölçülmüştür. Buna karşın, en düşük kopma uzaması 1,138 mm olarak 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı gyroid yapıdaki numunede kaydedilmiştir. Bu bağlamda, en yüksek kopma uzaması değeri, en düşük değere göre yaklaşık %100,8 oranında daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlar örgü yapısı ve kaplama türünün malzemenin süneklik davranışı üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Cam elyaf kaplama, sekizlik yapı ile birlikte malzemenin deformasyon kapasitesini artırarak daha sünek bir kırılma davranışı sergilemesine katkı sağlamıştır. Öte yandan, karbon elyaf kaplamalı gyroid yapı, düşük deformasyon kapasitesi

ve yüksek rijitlik nedeniyle daha gevrek bir kırılma eğilimi göstermiştir. Bu durum, söz konusu yapının darbe altında ani kırılmalara daha yatkın olabileceğini düşündürmektedir. Şekil 5.12’de %90 dolgu yoğunluğuna sahip numunelerin gerilme dayanımı sonuçları incelenmiştir. En yüksek gerilme dayanımı, 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı sekizlik örgü modeline ait numunede 8,413 N/mm² olarak ölçülmüştür. Buna karşılık, en düşük değer 2,222 N/mm² olup, bu sonuç gyroid örgü yapısına sahip ve kaplama uygulanmamış numunede elde edilmiştir. Bu veriler, karbon elyaf kaplamanın mekanik performans üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir. Nitekim kaplamalı numune kaplamasız örneğe göre yaklaşık dört kat daha yüksek gerilme dayanımı sergilemiştir.

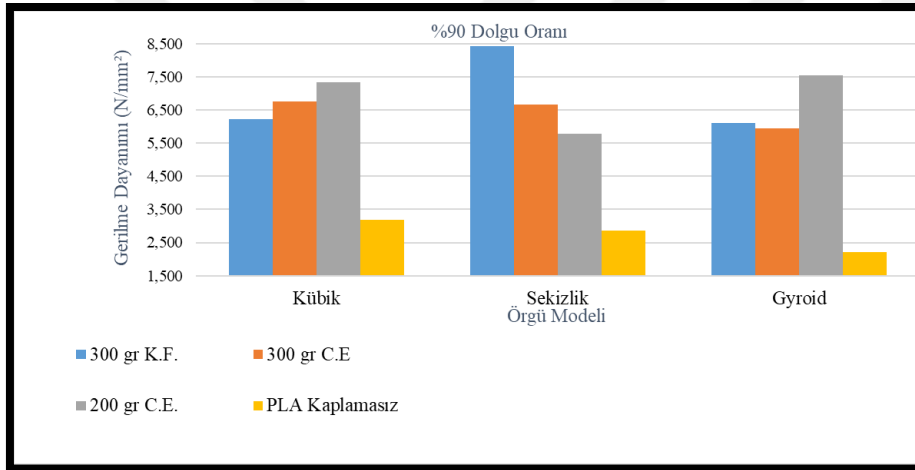
Şekil 5.13’de yer alan maksimum yük sonuçlarına göre, en yüksek değer 212 N ile 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı sekizlik yapıdaki numunede elde edilmiştir. Bu değer tüm veriler içindeki en yüksek maksimum yük dayanımını vermektedir. Buna karşılık, en düşük maksimum yük 55 N ile kaplamasız sekizlik örgü modeline sahip numunede gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, kaplama işleminin numunelerin yük taşıma kapasitesini yaklaşık dört kat artırdığını göstermektedir.

Şekil 5.14’de sunulan akma dayanımı verileri incelendiğinde, en yüksek değer 5,556 N/mm² ile 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı sekizlik yapıdaki numunede elde edilmiştir. En düşük akma dayanımı ise 1,349 N/mm² olarak gyroid, örgü modeline sahip numunede ölçülmüştür.

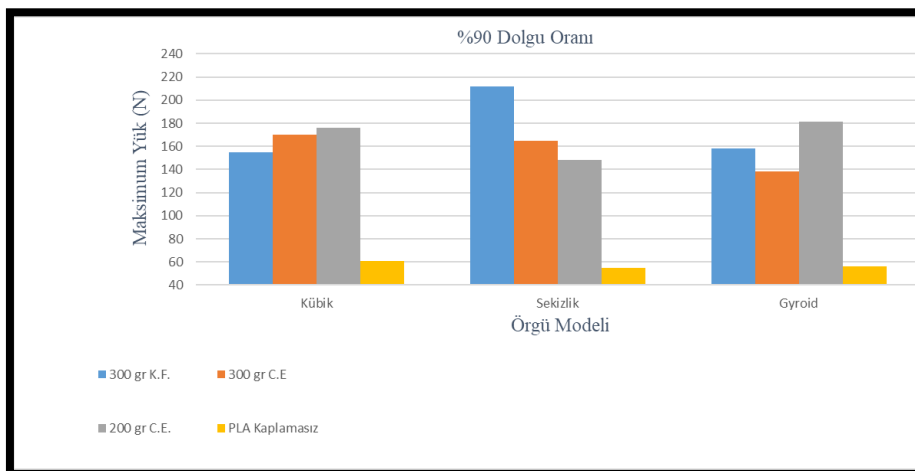
Son olarak, Şekil 5.15’te yer alan kopma dayanımı sonuçlarına göre, en yüksek değer 8,095 N/mm² ile 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı sekizlik örgü modeline sahip numunede ölçülmüştür. En düşük değer ise 1,111 N/mm² olup, bu sonuç kaplamasız gyroid yapıdaki numuneye aittir.



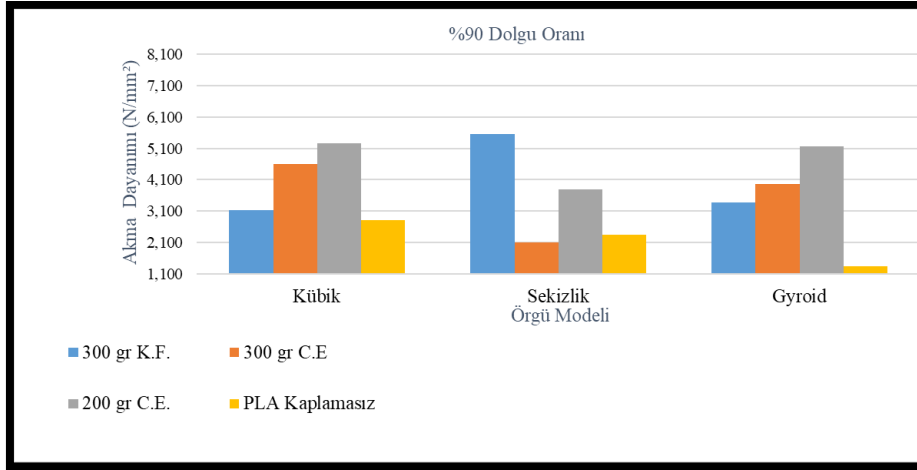
Şekil 5.11. %90 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma uzaması grafiği



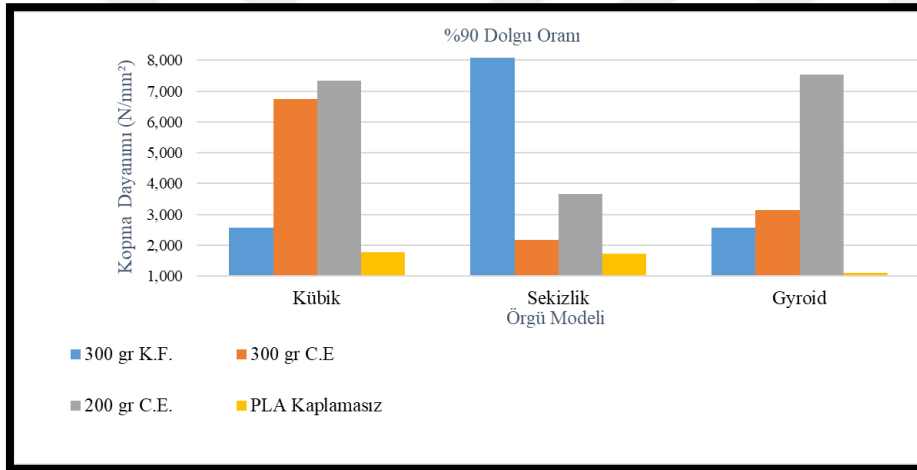
Şekil 5.12. %90 dolgu yoğunluğundaki numunelerde gerilme dayanımı grafiği



Şekil 5.13. %90 dolgu yoğunluğundaki numunelerde maksimum yük grafiği



Şekil 5.14. %90 dolgu yoğunluğundaki numunelerde akma dayanımı grafiği



Şekil 5.15. %90 dolgu yoğunluğundaki numunelerde kopma dayanımı grafiği

Grafik verileri incelendiğinde genel olarak dolgu yoğunluğu artarken dayanımının da arttığı gözlemlenmiştir. Dayanımın en yüksek örgü modeli sekizlik olarak belirlenirken karbon elyaf kaplamanın cam elyafa göre daha mukavemetli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.16. Çekme testi sonrası kaplamasız numuneler



Şekil 5.17. Çekme testi sonrası 200 gr/m² cam elyaf kaplamalı numuneler



Şekil 5.18. Çekme testi sonrası 300 gr/m² cam elyaf kaplamalı numuneler



Şekil 5.19. Çekme testi sonrası 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı numuneler



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada üretim malzemesi PLA olan malzemelerden ergiyik biriktirme üretim yöntemi kullanılarak ASTM D638 standardına uygun çekme numuneleri üretilmiştir. Günümüzde 3D yazıcılar birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılmakta olup, bu teknolojiyle üretilen nesnelerin dayanıklılık ve kalite kriterleri giderek daha büyük önem kazanmaktadır. Eklemeli imalat yöntemlerinden en yaygın kullanılanı, ergiyik biriktirme esasına dayanan üretim teknolojisidir. Bu yöntemin yaygın olarak tercih edilme nedeni, düşük maliyetli oluşu ve hızlı üretim avantajı sunmasıdır. Üretim sürecinde kaliteli ve sorunsuz bir baskı elde edilebilmesi için, baskı parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, en uygun baskı parametrelerini belirlemek amacıyla üretilen numuneler çekme dayanımı testine tabi tutulmuştur.

Elde edilen test verileri doğrultusunda, kaplama işlemi öncesinde üretim parametrelerinin tahmini kolaylaşmakta ve uygun parametrelerin seçimi daha sistematik hâle gelmektedir. Ayrıca, geleneksel imalat yöntemleriyle üretilen parçaların dayanımına yakın sonuçlar elde edilerek, üretimi zor, süreci uzun ve maliyeti yüksek olan parçaların 3D yazıcılarla üretilmesi ve kompozit kumaşlarla kaplanarak yüksek mukavemete sahip yapıların elde edilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında fan hızı, katman kalınlığı, baskı sıcaklığı ve baskı hızı gibi parametreler sabit tutulmuş; değişken olarak ise dolgu oranı ve örgü modeli belirlenmiş, bu parametrelerin 200 gr/m² cam elyaf, 300 gr/m² cam elyaf ve 300 gr/m² karbon elyaf kullanılarak yapılan kaplama işlemi üzerindeki mekanik etkileri incelenmiştir.

Yapılan çekme testi sonuçlarında en yüksek kopma uzaması değeri %90 dolgu yoğunluğunda 2,285 mm ile 200 gr/m² cam elyaf kaplamalı sekizlik örgü modeline sahip numunede ölçülmüştür. En düşük kopma uzama verisi 0.910mm kübik yapıdaki %50 dolgu yoğunluğunda 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı numunede gözlemlenmiştir. İncelene bir diğer mekanik özellik gerilme dayanımıdır. Gerilme dayanımı en yüksek %90 yoğunlukta 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı sekizlik örgü modeline ait numunede 8,413 N/mm² olarak ölçülmüştür. Test verilerinde maksimum yük değeri en yüksek %90 dolgu yoğunluğunda 300 gr/m² karbon elyaf kaplamalı sekizlik yapıdaki numunede 212 N kaydedilmiştir. En düşük maksimum yük değeri sekizlik yapıda kaplamasız numunede 39 N olarak kaydedilmiştir. Dolgu yoğunluğu arttıkça maksimum yük arttığı gözlemlenmiştir.

Üretim kolaylığı ve yüksek üretim hızı gibi avantajları nedeniyle yaygın olarak tercih edilen örgü desenlerinden biri olan sekizlik örgü modeli, sekiz formundaki yapısı sayesinde 3D yazıcının X ve Y eksenlerinde kesintisiz ve akıcı bir hareketle çalışmasına olanak tanımaktadır. Bu sürekli hareket ani yön değişimlerini azaltarak motorlarda aşınma, titreşim oluşumu gibi istenmeyen durumları en aza indirir ve daha rijit sağlam bir yapı elde edilmesini mümkün kılar. Kaplamalı ve kaplamasız numunelerin dolgu yoğunluğuna göre yapılan karşılaştırmalı analizler sonucunda, kaplamasız numuneler arasında en yüksek maksimum yük dayanımının, %90 dolgu oranına sahip sekizlik örgü modelinde elde edildiği belirlenmiştir. Kaplamasız malzemelerin bu performansına karşın, kaplama işlemi uygulandığında malzeme dayanımının yaklaşık 5 kat arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, kompozit kaplamanın yapısal dayanım üzerindeki olumlu etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

Akma dayanımı verileri incelendiğinde, en yüksek değer $5,556 \text{ N/mm}^2$ ile 300 gr/m^2 karbon elyaf kaplamalı %90 dolgu yoğunluğundaki sekizlik yapıdaki numunede elde edilmiştir. En düşük akma dayanımı ise %50 yoğunlukta $1,349 \text{ N/mm}^2$ olarak gyroid örgü modeline sahip numunede ölçülmüştür. Kopma dayanımı sonuçlarına göre, en yüksek değer %90 yoğunlukta $8,095 \text{ N/mm}^2$ ile 300 gr/m^2 karbon elyaf kaplamalı sekizlik örgü modeline sahip numunede ölçülmüştür. En düşük değer $1,042 \text{ N/mm}^2$ sekizlik yapıdaki %50 dolgu yoğunluğundaki kaplamasız numunededir.

Deneysel veriler doğrultusunda, uygulanan kaplama işleminin parçaların mekanik dayanımını önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. En iyi mekanik performans, %90 dolgu yoğunluğuna sahip sekizlik örgü modelinde elde edilmiş olup, bu parçanın kaplamasız versiyonuna kıyasla yaklaşık altı kat daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Kaplama uygulanan numunelerde süneklikte azalma gözlenirken, akma dayanımında artış meydana gelmiştir.

Test sonuçları değerlendirildiğinde, ergiyik biriktirme yöntemiyle üretilen ve kompozit kaplama uygulanan parçaların mekanik dayanımında artış sağlandığı; bu sayede daha düşük maliyetle yüksek mukavemetli yapıların üretilebileceği öngörülmektedir. Kaplama prosesi, pratik ve hızlı bir şekilde uygulanabilmiş olsa da işlem sonrasında kalıptan çıkarma ve numunelerde oluşan çapakların temizlenmesi gibi üretim sonrası aşamalarda daha hassas ve

ayrıntılı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kaplama işleminin ardından genellikle parçalarda gevrekleşme artarak PLA ana malzemeli numunelerin sünekliği azalmış akma dayanımı artmıştır.

Daha sonra yapılaşabilecek çalışmalar ile ilgili öneriler aşağıda belirtilmiştir.

- Farklı örgü tiplerinin kaplanmasının mekanik özelliklere etkisi araştırılabilir.
- Farklı doluluk oranlarının mekanik özelliklere etkisi araştırılabilir.
- Eklemeli imalat sürecinde numunenin ilk ve son katmanları eklenmeden daha pürüzlü bir yüzey elde edilerek kaplamanın yapışma özelliğinin etkisi incelenebilir.
- Farklı kaplama malzemelerinin etkileri incelenebilir.
- Kaplama uygulamasının yorulma dayanımı, darbe dayanımı gibi mekanik özelliklere etkisi araştırılabilir.



KAYNAKLAR

- Angel, K., Tsang, H., Bedair, S. S., and Nathan, S. (2021). Investigating the use of 3D printed tools for electrochemical machining: Lessons learned and future improvements. *Journal of Electrochemical Engineering*, 12(3), 101–115.
- Abasov, A. (2022). *Kompozitlerin kullanıldığı ekstrüzyon esaslı eklemeli imalatta ürün özelliklerinin etkisinin hesaplamalı olarak incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir.
- ASTM. (2012). *F2792-10e1: Standard terminology for additive manufacturing technologies*. ASTM International.
- Ahn, N., Kweon, J. H., Choi, J., and Lee, S. (2012). Quantification of surface roughness of parts processed by laminated object manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, 212, 339–346.
- Aydın, M. Elektron ısın kaynak yöntemi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (005), 213–227.
- ASTM International (2014). *Standard test method for tensile properties of plastics (ASTM D638-14)*. ASTM International.
- Bai, J. (Ed.). (2013). *Advanced fibre-reinforced polymer (FRP) composites for structural applications*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing.
- Bunsell, A. R., and Harris, R. A. (2017). *Carbon fibers: Synthesis, properties, and applications*. Cham, Switzerland: Springer.
- Başcı, Ü. G., ve Ymanoğlu, R. (2021, Ağustos 31). Yeni nesil üretim teknolojisi: FDM ile eklemeli imalat. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 5(2), 339–352.
- Boehm, F., and Jorfi, S. (2021). Additive Manufacturing of Composites: A Review of Materials, Processes, and Applications. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 143(1), 010801.
- Bozkurt, İ., Bayramoğlu, M., ve Koca, A. (2021). Eklemeli imalat ile üretilen parçaların yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(3), 437–445.
- Barone, S., and Gebisa, A. H. (2020). Two coatings that enhance mechanical properties of fused filament-fabricated carbon-fiber reinforced composites. *Additive Manufacturing*, 31, 100959.
- Chawla, K. K. (2012). *Composite: Science engineering* (3rd ed.). New York: Springer.
- Callister, W. D., and Rethwisch, D. G. (2017). *Fundamentals of materials science and engineering* (9th ed.). Hoboken : John Wiley.
- Callister, W. D., and Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Hoboken : John Wiley.

- Çelik, D. ve Çetinkaya, K. (2016). Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımları, Prototipleri ve Ürün Yazdırma Karşılaştırmaları. *İleri Teknolojileri Bilimleri Dergisi*, 5(2), 12-14.
- Demirok, G. (2022). *Polilaktid (PLA) matrisi kullanılarak cam ve karbon elyaf dokuma formülü kompozit laminatların üretimi ve karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dieter, G. E. (1986). *Mechanical metallurgy* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Davis, J. R. (Ed.). (1999). *Handbook of composite materials*. Boca Raton: CRC Press.
- Din, E. (2017). *ISO/ASTM 52900:2017-06 additive manufacturing—general principles terminology (ISO/ASTM 52900:2015) (German version EN ISO/ASTM 52900)*. ISO/ASTM International.
- Dizon J.R.C., Espera A.H., Chen Q. and Advincula R.C. (2018). Mechanical characterization of 3D-printed polymers. *Additive Manufacturing*, 20, 44–67.
- Doğru, A. (2022). *Production and characterization of fiber reinforced polymer composites by additive manufacturing method*. Doktora Tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Fu, Z., Gui, Y., Cao, C., Liu, B., Zhou, C., and Zhang, H. (2014). Structure evolution and mechanism of polyacrylonitrile and related copolymers during the stabilization. *Journal of Materials Science*, 49(7), 2864–2874.
- Gay, P., Blanco, D., Pelayo, F., Noriega, A., and Fernandez, P. (2015). Analysis of factors influencing the mechanical properties of flat PolyJet manufactured parts. *Procedia Engineering*, 132, 70-77.
- Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., and Zavattieri P. D. (2015). The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *Computer-Aided Design*, 69, 65–89.
- Gebel, M. E., and Ermurat, M. (2018). Investigation of polymer matrix continuous fiber reinforced composite part manufacturability for composite additive manufacturing. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(1) 57–67.
- Guo, N., and Leu, M. C. (2013). Additive manufacturing: Technology, applications and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 8(3), 215–243.
- Guerrero-Vacas, G., Rodríguez-Alabanda, O., Martín-Fernández, F. de S., and Martín Sánchez, M. J. (2023). Performance and durability of non-stick coatings applied to stainless steel: Subtractive vs. additive manufacturing. *Materials*, 16(17), 5851.
- Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., and Khorasani, M. (2020). Generalized additive manufacturing process chain. In *Additive manufacturing Technologies*, 53–76.
- Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., and Khorasani, M. (2021). *Additive manufacturing technologies* (3. edition). Switzerland: Springer Nature.
- Horn, T. and Ola, K. (2012). Design for additive manufacturing: A review. *Procedia CIRP*, 3 635-640.

- İnternet: Endüstri 4.0 ile Katmanlı Üretim. URL: <https://www.endustri40.com/endustri-4-0-ile-katmanli-uretim>, Son Erişim Tarihi: 18.04.2025.
- İnternet: Materialise Magics 3D Printing Data And Build Preparation Software. URL: <https://www.materialise.com/en/industrial/software/magics-data-build-preparation>, Son Erişim Tarihi: 09.05.2025.
- İnternet: ColorPlus3D. URL: <https://www.colorplus3d.com/audifonos-impresos-en-3d/> Son Erişim Tarihi: 08.06.2025.
- İnternet: Boyut Kat. 3D Yazıcılar İçin Dilimleme Yazılımları. URL: <https://www.boyutkat.com/bilgi-bankasi/3d-modelleme/3d-yazicilar-icin-dilimleme-yazilimlari-slicer/>, Son Erişim Tarihi: 23.05.2025.
- İnternet: Esun 3D Baskı Malzemeleri. URL: <https://www.esun3d.net>, Son Erişim Tarihi: 18.04.2025.
- İnternet: Formlabs Industrial 3D Printers. URL: <https://formlabs.com/3d-printers/industrial/>, Son Erişim Tarihi: 18.04.2025.
- İnternet: SAMM Market. Esun Very Peri PLA+ Filament 1.75mm 1 Kg. URL: <https://market.samm.com/esun-pla-filament-very-peri>, Son Erişim Tarihi: 18.04.2025.
- İnternet: Erlas SLA İle Üretim. URL: <https://erlas.com.tr/3d-prototip/sla-ile-uretim>, Son Erişim Tarihi: 18.04.2025.
- İnternet: Aseton Buharı Nasıl Yapımı Metodu ve Yöntemi. URL: <https://3dedi.com/blog/aseton-buhari-nasil-yapilir.html>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2025.
- İnternet: Post-Processing in 3D Printing. URL: <https://www.beamler.com/post-processing-3d-printing/>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2025.
- İnternet: Dreambot3D 3D Printer For Architectural Models. URL: <https://www.dreambot3d.com/3d-printer-for-architectural-models/>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2025.
- İnternet: Metal Additive Manufacturing CNC Machining. URL: <https://medium.com/@alexhuckstepp/metal-additive-manufacturing-vs-cnc-machining-64626bf8ef4e>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2025.
- İnternet: Kalıp Dünyası. URL: <https://kalipdunyasi.com.tr/tr/guncel/85/polilaktik-asit-pla-plastik-filamentlerin-3d-eklemeli-imalat-uygulamalarinda-kullanimi.html>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2025.
- İnternet: Markforged Electron Beam Melting. URL: <https://markforged.com/resources/learn/3d-printing-basics/3d-printing-processes/what-is-electron-beam-melting-ebm>, Son Erişim Tarihi: 20.05.2025.
- İnternet: Additive Manufacturing Research Group. URL: <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2025.

İnternet: Epoksi Market Norm Hard 750 Gr A+B Ekstra Sert Kompozit Ve Laminasyon Reçinesi. URL: <https://epoksimarket.com/norm-hard-750>, Son Erişim Tarihi: 03.04.2025.

İnternet: Dost Kimya. Araldite 2011 Epoksi Yapıştırıcı. URL: <https://dostkimya.com/tr/urunler/yapistiricilar//araldite-2011-epoksi-yapistirici>, Son Erişim Tarihi: 14.05.2025

Kaya, O., Gümüş, Ö. Y., Küçük, İ., and Aslan, S. (2023). Usage of 3D printed polylactic acid as a core material in forming of carbon fiber fabric composite. *Textile and Apparel*, 33(2), 144–151.

Koçak, H. (2021). Surface modification of a model part produced with 3D printing from PLA material by means of composite coating. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30(6), 3903–3910.

Karabıyık, Ö., ve Apak, K. (2021). Eklemeli imalat yöntemiyle PLA malzemesinden üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 13(2), 62–68.

Korkmaz, N. (2014). *Karbon elyaf takviyeli dokuma kumaş içeren kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma*, Yüksek Lisans Tezi Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Karaahmetoğlu, B. (2025). *Karbon fiber ve cam elyaf hibrit kompozitlerinin diziliş sırasının mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Batman.

Karakuş, A. (2024). *Eklemeli imalat ile farklı matrisli cam elyaf takviyeli filamentler kullanılarak üretim, karakterizasyon, optimizasyon ve üretken tasarım metodolojisi tabanlı bir endüstriyel uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Khorasani, A. M., Gibson, I., and Ghaderi, A. R. (2018). Rheological characterization of process parameters influence on surface quality of Ti-6Al-4V parts manufactured by selective laser melting. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(9–12), 3761–3775.

Kumar, P., and Menezes, P. L. (2021). Additively manufactured coatings. *Coatings*, 11(5) 609.

Kurt, E. (2022). *PLA ile üretilen 3D baskı parçaların karbon fiber kumaş ile kaplanması ve mekanik özelliklerin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Konta, A. A., García-Piña, M., and Serrano, D. R. (2017). Personalised 3D printed medicines: Which techniques and polymers are more successful? *Bioengineering*, 4(4), 79.

Kır, Y., Yağmur S. (2025, 5-6 Nisan). *Eklemeli İmalat Yöntemi İle Üretilen Malzemelerde Kaplama İşleminin Etkisinin İncelenmesi*, 1. Bilsel Uluslararası Semerkant Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Semerkant, Özbekistan, 225-239.

- Longhitano, G. A., Larosa, M. A., Munhoz, A. L. J., Zavaglia, C. A. C., and Ierardi, M. C. F. (2015). Surface finishes for Ti-6Al-4V alloy produced by direct metal laser sintering. *Materials Research*, 18(4), 838-842.
- Minetola P., Calignano F., Galati M. (2020) , Comparing geometric tolerance capabilities of additive manufacturing systems for polymers, *Additive Manufacturing.*, 32 (101103), 1-10.
- Mostafaei, A., Abolhasani, M. M., and Goharshadi, E. K. (2021). Binder jet 3D printing Process parameters, materials, properties, modeling, and challenges. *Progress in Materials Science*, 119, 100707.
- Matthiesen, R. (2015). *Glass fibers and their applications in composite materials*. Hoboken: John Wiley and Sons.
- Mohammadzadeh, M., Lu, H., Fidan, I., Tantawi, K., Gupta, A., Hasanov, S., Zhang, Z., Alifui-Segbaya, F., and Rennie, A. (2020). Mechanical and thermal analyses of metal-PLA components fabricated by metal material extrusion. *Inventions*, 5(3), 44.
- Nunna, S., Maghe, M., Fakhrhoseini, S. M., Poliseti, B., and Naebe, M. (2018). A pathway to reduce energy consumption in the thermal stabilization process of carbon fiber production. *Energies*, 11(5), 1145.
- Nguyen, T. T., and Kim, D. H. (2022). Surface modification and adhesion improvement of PLA composites coated with glass fiber fabrics. *Journal of Materials Processing Technology*, 301, 117423.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., and Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196.
- Normandie AeroEspace. (2018). *Fabrication additive métallique technologies et opportunités*. Normandie AeroEspace.
- Nesli, Ş. (2022). *Eklemeli imalatla üretilen parça yüzeylerinin lazerle parlatılmasının araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ozsoy, K., ve Duman, B. (2017). Eklemeli imalat teknolojilerinin eğitimde kullanılabilirliği. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1(1), 36-48.
- Özdoğan, S. (2021). *Eklemeli imalat yöntemleriyle üretilen parçaların baskı parametrelerinin üç-nokta-eğilme davranışlarına etkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Pham, D., and Dimov, S. S. (2012). *Rapid manufacturing: the technologies and applications of rapid prototyping and rapid tooling*. London: Springer Science and Business Media.
- Sharma, M., Sharma, V., and Kala, P. (2019). Optimization of process variables to improve the mechanical properties of FDM structures. *Journal of Physics: Conference Series* 1240, 1240.

- Sevil, A., Ondört, A., Ürgün, S., ve Fidan, S. (2019). 3 boyutlu yazıcı ile üretilen parça yüzeylerini toz kaplama ve kaplama eroziv aşınma davranışlarının karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 59–66.
- Udroiu, R., and Braga, I. C. (2017). PolyJet technology applications for rapid tooling. *MATEC Web of Conferences*, 112, 04001.
- Vayre, B., Vignat, F. and Villeneuve, F. 2012. Designing for additive manufacturing. *Procedia CIRP*, 3: 632-637.
- Verhoef, L.A., Budde, B.W., Chockalingam, C., Nodar, B.G., Van Wijk, A.J. (2018). The effect of additive manufacturing on global energy demand: An assessment using a bottom-up approach. *Energy Policy*. 112, 349-360.
- Yaragatti N., Patnaik A., A review on additive manufacturing of polymers composites, *Materials Today: Proceeding*, 44 (6), 4150-4157, 2021.
- Yeşiloğlu, R. (2022). *Eklemeleli imalat ile üretilen farklı dolgu geometrisi ve yoğunluğa sahip PLA esaslı yapıların mekanik davranışlarının deneysel olarak araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Yeşil, M. (2020). Polimer matrisli kompozit malzeme parçalarının farklı yöntemlerle birleştirilmesinin, birleşme bölgesinin çekme kuvvetine olan etkileri. *Journal of Materials and Mechatronics*, 1(2), 66–75.
- Zhao, X., Li, Y., Wang, J., and Chen, Z. (2021). Enhanced mechanical properties of 3D printed PLA composites via carbon fiber fabric lamination. *Composite Structures* 268, 113945.
- Zarringhalam, H., Saghafian, H., and Haghpanah, M. (2006). Effects of processing on microstructure and properties of SLS Nylon 12. *Materials Science and Engineering: A*, 435, 172-180.
- Zhang, L., and Zhang, L. (2021). Laser coatings via state-of-the-art additive manufacturing: A review. *Coatings*, 11(3), 296.



Gazili olmak ayrıcalıktır