

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**EKLEMELİ İMALAT ESASLI HİBRİT İMALATLA ÜRETİLEN FİBER
TAKVİYELİ TERMOPLASTİKLERİN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

İsmail Ata MERTKAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**EKLEMELİ İMALAT ESASLI HİBRİT İMALATLA ÜRETİLEN FİBER
TAKVİYELİ TERMOPLASTİKLERİN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

İsmail Ata MERTKAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EKLEMELİ İMALAT ESASLI HİBRİT İMALATLA ÜRETİLEN FİBER
TAKVİYELİ TERMOPLASTİKLERİN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

İsmail Ata MERTKAN
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 27/06/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğretim Üyesi Tuğçe TEZEL

Prof. Dr. Volkan KOVAN

Dr. Öğretim Üyesi Murat ÖZENÇ

ÖZET

EKLEMELİ İMALAT ESASLI HİBRİT İMALATLA ÜRETİLEN FİBER TAKVİYELİ TERMOPLASTİKLERİN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

İsmail Ata MERTKAN

Yüksek Lisans Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Tuğçe TEZEL

Haziran 2022; 37 sayfa

Eklemeli imalat yöntemi, katmanların üst üste eklenerek istenilen modellerin oluşturulduğu, kullanım alanlarının günden güne arttığı bir üretim yöntemidir. Geleneksel üretim yöntemlerinin ulaşamayacağı üretim esnekliği, hızlı prototipleme ve kullanım kolaylığı gibi özellikler bu yöntemin kullanım alanlarının giderek yaygın hale gelmesinde önemli rol oynamaktadır. Ancak eklemeli imalatın da çeşitli eksiklikleri mevcuttur. Yüzey kalitesi ve boyutsal doğrulukta yetersizlik bu eksikliklere örnek olarak gösterilebilir. Hibrit imalat yöntemi ise üretim yöntemlerinin zayıf yönlerinin güçlendirilmesi amacıyla farklı yöntemlerin birleştirilmesi sonucu ortaya çıkmış bir yöntemdir.

Yapılan çalışmada ergiyik biriktirme tekniği (FDM) tipi eklemeli imalat yönteminin neden olduğu eksiklikler, talaşlı imalat yönteminin entegrasyonu ile giderilmeye çalışılmıştır. FDM tipi bir 3B yazıcıya kesici uç ve DC motor eklenerek hibrit imalat makinesi üretilmiştir. Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen bu makine ile PLA ve karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak numune üretilmiştir. Yüzey kalitesi ve boyutsal doğruluğa, üretim sıcaklığı ve katman kalınlığının etkisi incelenmiştir. Ayrıca üretilen numunelerin ağırlıkları, yoğunlukları ve yüzey pürüzlülükleri ölçülerek mikroskop altında incelenmiştir. Yapılan deney ve ölçümler sonucunda hibrit imalat yönteminin hem PLA hem de karbon fiber takviyeli malzeme ile üretilmiş numunelerin yüzey kalitesini x ekseninde genel olarak artırdığı, z ekseninde ise daha önemli bir artış olduğu görülmüştür. PLA ve karbon fiber takviyeli PLA malzemenin kullanıldığı boyutsal doğruluk ölçümlerinde hibrit imalatın boyutsal doğruluğa olumlu etkisi ortaya konmuştur.

ANAHTAR KELİMELE: eklemeli imalat, FDM, hibrit imalat, karbon fiber takviyeli PLA, PLA.

JÜRİ: Dr. Öğretim Üyesi Tuğçe TEZEL

Prof. Dr. Volkan KOVAN

Dr. Öğretim Üyesi Murat ÖZENÇ

ABSTRACT

DETERMINATION OF PRODUCTION PARAMETERS OF FIBER-REINFORCED THERMOPLASTICS MANUFACTURED BY ADDITIVE MANUFACTURING BASED ON HYBRID MANUFACTURING

İsmail Ata MERTKAN

M.Sc. Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Tuğçe TEZEL

June 2022; 37 pages

The additive manufacturing method is a production in the design of models to be designed and created in the desired way by adding layers on top of each other. Its features such as production flexibility, rapid prototyping, and ease of use that traditional production methods cannot play an important role in the widespread use of this method. However, additive manufacturing has various shortcomings, such as low surface quality and dimensional accuracy, mainly due to the production principle. The hybrid manufacturing method, on the other hand, is a method that emerged as a result of combining different methods to strengthen the weaknesses of production methods.

The study eliminated the weaknesses caused by the fused deposition technique (FDM) type additive manufacturing method by integrating the machining method. A hybrid manufacturing machine was produced by adding a cutting edge and DC motor to an FDM-type 3D printer. PLA and carbon fiber reinforced PLA material was produced, designed, and manufactured with this hybrid machine. The effects of production temperature and layer thickness on surface quality and dimensional accuracy were investigated. In addition, the produced samples' weights, densities, and surface roughness were measured and examined under a microscope. As a result of the experiments and measurements, it was observed that the hybrid manufacturing method generally increased the surface quality of the samples produced with both PLA and carbon fiber reinforced material on the x-axis, while there was a more significant increase on the z-axis. In the dimensional accuracy measurements using PLA and carbon fiber reinforced PLA material, the positive effect of hybrid manufacturing on dimensional accuracy was revealed.

KEYWORDS: additive manufacturing, carbon fiber reinforced PLA, FDM, hybrid manufacturing, PLA.

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Tuğçe TEZEL

Prof. Dr. Volkan KOVAN

Asst. Prof. Dr. Murat ÖZENÇ

ÖNSÖZ

Eklemeli imalat büyümeye devam eden gelişmelere açık bir imalat yöntemidir ancak üretim prensibine bağlı olarak geleneksel imalat yöntemleri karşısında bazı zayıflıkları bulunmaktadır. Eklemeli imalat yönteminin bu zayıf yönleri arasında yer alan yüzey ve boyut kalitesi, bu çalışmada hibrit imalat yöntemi kullanılarak azaltılmaya çalışılmıştır. Hazırladığım bu tezin bilime katkı sunmasını umuyorum.

Çalışmanın planlanmasında ve hazırlanmasında her türlü desteği ile yanımda olan, zamanını esirgemeyerek her konuda katkı sağlayan danışman hocam Dr. Tuğçe TEZEL'e, çalışma sırasında karşılaştığım zorlukları aşmak için değerli bilgi ve tecrübeleri yararılandığım Prof. Dr. Volkan KOVAN'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın tümünde maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Eklemeli İmalat Yöntemleri	2
1.1.1. Fotopolimerizasyon	2
1.1.2. Toz beslemeli sistemler	2
1.1.3. Toz yataklı sistemler	3
1.1.4. Malzeme ekstrüzyonu	3
1.2. Talaşlı İmalat	4
1.3. Hibrit İmalat	5
1.4. Çalışmanın Amacı	6
2. KAYNAK TARAMASI	7
3. MATERYAL VE METOT	10
3.1. FDM Tipi 3B Yazıcı.....	10
3.2. Hibrit İmalat	11
3.2.1. Üretilen Parçalar	11
3.2.2. Motor	12
3.2.3. Kesici Takım.....	12
3.2.4. Hibrit İmalat Makinesi Üretimi	13
3.3. Çalışmada Kullanılan Malzemeler	14
3.4. Deneylerde Kullanılan Cihazlar	15
3.4.1. Hassas terazi	15
3.4.2. Mikroskop.....	15
3.4.3. Boyutsal doğruluk.....	16
3.4.4. Yüzey pürüzlülüğü.....	16
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	17

4.1. Yüzey pürüzlülüğü	17
4.2. Mikroskop görüntüleri.....	21
4.3. Boyutsal Doğruluk	23
4.4. Ağırlık	25
4.5. Yoğunluk	27
4.6. Yüzey Profilleri	28
5. SONUÇLAR	33
6. KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Eklemeli İmalat Esaslı Hibrit İmalatla Üretilen Fiber Takviyeli Termoplastiklerin Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

27/06/2022
İsmail Ata Mertkan



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C	: Celsius
cm ³	: Santimetreküp
F _r	: Radyal kuvvet
F _s	: Kesme kuvveti
F _z	: Talaş kaldırma kuvveti
g	: Gram
mm	: Milimetre
V	: Volt
V _c	: Kesme hızı
V _f	: İlerleme hızı
α	: Serbest açısı
β	: Kama açısı
γ	: Talaş açısı
μm	: Mikrometre

Kısaltmalar

ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
DC	: Doğru Akım
DED	: Doğrudan Enerji Biriktirme
DLP	: Dijital Işık İşleme
DMD	: Doğrudan Metal Biriktirme
EBM	: Elektron Işın Ergitme

FDM	: Ergiyik Biriktirme Tekniği
HCM	: Sıcak Kesim İşleme
LA-LOM	: Lazer Destekli Lamine Nesne Üretimi
LCD	: Sıvı Kristal Ekran
MJP	: MultiJet Yazırma
PA	: Poliamit
PEEK	: Polimer-Polietetereterketon
PLA	: Polilaktik Asit
RPM	: Dakikadaki Devir Sayısı
SLA	: Stereolitografi
SLM	: Seçici Lazer Ergitme
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
UV	: Ultraviyole

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Fotopolimerizasyon yöntemi	2
Şekil 1.2. Toz beslemeli sistemler	2
Şekil 1.3. Toz yataklı sistemler.....	3
Şekil 1.4. Malzeme ekstrüzyonu.....	4
Şekil 1.5. Freze kesici uç geometrisi (Sağlam, 2016).....	5
Şekil 3.1. FDM tipi eklemeli imalat	10
Şekil 3.2. Creality3D Ender 3 yazıcı	11
Şekil 3.3. a) Üretilen plaka; b) DC motor tutucu	11
Şekil 3.4. RS775 DC motor	12
Şekil 3.5. a) 3mm freze ucu; b) ER11 5mm şaft tutucu; c) 6 mm pens	12
Şekil 3.6. Hibrit imalat makinesi	13
Şekil 3.7. PLA ve karbon fiber takviyeli PLA filamentler	14
Şekil 3.8. Hassas Terazı	15
Şekil 3.9. Stereo mikroskop.....	15
Şekil 3.10. Mikrometre	16
Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan cihaz ve ölçüm şekli.....	16
Şekil 4.1. x ekseninde 0,2 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğü	17
Şekil 4.2. x ekseninde 0,4 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğü	18
Şekil 4.3. z ekseninde 0,2 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğü	19
Şekil 4.4. z ekseninde 0,4 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğü	20
Şekil 4.5. PLA malzemeyle 190 °C derece üretim sıcaklığında katman kalınlığı ve üretimin etkisi	21
Şekil 4.6. Karbon fiber takviyeli PLA malzemeyle 190 °C derece üretim sıcaklığında katman kalınlığı ve üretimin etkisi	22

Şekil 4.7. 190 °C derece üretim sıcaklığında 0,4 katman kalınlığında numunelerin talaş alınmış ve alınmamış yüzeyleri	23
Şekil 4.8. Boyutsal doğruluk sonuçları	24
Şekil 4.9. Ağırlık ölçüm sonuçları	26
Şekil 4.10. Yoğunluk ölçüm sonuçları	28
Şekil 4.11. 3B yazıcı ile üretilen PLA numunelerin katman kalınlığına ve üretim sıcaklığına bağlı olarak yüzey profil değişimi (z ekseninde).....	29
Şekil 4.12. Hibrit imalat ile üretilen PLA numunelerin katman kalınlığına ve üretim sıcaklığına bağlı olarak yüzey profil değişimi (z ekseninde)	30
Şekil 4.13. 3B yazıcı ile üretilen karbon fiber takviyeli PLA numunelerin katman kalınlığına ve üretim sıcaklığına bağlı olarak yüzey profil değişimi (z ekseninde)	31
Şekil 4.14. Hibrit imalat ile üretilen karbon fiber takviyeli PLA numunelerin katman kalınlığına ve üretim sıcaklığına bağlı olarak yüzey profil değişimi (z ekseninde)	32

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Üretim parametreleri	10
---	----



1. GİRİŞ

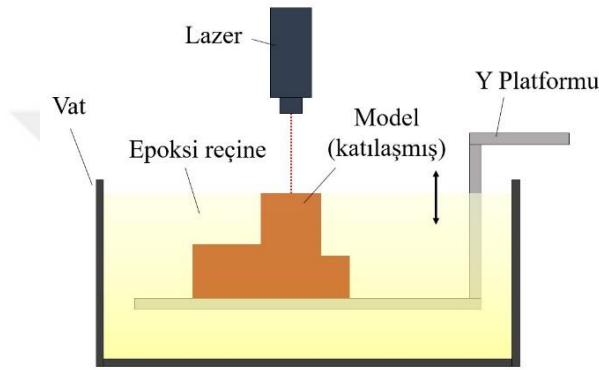
3B yazıcı ile üretim, 3B yazdırma, hızlı prototipleme veya katmanlı imalat olarak bilinen eklemeli imalat, hızlı bir şekilde gelişen ve son yıllarda büyük ilgi gören bir üretim tekniğidir. İlk olarak Stereolitografi (SLA) yöntemi ile ortaya çıkmış, geçmişten beri bilinen bir üretim yöntemi olmasına rağmen son on yılda oldukça popüler hale gelmiş ve kendine çok sayıda kullanım alanı bulmuş bir üretim teknolojisidir (Vayre ve ark., 2012). Katmanların üst üste eklenerek birleştirilmesi ve ardından istenilen parçanın üretilmesi esasına dayanmaktadır. Eklemeli imalatın bu çalışma prensibine dayanması, yöntemin kolay kullanılabilmesini ve esnek bir üretim yeteneği sağlayarak karmaşık geometrileri kolay bir şekilde üretebilmesini sağlamaktadır. Üretilcek olan modellerin bilgisayar ortamında, mühendislik ve grafik tasarımı alanlarında sıklıkla kullanılan programlar gibi çeşitli çizim programları ile oluşturulabilmesi büyük bir tasarım özgürlüğü sağlamakta ve tasarlanmış çok sayıda parçanın internet üzerinde paylaşılması sayesinde verilere erişim oldukça kolay hale gelmektedir (Ford ve Despeisse, 2016). Karmaşık geometrilere sahip parçaların kolaylıkla üretilmesi sayesinde arzu edilen şekilde montaja uygun parçaların üretimi de mümkün hale gelmektedir.

Eklemeli imalat giderek daha geniş kullanım alanları bulmakta ve bazı geleneksel üretim yöntemleri ile üretilen parçaların yerine geçerek orijinal parçaların yerini almaktadır. İnşaat, havacılık, uzay, otomotiv, eğitim, tıp, mühendislik gibi alanlarda üretilen prototipler, yeni geliştirmeler ile çeşitli avantajlar sağlamaktadır (Attaran, 2017). Ayrıca ihtiyaca yönelik olarak eklemeli imalat alanında yeni yöntemlerin ortaya çıkması, bu yöntemlere uygun yeni malzemelerin kullanımı veya var olan eklemeli imalat malzemelerinin geliştirilmesi de bu durumu destekler niteliktedir. Eklemeli imalatın bu yönleri, geleneksel yöntemlerin asla üretemeyeceği veya çok zor üretebileceği parçaların kolaylıkla üretilmesine olanak sağlamaktadır. Üretimin, geleneksel yöntemlerin aksine talaş kaldırarak değil katmanların üst üste eklenerek yapılması sayesinde önemli ölçüde malzeme ve enerji tasarrufu da sağlanmaktadır. Cihazın kullanımı kolay olduğu için tek bir operatör çok sayıda cihazı kontrol edebilir. Az sayıdaki üretim miktarları için düşük üretim maliyetine sahiptir ve kalıplama yöntemlerinde yüksek maliyete neden olan kalıp kullanımına ihtiyaç olmadan yapılabilen üretim sayesinde düşük maliyetlerde üretim yapılabilir. Eklemeli imalat alanında üretim yeteneğinin artırılması için çok sayıda çalışma yapılmıştır ve çeşitli geliştirmeler sonucunda eklemeli imalatın yıllar içinde çok farklı alt dalları meydana gelmiştir. Eklemeli imalat her ne kadar önemli üretim yeteneklerine sahip olsa da eksik ve başarısız olduğu bazı noktalar bulunmaktadır. Bu durumun en önemli örnekleri olarak nispeten düşük yüzey kalitesi ve boyutsal doğruluk gösterilebilir. Malzemenin katmanlar halinde eklenmesi yüzey üzerinde oldukça belirli girinti ve çıkıntılar meydana getirmektedir. Bu durum yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmaktadır. Boyutsal doğruluk sorununda ise toleranslar geleneksel yöntemlerde olduğu kadar hassas bir şekilde elde edilememektedir. Her ne kadar eklemeli imalat üretim parametrelerinde değişiklik yapılarak boyut ve yüzey kontrol edilmeye çalışılsa da geleneksel imalat yöntemleri ile elde edilen yüksek yüzey kalitesi ve boyutsal doğruluk, eklemeli imalat ile elde edilememektedir. Eklemeli imalat alanında halen yapılan çalışmalar, bu gibi sorunların üstesinden gelmeye odaklanmıştır ve her geçen gün ilerleme kat edilmektedir.

1.1. Eklemeli İmalat Yöntemleri

1.1.1. Fotopolimerizasyon

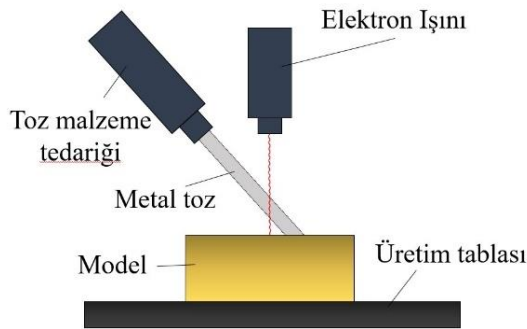
Fotopolimerizasyon yönteminde malzeme olarak ultraviyole (UV) ışık ile katı hale geçen reçineler kullanılmaktadır (Şekil 1.1). Katmanlar halinde serilen reçineler UV ışık ile taranarak katılaştırılır. Ardından yazdırma tablası tasarıma bağlı olarak aşağı veya yukarı doğru hareket eder. Katılaştıran katman üzerine yeni bir reçine katmanı serilir ve tekrar UV ışık ile taranarak katılaştırılır (Calignano ve ark., 2017). Katmanların birikmesi sonucu istenilen model elde edilir. SLA ve Dijital Işık İşleme (DLP) yöntemleri fotopolimerizasyon yöntemine örnek olarak gösterilebilir ve farklı kullanım alanlarına uygun olarak farklı polimer reçine seçenekler kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. Fotopolimerizasyon yöntemi

1.1.2. Toz beslemeli sistemler

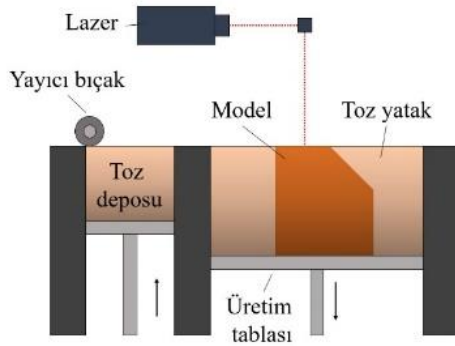
Doğrudan Enerji Biriktirme (DED) ve Doğrudan Metal Biriktirme (DMD) yöntemleri çoğunlukla metal malzemelerin kullanıldığı yöntemlerdendir. Şekil 1.2’de görüldüğü üzere toz halinde malzeme uygulama alanına iletilirken bir lazer yardımı ile tozlar birleştirilir. (Bikas ve ark., 2016) Bu işlemin katmanlar halinde devam etmesi sonucunda istenilen model elde edilir. Kullanılan metal malzemeler için farklı alaşım seçenekleri mevcuttur. Ayrıca bu yöntemlerin dışında daha birçok eklemeli imalat yöntemi mevcuttur. Farklı çalışma prensiplerine dayalı olan bu yöntemler ile farklı malzemeler kullanılarak üretim gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 1.2. Toz beslemeli sistemler

1.1.3. Toz yataklı sistemler

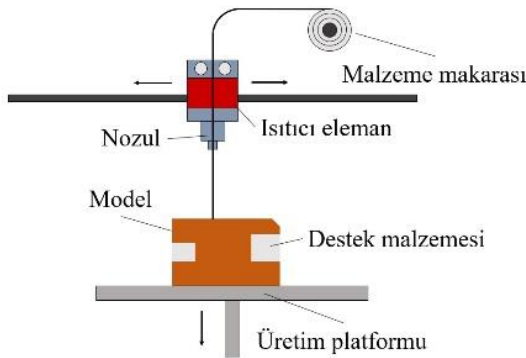
Toz yatak teknolojisinde ise üretim malzemesi toz halde bulunmaktadır. Yazdırma tablası üzerine bıçak yardımı ile tozlar ilk katman olarak serilir. Yönteme bağlı olarak lazer veya elektron ışını ile serilen tozlar istenilen modele bağlı olarak belirli bir desende ergitilir veya sinterlenir (Gong ve ark., 2014). Ardından yine bıçak yardımıyla yeni katman serilir ve işlem tekrarlanır. Tekrarlanan işlemlerin sonucunda nihai model elde edilir (Şekil 1.3). Bu yöntemde, diğer yöntemlerden farklı olarak toz yatak olduğundan dolayı model için fazladan destek üretimi gerekli değildir. Bu durum malzemenin verimli kullanımı için bir avantaj sağlamaktadır. Kullanılan toz malzeme üretim yöntemine bağlı değişerek polimerler, seramikler ve metaller kullanılabilir. Bu yöntem için Seçici Lazer Ergitme (SLM), Bağlayıcı Püskürtme, Seçici Lazer Sinterleme (SLS), Elektronik Işık Ergitme (EBM) gibi örnekler verilebilir.



Şekil 1.3. Toz yataklı sistemler

1.1.4. Malzeme ekstrüzyonu

Malzeme ekstrüzyonu yönteminde filament adı verilen tel halindeki malzeme makaralar yardımı ile nozula doğru yönlendirilir. Nozuldan geçmeden hemen önce filament ısıtıcıda ısıtılarak ergitme sağlanır. Bu sıcaklık kullanılan malzemeye göre farklılık gösterebilir. Nozuldan ergiyik halde çıkan malzeme tabla üzerinde modelin tasarımına ve dilimleyicide belirlenen desene göre tabla üzerinde üretilir. Malzemelerin üst üste ince katmanlar halinde üretilmesi ile model elde edilir (Gardan, 2016).



Şekil 1.4. Malzeme ekstrüzyonu

Malzeme ekstrüzyonu için en çok kullanılan ve bilinen yöntem Ergiyik Biriktirme Yöntemi (FDM) olarak bilinmektedir (Şekil 1.4). Kullanımının kolay ve pratik olması, sanayi dışında ev tipi tasarımları ile çok sayıda kullanıcının erişebilmesine olanak tanımıştır. Bu sayede kullanıcılar FDM yöntemini hobi amaçlı veya gündelik işlerini daha kolay hale getirebilecek parçaları kendileri üretebilmektedir. Poliaktik asit (PLA) ve Akrlonitril Bütadien Stiren (ABS) termoplastik malzemeleri FDM yöntemi için en sık kullanılan malzemelerdir. Maliyetlerinin düşük olması ve erişilebilirliği bu malzemelerin tercih edilmesini sağlamaktadır.

1.2. Talaşlı İmalat

Talaşlı imalat, malzeme üzerinden talaş kaldırılması ile istenilen parçanın elde edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Yüzeyden ayrılan parçaya talaş denir ve talaş, takım yardımı ile parça yüzeyinden kaldırılır. Torna, freze, delme, honlama, raybalama, taşlama, vargelleme, broşlama gibi üretim sektöründe çok sık kullanılan yöntemler talaşlı imalata örnek olarak gösterilebilir. Günümüzde çok sık kullanılan ve geleneksel üretim yöntemlerinden biri olarak bilinen bir yöntemdir. Maliyet düşüklüğü, uzun ömürlü tezgahlar ve yüksek yüzey kalitesi bu yöntemin tercih edilme sebepleri arasından gösterilebilir (Neşeli ve Yaldız, 2007). Ancak hurda maliyeti ve üretimdeki sınırlamalar bu yöntemin eksik yönlerine örnek verilebilir. Talaş kaldırma alanında oldukça fazla çalışma bulunmaktadır ve bunların birçoğu takım ömrünü uzatmaya yöneliktir. Çünkü kullanılan takımın malzemesi, talaş kaldırılan yüzeyin malzemesi, talaşın boyutu, talaşın sıcaklığı, takımın sıcaklığı, takımın ilerleme hızı, dönme hızı ve açısı takım ömrünü ve yüzey kalitesini etkileyen oldukça önemli faktörlerdendir.

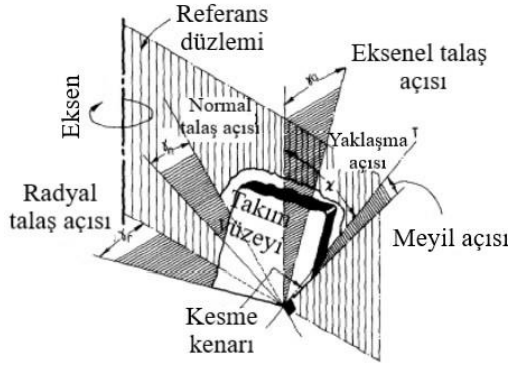
Tornalama yöntemi genel olarak silindirik parçalardan talaş kaldırmak için kullanılan bir yöntemdir. Cıvata, vida, pim gibi parçalar bu yöntemle üretilmek için uygundur. Talaş kaldırılacak olan parça aynaya sabitlenir ve dairesel hareket verilir. Kesici takım dairesel hareket yapmadan doğrusal hareket ile talaş kaldırılacak parçaya yaklaştırılarak talaş kaldırılır.

Delik delme işlemleri çoğunlukla matkap tezgâhları kullanılarak yapılır. Delik delinecek parça plaka üzerine yerleştirilir. Ardından açılacak veya genişletilecek deliğin boyuna göre ayarlanmış olan takım ucu kendi etrafında dairesel hareket yaparken iş parçasına doğrusal hareketle yaklaştırılır.

Frezeleme, talaşlı imalatın en çok bilinen ve çok sık kullanılan yöntemlerinden birisidir. Freze tezgahlarında talaş kaldırılacak parça sabit dururken talaş kaldıracak olan takım kendi eksen etrafında dairesel hareket yaparak genellikle doğrusal hareket ederek talaş kaldırılacak parçaya ilerler. Kanal açma ve diş açma işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında ise talaşlı imalat yöntemi olarak freze kullanılmıştır.

Freze kesici takımları dairesel hareket ettiklerinden dolayı birden fazla kesici uç bulundurmaktadırlar. Bu nedenle işlenen parçaya tek bir kesici ucun sürekli teması olmayıp kesintili şekilde temas etmektedir ve oluşan talaşlar diğer talaşlı imalat yöntemlerinde oluşan talaşlara göre değişiklik göstermektedir. Çevresel ve alın frezeleme olarak iki gruba ayrılmaktadır. Çevresel frezelemede kesici uçlar frezenin çevresinde bulunurken alın frezeleme yönteminde kesici uçlar frezenin alın kısmında bulunmaktadır.

Tüm talaşlı imalat türlerinde olduğu gibi frezelemede de verimin artırılması amacıyla takım ve talaş geometrisi alanında çalışmalar yapılmaktadır. Birden fazla kesici uç bulunması takım ve talaş geometrilerini karmaşık hale getirmektedir. Bir takımın iş parçasına giriş açısı oldukça önemlidir çünkü takımın ömrü, talaşın kalınlığı, kesme kuvveti ve yüzeyin kalitesi gibi değerler giriş açısından etkilenmektedir. Talaş kaldırma işleminde açılar takım ömrü, yüzey kalitesi gibi değerleri büyük oranda etkilemektedir. Talaş açısı (γ), takımın talaş yüzeyi ile parçanın işlenmiş yüzeyine dikey arasındaki açıyı ifade etmektedir. Serbest açı (α) parçanın işlenmiş yüzeyi ile takımın serbest yüzeyi arasındaki açıyı ifade etmektedir. Kama açısı (β) ise takımın serbest yüzeyi ile talaş yüzeyi arasındaki açıyı belirtmektedir. Bu üç açının toplamı 90° açıya eşittir. Talaş açısı işlenmiş yüzeye dikey çizginin sağında kalıyor ise pozitif, solunda kalıyor ise negatif olarak değişmektedir. Talaş açısının küçük ve kama açısının büyük olması durumunda kaba talaş elde edilirken talaş açısının büyük ve kama açısının küçük olması durumunda ince talaş elde edilmektedir. Gevrek ve sünek malzeme kullanımında bu açıların seçiminde dikkatli olunmalıdır. Frezeler hareketli olduğunda belirli hızlara sahiptir. Kesme hızı (V_c), takımın parçadan talaş kaldırma hızını belirtirken takımın parça üzerindeki hızı, ilerleme hızı (V_f) olarak ifade edilmektedir. Talaş kaldırma esnasında uygulanan kuvvetlere bakıldığında kesme kuvveti (F_s), radyal kuvvet (F_r) ve talaş kaldırma kuvveti (F_z) meydana gelmektedir. Pozitif talaş açısı kesme kuvvetinin azalmasını sağlamaktadır (Sağlam, 2016). Frezeleme yöntemleri karşıt ve aynı yönlü olmak üzere ikiye ayrılır. Karşıt yöntemde takım frezenin dönme yönünün karşıtı yönünde ilerler. Bu yöntemde F_r yukarı yönlü olup parçayı kaldırmaya çalışır. Aynı yönde yöntemde ise dönme yönü ve parçanın ilerleme yönü aynıdır. Bu yöntemde F_r aşağı yönlü olup parçaya baskı uygulamaktadır. (Akkurt, 2015) Talaş kaldırma esnasında sürtünmeden dolayı çok fazla ısı ortaya çıkmaktadır ve bu ısının bir kısmı talaş ile uzaklaşmaktadır. Bunun verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için açılar dikkatli bir şekilde seçilmelidir.



Şekil 1.5. Freze kesici uç geometrisi (Sağlam, 2016)

1.3. Hibrit İmalat

Hibrit imalat yöntemi, farklı üretim yöntemlerinin sahip olduğu eksik yönleri, dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla kullanılan bir üretim tekniğidir. Bu teknik ile farklı üretim yöntemleri birlikte kullanılarak farklı yöntemlerin sahip olduğu eksik noktalar diğer üretim yöntemi ile giderilerek her iki yöntemin de avantaj getiren kabiliyetlerinin kullanılması amaçlanmaktadır. Üretim yöntemlerinin getirdiği

dezavantajlı durumlara yetersiz yüzey kalitesi ve mekanik özellikler, üretim süresi, yüksek maliyet ile enerji ve malzeme israfı örnek verilebilir. Hibrit imalat yöntemi iki farklı üretim yönteminin birlikte kullanılması ile ortaya çıkan bir üretim yöntemidir. Bu nedenle çok sayıda hibrit imalat yöntemi mevcuttur. Bunlara döküm-talaşlı imalat, enjeksiyon kalıplama-talaşlı imalat ve eklemeli imalat-talaşlı imalat gibi örnekler verilebilir. Eklemeli ve talaşlı imalatın bir arada kullanıldığı hibrit imalat, eklemeli imalatın talaş oluşturmada ve buna bağlı olarak zaman, enerji ve malzeme tasarrufu sağlayarak, bir kalıba ihtiyacı olmadan üretim yapabilme yeteneği ile düşük maliyetli üretim, karmaşık parçaları kolay bir şekilde üretebilmesi gibi avantajları kullanılır. Eklemeli imalatın eksik olduğu kötü yüzey kalitesi ve boyutsal doğruluk, talaşlı imalat ile iyileştirilebilir. Hızlı prototipleme olarak da bilinen üç boyutlu yazıcılar oldukça popüler hale gelmiş yeni nesil bir üretim teknolojisidir. Malzemenin katmanlar halinde birleşmesi esasına dayanmaktadır. Eklemeli imalat alanında yapılan çalışmalar sonucunda farklı çalışma prensiplerine sahip 3B yazıcıların yanında çeşitli malzemelerin kullanım imkânı da her geçen gün artmaktadır. Modelleri oluşturmak için dijital ortam kullanılır. Bu sayede çok farklı tasarımların üretilmesi mümkündür. 3B yazıcılarla üretimin avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlardan biri ise üretilen bazı parçalarda üretim sonrası ek işlemlere gerek duyulmasıdır. Bu ek işlemler, üretilen parçadaki fazla kısımların üründen ayrılması veya parçanın yüzey ve boyut kalitesini artırmak için yapılan işlemlerdir. FDM ve talaşlı imalat yöntemlerinin birlikte kullanıldığı hibrit sistemler mevcuttur. Ancak bu sistemler daha çok metal malzemelerin kullanımını içermektedir. Hibrit imalat yöntemi onarım, kaplama gibi alanlarda da kullanılmakta ve bu yönüyle maliyetleri önemli ölçüde düşürmektedir.

1.4. Çalışmanın Amacı

Çalışmada hibrit imalat yaklaşımıyla, eklemeli ve talaşlı imalatın bir arada kullanılması sağlanmıştır. Bu çalışmada FDM tipi bir yazıcıda sıcak ucun bağlı olduğu plaka değiştirilerek yerine x ve z yönlerinde genişletilmiş, DC motor tutucu gibi parçaların bağlantısına uygun montaj noktaları olan bir plaka yerleştirilmiştir. Nozul ve CNC belirlenen aynı hareketleri gerçekleştirmiştir. Ekstrüderin hareketini sağlayan tasarım CNC için yapılarak 3B yazıcıya monte edilmiştir. FDM yöntemi ile parça üretilerek kesici ucun, nozul ile aynı yolu izleyerek parça yüzeyinden talaş kaldırması sağlanmıştır. Eklemeli imalat öncesi belirlenen üretim parametreleri mekanik özellikler, yüzey ve boyut kalitesi, üretim süresi gibi önemli kriterlere etki etmektedir. Bu sebeple üretim parametreleri ve parça kalitesi arasındaki ilişkinin anlaşılmasına ihtiyaç vardır. FDM parametrelerini, her bir parametrenin etkilerini ve bunların diğer parametrelerle etkileşimlerini belirleyen kritik parametrelerin ve özelliklerin belirlenmesi bu çalışmanın önemli hususlarından biridir. Katmanların kalınlığı ve üretim sıcaklığı parçanın özelliklerini etkileyen işleme parametrelerinin bazılarıdır. Eklemeli imalatta kullanılan termoplastik malzemeler genellikle düşük ergime noktasına sahip saf polimerlerdir. Bazı durumlarda, saf polimerin gücünün artırılması gerekir. Bu nedenle, birçok araştırmacı ve endüstri, matrisi bir takviye ile birleştirerek tek bir bileşenle elde edilemeyen yapısal özelliklere ve işlevsel faydalara sahip sistemler elde etmek için kullanılan 3B polimer kompozit filamentleri geliştirmiştir. Genellikle ticari olan saf polimerlerden yapılan filamentler doğrudan FDM malzemesi olarak kullanılabilir. Bu çalışmada malzeme olarak ticari karbon fiber takviyeli PLA ve normal PLA filamentler kullanılmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

Eklemeli imalat yöntemi, geleneksel imalatın çok zor ulaşabileceği ve hatta belki ulaşamayacağı önemli üretim yeteneklerine sahiptir. Ayrıca döküm yönteminde yüksek maliyet ve zamana sebep olan kalıp gibi üretim unsurlarına ihtiyaç duymamaktadır. Bir diğer yandan talaşlı imalat yönteminde olduğu gibi üretim sonrası ortaya çıkan talaş ve bu durumun sebep olduğu hurda maliyeti gibi sorunlar eklemeli imalatla ortadan kalkmakta ve eklemeli imalatı, geleneksel yöntemlerin bir adım daha ötesine taşımaktadır. Eklemeli imalatın her ne kadar önemli avantajları bulunsada eksik olduğu yönlerde geleneksel imalat yöntemleri bu açığı kapatmaktadır. Ortaya çıkan farklı tip eklemeli imalat yöntemleri ile bu eksiklikler giderilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar bir miktar işe yarasa da bazı durumlarda yetersiz olmuş ve eklemeli imalat kullanımını sınırlandırmıştır.

Eklemeli imalat teknolojisi birçok alanda kullanılmakta ve kullanım alanları giderek artmaktadır. Ancak eklemeli imalatın sınırlı kaldığı yönler vardır ve bu sınırlı kalan yönler hibrit imalat yöntemi ile giderilmektedir. Hibrit imalat yönteminde genellikle metalik malzemeler kullanılmaktadır. Ancak eklemeli imalat teknolojilerinde PLA ve ABS gibi mühendislik plastik malzemelerin kullanımı oldukça yaygındır ve eklemeli imalatın sınırlı kaldığı yönler termoplastik malzemeler için de geçerlidir. Bu nedenle termoplastik malzemelerin kullanıldığı hibrit imalat tasarımları da oldukça önemlidir. Literatürde konu hakkındaki sınırlı sayıdaki çalışmalar açıklanmıştır. Grguraš ve Kramar (2017), FDM ve freze ile işleme yöntemlerinin bir arada kullanıldığı bir hibrit imalat sistemi için optimizasyon çalışması yapmıştır. Bu çalışmada malzeme olarak PLA kullanılmıştır. Optimizasyon parametreleri malzeme kullanımı, üretim süresi ve yüzey kalitesi olarak belirlenmiştir. Farklı çaplara sahip nozullar ve farklı üretim parametreleri ile parçalar üretilmiştir. Çalışma sonucunda hibrit imalat yönteminin üretim süresini %44 azalttığı ve yüzey kalitesini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Li ve ark (2018), robot kol tasarımına sahip bir hibrit imalat sistemi tasarlamışlardır. Bu tasarımda FDM ve CNC yöntemleri değiştirebilir olarak tasarlanmıştır. PLA malzemenin kullanıldığı bu çalışmada FDM yönteminin neden olduğu merdiven basamağı etkisi CNC yöntemi ile ortadan kaldırılmıştır. Ulutan ve Dewey (2017) yaptıkları çalışmada hibrit imalat yöntemi içinde sıklıkla kullanılan CNC yerine metalik parçalar için çok sık kullanılan lazer parlatma yöntemini PLA termoplastik malzeme üzerinde kullanmışlardır. FDM yöntemi ile üretilen ve yöntemin getirdiği dezavantajlı durum olan aşırı pürüzlü yüzey, lazer parlatma yöntemi ile düzeltilmiş ve yüzey kalitesi artırılmıştır.

Lavecchia ve ark. (2018) eklemeli imalat yöntemlerinden olan FDM ile ABS malzemedan bir parça üretilmiştir. Üretilen parçanın pürüzlü yüzeyi CNC işleme yöntemi ile düzeltilmiştir. Literatürde yer alan sınırlı sayıdaki araştırmalar eklemeli imalatla yaygın kullanım alanı bulan ABS ve PLA termoplastikler üzerine yoğunlaşmış olup, bu çalışmada tasarımı ve imalatı yapılacak olan hibrit sistemde karbon fiber takviyeli ABS ve PLA malzemeler üzerindeki etkisinin araştırılması hedeflenmektedir. Lee ve ark. (2014), ABS malzemenin kullanıldığı FDM ve freze ile işleme yöntemlerinin birleştirildiği bir hibrit imalat tasarımı üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Beş eksenli bir hibrit imalat tasarımı oluşturmuşlardır. FDM ve freze kafaları çalışma sırasına göre değişebilecek şekilde tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda tasarımın üretim kabiliyetlerini değerlendirmek için 5 farklı parça üretilmiştir. 5 eksenli tasarım sayesinde 3 eksenli tasarımlarda gerekli olan destek malzeme kullanılmadan üretim gerçekleştirilmiş ayrıca

3 eksenli tasarımların üretemeyeceği açılarda üretim yapılabilmiştir. Freze kullanılması ile yüzey pürüzlülüğünün ve üretim süresinin azaldığı görülmüştür. Del-Sol ve ark. (2019), FDM yönteminin neden olduğu yüzey pürüzlülüğünü gidermek için frezeleme yöntemini kullanmışlardır. ABS malzemesi ile üretilen numuneler frezede işlenmiştir ve çalışma sonucunda yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. Boschetto ve ark. (2016) ABS malzemelerde yüzeyden talaş kaldırma işlemi sırasında kesme derinliğinin etkisini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre kesme derinliğinin, FDM ile üretim sırasında kullanılan biriktirme açısına bağlı olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda istenmeyen yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. Boschetto ve Bottini (2015), eklemeli imalat ile ABS malzemeden üretilmiş parçanın yüzey pürüzlülüğü üzerinde bir çalışma yapmıştır. Hibrit imalat yönteminin yüzey pürüzlülüğünü ortadan kaldırdığı ve parça kalitesini iyileştirdiği sonucuna varmışlardır.

Pandey ve ark. (2003) FDM yönteminin neden olduğu, istenmeyen merdiven basamağını gidermek için hibrit imalatı sık kullanılan CNC yöntemi yerine sıcak kesim işleme (HCM) yöntemini kullanmışlardır. ABS malzeme kullanılarak üretilen parçada merdiven basamağı etkisi bu yöntem ile ortadan kaldırılmıştır. Hur ve ark. (2002) hibrit imalat yönteminin tasarımında çok sık kullanılan FDM yöntemi yerine farklı bir prensibe dayalı olan SLA yöntemini kullanmışlardır. Termoset malzemeden üretilen parçanın yüzey kalitesinin iyileştirilmesi için CNC yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma sonunda farklı eklemeli imalat yöntemlerinin hibrit imalatı kullanılabilir olduğu, bunun yanı sıra tek bir kurulum ile parçaların istenen şekil ve kalitede üretilebileceği görülmüştür. Tezel (2020), yaptığı çalışmada mühendislik alanında çok sık kullanılan poliamid parçalarda farklı üretim yöntemlerinin etkilerini araştırmış ve karşılaştırmıştır. Poliamid parçalar eklemeli imalat ve döküm yöntemleri ile üretilmiş, matkap ve raybalama yöntemleri ile parça kaliteleri iyileştirilmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda eklemeli imalat yöntemi ile üretilen parçaların son işleme ihtiyaç duyduğu ve talaşlı imalat işlemi sonrası eklemeli imalat ile üretilmiş parçanın döküm ile üretilmiş parçaya göre daha kaliteli olduğu gözlemlenmiştir. Amanullah ve ark. (2017) hibrit imalat tasarımlarındaki hizalama sorununu üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Yapılan hibrit imalat tasarımında FDM ve CNC yöntemleri birleştirilmiş, hizalama sorununu çözmek için sensörler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda termoplastik malzemelerin tek bir kurulum ile hibrit imalat yöntemi sayesinde kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Guo ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada FDM üretim yönteminin merdiven basamağı etkisini gözlemlemişlerdir. Çalışmanın yürütülmesinde, biomedikal ve havacılık uygulamalarında kullanılan polimer-polietereterketon (PEEK) malzemesini ve bu malzemenin karbon fiber takviyeli olan türünü 3B yazıcıda üretmiş ve frezeleme ile merdiven basamağı etkisini azaltarak yüzey kalitesini iyileştirmeye çalışmışlardır. Yazdırma yönü, katman kalınlığı, kesme derinliği, kesici uç hızı ve dış başına ilerleme hızı araştırma parametreleri olarak belirlenmiştir. +45/-45 derecelik yazdırma yönü ve ince katman kalınlığı, frezeleme sonrası daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmesini sağlarken büyük kesme derinliği ve dış başına ilerleme hızı yüzey kalitesini düşürmüştür. Ayrıca iş mili hızının çok büyük etkiler göstermeksizin morfolojiyi etkileyebileceği görülmüştür. Tezel (2021), yaptığı çalışmada eklemeli imalat ile üretilmiş olan poliamidin yüzey kalitesinin hibrit imalat ile iyileştirilerek döküm yöntemi ile elde edilen poliamidin yüzey kalitesini erişip erişemeyeceğini incelemiştir. Hibrit imalat yönteminde eklemeli imalat olarak FDM ve geleneksel imalat yöntemlerinden frezeleme kullanılmıştır. Deney numuneleri PA6 malzeme ile üretilmiştir. Kesme derinliği, ilerleme hızı ve dönme hızının ortaya çıkan

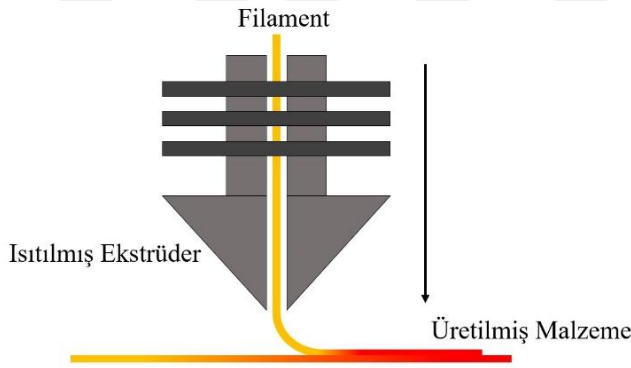
talaş üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Yüksek ilerleme hızı ve düşük dönme hızının yüzey kalitesinin iyileştirilmesinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bruni ve ark. (2020), çalışmalarında enjeksiyon kalıplama yönteminin çok fazla süreci olduğundan bahsederek eklemeli imalat yönteminin üretim yeteneğinden bahsetmişlerdir. Ancak eklemeli imalat yönteminin de eksik yanı olan boyutsal doğruluk, dalgalı yüzey ve yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi için eklemeli imalat sonrası frezeleme ile elde edilen yüzey kalitesi incelenmiştir. Çalışma sonucunda boyutsal doğruluk iyileştirilmiş ve yüzey pürüzlülüğü azaltılmıştır. Parandoush ve ark. (2019) bu araştırmada yüzey pürüzlülüğü ve kalitesi üzerinde durmuşlardır. Çalışmada eklemeli imalat yöntemi olarak FDM ve Lazer Destekli Lamine Nesne Üretimi (LA-LOM) yöntemlerini kullanarak karbon fiber takviyeli polimer malzemeden numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler CNC yardımı ile işlenmiştir. Çalışma sonucunda her iki eklemeli imalat yöntemi ile de üretilen numunelerin CNC sürecinden sonra yüzey pürüzlülüklerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Arnes-Urgelles ve ark. (2021), yaptıkları araştırmada eklemeli imalat ile üretilen parçaların geleneksel yöntemle işlenebilirliğini incelemişlerdir. Çalışmada FDM ve MultiJet Yazırma (MJP) olmak üzere iki farklı eklemeli imalat yöntemi kullanılmıştır ve malzeme olarak ABS kullanılmıştır. 30x30x10 mm boyutlarında numuneler üretilerek frezeleme sonrası yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünde en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu ve FDM yönteminin frezelemeye daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada ise hibrit imalat yöntemi ile yüzey kalitesinin iyileştirilebilir olup olmadığını görmek amacıyla FDM yöntemi ile üretilen numuneler kesici uç ile işlenmiştir. Çalışmada PLA ve karbon fiber takviyeli PLA malzemeleri kullanılarak yüzey ve boyut kalitesindeki değişim incelenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. FDM Tipi 3B Yazıcı

Eklemeli imalat yönteminin zaman içinde meydana gelen çok sayıda alt dallarından biri olan FDM tipi oldukça popüler bir yöntemdir. Kullanım kolaylığı, çok sayıda malzeme çeşitliliği, erişim kolaylığı ve malzemelerin nispeten ucuz olması FDM tipi yöntemin popüler olmasında en önemli etkenlerdendir. Bu yöntem katmanları ergiterek üst üste biriktirme prensibine dayanmaktadır (Şekil 3.1). Yazıcıya yerleştirilen filament olarak adlandırılan malzeme ekstrüder yardımı ile sıcak uca doğru ittilir. Malzeme sıcak uçta ergime sıcaklığına ulaştığında nozuldan çıkarak ergiyik halde yazdırma plakasının üzerine serilir. Bilgisayar üzerinde belirlenen yola göre yazdırma plakası veya nozul x ve y eksenlerinde hareket ederek katmanı sermeye devam eder. İlk katman bittiğinde nozul z ekseninde yükselerek ikinci katmanı sermeye hazırlanır. Nozul veya yazdırma tablası yine bilgisayar üzerinde belirlenen yola bağlı olarak x ve y eksenlerinde hareket ederek ikinci katmanı ilk katmanın üzerine sererek katmanların yapışmasını sağlar. Bu işlemin modelin boyutlarına bağlı olarak tekrarlanması sonucu istenen model elde edilir.



Şekil 3.1 FDM tipi eklemeli imalat

Çalışma sürecinde seçilmiş olan FDM yöntemi için 3B yazıcı olarak Creality3D markasına ait, piyasada oldukça yaygın olarak kullanılan Ender-3 model yazıcı (Şekil 3.2), deney numunelerinin üretimi için kullanılmıştır. Ender-3 modeli, 220x220x250 ölçülerinde yazdırma tablasına sahip ve maksimum yatak sıcaklığı 110 °C'dir. 0,4 mm çapına sahip nozul ile 1,75 mm çapına sahip mühendislik plastikleri ile imalat yapılabilir. 3B yazıcının kontrolleri LCD ekran üzerinden yapılmaktadır. Çalışmada kullanılan üretim parametreleri Çizelge 3.1'de yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Üretim parametreleri

Üretim hızı	: 50 mm/s
Katman kalınlığı	: 0,2/0,4 mm
Tabla sıcaklığı	: 60 °C
Üretim sıcaklığı	: 190 °C/210 °C
Üretim yönü	: +45°/-45°



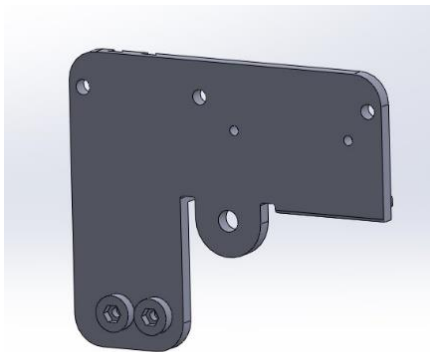
Şekil 3.2. Creality3D Ender 3 yazıcı

3.2. Hibrit İmalat

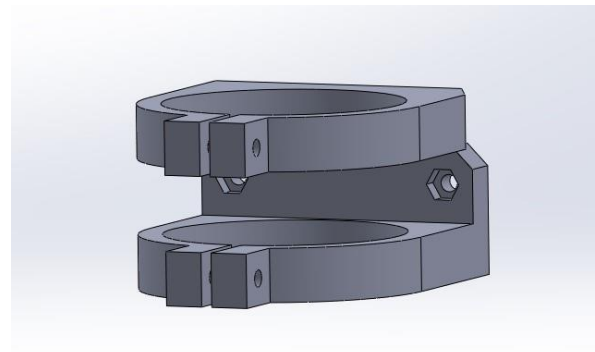
Şekil 3.2’de yer alan yazıcının hibrit imalata dönüştürülmesi sürecinde parça imalatı yapılmış, motor ve kesici takım tedarik edilerek hibrit imalat makinesi tasarımı gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Üretilen Parçalar

Çalışmada talaşlı işleme yöntemlerinden olan frezeleme yöntemi kullanılmıştır. Bu nedenle yüzey kalitesini düzeltmek ve istenen hedefe ulaşmak amacıyla yazıcı üzerine bir freze takımı eklenmiştir. Bu takımın kontrolünü sağlamak amacıyla 3B yazıcı tasarımında bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu doğrultuda gerekli olan parçalar, PLA malzeme kullanılarak yazıcı ile üretilmiş ve aynı yazıcı üzerinde bulunan orijinal parçalar ile değiştirilmiştir. Sıcak uç ve nozulu taşıyan, x ekseninde hareket eden metal plaka, yeni tasarımda sıcak uç, nozul ve DC motor tutucuyu taşımak üzere tasarlanmış ve üretilmiş olan plaka parçası (Şekil 3.3a) ile değiştirilmiştir. Sıcak uç fanını içinde bulunduran kutu tamamen sökülmüş ve yerine fanı tutması için plakaya bağlı bir tutucu üretilmiştir. Ayrıca kesici ucun hareketini aldığı DC motoru tutması için plakaya monte edilebilmek üzere tasarlanmış DC motor tutucu parça üretilmiş (Şekil 3.3b) ve cıvata somun bağlantılarıyla montaj gerçekleştirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.3. a) Üretilen plaka; b) DC motor tutucu

3.2.2. Motor

DC motor, doğru akım enerjisini mekanik enerjiye çeviren bir makinedir. İçerisinde bulunan sargılardan elektrik akımı geçmesi ve içerisinde bulunan mıknatısa zıt yönde manyetik kuvvet meydana gelmesi ile motor harekete geçmektedir. Çok geniş bir kullanım alanına sahip olup yaygın olarak kullanılmaktadır.

Parça üretilirken katmanlar üzerinden talaş kaldırmak için bir kesici freze ucu ve frezenin hareketini alması için RS 775 DC rulmanlı motor kullanılmıştır (Şekil 3.4). Kullanılan rulmanlı motor 12-36 V aralığında çalışan ve 5mm şaft çapına, 17 mm şaft uzunluğuna, 44mm gövde çapına ve 66 mm motor uzunluğuna sahiptir. 12 V gerilim için 3500 RPM, 36 V gerilim için ise 9000 RPM hıza sahiptir. Motor üzerindeki hava boşlukları nedeniyle soğutma için fan kullanılmamıştır. 3B yazıcı üzerinde bulunan ve model soğutma görevi gören 24 V gerilim değerine sahip olan fanın kabloları motora bağlanarak motora güç sağlanmıştır. Fan çıkışının gerilim değeri olan 24 V ile 6000 RPM elde edilerek motor kullanılmıştır.



Şekil 3.4. RS775 DC motor

3.2.3. Kesici Takım

Kesici uç olarak yüksek hız çeliğinden (HSS) yapılmış parmak freze seçilmiştir. Bu seçimin nedeni literatür taraması sırasında görülen mühendislik malzemelerin HSS parmak freze işlemede başarılı olmasıdır. Parmak freze 6mm şaft çapına, 3 mm kesici uç çapına 52 mm boya sahiptir ve 4 ağızlıdır (Şekil 3.5a). Parmak frezenin motora bağlanması için ER11 5mm şaft tutucu (Şekil 3.5b) DC motora bağlanmıştır ve şaft tutucu içine 6 mm pens (Şekil 3.5c) yerleştirilmiştir. Nozul ve freze ucunun z eksenindeki yükseklikleri eşit olarak ayarlanmıştır.



(a)



(b)



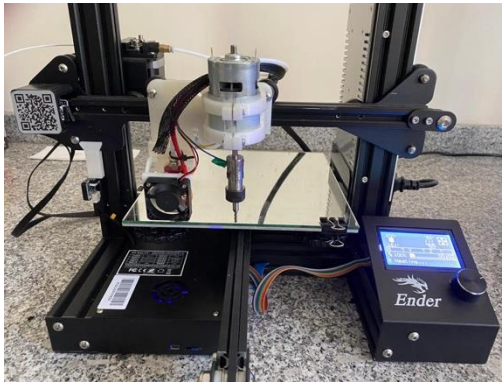
(c)

Şekil 3.5. a) 3mm freze ucu; b) ER11 5mm şaft tutucu; c) 6 mm pens.

3.2.4. Hibrit İmalat Makinesi Üretimi

Hibrit imalat kombinasyonları çok farklı üretim yöntemlerinin birleşiminden meydana gelebilir. Bunun amacı eksik yönlerin giderilerek yöntemlerin sadece üstün yönlerinin toplanması ve verimli bir üretim gerçekleştirmektir. Ancak bir yöntem ile üretilen parçanın sökülerek başka bir platforma taşınması da bir zaman kaybına sebep olmaktadır. Bu da verimli bir üretim süreci sağlayamamaktadır. Tez kapsamında 3 boyutlu yazıcı ve talaşlı imalat birleştirilerek tek seferde üretimin gerçekleştirilebileceği bir makine üretilmiştir.

Yapılan çalışmada ise 3B üretim ve talaşlı işleme yöntemleri birleştirilerek hibrit imalat makinesi (Şekil 3.6) üretilmiştir. Makinenin yapımı için öncelikle Creality markasına ait Ender-3 model bir 3 boyutlu yazıcı kullanılmıştır. Yazıcı üzerinde, kesici uç ve DC motor montajı için bazı değişiklikler yapılmıştır. Sıcak uç ve fanı taşıyan plaka sökülerek yerine sıcak uç ve DC motoru tutacak olan aparatın monte edilebilmesine uygun daha geniş bir plaka yine 3B yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Kesici uç ve nozulun aynı seviyede olmasını sağlamak amacıyla plakanın sıcak uç taşıyan bölümü -z eksenini boyunca uzatılmış ve nozul, olması gerekenden 60 mm daha aşağı yerleştirilmiştir. Nozulun orijine geldiği sırada, yazdırma tablasına çarpmaması için limit switch konumu değiştirilmiştir ancak kablo boyu yetmemiş ve anahtarın kapanabilmesi için z ekseninde hareket etmek üzere ek bir parça üretilmiştir. DC motorun plakaya monte edilebilmesi için bir DC motor tutan bir parça 3B yazıcıda üretilmiştir. Üretilen tutucu plakaya M3 cıvata somun bağlantısı ile bağlanmıştır. DC motor ve tutucusu, nozul gibi -z ekseninde kaydırılmamış plakanın tam ortasındaki x eksenini üzerinde tutulmuştur. Bunun nedeni DC motorun neden olduğu yüksek titreşimin en az seviyeye indirilmeye çalışılmasıdır. Önceki plaka tasarımlarında sıcak uç konumu sabit tutulmuş plaka üzerindeki DC motor tutucu alanı +z boyunca uzatılmıştır ancak titreşimin çok fazla olduğu görülmüş ve plaka tasarımı değiştirilmiştir. DC motor ihtiyaç duyduğu elektriği parça soğutma fanı çıkışlarından almıştır. Parça soğutma fanı ve DC motor paralel bağlı bir devre ile aynı çıkıştan beslenmektedir. Parça soğutma fanının mevcut konumu değiştirilerek nozulun sol tarafına, yine 3B yazıcıda üretilen bir parça yardımı ile plakaya sabitlenmiştir.



Şekil 3.6. Hibrit imalat makinesi

3.3. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Çalışmada verileri gözlemlemek için yazıcı ile uyumlu olan PLA ve karbon fiber takviyeli PLA malzemeler kullanılmıştır. PLA piyasada oldukça yaygın olarak kullanılan çok ucuz bir 3B yazıcı malzemesidir. Mısır nişastası gibi karbonhidrat kaynaklı malzemelerin fermentasyon gibi çeşitli işlemlerden geçirilmesi sonunda elde edilen bir plastik türüdür ve bu nedenle mekanik olarak geri dönüştürülebilir ve sağlığa zararlı değildir. Toksik olmaması özelliği ile tıbbi malzeme ve gıda ambalajlama gibi alanlarda kullanılabilir. Belirli şartlar altında biyobozunuma uygundur ve termoplastik olmaları nedeniyle ergitilerek yeniden şekillendirilebilirler. Yarı kristalli bir polimer türüdür, camsı geçiş sıcaklığı 55 °C civarında, ergime sıcaklığı ise 180 °C civarındadır. PLA türü filamentlerin kullanımı kolaydır ve üretim sırasında yatak sıcaklığına ihtiyaç duymaz. Üretim sıcaklıkları 200-235 °C derece arasında değişmektedir. Ayrıca eklemeli imalatla filament olarak kullanımı dışında PLA malzemesi enjeksiyon kalıplama, termoform, dökme film ve tabak gibi farklı üretim yöntemlerinde de kullanılmaktadır. (Valerga ve ark., 2018)

Karbon fiber oldukça hafif ancak bu hafifliğine karşın dayanımı çok yüksek bir teknoloji ürünüdür. Bu teknoloji eklemeli imalat alanına da girmiş ve 3B üretim malzemeleri arasında yerini bulmuştur. Çok ince ve kısa karbon fiber teller PLA malzemesinin içine karıştırılarak karbon fiber takviyeli PLA malzemesi elde edilmektedir. PLA içerisinde bulunan kısa karbon fiber teller malzemenin dayanımının artmasını sağlamaktadır. Ancak karbon fiber içeren filamentler zamanla ekstrüderlerin aşınmasına da sebep olmaktadır. Üretici firmanın üretim koşullarına bağlı olarak PLA gibi ana malzeme içerisindeki karbon fiber oranı da değişebilmektedir. (Tian ve ark., (2016).

PLA malzemesinin yanında çalışmada ayrıca kompozit bir malzeme olarak karbon fiber takviyeli malzeme de numune üretmek için kullanılmıştır. Karbon fiber takviyeli filamentler ürünün daha hafif ve dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda çalışmada kullanılmak üzere alınan filamentler Frosch markasına ait siyah renkli PLA ve karbon fiber takviyeli PLA filamentlerdir.

Çalışmada, PLA ve karbon fiber takviyeli PLA filament (Şekil 3.7) kullanılarak 3B yazıcıda ve hibrit imalatla 15 mm x 15 mm x 15 mm boyutlarında kübik numuneler tekrarlı olarak üretilmiştir.



Şekil 3.7. PLA ve karbon fiber takviyeli PLA filamentler

3.4. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

3.4.1. Hassas terazi

Çalışma için tasarlanan cihazda hibrit imalat yöntemi ile üretilmiş olan ve 3B yazıcıda üretilen numunelerin ağırlık ve yoğunluk ölçümleri Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon Laboratuvarı'nda bulunan hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti (Şekil 3.8) ile ölçülmüştür. Ölçüm için kullanılan hassas terazi Ohaus Pioneer PA224C marka ve model olup 220g ölçüm kapasitesine, 0,0001 g ölçüm hassasiyetine ve yoğunluk ölçüm ekipmanına sahip bir cihazdır.



Şekil 3.8. Hassas Terazi

Deneyler için iki farklı malzeme ile sekizer adet olmak üzere toplam 16 adet parametre üzerinde çalışılmıştır. Deney koşulları belirlenirken üretim sıcaklığı, katman kalınlığı gibi farklı parametreler dikkate alınmıştır. Her bir numune tekrarlı olarak tartılmıştır ve kayıt altına alınmıştır. Benzer şekilde yoğunluk ölçümleri de tekrarlı olarak yapılmıştır. Ayrıca numunelerin yüzey özelliklerinin korunması amacıyla yoğunluk analizleri en son yapılacak şekilde planlanmıştır.

3.4.2. Mikroskop

3B yazıcıda üretilen ve hibrit imalat ile üretilmiş numunelerin yüzey incelemesinin daha detaylı yapılması için numuneler stereo mikroskop ile incelenmiştir. Bu incelemeler için Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Takım Tezgâhları ve Prototipleme Laboratuvarında bulunan SOIF mikroskop (Şekil 3.9) kullanılmıştır. Bu mikroskop ile her iki yöntem ile üretilmiş numunelerin yüzey karakteristikleri incelenmiştir.



Şekil 3.9. Stereo mikroskop

3.4.3. Boyutsal doğruluk

3B yazıcıda üretilen ve hibrit imalat ile üretilen numunelerin boyutları 0-25 mm ölçüm aralığına sahip 0,01 mm ölçüm hassasiyetine sahip mikrometre (Şekil 3.10) ile tekrarlı olarak ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Çalışma sonucunda yer verilen boyutsal doğruluk değerleri numunelerin yükseklikleri (Şekil 3.11b'ye göre z yönü) ölçülerek elde edilmiştir.



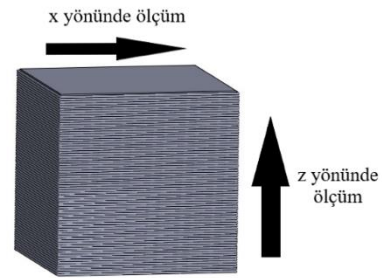
Şekil 3.10. Mikrometre

3.4.4. Yüzey pürüzlülüğü

3B yazıcıda üretilen ve hibrit imalat ile üretilen numunelerin yüzey pürüzlülükleri Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Takım Tezgâhları ve Prototipleme Laboratuvarında bulunan Mahr markasına ait MarSurf PS 10 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı (Şekil 3.11a) ile kayıt altına alınmıştır. Numunelerin yüzey pürüzlülükleri hem x hem de z ekseninde ölçülmüştür. Bu sayede numune üzerinde üretim yönüne dik ölçülmesi nedeniyle en yüksek olan pürüzlülük değerleri ve katmanlar arasındaki durumun anlaşılabilmesi için yatakla paralel eksenin son katmanı üzerinden ölçüm alınmıştır. Tüm ölçümler üçer defa yapılmış ve bu ölçümlerin ortalamaları alınarak sonuçlar oluşturulmuştur. Şekil 3.11b'de ok yönü yüzey pürüzlülüğü ölçüm yönünü ifade etmektedir. Yüzey profilleri ise z yönünde yani üretim yönüne dik bir şekilde alınarak eklemeli imalattaki merdiven etkisi incelenmiştir.



a) Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı



b) Numuneler üzerindeki ölçüm yönleri

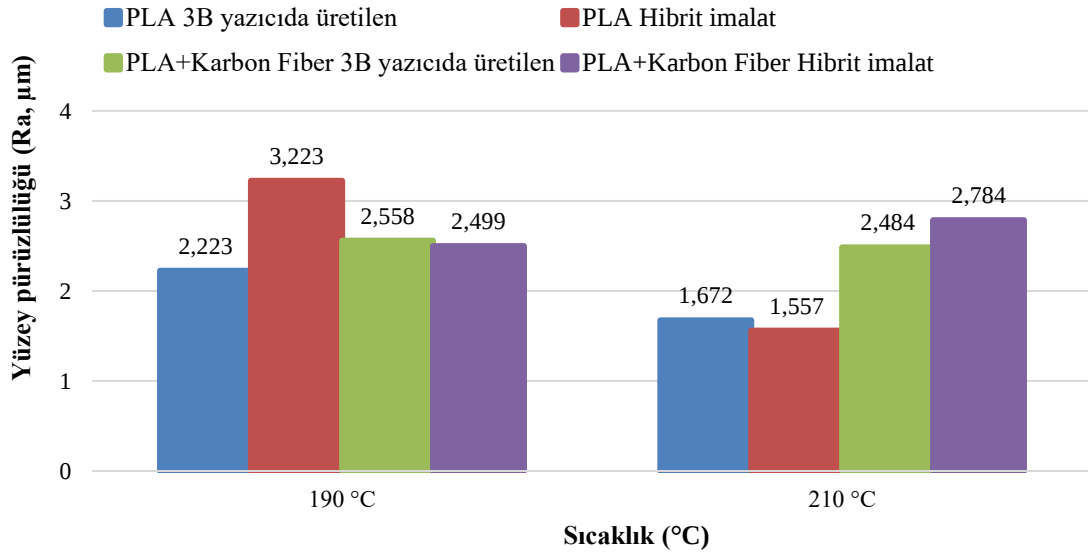
Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan cihaz ve ölçüm şekli

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Yüzey pürüzlülüğü

Çalışmada, hibrit imalat yöntemi ile üretilen numunelerin yüzey pürüzlülükleri ve 3B yazıcıda üretilen numunelerin yüzey pürüzlülükleri karşılaştırılarak incelenmiştir. Eklemeli imalatın neden olduğu pürüzlü yüzeyin talaşlı imalat ile giderilerek yüzey kalitesinin artırılması hedeflenmiştir.

Şekil 4.1’de x ekseninde 0,2 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğünün farklı malzemeler, üretim teknikleri ve üretim sıcaklığı değerlerindeki değişimleri görülmektedir. 190 °C üretim sıcaklığında yüzey kalitesi, PLA ile 3B yazıcıda üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 2,223 μm , hibrit imalat ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü ise 3,223 μm olarak belirlenmiştir. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 2,558 μm olarak ölçülürken, hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin pürüzlülüğü yakın bir değer olan 2,499 μm olarak ölçülmüştür. 190 °C sıcaklıkta yüzey kalitesi sırasıyla en yüksek PLA 3B yazıcıda üretilen, PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen ve PLA hibrit imalatla üretilen şeklinde sıralanmıştır. 190 °C üretim sıcaklığında PLA üretiminde hibrit imalat ile yüzey kalitesinde iyileşme sağlanamazken, karbon fiber takviyeli PLA malzeme imalatında hibrit imalatın olumlu etkisi görülmüştür. 210 °C üretim sıcaklığında yüzey kalitesi, PLA ile 3B yazıcıda üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 1,672 μm , hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü ise 1,557 μm olarak belirlenmiştir.

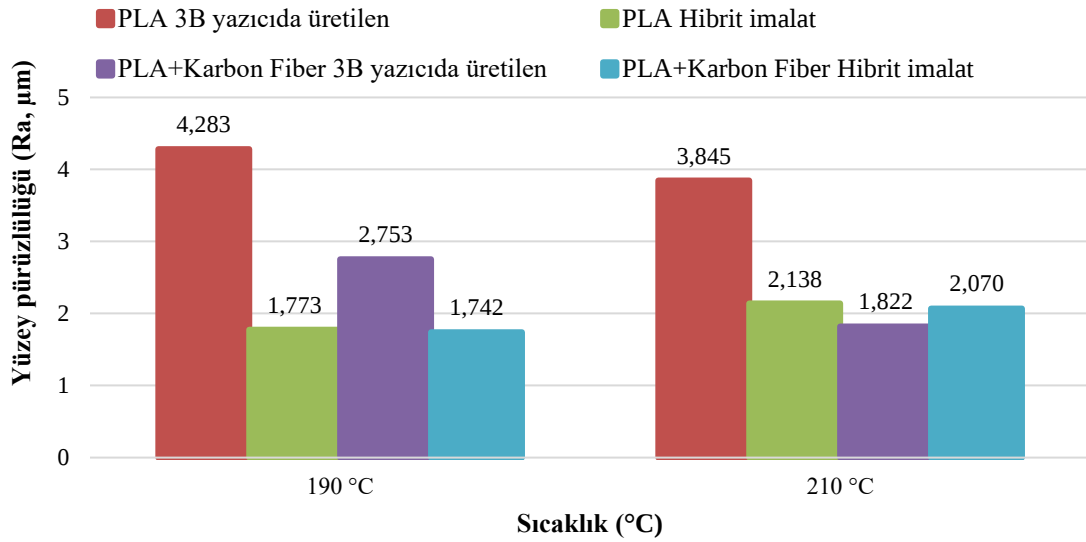


Şekil 4.1. x ekseninde 0,2 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğü

Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcıda üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 2,484 μm , hibrit imalat ile üretilen numunenin pürüzlülüğü ise 2,784 μm olarak tespit edilmiştir. 210 °C sıcaklıkta üretilen numuneler için yüzey kaliteleri sırasıyla en yüksek PLA hibrit imalatla üretilen, PLA 3B yazıcıda üretilen, PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen ve PLA karbon fiber takviyeli hibrit imalatla üretilen olarak

belirlenmiştir. 210 °C üretim sıcaklığında PLA malzemede hibrit imalat ile yüzey kalitesinde artış görülürken karbon fiber takviyeli PLA malzemesi kullanılan numunelerde hibrit imalatın yüzey kalitesini iyileştirmediği görülmüştür. Sıcaklık artışının yüzey kalitesine etkisini görmek için yüzey kaliteleri karşılaştırıldığında 190 °C'den 210 °C'ye artan sıcaklık ile PLA malzemede hem 3B yazıcıda yüzey kalitesinin iyileştiği hem de hibrit imalat makinesinde yüzey kalitesinin arttığı görülmüştür. Benzer şekilde üretim sıcaklığı artışıyla karbon fiber takviyeli PLA ile 3B yazıcıda yüzey kalitesinin arttığı ancak hibrit imalat ile azaldığı anlaşılmıştır.

Şekil 4.2'de x ekseninde 0,4 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğünün farklı malzemeler, üretim teknikleri ve üretim sıcaklığı değerlerindeki değişimleri yer almaktadır. 190 °C üretim sıcaklığında yüzey kalitesi, PLA'dan 3B yazıcı ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 4,283 μm , hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü ise 1,773 μm olarak belirlenmiştir. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcıda üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 2,753 μm , hibrit imalatla üretilen numunenin pürüzlülüğü 1,742 μm olarak ölçülmüştür. 190 °C sıcaklıkta yüzey kalitesi sırasıyla en yüksek PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA hibrit imalatla üretilen, PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen ve PLA 3B yazıcıda üretilen şeklinde sıralanmıştır. 190 °C üretim sıcaklığında 0,4 mm katman kalınlığında x eksen yönünde hem PLA malzeme kullanılarak üretilen numunelerde hem de karbon fiber takviyeli PLA malzemede hibrit imalatın yüzey kalitesini artırma konusunda büyük bir iyileştirme sağladığı görülmüştür. 210 °C üretim sıcaklığında yüzey kalitesi, PLA'dan 3B yazıcı ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 3,845 μm , hibrit imalat ile üretilen numunenin ise 2,138 μm olarak elde edilmiştir.



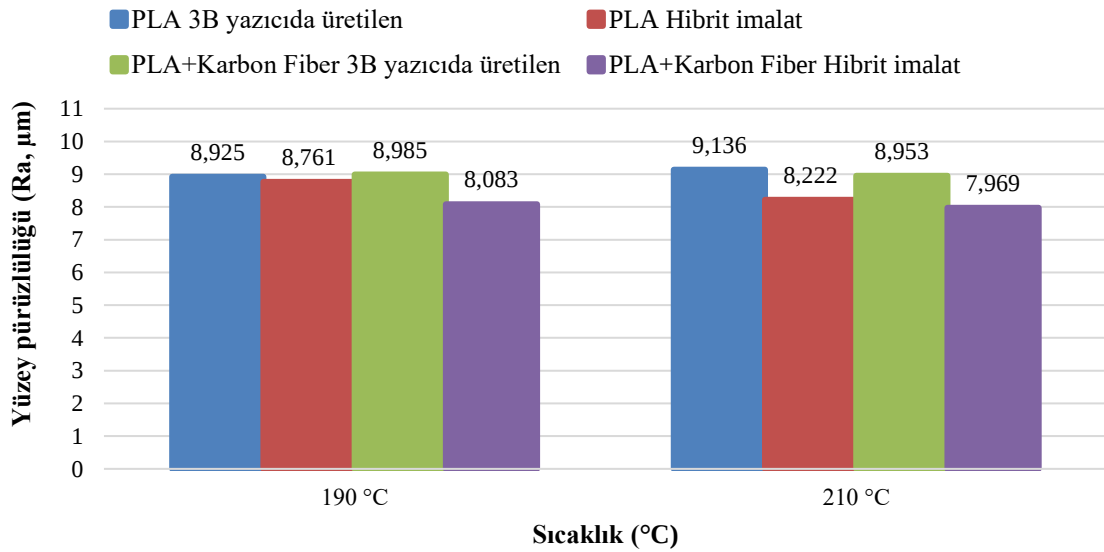
Şekil 4.2. x ekseninde 0,4 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğü

Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcıda üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 1,822 μm , hibrit imalatla üretilenin ise 2,070 μm olarak ölçülmüştür. 210 °C sıcaklıkta üretilen numuneler için yüzey kaliteleri sırasıyla en yüksek PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen, PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA hibrit imalatla üretilen ve PLA 3B yazıcıda üretilen olarak belirlenmiştir. 210 °C üretim sıcaklığında

PLA üretiminde hibrit imalat ile yüzey kalitesinde önemli ölçüde iyileşme sağlanırken, karbon fiber takviyeli PLA malzeme imalatında hibrit imalatın yüzey kalitesinde iyileştirme sağlamadığı görülmüştür. Sıcaklık artışının yüzey kalitesine etkisini görmek için yüzey kaliteleri karşılaştırıldığında 190 °C’den 210 °C’ye artan sıcaklık ile PLA’dan 3B yazıcı ile üretimde yüzey kalitesinin iyileştiği görülürken, hibrit imalat makinesinde yüzey kalitesi azalmıştır. Karbon fiber takviyeli PLA ile 3B yazıcıda yüzey kalitesinin arttığı ancak hibrit imalat ile azaldığı görülmüştür.

Katman kalınlığı artışının yüzey kalitesine etkisini görmek için Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 karşılaştırılmıştır. 0,2 mm’den 0,4 mm’ye artan katman kalınlığı ile yüzey kalitesinin 190 °C üretim sıcaklığında, PLA malzeme ile 3B yazıcıda azaldığı, PLA malzeme ile hibrit imalatla arttığı, karbon fiber takviyeli PLA ile 3B yazıcıda azaldığı ve karbon fiber takviyeli PLA ile hibrit imalatla arttığı görülmüştür. 210 °C üretim sıcaklığında PLA malzeme ile hem 3B yazıcıda hem de hibrit imalatla azaldığı, karbon fiber takviyeli PLA ile 3B yazıcıda ve hibrit imalatla arttığı görülmüştür.

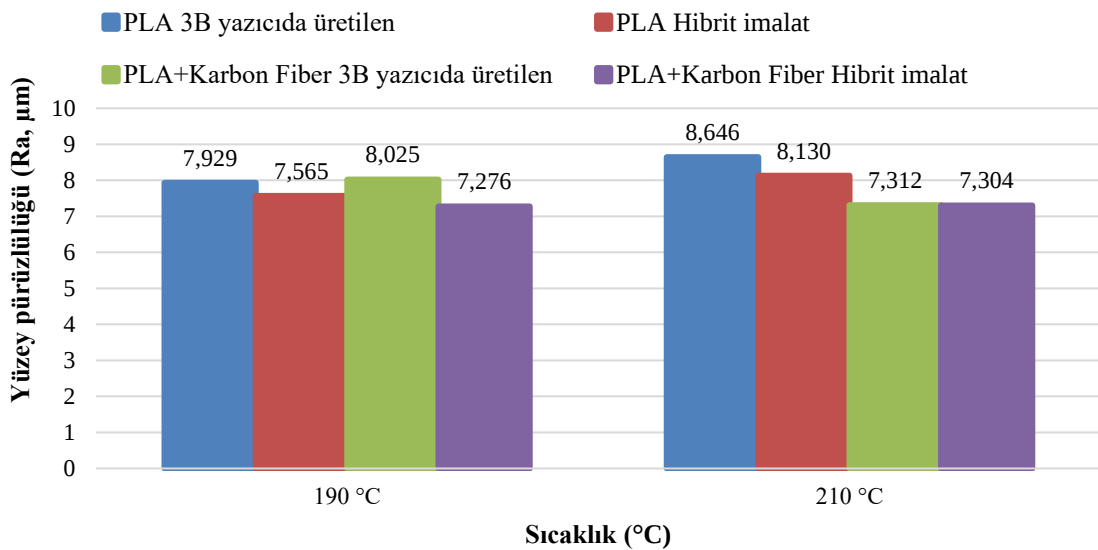
Şekil 4.3’te z ekseninde 0,2 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğünün farklı malzemeler, üretim teknikleri ve üretim sıcaklığı değerlerindeki değişimleri yer almaktadır. 190 °C üretim sıcaklığında yüzey kalitesi, PLA ile 3B yazıcıda üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 8,925 μm , hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü ise 8,761 μm olarak belirlenmiştir. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 8,985 μm , hibrit imalatla üretilen numunenin pürüzlülüğü 8,083 μm olarak ölçülmüştür. 190 °C sıcaklıkta yüzey kalitesi sırasıyla en yüksek PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA hibrit imalatla üretilen, PLA 3B yazıcıda üretilen ve PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen şeklinde sıralanmıştır. 190 °C üretim sıcaklığında hem PLA hem de karbon fiber takviyeli PLA üretiminde hibrit imalat yönteminin yüzey kalitesinde iyileşme sağladığı görülmektedir. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme ile yapılan hibrit imalatla PLA malzemeye göre yüzey kalitesini daha fazla arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. z ekseninde 0,2 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğü

210 °C üretim sıcaklığında yüzey kalitesi, PLA malzemedan 3B yazıcıda üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 9,136 μm , hibrit imalat ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü ise 8,222 μm olarak belirlenmiştir. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcıda üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 8,953 μm , hibrit imalatla üretilen numunenin pürüzlülüğü 7,969 μm olarak ölçülmüştür. 210 °C sıcaklıkta üretilen numuneler için yüzey kaliteleri sırasıyla en yüksek PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA hibrit imalatla üretilen, PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen ve PLA 3B yazıcıda üretilen olarak belirlenmiştir. 210 °C üretim sıcaklığında hem PLA üretiminde hem de karbon fiber takviyeli PLA malzeme ile hibrit imalat yönteminin yüzey kalitesinde önemli iyileşme sağladığı görülmüştür. Sıcaklık artışının yüzey kalitesine etkisini görmek için yüzey kaliteleri karşılaştırıldığında 190 °C'den 210 °C'ye artan sıcaklık ile PLA malzeme ile 3B yazıcıda yüzey kalitesinin azaldığı görülürken, hibrit imalatla yüzey kalitesi artmıştır. Karbon fiber takviyeli PLA ile hem 3B yazıcıda hem de hibrit imalatla yüzey kalitesinin iyileştiği görülmüştür.

Şekil 4.4'te z ekseninde 0,4 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğünün farklı malzemeler, üretim teknikleri ve üretim sıcaklığı değerlerindeki değişimleri görülmektedir. 190 °C üretim sıcaklığında yüzey kalitesi, PLA malzemedan 3B yazıcı ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 7,929 μm , hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü ise 7,565 μm olarak belirlenmiştir. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 8,025 μm olarak ölçülürken hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin pürüzlülüğü ise 7,276 μm 'dır. 190 °C sıcaklıkta yüzey kalitesi sırasıyla en yüksek PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA hibrit imalatla üretilen, PLA 3B yazıcıda üretilen ve PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen şeklinde sıralanmıştır. 190 °C üretim sıcaklığında hem PLA üretiminde hem de karbon fiber takviyeli PLA malzeme ile hibrit imalat yönteminin yüzey kalitesinde önemli iyileşme sağladığı belirlenmiştir. 210 °C üretim sıcaklığında yüzey kalitesi, PLA malzemedan 3B yazıcı ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 8,646 μm , hibrit imalat ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü ise 8,130 μm olarak belirlenmiştir.

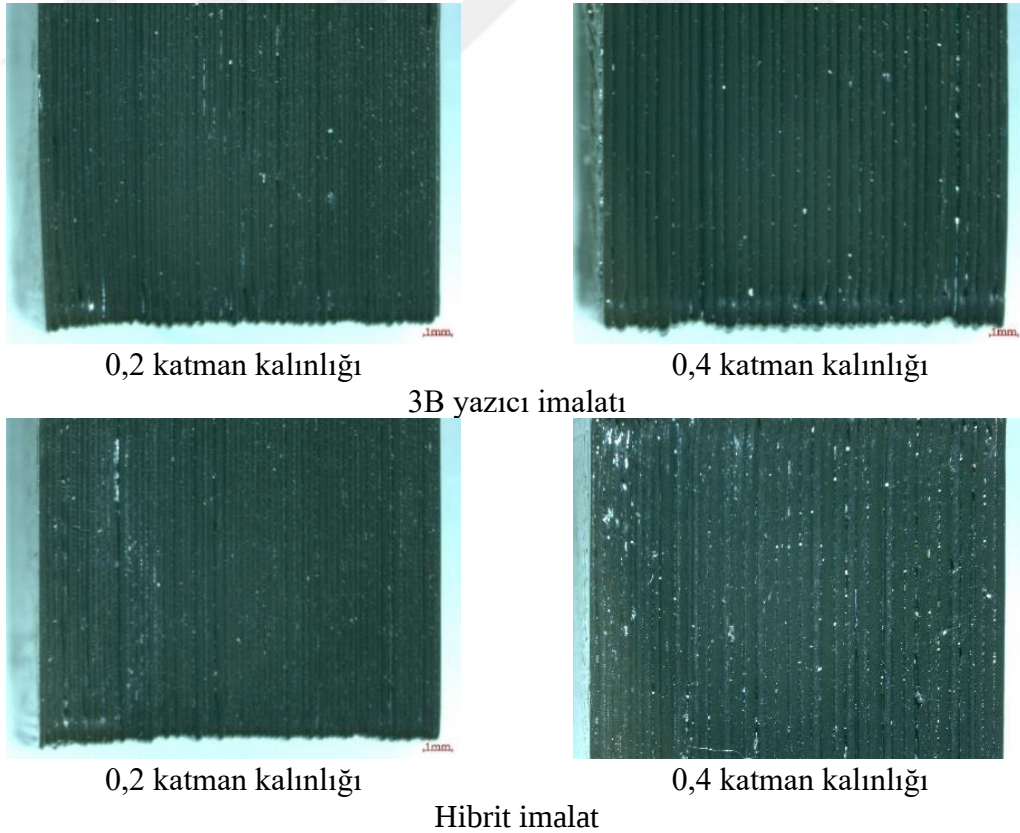


Şekil 4.4. z ekseninde 0,4 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğü

Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin yüzey pürüzlülüğü 7,312 μm , hibrit imalat ile üretilen numunenin pürüzlülüğü 7,304 μm olarak ölçülmüştür. 210 °C sıcaklıkta üretilen numuneler için yüzey kaliteleri sırasıyla en yüksek PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen, PLA hibrit imalatla üretilen, PLA 3B yazıcıda üretilen olarak belirlenmiştir. 210 °C üretim sıcaklığında PLA üretiminde hibrit imalat yönteminin yüzey kalitesinde önemli iyileşme sağladığı, karbon fiber PLA malzeme ile yapılan hibrit imalatın çok az bir miktar da olsa yüzey kalitesini iyileştirdiği görülmüştür. Sıcaklık artışının yüzey kalitesine etkisini görmek için yüzey kaliteleri karşılaştırıldığında 190 °C'den 210 °C'ye artan sıcaklık ile PLA malzeme ile hem 3B yazıcıda hem de hibrit imalat ile üretimde yüzey kalitesinin azaldığı görülmüştür. Karbon fiber takviyeli PLA malzemede ise 3B yazıcıda yüzey kalitesinde artış görülmüş, hibrit imalatla ise pürüzlülüğün arttığı gözlemlenmiştir. Katman kalınlığı artışının yüzey kalitesine etkisini görmek için farklı katman kalınlığına sahip numunelerin yüzey kaliteleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 yardımıyla karşılaştırılmıştır. 0,2 mm'den 0,4 mm'ye artan katman kalınlığı ile yüzey kalitesinin hem 190 °C hem de 210 °C üretim sıcaklığında tüm malzeme ve üretim teknikleri için iyileştiği görülmüştür.

4.2. Mikroskop görüntüleri

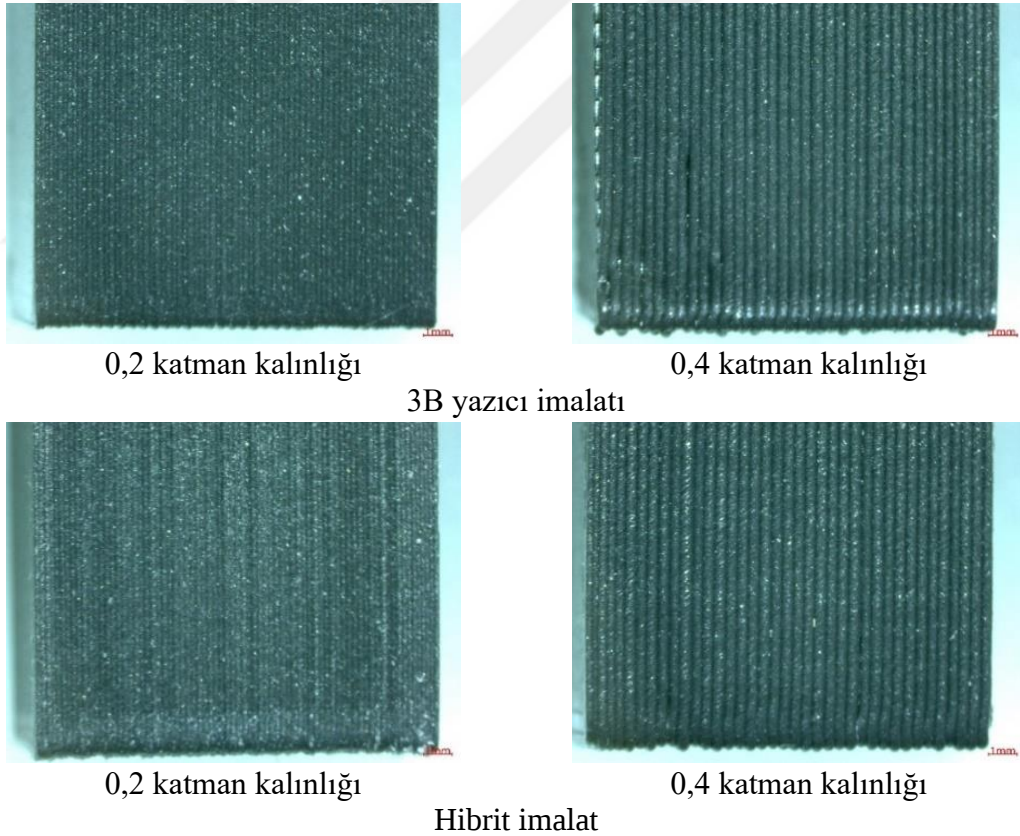
Üretilen numunelerin mikroskop altında yüzey incelemesi yapılmış ve görüntüleri kaydedilmiştir ve Şekil 4.5'te yer almaktadır.



Şekil 4.5. PLA malzemeye 190 °C üretim sıcaklığında yüzeye katman kalınlığı ve üretimin etkisi

Şekil 4.5'te PLA malzeme için 190 °C üretim sıcaklığında yüzey kalitesine katman kalınlığı ve üretim şeklinin etkisi görülmektedir. 0,2 mm katman kalınlığında 3B yazıcıda ve hibrit imalat ile üretilmiş numuneler karşılaştırıldığında hibrit imalat ile katman üzerindeki düzensizliklerin azaldığı görülmektedir. 0,4 mm katman kalınlığına bakıldığında hibrit imalat numunesinin ilk katmanlarında nispeten bozuk katmanlar görülmektedir. Bu durumun, kesici uca yapışan talaşların veya nozul mesafesinin fazla yakın olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. 0,2 mm katman kalınlığından 0,4 mm kalınlığına geçildiğinde yani katman kalınlığının artışıyla yüzeydeki düzgünsüzlüklerin arttığı görülmektedir.

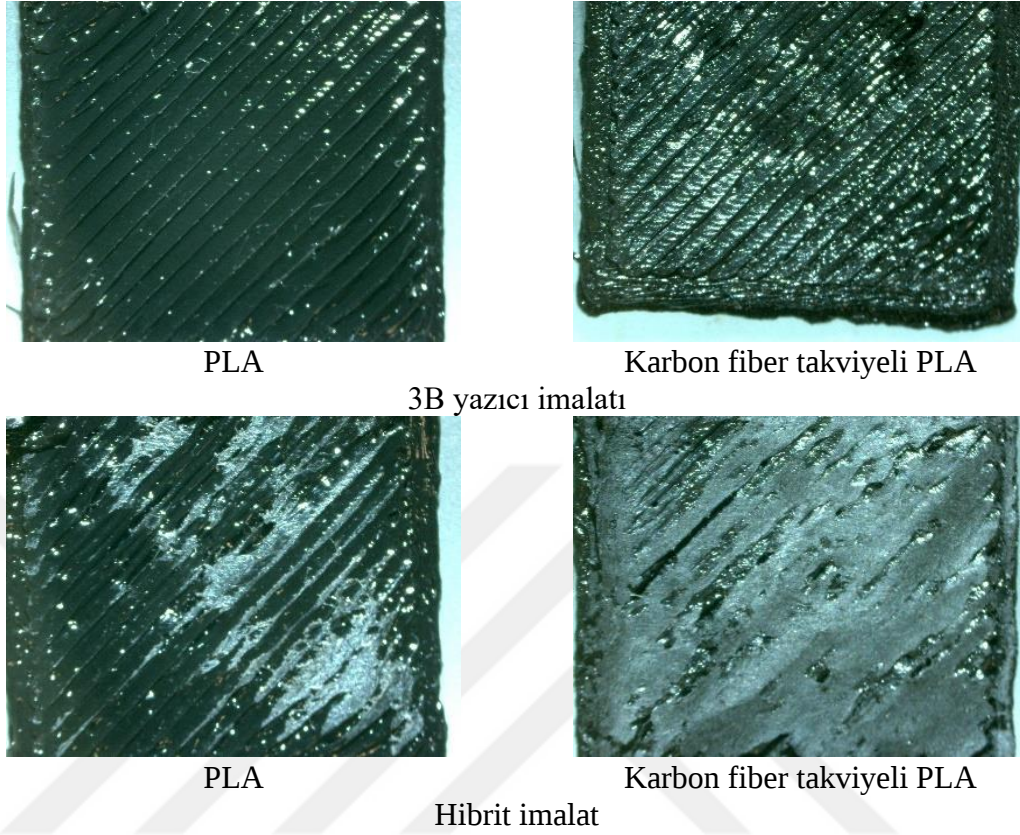
Şekil 4.6'da karbon fiber takviyeli PLA malzeme için 190 °C üretim sıcaklığında katman kalınlığı ve üretim şeklinin yüzeye etkisi görülmektedir. 0,2 mm katman kalınlığında 3B yazıcıda ve hibrit imalat ile üretilmiş numuneler karşılaştırıldığında her iki üretim yönteminde de numunelerin düzgün bir şekilde üretildiği görülmektedir. 0,4 mm katman kalınlığında üretilen numunelere bakıldığında hibrit imalat numunesinde katmanlar arası boşlukların azaldığı görülmektedir. 0,2 mm katman kalınlığından 0,4 mm kalınlığına geçildiğinde her iki üretim yönteminde de katmanlar arası boşlukların daha belirgin olduğu görülmüştür.



Şekil 4.6. Karbon fiber takviyeli PLA malzemeye 190 °C derece üretim sıcaklığında katman kalınlığı ve üretimin etkisi

Şekil 4.7'de 3B yazıcıda ve hibrit imalat ile üretilmiş numunelerin talaş alınmış ve alınmamış yüzeyleri görülmektedir. Talaş alınan yüzeylerde dalgalı yapı giderilerek

daha düz bir yüzey elde edilmiştir. 3B yazıcıda üretilmiş numunelerin yüzeyinin oldukça bozuk olduğu görülmüş hibrit imalat ile bozuk yüzey düzeltilmiştir.

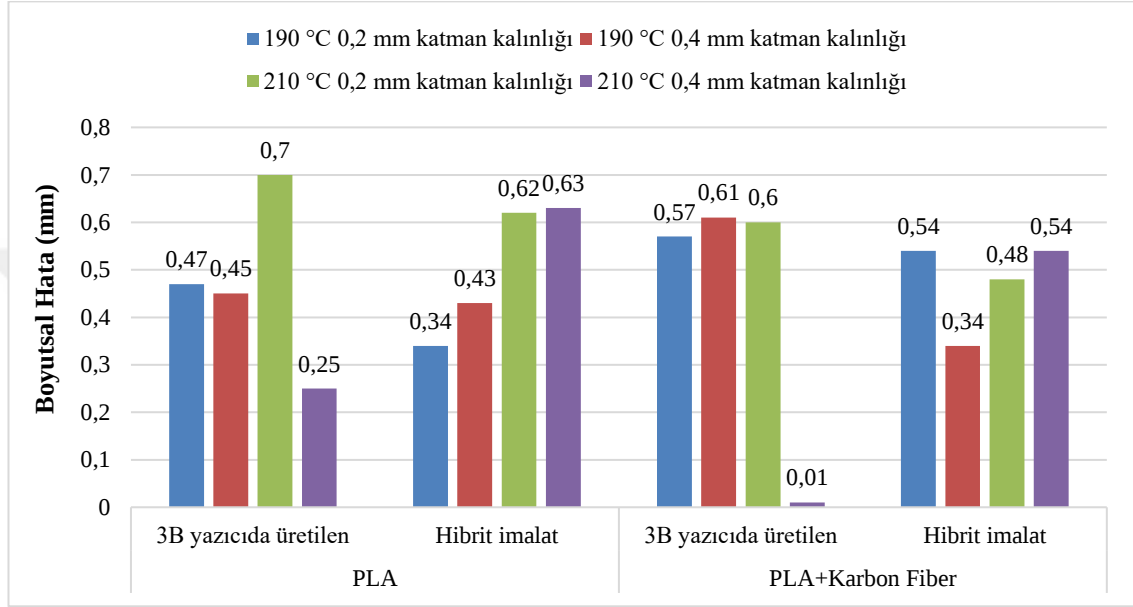


Şekil 4.7. 190 °C derece üretim sıcaklığında 0,4 katman kalınlığında numunelerin talaş alınmış ve alınmamış yüzeyleri

4.3. Boyutsal Doğruluk

0,2 mm katman kalınlığına sahip numunelerin boyutsal doğruluğunun farklı malzemeler, üretim teknikleri ve üretim sıcaklığı değerlerindeki değişimleri Şekil 4.8’de görülmektedir. 190 °C üretim sıcaklığında, PLA malzemedan 3B yazıcı ile üretilen numunenin boyutsal hata miktarı 0,47 mm, hibrit imalat ile üretilen numunenin boyutsal hata miktarı ise 0,34 mm olarak ölçülmüştür. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin boyutsal hata miktarı 0,57 mm olarak ölçülürken hibrit imalat ile üretilen numunenin hata miktarı 0,54 mm olarak elde edilmiştir. 190 °C sıcaklıkta hata miktarı sırasıyla en düşük PLA hibrit imalatla üretilen, PLA 3B yazıcıda üretilen, PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen ve PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen şeklinde sıralanmıştır. 190 °C üretim sıcaklığında PLA malzeme hibrit imalat ile üretildiğinde boyutsal doğrulukta artış görülmüştür. Benzer şekilde karbon fiber takviyeli PLA malzeme hibrit imalat ile üretildiğinde boyutsal doğruluğu çok az arttırmıştır. 210 °C üretim sıcaklığında PLA malzemedan 3B yazıcı ile üretilen numunenin boyutsal hata miktarı 0,7 mm, hibrit imalat ile üretilen numunenin boyutsal hata miktarı ise 0,62 mm olarak ölçülmüştür. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin boyutsal hata miktarı 0,6 mm, hibrit imalat ile üretilen numunenin hata miktarı 0,48 mm olarak elde edilmiştir. 210 °C sıcaklıkta hata miktarı sırasıyla en düşük PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA karbon fiber

malzemeden 3B yazıcıda üretilen, PLA hibrit imalatla üretilen ve PLA 3B yazıcıda üretilen şeklinde sıralanmıştır. 210 °C üretim sıcaklığında hem PLA hem de karbon fiber takviyeli PLA üretiminde hibrit imalat ile boyutsal doğrulukta artış elde edilmiştir. Sıcaklık artışının boyutsal doğruluğa etkisini görmek için boyutsal hata miktarları karşılaştırıldığında hata miktarının 190 °C'den 210 °C'ye artan sıcaklık ile PLA malzeme ile hem 3B yazıcıda üretimde hem de hibrit imalatla arttığı görülmüştür. Boyutsal hata miktarının karbon fiber takviyeli PLA malzeme ile 3B yazıcıda arttığı ancak hibrit imalatla azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. Boyutsal doğruluk sonuçları

0,4 mm katman kalınlığına sahip numunelerin boyutsal doğruluğunun farklı malzemeler, üretim teknikleri ve üretim sıcaklığı değerlerindeki değişimleri Şekil 4.8'de görülmektedir. 190 °C üretim sıcaklığında, PLA malzeme ile 3B yazıcıda üretilen numunenin boyutsal hata miktarı 0,45 mm, hibrit imalat ile üretilen numunenin boyutsal hata miktarı ise 0,43 mm olarak belirlenmiştir. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin boyutsal hata miktarı 0,61 mm, hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin hata miktarı 0,34 mm olarak ölçülmüştür. 190 °C üretim sıcaklığında hata miktarı sırasıyla en düşük PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA hibrit imalatla üretilen, PLA 3B yazıcıda üretilen ve PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen şeklinde sıralanmıştır. 190 °C üretim sıcaklığında PLA üretiminde hibrit imalat ile boyutsal doğrulukta çok az bir miktar artış görülürken karbon fiber takviyeli PLA üretiminde hibrit imalat ile boyutsal doğruluğu önemli ölçüde artmıştır.

210 °C üretim sıcaklığında, PLA malzeme ile 3B yazıcıda üretilen numunenin boyutsal hata miktarı 0,25 mm, hibrit imalat ile üretilen numunenin boyutsal hata miktarı ise 0,63 mm'dir. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin boyutsal hata miktarı 0,01 mm, hibrit imalat ile üretilen numunenin boyutsal hata miktarı 0,54 mm olarak ölçülmüştür. 210 °C sıcaklıkta boyutsal hata miktarı sırasıyla en düşük PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen, PLA 3B yazıcıda üretilen, PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen ve PLA hibrit imalatla üretilen şeklinde sıralanmıştır. 210 °C

üretim sıcaklığında hem PLA hem de karbon fiber takviyeli PLA üretiminde hibrit imalat ile boyutsal doğrulukta iyileşme sağlanamamıştır.

Sıcaklık artışının boyutsal doğruluğa etkisini görmek için boyutsal hata miktarları karşılaştırıldığında hata miktarının 190 °C'den 210 °C'ye artan sıcaklık ile PLA malzeme ile 3B yazıcıda azaldığı, hibrit imalat makinesinde ise arttığı görülmüştür. Hata miktarının karbon fiber takviyeli PLA malzeme ile 3B yazıcıda azaldığı ancak hibrit imalatla arttığı tespit edilmiştir. Katman kalınlığı artışının boyutsal doğruluğa etkisini görmek için farklı katman kalınlığına sahip numunelerin boyutsal hata miktarları karşılaştırılmıştır. 0,2 mm'den 0,4 mm'ye artan katman kalınlığı ile hata miktarının 190 °C üretim sıcaklığında, PLA malzeme ile 3B yazıcıda azaldığı, PLA malzeme ile hibrit imalatla arttığı, karbon fiber takviyeli PLA ile 3B yazıcıda arttığı ve karbon fiber takviyeli PLA ile hibrit imalatla azaldığı görülmüştür. 210 °C üretim sıcaklığında hata miktarının PLA malzeme ile 3B yazıcıda azaldığı, PLA malzeme ile hibrit imalatla çok az bir miktar arttığı, karbon fiber takviyeli PLA ile 3B yazıcıda azaldığı ve karbon fiber takviyeli PLA ile hibrit imalatla arttığı belirlenmiştir.

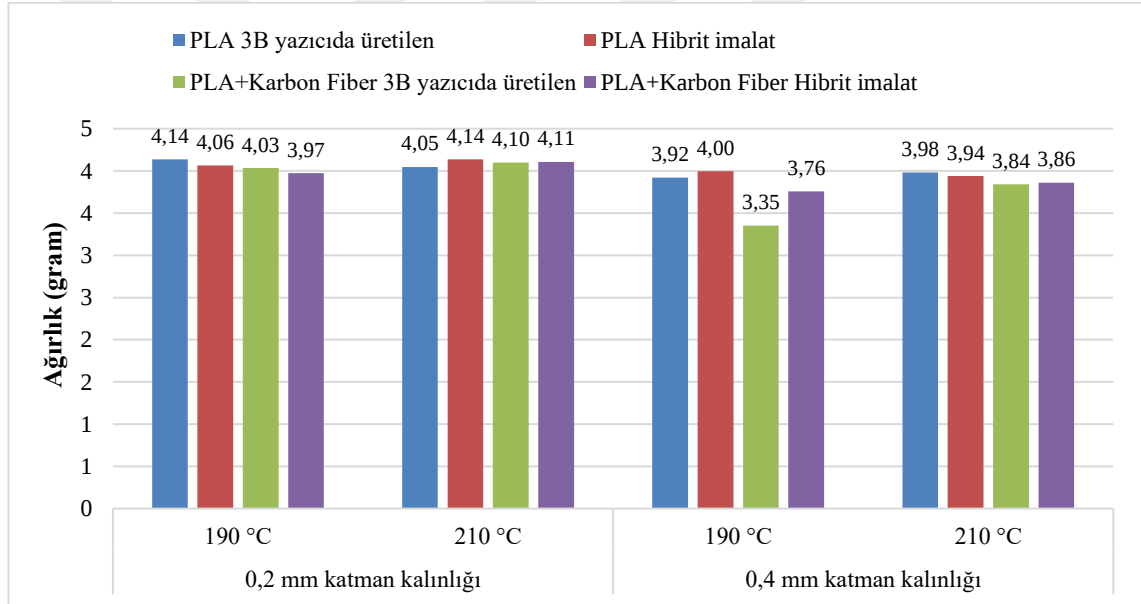
4.4. Ağırlık

Çalışmada, hibrit imalat yöntemi kullanılarak üretilmiş numunelerin ağırlıkları ile 3B yazıcıda üretilen numunelerin ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Şekil 4.9'da karşılaştırılmıştır. 0,2 mm katman kalınlığına sahip numunelerin ağırlıkları farklı malzemeler, üretim teknikleri ve üretim sıcaklığı değerlerindeki değişimleri görülmektedir. 190 °C üretim sıcaklığında, PLA malzemeden 3B yazıcı ile üretilen numunenin ağırlığı 4,13 g, hibrit imalat ile üretilen numunenin ağırlığı ise 4,06 g olarak belirlenmiştir. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin ağırlığı 4,03 g, hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin ağırlığı 3,97 g olarak ölçülmüştür. 190 °C sıcaklıkta ağırlıklar sırasıyla en düşük PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen, PLA hibrit imalatla üretilen ve PLA 3B yazıcıda üretilen şeklinde sıralanmıştır. 190 °C üretim sıcaklığında hem PLA hem karbon fiber takviyeli PLA malzeme hibrit imalatla üretildiğinde ağırlığın azaldığı görülmüştür. 210 °C üretim sıcaklığında, PLA malzemeden 3B yazıcı ile üretilen numunenin ağırlığı 4,04 g, hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin ağırlığı ise 4,13 gramdır. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin ağırlığı 4,09 g olarak ölçülürken hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin ağırlığı 4,10 g olarak ölçülmüştür. 210 °C sıcaklıkta ağırlığı sırasıyla en düşük PLA 3B yazıcıda üretilen, PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen, PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen ve PLA hibrit imalatla üretilen şeklinde sıralanmıştır. 210 °C üretim sıcaklığında hem PLA hem karbon fiber takviyeli PLA malzemeli hibrit imalatla ağırlığın azaldığı görülmüştür.

Sıcaklık artışının ağırlığa etkisini görmek için ağırlıklar karşılaştırıldığında ağırlıkların 190 °C'den 210 °C'ye artan sıcaklıklarla PLA malzeme ile 3B yazıcıda azaldığı ve hibrit imalat makinesinde arttığı belirlenmiştir. Ağırlıkların karbon fiber takviyeli PLA malzeme ile 3B yazıcıda çok az bir miktar arttığı, hibrit imalatla artışın daha fazla olduğu görülmüştür.

0,4 mm katman kalınlığına sahip numunelerin ağırlığının farklı malzemeler, üretim teknikleri ve üretim sıcaklığı değerlerindeki değişimleri Şekil 4.9'da

görülmektedir. 190 °C üretim sıcaklığında, PLA malzemeden 3B yazıcı ile üretilen numunenin ağırlığı 3,92 g, hibrit imalat ile üretilen numunenin ağırlığı ise 4,00 g olarak ölçülmüştür. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin ağırlığı 3,35 g, hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin ağırlığı 3,76 g olarak belirlenmiştir. 190 °C sıcaklıkta ağırlığı sırasıyla en düşük PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen, PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA 3B yazıcıda üretilen ve PLA hibrit imalatla üretilen şeklinde sıralanmıştır. 190 °C üretim sıcaklığında hem PLA hem karbon fiber takviyeli PLA malzemenin hibrit imalatla üretimiyle ağırlığın arttığı görülmüştür. 210 °C üretim sıcaklığında PLA malzemeden 3B yazıcı ile üretilen numunenin ağırlığı 3,98 g, hibrit imalat ile üretilen numunenin ağırlığı ise 3,94 g olarak ölçülmüştür. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin ağırlığı 3,84 g, hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin ağırlığı 3,86 g olarak ölçülmüştür. 210 °C sıcaklıkta ağırlığı sırasıyla en düşük PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen, PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA hibrit imalatla üretilen ve PLA 3B yazıcıda üretilen şeklinde sıralanmıştır. 210 °C üretim sıcaklığında PLA malzeme ile hibrit imalatla ağırlığın azaldığı, karbon fiber takviyeli PLA malzeme ile hibrit imalatla ağırlığın arttığı görülmüştür.



Şekil 4.9. Ağırlık ölçüm sonuçları

Sıcaklık artışının ağırlığa etkisini görmek için ağırlıklar karşılaştırıldığında ağırlıkların 190 °C'den 210 °C'ye artan sıcaklıkla PLA malzeme ile 3B yazıcıda üretimde çok az arttığı, hibrit imalat makinesinde azaldığı belirlenmiştir. Ağırlıkların karbon fiber takviyeli PLA malzeme ile hem 3B yazıcıda hem de hibrit imalatla arttığı görülmüştür.

Katman kalınlığı artışının ağırlığa etkisini görmek için farklı katman kalınlığına sahip numunelerin ağırlıkları karşılaştırılmıştır. 0,2 mm'den 0,4 mm'ye artan katman kalınlığı ile ağırlıkların hem 190 °C hem de 210 °C üretim sıcaklığında tüm malzemeler ve üretim teknikleri için azaldığı görülmüştür.

4.5. Yoğunluk

Çalışmada, hibrit imalat ve 3B yazıcı kullanılarak üretilmiş numunelerin yoğunlukları hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti ile ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçları Şekil 4.10'da karşılaştırılmıştır.

0,2 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yoğunluklarının farklı malzemeler, üretim teknikleri ve üretim sıcaklığı değerlerindeki değişimleri görülmektedir. 190 °C üretim sıcaklığında, PLA malzemeden 3B yazıcıda üretilen numunenin yoğunluğu 1,22 g/cm³, hibrit imalat ile üretilen numunenin yoğunluğu ise 1,22 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin yoğunluğu 1,24 g/cm³, hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin yoğunluğu 1,22 g/cm³ olarak ölçülmüştür. 190 °C sıcaklıkta yoğunluklar sırasıyla en düşük PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA 3B yazıcıda üretilen, PLA hibrit imalatla üretilen ve PLA karbon fiber malzemeden 3B yazıcıda üretilen şeklinde sıralanmıştır.

190 °C üretim sıcaklığında PLA malzemeyle hibrit imalatla yoğunluğun arttığı, karbon fiber takviyeli PLA malzemeyle hibrit imalatla yoğunluğun azaldığı tespit edilmiştir. 210 °C üretim sıcaklığında, PLA malzemeden 3B yazıcı ile üretilen numunenin yoğunluğu 1,23 g/cm³, hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin yoğunluğu ise 1,23 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcıda üretilen numunenin yoğunluğu 1,24 g/cm³, hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin yoğunluğu 1,24 g/cm³ olarak ölçülmüştür. 210 °C sıcaklıkta yoğunluklar sırasıyla en düşük PLA hibrit imalatla üretilen, PLA 3B yazıcıda üretilen, PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen ve PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen şeklinde sıralanmıştır. 210 °C üretim sıcaklığında hem PLA hem karbon fiber takviyeli PLA malzemeyle hibrit imalatla üretilen numunelerde yoğunluğun azaldığı görülmüştür.

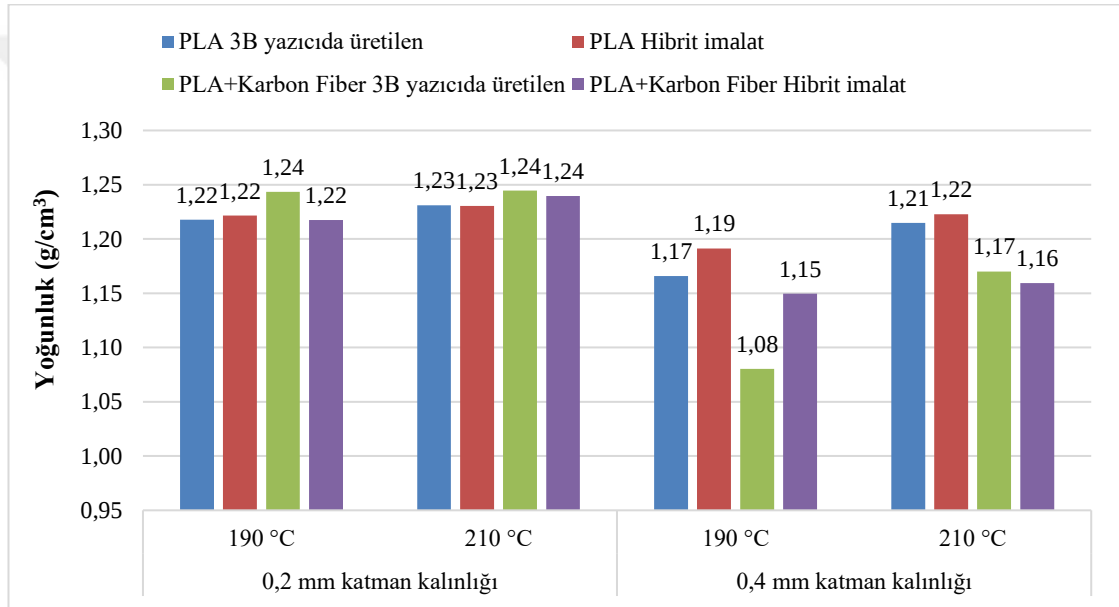
Sıcaklık artışının yoğunluğa etkisini görmek için sonuçlar karşılaştırıldığında yoğunlukların 190 °C'den 210 °C'ye artan sıcaklıklarla PLA malzeme ile 3B yazıcıda ve hibrit imalat makinesinde arttığı görülmüştür. Yoğunlukların karbon fiber takviyeli PLA malzeme ile hem 3B yazıcıda hem de hibrit imalatla arttığı görülmüştür.

0,4 mm katman kalınlığına sahip numunelerin yoğunluklarının farklı malzemeler, üretim teknikleri ve üretim sıcaklığı değerlerindeki değişimleri Şekil 4.9'da görülmektedir. 190 °C üretim sıcaklığında, PLA malzemeden 3B yazıcı ile üretilen numunenin yoğunluğu 1,17 g/cm³, hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin yoğunluğu ise 1,19 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile üretilen numunenin yoğunluğu 1,08 g/cm³, hibrit imalat ile üretilen numunenin yoğunluğu 1,15 g/cm³ olarak ölçülmüştür. 190 °C sıcaklıkta yoğunluğu sırasıyla en düşük PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen, PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA 3B yazıcıda üretilen ve PLA hibrit imalatla üretilen şeklinde sıralanmıştır. 190 °C üretim sıcaklığında hem PLA hem karbon fiber takviyeli PLA malzeme üreten hibrit imalatla yoğunluğun arttığı görülmüştür.

210 °C üretim sıcaklığında PLA malzemeden 3B yazıcı ile üretilen numunenin yoğunluğu 1,21 g/cm³, hibrit imalat makinesi ile üretilen numunenin yoğunluğu ise 1,22 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanılarak 3B yazıcı ile

üretile numunenin yoğunluğu $1,17 \text{ g/cm}^3$, hibrit imalat ile üretilen numunenin yoğunluğu $1,16 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. 210°C sıcaklıkta yoğunluk sırasıyla en düşük PLA karbon fiber hibrit imalatla üretilen, PLA karbon fiber 3B yazıcıda üretilen, PLA 3B yazıcıda üretilen ve PLA hibrit imalatla üretilen şeklinde sıralanmıştır. 210°C üretim sıcaklığında PLA malzeme ile hibrit imalatla yoğunluğun arttığı, karbon fiber takviyeli PLA malzeme ile hibrit imalatla yoğunluğun azaldığı görülmüştür.

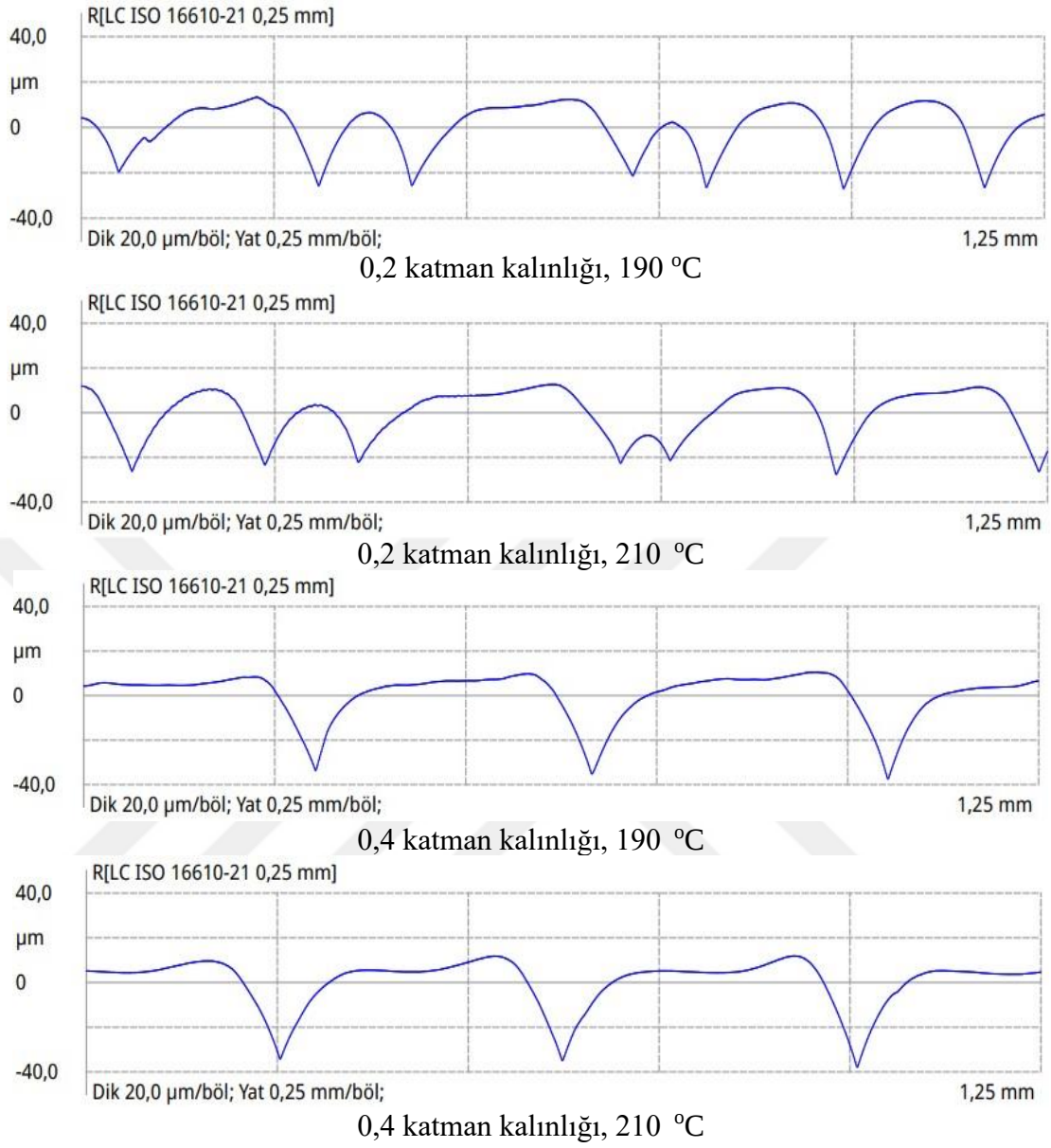
Sıcaklık artışının yoğunluğa etkisini görmek için yoğunluklar karşılaştırıldığında yoğunlukların 190°C 'den 210°C 'ye artan sıcaklıklarla tüm malzeme ve üretim tekniklerinde arttığı anlaşılmaktadır. Katman kalınlığı artışının yoğunluğa etkisini görmek için farklı katman kalınlığına sahip numunelerin yoğunlukları karşılaştırılmıştır. $0,2 \text{ mm}$ 'den $0,4 \text{ mm}$ 'ye artan katman kalınlığı ile yoğunlukların hem 190°C hem de 210°C üretim sıcaklığında, tüm malzeme ve üretim tekniklerinde azaldığı görülmektedir.



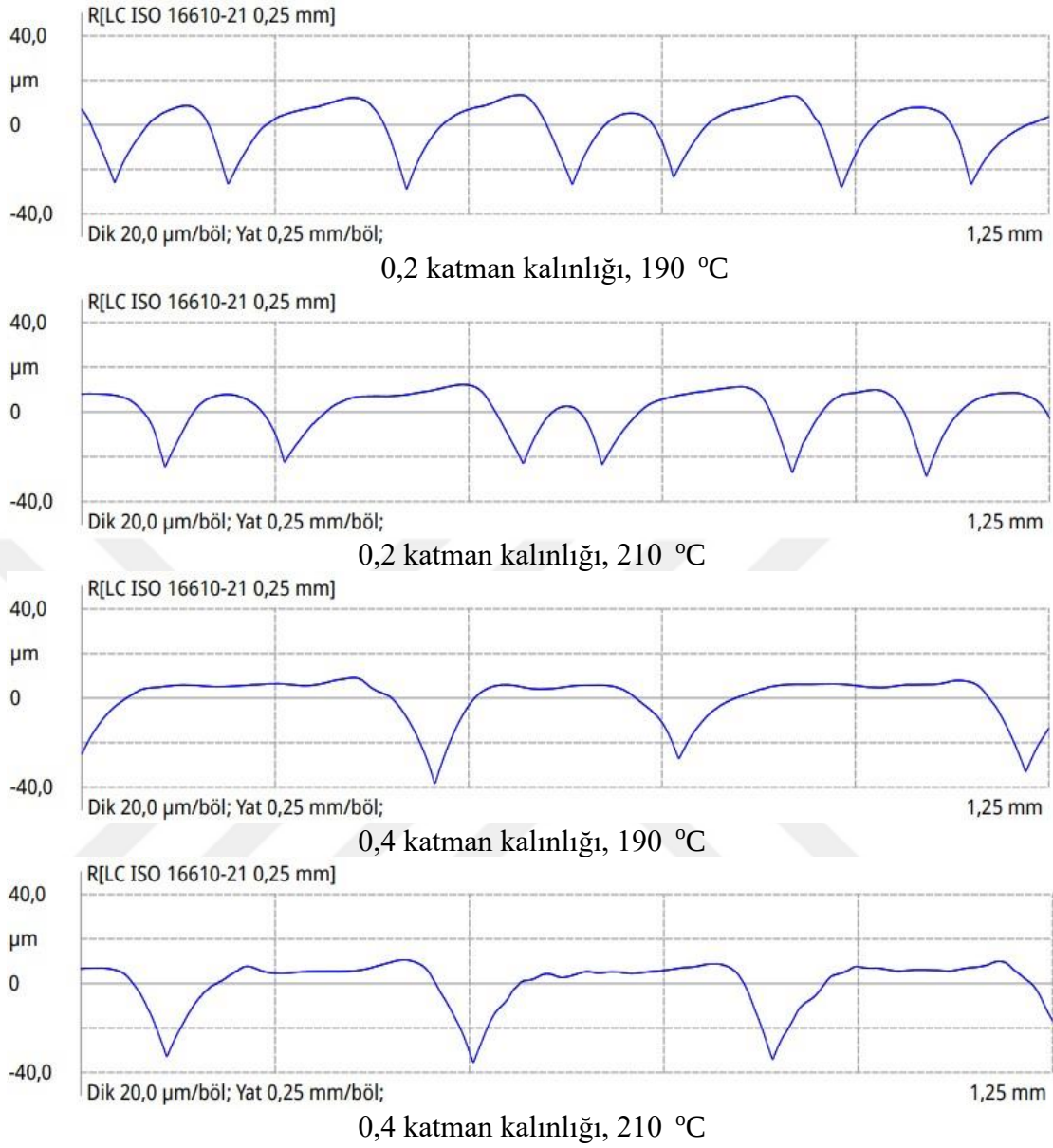
Şekil 4.10. Yoğunluk ölçüm sonuçları

4.6. Yüzey Profilleri

3B yazıcı ile üretilen PLA numunelerin katman kalınlığına ve üretim sıcaklığına bağlı olarak z yönündeki yüzey profil değişimi Şekil 4.11'de görülmektedir. Katman kalınlığı arttıkça her bir merdiven şeklindeki etkinin daha belirgin olduğu görülmektedir. Üretim sıcaklığı değişiminin yüzey profiline etkisinin neredeyse hiç olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.12'de hibrit imalatla üretilen PLA numunelerin katman kalınlığına ve üretim sıcaklığına bağlı olarak z yönündeki yüzey profil değişimleri görülmektedir. Hibrit imalatın merdiven görünümüne etkisi Şekil 4.11 ile kıyaslandığında açıkça görülmektedir.

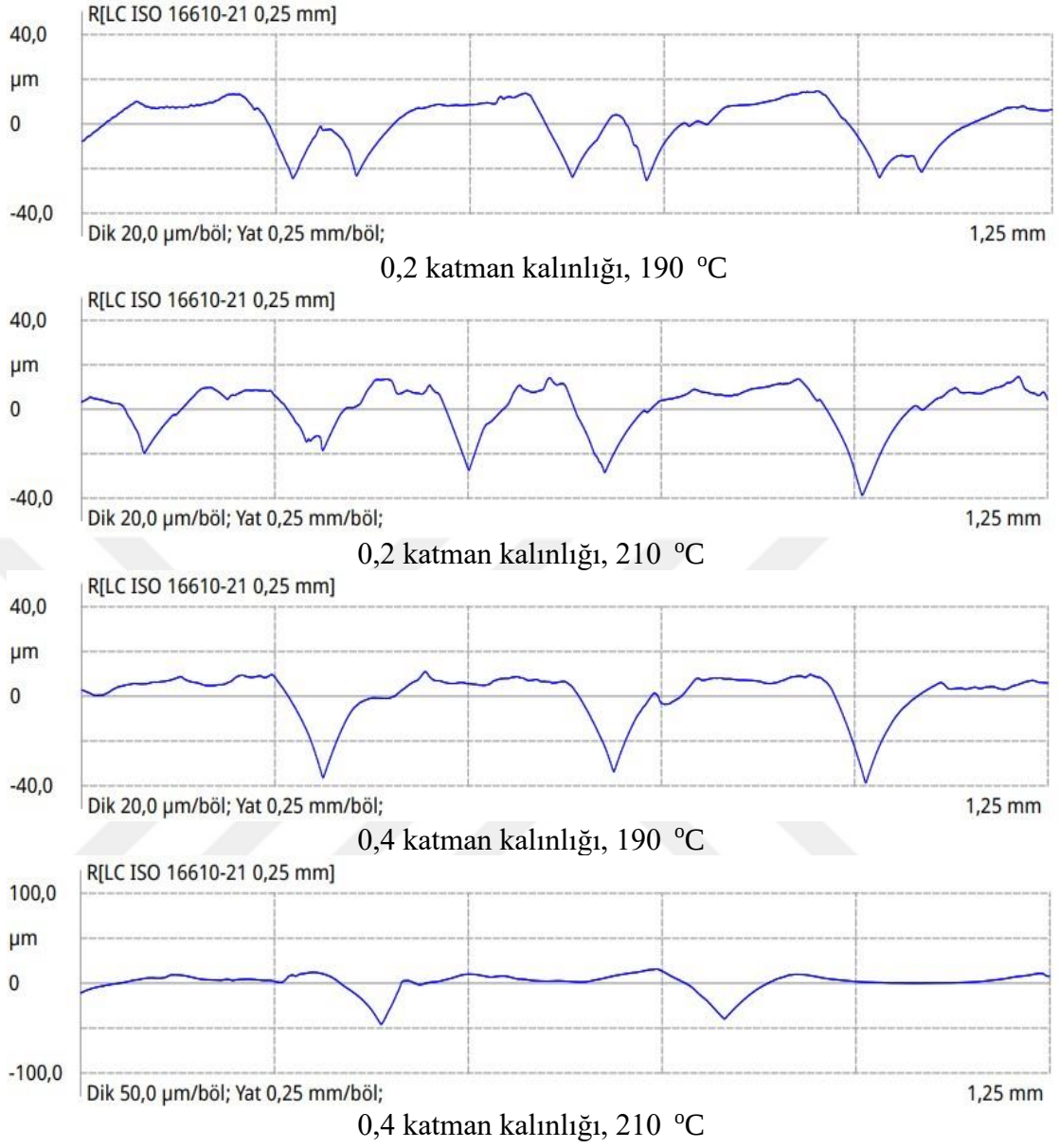


Şekil 4.11. 3B yazıcı ile üretilen PLA numunelerin katman kalınlığına ve üretim sıcaklığına bağlı olarak yüzey profil değişimi (z ekseninde)

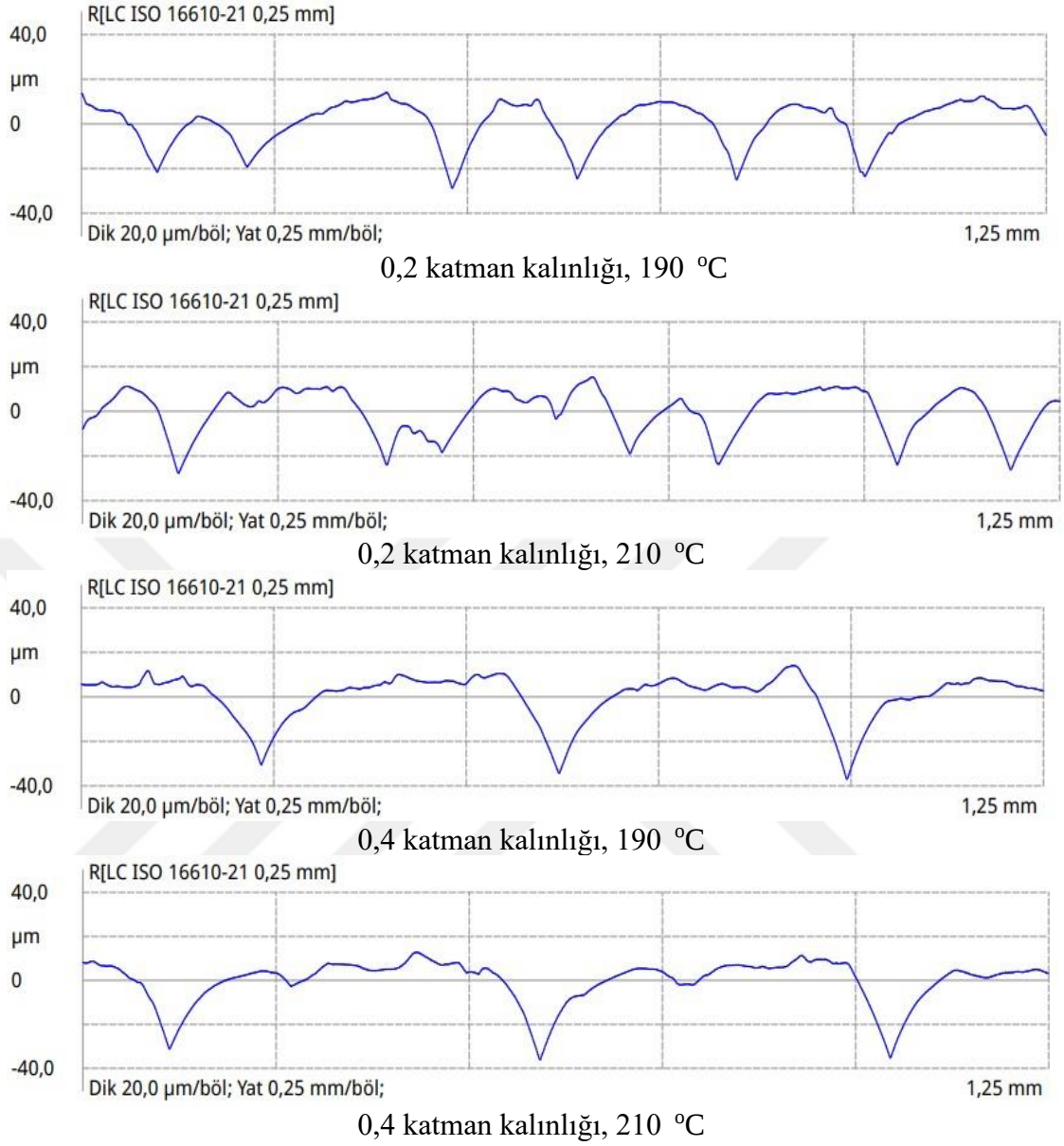


Şekil 4.12. Hibrit imalat ile üretilen PLA numunelerin katman kalınlığına ve üretim sıcaklığına bağlı olarak yüzey profil değişimi (z ekseninde)

Şekil 4.13 ve 4.14 incelendiğinde Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'ye benzer şekilde karbon fiber takviyeli PLA malzemede 3B yazıcı ve hibrit imalat sonucu oluşan yüzey profilleri görülmektedir. Özellikle hibrit imalatta yüzey profilindeki iyileşme açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.13. 3B yazıcı ile üretilen karbon fiber takviyeli PLA numunelerin katman kalınlığına ve üretim sıcaklığına bağlı olarak yüzey profil değişimi (z ekseninde)



Şekil 4.14. Hibrit imalat ile üretilen karbon fiber takviyeli PLA numunelerin katman kalınlığına ve üretim sıcaklığına bağlı olarak yüzey profil değişimi (z ekseninde)

5. SONUÇLAR

Eklemeli imalat oldukça yaygın hale gelen, inşaat, havacılık ve uzay, otomotiv, tıp gibi alanlarda kullanımı yaygınlaşan bir yöntem haline gelmiştir. Geleneksel imalat ile karşılaştırıldığında esnek üretim yeteneği ve hızlı prototipleme gibi oldukça önemli artılara sahip olduğu görülmektedir. Ancak eklemeli imalat yönteminin de sahip olduğu bazı üretim eksiklikleri bulunmaktadır. Kötü yüzey kalitesi ve boyutsal doğruluğun zayıf olması eklemeli imalatın kullanım alanlarını bazı yerlerde sınırlandırmaktadır. Bu gibi sorunların çözülmesi eklemeli imalatın önemli alanlarda kullanımının artmasını sağlayacak niteliktedir. Bu sorunların çözülmesi amacıyla iki üretim yönteminin birleştirilerek üretim yapması hibrit imalat olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem her iki üretim yönteminin de zayıf yönlerini gidermek ve sadece yöntemlerin güçlü olduğu yönlerini toplamayı hedeflemektedir.

Çalışmanın amacı esnek üretim ve hızlı prototipleme gibi yetenekleri olan eklemeli imalat yönteminin çalışma prensibinden dolayı yetersiz olduğu yüzey kalitesinin, geleneksel imalat yöntemlerinden biri olan frezeleme yöntemi ile iyileştirilebilir olup olmadığını ortaya koymaktır:

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Hibrit imalat, üretim düzlemine paralel olan x ekseninde üretim sıcaklığı 190 °C'den 210 °C'ye çıkarıldığında yüzey kalitesi katman kalınlığı arttıkça azalmaktadır. Ancak yüzey kalitesi 3B üretim ile karşılaştırıldığında daha yüksektir.
- Üretim düzlemine paralel olan x ekseninde PLA malzeme kullanımı durumunda hibrit imalat yöntemi, yüzey kalitesini genel olarak arttırmaktadır. Karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanımı durumunda hibrit imalat yüzey kalitesi düşük sıcaklıkta arttırmakta ancak yüksek sıcaklıkta azaltmaktadır.
- Üretim düzlemine paralel olan x ekseninde katman kalınlığının artması hibrit imalat ile yüzey kalitesini genel olarak arttırmaktadır.
- Üretim düzlemine paralel olan x ekseninde 0,4 mm katman kalınlığı ile üretilen numunelerde hibrit imalat yüzey kalitesini önemli ölçüde arttırmıştır.
- Üretim düzlemine paralel olan x ekseninde en iyi yüzey kalitesinin PLA malzeme ile 0,2 mm katman kalınlığında 210 °C üretim sıcaklığında hibrit imalat ile üretilmiş numuneye ait olduğu görülmüştür.
- Üretim düzlemine dik olan z ekseninde üretim sıcaklığı 190 °C'den 210 °C'ye arttıkça yüzey kalitesi hibrit imalat ile önemli ölçüde artmıştır.
- Üretim düzlemine dik olan z ekseninde PLA ve karbon fiber takviyeli PLA malzeme kullanımında hibrit imalat yöntemi yüzey kalitesini arttırmaktadır.
- Üretim düzlemine dik olan z ekseninde katman kalınlığının artması ile hibrit imalat yüzey kalitesini iyileştirmiştir.
- Üretim düzlemine dik olan z ekseninde en iyi yüzey kalitesi karbon fiber takviyeli PLA malzeme ile 0,4 mm katman kalınlığında 190 °C üretim sıcaklığında hibrit imalat ile elde edilmiştir.

- PLA ve karbon fiber malzeme kullanılarak boyut kalitesi hibrit imalat yöntemi ile genel olarak artmıştır.
- Artan üretim sıcaklığı ve katman kalınlığı ile hibrit imalat genel olarak boyutsal doğrulukta iyileşme gösterememiştir
- En yüksek boyutsal doğruluk PLA ve karbon fiber takviyeli PLA malzeme ile 210 °C üretim sıcaklığında 0,4 mm katman kalınlığında 3B yazıcı ile elde edilmiştir.
- Genel olarak düşük üretim sıcaklığında hibrit imalat yöntemi ile üretilen numunelerin yoğunlukları yüksekken, yüksek üretim sıcaklığında ise daha düşüktür.
- Hibrit imalatın ağırlığa etkisi gözlenememiştir. Bu durum talaşın oldukça az miktarda alındığının bir göstergesidir.

Çalışma sonunda elde edilen bilgi ve tecrübelerle dayanarak yeni yapılan çalışmalarda araştırmacılara şu öneriler sunulmaktadır:

- Malzemenin hibrit imalat esnasında kesici takıma yapışmaması için malzemenin üretim sıcaklığı doğru ayarlanmalıdır.
- Kesici takımın talaşı tutmaması için kesici takımın ağız sayısı doğru seçilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Akkurt, M. 2015. Talaş kaldırma, CNC takım tezgâhları ve üretim otomasyonu problemleri. Birsen Yayınevi Dağıtım Ltd. Şti., İstanbul, 119-139.
- Amanullah, A.N.M., Murshiduzzamana, Saleha T. and Khana, R. 2017. Design and development of a hybrid machine combining rapid prototyping and cnc milling operation. *Procedia Engineering*, 184: 163-170.
- Arnés-Urgellés, P., Bayas, J., Ramírez, E.A., Maldonado, F., Helguero, C.G. and Amaya, J.L. 2021. Machinability study of polymeric parts fabricated by additive manufacturing under a dry milling process. In: *da Silva, L.F.M. (eds) Materials Design and Applications III. Advanced Structured Materials, Springer*. 149: 139-148.
- Attaran, M. 2017. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5): 677-688.
- Bikas, H., Stavropoulos, P. and Chryssolouris, G. 2016. Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83:389–405.
- Boschetto, A. and Bottini, L. 2015. Surface improvement of fused deposition modeling parts by barrel finishing. *Rapid Prototyping Journal*, 21(6): 686-696.
- Boschetto, A., Bottini, L. and Veniali, F. 2016. Finishing of fused deposition modeling parts by CNC machining. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 41: 92-101.
- Bruni, C., Gianangeli, C., Mancia, T., Greco, L. and Pieralisi, M. 2020. Improving dimensional and surface quality of additive manufactured parts. *Journal of Physics: Conference Series*, 1507(4): 042003.
- Calignano, F., Manfredi, D., Ambrosio, E. P., Biamino, S., Lombardi, M., Atzeni, E., Salmi, A., Minetola, P., Iuiano, L. and Fino, P. 2017. "Overview on additive manufacturing technologies" in *Proceedings of the IEEE*. 105(4): 593-612.
- Del Sol, I., Domínguez Calvo, Á., Piñero, D., Salguero, J. and Batista, M. 2019. Study of the fdm parameters of the abs parts in the surface quality after machining operations. In *Key Engineering Materials*, 813: 203–208.
- Ford, S. and Despeisse, M. 2016. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137: 1573-1587.
- Gardan, J. 2015. Additive manufacturing technologies: state of the art and trends. *International Journal of Production Research*. CRC Press, 149-168.
- Gong, X., Anderson, T. and Chou, K. 2014. Review on powder-based electron beam additive manufacturing technology. In *International Symposium on Flexible Automation*. ASME/ISCIE 2012 International Symposium on Flexible Automation. 45110: 507-515. Haziran 18-20, St. Louis, Missouri.
- Grguraš, D. and Kramar, D. 2017. Optimization of hybrid manufacturing for surface quality, material consumption and productivity improvement. *Strojniški vestnik- Journal of Mechanical Engineering*, 63(10): 567-576.

- Guo, C., Liu, X. and Liu, G. 2021. Surface finishing of fdm-fabricated amorphous polyetheretherketone and its carbon-fiber-reinforced composite by dry milling. *Polymers*, 13(13): 2175.
- Hur, J., Lee, K., Zhu-hu and Kim, J. 2002. Hybrid rapid prototyping system using machining and deposition. *Computer-Aided Design*. 34(10): 741-754.
- Lavecchia, F., Percoco, G., Pei, E., and Galantucci, L. M. 2018. Computer numerical controlled grinding and physical vapor deposition for fused deposition modelled workpieces. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-7.
- Lee, W.-c., Wei, C.-c. & Chung and S.-C. 2014. Development of a hybrid rapid prototyping system using low-cost fused deposition modeling and five-axis machining. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(11): 2366-2374.
- Li, L., Haghighi, A. and Yang, Y. 2018. A novel 6-axis hybrid additive-subtractive manufacturing process: Design and case studies. *Journal of Manufacturing Processes*, 33: 150-160.
- Neşeli, S. ve Yaldız, S. 2007. Tornalamada yaklaşma açısı ve talaş açısına bağlı tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri. *Politeknik Dergisi*. 10(4): 383-389.
- Özdemir, U. ve Erten, M. 2003. Talaşlı imalat sırasında kesici takımında meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*. 1(1): 37-50
- Pandey, P.M., Reddy, N.V. and Dhande, S.G. 2003. Improvement of surface finish by staircase machining in fused deposition modeling. *Journal of Material Processing Technology*, 132(1-3): 323-331.
- Parandoush, P., Zhang, H., Lin, D. and Ye, C. 2019. Mechanical finishing of 3D printed continuous carbon fiber reinforced polymer composites via CNC machining. In International Manufacturing Science and Engineering. ASME 2019 14th International Manufacturing Science and Engineering Conference Haziran 10-14, Erie, Pennsylvania.
- Sağlam, H. 2016. Frezelemede kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi ve bunların takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin deneysel incelenmesi. *Selçuk Teknik Online Dergisi*, 1(3).
- Tezel, T. 2020. Comparison of hole quality of polyamide materials produced by traditional and additive manufacturing. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 32(1): 1-7.
- Tezel, T. 2021. The effect of machining parameters on the surface quality of 3D printed and cast polyamide. *Machining Science and Technology*, 25(5): 703-720.
- Tian, X., Liu, T., Yang, C., Wang, Q. and Li, D. 2016. Interface and performance of 3D Printed Continious Carbon Fiber Reinforced PLA Composites. *Composites part A: Applied Science and Manufacturing*, 88 198-205.
- Ulutun, D., and Dewey, M. P. 2017. Development of Laser Polishing As an Auxiliary Post-Process to Improve Surface Quality in Fused Deposition Modeling Parts. ASME 2017 12th International Manufacturing Science and Engineering Conference collocated with the JSME/ASME 2017 6th International Conference on Materials and Processing 4-8 June, Los Angeles, California.

- Valerga, A., P., Batista, M., Salguero, J. and Girot F. 2018. Influence of PLA filament conditions on characteristics of FDM parts. *Materials*, 11(8): 1322.
- Vayre, B., Vignat, F. and Villeneuve, F. 2012. Designing for additive manufacturing. *Procedia CIRP*, 3: 632-637.



ÖZGEÇMİŞ

İsmail Ata MERTKAN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2019-2022	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2015-2019	Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli

ESERLER

Uluslararası kongrelerde sunulan bildiriler

- 1- Mertkan İ. A., Tezel T., Kovan V. (2021). An Overview of Hybrid Manufacturing of Plastics. 3rd Kuala Lumpur International Conference on Education, Economics and Technology, ss.21-27
- 2- Mertkan İ. A., Tezel T., Kovan V. (2021). Functional Anatomical Models Production by Additive Manufacturing. 3rd Kuala Lumpur International Conference on Education, Economics and Technology, ss.67-73
- 3- Mertkan İ. A., Kovan V., Tezel T. (2020). Daha Kolay Montaj İçin Makine Tasarım İlkelerine Genel Bakış. Selçuk Zirvesi 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, ss.57-58
- 4- Tezel T., Mertkan İ. A. (2020). Failure Analysis Of A Timing Belt Pulley. International Marmara Sciences Congress, ss.182