



## Üç Boyutlu İmalat Yöntemi ile Farklı Çözünürlüklerde Malzeme Üretimi ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi

Tufan Altıparmak<sup>1</sup> Emre Kurt<sup>2\*</sup> Safiye Nur Özdemir<sup>3</sup>

### Özet

Üç boyutlu katmanlı imalat yöntemi, son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte kompleks malzemelerin imalatını kolaylaştıran ve üretim sürelerini önemli ölçüde kısaltan bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Treylar sektöründe montaj malzemeleri olarak kullanılan, kalıp veya işleme çalışmaları ile imal edilebilen malzemelerin daha hızlı, kaliteli ve uygun maliyet ile yapılabilmesi için üç boyutlu imalat teknolojisindeki gelişmeler oldukça önem arz etmektedir. Test ve deneme çalışmaları kapsamında geleneksel yöntemler ile imal edilen malzemelerin ihtiyaç durumunda yeniden imatları takvimi ve bütçeyi oldukça zorlamaktadır. Bu nedenle üç boyutlu katmanlı imalat teknolojisinin treylar sektörüne entegre edilmesi oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada treylar sektöründe oldukça sık kullanılan parçaların üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile imatları gerçekleştirilmiştir. Bu parçaların mekanik özelliklerini tespit edebilmek adına test numuneleri farklı çözünürlükler altında imal edilmiş olup, farklı sıcaklıklar altında çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklerin davranışı geleneksel malzemelere oldukça benzemektedir. Beklenildiği üzere sıcaklığın artması akma mukavemeti değerlerini düşürmüştür, aynı zamanda gerinim değerlerinin azalmasına sebep olmuştur. Çalışmaya ilave olarak çözünürlük değerinin değişimi incelenmiştir. Mekanik olarak 0,09 mikron çözünürlüğün diğer incelenen 0,19 mikron ve 0,29 mikron durumlarına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Katmanlı İmalat, 3B Yazıcı, Çekme Testi, Mekanik Davranış

## Manufacturing of Materials in Different Resolutions and Investigation of Mechanical Behaviors By 3D Printing

### Abstract

Additive manufacturing and three-dimensional printing are emerging as innovative technologies that simplify the production of complex materials and significantly shorten the production processes. Developments in additive manufacturing technology are significant for making the materials used as assembly materials in the trailer sector, which can be produced by mold studies faster, with higher quality and at a reasonable cost. In case of need, the remanufacturing of materials made with traditional methods within the scope of test and trial studies puts a strain on the schedule and budget. Therefore, it is essential to integrate three-dimensional additive manufacturing technology into the trailer sector. In this study, parts frequently used in the trailer sector were manufactured using three-dimensional printing technology. To determine the mechanical properties of these parts, test samples were produced at different resolutions, and tensile tests were performed at different temperatures. The mechanical properties are quite similar to those of conventional materials. The yield strength and strain decreased with an increase in temperature. In addition, the variation in the resolution value was examined. Mechanically, a 0.09-micron resolution yielded better results than the other examined 0.19-micron and 0.29-micron resolutions.

**Key Words:** Additive Manufacturing, 3D Printer, Tensile Test, Mechanical Behavior

<sup>1</sup>Tırsan Treylar San., Sakarya/Türkiye. ORCID: 0000-0003-3292-004X, E-Mail: tufan.altiparmak@tirsan.com

<sup>2</sup>Tırsan Treylar San., Sakarya/Türkiye. ORCID: 0000-0001-6017-1694, E-Mail: emre.kurt@kaessbohrer.com

<sup>3</sup>Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü., Sakarya/Türkiye. ORCID: 0000-0003-1337-7299, E-Mail: safiyeozdemir@sakarya.edu.tr

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Emre KURT, [emre.kurt@kaessbohrer.com](mailto:emre.kurt@kaessbohrer.com)

## Extended Abstract

### Introduction

Technological developments have necessitated the use of fast and alternative manufacturing methods. In particular, it is essential to use alternative methods to produce plastic parts used in automotive, aerospace, and other industries. In this context, three-dimensional printing technology, the additive manufacturing method, is a good alternative. Additive manufacturing methods provide significant advantages in terms of raw material consumption, mold costs, and repeatability, especially in the production of complex-shaped parts. Most studies in the literature have focused on manufacturability and usability, constituting a vital area that is still being studied. However, there have been few studies on the strength of plastic-produced parts. In particular, because polymer materials exhibit different behaviors at different temperatures, the materials produced with this technology should be examined and developed in terms of thermal resistance and working life. Within the scope of this study, the strengths of parts manufactured at different production speeds under different temperatures were compared.

### Literature Review

Additive manufacturing, a digital production technique, has become widespread in various sectors, particularly the health, agriculture, and automotive sectors. The first patent obtained by Peacock on the production of horseshoes using the additive manufacturing method in 1902 was one of the first outputs of this technology (Barz et al., 2016). Subsequently, it lost popularity, but in recent years, interest in additive manufacturing methods has increased considerably. In 1983, Hulls developed a technology to cure resins with light. This invention is considered the birth of AM. (Wagner and Kreyer, 2021). In the nineties, Helisys developed a system that works by adding layers on top of each other using a high-temperature roller (Salazar et al., 2022). In the 2000s, laser-based systems were included in the additive manufacturing technology. A three-dimensional printer, Quadra, has been used to solidify materials sprayed in the form of photopolymers with the help of ultraviolet rays (Tatlı, 2020). Especially in the field of bioengineering, since the 2000s, there has been a significant increase in the number of artificial organs produced with this technology (Mussi et al., 2019).

### Methodology

This study aims to provide an overview of FDM-based additive manufacturing (AM) for producing assembly materials frequently used in the trailer industry. In the fused deposition Modeling (FDM) method, which is an additive manufacturing method, thermoplastic polymers are melted into filaments. The filaments that passed through the nozzle of the 3D printer were melted at a specific temperature and exposed to the additive printing process on the device table. Thermoplastic materials used can be classified according to their strength properties; PLA (polylactic acid), ABS (acrylonitrile butadiene styrene), PA (polyamide), PETG (polyethylene terephthalate), and TPU (thermoplastic polyurethane). The study used A Zortrax M300 Plus machine for three-dimensional printing. The layer resolution of the device was 90-290 microns, and the minimum wall thickness was 400  $\mu\text{m}$ . The platform height level was adjusted according to the resolution setting and layer level. The maximum printing temperature was 290°C and the maximum platform temperature was 105°C.

### Results and Conclusions

Tensile specimens were produced with resolution of 0.09 microns, 0.19 microns, and 0.29 microns using a Z-Hips filament with a three-dimensional printer and the FDM method. The yield strength and behavior of the tensile specimens produced at three different resolutions under different temperatures were examined within the scope of the study, and the results are discussed. The profile projector device scrutinized the produced samples, and the distances between the filament lines of the materials with resolutions of 0.09, 0.19, and 0.29 microns were measured as 0.104, 0.220, and 0.293 mm, respectively. The yield strength decreases with increasing temperature.

## 1. GİRİŞ

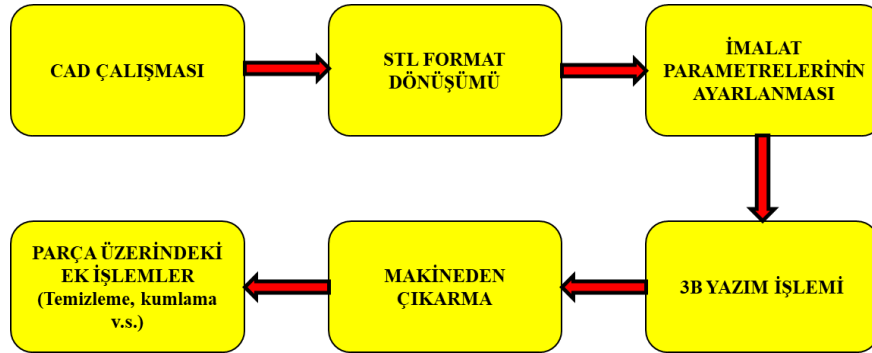
Teknolojideki gelişmeler, hızlı ve alternatif imalat yöntemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle; otomotiv, havacılık ve diğer sektörlerde kullanılan plastik parçaların üretiminde alternatif yöntemlerin kullanılması elzemdir. Bu bağlamda, katmanlı (eklemeli) imalat yöntemi olarak bilinen üç boyutlu yazıcı teknolojisi iyi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Peacock'un 1902 yılında at nallarının katmanlı imalat yöntemiyle üretilmesi üzerine aldıkları ilk patent bu teknolojinin ilk çıktılarında birisidir (Barz vd., 2016). Akabinde popülaritesini yitirmiş, ancak son yıllarda katmanlı üretim yöntemleri üzerine olan ilgi oldukça artmıştır. Hulls 1983 yılında, reçineyi ışık yardımıyla sertleştirerek çalışan bir teknoloji geliştirmiştir. Bu teknik ile CAD/CAM dosyalarından katı parçalar üretilebilmektedir. Bu buluş katmanlı üretimin doğuşu olarak kabul edilmektedir (Wagner ve Kreyer, 2021). İlerleyen zamanda Deckard ve Beamsn, CO<sub>2</sub> lazeri yardımıyla metal tozların ve polimerlerin seçici olarak sinterlenmesiyle çalışan bir imalat yöntemi geliştirmişlerdir. Crump tarafından termoplastiklerin sisteme dahil edilmesiyle bu teknoloji ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem bizlere ölçüsel doğruluk ve tekrarlanabilirlik avantajı sunmaktadır. Doksanlı yıllara geldiğimizde Helisys, yüksek sıcaklıktaki bir merdane yardımıyla üst üste katmanların eklenmesi prensibiyle çalışan bir sistem geliştirmiştir (Salazar vd., 2022).

1992 yılında MIT bu yöntem ile seramik tozlarının da bir bağlayıcı ile püskürtülerek bir araya getirilmesiyle katılaştırılması temel alan bir yöntem geliştirmiştir. 1993 yılında ise MIT mürekkep püskürtme yöntemini temel alarak bir yöntem geliştirmiş ve bu sayede renkli baskılar ortaya çıkmıştır. 1996 yılına geldiğimizde mürekkep baskılı yazılar için geliştirilen ilk kodlama yöntemi olan inkjet teknolojisinin çıktıları ile karşılaşmaktayız. Actua 2100 isimli yazıcının geliştirilmesiyle mum tipi malzemeler katmanlı üretim teknolojisi ile imal edilmiştir. Daha sonrasında Anthony Atala, katmanlı imalat teknolojisinin biyomühendislik alanında kullanılması üzerine çalışmıştır. Bu alandaki ilk deneyim 1999 yılında katmanlı imalat yöntemi ile geliştirilen bir idrar torbasının başarılı bir şekilde hastaya nakli ile gerçekleşmiştir. Organ nakillerinde bağışıklık sisteminden kaynaklı vücudun yeni bir organ reddetmesi durumu yaşanmamış, hasta uzun yıllar bu teknoloji ile üretilen yapay organ ile yaşamına devam edebilmiştir. 2000'li yıllara geldiğimizde katmanlı imalat teknolojisinin içerisine lazer temelli sistemler dahil edilmiştir. Quadra isiminde bir üç boyutlu yazıcı, fotopolimer halde püskürtülen malzemelerin ultraviyole ışın yardımıyla katılaştırılması teknolojisinde kullanılmıştır (Tatlı, 2020). Özellikle, biyomühendislik alanında 2000'li yıllar sonrası, bu teknoloji ile üretilen yapay organların sayısında önemli derecede bir artış yaşanmıştır. Özellikle bu artışta Wake Forest Üniversitesi'si tarafından yürütülen çalışmaların katkısı oldukça büyüktür. 2002 yılında, böbrek hücrelerinin özel biyomateryaller ile yapay olarak üretimi için yazıcılar geliştirilmiştir. Hücre imalatı sonucunda elde edilen başarılar neticesinde çalışmalar hız kazanmış, yapay kulak doku ve bazı deri örnekleri üretilebilir hale gelmiştir (Mussi vd., 2019). Sonrasında insan ağız için bir alt çene üretimi gerçekleştirilmiştir. Katmanlı imalat yöntemleri özellikle karmaşık şekilli parçaların üretiminde hammadde sarfiyatı, parça imalatlarında kullanılan kalıp maliyetleri ve tekrarlanabilirlik açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. 2004 yılında karmaşık geometrilerin imalatının seri imalatla yapılabilmesi için SST isimli bir üç boyutlu yazıcı geliştirilmiştir. Bu sayede destek malzemesinin otomatik montajını sağlayan bir sistem mümkün hale gelmiştir. Teknolojik gelişmeler ile birlikte üç boyutlu yazıcılarda üretilen malzemelerin yapısal ve görsel özelliklerinde de ilerlemeler gözlemlenmiştir. 2005 yılında üretilen Specturum Z510 cihazı ile birlikte yüksek çözünürlüklü renkli üretim mümkün hale gelmiştir (Kong vd., 2016). 2007 yılında Z450 isimli üç boyutlu yazıcı ile birlikte cihazların üretim maliyetleri dolayısı ile satış fiyatları da düşürülerek piyasada kullanımına olanak sağlanmıştır. Bu cihaz ile birlikte ek özellik olarak Zprint yazılımına sahip LCD panel yardımı ile kullanılan malzeme, yapıştırıcı ve mürekkep miktarları takip ve müdahale edilebilir hale gelmiştir. 2010 yılına geldiğimizde ise tüm dış aksamları katmanlı imalat teknolojisi ile üretilen Urbee otomobil geliştirilmiştir (Attaran, 2017). Otomobil imalatı sonrası başarılar referans alınarak SULSA isimli uçak tüm yapı, kanat ve iç kontrol yüzeyleri ile polimer malzeme kullanılarak üretilmiştir (Banfield vd., 2016).

Literatürde yer alan bu çalışmaların büyük bir kısmı imal edilebilirlik ve kullanılabilirlik üzerine odaklanmış ve günümüzde halen çalışılmakta olan önemli bir alanı teşkil etmektedir. Ancak üretilen bu parçaların mukavemetleri üzerine yapılan çalışmaların sayısı oldukça azdır. Özellikle polimer malzemelerin farklı sıcaklıklar altında farklı davranışlar göstermesinden kaynaklı bu teknoloji ile üretilen malzemelerin termal dayanım ve çalışma ömrü açısından incelenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında farklı üretim hızlarında üretilen parçaların farklı sıcaklıklar altındaki mukavemetleri karşılaştırılacaktır.

## 2. KATMANLI İMALAT PROTOTİPLEME SÜRECİ

Günümüzde, gelişen teknoloji ile birlikte kaliteli ve hızlı üretim yöntemlerinden katmanlı imalat yöntemi çeşitli alanlarda önemli bir yere gelmiştir (Özkaya, 2020). Üç boyutlu yazıcı kullanılarak yapılan üretim süreci üç boyutlu tasarım süreci ile başlamaktadır. Herhangi bir üç boyutlu tasarım programıyla üretilmesi hedeflenen parçanın üç boyutlu modeli hazırlanabilir. Sonrasında bu datalar STL formatına dönüştürülerek imalat süreci başlatılır. Cihaz üzerinde üretilen parçanın kalite standartlarına göre ayarlamaları yapılarak üç boyutlu yazdırma işlemine geçilebilmektedir. Yazım işlemi tamamlandığında özel aparatlar ile yazılan malzeme tezgâh üzerinden alınır. Bu malzeme üzerinde parçanın orijinalinde olmayan fakat yazımı için gerekli iskelet veya köprü gibi yapıların parça üzerinden sökülme işlemi gerçekleştirilir. Sonrasında gerekli ek işlemler gerçekleştirilerek parça imalatı tamamlanır. Katmanlı imalat işlem adımları Şekil 1’de özetlenmiştir.



Şekil 1. Katmanlı imalat işlem adımları

## 3. KATMANLI ÜRETİM YÖNTEMLERİ

### 3.1. Polimerizasyon

Fotopolimer reçinenin hammadde olarak kullanıldığı üç boyutlu imalat yöntemidir. Bu yöntemde sertleştirme kaynağı olarak ultraviyole ışınlar kullanılır. Yöntem kendi içerisinde dört çeşide ayrılmaktadır. Lazer Stereolitografi (Stereolithography-SLA) yöntemi hazneye reçine doldurulduktan sonra yukarıdan lazer ışını ile soğutulmuş tabla aşağı yönde hareket ettirilir. Her tabla hareketinde bir katman yazılması sağlanır ve imalat gerçekleştirilir. Dijital Işık (Digital Light Processing-DLP) yönteminde ise hazneye reçine doldurulduktan sonra aşağıdan lazer ışını ile soğutulmuş tabla yukarı yönde hareket ettirilir. Her tabla hareketinde bir katman yazılması sağlanır ve imalat gerçekleştirilir. Polimer Jet (Poly jet-PJ) yönteminde ise sıvı reçine nozullardan geçirilerek tablaya getirilir. Yapılmak istenilen malzemenin geometrik şekli lazer ışını yansımaları sayesinde sertleştirilir ve imalat gerçekleştirilir. Mikro Stereolitografi (Micro Stereolithography) yöntemi PJ yönteminin mini versiyonudur. Polimerizasyon yöntemi karmaşık geometrilerde yüksek hassasiyet ve pürüzsüz yüzey elde etmek için tercih edilmektedir. Kırılgan yapısı sebebiyle genel olarak mekanik aksam parçası olarak kullanılmazlar.

### 3.2. Sinterleme ve ergitme

Metal tozları katmanlar halinde bir alan içerisine serildikten sonra lazer ışın kaynağı kullanılarak kaynatma yönetimi ile bütünlüğün sağlandığı üç boyutlu imalat yöntemidir. Yöntem kendi içerisinde üç çeşide ayrılmaktadır.

Lazerle Sinterleme (Selective Laser Sintering-SLS) yönteminde cihazda iki tane hazne vardır. Metal tozu haznesi her katman için bir kademe yukarı çıkarken, lazer ışını ile yazımın gerçekleştirildiği hazne her yeni metal tozu katmanı için bir kademe aşağıya hareket eder. Böylece katmanlar yazılır ve metal parça işlemesi tamamlanmış olur. Lazer ile Ergitme (Selective Laser Melting-SLM) imalat yönteminde ise SLS'den farklı olarak metal ergitilir ve saf metal elde edilir. Elektron Demeti ile Ergitme (Electron Beam Melting-EBM) yönteminde ise metal elektron ışınları ile ergitilir. Sinterleme ve ergitme yöntemlerinde metal malzeme üretimi hassas, yüksek dayanım ve rijitliğe sahiptir. Bu yönü ile geleneksel kalıplama çalışmalarında kullanılan malzemelere iyi bir alternatiftir.

### 3.3. Katman laminasyonu

Lamine Nesne Üretimi (Laminated Object Manufacturing-LOM) yönteminde metal, plastik veya kağıt hammaddeleri ısı ve basınç etkisi ile birbirleri aralarında bağ kurabilmektedir. Bu yöntemde hammaddeler tabakalar halinde kullanılır. Isı ve basınç etkisi ile birbirine yapıştırılan hammaddeler lazer veya bıçak ile istenilen geometrilere kesilir. Her katman için bu yapıştırma ve kesim işlemleri tekrarlanır.

### 3.4. Toz bağlayıcı üretim

Metal tozlarının toz bağlayıcı üretim (3DP) yönteminde metal tozları sıvı bağlayıcı özel maddeler ile şekillendirilir. Ancak bu şekillendirme sadece kendi ağırlığını taşıyacak kadardır. Sonrasında preslenerek daha güçlü hale getirilir. Bu yöntemle üretilen parçaların sinterlenmesi gerekir. Geleneksel veya lazer yöntemi ile sinterleme gerçekleştirilerek yüksek yoğunlukta ve mukavemette malzeme elde edilebilir.



















































### 3.5. Ekstrüzyon-ergitilmiş katman modelleme

Ergitilmiş katmanla üretim (Fused Deposition Modeling-FDM) yönteminde termoplastik malzemeler eritilerek filament haline getirilir. Üç boyutlu yazıcının nozulu içerisinden geçirilen filamentler belirli bir sıcaklıkta eritilerek cihazın tablası üzerinde katmanlı yazım işlemine maruz bırakılır. Kullanılan termoplastik malzemeler mukavemet özelliklerine göre sınıflandırılabilir; PLA (polilaktik asit), ABS (akrilonitril bütadien stiren), PA (poliamid), PETG (polietilen tereftalat) ve TPU (termo plastik poliüretan). FDM teknolojisi ile üretilen ürünler üzerinde kaplama, zımparalama, frezeleme gibi ikincil işlemler gerçekleştirilebilir. Yukarıda bahsedilen tüm yöntemlerin; malzeme, çözünürlük, mukavemet, pürüzlülük, detay ve doğruluk yönünden değerlendirildiği ve aynı zamanda karşılaştırıldığı çizelge Tablo 1'de verilmiştir.

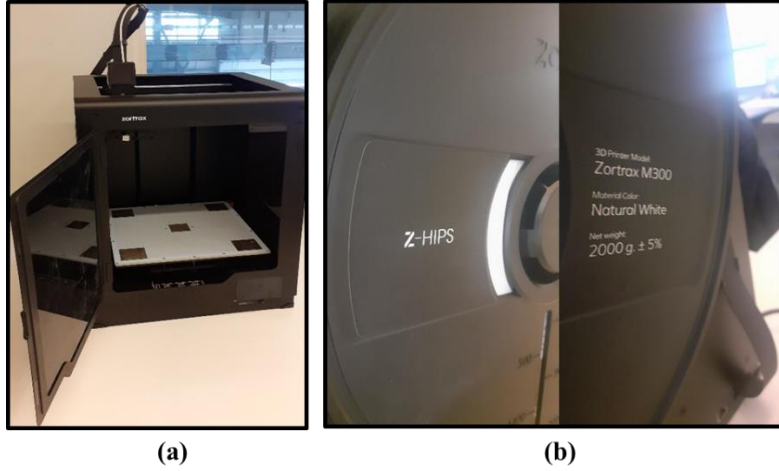
## 4. BULGULAR

Bu çalışmada, malzeme imalatı için FDM teknolojisi kullanılmış, Zortrax M300 Plus makinesi tercih edilmiştir. Termoplastik malzemelerden eritilerek elde edilen filamentlerin kullanıldığı cihazda filamentler belirli sıcaklığa sahip nozullar içerisinden geçirilerek eritilir ve katmanlar halinde üç boyutlu yazım çalışması gerçekleştirilir. Cihazın katman çözünürlüğü 90-290 mikron olup minimum duvar kalınlığı 400 mikrondur. Platform yükseklik seviyesi çözünürlük ayarına ve katman seviyesine göre kendini ayarlamaktadır. Maksimum baskı sıcaklığı 290°C olup maksimum platform sıcaklığı 105°C'dir. Cihaz FDM teknolojisi kapsamında termoplastik malzemeler olan Z-ULTRAT, Z-PETG, Z-GLASS, Z-HIPS, Z-ASA Pro, Z-PLA Pro, Z-ESD, Z-SEMIFLEX malzemeleri ile çalışmaya uygundur. Zortrax M300 Plus cihazı Şekil 2a'daki gibidir. Mekanik parçaların prototiplemesinde sertlik seviyesinden ödün vermeden pürüzsüz ve doğruluk seviyesi yüksek malzeme olan Z-HİPS filamentinin kullanılmasına karar verilmiştir. ISO 527:1998 standartlarında belirlenen test sonuçlarına göre filamentin kopma (çekme) mukavemet değeri 16,90 MPa, akma mukavemeti değeri 13,02 MPa; kopma noktasına gelene kadar olan uzama yüzdesi 1,87; kopmadan önceki uzama yüzdesi 7,75'dir. ISO 178:2011 standartlarında belirlenen test sonuçlarına göre burulma gerilme değeri 29,30 MPa; eğilme modülü değeri 1,18 GPa'dır. ISO 180:2004 standartlarında belirlenen test sonuçlarına göre darbe direnci değeri 4,82 kJ/m<sup>2</sup>'dir. ISO 1183-3:2003 standartlarında belirlenen test sonuçlarına göre yoğunluğu 1,136 g/cm<sup>3</sup>'tür. ISO 1183-3:2003 standartlarında belirlenen test sonuçlarına göre yüzey sertliği 73,2'dir. Kullanılan malzemenin resmi Şekil 2b'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Katmanlı Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Saleh Alghamdi, 2021)

Yöntem	Güç Kaynağı	Malzeme	Çözünürlük	Mukavemet	Pürüzlülük	Detay	Doğruluk
LOM	Termal enerji	Polimer metal kağıt	 ORTA	 ORTA	 ORTA	 ZAYIF	 ZAYIF
SLS	Lazer ışını	Polimer metal seramik	 ZAYIF	 YÜKSEK	 ZAYIF	 YÜKSEK	 YÜKSEK
EBM	Elektron ışını	Metal seramik	 ZAYIF	 YÜKSEK	 YÜKSEK	 YÜKSEK	 YÜKSEK
SLM	Lazer ışını	Polimer metal seramik	 ZAYIF	 YÜKSEK	 ZAYIF	 YÜKSEK	 YÜKSEK
SLA	UV ışını	Polimer termopolimer	 YÜKSEK	 ORTA	 YÜKSEK	 YÜKSEK	 YÜKSEK
DLP	UV ışını	Polimer termopolimer	 YÜKSEK	 ORTA	 YÜKSEK	 YÜKSEK	 YÜKSEK
Polyjet	UV ışını	Polimer termopolimer	 YÜKSEK	 ZAYIF	 YÜKSEK	 YÜKSEK	 YÜKSEK
Mikro Streolitog rafi	UV ışını	Polimer termopolimer	 YÜKSEK	 ORTA	 YÜKSEK	 YÜKSEK	 YÜKSEK
FDM	Termal enerji	Polimer termopolimer	 ORTA	 YÜKSEK	 ORTA	 YÜKSEK	 ZAYIF
3DP	Projeksiyon	Kompozit	 ZAYIF	 ZAYIF	 ZAYIF	 ORTA	 ZAYIF



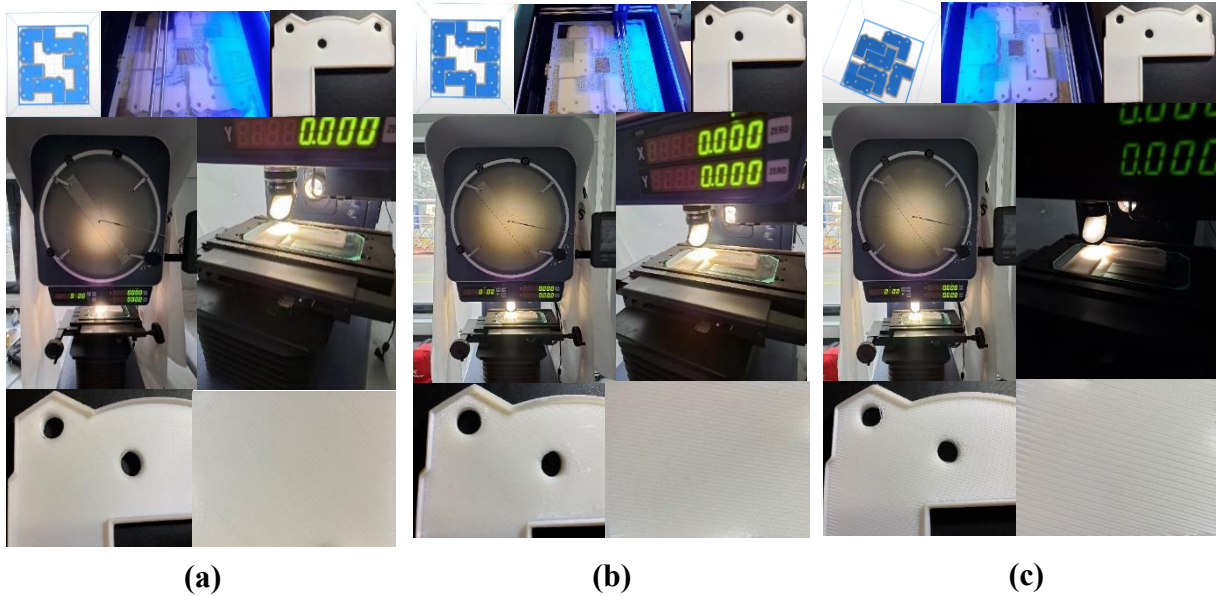


Şekil 2. Zortrax M300 Plus Üç Boyutlu Yazdırma Cihazı (a), Z-Hips Filamenti (b)

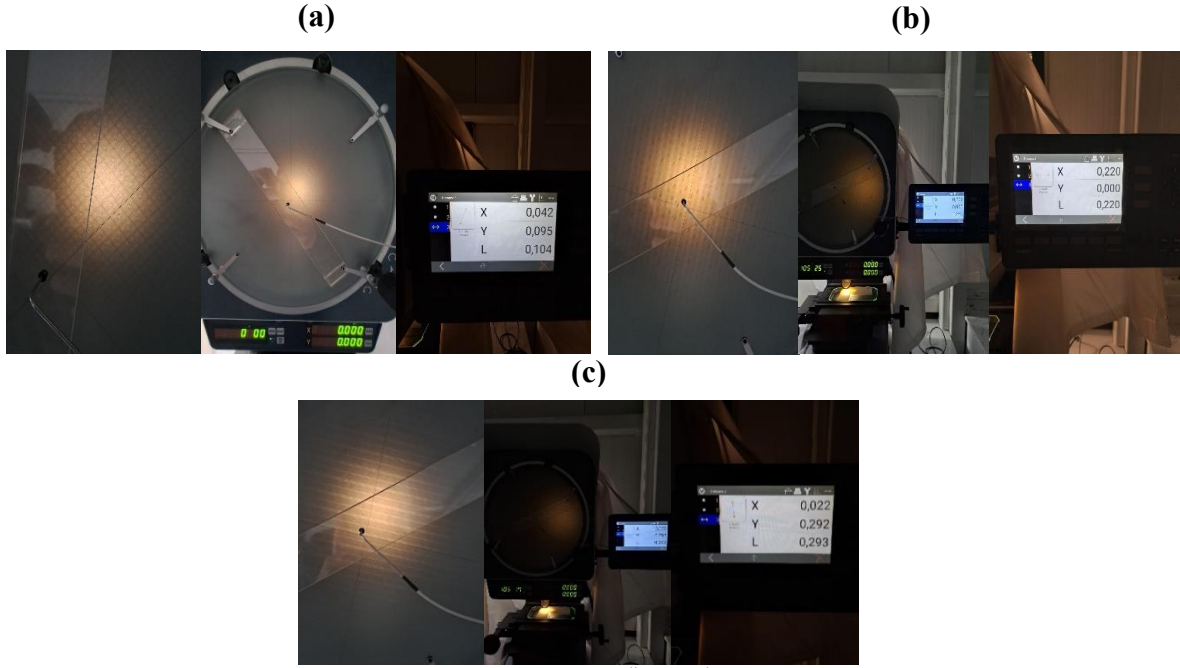
#### 4.1. Parça numune imalatı

Zortrax M300 Plus üç boyutlu imalat cihazında Z-Hips filamentin yazımı 0,4 mm nozul meme çapı ile gerçekleştirilmiş ve treyler araçlarının kapı kilitlerinde kullanılan malzeme numuneleri için çözünürlük değerleri sırasıyla 0,09, 0,19 ve 0,29 mikron ve tam dolu olarak seçilmiştir. Makinenin en hassas ayarı olan dilimleme çalışmasında 1 adet 0,09 mikron malzeme için yaklaşık 62 gr filament kullanılmıştır ve imalat süresi on iki saat yirmi beş dakikadır (Şekil 3a). Makinenin orta hassas ayarı olan dilimleme çalışmasında ise 1 adet 0,19 mikron malzeme için yaklaşık 62 gr filament kullanılmıştır ve imalat süresi yedi saattir (Şekil 3b). Son olarak, makinenin düşük hassas ayarı olan dilimleme çalışmasında da 1 adet 0,29 mikron malzeme için yaklaşık 62 gr filament kullanılmıştır ve imalat süresi üç saat kırk beş dakikadır (Şekil 3c). Elde edilen numunelerin yüzey incelemesi profil projektör cihazı altında gerçekleştirilmiştir.

Üretilen numuneler profil projector cihazı tarafından mercek altına alınmış ve çözünürlükleri 0,09, 0,19 ve 0,29 mikron olan malzemelerin filament çizgileri arasındaki mesafeler sırayla 0,104, 0,220 ve 0,293 mm olarak ölçülmüştür. Ölçüm işlemi Şekil 4'teki gibidir.

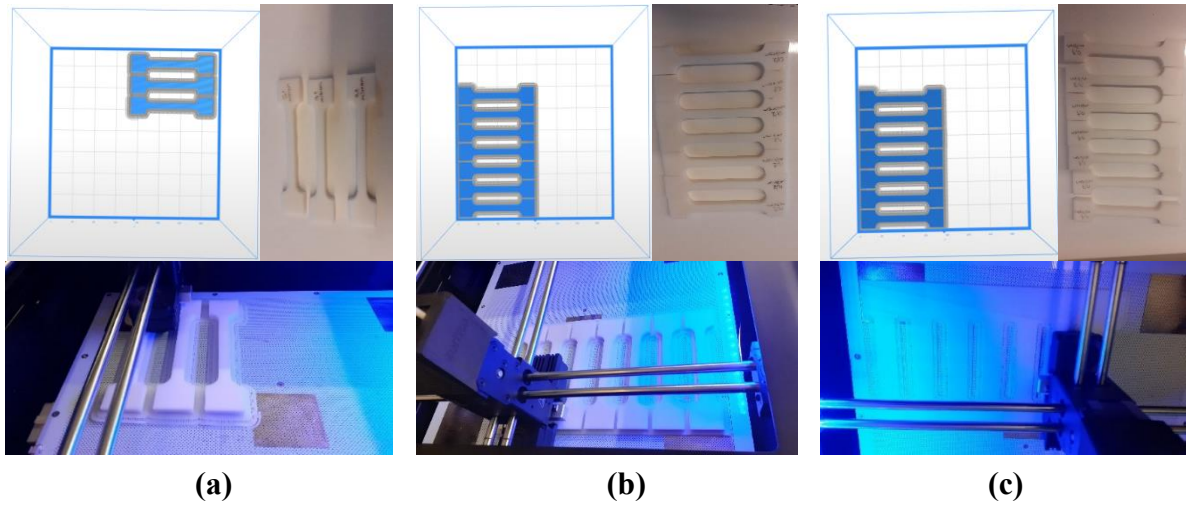


Şekil 3. Farklı Çözünürlüklerde Numune İmalatı ve Yüzey İncelemesi



Şekil 4. Numunelerin Ölçüm İşlemleri

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile üç farklı çözünürlükte imal edilen malzemeler çekme numunesi olarak kullanılacak, malzemelerin akma mukavemetleri, dayanımları ve farklı sıcaklıklar altındaki davranışları çalışma kapsamında incelenecek ve sonuçlar tartışılacaktır. Çekme testi numunelerinin resimleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



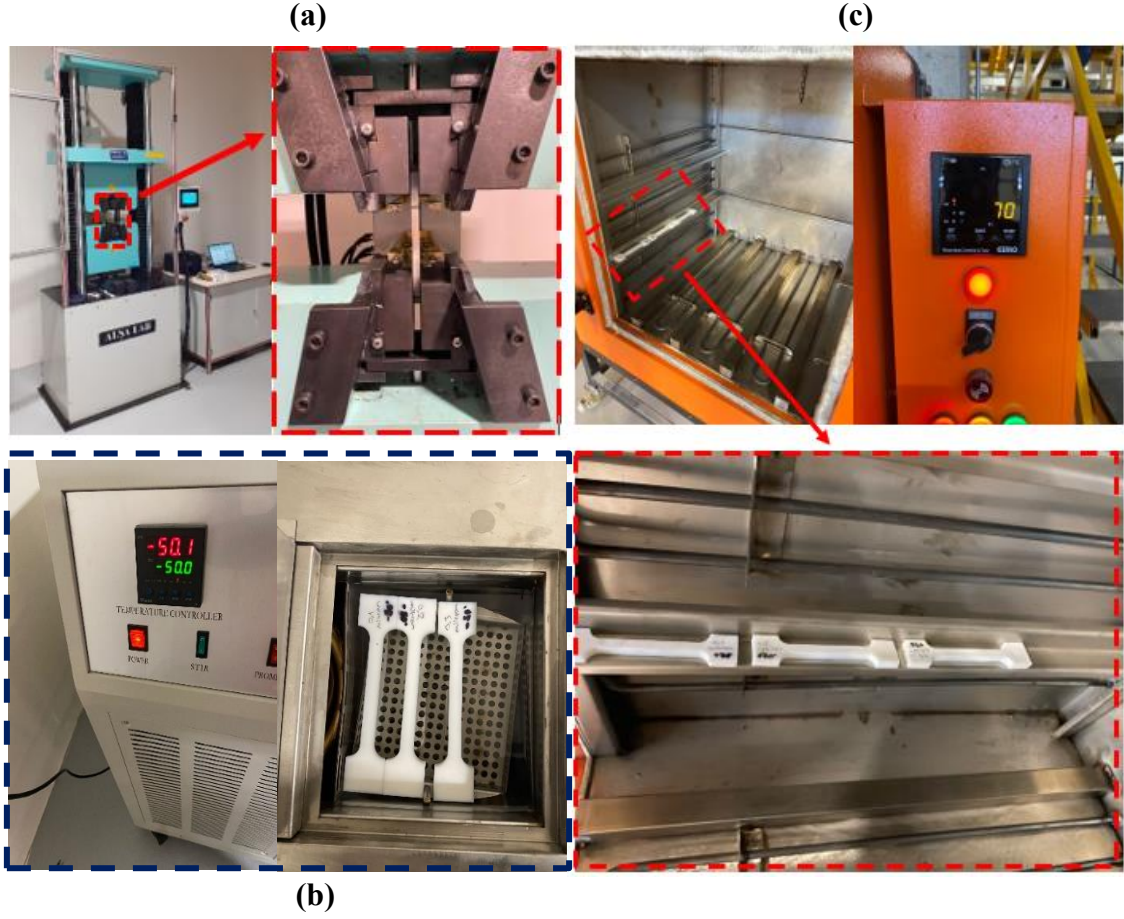
Şekil 5. Çekme Testi Numuneleri, (a) 0,09 Mikron, (b) 0,19 Mikron, (c) 0,29 Mikron

#### 4.2. Farklı sıcaklık ve çözünürlüklerde çekme testleri

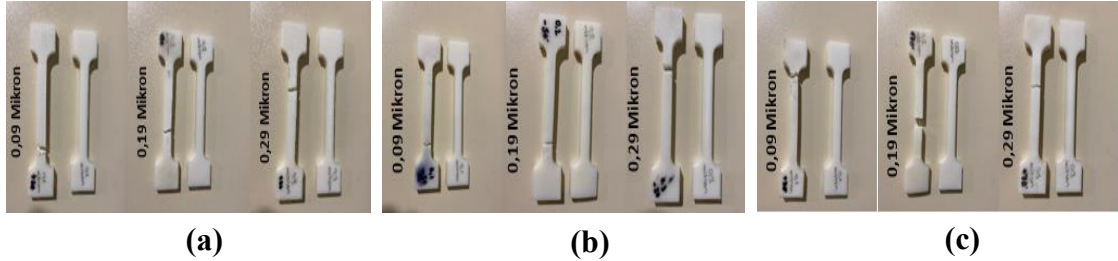
Üç boyutlu yazıcıda üretilen parçalardaki çözünürlük değerleri malzeme üretim hızını ve maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Treyler sektöründe kullanılan bu parçalar yaklaşık olarak -50-70 °C aralığındaki sıcaklıklara maruz kalabileceği ön görülmektedir. Bu sebeple -50 °C, 20 °C ve 70 °C olmak üzere üç farklı sıcaklık değeri altında üç



farklı çözünürlük için numunelerin çekme testleri gerçekleştirilmiştir.  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta çekme testlerinin yapılabilmesi için bir soğutma sisteminde numuneler yaklaşık olarak bir saat bekletilmiştir (Şekil 6b). Benzer şekilde  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta çekme testlerinin yapılabilmesi için bir ısıtma sisteminde numuneler yaklaşık olarak bir saat boyunca bekletilmiş ve akabinde vakit kaybetmeden parçaların çekme testleri yapılmıştır (Şekil 6c). Mekanik testler Alşa marka 300 kN kapasiteli çekme cihazı (Şekil 6a) ile gerçekleştirilmiştir. Üç farklı sıcaklık için çekme testi numunelerinin görselleri Şekil 7’de verilmiştir.

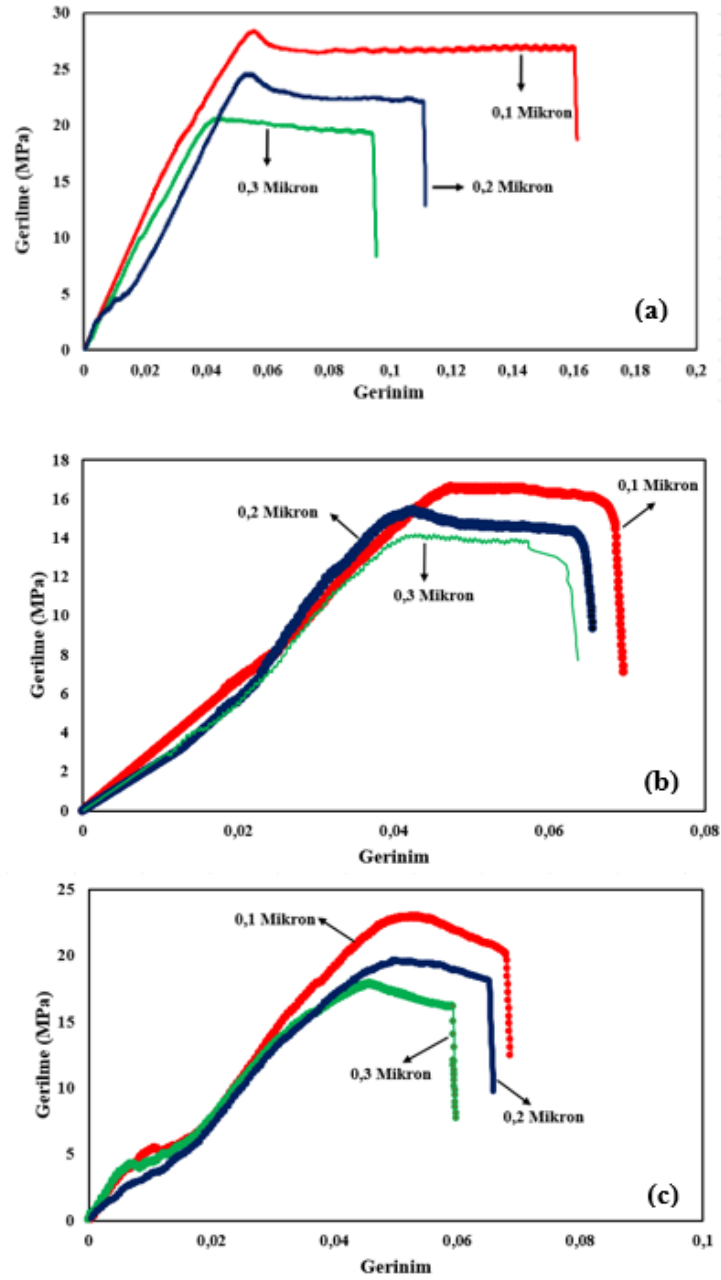


Şekil 6. Çekme Test Sistemi (a), Soğutma Sistemi (b), Isıtma Sistemi (c)



Şekil 7. Farklı Sıcaklıklarda Test Numuneleri (a)  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , (b)  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , (c)  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$

Sonuç olarak, farklı çözünürlükte üretilen çekme numuneleri üç farklı sıcaklıkta çekme testine tabi tutulmuş, gerilme-gerinim grafikleri Şekil 8’de verilmiştir. Sıcaklık arttıkça akma mukavemeti azalmıştır.



Şekil 8. Farklı Sıcaklıklarda Gerilme-Gerinim Grafikleri (a) 20°C, (b) 70°C, (c) -50°C

## 5. TARTIŞMA

Treylerin çeşitli bölgelerinde kullanılan malzemelerin kullanım şartlarının belirlenebilmesi için kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda kullanım şartlarını içeren bir çekme testi planı oluşturulmuş, elde edilen sonuçlar gerilme-gerinim grafikleri şeklinde çalışmaya dahil edilmiştir. İmalat sürecinde çözünürlük değerinin düşmesi, imalat süresini oldukça artırır. Bu noktada optimum çözünürlük

değerinin belirlenmesi önemlidir. Bu çalışma, treyler aracının maruz kalabileceği sıcaklık değerleri dikkate alınarak eklemeli imalat yöntemiyle üretilebilecek malzemelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılmasını sunmaktadır. Şekil 8a 20°C için çekme deneyi sonuçlarını vermektedir. Grafikte görüldüğü gibi 0,29 mikron çözünürlükte üretilen bir parçanın akma mukavemeti 20,2 MPa, 0,19 mikron çözünürlükte 24,8 MPa ve 0,09 mikron çözünürlükte 28,6 MPa'dır. Üretilen parçalarda istenilen mukavemet koşullarına göre çözünürlük değerinin belirlenmesi için bu değerlerin bilinmesi gerekmektedir. Artan sıcaklığın mekanik özellikleri azalttığı bilinmektedir (Kılıç vd., 2022). Hem çevre şartları hem de çalışma koşulları nedeniyle bu çalışmanın konusu olan parça üzerindeki sıcaklık 70°C civarlarına kadar çıkabilmektedir. Şekil 8b incelendiğinde 0,29 mikron çözünürlük için 13,8 MPa, 0,19 çözünürlük için 14,2 MPa ve 0,09 mikron çözünürlük için 16,2 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu grafik, imalat süresi göz önüne alındığında, 70°C çalışma sıcaklığına sahip yapıların çözünürlük değerini 0,19 mikron veya 0,29 mikron olarak seçmesinin makul olabileceğini göstermektedir. Özellikle soğuk ülkelerde çalışma şartları -50°C civarına kadar düşebilmektedir. Diğer bir durum ise soğuk taşıma koşulları gerektiren ürünler için üretilen araçlardır. Bu araçların çalışma şartları -50°C civarına kadar düşebilmektedir. Bu koşul altında çalışacak parçaların üretimi için ise Şekil 8c dikkate alınmalıdır. Akma mukavemeti 0,29 mikron çözünürlük için 17,4 MPa, 0,19 mikron çözünürlük için 19,7 MPa ve 0,09 mikron çözünürlük için 23,5 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda istenilen mekanik özelliklere göre çözünürlük değeri seçilebilir.

Bu çalışmada 0,09 mikron çözünürlükte üretilen parçaların akma mukavemetleri karşılaştırıldığında 20°C için 28,6 MPa 70°C için 16,2 MPa ve -50°C için 23,5 MPa olarak hesaplanmıştır. En iyi sonucun oda sıcaklığında olduğu görüldü de standart metalik malzemeler için -70°C de malzemenin gevrekleşmesi ve akma mukavemetinin artması bekleniyordu. Yine de mekanik özelliklerde hafif bir düşüş gözlemlendi. Tanabi ABS filament ile yaptığı çalışmada eklemeli imalat yöntemiyle üretilen parçaların dört farklı sıcaklıkta (20°C, -20°C, 40°C ve 60°C) mekanik özelliklerini karşılaştırdı. 20°C, 40°C ve 60°C sıcaklık değerleri için sıcaklık artışı ile akma mukavemeti azalırken, -20°C'de elde edilen akma mukavemeti değeri oda sıcaklığındaki akma mukavemeti değerinden daha düşük olmuştur (Tanabi, 2021). Bir parça yukarıdaki sıcaklıkların tamamı altında çalışacaksa üzerine gelecek yük değerine göre gerilmeler hesaplanmalı ve akma mukavemeti altında yüksek gerilmeler var ise 0,1 mikron çözünürlük değeri ile imalat gerçekleştirilmelidir. Üretilen parçanın üzerine gelen yük değeri çok düşük ise 0,3 mikron çözünürlük değeri ile imalat gerçekleştirilebilir.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada, üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile gerçekleştirilen katmanlı imalat yöntemi treyler sektöründe sıklıkla kullanılan montaj malzemelerin üretimi için kullanılmıştır. Üç boyutlu yazıcı ve FDM yöntemi aracılığıyla Z-Hips filament kullanılarak 0,09 mikron, 0,19 mikron ve 0,29 mikron çözünürlüklerde çekme numuneleri imal edilmiştir. Numunelerin tamamı profil projektör cihazı ile yaklaşılarak detaylı olarak incelenmiştir. Çözünürlük değerine göre detaylı yazım çizgilerinin mesafe kontrolleri yapılmıştır. Çözünürlüğü düşük olan numunelerin ölçüleri ile, diğer çözünürlük değerine sahip numunelerin ölçüleri karşılaştırılmış olup, eritilerek yazılan her filament çizgisinin çözünürlüğüne uygunluğu teyit edilmiştir. Mevcut çalışma imalat çözünürlüklerinin belirlenmesine örnek olması amacıyla yapılmıştır. İmalat sırasında zamandan tasarruf etmek ve uygun çözünürlük değerini seçmek için bir model sunmaktadır.

### **Teşekkürler**

Yazarlar, bu çalışmada yapılan işlemler sırasında verdiği destekten dolayı Tırsan Treyler A.Ş. şirketine teşekkür eder.

### **Yayın Etiği Beyanı**

Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmez.

### **Araştırmacıların Katkısı**

Yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması**

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## **KAYNAKLAR**

- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677–688.
- Banfield, C., Kidd, J., & Jacob, J. D. (2016). Design and Development of a 3D Printed Unmanned Aerial Vehicle.
- Barz, A., Buer, T., & Haasis, H. D. (2016). A Study on the Effects of Additive Manufacturing on the Structure of Supply Networks. *IFAC-PapersOnLine*, 49(2), 72–77.
- Kılıç, S., Demirdöğen, MF. (2022). Sıcaklık ve Deformasyon Hızının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(2), 406-419 .
- Kong, X., Nie, L., Zhang, H., Wang, Z., Ye, Q., Tang, L., Huang, W., & Li, J. (2016). Do 3D Printing Models Improve Anatomical Teaching About Hepatic Segments to Medical Students? A Randomized Controlled Study. *World Journal of Surgery*, 40(8), 1969–1976.
- Mussi, E., Furferi, R., Volpe, Y., Facchini, F., McGreevy, K. S., & Uccheddu, F. (2019). Ear reconstruction simulation: From handcrafting to 3D printing. In *Bioengineering*, 6(1), 14.
- Özkaya, Y. (2020). Industry 4.0 Journey and Key Resources. In *TOGU Career Research Journal*, 1(1), 31-39.
- Salazar-Gamarra, R., Contreras-Pulache, H., Cruz-Gonzales, G., Binasco, S., Cruz-Gonzales, W., & Moya-Salazar, J. (2022). Three-Dimensional Printing and Digital Flow in Human Medicine: A Review and State-of-the-Art. In *Applied System Innovation*, 5(6), 126.
- Saleh Alghamdi, S., John, S., Roy Choudhury, N., & Dutta, N. K. (2021). *Polymers Additive Manufacturing of Polymer Materials: Progress, Promise and Challenges*, 13, 753
- TANABİ, H. (2021). Investigation of the temperature effect on the mechanical properties of 3D printed composites. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5(2), 188–193.
- Tatlı, O. (2020). Üç boyutlu yazıcı tasarımı, imalatı ve dolgu geometrisinin mekanik özelliklere etkisi. Diss. Bursa Uludag University.
- Wagner, S. A., & Kreyer, R. (2021). Digitally Fabricated Removable Complete Denture Clinical Workflows using Additive Manufacturing Techniques. *Journal of Prosthodontics*, 30, 133–138.