

ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ




INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

APPLICATION OF LAYERED MANUFACTURING TECHNOLOGY WITH 3D PRINTERS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

3D YAZICILAR İLE KATMANLI İMALAT
TEKNOLOJİSİNİN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE
UYGULANMASI

Yazarlar (Authors): Şüheda Özel^a  Muzaffer Zeren^{b*}  Neşe Çakıcı Alp^c 

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Özel Ş., Zeren M., Alp Ç.,N.,“ Application Of Layered Manufacturing Technology With 3d Printers In Automotive Industry”, *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 4(1): 18-31, (2020).

Erisim linki (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

DOI:

3D YAZICILAR İLE KATMANLI İMALAT TEKNOLOJİSİNİN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE UYGULANMASI

Şüheda Özel^a  Muzaffer Zeren^{b*}  Neşe Çakıcı Alp^c 

^aKocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, KANCA El Aletleri Dövme Çelik ve Mak. San. Ar-Ge Bölümü,
TÜRKİYE

^bKocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

^c Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar: zeren@kocaeli.edu.tr

(Geliş/Received: 19.01.2020; Düzeltme/Revised: 02.02.2020; Kabul/Accepted: 08.02.2020)

ÖZET

Otomotiv endüstrisi her gün yeni zorluklarla karşı karşıya olup, kısa vadede araçların yeniden şekillendirilmesi, yeni modeller ve tasarımsal düzeltmeler geleneksel imalat yöntemlerini zorlamaktadır. Otomotiv endüstrisi en rekabetçi iş alanlarından biridir. 3D katmanlı imalat, maliyetleri ve tedarik süresini olumsuz etkilemeden, otomotiv parçalarının esnek bir şekilde üretilmesini sağlayan bir çözümdür. Sıklıkla yeni modeller üretmek ve görünüm geliştirmeleri yapmak durumunda kalan otomotiv firmaları, estetik, aerodinamik, güvenlik ve ağırlık azaltma konularındaki teknolojik evrimden etkilenerek gelişmektedir. Dijitalleşme, otomotiv endüstrisinin tasarımlarını daha hızlı ve daha verimli bir şekilde başarılı sonuçlara dönüştürmesine yardımcı olmaktadır. Otomobil üreticileri, 3D katmanlı imalat ile araştırma ve geliştirme süreçlerinin verimliliğini artırabilir ve ürünlerini daha kısa sürede ve verimli bir şekilde piyasaya sürebilir. Otomotiv sektöründe 3D katmanlı imalat yönteminin kullanılmasıyla karmaşık hafif yapıların hızlı bir şekilde üretilmesi mümkündür. Bu çalışma, otomobil endüstrisinde 3D katmanlı imalatının bugünü ve geleceğinin bir incelemesini sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv endüstrisi, Katmanlı imalat, 3D baskı.

APPLICATION OF LAYERED MANUFACTURING TECHNOLOGY WITH 3D PRINTERS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

ABSTRACT

The automotive industry is facing new challenges every day, and in the short term, vehicle remodeling, new models, and design corrections challenge the traditional manufacturing methods. The automotive industry is one of the most competitive business areas. 3D manufacturing is a solution that enables the flexible production of automotive parts without negatively affecting the costs and the lead time. Automotive companies, which often must produce new models and make appearance improvements, are influenced by the technological evolution in aesthetics, aerodynamics, safety, and weight reduction. Digitization helps the automotive industry turn their designs into successful results faster and more efficiently. Automobile manufacturers can improve the efficiency of their research and development processes with 3D layered manufacturing and market their products in less time and more efficiently. In the automotive sector, it is possible to produce complex lightweight structures quickly by using the 3D additive manufacturing method. This study provides an overview of the present and the future of the 3D layered manufacturing in the automobile industry.

Keywords: Automotive industry, Additive manufacturing, 3D printing.

1. GİRİŞ

Yaygın olarak 3D baskı olarak bilinen katmanlı imalat (Additive Manufacturing) 3boyutlu model verilerinden nesne oluşturmak, genellikle katman üzerinde katman oluşturmak için malzemelerin birleştirme işlemidir [1].3D bir obje oluşturmak için bilgisayar kontrolü altında malzemeler eritilip

birleştirilerek veya eritilip katılaştırılarak tabaka üzerine tabakaların eklenmesidir [2-5]. Otomotiv üreticileri, katmanlı imalat teknolojisinin uygulanmasında ön saflarda yer aldığı görülmektedir. 3D katmanlı imalatın otomotiv endüstrisindeki en önemli uygulamalarından biri hızlı prototiplemedir. Prototiplemenin ötesinde, otomotiv üreticileri günümüzde fiili imalat için de katmanlı imalatı kullanılmaya başlamıştır. Son yıllarda, 3D katmanlı imalat teknolojileri; yeni ürünler tasarlama, geliştirme ve üretme yöntemini, gelenekleri kökten değiştirmeye başlamıştır. 3D katmanlı imalat; otomotiv endüstrisinde, daha hafif ve daha karmaşık parçaların mümkün olan en düşük maliyetle yapılmasına olanak tanıyarak yeni parçaların şekillendirilmesinde harikalar yaratarak üreticileri cesaretlendirmektedir [6-8].

2. KATMANLI İMALATIN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNE SUNDUĞU FIRSATLAR

- Karmaşık şekilli parçaların hızlı bir şekilde tasarlanması, imalatının mümkün olması,
- Hafif fakat maksimum sertlik seviyesine sahip, karmaşık parçaların tasarımda sınırsız özgürlük,
- Malzeme israfının önemli ölçüde azalması,
- İmalat adımlarının sayısının azaltılması,
- Manuel montaj işlemleri sayısının ve işçiliklerin azaltılması,
- Üretilen parçaların mikroyapısının tam olarak kontrol edilebilmesi,
- Zaman ve maliyetlerde azaltma (daha kısa sürede parça teslimi),
- Daha fazla pazar fırsatına yol açılması [9-14].

3. KATMANLI İMALATIN GENEL AŞAMALARI

3.1. Model İmalatı

Dijital model üretmek, katmanlı imalat sürecindeki ilk adımdır. Dijital bir model üretmenin en yaygın yöntemi bilgisayar destekli tasarımdır (CAD). Tersine Mühendislik (Reverse Engineering), 3D tarama ile dijital model oluşturmak için de kullanılabilir [9,13,15,16].

3.2. STL Dönüşümü ve Dosyaların Oluşturulması

Geleneksel imalat metodolojisinden farklılık gösteren 3D katmanlı imalat sürecinde kritik bir aşama, bir CAD modelinin bir STL (stereolitografi) dosyasına dönüştürülmesi gerekliliğidir. STL, bir nesnenin yüzeylerini tanımlamak için üçgenleri (çokgenler) kullanır. Bir modeli fiziksel boyut ve çokgen sayımı da dahil olmak üzere bir STL dosyasına dönüştürmeden önce göz önünde bulundurulması gereken birkaç model sınırlaması vardır. Bir STL dosyası oluşturulduktan sonra, dosya bir dilimleme programına alınır. Bu program STL dosyasını alır ve G koduna dönüştürür. G kodu, sayısal bir kontrol (NC) programlama dilidir. Bilgisayar destekli imalat (CAM) otomatik tezgahları (CNC tezgahları ve 3D yazıcılar dahil) kontrol etmek için kullanılır. Dilimleyici programı ayrıca tasarımcının destek, katman yüksekliği ve parça yönlendirme dahil yapı parametrelerini özelleştirmesini sağlar [1,9,15-18]. Bu çalışmada RhinoCeros 3D programı kullanılmıştır.

3.3. Baskı

3D baskı makineleri genellikle birçok küçük ve karmaşık parçadan oluşur, bu nedenle doğru baskı ve kalibrasyon, doğru baskılar elde etmek için kritik öneme sahiptir. Bu aşamada, baskı malzemesi de yazıcıya yüklenir. Bu çalışmada PLA tipi plastik filament baskı malzemeleri ve AnyCubiki3 Mega 3D tipi katmanlı yazıcı kullanılmıştır [9,16].

3.4. İmalat Sonrası

İmalat sonrası işlemler yazıcının teknolojisine göre değişiklik gösterir. Katmanlı imalat parçaları hemen kullanılabilirken, bazı metal parçaların gerilme giderme tavlmasına gerek duyulabilir. Ayrıca bazı üretilen parçaların imalat sonrası yüksek basınçlı hava ile temizleme, parlatma ve renklendirme dahil bazı işlemlere ihtiyaç duyulabilir [9].

4. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEKİ GEREKSİNİMLER

4.1. Ağırlık -Son Parçalar

Otomotiv endüstrisi ile ilgili en kritik hususlardan biri parçaların ağırlıklarının azaltılmasıdır. Otomotiv uygulamaları, ağırlığı azaltmak ve performansı artırmak için gelişmiş mühendislik malzemelerini ve karmaşık geometrileri kullanmaktadır. Katmanlı imalat, otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan hafif polimerlerden ve metallerden parçalar üretme yeteneğine sahiptir [9].

4.2. Karmaşık Geometriler

Araçların ağırlığını azaltmak ve aerodinamiği iyileştirmek (ve dolayısıyla araç performansını artırmak), bir parçanın geometrisine doğrudan bağlıdır. Katmanlı imalat, son derece hafif ve kararlı olabilen oldukça karmaşık yapıların imalatını mümkün kılmaktadır. Katmanlı imalat ile; yüksek derecede tasarım özgürlüğü, fonksiyonel özelliklerin optimizasyonu ve entegrasyonu, düşük birim maliyetlerde büyük imalatların seri olarak üretilmesi, yüksek derecede özgün ürünlerin tasarlanması, üretilmesi mümkündür [9].

4.3. Sıcaklık

Otomobil motorlarındaki sıcaklıklara dayanan malzemeler sunabilen katmanlı imalat teknolojileri vardır. SLS naylonun yanı sıra bazı sertleştirilmiş polimerler yüksek sıcaklıktaki uygulamalar için uygundur [9].

4.4. Nem

Otomobil imalatında kullanılan birçok bileşenin neme karşı dayanıklı olmalı beklenmektedir. Katmanlı imalatın önemli bir faydası, su geçirmez oluşları ve neme dayanıklı bir bariyer oluşturmalarıdır [9].

4.5. Parçaların Birleştirilmesi -Prototipleme ve Son Parçalar

Bir montajdaki ürün sayısı yeniden tasarlanarak azaltılabilir. Katmanlı imalatın, malzeme kullanımının azaltılmasında önemli fayda sağladığını, böylece ağırlığın azaldığı ve uzun vadede imalat maliyetinin düşürüldüğü dikkate değer bir faktördür. Parça sayısının azaltılması, onarımların veya bakımın yapılması gerektiğinde montajların tek bir parça ile değiştirilebileceği anlamına gelir ki; otomotiv endüstrisi için bir diğer önemli husustur.

5. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KATMANLI İMALAT

5.1. Modelleme

Otomotiv endüstrisindeki tasarımlar genellikle bir araç şeklini gösteren ölçekli modeller olarak başlar. Bunlar genellikle aerodinamik testler için de düzenli olarak kullanılır. Katmanlı imalat teknikleri, otomotiv tasarımlarının yüksek detaylarda, pürüzsüz, ölçekli modellerini üretmek için kullanılmaktadır [9,14,19].

5.2. Doğrulama

Katmanlı İmalat yöntemini kullanarak prototipleme yapmak otomotiv endüstrisinde artık yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bazı katmanlı imalat teknikleri, prototipin performansının tam olarak test edilmesine ve onaylanmasına olanak sağlamaktadır. Bu doğrulama, imalat aşamasında yüksek maliyetli makinalara yatırım yaparken riski azaltmaktadır [9,14,19].

5.3. İmalat

Otomotiv endüstrisindeki imalat adetleri genellikle çok yüksek olduğundan (yılda 100.000 parçadan fazla) katmanlı imalat, ağırlıklı olarak son parça imalatı yerine prototipleme çözümü olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel yazıcıların boyutundaki iyileştirmeler, basabildikleri hız ve mevcut olan malzemeler, katmanlı imalatın artık birçok orta ölçekli imalat çalışması için, özellikle imalat sayılarını kısıtlayan üst düzey otomobil üreticileri için uygun bir seçenek olduğu anlamına gelmektedir. Katmanlı imalat teknolojisi, prototip üretmek için pahalı takımlar gerektirmediğinden maliyet açısından verimli, tasarım iyileştirmelerini hızlı bir şekilde yapılabilmektedir [9,14,19].

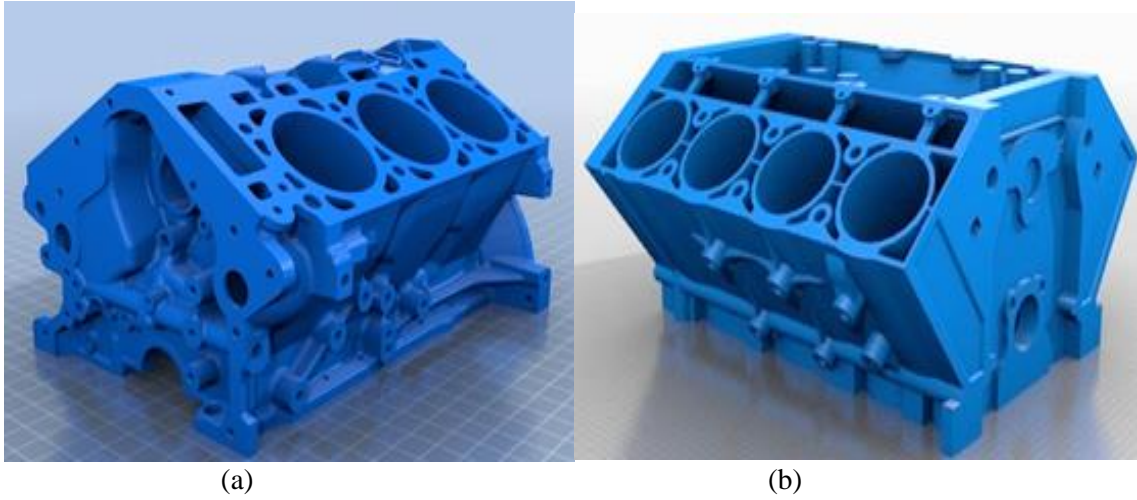
5.4. Yedek parçalar

Otomobil üreticileri, talep üzerine yedek parça oluşturmak için de 3Dbaskının avantajlarından yararlanabilmektedir. Yedek (veya nadiren sipariş edilen) parçaların depolanmasıyla ilgili yüksek stok maliyetleri, 3D katmanlı imalat ile azaltılması mümkündür. Katmanlı imalat, tam zamanında ve talep üzerine ihtiyaç duyulan parçaları üretmek için maliyeti düşük bir yol sunmaktadır [9].

6. MATERYAL VE METOT

6.1. Motor ve Piston Uygulamaları

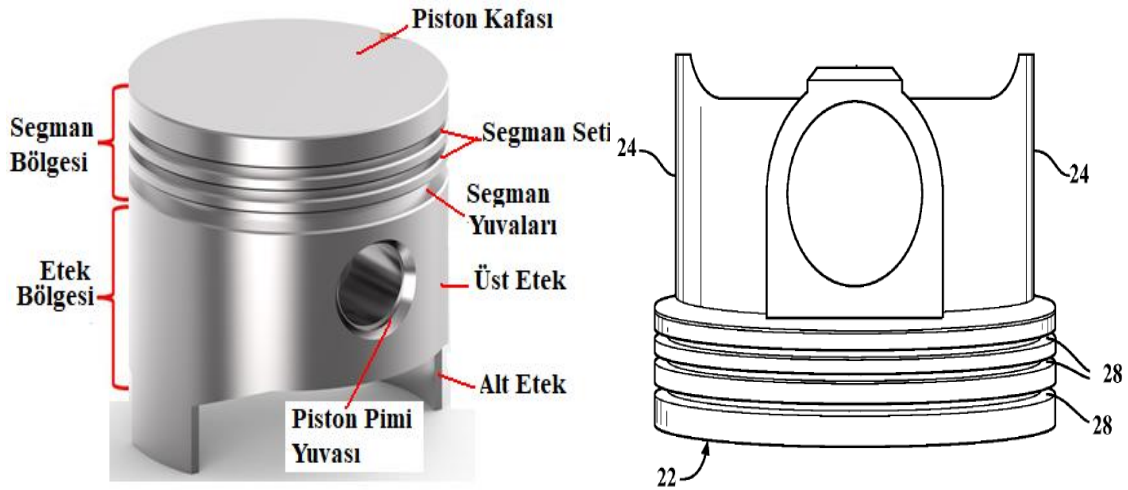
Bu çalışmada otomobil motor pistonlarının 3D yazıcıda katmanlı üretilebilirliği incelenmiştir. Otomotiv endüstrisindeki 3D katmanlı bazı motor imalatı uygulamaları Şekil 1(a) ve Şekil 1(b)'de verilmiştir.



Şekil 1. Otomotiv endüstrisindeki 3 boyutlu katmanlı örnek motor imalat uygulamaları (a) V6 Ford motor bloğu [20], (b) ZR1 V8 Chevrolet motor bloğu [21].

6.2. Motor Pistonu Uygulamaları

Motor pistonu bölümleri Şekil 2(a)'da verilmiştir. Otomotiv endüstrisindeki 3D katmanlı motor pistonu tasarım uygulamalarına ait örnekler Şekil 3-6'da verilmiştir.

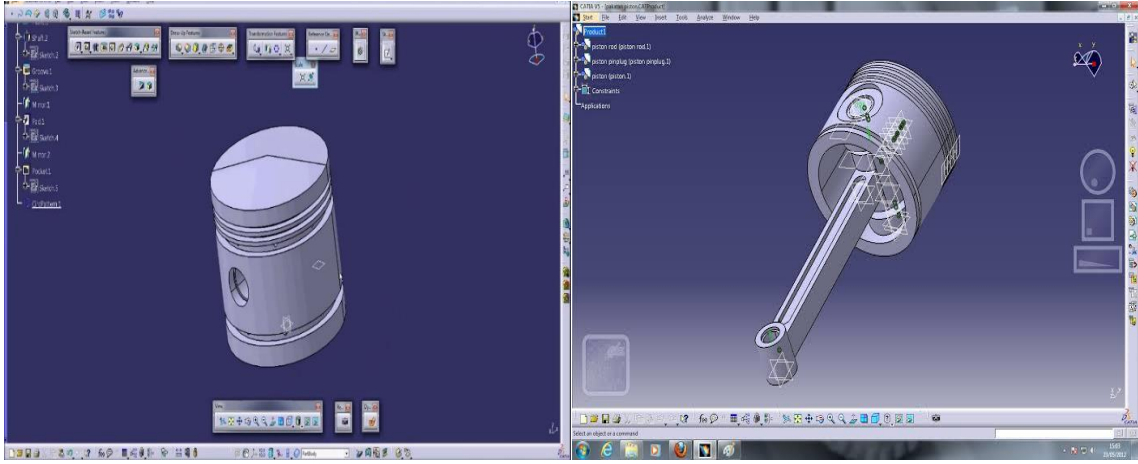


Şekil 2. Otomobil motor pistonunun önemli bölümleri, (a) gerçek bir piston görüntüsü (b) patentle tanımlı piston görüntüsü [22,23].

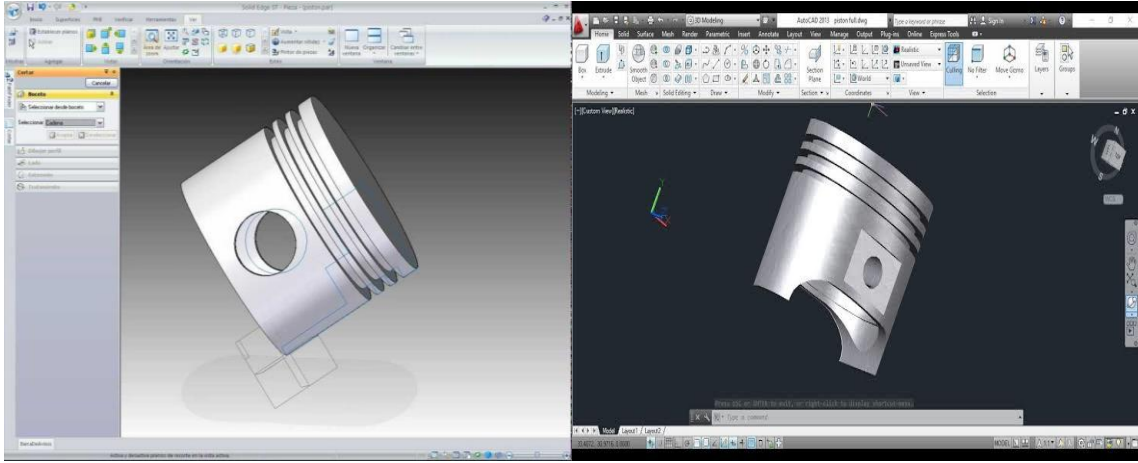
Katmanlı imalat tekniklerini kullanarak piston imalatı uygulamalarına ilişkin bazı çok yeni tarihli patentler mevcuttur [23,24].

Bu çalışmada piston tasarımları için RhinoCeros 3D programı tercih edilmiştir. RhinoCeros 3D, özellikle sanayi için 3D modelleme ve prototipleme için tasarlanmış bir CAD/ CAM yazılımı olup, 3B prototipleme için son derece uygundur. RhinoCeros 3d genellikle endüstri tasarımı, mimarlık, deniz araçları tasarımı, takı tasarımı, otomotiv tasarımı, CAD/CAM, seri imalat, tersine mühendislik ve multimedya ve grafik tasarım alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. 1990'lı yılların ortalarında AutoCAD programı için eklenti olarak piyasaya sürülen RhinoCeros, AutoCAD benzeri arayüzü ile diğer pek çok 3 boyutlu çizim programından ayrılmaktadır. RhinoCeros ile hem ölçekli olarak çizim yapabilmek hem de bu çizimler üzerinden ölçü alabilmek mümkündür. RhinoWorks eklentisi ile Solidworks benzeri bir arayüzde çalışabilir. RhinoCeros, AutoCAD eklentisi olarak çıkması sayesinde AutoCAD'de bulunan pek çok

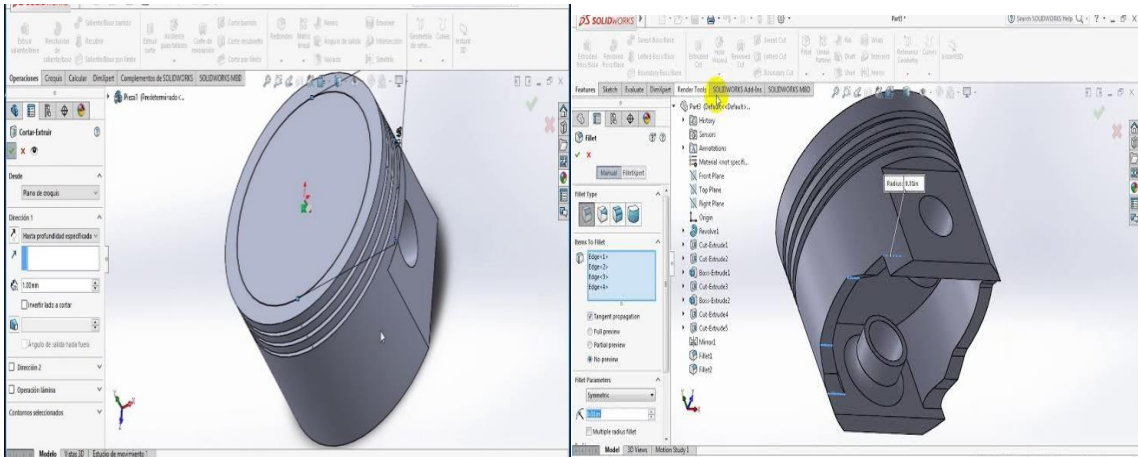
özelliği ve komutu içinde barındırmaktadır. RhinoCeros programı ile yapılabilen piston tasarımları Şekil 6'da verilmiştir [28,29].



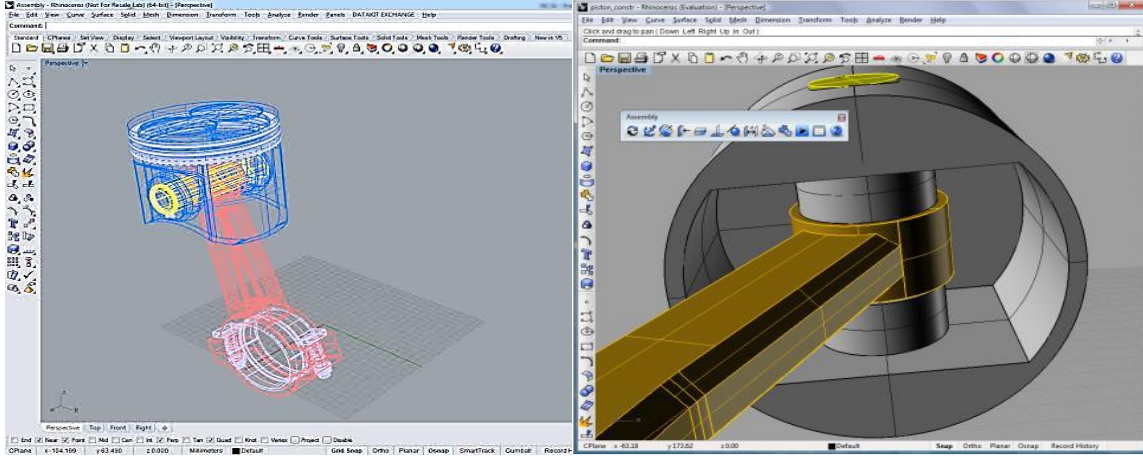
Şekil 3. Catia V4 programı ile piston tasarımı [25].



Şekil 4. AutoCAD programı ile piston tasarımı [26].

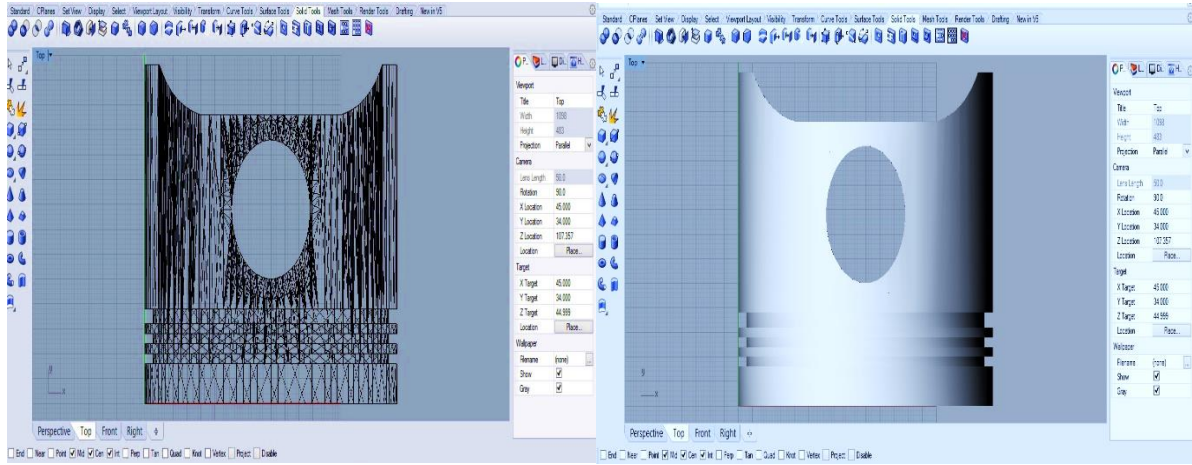


Şekil 5. Solidworksprogramı ile piston tasarımı [27].



Şekil 6. RhinoCeros programı ile yapılabilen piston tasarımları. (a) Piston montaj ağacının katmanlı olarak yeniden yapılandırılması (mavi renkli kısım) [28],(b) Piston rodunun, piston kafası ile bağlantısının yapılması[29].

Bu çalışmada kullanılmış, gerçek bir motor pistonu esas alınmış olup, bire bir ölçülerde model üretiminde gerekli olan veriler için yüksek çözünürlüklü Sense 3D tipi dijital bir tarayıcıdan yararlanılmıştır. Motor pistonunun 3D yazıcıda imalatı için kullanılan RhinoCeros programındaki tasarım uygulamalarından örnekler Şekil 7’de verilmiştir.



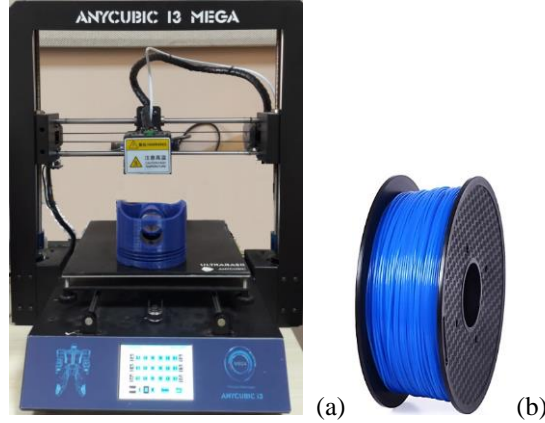
(a)

(b)

Şekil 7. Piston tasarımı çalışmalarından örnekler, (a) tel kafes (wireframe) (b) katı model aşaması (rendered: görselleştirme)

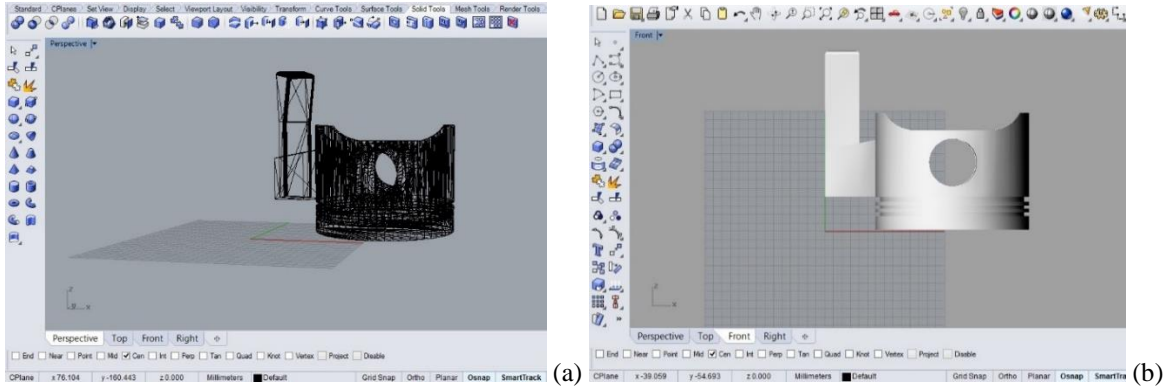
Şekil 7’de verilen RhinoCeros programı ile yapılan tasarım çalışmaları tamamlandıktan sonra AnyCubic I3 Mega 3D tipi katmanlı yazıcıda Erimiş Malzeme Şekillendirme (**Fused Deposition Modelling – FDM**) yöntemi kullanılarak piston modeli imalatı yapılmıştır (Şekil 8).

Piston model imalatında 1,75 mm çapında PLA (PolylacticAcid) cinsi filament kullanılmıştır. PLA filament malzemesinin erimesi için 200°C sıcaklıkta, erimiş filamentin katmanlar oluşturabilmesi için 60 °C yazıcı tabla sıcaklığında, 400µm yazıcı nozül çapı ile çalışılmıştır. PLA tipi filamentler ile yazıcıda basım için genellikle 190°C – 220°C arasındaki sıcaklıklar önerilmektedir [33-35]. PLA filament, güvenilirliği ve iyi yüzey kalitesi ile sorunsuz bir 3D baskı deneyimi sağlamaktadır. PLA, güvenli, kolay baskı sağlaması nedeniyle ileri düzey uygulamalar için yaygın kullanım alanı bulmaktadır [30-35]. 3D katmanlı yazıcı ve üretilen piston modeli ve kullanılan filament Şekil 8’de verilmiştir.

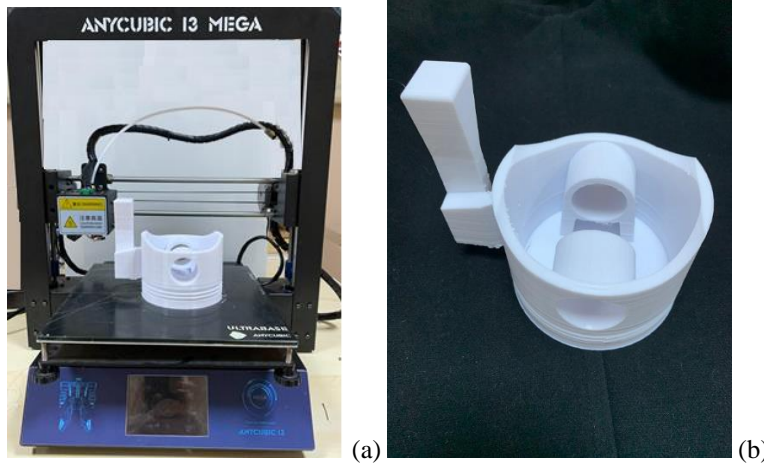


Şekil 8. 3D katmanlı yazıcı ve üretilen piston modeli (a), kullanılan filament (b).

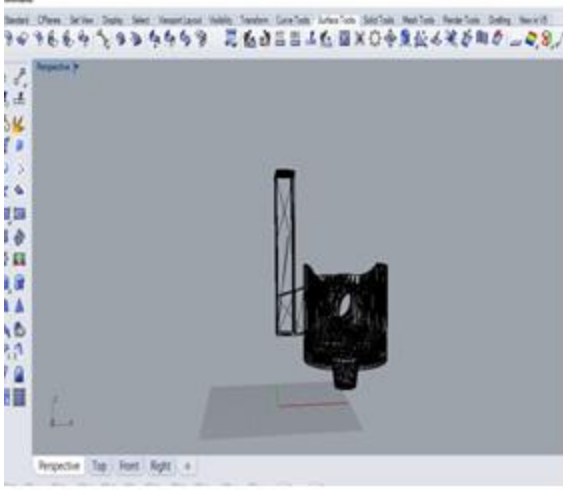
Otomotiv sektöründe kullanılan motor pistonları genellikle döküm teknolojisi ile üretilmektedir. Bu nedenle sağlam bir piston üretiminin mümkün olabilmesi için; sıvı metalin kalıp içerisinde ilerleyeceği bir düşey ve yatay yolluğa ayrıca boşluksuz, sağlam imalat yapılabilmesi, sıvı metalin katılaşırken hacimsel büzülmesini karşılamak için bir besleyiciye gerek duyulmaktadır. Bu düşünce ile yapılan tasarım çalışmaları Şekil 9 - Şekil 12’de verilmiştir. Pistonun etek kısmına nazaran daha kalın olan ve bu nedenle daha fazla sıvı metale gereksinimi olan yanma bölgesine (piston kafasına) bir besleyici eklenmiştir.



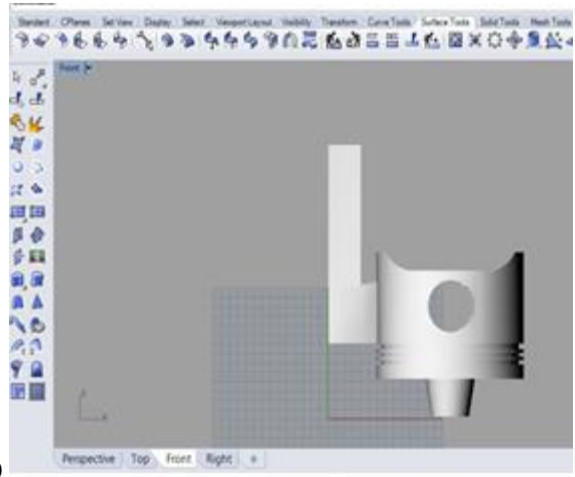
Şekil 9. Yolluklu piston tasarımı çalışmalarından örnekler, (a) tel kafes (wireframe) (b) katı model aşaması (rendered: görselleştirme)



Şekil 10. 3D katmanlı yazıcıda pistonun üretim aşaması (a), üretimi tamamlanmış yolluklu piston modeli (b)



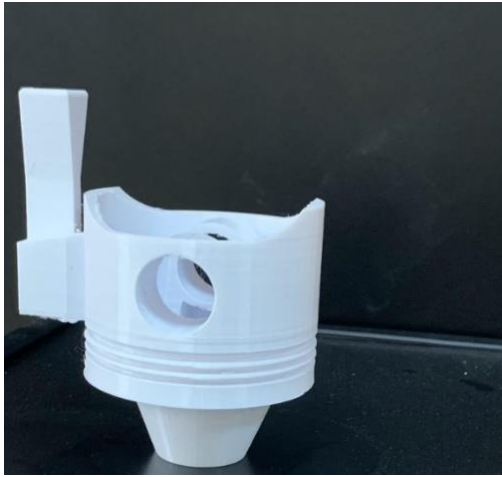
(a)



(b)

Şekil 11. Yolluk ve besleyici içeren piston tasarımı: (a) tel kafes (wireframe) (b) katı model aşaması (rendered: görselleştirme)

3D katmanlı yazıcıda pistonun üretim aşaması ile üretimi tamamlanmış yolluklu ve besleyicili piston modeli Şekil 12’de verilmiştir.



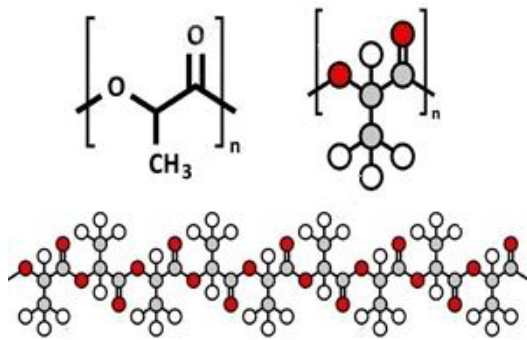
(a)



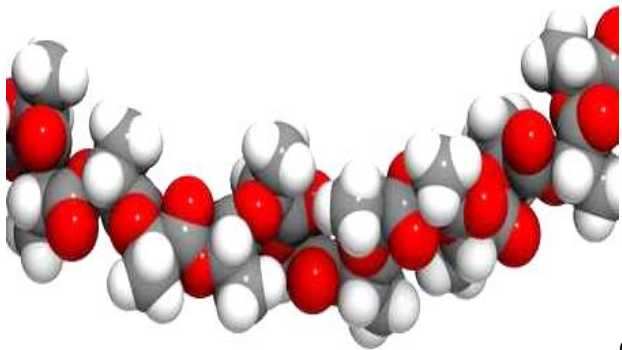
(b)

Şekil 12. Üretimi tamamlanmış yolluklu ve besleyicili piston modeli (a) önden görünüş, üstten görünüş (b)

Üretimi tamamlanmış piston modellerinin, yüzeyde çizik, çapak, gözenek v.b olumsuzlukların olmadığı, yüksek yüzey kalitesinde, sert ve sağlam oldukları, kafa kısımlarının, yanma bölgelerinin, segman yuvalarının, piston pimi yuvalarının, etek bölgelerinin oldukça düzgün olduğu gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan PLA filament malzemesinin kimyasal yapısı Şekil 13’de verilmiştir [36,37].



(a)



(b)

Şekil 13. PLA’nın kimyasal yapısı (a), PLA’nın doğrusal yapı modeli; Hidrojen: beyaz, Karbon: gri, Oksijen: kırmızı, (b) [36,37,38]

6.3. PLA Mekanik Testleri

6.3.1. Sertlik Testi

Sertlik testi, ASTM D 2240, DIN 53505 ve ISO 868 standartlarına uygun olarak Zwick Roell cihazında yapılmıştır. Sertlik testi için numunenin 4 farklı noktasından değerler alınmıştır.

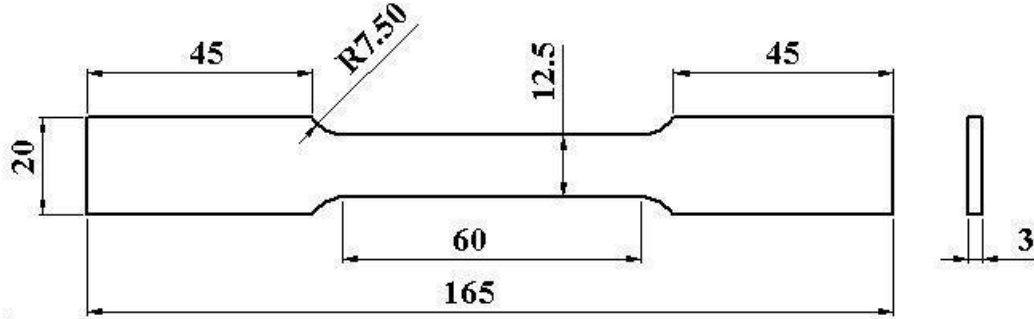
Çizelge 1. PLA sertlik değerleri

PLA	Sertlik (Shore D)
1	71.5
2	68
3	73.5
4	71
Ortalama	71 Shore D

DeneySEL çalışmalarda kullanılan PLA cinsi filament malzemenin ortalama 71 Shore D sertliğe sahip olduğu anlaşılmıştır.

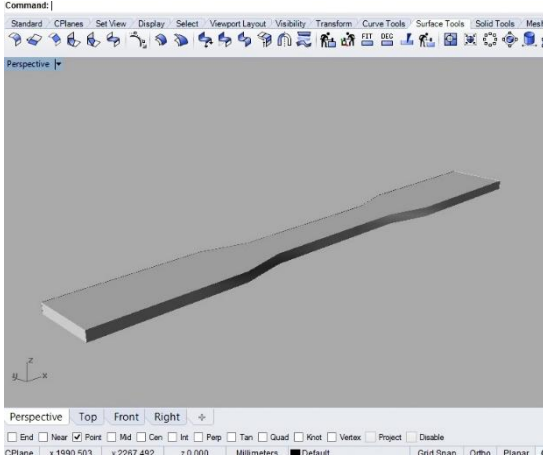
6.3.2. Çekme Testi

PLA malzemeye ait çekme testi, ISO, ASTM ve BS standartlarına uygun numune ölçülerinde [39-43], Instron 3345 cihazında yapılmıştır Şekil 14’de standart çekme çubuğu ölçüleri verilmiştir.



Şekil 14. Standart çekme çubuğu ölçüleri [42]

Çekme çubuğu RhinoCerao programında hazırlanarak (Şekil 15), 3D yazıcıda üretimi yapılmıştır (Şekil 16).

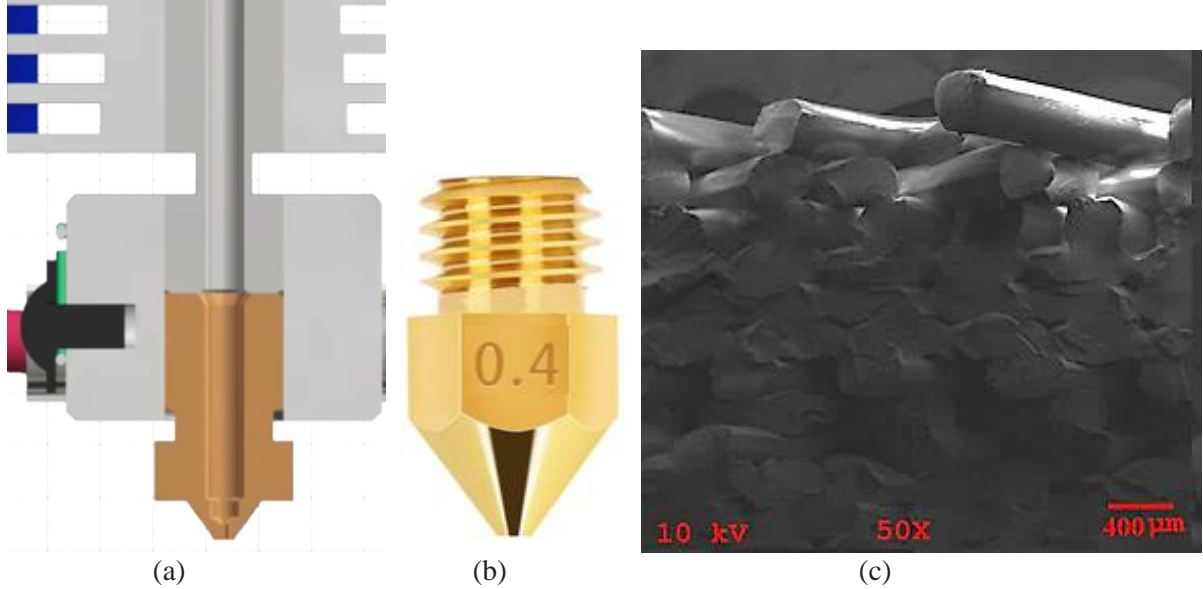


Şekil 15. Çekme çubuğu çizimi



Şekil 16. 3D yazıcıdan alınan çekme çubuğu

Çekme testinde edilen gerilme- gerinme diyagramı Şekil 17’te verilmiştir.



Şekil 20. 3D yazıcının ısıtma ve nozül bölgesi (a), kullanılan 0,4 mm çaplı nozül (b) ve kullanılan bu nozül çapına uygun olarak 400 µm çaplı PLA liflerinin dizilişlerini gösterir SEM görüntüsü (c)

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışmada bahsi geçen 3D katmanlı imalat (Additive Manufacturing) teknolojisinin yaygınlaşmasıyla, kaçınılmaz olarak başta otomotiv sektörü olmak üzere, savunma sanayi, mimarlık, tasarım, tıp, havacılık ve uzay sanayini etkilediği görülmektedir. Katmanlı imalatla kullanılan ve filament olarak anılan malzemelerdeki gelişmeler ve buna bağlı nihai ürünlerin kalitesindeki iyileştirmeler, otomotiv sanayinde 3D baskı sistemlerinin kullanılmasını da artırmaktadır.

Ancak otomotiv endüstrisindeki yüksek imalat adetleri göz önünde bulundurulduğunda mevcut yazıcıların düşük katmanlı imalat hızı, doğrudan parça imalatı için daha geniş sektörlerce benimsenmesindeki önemli bir engeldir [1,9]. Bu nedenle, yüksek hızlı katmanlı imalat yazıcılarının üretilmesi üzerinde de önemli bir araştırmalar yapılmaktadır. Otomotiv endüstrisi kendi performansını artırma, büyüme çabalarına ve inovasyona devam ederken katmanlı imalat yöntemi çok yönlü fırsatlar sunmaktadır. Katmanlı imalatın yeteneklerindeki genişlik ve çeşitlilik dikkate alındığında ileriye dönük olarak, küresel otomotiv sektörünü şekillendirmede önemli bir rol oynayacağını göstermektedir. 3D katmanlı imalatın, geleneksel seri imalat yöntemlerinin yerine kullanılması bugün ve yakın gelecek için beklenmemelidir. Ancak düşük hacimli, özelleştirilmiş parçalar için tamamlayıcı bir fırsat olarak görülmelidir.

Otomobil üreticilerinin karşılaştığı zorluk, katmanlı imalat sisteminin sınırlı yapım ebatlarıdır. 3D baskı teknolojisi ile daha büyük parçalar üretilebilse de bunlar modüler parçalar şeklinde yapılabilmektedir. Modüler parçalar, günümüzde kaynak gibi diğer geleneksel işlemlerle bir araya getirilmesi veya birleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, Tel Araştırma Katkı İmalatı (Wire Arc Additive Manufacturing: WAAM) ve Büyük Alan Katkı İmalatı (Big Area Additive Manufacturing: BAAM) gibi daha büyük yapım boyutlarını destekleyebilecek teknolojilerin aktif olarak araştırılmaya ve geliştirilmeye ihtiyacı vardır [9].

3D katmanlı üretim, otomotiv sektöründe özellikle az sayıda üretimi yapılacak olan parçaların modelleri için ve tasarım çalışmaları için ekonomik bir tercih olabilecektir. Otomotiv sektöründe hangi üretim rakamlarında 3D yazıcıların, geleneksel üretim yöntemlerine göre avantajlı olacağı hususunda daha fazla çalışma ve araştırma yapılmasına gereksinim olduğu düşünülmektedir.

Motor pistonlarının seri üretimine başlanmadan önce taslak metal model imalatına (dökümlerine) gereksinim duyulmaktadır. Dökülen taslak metal model üzerinden Ar-Ge ve kalite kontrol departmanları gerekli değerlendirmeyi, ölçülendirmeyi yapmaya çalışmaktadır. Elde edilen verilere göre, bazen piston tasarımlarında, bazen de döküm kalıplarında revizyonuna ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu durum; zaman, maliyet, işçilik, enerji kaybına neden olduğu bilinmektedir. Özellikle seri üretime başlanmadan önce

taslak model üretimlerinin gerekli olduğu, otomotiv sektörüne parça üreten döküm sektöründe 3D yazıcıların kullanılması, avantajlı, ekonomik bir tercih olabilecektir. 3D yazıcılar ile üretilen otomotiv parçaları modelleri üzerinden yapılan değişiklikler, tasarımın tamamına kısa zamanda yansıtılabilme fırsatı sunabilecektir.

Bu çalışmada, otomobil endüstrisinde katmanlı imalat tekniğinin kullanılabilirliği ve mevcut uygulamalar araştırılmıştır. Kullanılmış bir motor pistonu esas alınarak, Sense 3D tipi dijital bir tarayıcı ve RhinoCeros programı yardımıyla, PLA tipi filament malzeme kullanılarak, AnyCubic i3 Mega 3D tipi katmanlı yazıcıda gerçeği ile aynı ebatlarda bir piston modeli başarı ile üretilmiştir. Ayrıca geleneksel döküm yöntemine uygun olacak şekilde; sıvı metalin döküm kalıbına dikey ve yatay olarak sorunsuz girişi sağlayacak bir yolluk tasarımı ile sıvı metalin katlaşması sırasında hacimsel büzülmesini karşılayacak besleyici tasarımı da yapılarak bir piston modeli üretilmiştir.

Çalışmada, Tersine Mühendislik (Reverse Engineering) uygulamalarının ve Kıyaslamaların da (Benchmarking) otomotiv parçalarının dijital olarak üretilmesiyle mümkün olabileceği anlaşılmıştır. Endüstri 4.0 ile gelen yeni dijital üretim yönteminde 3D yazıcı teknolojisinin özellikle otomotiv endüstrisinde söz sahibi olması beklenmektedir.

PLA tipi filamentin yüksek dayanımda olduğu, kokusuz olduğu için kapalı laboratuvar şartlarına uygun olduğu, sorunsuz-kesintisiz baskı kolaylığı sunduğu; bu nedenlerle 3D katmanlı imalat uygulamaları için çok uygun bir sarf malzemesi olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca PLA'dan üretilen model pistonun sert (71 Shore D) ve mukavemetli olduğu (34,3 MPA max. çekme gerilmesi), yüksek yüzey kalitesine sahip olduğu; bu nedenlerle, sonradan zımparalama v.b ek işlemlere ihtiyaç olmadığı görülmüştür.

Çalışmada sunulan, otomobil motor pistonunun modeline ait dijital tasarım, katmanlı üretim çalışmaları başlangıç niteliğinde olup, ileride diğer karmaşık otomotiv parçaları modellerinin 3D yazıcılarda üretilebilirliğinin araştırılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Denise D., "Additive Manufacturing 3D Printing", <https://www.dsp.dla.mil/Portals/26/Documents/Publications/Journal/151201-DSPJ-02.pdf>, December 10, 2019.
2. Sarath R., "A design frame work for additive manufacturing based on the integration of axiomatic design approach, inverse problem-solving and an additive manufacturing data base", Thesis of Master of Science, Iowa State University, Ames- Iowa, 2018.
3. Jhonston T., Smith T., Irwin L., "Additive Manufacturing In 2040", <https://www.rand.org/pubs/perspectives/PE283.html>, December 2, 2019.
4. Geissbauer R., Wunderlin J., "A look at the challenges and opportunities of 3D printing", <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/2017/future-spare-parts-3d.html>, November 5, 2019.
5. Yılmaz D., "Additive Manufacturing", <https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/seyktor/ raporlari/katmanli/260417.pdf>, November 10, 2019.
6. Jager J., Langer D., Mirchberger S., "Challenges of Additive Manufacturing" <https://www2.deloitte.com/content/Deloitte/de/Documents/operations/Deloitte/Challenges/of/Additive-Manufacturing.pdf>, November 15, 2019.
7. Giffi C., Gangula B., Illinda P., "3D Opportunity Auto Industry", <https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP-707-3D-Auto.pdf>, December 5, 2019.
8. Douglas S., Gilbert W., Costasand., "Cost Effectiveness of Additive Manufacturing", <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1176.pdf>, October 5, 2019.
9. Shruti G. S., Sanket N.Y., "Additive Manufacturing in Automobile Industry", <https://www.academia.edu/38718198/Additive-Manufacturing-in-Automobile-Industry>, April 5, 2019.

10. Kopp C., Riou A., “Additive Manufacturing”, <https://www.epma.com/additive-manufacturing>, November 10, 2019.
11. Dekanye S., “Additive Manufacturing: The Future of Manufacturing” *Material and Technology*, Volume 5 , Issue 5, Pages 709–715, 2017.
12. Thompson M.K., “Design for Additive Manufacturing Trends Opportunities Considerations and Constraints”, *CIRP Annals*, Volume 65, Issue 2, Pages 737-760, 2016.
13. Dama K., Malyala S., “Development of Automotive Flex Body Chassis Structure in Conceptual Design Phase using Additive Manufacturing”, *Materials Today*, Volume 4, Pages 9919–9923, 2017.
14. Sreehitha V., “Impact of 3D Printing in Automotive Industries”, *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, Volume 5, Issue 2, Pages 91-94, 2017.
15. Gupta R., Mathur R., Bhagwat R., “Additive Manufacturing State of Art”, *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, Volume 3, Issue 3, Pages 1639–1643, 2016.
16. Surange V., Gharat P., “3D Printing Process Using Fused Deposition Modelling (FDM)”, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volume: 3 Issue: 3, Pages 1403-1406, 2016.
17. Osama A., Ahmari, A., Mian S., “Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications” *Advances in Mechanical Engineering* Volume 11, Issue 2, Pages 1–27, 2019.
18. Ichida Y., “Current Status of 3D Printer Use among Automotive Suppliers: Can 3D Printed-Parts Replace Cast Parts?” *IFEAMA SPSCP*, Volume 5, Pages 69-82, 2015.
19. Wu B., Myant C., Weider S., “The value of additive manufacturing: future opportunities”, <https://www.researchgate.net/profile/Billy/Wu/publication/>, November 20, 2019.
20. STL finders 3D models, <https://www.makexyz.com/3d-models/orde6d607c7583e5694d2cbf6908cbae>, November 10, 2019.
21. STL finders “3D models”, <https://www.stlfinder.com/3dmodel/chevrolet-block-v8/>, November 5, 2019.
22. CYP pistons, <https://www.engine-piston.com.>, November 5, 2019.
23. Ribeiro C., Arbor A., “Patent-Piston Made Using Additive Manufacturing Techniques”, <https://patents.google.com/patent/US20140299091A1/en>, November 10, 2019.
24. Ribeiro C., Owen L, Egerer T., “Patent-Al Piston Made Using Additive Manufacturing Techniques”, <https://patents.google.com/patent/CN105263654A/en>, November 10, 2019.
25. Mahesh K., “Industrial Catia”, <https://grabcad.com/tutorials/catia-tutorials-piston-4/Designing of Piston in catia v4>, December 2, 2019.
26. Broolhuis T., “Piston”, <https://allaboutcad.com/3d-autocad-tutorial -create-a-3d-piston/Making a piston in Auto-CAD 3D.>, November 15, 2019.
27. Aksac A., “Piston”, www.solidworks.com/SolidworksTutorial - how to make Piston Head, November 5, 2019.
28. RhinoCeros, “Dadakit imports assemblies from cad”, <https://www.datakit.com/en/news/datakit-imports-assemblies-from-cad-formats-into-rhino-strengthens-its-plugins-bundle-155.html.>, November 15, 2019.
29. Ushakov D., “How to Express Design Intent in Rhino 3D Part I. Assembly Design and Kinematic Simulation”, <https://documents.in/document/how-to-express-design-intent-in-rhino-3d-express-design-intent-in-rhino-3d.html.>, November 20, 2019.
30. Rodríguez A., Panes, C., Camacho A., “The Influence of Manufacturing Parameters on the Mechanical Behaviour of PLA and ABS Pieces Manufactured by FDM: A Comparative Analysis”, *Materials*, Volume 1; Issue 8, Pages 1-21, 2018.

31. Caminero M., Chacon J., “Additive Manufacturing of PLA-Based Composites Using Fused Filament Fabrication”, *Polymers*, Volume 11, Pages 799-821, 2019.
32. Shen Z., “Anycubic İ3 Anycubic Technology”, <https://www.anycubic.com/products/anycubic-i3-mega>, November 20, 2019.
33. Wenjie L., Jianping Z., Yuming M., JieW., Jie X., “Fabrication of PLA Filaments and its Printable Performance”, *Materials Science and Engineering*, Volume 275, Pages 1-7, 2017.
34. Adrian R., Juan C., Camacho A., “The Influence of Manufacturing Parameters on the Mechanical Behaviour of PLA and ABS Pieces Manufactured by FDM: A Comparative Analysis”, 2018 Aug; Volume 11, Issue 8, Pages 1333-1338, 2018.
35. Giang K., “PLA vs. ABS”, <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/pla-vs-abs-whats-difference.>, September 10, 2019.
36. Hoogsteen, W.; Postema, A.R.; Pennings, A.J.; Brinke, G.T.; Zugenmaier, P., “Crystal structure, conformation and morphology of solution-spun poly(L-lactide) fibers”, *Macromolecules*, Volume 23, Pages 634–642, 1990.
37. Lopes M, Jardini A.L., Filho M., Synthesis and Characterizations of Poly (Lactic Acid) by Ring-Opening Polymerization for Biomedical Applications, *Chemical Engineering Transactions*, Volume 38, Pages 331-336, 2014.
38. Nakajima H., Dijkstra P., Loos K., “The Recent Developments in Biobased Polymers to ward General and Engineering Applications”, *Polymers*, Volume 9, Issue 10, Pages 523-529, 2017.
39. ISO-527-1-2012, “Plastics-Determination of tensile properties-Second edition”, <https://www.iso.org/standard/56045.html>, September 10, 2019.
40. ASTM-D638-2016, “Tensile Properties of Plastics”, <https://www.instron.us/testing-solutions/by-standard/astm/multiple-testing-solutions/astm-d638>, September 10, 2019.
41. ASTM Designation: D638–2014, “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”- 2014. <http://www.dept.aoe.vt.edu/~aborgolt/aoe3054/manual/exp5/D638.38935.pdf>, September 10, 2019.
42. ASTM D638-02-a-2003-“Tensile Test Specimen”, https://www.researchgate.net/figure/Tensile-Test-Specimen-ASTM-D-638-02a-2003-All-dimensions-are-in-mm_fig1, September 10, 2019.
43. BS EN ISO 527-1:1996, “Plastics Determination of tensile properties”, <https://webstore.ansi.org/standards/bsi/bseniso5272012>, September 10, 2019.