



## ENDÜSTRİYEL BOYUTLU ÇİFT BAŞLI KARTEZYEN TİPİ ÜÇ BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE PROTOTİP ÜRETİMİ

Burak GÜLER<sup>1</sup>, Kerim ÇETİNKAYA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

### ÖZET

Bu çalışmada endüstriyel boyutlarda kartezyen tipi ve çift baskı kafasına sahip FDM (Fused Deposition Modelling) yöntemi ile çalışan üç boyutlu yazıcı tasarımı ve prototipi yapılmıştır. 3B yazıcının genel boyutları 990x1035x1540 mm dir. Yazdırma boyutları 600x700x800 mm dir. Tablası doğrudan 220 V ile çalışmaktadır. ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) ve PLA (Poliaktik Asit) filamentlerinden sehpa ayakları üretimi yapılmıştır. Sistem çalışma sırasında 415 W/h enerji tüketmektedir. Böyle bir yazıcıda yazdırma hızı ve katman kalınlığının üretim kalitesine etkisi araştırılmıştır. Çift nozul ve büyük boyutlu gövdenin avantajları açıklanmıştır. Endüstriyel boyutlu bir 3B yazıcı üretebilmek için yöntem ve teknikler önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstriyel 3D yazıcı, Çift nozul, FDM

## INDUSTRIAL SIZES DOUBLE NOZUL AND CARTESIAN TYPE 3D PRINTER DESIGN AND PROTOTYPING

Burak GÜLER<sup>1</sup>, Kerim ÇETİNKAYA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

### ABSTRACT

In this study the design of three dimensional printer and its prototyping which are in industrial sizes, cartesian type and have double nozzle run by the method of FDM (Fused Deposition Modelling) were made. The general sizes of three dimensional printer is 990x1035x1540 mm. The size of printing is 600x700x800 mm. The hotbed is directly heated with 220V. The coffee table legs are made from the filaments of ABS (acrylonitrile butadiene styrene) and PLA (Polylactic acid). The system consumes 415 w/h energy during the production. It was investigated of the printing and thickness of layer on the effect of quality of production.

**Keywords:** Industrial 3D printer, Double nozzle, FDM

### 1. GİRİŞ

Üç boyutlu yazıcı dijital ortamda hazırlanan üç boyutlu CAD (Computer Aided Design) dosyasından üç boyutlu katı nesnelere üretmeyi sağlayan makinelerdir. Bu makineler tasarım olarak CNC (Computer Numeric Control) sistemlere benzer ve onlara benzer çalışmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar sayesinde dijital ortamda tasarımı yapılmış modeller kısa süre içerisinde ele alınıp incelenmesi mümkün nesnelere haline gelebilmektedir. Şimdiye kadar KBÜ Endüstriyel Tasarım Mühendisliği bölümünde üç boyutlu yazıcı konusunda çeşitli çalışmalar ve prototipler üretilmiştir. Bu çalışmaların ortak özelliği, tüm çalışmaların küçük boyutlu üç boyutlu yazıcılar olmasıdır [1].

Üç boyutlu yazıcı teknolojileri katmanları üst üste yığma tekniği ile çalışmaktadır. Fakat bu katmanları oluşturma yöntemleri farklılık gösterebilir. Bu yöntemlerden en yaygın olarak bilineni plastik malzemenin eritilerek katı nesnelere oluşturulmalarıdır [2]. Bilimsel alanda yapılan çalışmalar, dünya genelinde yayılışı, kullanılan teknolojiler, katı model üretimi ve hızlı prototipleme alanlarındaki araştırma ve geliştirmeler özetlenmiştir [3].

Diş hekimliği alanında yapay diş oluşturmak için kullanılan yöntemlerin tarihsel gelişim ve çeşitleri, üst üste katman teknolojisini kullanarak diş hekimliğinin çeşitli dallarında 3B yazıcı uygulamaları verilmiştir [4]. Hızlı prototipleme teknolojisi alanındaki son gelişmeler ve yapılan son uygulamalar sistem/işlemci düzenli olarak tanıtılmıştır [5].

Hızlı prototipleme teknolojilerinin güçlü ve zayıf yönleri belirtilerek genel bir görüş sunulup, karşılaştırma verileri, tabaka kalınlığı, sistem hassasiyeti ve çalışma hızı gibi genel işlem parametreleri anlatılmıştır [6]. Çalışmanın amacı, uçak mühendisliği öğrenci projelerinin bir parçası olan rüzgar tüneli testlerinin gerçekleştirilmesi için 3 boyutlu baskısı alınan modellerin getirdiği faydaları anlatılmıştır. 3 boyutlu baskı teknolojisi ile ilgili karşılaşılan bazı güçlükler ve sorunların ne şekilde üstesinden gelinebileceği tartışılmıştır [7]. Polimetil metakrilat malzeme kullanan yeni bir üç boyutlu baskı işlemi ve sonucu yapılan çalışmada değerlendirilmiştir [8]. Birden fazla farklı malzeme kullanılarak üç boyutlu baskı ortaya çıkarma çalışması ve aşamaları anlatılmıştır [9]. İki farklı malzeme yazdırılabilecek bir yazıcı üretilmiş yapılmış, iki farklı plastik malzeme kullanarak baskı alınmış ve suda çözünen malzeme üzerine çalışılmıştır [10]. Masaüstü üç boyutlu yazıcıların ABS ve PLA yazdırma işlemleri sırasında emisyon değerleri için çeşitli testler ve ölçümler yapılmıştır [11]. 3B baskı teknolojilerinin üretim endüstrisini ileriye taşıyabilecek potansiyelde olduğu bahsedilen çalışmada hızlı prototiplemenin genelinden, 3 boyutlu yazıcılar alanından ve evde üretim yapılabilmesi ana fikri üzerine durulmuştur [12].

Yapılan çalışmada ise hobi ve eğitim amaçlı kullanılan küçük ölçekli 3 boyutlu yazıcılardan farklı olarak büyük boyutlu endüstriyel amaçlı bir üç boyutlu yazıcı tasarlanmış ve prototipi üretilmiştir. İnşa edilen 3B yazıcının çift nozul olması, kartezyen eksen yapısı, ısıtıcı tablasının 220 V ile çalışması ve kapalı kabini genelden farklı özellikleridir.

## 2. TASARIM – PROTOTİP

Sistem kapalı bir gövde içerisinde yer alacak ve büyük boyutlu eksenler ile büyük boyutlu parça baskısına imkan verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 1’ de çalışmada tasarlanan ve üretilen prototip üç boyutlu yazıcı görülmektedir.



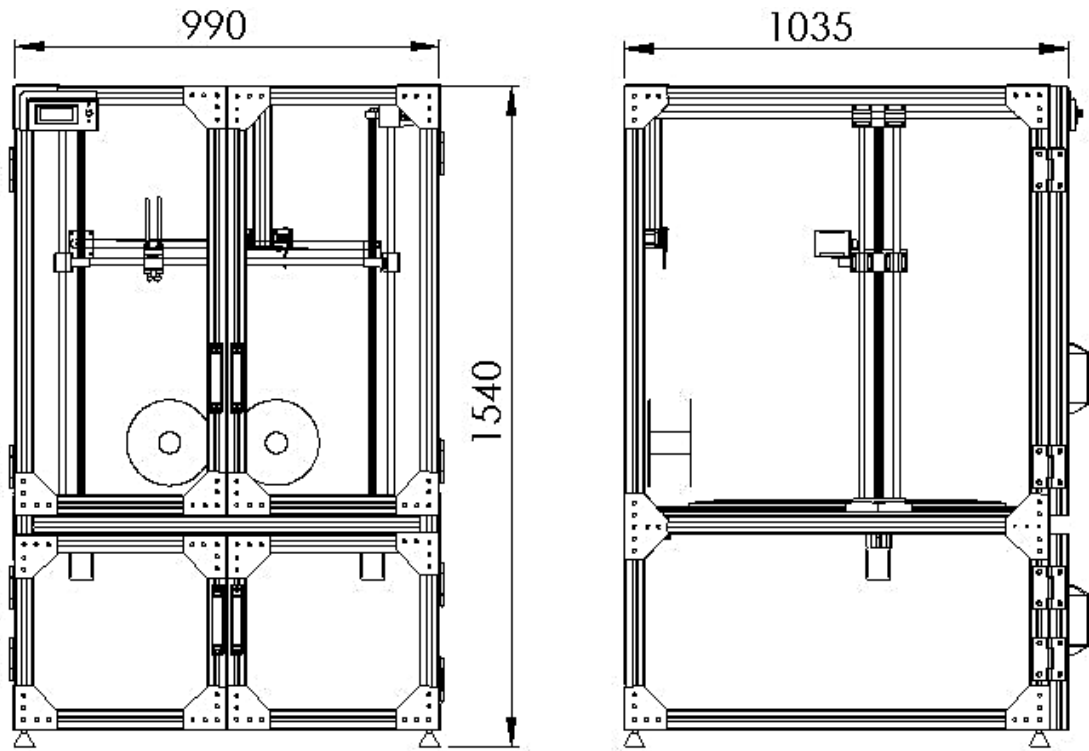
Şekil 1: Endüstriyel boyutlu çift başlı kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı prototip ve modeli

Çalışmada tasarlanan ve üretilen prototipin ölçüleri 990x1035x1540 mm ve endüstriyel bir firmanın prototip üretim ihtiyacını karşılayacak şekildedir. Üç boyutlu yazıcının genel ölçüleri Şekil 2’de ve üç boyutlu yazıcının teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1:** Üç boyutlu yazıcı teknik özellikleri

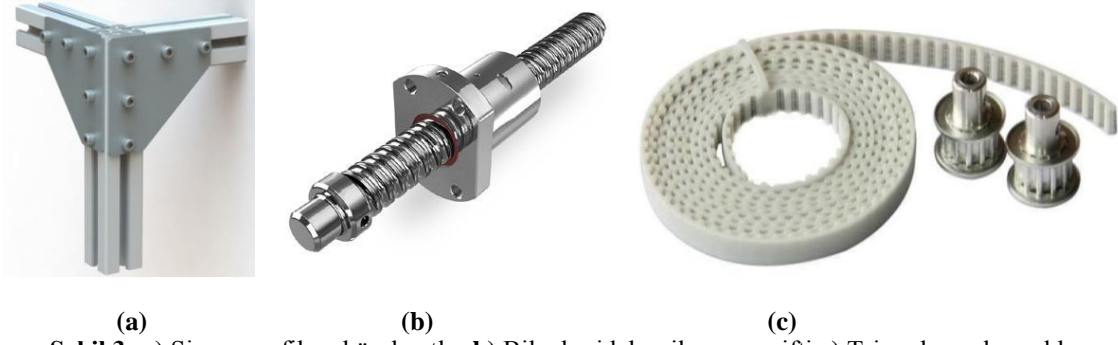
Sistem Ölçüleri	990 x 1035 x 1540 mm
Yazdırma Alanı	600 x 700 x 800 mm
Baskı Ucu Ölçüleri	0,1 – 0,8 mm çapında baskı nozul ucu
Diğer Özellikleri	2 nozul uç, kapalı kabin, sıcak tabla 220 V, rijit yapı
Maliyeti	12000 TL

Çift baskı kafasının bulunması yazıcıya aynı anda iki farklı filamenti birlikte, tek bir modelde kullanabilme özelliği getirecektir. Bu sayede ana model malzemesi ile destek parçaların malzemesi farklı olabilecektir. Büyük boyutlu böyle bir 3B yazıcı da üretilecek modellerin ihtiyaç duyduğu filament miktarı da fazla olacağından çift baskı kafası ile iki kat fazla filament kullanma imkanı da doğacaktır.



**Şekil 2:** Üç boyutlu yazıcı genel ölçüleri

Çalışmada üretilen prototipte kolay montaj edilebilmesi ve kolay eklenti yapılabilmesi nedeniyle sigma profillerden kurulu bir gövde tasarlanmıştır. Sigma profiller ve bağlantı sacları ile oluşturulan gövde üzerine eksenler montaj edilmiştir. Eksenler ve diğer elemanlar için gerekli parçalar geleneksel imalat yöntemleri ile işlenmiştir. Diğer hazır parçalar ise hazır alınarak sisteme uygun hale getirilmiş ve montajda kullanılmıştır. Şekil 3’de üç boyutlu yazıcı da kullanılan gövde parçaları görülmektedir.



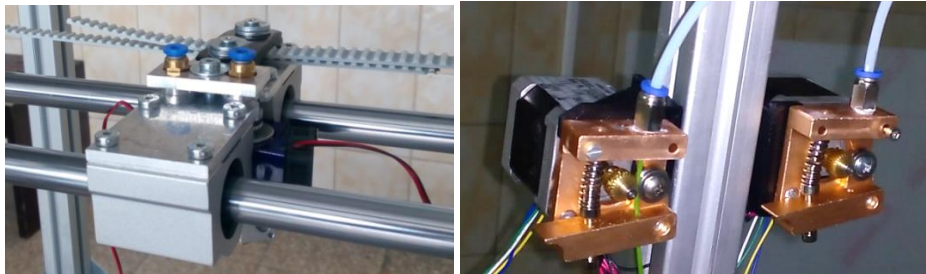
**Şekil 3: a)** Sigma profil ve köşebentler **b)** Bilyalı vidalı mil somun çifti **c)** Triger kayış kasnaklar

Büyük boyutlu bir üç boyutlu yazıcı için en önemli özelliklerin başında gövde yapısı ve rijitliği gelmektedir. Çalışmada bunları Şekil 3’ de görülen bilyalı somun vidalı mil çifti ve eksenleri taşıyan ray ve mil çiftleri ile sağlanmıştır. Eksen rayları doğrudan profil üzerine montajlanmıştır. Sistemin y eksenini doğrudan gövde üzerine oturmaktadır. Y eksenini üzerine z eksenini motorları ve vidalı milleri yerleştirilmiştir. Z eksenini üzerinde ise x eksenini yer almaktadır. Y eksenini hareketi ile x ve z eksenlerini de hareket ettirmektedir. Şekil 4’ de gövde üzerine montajlanmış eksenler verilmiştir.



**Şekil 4:** Üç boyutlu yazıcı tabla ve hareket eksenleri montajlı

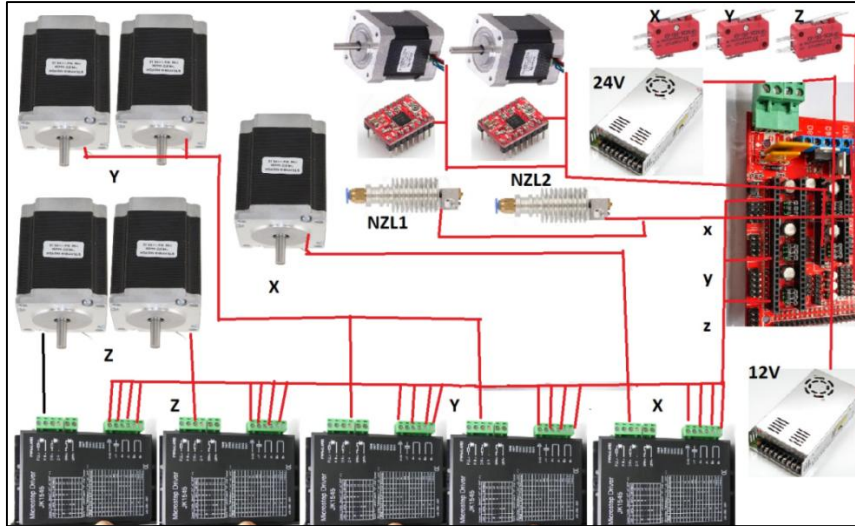
Yazıcı tablası alüminyum plakalardan ve yüzeyi delikli sacdan oluşmuştur. Tabla silikon rezistanlar ile ısıtmıştır. Baskı tablası 220 V ile çalışmaktadır. Üç boyutlu yazıcıdan harici bir sistem olarak üretilmiştir. Çalışmada üretilen yazıcıda iki adet nozul bulunmaktadır. Nozul içerisine filament malzemeyi transfer edecek olan ekstruder sistemleri ise gövdenin arka bölümüne montajlanmıştır. Şekil 5’ de üç boyutlu yazıcı yazdırma elemanları görülmektedir.



**Şekil 5:** Çift başlı nozul sistemi

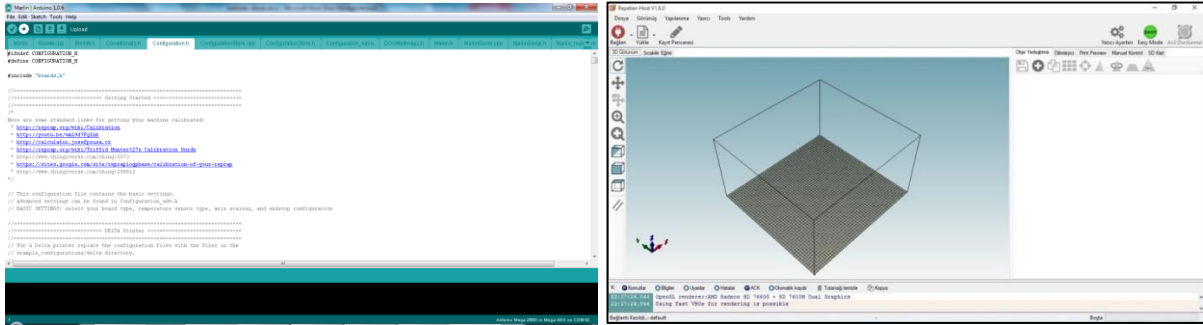
Sistemde elektronik elemanların küçük açık kaynaklı üç boyutlu yazıcılarda da kullanılan Arduino Mega ve Ramps 1.4. kartları ile A4988 ve JK1545 adım motor sürücülerini kullanılmıştır.





Şekil 6: Endüstriyel boyutlarda çift başlı yazıcı elektronik parçaları

Çalışmada eksenleri hareket ettiren adım motorları yüksek torklu büyük motorlar olması sebebiyle A4988 motor sürücüleri yeterli gelmemektedir. Bu nedenle sisteme motor sürücü olarak nema23 adım motor sürücü olan JK1545 adım motor sürücüleri kullanılmıştır. Arduino kartı çalışmada dağıtıcı kart olarak görev almıştır. Arduino üzerinden eksen çıkışları JK1545 motor sürücülere oradan da adım motorlara bağlanmıştır. Sistemde nema17 adım motorları ise filament ekstruder ünitesinde kullanılmıştır (Şekil 6).



(a)

(b)

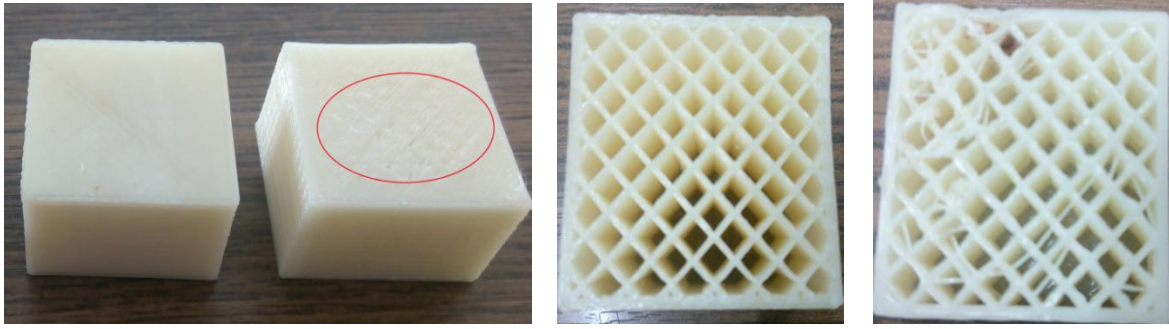
Şekil 7: a) Arduino yazılımı yazıcı komut satırı b) Repetier Host yazıcı kontrol programı

Çalışmada yazıcı kontrolü arduino yazılımı ile yapılmıştır (Şekil 7a). Arduino yazılımı adım motorlarını, çift nozul ve ekstruder kontrolünü de sağlamıştır. Repetier Host programı da (Şekil 7b) Çalışmada baskı öncesi model dilimleme ve üç boyutlu yazıcıyı bilgisayar üzerinden kontrol amacıyla kullanılmıştır.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Üç Boyutlu Yazıcı Hız Testleri

Çalışma kapsamında endüstriyel üç boyutlu yazıcı prototipi ile farklı hızlarda numuneler yazdırılmıştır. Yazdırılan numuneler 30 x 30 x 20 mm ölçülerinde kare prizma şeklinde parçalardır. Birinci numune 40 mm/sn hız ile yazdırılmıştır. Baskı işlemi 38 dakika sürmüştür. Basılan numune Şekil 8a' da verilmiştir. İkinci numune 60 mm/s hızla basılmıştır. Baskı işlemi 32 dakika sürmüştür. Yazdırma işlemi sonucu Şekil 8b' de görülmektedir.

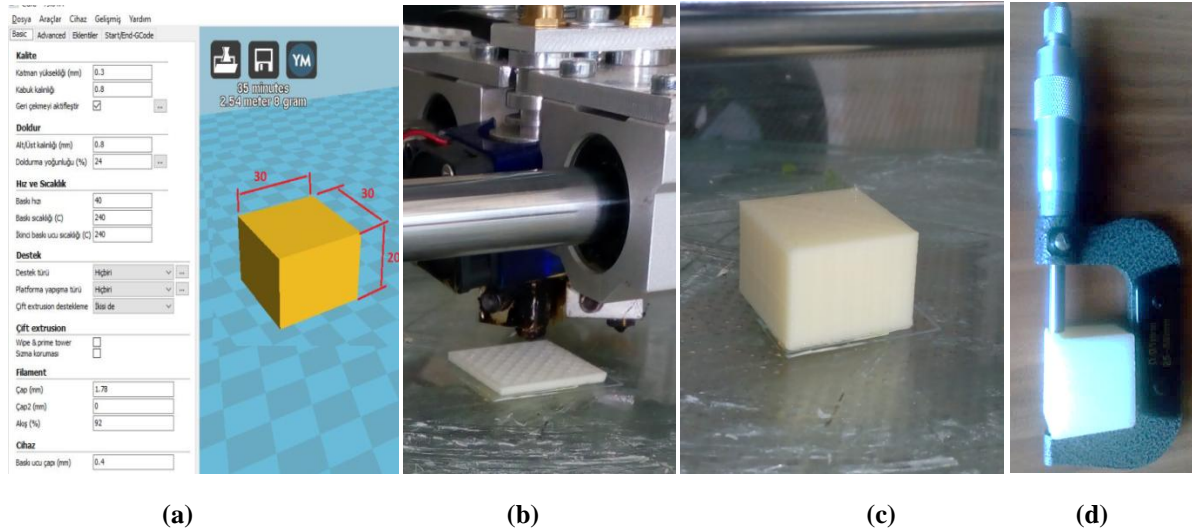


(a) (b) (c) (d)  
Şekil 8: Farklı hızlarda yazdırılan numuneler a) 40 mm/sn b) 60 mm/sn c) 80 mm/sn d) 100 mm/sn

Üçüncü numune 80 mm/sn hızla yazdırılmıştır Baskı işlemi 10. dakika yüzde 40 seviyesinde bitirilmiştir. Parça tablada sabit kalmış ancak yazdırma işlemi sırasında katmanların yapışmadığı görülmüştür. Şekil 8c' de 3. modelin %40 aşamasında içyapısı verilmiştir. Dördüncü numune 100 mm/sn hızla yazdırılmıştır. Yazdırma işlemi 6.dakika %20 seviyesine bitirilmiştir. Bu numunedeki katmanların yapışmadığı ayrıca daha önceki katmanlarda da iplik şeklinde problemler gözlenmiştir. Şekil 9d' de 4. numune verilmiştir.

### 3.2. Üç Boyutlu Yazıcı Baskı Ölçüsü Doğruluk Testi

Çalışma kapsamında 30x30x20 ölçüleri olan 3 adet kare prizma numune aynı hızlarda yazdırılmıştır. Numune model görünümü Şekil 9a' da verilmiştir. Modelin baskı öncesinde Cura programı ile yapılan ayarları ve dilimlenme işlemi sonucunda baskıya geçilmiştir. Baskı işlemi 40mm/sn hız ile 38 dakika sürmüştür. Şekil 9' da işlem aşamaları görülmektedir.



(a) (b) (c) (d)  
Şekil 9: a) Test numunesi dilimleme, b) 3B yazdırma işlemi, c) Yazdırılan model, d) Numune ölçüm işlemi

Yazdırılan parçaların 0,01 hassasiyetli mekanik mikrometre ile ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2: Üç boyutlu yazıcı baskı ölçüleri doğruluk hata payı tablosu

Numune No	Model Ölçüleri (mm)	3D Baskı Ölçüleri (mm)	Hata Payı Yüzdeleri
1	30 x 30 x 20	30,14 x 30,27 x 19,98	%0,4 - %0,9 - %0,1
2	30 x 30 x 20	30,17 x 30,30 x 19,87	%0,56 - %1 - %0,65
3	30 x 30 x 20	30,11 x 30,26 x 19,92	%0,36 - %0,86 - %0,4

### 3.3. Üç Boyutlu Yazıcı Tabla ve Kabin Sıcaklık Testi

Çalışmada yazıcı ısıtmalı tablası ile kabin içi sıcaklıklar karşılaştırılmıştır. Sıcaklık göstergelerinde okunan başlangıç tabla değeri 22 °C olmuştur. Tabla ısıtmaya başladığında 22 °C den 70 °C ye ısınması 232 saniye sürmüştür. Tabla 70 °C sıcaklıkta yazdırma işlemi sırasında yapılan ölçümlerde kabin kapakları kapalı durumda 34,8 °C iç mekan sıcaklığı ölçülmüştür. Tabla sıcaklığı artırılarak tekrarlanan ölçümler sonucunda elde edilen değerler Tablo 3' de verilmiştir.

**Tablo 3:** Isıtmalı tabla ve yazıcı iç ortam sıcaklık karşılaştırma tablosu

	Tabla Kontrolcü Sıcaklığı	Yazıcı İç Ortam Sıcaklığı
1. Ölçüm	70 °C	34,8 °C
2. Ölçüm	80 °C	36,1 °C
3. Ölçüm	100 °C	40,3 °C

### 3.4. Üç Boyutlu Yazıcı Elektrik Tüketimi Testi

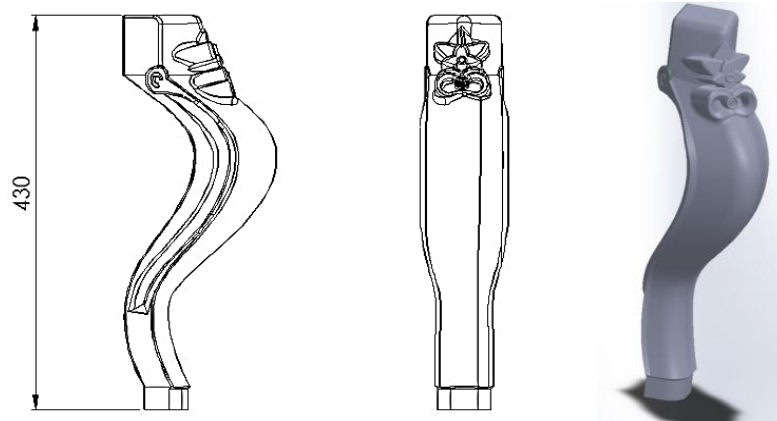
Çalışma kapsamında üç boyutlu yazıcının elektrik sarfiyatı ölçülmüştür. Ölçümler 70 °C tabla sıcaklığı ile yazıcı çalışırken yapılmıştır. Endüstriyel üç boyutlu yazıcı sistemi bir bütün olarak yapılan ölçümlerde Tablo 4' deki sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar elde edilirken tek nozul çalışmıştır ve nozul sıcaklığı 240 °C dir.

**Tablo 4:** Endüstriyel boyutlu 3d yazıcı genel elektrik tüketimi

Geçen Süre (t)	Sayaç okunan değer kw/h	Elektrik Tüketimi ( w/h)
1. Saat	27,548 - 27,967 kw/h	419 w/h
2. Saat	27,967 - 28,384 kw/h	411,5 w/h
3. Saat	28,384 - 28,803 kw/h	410,8 w/h

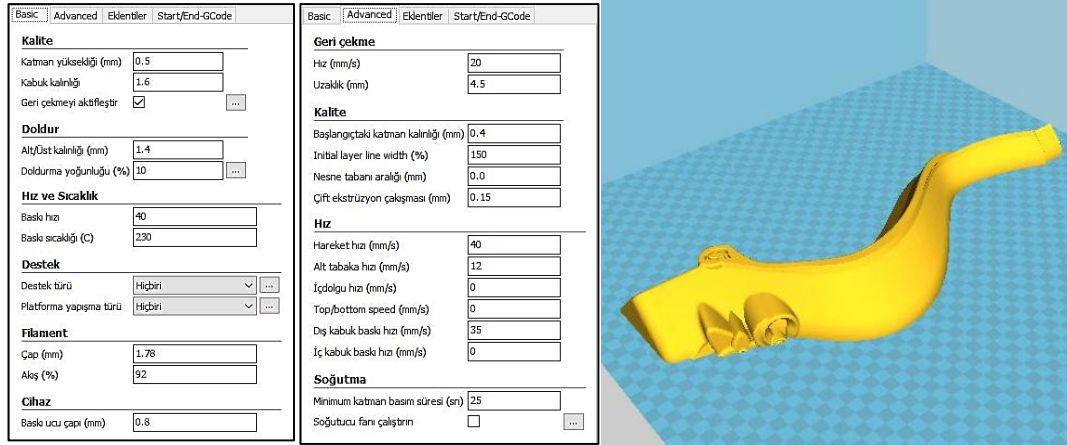
### 3.5. Sehpa Ayakları Baskı Uygulaması

Üç boyutlu yazıcı endüstriyel boyutları sayesinde büyük parçaları tek seferde yazdırabilme kabiliyetine sahiptir. Bu özelliği 430 mm boyunda olan sehpa ayağı baskı işlemi sırasında test edilmiştir (Şekil 10).



**Şekil 10:** Sehpa ayağı model ve ölçüleri

Sehpa ayakları referans yüzeyi oluşturmak ve desteksiz yazdırmak için Solidworks programı ile iki parçaya bölünmüştür. Bölünen parçalar sonrasında Cura programı ile dilimleme işlemi yapılmıştır. Dilimlenen model Repetier programı ile yazıcıya aktarılmış ve yazdırılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11: Sehpa ayağı dilimleme ayarları ve modeli

Cura programında baskı ayarları Şekil 11’ de görülmektedir. Yazdırma ayarları Tablo 5’ de verilmiştir.

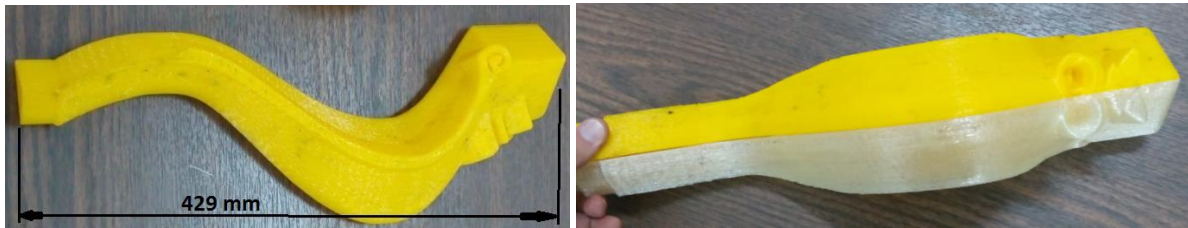
Tablo 5: Sehpa ayağı baskı özellikleri

Nozul çapı	0,8 mm
Baskı malzemesi	PLA (Sarı ve Şeffaf)
Katman yüksekliği	0,5 mm
Yazdırma hızı	40, 50, 60 mm/sn
İç doluluk oranı	%10
Yazdırma süresi	6 saat 54 dakika



Şekil 12: Sehpa ayakları baskı başlangıç aşamaları görünümü

Çalışmada yazdırılan sehpa ayakları baskı işlemi sırasıyla 4 adet sarı renk olan parça ve sonrasında 4 adet şeffaf renk olan parça yazdırılmıştır (Şekil 12). Yazdırılan ayaklar 429 mm ölçülmüştür (Şekil 13)



Şekil 13: Sehpa ayakları basım işlemleri sonuçları görünümü

Üç boyutlu yazıcı 27 saat 6 dakika kesintisiz çalışmıştır. Bu çalışma esnasında 4 adet sarı renkli numune yazdırılmıştır. Diğer beyaz numuneler farklı hızlarda basılmıştır. Basım işlemi sırasında karşılaşılan hızdan kaynaklanan sorunlar Şekil 14’ de gösterilmiştir.

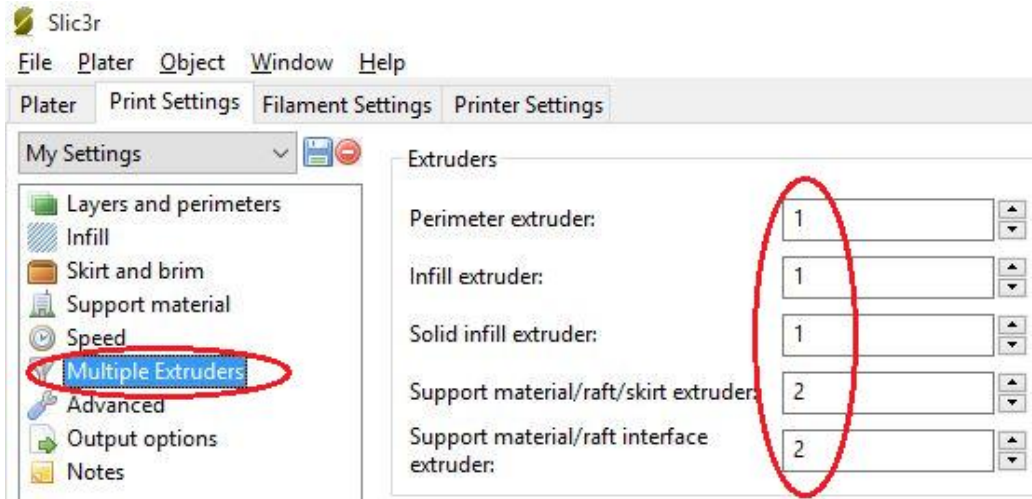




(a) (b) (c)  
Şekil 14: Sehpa ayağı baskı numuneleri hataları (a) 40 mm/s yazdırma hızda (b) 50 mm/s yazdırma hızda (c) 60 mm/s hızda

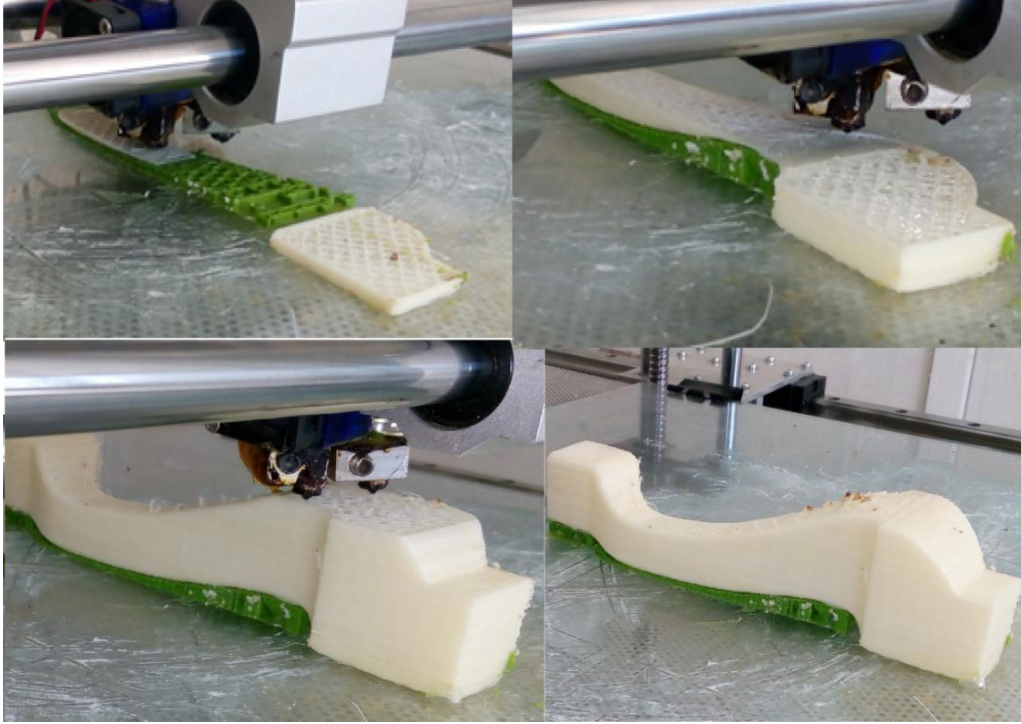
### 3.6. Üç Boyutlu Yazıcı Çift Kafa Baskı Uygulamaları

Çift kafa özelliği herhangi bir parça yazdırma işlemi sırasında destek malzemeleri atmak için kullanılabilir. Çalışmada bu özellik üzerine uygulama yapılmıştır. Çift kafa baskı ve 2. kafanın destek için kullanılması ayarları Slicer programı ile yapılmıştır. Şekil 15’de Slicer programında bu ayarlar gösterilmiştir.



Şekil 15: Slicer çift kafa destek ayarları

Çift nozul baskı işlemi iki farklı renkte ABS malzeme ile yapılmıştır. Beyaz ve yeşil renkli filamentler ABS ile yazdırma testinde sehpa ayağı parçası yatay olarak tablaya yerleştirilmiştir ve tablaya temas etmeyen bölgelerin altına destek parçası basılmıştır. Destek parçası ikinci kafa ve ikinci renk ile basılmıştır. Şekil 16’ da görülen yeşil renkli bölüm destek, beyaz renkli bölüm modelin kendisidir.



Şekil 16: Çift kafa destek için kullanılması ve baskı işlemi

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Yapılan hız testinde 0,4 mm uç ile yazılan numuneler içerisinde 40 mm/sn hızla yazdırılan 1. numune problem ile karşılaşmamıştır. Üst yüzey başarılı şekilde kapatıldığı görülmüştür. 50 mm/sn hızla yazdırılan 2. Numunede yazdırma anında kenar yüzeylerde kalitenin düşük olduğu ve üst yüzeyde kapatılmamış katmanlar gözlemlenmiştir. 60 mm/sn hızla yazdırılmış 3. numune de katman yapışmaması sorunu yaşanmıştır. Numune kenarlarında ve iç dolgusunda pürüzlü yüzey gözlenmiştir. 80 mm/sn hızla yazdırılan 4. Numune de katmanların yapışmaması bu numunede de gözlenmiştir. İç dolgu ve kenarlarda dağılmış baskı malzemeleri gözlenmiştir. Yapılan testler sonucu 40mm/sn hızın uygun hız olduğu öngörülmüştür.

Baskı doğruluk testi amacıyla 30mm x 30mm x 20mm ölçülerinde numune modellenmiştir. Üç boyutlu yazıcıda yazdırılan numuneler 0,4 nozul ucu ile % 40 doluluk ta 38 dakika süre yazdırılmıştır,. Yazdırma işlemleri ardından birinci numune %0,4 - %0,9 - %0,1, 2. numune %0,56 - %1 - %0,65, 3. numune %0,36 - %0,86 - %0,4 oranlarda hata payı ile yazdırılmıştır. Ortalama hata payları 1. Numune için %0,46, ikinci numune için %0,73, üçüncü numune için %0,54 bulunmuştur.

Tabla sıcaklığı ile kabin iç ortam sıcaklığı arasında yapılan karşılaştırmalarda tabla sıcaklığının kabin iç sıcaklığına doğrudan etkisi olduğu görülmüştür. Oda sıcaklığı referans alındığında kabin sıcaklığında 15-20 °C bir artış olduğu gözlenmiştir. Elektrik sarfiyatı ölçümleri sonuçlarına göre genel sistem olarak ortalama 418,4 w/h elektrik sarfiyatı sonuçları elde edilmiştir.

Büyük boyutlu yazdırma uygulaması olarak sehpa ayağı yazdırılırken yazdırma hızı sonucu karşılaşılan sorunlar incelenmiştir. 0,8mm uç ile 40mm/sn hızla yazdırılan parça üst katmanda sorun oluşmamıştır. 50mm/sn hızla yazdırılan parça üst yüzeyde bazı hatalar gözlenmiştir. 60mm/sn hızla yazdırılan ayak ise üst yüzeyinde kapanmamış bölgeler gözlenmiştir.

## 5. SONUÇ

Çalışma sonucunda 990x1035x1540 mm ölçülerinde üç boyutlu yazıcı prototipi üretilmiştir. Baskı boyutları 600x700x800 mm dir. Yazıcı çift yazdırma ucu ve kartezyen gövde eksen yapısına sahip olarak üretilmiştir. Çalışmada üretilen prototip üzerinde yapılan testler ve uygulamalar sonucunda karşılaşılan sorunlar incelenmiş ve çözüm yolları önerilmiştir. Çalışma endüstriyel üç boyutlu yazıcının makul maliyetler ile üretilebileceğini göstermiştir. Gelecekte yapılacak olan benzeri çalışmalara örnek olabilecek ve geliştirilebilecek bir çalışma olmuştur.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapımında KBÜ-BAP-15/1-YL-009 proje no ile maddi destek sağlayan Karabük Üniversitesi (BAP) Bilimsel Araştırma Proje Ofisine teşekkür ederim.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Prince D. 3D printing: an industrial revolution. *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*. 2014; 11 (1): 39-45.
- [2] Kruth JP, Leu MC and Nakagawa T. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping. *Annals of the Cirp*. 1998; 47 (2): 525-540.
- [3] Azari A and Nikzad S. The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review. *Rapid Prototyping Journal*. 2009; 15 (3): 216 - 225.
- [4] Hull C, Feygin M, Baron Y, Sanders R, Sachs LE, Wohlers AT. Rapid prototyping:current technology and future potential. *Rapid Prototyping Journal*. 1995; 1 (1): 11-19.
- [5] Pham DT and Gault RS. A comparison of rapid prototyping Technologies. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 1997; 38 (1): 1257–1287.
- [6] Levy GN, Schindel R and Kruth JP. Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (lm) technologies. State of the art and future perspectives. 1996; 1 (1): 1-21.
- [7] Polzin C, Spath S and Seitz H. Characterization and evaluation of a PMMA- based 3D printing process. *Department of Mechanical Engineering*. 2013; 19 (1): 37-43.
- [8] Anzalone GC, Wijnen B and Pearce JM. Multi-material additive and subtractive prosumer digital fabrication with a free and open-source convertible delta RepRap 3-D printer. *Rapid Prototyping Journal*. 2015; 21(5): 506–519.
- [9] Vaezi M, Chianrabutra S, Mellor B and Yang S. Multiple material additive manufacturing - Part 1: A Review. *Virtual and Physical Prototyping*. 2013; 1 (1): 19-50.
- [10] Duran C, Subbian V, Giovanetti MT, Simkins JR and Beyette Jr FR. Experimental desktop 3D printing using dual extrusion and water-soluble polyvinyl alcohol. *Rapid Prototyping Journal*. 2015; 21(5): 528–534.
- [11] Stephens B, Azimi P, El Orch Z, Ramos T. Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. *Atmospheric Environment*. 2013; 79: 334-339.
- [12] Striukova RL. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting*. 2016; 102: 214–224.