

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİLİŞİM SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

3 BOYUTLU YAZICILAR İÇİN TEST MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

NURETTİN GÜNEŞ

KOCAELİ 2017

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLİŞİM SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

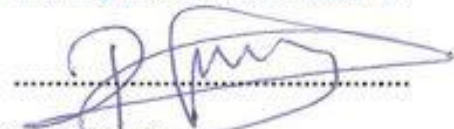
3 BOYUTLU YAZICILAR İÇİN TEST MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

NURETTİN GÜNEŞ

Doç. Dr. Serdar KÜÇÜK
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof. Dr. Özcan GÜNDOĞDU
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Prof. Dr. Raşit KÖKER
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 19.06.2017

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde 3B yazıcıların gelişimi hızlanmış, kullanımı artmış ve her alanda 3B yazıcı uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. 3B yazıcıların gelişiminin devam edeceği ve yeni bir sanayi devrimine yol açacağı ve tüketim alışkanlıklarının değişeceği tahmin edilmektedir. Bu gelişme döneminde, ülkemizde ki 3B yazıcı araştırmalarına katkı sunmak hedefi ile bu tez çalışması yapılmıştır. Tez içerisinde 3B yazıcı ürünlerinin doğruluğunun ölçülmesini sağlayacak, köprü, ince duvar ve eğik yüzeyler oluşturma yeteneklerini test edilmesini sağlayacak test modeli önerilmiştir. Bu tez için 3B Delta FDM yazıcı geliştirilmiş, önerilen test modeli ile deneysel bir çalışma yapılmış ve delta 3B yazıcıların doğruluğu ile ilgili sayısal veriler elde edilmiştir.

Özellikle yüksek lisans eğitimim boyunca kıymetli rehberliği için danışmanım Doç. Dr. Serdar Küçük başta olmak üzere, öğrenim hayatımda yer alan tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Beni hayatım boyunca destekleyen aileme ve özellikle tez yazma sürecinde bana katlandıkları için eşime ve kızlarıma da teşekkür ediyorum.

Haziran - 2017

Nurettin GÜNEŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLolar DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
GİRİŞ.....	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Eklemeli Üretim	3
1.2. 3B Yazıcı Türleri.....	5
1.2.1. Seçici lazer sinterleme (SLS)	5
1.2.2. Stereolitografi cihazı (SLA)	7
1.2.3. Eritilmiş malzeme yığıma (FDM/FFF).....	9
1.2.4. Katmanlı obje yapımı (LOM)	10
1.2.5. Elektron ışınımıyla eritme (EBM).....	11
1.2.6. Üç boyutlu yazıcı(3DP)	12
1.3. Reprap Projesi	13
1.4. 3B Yazıcıların Değerlendirilmesi.....	16
1.4.1. Uluslararası tolerans değeri	20
2. MALZEME VE YÖNTEM	21
2.1. 3B Delta Yazıcının Üretilmesi	21
2.1.1. Rostock mini pro	22
2.1.2. Ekstrüzyon yapısı	24
2.1.3. Mekanik yapısı	26
2.1.4. Motorlar ve elektronik yapısı	34
2.1.4.1. Nema 17 motorlar	34
2.1.4.2. Arduino mega 2560 kontrol kartı	34
2.1.4.3. Ramps arduino eklentisi(shield)	36
2.1.4.4. A4988 adım motor sürücüsü.....	38
2.1.4.5. Ntc ve termistör	39
2.1.5. Yazılımlar	40
2.1.5.1. Repeater host programı	40
2.1.5.2. Marlin firmware	47
2.1.5.3. G-Code.....	55
2.2. Test Modelinin Tasarlanması	56
2.3. Test Modelinin Üretilmesi ve Ölçülmesi	62
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	68
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	70
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	SLS 3B yazdırma yönteminin patent çizimi	6
Şekil 1.2.	SLS 3B yazdırma yöntemi	6
Şekil 1.3.	SLS Yöntemi ile üretilmiş çıktının tozlar içerisinden temizlenmesi.....	7
Şekil 1.4.	SLA yöntemi için alınan patent belgesindeki çizim	7
Şekil 1.5.	SLA 3B Yazdırma Yöntemi	8
Şekil 1.6.	SLA yöntemi ile 3B baskı.....	8
Şekil 1.7.	FDM 3B yazdırma patent çizimi	9
Şekil 1.8.	FDM 3B yazdırma yöntemi	10
Şekil 1.9.	LOM 3B yazdırma yöntemi	10
Şekil 1.10.	EBM yöntemi ile 3B baskı	11
Şekil 1.11.	3DP yöntemi patent çizimi	12
Şekil 1.12.	3DP yöntemi ile 3B baskı.....	13
Şekil 1.13.	2008 yılında üretilen Darwin rebrap 1.0	14
Şekil 1.14.	Mendel rebrap 2.0	15
Şekil 1.15.	Huxley rebrap 3.0	15
Şekil 1.16.	En çok kullanılan 3B yazıcı türleri	16
Şekil 1.17.	3B yazıcı kullanımının gelişimi.....	16
Şekil 1.18.	Test modeli 1	17
Şekil 1.19.	Test modeli 2	18
Şekil 1.20.	Test modeli 3	18
Şekil 1.21.	Test modeli 4	19
Şekil 1.22.	Test modeli 5	20
Şekil 2.1.	3B Delta yazıcıyı oluşturan bileşenler	22
Şekil 2.2.	FDM yazıcının bileşenleri	24
Şekil 2.3.	3B yazıcıda kullanılan ekstruder	25
Şekil 2.4.	3B yazıcıda kullanılan sıcak uç (Hot End).....	26
Şekil 2.5.	3B delta yazıcı	26
Şekil 2.6.	Delta robotun basit çizimi.....	27
Şekil 2.7.	Üst tablanın üstten görünümü	28
Şekil 2.8.	Uç işlemcinin tepeden görünümü.....	28
Şekil 2.9.	3B yazıcıda kullanılan dişliler	30
Şekil 2.10.	GT2 kayış	30
Şekil 2.11.	3B yazıcının ortasında sıcak ucu taşıyan bölüm	31
Şekil 2.12.	Üst sonlandırıcılar.....	32
Şekil 2.13.	Rulman tutucular	33
Şekil 2.14.	Motor tutucular.....	33
Şekil 2.15.	Sıcak uç tutucu	34
Şekil 2.16.	Nema 17 motor.....	34
Şekil 2.17.	Arduino Mega 2560 ve pin şeması.....	35
Şekil 2.18.	Aduino tümleşik geliştirme ortamı (IDE).....	36
Şekil 2.19.	RAMPS arduino eklentisi(shield) ve bağlantı yerleri.....	37
Şekil 2.20.	Hareket motorlarının bağlantı yerleri ve sıralaması	38
Şekil 2.21.	A4988 motor sürücüsünün şeması	38
Şekil 2.22.	NTC 100k	40

Şekil 2.23. Repeater host yazıcı ayarları penceresi.....	41
Şekil 2.24. Yazıcı ayarları penceresi yazıcı sekmesi	41
Şekil 2.25. Yazıcı ayarları penceresi ekstruder sekmesi.....	42
Şekil 2.26. Yazıcı ayarları yazıcı şekli sekmesi	43
Şekil 2.27. Repeater host programı	44
Şekil 2.28. Repeater host programı, dilimleyici sekmesi.....	44
Şekil 2.29. Slic3r dilimleyici programı ayarları	45
Şekil 2.30. Slic3r programı dolgu ayarları	45
Şekil 2.31. Skirt ve brim	46
Şekil 2.32. Repeater host programı ve print preview sekmesi	47
Şekil 2.33. Marlin firmware yazılımının arduino ide içerisine açılmış hali	49
Şekil 2.34. Baudrate ayarı	50
Şekil 2.35. Kontrol kartı seçimi	50
Şekil 2.36. Ekstruder sayısının ayarlanması.....	50
Şekil 2.37. Isıtıcı ve ısı sensörlerinin ayarlanması	50
Şekil 2.38. Köşe yuvarlaklık oranı	51
Şekil 2.39. Krom eklemlerin uzunluğu	51
Şekil 2.40. Delta smooth rod ofset.....	51
Şekil 2.41. Delta smooth ayarı	51
Şekil 2.42. Delta smooth rod offset.....	52
Şekil 2.43. Delta efector ayarı	52
Şekil 2.44. Delta efector offset	52
Şekil 2.45. Delta carriage ofset	52
Şekil 2.46. Delta carriage ofset	53
Şekil 2.47. Yazdırma yüksekliği ve alanı ayarı.....	53
Şekil 2.48. Motorların tur/mm ayarı	53
Şekil 2.49. Max. feedrate	53
Şekil 2.50. Motorların hızlanma değeri	53
Şekil 2.51. Varsayılan ivmelenme değeri.....	54
Şekil 2.52. Filament geri çekme hızı.....	54
Şekil 2.53. Boşta hareket hızı.....	54
Şekil 2.54. Motorların yavaşlama ve hızlanma ivmelenmesi.....	54
Şekil 2.55. 3B Yazıcı ürünlerinde köprü şekilleri ve bozulmalar	57
Şekil 2.56. Eğimli yüzey baskısı ve bozulmalar	57
Şekil 2.57. Önerilen test modeli üst görünümü	59
Şekil 2.58. Önerilen test model yan görünümü	59
Şekil 2.59. Üretilen test modeli.....	62

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. 3B cisim çiziminde kullanılabilir programların listesi.....	23
Tablo 2.2. Dilimleyici (Slicer) olarak kullanılabilir programlar	24
Tablo 2.3. A4988 motor sürücüsünün mikroadım çalışma parametreleri.....	39
Tablo 2.4. G-Code komut yapısı.	55
Tablo 2.5. Test modelindeki şekiller	60
Tablo 2.6. Test modelinin ölçüm sonuçları	63
Tablo 2.7. K faktörü ile birlikte uluslararası tolerans değerleri	65



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

3B	: Üç boyutlu
ABS	: Acrylonitrile Butadiene Styrene (Akrilonitril Bütadien Stiren)
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	: Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)
DMLS	: Direct Metal Laser Sintering (Doğrudan Metal Lazer Sinterleme)
EBM	: Electron Beam Melting (Elektron Işın Ergitme)
FDM	: Fused Depositing Modelling (Erimiş Malzeme Yığıma)
FFF	: Fused Filament Fabrication (Erimiş Filament ile Üretim)
GPL	: General Public License (Genel Kamu Lisansı)
LOM	: Laminated Object Manufacturing (Katmanlı Obje Yapımı)
PA	: Polyamide (Polyamid)
PEEK	: Polyether Ether Ketone
PLA	: Polylactic Acid (Polilaktik Asit)
PTFE	: Politetrafloretillen (Teflon)
RM	: Rapid Manufacturing (Hızlı Üretim)
RP	: Rapid Prototyping (Hızlı Prototipleme)
SLA	: Stereolithography (Stereolitografi)
SLM	: Slective Laser Melting (Seçici Lazer Eritme)
SLS	: Selective Laser Sintering (Seçici Lazer Sinterleme)
STL	: Stereolitografi Dosya Uzantısı

3 BOYUTLU YAZICILAR İÇİN TEST MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Son yıllarda, FDM tabanlı 3B yazıcılar sanayide giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta sadece prototip ve kalıp üretiminde kullanılan 3B yazıcı teknolojisi artık son ürün imalatı için de kullanılmaktadır. 3B yazıcıların kullanım alanı genişledikçe, 3B yazıcı türleri, yazıcıların kullandığı hammaddeler de çeşitlilik kazanmıştır. Bu tez içerisinde 3B yazıcıları, hammaddeleri, 3B yazdırma süreçlerini, boyutsal doğruluk, köprü ve eğimli yüzey oluşturma becerisi açısından ölçmek ve birbirleri ile kıyaslamak için yeni bir model önerilmiştir. Ayrıca 3B Delta tipi yazıcı yapılmış, tasarlanan test modeli ile 3B Delta yazıcıların doğruluk derecesi tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3D Yazıcı, Boyutsal Doğruluk, Eğik Yüzeyler Oluşturma Performansı, Köprü Oluşturma Performansı, Test Modeli.

DESIGN NEW TEST MODEL FOR 3D PRINTERS

ABSTRACT

In recent years, FDM based 3D printers have begun to be used more and more in the industry. The 3D technology which is initially used only for 3D prototypes and for mold making now uses for final product manufacturing too. As the use of 3D printers grows, 3D printer types and 3d printers raw materials have also diversified. In this study, a new model was proposed to measure and evaluate 3D printers and raw materials considering dimensional accuracy, bridging and overhang performance. Also a 3D Delta type printer is developed and the performance of this Delta type 3D printer is evaluated by considering the IT (international tolerance) value.

Keywords : 3D Printer, Dimensional Accuracy, Overhang Performans, Bridging Performance, Benchmarking Object.

GİRİŞ

İlk olarak 1980'li yılların başında icat edilmiş olan 3B yazıcılar özellikle 2010 yılından sonra çok daha fazla kullanılır olmuştur [1]. Günümüzde 3B yazıcılar hemen her alanda kullanılır hale gelmişlerdir. Fiyatlarının ucuzlaması ve açık kaynak 3B yazıcıların ortaya çıkması, 3B yazıcıların çok daha kolay ulaşılabilir hale gelmesini sağlamıştır. Genel olarak mimarlık, tıp ve görsel sanatlar alanlarında uygulamalarına rastlanılan bu teknolojilerin uzay araştırmaları, askeriye, giyim, eğitim, gıda ve otomotiv alanlarında da uygulandığı görülmektedir. Günümüzde 3B yazıcıların kullanım alanlarının eğilimlerini belirlemek için yapılan çalışmalar göstermektedir ki 3B yazıcı teknolojileri gelecekte kurumsal olarak kullanımlarının yanı sıra bireysel olarak da tercih edilen bir teknoloji olacaktır [15].

3B yazıcıların gelişim sürecinde farklı yöntemlerle çalışan, farklı hammaddeler kullanan 3B yazıcılar ortaya çıkarmıştır. Tüm bu çeşitliliğe rağmen Eriyik Yığma Modelleme (Fused Deposition Modelling-FDM) türü yazıcıların daha çok kullanıldığını görmekteyiz [1]. Bu 3B yazıcıların kalitesini belirleyecek genel geçer kabul görmüş yöntem bulunmamaktadır, bununla birlikte 3B yazıcıların, yazdırma süreçlerinin ve kullanılan ham maddelerin özelliklerini test etmek amacı ile birçok test modeli önerilmiştir.

Bu tez çalışmasının ilk amacı özellikle FDM yazıcı türlerini doğrusal, dairesel doğrulukları ile birlikte ince duvar oluşturma, köprü oluşturma ve eğik yüzey oluşturma becerilerinin de ölçülmesini sağlayacak ve hızlı üretilecek yeni test modeli önermektir.

FDM yazıcılar, 3B yazıcılar arasında en çok kullanılanların başında gelmektedir [1]. Son işleme gerek duymaması, ürünlerin kalitesinin iyi olması ve kullanımının kolaylığı gibi sebepler bu yazıcıları oldukça popüler yapmıştır. FDM 3B yazıcılar genellikle kartezyen türde yazıcılardır. Kartezyen 3b yazıcıların haricinde kullanımı giderek artan 3B delta yazıcılar ve daha çok geliştirme aşamasında olan SCARA 3B ve Polar 3B yazıcılar bulunmaktadır. Şu ana kadar FDM yazıcılar ile ilgili yapılan çalışmalar

kartezyen tip 3B yazıcılarla yapılmış bundan dolayı da delta 3B yazıcılar ile ilgili akademik veri bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasının ikinci amacı 3B Delta yazıcıların yazdırma başarısı ile ilgili veri oluşturmak ve bu sonucun diğer yazıcı türleri ile kıyaslanmasını sağlayacak uluslararası tolerans değerini hesaplamaktadır.

Yukarıda bahsedilen amaçları gerçekleştirebilmek için 3B delta yazıcısı yapılarak bu yazıcıların yapısı, çalışması, kullanılması ve ayarlanması ile ilgili literatüre katkıda bulunulması ve kaynak oluşturulması da bu tez çalışmasının amaçlarından biridir.



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Eklemeli Üretim

Plastik, metal, sıvı reçine gibi belli bir malzemenin çok ince katmanlar halinde üst üste eklenerek 3 boyutlu cisim olarak üretilmesine eklemeli üretim adı verilmektedir. Eklemeli üretim yöntemleri ile bilgisayar ortamında çizilmiş her türlü cismin üretilmesi mümkün olmaktadır. Farklı üretim yöntemleri olmakla birlikte bilgisayar ortamında çizilen 3B cisim ince katmanlar halinde modellendikten sonra 3B yazıcıya gönderilir ve katmanlar üst üste yığılarak 3B cisim oluşturulur. Bu yöntemle klasik üretim yöntemleri ile üretilmesi imkansız olan cisimler üretilmektedir [16].

Massachusetts Institute of Technology(MIT)'in 1995 yılında mürekkep püskürtmeli yazıcı kartuşlarına toz ve yapıştırıcı yerleştirerek gerçekleştirdiği eklemeli üretim yöntemini 3 Boyutlu Yazıcı(3D Printer) olarak adlandırmasından sonra eklemeli üretim yapan cihazlara genel olarak 3 Boyutlu Yazıcı(3B Yazıcı) denmeye başlandı. 3B yazıcı terimi, yapılan işi kolayca ve teknik bilgiye gerek kalmadan ifade edebildiği için toplum tarafından geniş kabul gördü ve yaygınlaştı. 3B yazıcı kavramı yaygınlaşmadan önce eklemeli üretim farklı isimlerle de anılırdı. Bunlar:

Hızlı Prototipleme(Rapid Prototyping): 1983 yılında eklemeli üretimin hızlı prototipler üretmek amacı ile Charles Hull tarafından geliştirilmesinden sonra yıllarca bu teknoloji prototip geliştirmek için kullanıldı. Yapılan birçok araştırma ve yayınlarda eklemeli üretim, hızlı prototipleme teknolojisi olarak adlandırıldı.

Hızlı Kalıp Üretimi(Rapid tooling): Plastik enjeksiyon ve diğer kalıpların üretilmesi için eklemeli üretim yöntemlerinin kullanılmasını ifade eder, kullanım alanının geniş olmasından dolayı bu tanım da eklemeli üretim için kullanılmıştır.

Doğrudan Dijital Üretim (Direct Dijital Manufacturing) / Hızlı Üretim (Rapid Manufacturing): Hızlı prototiplemeden farklı olarak eklemeli üretim teknolojisinin yaygınlaşması ile kullanıma hazır, tamamlanmış son ürün hazırlamayı ifade eden tanımlamadır.

Klasik üretim yöntemleri olan kesme, oyma/çıkarma ve şekillendirme yöntemleri ile eklemeli üretimi karşılaştırdığımızda aşağıdaki avantajları ön plana çıkmaktadır [2].

- Özelleştirilmiş, az sayıdaki ürünün çok daha ekonomik olarak üretilebilmesi
- Ürünlerin tasarlanması ve üretilmesinde kolaylık
- Maliyetli araç ve gereç ihtiyacının olmaması
- Delme, zımparalama vb. ek işlemlere ihtiyaç kalmaması
- Neredeyse %100 otomatik üretimin gerçekleşmesi(üretim başladıktan sonra herhangi bir müdahaleye gerek duyulmaması)
- Hammaddelerin kolay ulaşılabilir ve ucuz olması
- Hurda parçanın az olması ve hurda parçaların geri dönüşümünün kolay olması
- Stoklama ihtiyacını azaltması.
- Tasarımların paylaşımının kolay olması ve harici üretimin kolay olması.

Başlangıçta sadece prototip ve kalıp üretmekte kullanılan 3b yazıcı teknolojisi zamanla hammadde ve teknoloji çeşitliliğinin artması sonucu yukarıdaki avantajları sebebi ile son ürün imalatında da kullanılmaya başlanmıştır. 3B yazıcılar sayesinde üretim yapmak için büyük yatırımlar yapma ve tesisler kurma ihtiyacı ortadan kalkmıştır. Üretimde yüksek maliyetli ve değiştirilmesi zor kalıplar yerine tüm üretimin bilgisayarda oluşturulan dosyalar ile yapılıyor olması, tasarım dosyalarının internet üzerinden kolayca paylaşılabilmesi 3B yazıcılar ile ilgili şimdiden bir ekosistem oluşmasına sebep olmuştur. 3B cisimlerin çizimlerinin ücretli ve/veya ücretsiz paylaşılmasını sağlayan web siteleri kurulmuştur. Bunlardan bazıları;

- <https://www.thingiverse.com/>
- <https://pinshape.com>
- <https://www.youmagine.com/>
- <http://cubify.com>
- <https://grabcad.com/>
- <http://www.3dvia.com/>
- <https://cubehero.com/>
- <http://www.bld3r.com/>

Bu sitelerin yanında <https://www.3dhubs.com/> gibi 3B yazıcı sahipleri ile 3B yazıcı kullanarak üretim yapmak isteyenleri bir araya getiren onlarca site kurulmuştur. Tüm bu gelişmeler birçok araştırmacıyı 2. sanayii devriminin başladığına inandırmış ve

3B yazıcıların ekonomik, sosyal, medikal, eğitim, sağlık, uzay vb. alanlardaki etkileri ile ilgili çalışmalar yapılmasını sağlamıştır [3].

3B yazıcıların hemen hemen her alanda kullanımının artmasına, kendi ekosistemini oluşturmaya başlamış olmasına rağmen, klasik üretim yöntemlerine kıyasla ciddi dezavantajları da bulunmaktadır bunlar kısaca

- Seri üretim maliyetinin yüksek olması,
- Renk ve hammadde olanaklarının sınırlı olması,
- Yüzey işleme imkanlarının kısıtlı olması,
- Diğer üretim yöntemlerine göre üretim hassasiyetinin düşük olması,
- Ürünlerin mukavemet ve dayanıklılık açısından sınırlı olması,
- Isıya karşı dayanıklılığın az olması

olarak sayılabilir. Yukarıda sayılan olumsuzluklar her geçen gün aşılmaya devam edilmektedir. İlk eklemeli üretim cihazının geliştirilmesinden sonra birçok farklı hammadde kullanan, farklı katman oluşturma yöntemleri ile çalışan 3B yazıcılar geliştirilmiştir. 3B yazıcılar birçok farklı yönde gelişmeye ve farklı alanları etkilemeye devam etmektedir.

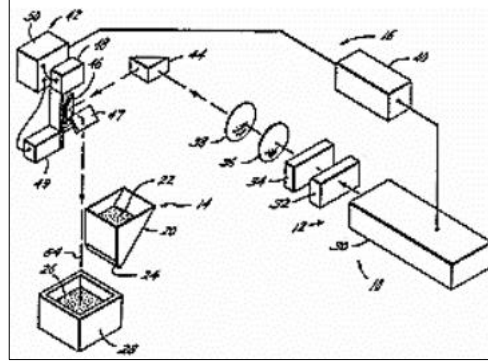
1.2. 3B Yazıcı Türleri

1.2.1. Seçici lazer sinterleme (SLS)

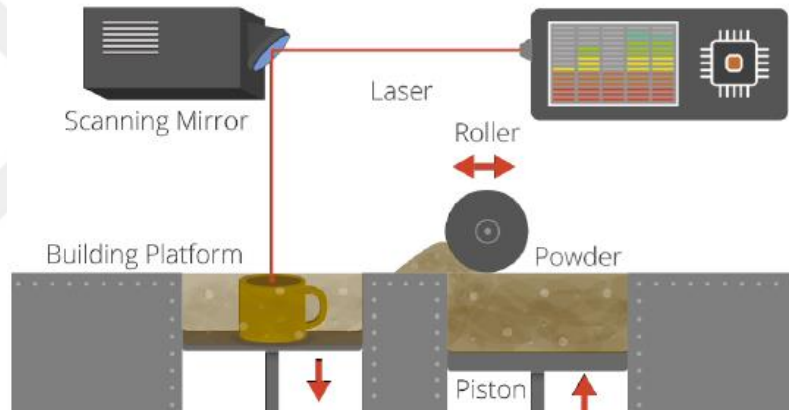
Texas Üniversitesi'nden Carl R. Deckard tarafından bir doktora çalışması olarak 1986 yılında geliştirilen bu sistem bir sene sonra DTM isimli firma tarafından ticari hale getirilmiştir. 1992 yılında firma ilk makinesini satmıştır. DTM, 2001 yılında 3D systems isimli firma ile birleşmiştir. Şekil 1.1'de SLS yöntemi için alınan patent belgesindeki çizim görülmektedir.

Şekil 1.2 SLS yönteminin çalışmasını göstermektedir, bu tekniğin ana prensibinde, yeterli ısıya maruz kaldığında eriyebilen toz yapıdaki hammaddenin, lazer ışınları ile noktasal olarak ısıtılarak kontrollü bir biçimde kaynaştırılması yatmaktadır. Modelin üretildiği havuzda bulunan toz yapıdaki hammadde, bir lazer sayesinde bilgisayar verileri referans alınarak katmanlar halinde kaynaştırılmaktadır. Süpürücü sistem her katmanın oluşturulma işlemi bittikten sonra, yeni bir tabakayı üretim havuzuna homojen bir kalınlıkta süpürür. Modelin oluşturulduğu platform süpürülen katman kalınlığı kadar aşağıya doğru kayar. Bu şekilde tekrar eden aşamalar sonucu fiziksel

model üretilmiş hale gelir. Sadece lazerin çarptığı noktalarda hammaddede kaynaşmış olduğu için, üretim bittikten sonra toz hammaddede dolu havuzun içerisinden fiziksel model çıkartılır. Şekil 1.3'te tozlar içerinden çıkartılan 3b cismi göstermektedir.



Şekil 1.1. SLS 3B yazdırma yönteminin patent çizimi



Şekil 1.2. SLS 3B yazdırma yöntemi

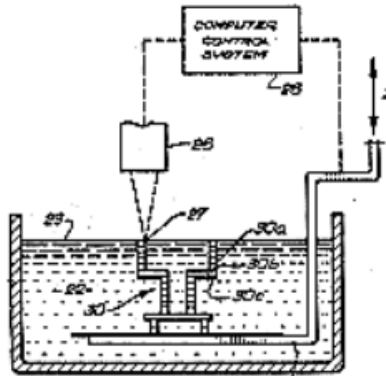
Bu teknikte plastik, metal veya seramik tozları hammaddede olarak kullanılabilir. Bu malzemelerin karışımlarından oluşan hammaddeler, örneğin cam elyafı takviyeli plastik tozları veya plastik kaplı metal tozlar gibi malzemelerde kullanılabilir [4]. SLS yöntemi ile günümüzde 0,3 mm doğruluğunda 0,12 mm katman kalınlıklarında ürünler üretilebilmektedirler. PA12, alumide, karbon katkılı polyamid, cam katkılı polyamid, PA11 ve PEEK materyalleri hammaddede olarak kullanılabilir. SLS yöntemi FDM yöntemine göre daha hızlıdır ve destek malzemesine ihtiyaç duymaz köprü oluşturma ve eğik yüzeylerde yaşanan çökme ve bozulma sorunları SLS yöntemi için geçerli değildir [22].



Şekil 1.3. SLS yöntemi ile üretilmiş çıktının tozlar içerisinde temizlenmesi

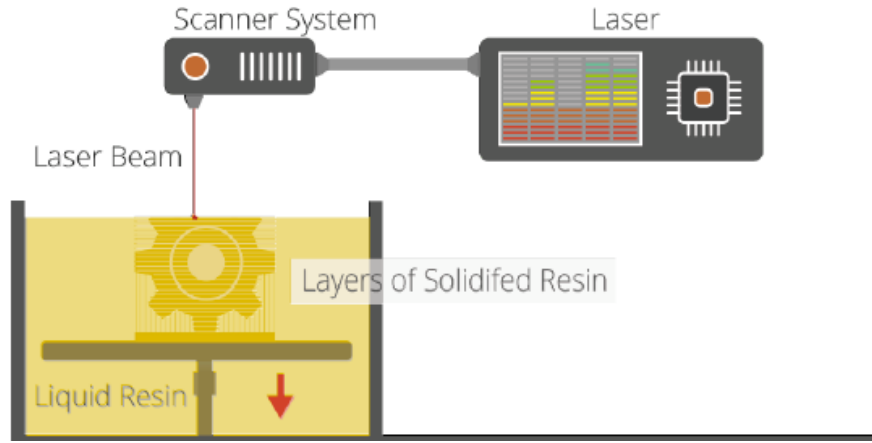
1.2.2. Stereolitografi cihazı (SLA)

1983 yılında Charles W. Hull ve Raymond S. Freed tarafından patenti alınmıştır. İlgili patent Şekil 1.4. de görülmektedir. Stereolitografi, matbaacılıkta uzun zamandır kullanılan litografi tekniğinin üç boyuta uyarlanmış halidir.



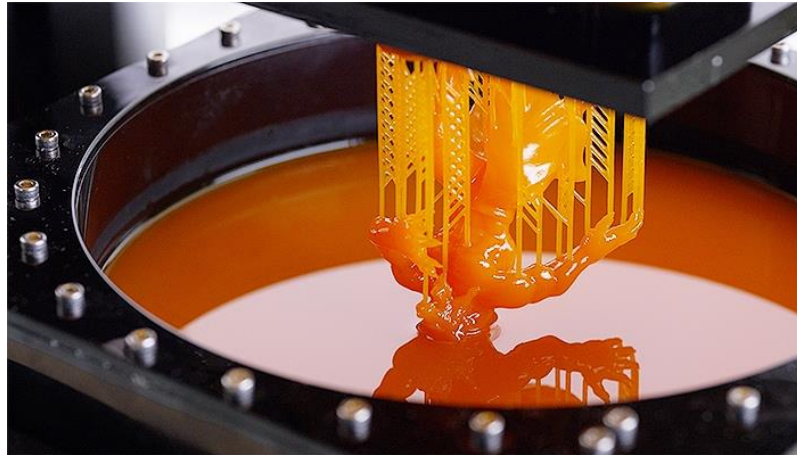
Şekil 1.4. SLA yöntemi için alınan patent belgesindeki çizim

SLA yöntemi Şekil 1.5'te görüldüğü gibi bir havuz içerisinde bulunan fotopolimer reçinenin, lazer ışınları ile istenen noktalarda katılaştırılması ile çalışır. Her bir katmanın dış çeperleri bilgisayar modeline bağlı kalarak katılaştırıldıktan sonra, modelin bulunduğu havuz bir katman aşağıya iner. Bir kanat yardımı ile yüzeye yeni bir sıvı katmanı kaplanır. Bu yöntemle tabaka tabaka sertleştirilen reçine ile 3B cisim üretilmiş olur. Üretimden sonra model havuzdan çıkartılır. Üretim süresini hızlandırmak için çeperleri sertleştirilmiş reçinenin iç bölgelerinde kalan sıvı haldeki kısımları ayrı bir fırınlanma işlemi ile katılaştırılır.



Şekil 1.5. SLA 3B yazdırma yöntemi

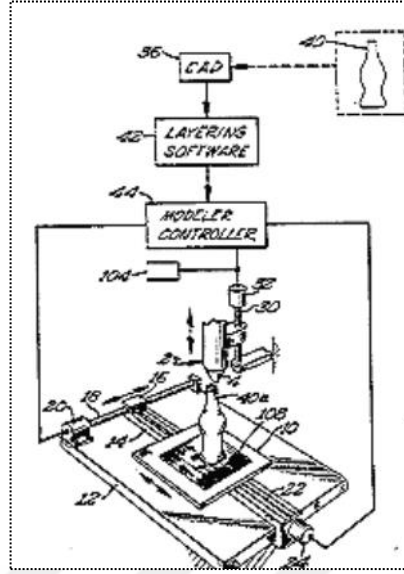
Model bu fırınlanma işlemi ile tamamlanmış olur. Yüksek yüzey hassasiyeti sayesinde hassas döküm için parça imalatında, hem görsel hem de fonksiyonel testlerde kullanılmasına imkan sağlayacak şeffaf parçalar, yüksek mukavemet ve sıcaklık dayanımına sahip, test amacıyla kullanılacak prototipler ve hatta seri üretim seviyesinde yüzeysel ve dayanım özellikleriyle son kullanıcıya ulaşan parçalar üretilebilir. SLA teknolojisi ile fotopolimer reçineler ve ABS plastik türevi dayanım özelliği gösterebilen bazı reçineler üretilebilmektedir. Şekil 1.6'da SLA yöntemi ile üretim yapan 3b yazıcı görülmektedir.



Şekil 1.6. SLA yöntemi ile 3B baskı

SLA yönteminde 0,1 mm tolerans miktarı ile üretim yapılabilmektedir. FDM yazıcılarda olduğu gibi eğik yüzeyler ve köprü oluşturmada bozulmalar olabilmektedir, bu sorunu engellemek içinde destek parçaları kullanılmaktadır

1.2.3. Eritilmiş malzeme yığma (FDM/FFF)

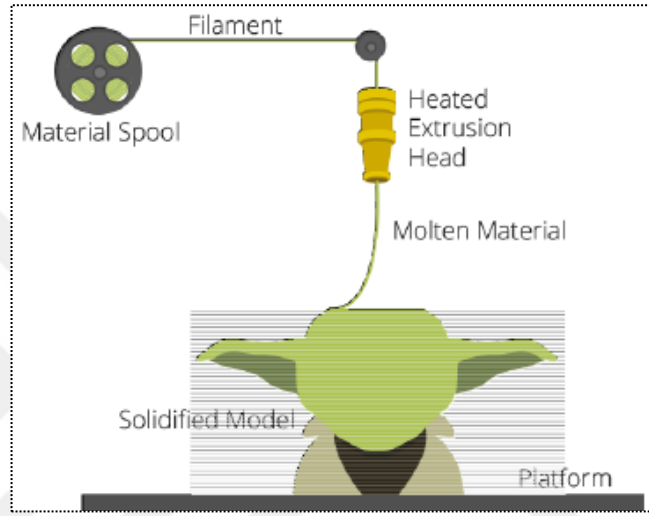


Şekil 1.7. FDM 3B yazdırma patent çizimi

1980'lerin sonunda S. Scott Crump tarafından icat edilen FDM yöntemi 1990 yıllarda ticarileştirilmiş ve günümüzde hala Stratasys firması adına kayıtlı ticari bir markadır [19]. Şekil 1.7'de FDM 3B yazıcı patentinde çizili olan hali görülmektedir. Eritilmiş malzeme yığma tekniğinde, eritme memesi içerisinde rezistanlar ile ısıtılarak eritilmiş plastik malzeme yüzeye ince bir tabaka halinde sıvanarak katmanlar oluşturulur. Hammadde bir makaraya sarılmış halde kesintisiz olarak eritme memesini besler. Referans bilgisayar modelini katmanlara ayıran bilgisayar programı makinenin eritme memesini her katmanı oluşturmak için 2 eksenle kontrol eder. Her bir katmanın oluşturulması bittikten sonra, modelin konumlandırıldığı platform, katman kalınlığı kadar aşağıya indirilir. Bu şekilde model fiziksel olarak bitene kadar aşamalar tekrar edilir. Şekil 1.9'da FDM 3b yazdırma yöntemini temsili olarak göstermektedir. İlk versiyonlarının aksine şimdiki modellerde destek malzemesi denilen bir malzemeyi de yığabilen ek bir eritme memesi daha mevcuttur. Destek malzemeleri boş bir platformda oluşan modelin ayakta durabilmesi veya çok parçalı modellerde parça arası boşlukları destekleyebilmek için kullanılmaktadır. Yığma bittikten sonra su tabanlı bir sıvı içerisinde yıkanan modelin üzerindeki destek malzemeleri eriyerek gider. Sonuçta ortaya bitmiş bir fiziksel model çıkar.

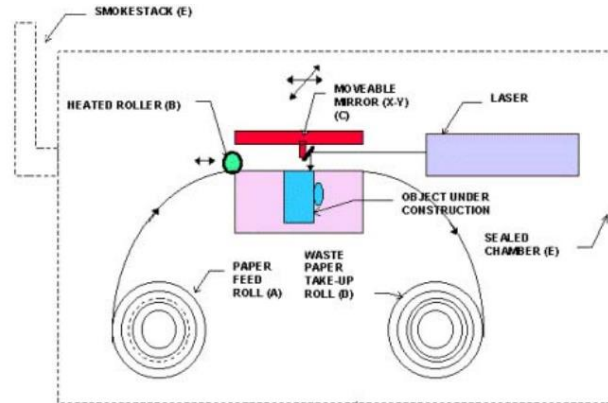
FDM teknolojisi kullanılarak Polikarbonat (PLA), Akrilonitrilin butadien stiro (ABS), Polycarbonate (PC), Polyamide (PA), Polystyrene (PS) gibi malzemeden 3b cisimler üretmek mümkündür. Bunların yanında son zamanlarda hammadde olarak çikolata [5] ve seramik kullanan modelleri de üretilmiştir.

Bu yöneme telif haklarından dolayı Fused Filament Fabrication kelimelerinin kısaltması olan(FFF) veya Plastic Jet Printing kelimelerinin kısaltması olan (PJP) de denmektedir.



Şekil 1.8. FDM 3B Yazdırma yöntemi

1.2.4. Katmanlı obje yapımı (LOM)



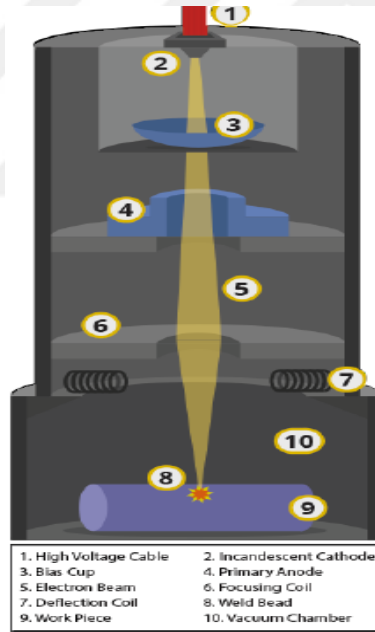
Şekil 1.9. LOM 3B Yazdırma yöntemi

Bu sistemde tabaka halinde bulunan kâğıt, plastik veya kompozit malzemeler kullanılabilir. Büyük rulolar halinde alınan malzeme, işleme alanının bir ucundan diğer ucuna doğru kaydırılarak her seferinde yüzeye yeni bir malzeme

katmanı gelmesi sağlanır. Yüzeye yeni bir katman getirildikten sonra bir merdane yardımı ile bu katman alt yüzeye yapıştırılır. Yapışma malzemenin alt yüzeyinde bulunan polimer malzemenin erimesi ile gerçekleşir. Lazer, yapışmış yeni katmanı model verisinden aldığı katman bilgileri doğrultusunda sınırlarından keser. Katmanın dış alanına denk gelen artık malzemeyi, daha sonra rahat parçalayıp ayıklayabilmek için parçalara bölünecek şekilde ufak dilimler halinde keser. Şekil 1.9'da LOM yönteminde yer alan unsurları göstermektedir.

Bu tip sistemlerle kütleli prototipler, kısıtlı fonksiyonel prototipler, hassas döküm kalıpları üretmek için kullanılabilecek parçalar, büyük heykel veya figürler gibi uygulamalar yapılabilir. Malzemenin kesilip daha sonradan yapıştırıldığı varyasyonları da bulunmaktadır. Sadece kesimin bilgisayarla, yığıma işleminin el ile yapıştırmak sureti yapıldığı çeşitleri de mevcuttur [6]

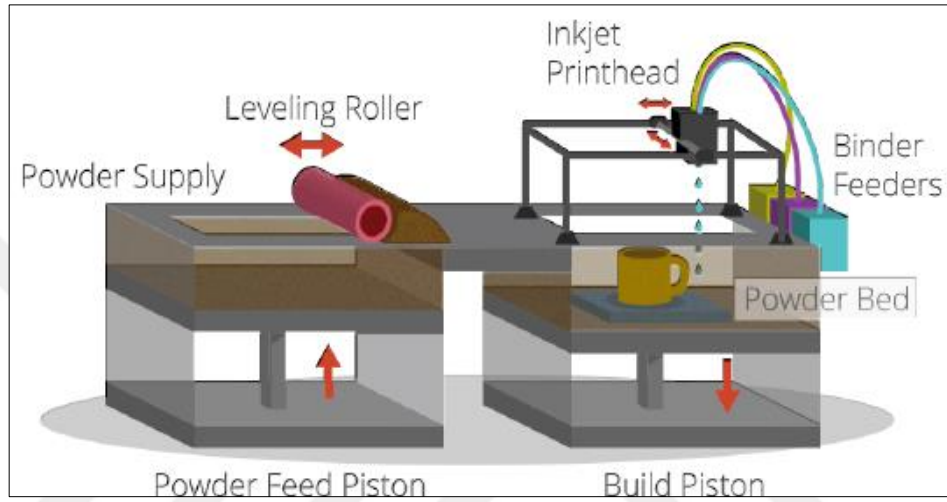
1.2.5. Elektron ışınıyla eritme (EBM)



Şekil 1.10. EBM yöntemi ile 3B baskı

Arcam isimli firma tarafından geliştirilen ve elektron ışınıyla eritme olarak isimlendirilen bu teknikte toz halindeki metal hammadde modelin oluşturulduğu havuza katmanlar şeklinde süpürülür. 650°C-1100°C arasında ısıtılan metal tozlar üzerlerine gönderilen elektron ışını ile eritilerek bir alt katmanla kaynaşması sağlanır. Çalışma prensibi olarak SLS ile benzerdir fakat lazer yerine elektron ışını

için rulo, malzemeyi yüzeye süpürür. Bu süreç model tamamlanana kadar tekrarlanır. Süreç bittiğinde kabın içinde sadece modelin geometrik formuyla birebir oluşturulmuş fiziksel model, toz havuzunun içinde yapıştırılmış ve sertleşmiş halde durmaktadır. Model çıkartılarak hava püskürtmeyle tozlardan arındırılır ve sertleşmesi için sıvı yapıştırıcı emdirilir. Katmanlara yapıştırıcı püskürtülürken başka bir kafada mürekkep ile istenilen renkleri püskürterek, 3B ürünün istenen renklerde üretebilmesi sağlanabilir.



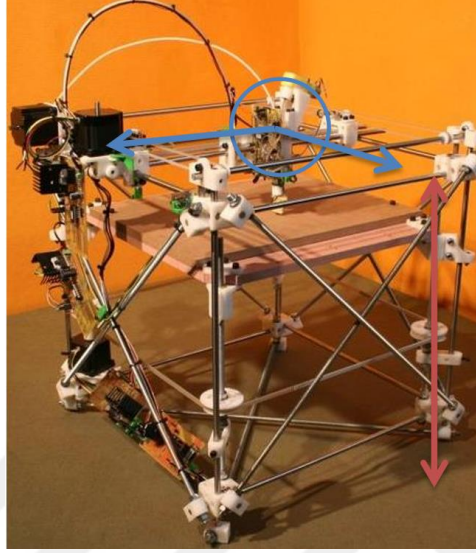
Şekil 1.12. 3DP yöntemi ile 3B baskı

1.3. Reprap Projesi

Reprap projesi 2005 yılında UK's University of Bath'da Dr. Adrian Bowyer tarafından başlatılmıştır. Proje ucuz 3 boyutlu yazıcılar üretmeyi amaçlamaktadır. Yazıcının ucuz olması için, kendi parçalarını üretebilecek şekilde, büyük bölümü plastik parçalardan ve kolayca ulaşılabilen araç gereçlerden tasarlanmıştır. Reprap ismi 3B yazıcıların kendi parçalarını üretme fikrinden esinlenerek replicating rapid prototyper (kendini kopyalayabilen hızlı prototipleyci) kelimelerinin kısaltmasından oluşmaktadır.

Raprap projesi çerçevesi içerisinde 2008 yılında adına Darwin raprap 1.0, 2009 yılında Mendel reprap 2.0 ve 2010 yılında Mendel'de yapılan iyileştirmeleri içeren Huxley raprap 3.0 modelleri resmi olarak yayınlanmıştır. Sadece üç yazıcı türü yayınlanmış olmasına rağmen bu proje içerisinde tasarlanan her türlü yazıcı, elektronik devre tasarımları, donanımlar ve yazılımlar GNU lisansı ile lisans sınırlamaları olmadan yayınlanmıştır. Reprap projesi çerçevesinde oluşan binlerce

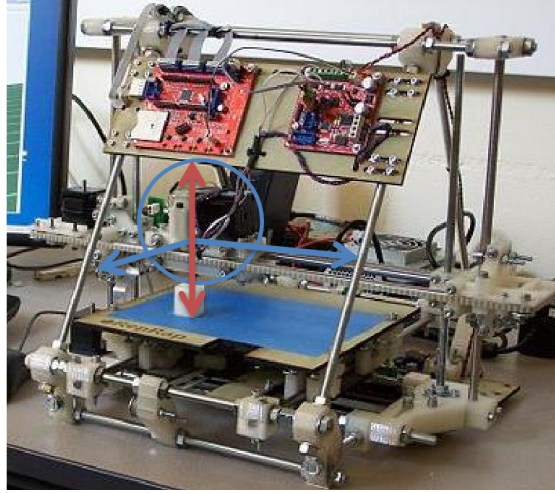
kişilik geliştirici topluluğu ile yüzlerce 3B yazıcı tasarımı, birçok elektronik devre tasarımı, donanım ürünleri ve yazılımlar yayınlanmış ve kullanılmaktadır. Mevcut rerap veri tabanında birçok farklı özellikte, farklı ham maddeler kullanılan, ticari veya açık kaynaklı yayınlanan 500'e yakın yazıcı tasarımı bulunmaktadır [7].



Şekil 1.13. 2008 yılında üretilen Darwin reppap 1.0

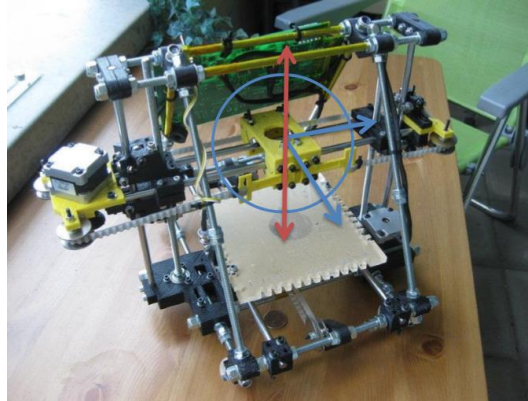
Darwin reppap 1.0 Şekil 1.13'te görülmektedir. Reppap projesi içerisinde geliştirilen ilk 3B yazıcıdır. Darwin 230 mm x 230 mm x 100mm yazma alanına sahiptir ve katmanlar arttıkça yazdırma yüzeyi adım adım aşağıya inerek 3B cisimleri oluşturur. 600 mm x 520 mm x 650 mm boyutlarında ve 14 kg ağırlığındadır. Ekstruder 65°C'ye kadar ısıtılabilirdiğinden hammadde olarak daha kolay eriyebilen naylon benzeri malzemeler kullanmıştır. Konum doğruluğu 0,1mm ve katman kalınlığı da 0,3mm olan Darwin'in en önemli sorunu çok fazla parçadan oluşması ve aşağıya doğru hareket eden tablasıdır.

Darwin'in geliştirilmiş hali olan reppap projesinin 2 versiyonu Mendel Şekil 1.14'de görülmektedir, ilk versiyondaki düzeltmeler ve sorun çıkartan parçaların değiştirilmesi ile oluşturulmuştur. Mendel versiyonunda ki en önemli değişiklik üzerinde baskı yapılan tablanın hareketinin kaldırılmış ve yerine sıcak ucu yukarı doğru hareket ettiren sistemin getirilmiş olmasıdır. Mendel daha küçük boyutlarla daha geniş yazdırma alanına ulaşmıştır. Yazdırma sıcaklığını 170°C çıkartarak PLA gibi farklı ve daha sağlam hammaddeler kullanılabilmesini sağlamıştır. Mendel reppap 2.0 yazıcısının X ve Y yönlerindeki hızı en fazla 725 mm/s çıkabilmektedir.



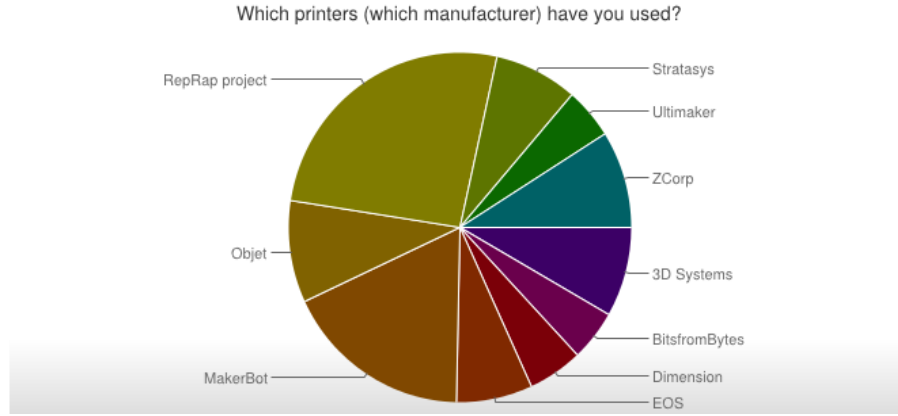
Şekil 1.14. Mendel rerap 2.0

Huxley versiyonu mendel üzerinde yapılan iyileştirmeler ile ortaya çıkmıştır. Mendel üzerinde yapılan iyileştirmeler farklı yönlerde ilerleyen çeşitli Huxley versiyonlarının oluşmasına sebep olmuştur. Bundan dolayı farklı tip ve türde Huxley rerap v3.0 3B yazıcıları bulunmaktadır. Huxley kendinden önceki Mendel versiyonundan daha kolay kurulabilir ve ayarlanabilir hale getirilmiştir. Şekil 1.15'de bir adet Huxley rerap 3B yazıcı görülmektedir.

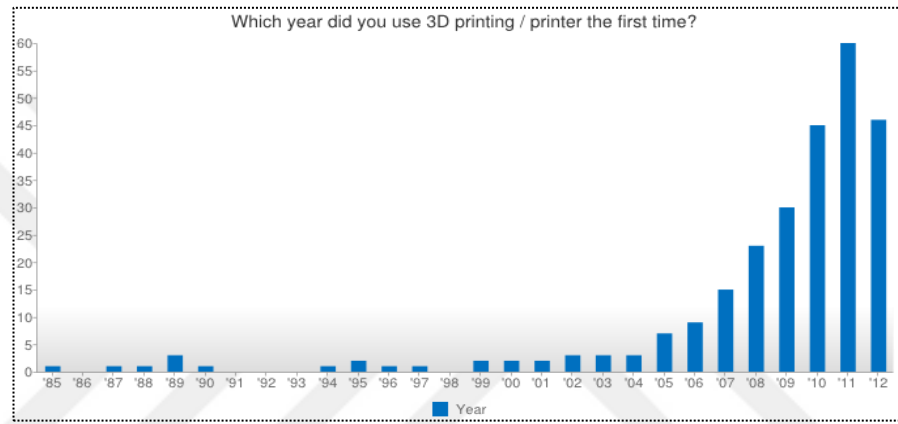


Şekil 1.15. Huxley rerap 3.0

2005 yılından itibaren hızlı şekilde artan 3B yazıcı kullanımının en önemli sebebi olarak rerap projesi gösterilmektedir [1]. Şekil 1.17'de insanlara ilk defa hangi yıl 3B yazıcı kullandıkları sorulmuş ve alınan cevaplar grafikte gösterilmiştir. Aynı araştırmaya göre en çok kullanılan yazıcı türü olarak da raprap projesi çerçevesinde oluşturulan yazıcılar olduğu tespit edilmiştir. Şekil 1.16 da kullanılan 3B yazıcı türlerinin oranları gösterilmektedir.



Şekil 1.16. En çok kullanılan 3B yazıcı türleri



Şekil 1.17. 3B yazıcı kullanımının gelişimi.

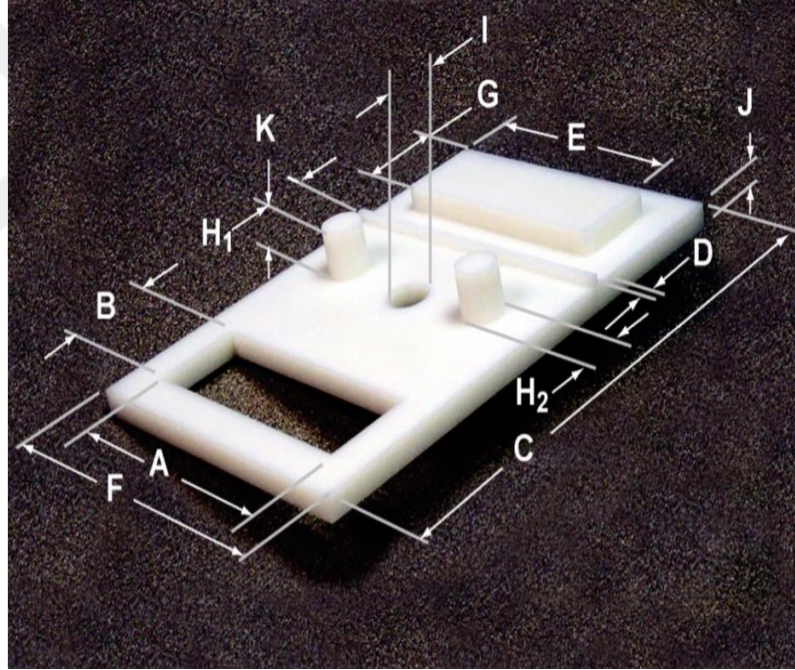
Ortaya çıkarılan 3B yazıcılar kadar önemli olan, reppap projesi içerisinde çok sayıda açık kaynak GPL lisansı ile sunulan tasarımların yer almasıdır. Yazılım, elektronik bileşenler, ekstruder, nozle vb. birçok farklı alanda çok sayıda geliştiricinin desteği ile binlerce tasarım ve ürün ortaya çıkmıştır. Reppap projesi 3B yazıcı gelişimine büyük katkı sağlamış ve yaygınlaşmasında önemli rol oynamıştır.

1.4. 3B Yazıcıların Değerlendirilmesi

Yukarıda da anlatıldığı gibi 3B yazıcı alanında çok sayıda yöntem ve hammadde bulunmaktadır. 3B yazıcılarla üretilen ürünün kalitesini ve üretim süreçlerini etkileyen çok sayıda parametre bulunmaktadır. Üretim yöntemi başarılarını, hammadde performanslarını, 3B yazıcı baskı doğruluğunu ve üretim parametrelerinin ürüne etkilerini kıyaslama ihtiyacı bulunmaktadır. Üretim yöntemlerinde kıyaslama yapmak için temelde iki yöntem kullanılmaktadır. İlk yöntem bir makine ile üretilen çok sayıda ürünün ölçülerek makine veya yöntemin üretim karakteristiğinin çıkartılması, ikincisi de özel olarak tasarlanmış bir test modeli

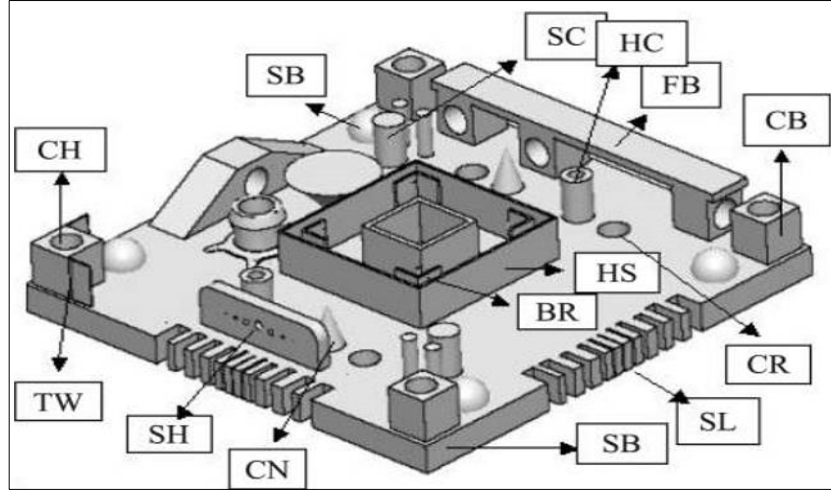
üretim, test modelinin ölçülmesidir. Test modelleri genellikle bir üretim yöntemi için özel tasarlandıklarından hassasiyet, doğruluk, mekanik özellikler, sağlamlık vb. farklı yönleri ile bir üretim sürecinin yeteneklerini ve sınırlarının test edilmelerini sağlarlar. Bir test modeli yardımı ile farklı makinelerin, yöntemlerin, hammaddelerin ve üretim parametrelerinin kıyaslanması sağlanabilir.

Eklemeli üretimin ilk kullanılmaya başlandığı 1980'lerin sonundan itibaren çok sayıda test parçası öneren akademik ve ticari çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunların bir kısmı aşağıda anlatılmıştır. Şekil 1.18'de [8] çalışmasında önerilen test modeli görülmektedir. Bu test modeli üç farklı ticari FDM 3B yazıcının X-Y-Z yönlerindeki doğruluklarını ve yüzeyin düzlüğünü kıyaslamak için geliştirilmiştir. Bu test parçasının üretimi [8] çalışmasında farklı 3B yazıcılarda 132, 160 ve 250 dakika sürmüştür. [9] çalışmasında aynı parça 55 dakikada üretilmiştir.



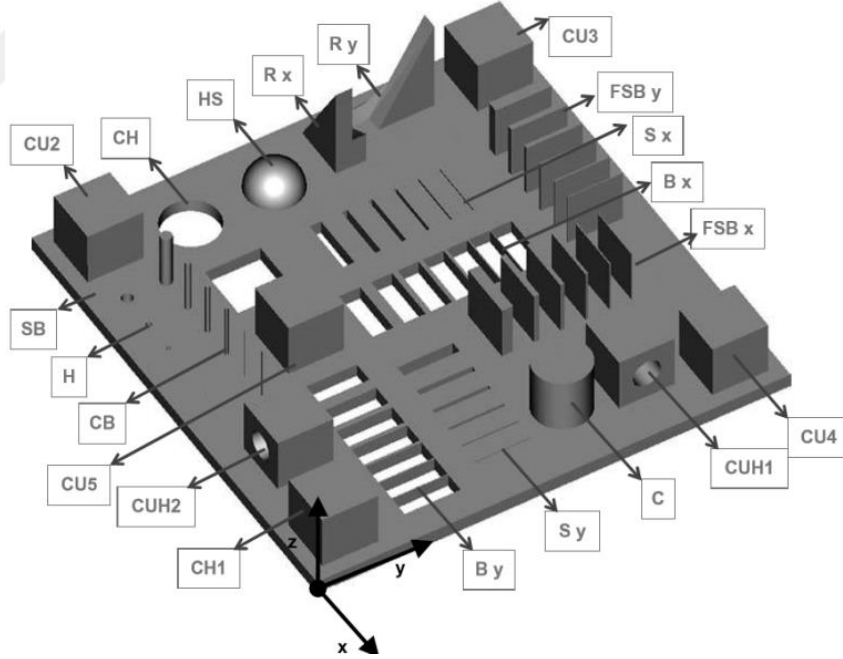
Şekil 1.18. Test modeli 1

Şekil 1.19'da [10] çalışmasında önerilen test modeli görülmektedir. Bu test parçası LOM, FDM, SLA ve SLS gibi farklı 3B yazıcı teknolojilerini birbirleri ile kıyaslamak için önerilmiştir.



Şekil 1.19. Test modeli 2

Şekil 1.20'de [11] çalışmasında önerilen test parçası görülmektedir. Bu test parçası poly(methyl methacrylate) hammaddesi ile üretilen 3B şekillerin boyutsal doğruluğun yanında gerilme, çekme ve dayanıklılık gibi farklı mekanik özelliklerini de test etmek amacıyla kullanılmıştır.



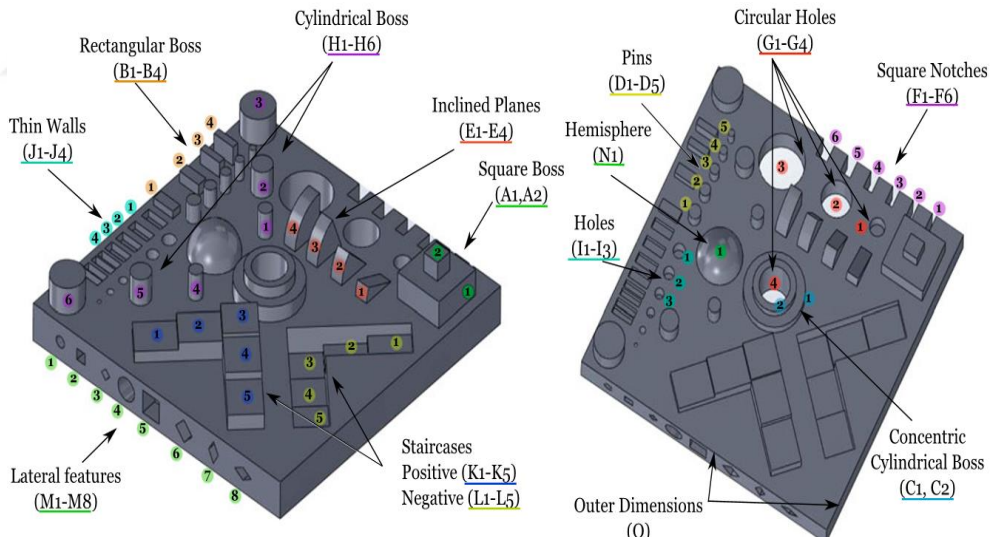
Şekil 1.20. Test modeli 3

Şekil 1.21'de gösterilen model, [12] çalışmasında, FDM 3B yazıcının başarımında yazdırma hızı, katman kalınlığı ve nozle çapı parametrelerinin ürüne etkisini belirlemek ve en başarılı sonucu elde etmek için en uygun değerlerin tespit edilmesi

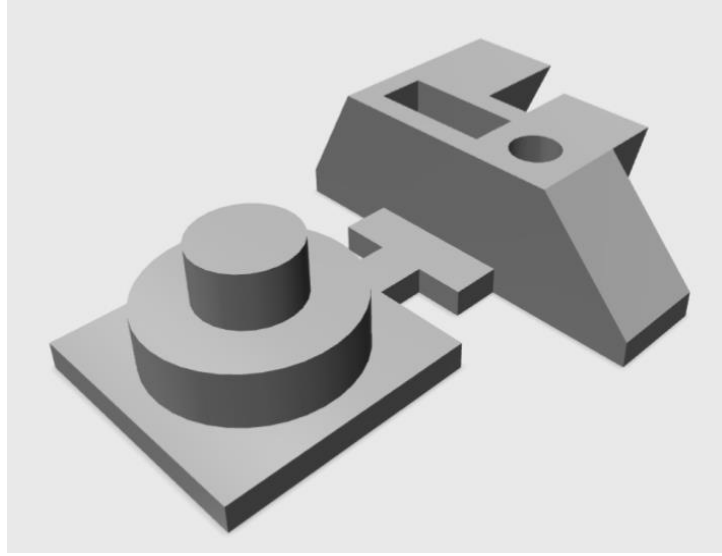
çalışmasında kullanılmıştır. Bu çalışmadaki test parçasının üretilmesi yazdırma hızına bağlı olarak 87 dakika ile 308 dakika arasında değişmektedir. Bu çalışmada test parçasındaki boyutsal hata oranlarından yola çıkılarak, [12] çalışmasında kullanılan 3B yazıcının uluslararası tolerans değerleri de hesaplanmış ve FDM 3B yazıcının diğer üretim metotları ile kıyaslanabilmesi için kullanılmıştır.

Şekil 1.22'de gösterilen model [9] çalışmasında X-Y-Z eksenlerinde boyutsal doğruluğu ölçmek için daha az malzeme kullanıp daha kısa sürede üretilebilen bir test modeli olması için sunulmuştur. Bu test modelinin üretimi ilgili çalışmada yaklaşık 10 dakika olarak belirtilmiş, ancak bizim yaptığımız çalışmada 28 dakika sürmüştür.

Anlatılan çalışmalar boyutsal doğruluğu ifade etmek için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. İlk yöntem test modellerinde oluşan hatta miktarlarını bulup bunların ortalamalarını alarak yüzde olarak ifade edilmesidir. İkinci yöntem ise test modellerinde oluşan hataları tespit edip, uluslararası tolerans tablosu yardımı ile yazıcıların tolerans seviyesini hesaplamaktır.



Şekil 1.21. Test modeli 4



Şekil 1.22. Test modeli 5

1.4.1. Uluslararası tolerans değeri

Üretilen bir malzemenin tam olarak istenen ölçüde üretilmesi mümkün olmadığı için kabul edilebilir olan üst ve alt değerler imalat işleminden önce belirlenir. Kabul edilebilir olan üst ve alt değerlerin cebirsel farkına tolerans denir. ISO 286 ve ülkemizde de TS 1980-1 EN 22768-1 standart numarası ile tanımlanan uluslararası tolerans tablosu, üretim işlemlerinde kolaylık sağlamak üzere IT01, IT0, IT1, IT2, ..., IT18 olarak 20 farklı tolerans aralığı belirlemiştir. Bu tolerans aralıkları belirli büyüklükler için izin verilen tolerans miktarına göre gruplandırılmışlardır. Tolerans kalitesi toleransın büyüklüğünü göstermektedir. Tolerans kalite numarası arttıkça tolerans aralığı genişler ve kalite düşer. IT01, IT0, IT1, IT2, IT3 ve IT4 aralığı ölçme cihazlarının kalite aralığıdır. IT5 ... IT11 tolerans aralığı hassas üretim yöntemleri, IT12 . . IT18 kalite aralığı da döküm, dövme gibi hata oranı daha yüksek olan üretim yöntemlerini içerir. Bir üretim aracının hangi tolerans aralığında ürünler üretebildiği belirlenerek, istenen tolerans aralıklarında üretim yapacak araçlar seçilir. [12], [13] ve [14] gibi birçok akademik çalışmada da 3B yazıcıların uluslararası tolerans değerleri hesaplanarak birbirleri ile ve diğer üretim yöntemleri ile kıyaslanması sağlanmaktadır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışması

1. 3B FDM Delta yazıcının yapılması
2. Test modelinin tasarlanması
3. Test modelinin üretilmesi
4. Test modelinin ölçülmesi ve uluslararası tolerans değerinin hesaplanması
5. Hesaplanan uluslararası tolerans değerinin farklı çalışmalardaki değerler ile karşılaştırılması şeklinde gerçekleştirilecektir.

2.1. 3B Delta Yazıcının Üretilmesi

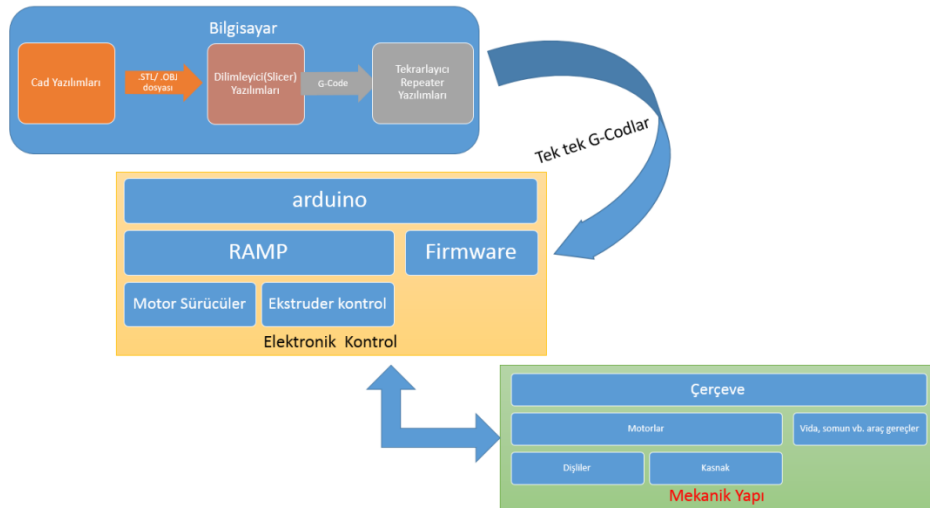
Günümüzde özellikle reprop projesinin katkıları ile 3B yazıcılar büyük endüstriyel şirketlerden masaüstü ev kullanıcılarına kadar herkes için ulaşılabilir durumdadır. En çok kullanılan, kalite-fiyat performansı açısından en iyi durumda olan 3B yazıcı türü FDM yazıcılardır. Günümüzde en çok kullanılan FDM yazıcı tipi kontrolünün kolay olmasından dolayı tercih edilen Kartezyen yazıcılardır. Kartezyen yazıcılarda X-Y-Z ekseninin her biri için ayrı bir motor kullanılmakta ve her yöndeki hareket diğerlerinden bağımsız hız ve doğrulukta çalışmaktadır. Kartezyen yazıcılardan sonra FDM yazıcı türelerinde en çok kullanılan yazıcı türü delta yazıcıdır.

Delta yazıcılar, delta robotlara uç işlevci olarak nozle takılarak gerçekleştirilmişlerdir. Delta robotlar 1980'lerin başında prof. Reymond Clavel tarafından icat edilmiştir. Delta robotların amacı hafif nesnelere hızlı bir şekilde bir yerden başka bir yere taşımaktır. Bu amaç doğrultusunda daha çok paketleme, seç ve taşı (pick-and-place) işlemlerinde yoğun olarak kullanılmaktadırlar. Delta yazıcıların eklemleri genellikle hafif malzemeden yapılmakta bu sayede hafif olmaktadır. Hafif olan uç işlemci yine hafif olan eklemler ile taşımak ivmelenmenin daha yüksek olmasını sağlamakta böylece çok hızlı hareket edebilmektedirler. Delta robotlar seç-taşı işlemlerinin yanında medikal ve farmasötik uygulamalarda da yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bunların yanında reprop projesi çerçevesinde 3 boyutlu yazıcılarda da kullanılmaya başlanmış ve kabul görmüştür. Bu tez için kurup çalıştırıp test edeceğimiz delta yazıcı türü, kartezyen yazıcılardan daha az parçadan oluşmakta

ve nozle'in hareketi eş zamanlı olarak üç motorun birlikte hareket etmesi ile meydana gelmektedir. Delta yazıcılarda 3B cismin oluşturulduğu tabla sabit durmaktadır. Tablanın sabit durması ve 3B cismin üretim sırasında hareket etmemesi ürün doğruluğunun daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Delta yazıcılar Kartezyen yazıcılara oranla çok daha hızlı hareket edebilmektedirler. Bu bölümde delta yazıcının çalışması ve yazıcıyı oluşturan bileşenler teker teker tanıtılacak ve montajı anlatılacaktır.

2.1.1. Rostock mini pro

Rostock mini 3B delta yazıcı 2012 yılında Johan C. Rochall tarafından tasarlanan Rostock 3B Delta yazıcısının modifiye edilmiş halidir. Orijinal Rostock 3D yazıcıdan daha küçük, daha kompakt ve daha taşınabilir olması amacı ile tasarlanmıştır. Baskı alanı 174x174x170mm olarak tasarlanmıştır. Rostock'tan en önemli farklılığı boyutları, traxxas 5347 eklemleri, karbon fiber kolları ve ekstruder olarak evrensel dişlilerin kullanılmış olmasıdır. Bu tezde gerçekleştirilen yazıcıda evrensel dişli ile çalışan ekstruderden yeterli verim alınmadığı için prusa ekstruder kullanıldı. Yazıcının yapısında kullanılan plastik parçalar 3B yazıcıdan bastırılmışlardır. Parçaların .stl formatındaki çizimleri <https://www.thingiverse.com/thing:318971> adresinden bulunabilir [7].



Şekil 2.1. 3B Delta yazıcıyı oluşturan bileşenler

Bu tezde gerçekleştirilecek olan yazıcı da diğer FDM yazıcılar gibi çalışmaktadır. FDM yazıcıların çalışma aşamaları Şekil 2.1'de gösterilmektedir. İlk işlem,

bilgisayarda 3B cismin çizilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Bu aşamada Tablo 2.1'de yer alan açık kaynak kodlu programlar 3B cisim çizmek ve çizimi stl dosyası olarak kaydetmek için kullanılabilir.

Tablo 2.1. 3B cisim çiziminde kullanılacak programların listesi

Program adı	Seviye	Ücret	Çalıştığı İşletim Sistemi
123D Catch	Başlangıç	Bedava	PC, Android, iOS, Windows Phone
3D Slash	Başlangıç	Bedava	PC, Mac, Linux, Web Browser
TinkerCAD	Başlangıç	Bedava	Web Browser
FreeCAD	Orta	Bedava	PC, Mac, Linux
SketchUP	Orta	Bedava	PC, Mac, Linux
Blender	Profesyonel	Bedava	PC, Mac, Linux

Çizilen 3 boyutlu cisim katmanlara ayırmak için dilimleyici adı verilen programlar kullanılır. Dilimleyici programlar dilimleme işlemine geçmeden önce stl dosyasını tarar ve açık yüzeyler gibi hatalar varsa düzeltirler. Hata düzeltme ve dilimleyici programlar birbirlerinden bağımsız olarak da kullanılabilirler. Hataları düzeltilmiş STL dosyası kullanıcının tercihleri doğrultusunda 0,1mm ye kadar ince dilimlere ayrılır. Her katman ve katman geçişleri CNC dili olan G-Code kodlarına dönüştürülür. Dilimleyici(Slicer) olarak kullanılacak popüler programların kısa listesi Tablo 2.2 de gösterilmektedir.

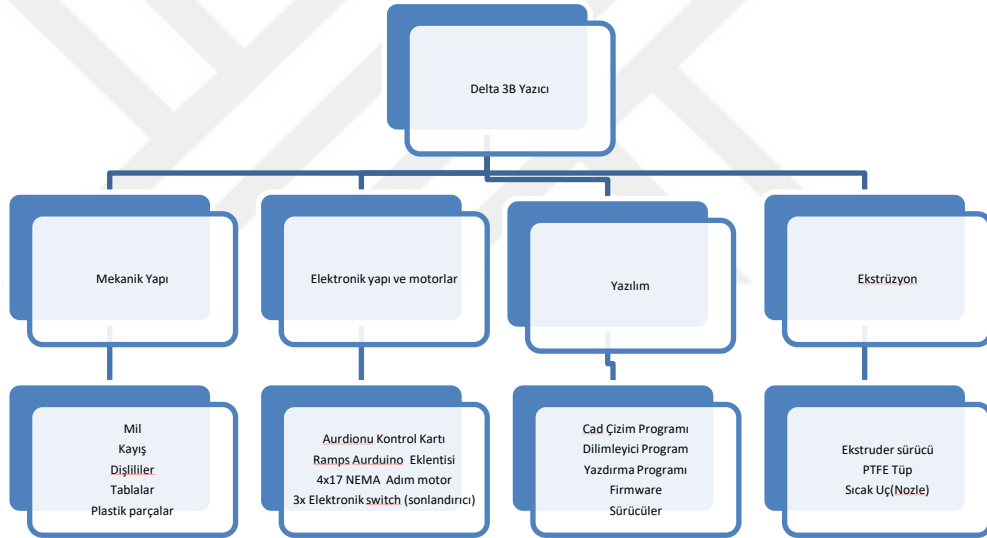
Cismin büyüklüğüne ve yazdırılma çözünürlüğüne bağlı olarak binlerce satırlık G-Code'lar oluşabilir, tüm kodları teker teker yazıcının kontrol kartına göndermek, yazdırma parametrelerinin ayarlanmasını yapmak gibi yazdırma sürecini yönetecek bir 3B yazıcı programı gereklidir. Bu tür programlara host programları denir. Birçok dilimleyici program içerisinde host özelliği bulunmaktadır.

Repeater, Cura, Simplfy3D bu programlara örnek verilebilir. Host programı G-Code'ları arduino kart üzerinde çalışmakta olan firmware yazılımına gönderir, bu yazılım, alınan G-Cod'a göre motorların kaç derece dönmeleri gerektiğini hesaplar ve motorların dönmesini kontrol eden, kendi üzerinde eklenti olarak bulunan Ramps

karta gönderir. Ramps'ta motorların istenen miktar kadar dönmesi için motorlara enerji verilir. Şekil 2.2'de FDM yazıcıların bileşenleri blok diyagramda gösterilmektedir

Tablo 2.2. Dilimleyici (Slicer) olarak kullanılacak programlar

Program Adı	Seviye	Ücret	Çalıştığı İşletim Sistemi
Cura	Başlangıç	Bedava	PC, Mac, Linux
Craftware	Başlangıç	Bedava	PC, Mac, Linux
Netfabb Basic	Orta	Bedava	PC, Mac, Linux
Simplify 3D	Profesyonel	\$149	PC, Mac, Linux

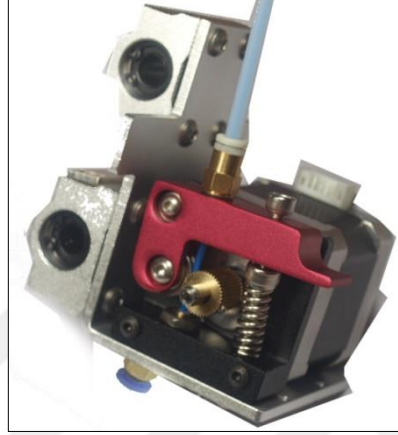


Şekil 2.2. FDM yazıcının bileşenleri

2.1.2. Ekstrüzyon yapısı

3B yazdırma işleminde en önemli işlem katı haldeki filamentin ısıtılıp eritilerek, istenen noktaya sıvanmasının sağlanmasıdır. Delta yazıcılarda uç işlemcinin ağırlığını azaltmak için filamenti sıcak uca doğru itiren motor ve filamenti ısıtıp damlatarak 3B cisme sıvayan sıcak uç farklı yerlerde bulunur. Filamenti süren motor ile sıcak uç arasında filamentin düzgün gitmesi ve dış etkilerden korunması için ptf teflon tüp kullanılır. PTFE(teflon) tüpler çok yüksek sıcaklıklara dayanıklı, kimyasallarla tepkimeye girmeyen ve sürtünmesi çok küçük olan ince hortumlardır. Filamentin ptf tüp içerisinde gideceği yol uzadıkça filamentin sürmek daha fazla güç

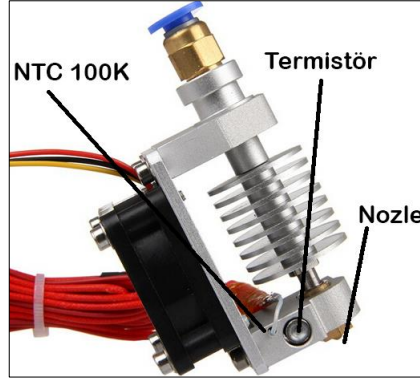
gerektirir ve sorun çıkma ihtimalini artırır. Bu tezde kullanılan ekstruder orjinalinde yazıcının alt tarafında yer alırken filamentin gitmesi gereken yolu kısaltabilmek amacı ile değiştirilip yazıcının üst tablasına monte edilmiştir. Bu yazıcının orijinal tasarımında bowden ekstruder kullanılırken daha kolay temin edilen ve daha istikrarlı çalışan prusa ekstruder ile değiştirilmiştir. Kullanılan ekstruder Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.3. 3B yazıcıda kullanılan ekstruder

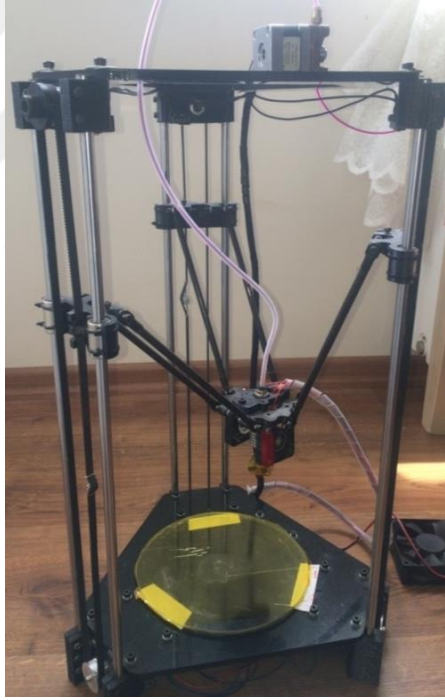
Sıcak uç olarak adlandırılan bölüm Şekil 2.4'de görülmektedir. Sıcak uç 0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm, 0,4 mm ... 1 mm gibi farklı çaplarda nozle bulundurabilir. Nozle hammaddenin eritilip dışarıya verildiği yerdir. Nozle çapı küçüldükçe daha hassas 3B cisimler üretilebilir ancak yazdırma hızının da nozle boyutuna uygun şekilde yavaşlatılması gerekir. Daha hızlı çıktı alınmak istenen durumlarda da hassasiyetten ödün verilip daha geniş çaplı nozlelar kullanılabilir. Isıtma işlemi termistör aracılığı ile yapılır termistöre yakın olarak metalin içine yerleştirilen ntc ile sıcaklık sürekli takip edilip istenen seviyede kalması sağlanır. NTC ve termistör kabloları Ramps kartına bağlıdır. Sıcaklık bilgisi ntc'den ramp karta gelir ondan sonra arduino kontrol kartına iletilir, arduino içerisinde çalışan program tarafından değerlendirilir ve ısıtılmaya devam edilecekse arduino içerisinde çalışan firmware programının talimatı ile ramps tarafından termistöre enerji verilir. Nozle içerisinde ki sıcaklığın PLA hammaddesinde 170°-210°, ABS de ise 200°-250° arasında olması istenir. Nozle içerisindeki bu sıcaklık yukarı doğru yayılırsa hammaddenin yumuşayıp ptfе tüpün içerisinde tıkanmasına sebep olmaktadır. Bu duruma engel olmak için nozle parçasının üst tarafında soğumayı kolaylaştıracak metal bir soğutucu ve fan

bulunmaktadır. Bu tezde kullanılan nozle da tek fan yeterli gelmediği için iki tane bağlanmıştır.



Şekil 2.4. 3B yazıcıda kullanılan sıcak uç (Hot End)

2.1.3. Mekanik yapısı



Şekil 2.5. 3B delta yazıcı

Delta robotlarda ikişer milden oluşan üç sütun kullanılmaktadır. Millerin üzerine yerleştirilen rulmanlar motorlara bağlı kayışlar ile yukarı ve aşağıya hareket ettirilmektedirler. Rulmanlara eklemler aracılığı ile bağlı olan kollar orta kısımda uç işlemcide birleşirler. Uç işlemci üzerinde monte edilmiş sıcak uç bulunmaktadır. Sütunların üstünde ve alt tarafında akrilik plakalar bulunmaktadır. Alt taraftaki

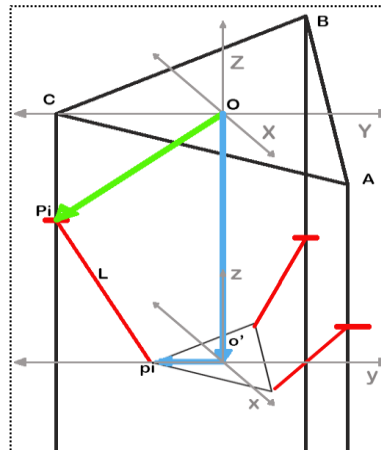
plakanın altına motorlar ve kontrol kartı monte edilmiştir. Uç işlemcinin hangi konuma gitmesi gerektiği bilgisayar tarafından arduino kontrol kartına, G-Code ile iletilince arduino içerisindeki firmware yazılım, bu sistemin ters kinematik denklemlerini kullanarak hangi motorun ne kadar dönmesi gerektiğini hesaplar. Kinematik denklemleri bulmanın farklı yöntemleri vardır ve hepsi aynı sonucu verir. Bu tez içerisinde sadece vektörler kullanılarak kinematik denklem çıkarılacaktır.

Uç noktanın konumu verilince kolların yüksekliklerini bulmak için ters kinematik denklemleri kullanmak gerekir. Ters kinematik denklemleri bulmak için sistemin basit bir taslağını şekil 2.6'daki gibi çizebiliriz. Sistemin evrensel koordinat sistemi üst tablo üzerinde O merkezli olarak çizilmiştir. Bu sistemde C sütunu Y eksenine yerleştirilmiş ve Z eksenine üst tabloya dik olacak şekilde düşünülmüştür. Uç işlemcinin koordinat sistemine o' adını verelim. Bu koordinat sistemi de Z eksenine dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Sütunların konumları ve uç işlemcinin kenarları eşkenar üçgen oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 2.6'da O koordinat sisteminde ki harfler büyük , uç işlemcinin o' koordinat sistemindeki harfler küçük harfle gösterilmiştir. Şekil 2.6 incelenirse

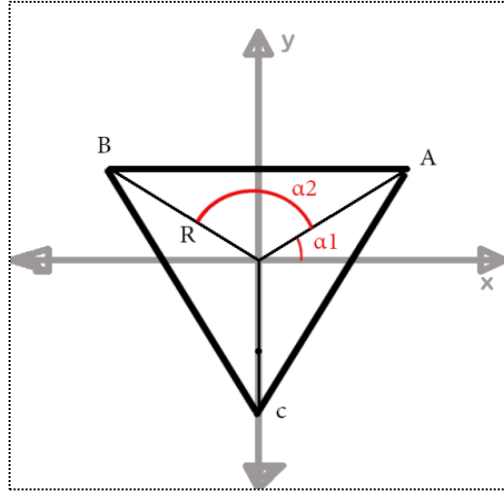
$$OA=OB=OC=R \quad (2.1)$$

$$o'p1=o'p2=o'p3=r \quad (2.2)$$

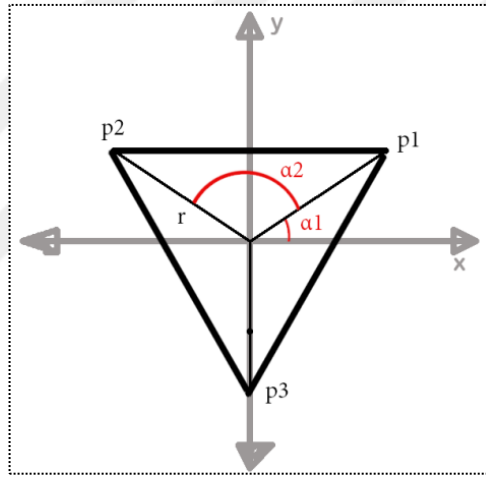
Denklem (2.1) ve Denklem (2.2) eşitlikleri fark edilecektir. Üst tablanın ve alt tablanın üstten görünüşleri Şekil 2.7. ve Şekil 2.8. gibi olacaktır.



Şekil 2.6. Delta robotun basit çizimi



Şekil 2.7. Üst tablanın üstten görünümü



Şekil 2.8. Uç işlemcinin üstten görünümü

o' koordinat sisteminin merkezini uç işlemcinin bulunmasını istediğimiz $(x,y,z)^T$ olarak ifade edebiliriz. Uç işlemcinin köşe noktalarını o' koordinat sisteminde $i=1,2,3$ olacak şekilde, Denklem (2.4) de kullanılarak, Denklem (2.5) ile gösterebiliriz.

$$(0,0,0)_{o'} = (x,y,z)_o \quad (2.3)$$

$$\alpha_i = \frac{4i-3}{6} \pi \quad (2.4)$$

$$p_{i_{o'}} = (r \sin(\alpha_i), r \sin(\alpha_i), 0) \quad (2.5)$$

p_i noktasının O koordinat sistemindeki ifadesini bulmak için iki Denklem(2.3) ve Denklem (2.5) toplarsak Denkem (2.6) elde edilir.

$$[p_i]_O=(r\cos(\alpha_i)+x,r\sin(\alpha_i)+y,z)^T \quad (2.6)$$

P_i noktalarını O koordinat sistemindeki ifadesini de Denklem (2.7) deki gibi yazabiliriz.

$$[P_i]_O=(R\cos(\alpha_i),R\sin(\alpha_i),z_i)^T \quad (2.7)$$

Şekil 2.6 incelendiğinde yeşil vektör ile mavi vektörlerin farkının, yazıcının sabit olan kol uzunluğuna eşit olacağı görülebilir. Bu işlemi Denklem (2.8) deki gibi ifade edebiliriz. Bu vektör toplamını Denklem (2.9) daki gibi açık yazabailiriz.

$$L=||OP_i-(Oo'+o'p_i)|| \quad (2.8)$$

$$L^2=(R\cos(\alpha_i)-r\cos(\alpha_i)+x)^2+(R\sin(\alpha_i)-r\sin(\alpha_i)+y)^2+(z-z_i)^2 \quad (2.9)$$

Denklem (2.9) daki ifadeleri Denkem (2.10), Denklem (2.11), Denklem (2.12) deki gibi sadeleştirir isek Denklem (2.9)'u Denklem (2.13) gibi daha kısa ve anlaşılır hale getirebiliriz.

$$(R-r)\cos(\alpha_i)=x_i \quad (2.10)$$

$$(R-r)\sin(\alpha_i)=y_i \quad (2.11)$$

$$(z-z_i)^2=z_i^2 \quad (2.12)$$

$$L^2=(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+z_i^2 \quad (2.13)$$

Ters kinematik denklemlerinin amacı uç işlemci konumu (x,y,z) verilerek her bir kolun konumunu hesaplamaktır. Kol konumları X ve Y eksenlerinde sabit sadece Z eksenin de hareket edebildiklerinden amaç Denklem (2.13) deki z_i ifadesini bulmaktır. Son denkemden z_i çekilirse Denklem (2.14) elde edilir.

$$z_i=\sqrt{L^2-(x-x_i)^2-(y-y_i)^2} \quad (2.14)$$

3B delta yazıcı için hesaplanması gereken değişkenlerden biri de, uç işlemcinin herhangi bir yönde 1 mm hareket edebilmesi için motorun kaç adım dönmesi gerektiğidir. Bu işlem için önce Denklem (2.15) kullanılarak, Denklem (2.16)'daki işlemi gerçekleştirip, motorun 360 derecelik bir turu kaç adımda tamamladığı bulunur.

$$\text{Motorun bir tur adım sayısı} = \frac{360}{\text{adım sayısı}} \quad (2.15)$$

$$\text{Motorun bir tur adım sayısı} = \frac{360}{1,8} = 200 \quad (2.16)$$

Uç işlemcinin 1 mm hareket edebilmesi için atacağı adım sayısı motorun bir turdaki adım sayısına(A), motorun mikroadım çalışma moduna(B), motor gücünü kayışa aktarmayı sağlayan dişli çarkın diş sayısına(C) ve kayıştaki iki diş arasındaki mesafeye bağlıdır(D) bu bağıntıyı Denklem (2.17) deki gibi ifade edebiliriz.



Şekil 2.9. 3B yazıcıda kullanılan dişliler



Şekil 2.10. GT2 kayış

$$\text{adım /mm}=(A .B)/(C .D) \quad (2.17)$$

Bizim kullandığımız Nema 17 motorun bir turdaki adım sayısını Denklem (2.16)'da 200 olarak bulmuştuk. Motorun bir adımını birden fazla küçük adıma bölmelerini sağlayan mikroadım desteğini, motor sürücümüzün desteklediği en hassas mod olan 1/16 olarak kullanacağız. Kullandığımız dişli 20 dişten oluşmakta ve GT2 kayışın dişleri arasındaki mesafe de 2 mm olduğundan bu değerleri yerine yerleştirerek Denklem (2.18)'de hesaplamayı gerçekleştirerek, uç işlemcinin 1 mm hareket etmesi için motorun 80 adım dönmesi gerektiğini bulabiliriz.

$$\text{adım/mm}=\frac{200 \times 16}{20 \times 2}=80 \quad (2.18)$$

3B yazıcının kurulması için gerekli olan ve 3B yazıcıdan baskı ile alınan plastik parçalar aşağıdaki şekillerde görülmektedirler.

Şekil 2.11'de 3B yazıcının sıcak ucunu taşıyan ortadaki uç işlemci bölümü görülmektedir. Karbon fiber eklemeler bu orta bölüme bağlanırlar.



Şekil 2.11. 3B yazıcının ortasında sıcak ucu taşıyan bölüm

Şekil 2.12'de dik sütunların birbirlerine ve üst tablaya bağlanmalarını sağlayan sonlandırıcı parçalar görülmektedir. Bu parçaların alt kısmına motorların sona geldiğini tespit edebilmesi için ayrıca elektronik sonlandırıcı monte edilmektedir. Kasnakların dönmesini sağlayan rulmanlar bu parçalara sabitlenmektedir.

Rulmanların eğilmelerine izin vermeden dik olarak tutturulmaları önemlidir. Rulmanlarda çok hafif bir eğim olması bile yazıcının çalışırken kasmağı atmasına sebep olabilmektedir. Kasmağın çıkmasını engellemek için rulmanların önüne pul takılabilir.

Şekil 2.13'de sütunlar üzerinde yukarı aşağıya hareket eden rulmanları tutan ve orta uç kısmı yönlendiren eklem taşıyıcı parçaları görülmektedir. 3B delta yazıcıdaki tüm hareketli parçaların birleştiği önemli bir parçadır. GT2 kasnakların bu parçalara sabitlenmesi vasıtası ile motorun hareketini yukarı aşağı yönlü bir harekete dönüştürülmesi sağlanır. Bu parça üzerinde motorun kalibrasyonu sırasında önemli işleve sahip olacak ayar vidası bulunmaktadır. Ayar vidasının yüksekliğini ayarlayarak yazıcının alt tablaya olan yüksekliğinin her yerde eşit olmasını sağlarız.



Şekil 2.12. Üst sonlandırıcılar

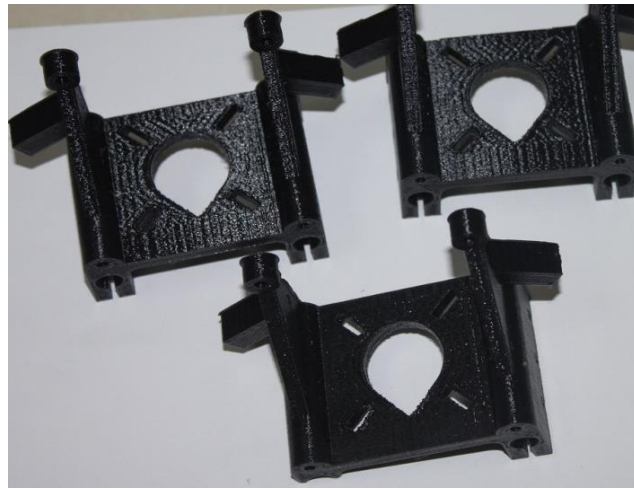
Şekil 2.14'de Sistemin motorlarının bağlı olduğu, delta yazıcıda alt tablanın altında kalan motor tutucular görülmektedir. Dikey sütunlar da bu motor tutucularda birleşmektedirler. Dikey sütunlar monte edilip vidalar ile sıkılırken, vidalar adım adım ve sıra ile sıkılmalıdır aksi durumlarda motor tutucuda kırılma ve çatlamalar

meydana gelebilir. Motordan gelen hareketi kasnağa aktaran dişliler de bu parça üzerine monte edilirler.

Şekil 2.15 Sıcak ucun orta hareketli bölüme monte edilmesini sağlayan plastik aksam görülmektedir.



Şekil 2.13. Rulman tutucular



Şekil 2.14. Motor tutucular



Şekil 2.15. Sıcak uç tutucu

2.1.4. Motorlar ve elektronik yapısı

2.1.4.1. Nema 17 motorlar

3D Delta yazıcının hareketlerini sağlayan 4 adet motor bulunmaktadır. Şekil 2.16'da yazıcıda kullanılan Nema 17 motor görülmektedir. Bunlardan üçü uç işlemcinin X-Y-Z hareketlerini gerçeklerken, dördüncü motor da filament haldeki hammaddenin ısıtıcı uca doğru sürülmesini gerçekleştirir. Eklemlerin bağlı olduğu taşıyıcı kollar GT2 kayışlar aracılığı ile Nema 17 motorlar tarafından yukarı aşağıya hareket etmektedirler. Nema 17 motorlar $1,8^\circ$ adım açısı ile çalışırlar. 4V Besleme gerilimine ihtiyaç duyarlar. 3,17 kg-cm torka sahip oldukça güçlü motorlardır.



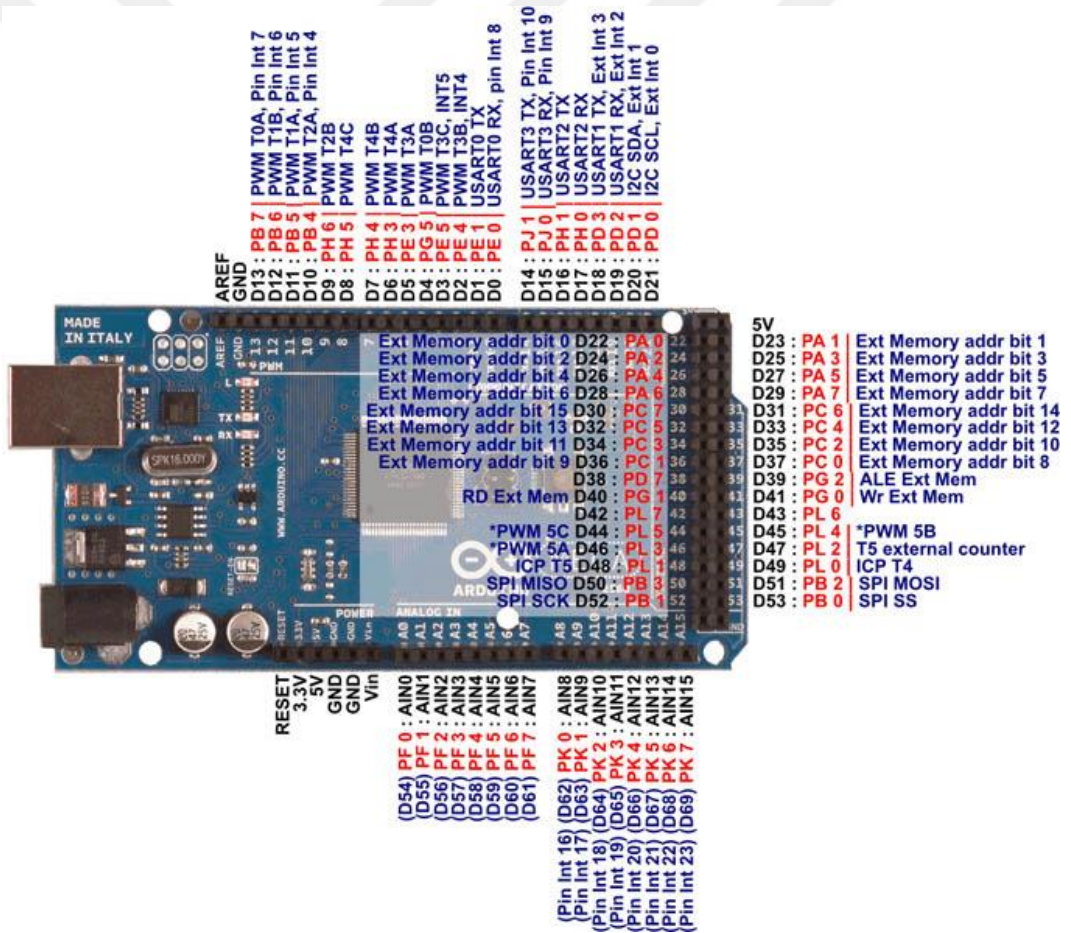
Şekil 2.16. Nema 17 motor

2.1.4.2 Arduino mega 2560 kontrol kartı

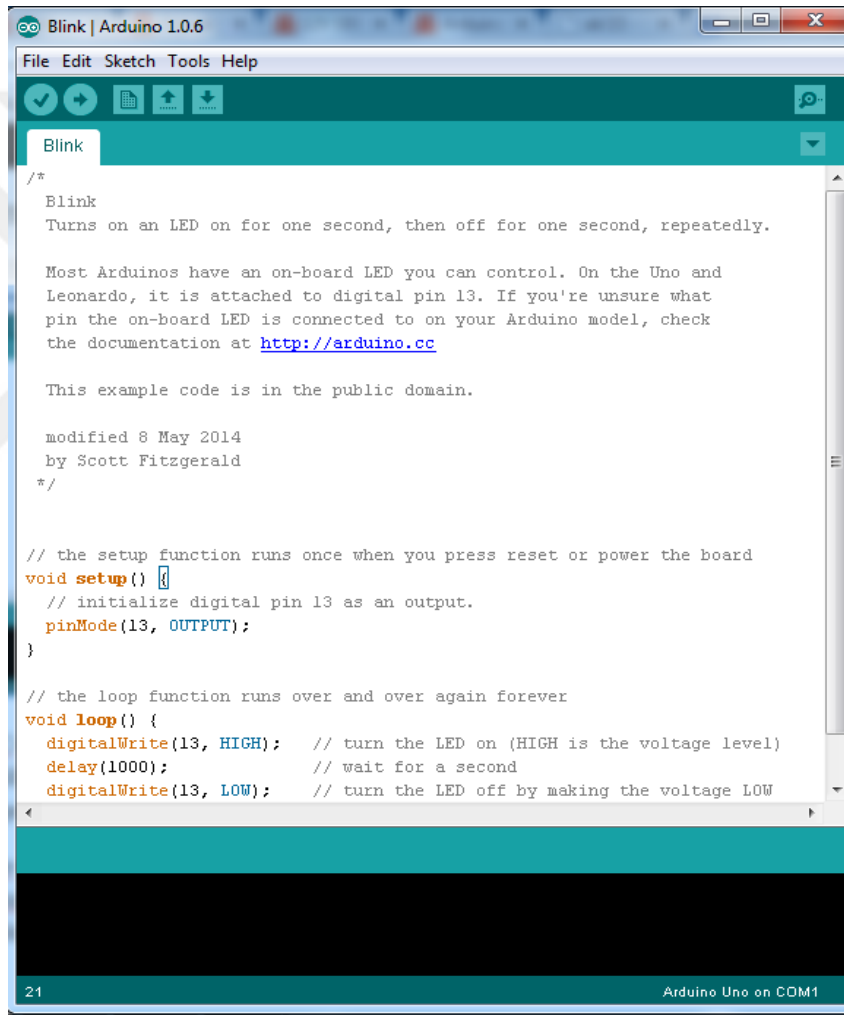
Bu tez de gerçekleştirilen 3B yazıcıda kontrol kartı olarak arduino mega 2560 kullanılmıştır. Şekil 2.17'de arduino mega 2560 ve pin şeması görülmektedir. Arduino, açık kaynaklı ATmega2560 mikrocontroller tabanlı elektronik kontrol kartı, kartı programlamayı sağlayan yazılım dili ve geliştirme ortamıdır.

Arduino kontrol kartı ve geliştirme ortamı LGPL veya GPL lisansı ile dağıtılır. Arduino mega 2560 teknik özellikleri aşağıdaki gibidir [17].

- Mikrodenetleyici : ATmega2560
- Çalışma gerilimi : +5 V DC
- Tavsiye edilen besleme gerilimi : 7 - 12 V DC
- Besleme gerilimi limitleri : 6 - 20 V
- Dijital giriş / çıkış pinleri : 54 tane (15 tanesi PWM çıkışını destekler)
- Analog giriş pinleri : 16 tane
- Giriş / çıkış pini başına düşen DC akım : 40 mA
- 3,3 V pini için akım : 50 mA
- Flash hafıza : 256 KB (8 KB bootloader için kullanılır)
- SRAM : 8 KB
- EEPROM : 4 KB
- Saat frekansı : 16 MHz



sistemlerinde arduino board ile iletişim kurabilmek için arduino sürücülerinin sisteme kurulması gerekmektedir. Arduino kontrol kartı üzerine kolayca program yüklemenizi sağlayacak hazır önyükleyici (bootloader) ile gelmektedir. 3B yazıcı için arduino karta firmware bir nevi işletim sistemi yüklememiz gerekir. 3B yazıcıların kontrol edilmesi için geliştirilmiş farklı firmwareler bulunmakla birlikte, bu tez için marlin firmware yazılımını kullanacağız. Marlin firmware yazılımını indirip arduino IDE'si içine açarak, ayarlardan arduino kartın bağlı olduğu portu seçip derleyip, yükle komutunu vererek yükleyebiliriz. Yazılımda bir değişiklik yapmak istediğimizde değiştirip yeniden derleyip, yüklememiz gerekiyor.



```
Blink | Arduino 1.0.6
File Edit Sketch Tools Help
Blink
/*
  Blink
  Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.

  Most Arduinos have an on-board LED you can control. On the Uno and
  Leonardo, it is attached to digital pin 13. If you're unsure what
  pin the on-board LED is connected to on your Arduino model, check
  the documentation at http://arduino.cc

  This example code is in the public domain.

  modified 8 May 2014
  by Scott Fitzgerald
  */

// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin 13 as an output.
  pinMode(13, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);           // wait for a second
  digitalWrite(13, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
}
```

21 Arduino Uno on COM1

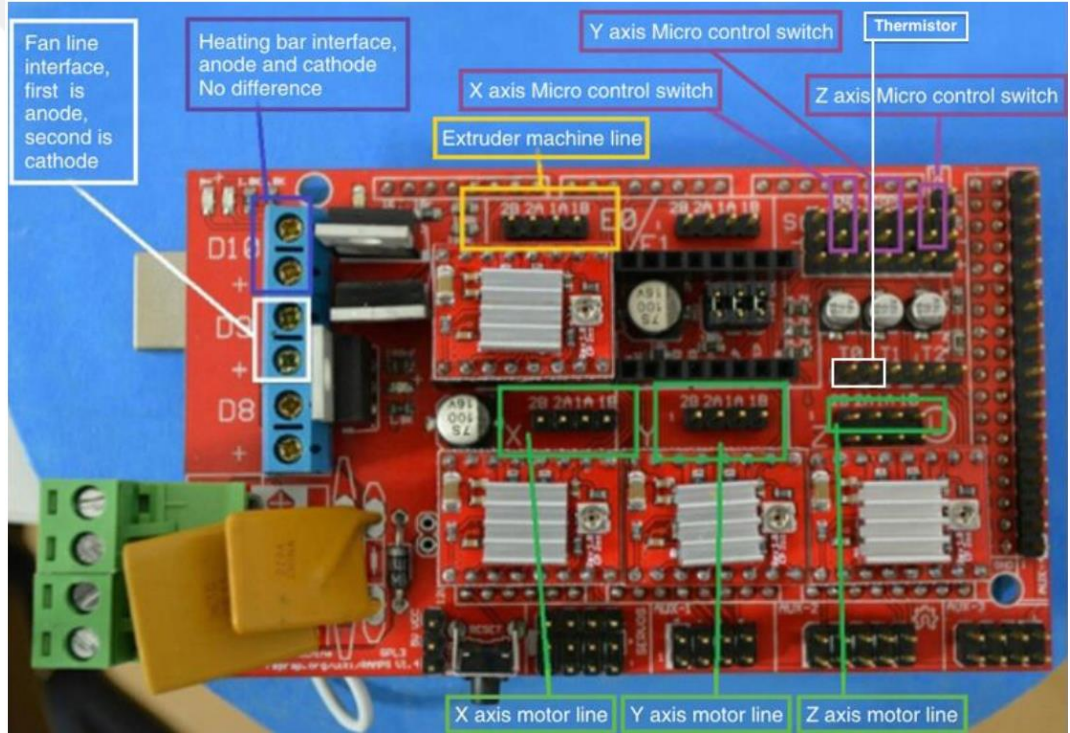
Şekil 2.18. Aduino tümleşik geliştirme ortamı (IDE)

2.1.4.3. Ramps arduino eklentisi(shield)

3B yazıcılarda motor, fanlar, ısıtıcılar ve sonlandırıcılar gibi elektronik elemanlarla haberleşmek ve kontrol etmek için geliştirilen Ramps(RepRap Arduino Mega Pololu

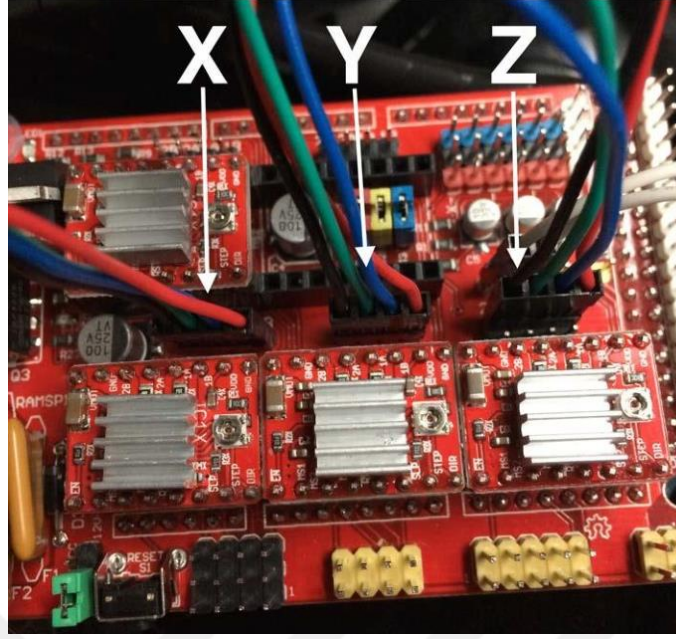
Shield) 1.4 kullanılır. Ramps kartın şekli ve bağlantı noktaları Şekil 2.19'da gösterilmektedir. Ramps doğrudan arduino kart üzerine takılıp kullanılabilir. RAMP üzerinde bulunan bağlantı modülleri aşağıdaki gibidir.

- 5 adet A4988 motor sürücü kartı için konnektör
- 4 adet eksen motor kontrol
- 2 adet ekstruder çıkışı
- 3 adet ısıtıcı çıkışı
- 3 adet termistör girişi
- 3 eksen için toplam 3 adet eksen sonu anahtar desteği
- SD modül konnektörü
- LCD ve kumanda kartı konnektörü



Şekil 2.19. RAMPS arduino eklentisi(shield) ve bağlantı yerleri

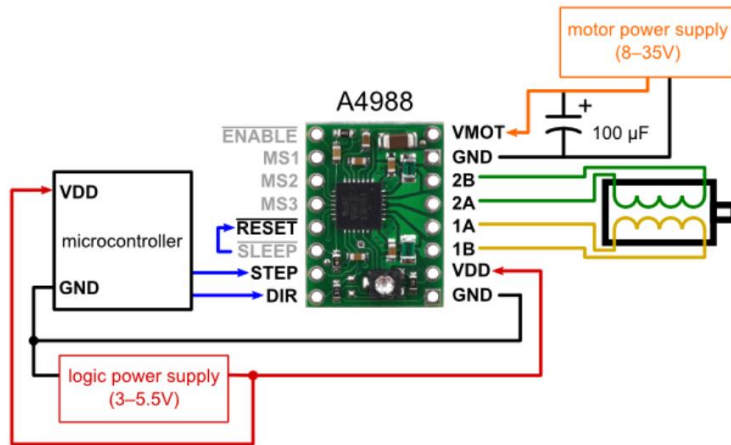
Delta 3B yazıcıda X-Y-Z motorları yoktur. Şekilde sadece isimlendirmek amacı ile X, Y ve Z motorları denilmiştir. Motorların bağlantı yerleri Şekil 2.20'de gösterilmektedir.



Şekil 2.20. Hareket motorlarının bağlantı yerleri ve sıralaması

2.1.4.4. A4988 adım motor sürücüsü

RAMPS üzerinde 5 adet A4988 Step Motor Sürücüsü bulunmaktadır. A4988 step motor sürücüsü 8-35 Volt arasında motor besleme ve 3V– 5,5V çalışma gerilimine sahip max 2A akım çekebilen kolay kullanılabilen, zamandan kazandıran yetenekli adım motor sürücüsüdür. Şekil 2. 21’de A4988 motor sürücüsü ve bağlantı şeması görülmektedir.



Şekil 2.21. A4988 motor sürücüsünün şeması

ENABLE pini sürücünün aktif olmasını sağlar. Pin adının üzerinde ki çizgi sürücünün 0V da aktif olduğunu belirtir. MS1, MS2 ve MS3 uçları motorun çözünürlüğünü ifade

etmektedir, motorun hangi modda çalışacağını belirlemek için kullanılırlar. Tablo 2.3'de çalışma modları görülmektedir. RESET ucu sürücüyü sıfırlamak için kullanılır. Low level(0 V) da aktiftir. Sleep pini motor aktif değilken uyku moduna alıp daha az akım tüketmesini sağlar. 0V da aktif olur. DIR pini motorun dönme yönünü belirtir. STEP pinine verilen her kare dalga sinyal motorun belirtilen yönde bir adım ilerlemesini sağlar. Motoru beslemek için VMOT pini, sürücüye enerji vermek için VDD ve GND pinleri kullanılmaktadır. 1A-1B-2A-2B pinleri motor uçlarının bağlanacağı pinlerdir.

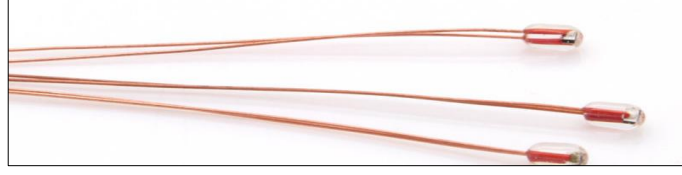
Tablo 2.3. A4988 motor sürücüsünün mikroadım çalışma parametreleri

MS1	MS2	MS3	Motor Çalışma Çözünürlüğü
Low	Low	Low	Tam Adım
High	Low	Low	Yarım Adım
Low	High	Low	Çeyrek Adım
High	High	Low	1/8 Adım
High	High	High	1/16 Adım

A4988 motor sürücüsü üzerindeki potansiyometre yardımı ile üzerine düşen gerilim ve çektiği akım ayarlanabilir. 3B yazıcı kurulduktan sonra motorların bazılarında ısınma sorunu gözlemlendi, bu ısınma sorununu firmware içerisinde motorun ivmelenme ve hız ayarlarını düşürerek çözülebileceği gibi motor sürücüsünün üzerine düşen gerilimi anlatılan potansiyometre yardımı ile ayarlayarak da çözülebilir.

2.1.4.5. Ntc ve termistör

Sıcak uç içerisindeki sıcaklığı kontrol etmek için NTC 100 K termistör kullanılır. Şekil 2.22'de yazıcıda kullanılan NTC'ler görülmektedir. NTC termistörlerde sıcaklık arttıkça direnç düşer. Sıcak ucu ısıtmak için 12V 40w ısıtıcı termistör kullanılmaktadır.



Şekil 2.22. NTC 100k

2.1.5. Yazılımlar

2.1.5.1. Repeater host programı

3B cisimlerin çizilmesi için onlarca farklı yazılım mevcuttur, kısa bir listesi Tablo 2.1 de verilmiştir. Yazıcıyı çalıştırmak ve yönetmek için Repeater Host programı kullanılmıştır. Repeater host programı Windows xp yi çalıştırabilen tüm bilgisayarlarda çalışmaktadır. Kurulum sırasında .Net framework veya mono framework programlarından birinin kurulu olması gerekir. Programlar kendi sitelerinden ücretsiz olarak indirilip kurulabilir [18].

Repeater host programının kurulumdan sonra ilk işlem 3B yazıcı ile bağlantının sağlanabilmesi için Yapılandırma →Yazıcı Ayarları menüsünden Bağlantı sekmesi içindeki gerekli ayarların yapılmış olmalıdır. Şekil 2.23'de temel yazıcı ayarları görülmektedir. Connector kısmında bilgisayarın yazıcıya nasıl bağlandığı seçilmelidir. Bu kısımda USB bağlantı için seri bağlantı, ağ üzerinden bağlanmak için TCP/IP bağlantısı, sanal yazıcı ve repeater-server bağlantı seçenekleri vardır. Repeater – server bağlantı yöntemi tek repeater host programı ile birden fazla 3B yazıcıyı kontrol etmek için kullanılır. Biz yazıcıyı USB kablo ile bilgisayara bağladığımız için seri bağlantı seçeneğini seçip bundan sonraki ayarları seri bağlantı için yapacağız. Port bilgisine yazıcının takılı olduğu port seçilmelidir, seçenekler içerisinde aktif olan portların listesi çıkmaktadır. Baudrate hızı 250.000e kadar yükselbilmesine rağmen tedbirli olmak için 115.200 değeri önerilmektedir. Alım tampon boyutu yazıcının hafızasında kaç komut saklayacağı bilgisini tutar, bu değer 3B yazıcının dahili hafızasında komutlar için ne kadar yer ayırdığı ile ilgilidir. Genellikle yazıcılarda 127 Byte olarak ayarlanmıştır. Ping-Pong haberleşmesi etkinleştirilirse repeater host programı sıradaki komutu yazıcıya göndermek için yazıcıdan işlenmekte olan komutun tamamlandı bilgisinin gelmesini bekler. 3B yazıcının daha yavaş çalışmasına sebep olur, ilk 3B reprop yazıcılarda, çalışma şekli ping-pong olarak ayarlandığı için günümüzde hala bir seçenek olarak durmaktadır.

Yazıcı Ayarları

Printer: default

Bağlantı Yazıcı Ekstruder Yazıcı Şekli Scripts Advanced

Connector: Seri Bağlantı

Port: COM1

Transfer Hızı: 115200

Transfer Protokolü: Autodetect

Acil durumda resetle: Send emergency command and reconnect

Alım tampon boyutu: 127

Communication Timeout: 40 [s]

Use Ping-Pong Communication (Send only after ok)

The printer settings always correspond to the selected printer at the top. They are stored with every OK or apply. To create a new printer, just enter a new printer name and press apply. The new printer starts with the last settings selected.

OK Uygula Vazgeç

Şekil 2.23. Repeater host yazıcı ayarları penceresi

Yazıcı Ayarları

Printer: default

Bağlantı **Yazıcı** Ekstruder Yazıcı Şekli Scripts Advanced

Boşta gezim hızı: 4800 [mm/min]

Z-Aksı işleme hızı: 100 [mm/min]

Manual Extrusion Speed: 2 20 [mm/s]

Manual Retraction Speed: 30 [mm/s]

Varsayılan Ekstruder Sıcaklığı: 200 °C

Varsayılan Sıcak Tabla Sıcaklığı: 55 °C

Ekstruder & Tabla ısısınız kontrol et.

M105 isteklerini aktivite kayıtlarından çıkar

Her 3 saniyede kontrol et.

Park Pozisyonu: X: 0 Y: 0 Z min: 0 [mm]

Send ETA to printer display İş bittikten yada iptal edildikten park pozisyonuna g

İş bittikten yada iptal edildikten sonra ekstruder kapat İş bittikten yada iptal edildikten sonra sıcak tablayı l

İş bittikten yada iptal edildikten sonra motorları kapat Printer has SD card

Add to comp. Printing Time 8 [%]

Invert Direction in Controls for X-Axis Y-Axis Z-Axis Flip X and Y

OK Uygula Vazgeç

Şekil 2.24. Yazıcı ayarları penceresi yazıcı sekmesi

Yazıcı ayarları penceresinin yazıcı sekmesinde 3B yazıcı ile ilgili temel ayarlar yer alır Şekil 2.24 bu pencereyi gösterir. Bu ayarlar Firmware içerisinde yapılabilir ancak tüm firmware yeniden derleyip göndermek yerine buradan yapılması daha pratiktir. Z-aksi işleme hızını delta yazıcılar için çok daha yüksek bir değer verilebilir. Ekstrüzyon hızını ve sıcaklığını manuel sekmesinden de çalışma sırasına değiştirilebilir.

Yazıcı ayarları penceresi ekstruder sekmesinde PLA yazdırmak için Max. Extruder Temperature değeri 240'a kadar düşürülebilir. Bad temperature değeri alt tabla sıcaklığını ifade eder pla için 50°C ile 80°C arası uygundur. Max. Volume per second değeri saniyede eritilecek en yüksek filament miktarını belirtir. Ekstruderdaki nozle çapı önemli bir değişkendir, doğru girilmelidir 0,1 mm'den 1 mm'ye kadar farklı çaplarda nozllar bulunmaktadır. Şekil 2.25 yazıcı ayarları menüsünün ekstruder sekmesini göstermektedir.

Yazıcı Ayarları

Printer: default

Bağlantı | Yazıcı | Ekstruder | Yazıcı Şekli | Scripts | Advanced

Number of Extruder: 1

Number of Fans: 1

Max. Extruder Temperature: 280

Max. Bed Temperature: 120

Max. Volume per second: 12 [mm³/s]

Printer has a Mixing Extruder (one nozzle for all colors)

Ekstruder 1

Name: []

Diameter: 0.4 [mm] Temperature Offset: 0 [°C]

Color: [Blue]

Offset X: 0 Offset Y: 0 [mm]

OK Uygula Vazgeç

Şekil 2.25. Yazıcı ayarları penceresi ekstruder sekmesi

Yazıcı şekli sekmesinde yazıcı türü seçildikten sonra yazdırılabilir alanın çapı ve sonlandırıcının yazdırma alanından uzaklığı doğru girilmelidir. Şekil 2.26. yazıcı ayarlarındaki yazıcı şekli sekmesi görülmektedir. Repeater host programı içerisinde

aynı anda 3 farklı STL dosyası seçilip yazdırılabilir. Her bir STL dosyasının yazdırılmasının farklı renklerle gösterilmesi için bu sekmeden renk ayarları yapılabilir.

Yazıcı Ayarları

Printer: default

Bağlantı Yazıcı Ekstruder **Yazıcı Şekli** Scripts Advanced

Printer Type: Rostock Printer (circular print shape)

Home X: 0 Home Y: 0 Home Z: 0

Printable Radius: 135 mm

Printable Height: 180 mm

Printer Visualization

Show Printer Model

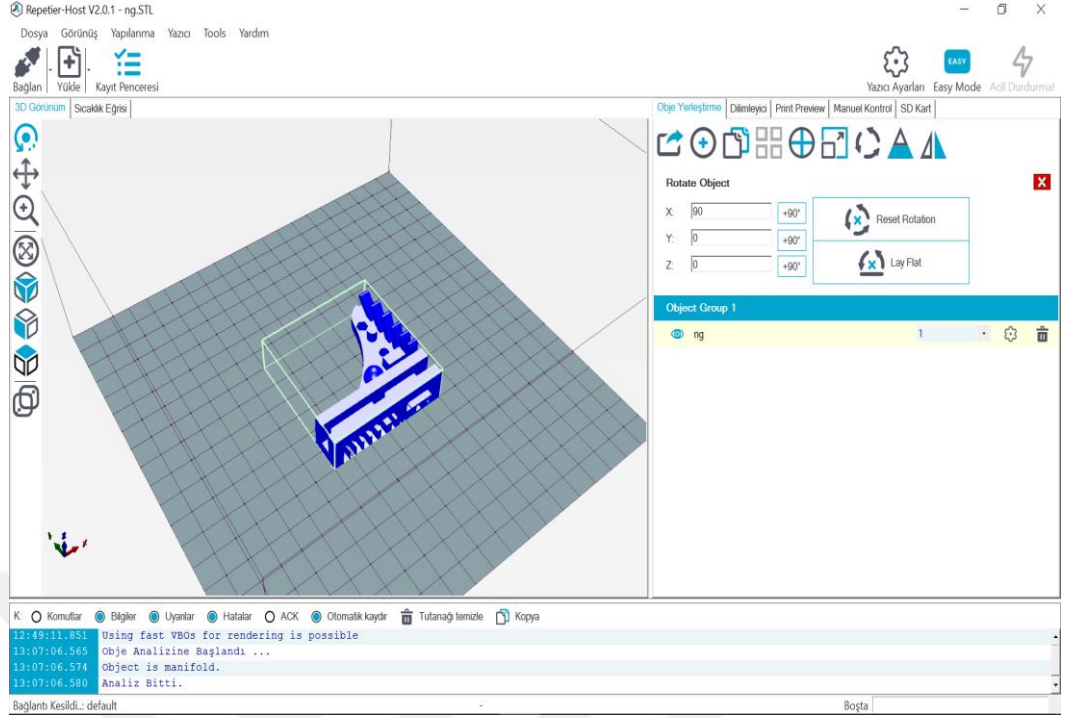
Hide if viewed from bottom

	C:\Program Files\Repetier-Host\data\models\DemoPrinter_1.stl	Browse...	Delete
	C:\Program Files\Repetier-Host\data\models\DemoPrinter_2.stl	Browse...	Delete
	No STL selected	Browse...	Delete

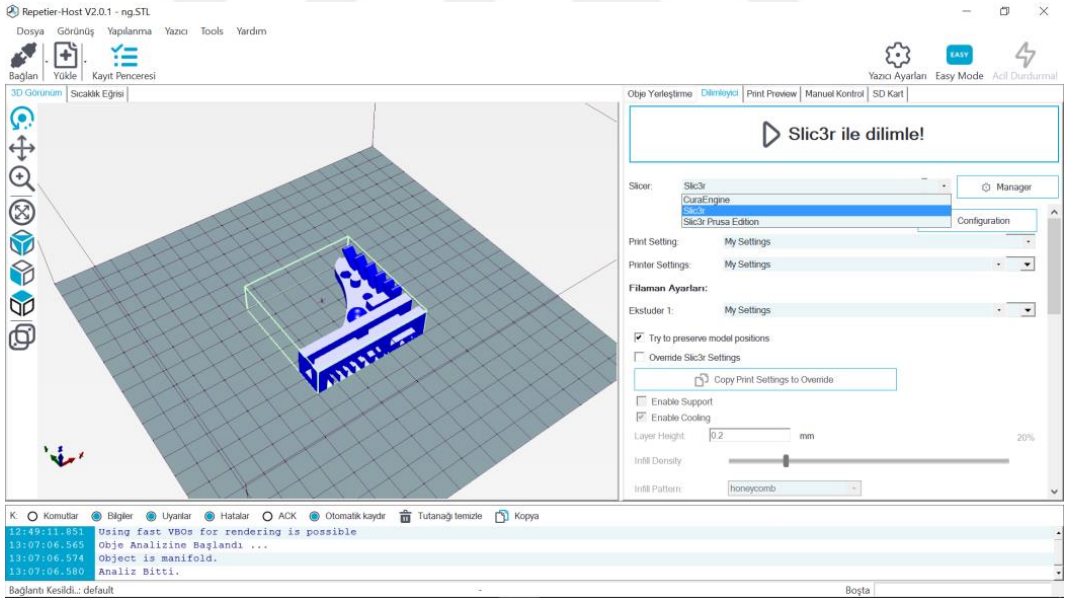
OK Uygula Vazgeç

Şekil 2.26. Yazıcı ayarları yazıcı şekli sekmesi

Şekil 2.27'de yazdırılacak olan stl dosyasının host programına yüklenmesi gösterilmektedir. Yükle butonu yada dosya →Yükle butonu ile yazdırılacak cismin STL dosyası seçilerek yüklenebilir. Sol taraftaki menüden cismin yazdırma yüzeyine yerleşimi, ölçeklendirilmesi ve rotasyonu ayarlanabilir. İstenirse birden fazla cisim yüklenip aynı anda yazdırılması sağlanabilir.



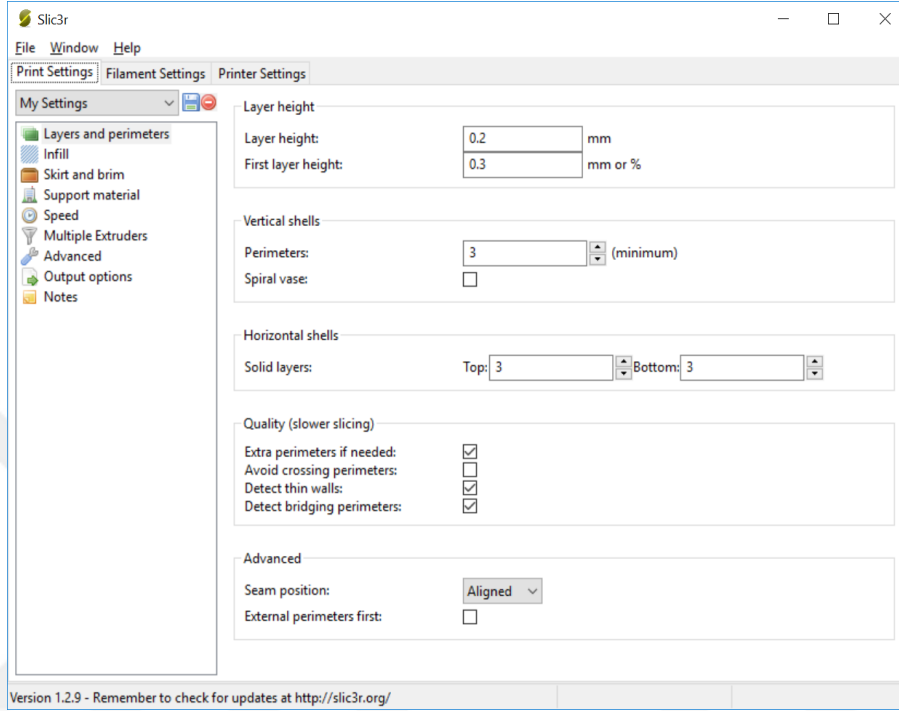
Şekil 2.27. Repeater host programı



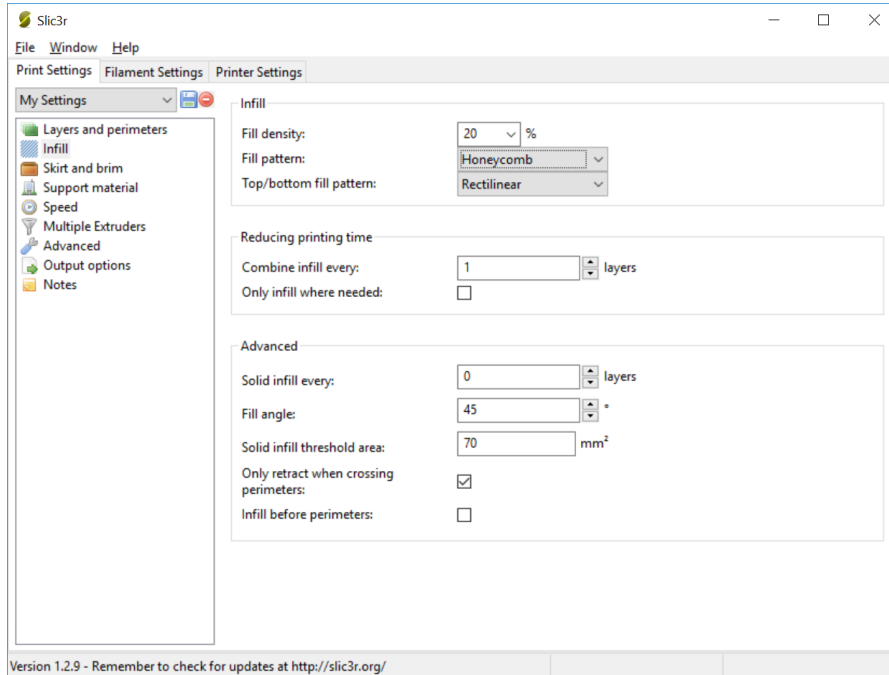
Şekil 2.28. Repeater host programı, dilimleyici sekmesi

Repeater Host programı ile birlikte varsayılan olarak yüklenen Slic3r, CuraEngine dilimleyicileri, yüklenen stl dosyasını dilimlemek için kullanılabilirler. Dilimleme için önceden kayıt edilmiş dilimleme ayarları seçilerek Şekil 2.28 de gösterildiği şekli ile kullanılabilir gibi Configuration butonuna tıklanarak dilimleme ayarları açılabilir. Dilimleme ayarları penceresi Şekil 2.29'da görülmektedir. Hangi dilimleme programı

seçili ise onun ayarlar sayfası açılır. Ayarlar sayfasında sol tarafta bulunan sekmede ayar kategorisi seçilerek gerekli veriler girilir. Layer and Perimeters sekmesinde katman kalınlıkları ve ilk katman kalınlığı yazılır. Yüzey kaplamasının yatay ve dikey yüzeylerde en az kaç katmandan oluşması gerektiği bilgisi girilir.

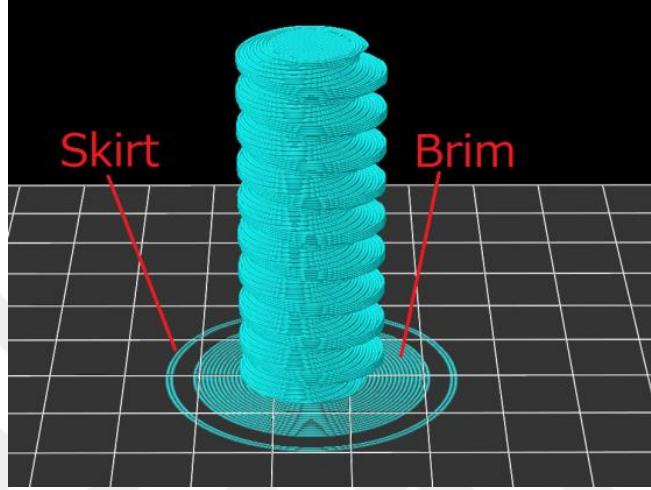


Şekil 2.29. Slic3r dilimleyici programı ayarları



Şekil 2.30. Slic3r programı dolgu ayarları

Infill sekmesinde yazdırılacak olan 3B cismin iç kısmının nasıl doldurulması gerektiği belirlenir Şekil 2.30'da Fill density 3B cismin içinin ne kadar dolu olacağını belirler. Normalde 3B cismin içi tamamen malzeme ile doldurulmaz seçilen dolgu deseni ile doldurulur, %20 değeri oldukça iyi bir dolgu değeridir. Fill patern iç dolgu deseninin seçilmesini sağlar. Top/Bottom patern 3B cismin üst ve alt yüzeylerinin dolgu şeklini belirler.



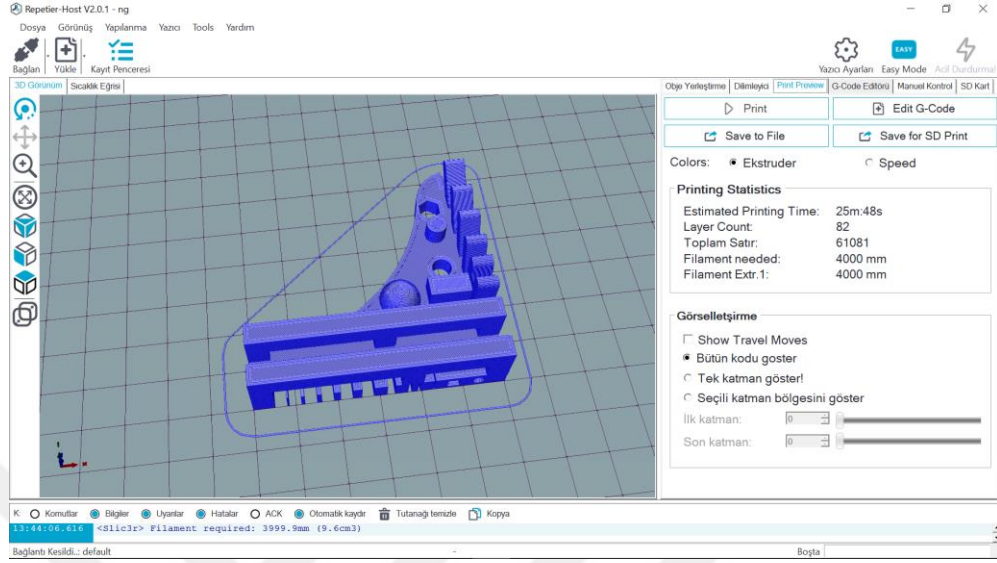
Şekil 2.31. Skirt ve brim

Skirt yazdırılacak olan cismi yazmaya başlamadan çevrisini saracak ince çizgiye denir. Skirt yazdırmaya başlama anında oluşabilecek yoğun filament akıntısından ve benzeri sorunlardan kurtulmak için oldukça faydalıdır. Brim 3B cismin yazdırma tablasına daha iyi yapışması için cismin altına yerleştirilen katmandır. Şekil 2.31'de skirt ve brim gösterilmektedir. Support material kısmında birden fazla ekstruder olan yazıcılarda destek malzemesi ile ilgili ayarların yapıldığı sayfadır. Speed kısmında yazdırma hızı ile ilgili oldukça ayrıntılı ayarlar vardır. Yazdırılacak cismin türüne ve istenen kalite durumuna göre ayarlanabilir.

Önemli ayarlardan biri Filament Settings sekmesinde yer alır. Hammadde olarak kullanılan filamentin çapının girilmesi gerekmektedir. Varsayılan olarak 1,75 mm seçilidir. Aynı sekme içerisinde ilk katman ve diğerleri olmak üzere filamanın kaç derece ısıtılacağını seçildiği bölüm de önemlidir.

Ana pencere içerisindeki print preview sekmesinde yazdırma işleminin kaç dakika süreceği, kaç katmandan oluştuğu, toplam G-Code satır sayısı ve kullanılacak filament uzunluğu ile ilgili özet bilgiler verilmektedir. Şekil 2.32 print preview sekmesini göstermektedir. Aynı sekme içerisinde G-Code'ların görüntülenmesi,

değiştirilmesi, farklı bir dosya olarak bilgisayara veya SD karta kayıt edilmesi yapılabilir.



Şekil 2.32. Repeater host programı ve print preview sekmesi

Manuel kontrol sekmesinde yazdırma işlemi sırasında işleme hızını, sıcaklığı anlık olarak ayarlamayı, sıcak ucu istenen noktaya manuel olarak konumlandırmayı ve firmware programına G-Code göndermeyi sağlar.

2.1.5.2 Marlin firmware

Marlin firmware yazılımı arduino board üzerinde çalışan yazılımdır. Sıcak ucun konumu, sıcaklık, ekstruder, motorlar vb. tüm gerçek zamanlı işlemler marlin firmware tarafından yönetilir. Marlin firmware yazılımı CNC de kullanılan G-Code'lardan türetilmiş bir dil ile kontrol edilir. 3B yazdırma işlemi ile ilgili tüm komutlar ve sensörlerden gelen tüm bilgiler firmware yazılımına gelirler. Firmware yazılımına gelen bu komutlar ve bilgiler ile ilgili hesaplamalar yapmak ve kararlar vermek bu yazılımın görevidir.

Marlin reprap projesi kapsamında açık kaynak kodlu olarak yazılmıştır ve ücretsiz şekilde indirilip kullanılabilir. Marlin yazılımı arduino boarda, arduino ide üzerinden yüklenir. Marlin yazılımı içerisindeki en önemli ve en çok müdahale edilmesi gereken dosya Configuration.h dosyasıdır, 3B yazıcı ve yazdırma parametreleri ile ilgili seçeneklerin çoğu bu dosya içerisinde. Repeater host programı ve bu tür programlar sınırlı ve anlık olarak bu dosya üzerindeki değişikliklerin yapılmasına izin

verse de, ayrıntılı ayarlar için bu dosyada değişiklikler yapıp, programı derleyip yeniden yüklemek gerekir. Marlin programının genel özellikler kendi web sayfasında aşağıdaki gibi verilmektedir [20].

- Kesme temelli ,doğrusal ivmelenmeli hareket
- Motorlarda yüksek adım çözünürlüğü
- Look ahead (Mümkün olduğunda yüksek hızlı yazdırma. Köşelerde de yüksek hız)
- Kesme tabanlı sıcaklık yönetimi
- Sonlandırıcılar için tam destek
- Uzun dosya ve klasör isimleri de dahil olmak üzere SD kart desteği
- Karakter ve grafik tabanlı LCD desteği
- LCD üzerinde SD karttan yazdırma ve yönetme menüsü
- EEPROM saklama alanı desteği
- Yay yazdırma desteği
- Daha sık sıcaklık kontrol edilmesi
- Otomatik ısı kontrolü.(3B yazdırma işleminde ısının da hızla birlikte değişmesi gerekir. Hız arttıkça ısının da artması gerekir. Marlin yazılımı hız ile orantılı olarak ısıyı da otomatik artırıp azaltabiliyor.)
- Sonlandırıcıların durum bilgisini host programı ile anlık paylaşma
- Isıtıcı yönetiminin raporlanması
- CoreXY ve CoreXZ desteği
- Delta kinematiği çözümleri
- SCARA kinematiği çözümleri
- Otomatik tabla ayarlaması ve kompanizasyon ayarlanması
- Düşük yazılım boyutu, Seçilen ayarlara göre 50 kB ile 100kB arasında
- Filament boyu sensör desteği
- Filament bitti sensör desteği
- Çoklu ekstruder desteği(4 ekstrudera kadar)

Marlin host programı, SD kart üzerinden ve LCD gösterge tarafından kontrol edilebilir. Windows, Mac, Linux, Rasbery Pi ve Android gibi birçok farklı ortamda çalışan host programları vardır. Bunların yanında 3B yazıcının bilgisayara bağlı kalmadan doğrudan SD kart ile kontrol edilmesi de sağlanabilir.

```
Marlin
Conditionals.h
Conditionals_LCD.h
Conditionals_post.h
Configuration.h
Configuration_adv.h
G26_Mesh_Validation_Tool.cpp
M100_Free_Mem_Chk.cpp
Marlin.h
MarlinConfig.h
M...

/*
 * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
 * it under the terms of the GNU General Public License as published by
 * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
 * (at your option) any later version.
 *
 * This program is distributed in the hope that it will be useful,
 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
 * GNU General Public License for more details.
 *
 * You should have received a copy of the GNU General Public License
 * along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
 */

/**
 * About Marlin
 *
 * This firmware is a mashup between Sprinter and grbl.
 *  - https://github.com/klement/sprinter
 *  - https://github.com/simen/grbl/tree
 */

#include "MarlinConfig.h"

#if ENABLED(ULTRA_LCD)
  #if ENABLED(LCD_I2C_TYPE_PCF8575)
```

Şekil 2.33. Marlin firmware yazılımının arduino ide içerisinde açılmış hali

Marlin firmware yazılımının ayarlanması ve derlenmesi için yapılması gerekenler maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

Arduino idesi ile marlin klasörü içerisinde yer alan Marlin.ino dosyası açılır. Bu işlem sonrasında firmware oluşturan dosyaların tamamı üst tarafta sekmeler olarak gelir. Şekil 2. 33'de marlin firmware programının arduino ide içerisinde açılmış hali görülmektedir, firmware programını oluşturan tüm dosyalar ide'nin içerisinde üst tarafta görülebilir.

3B yazıcının ayarlanması için yapılması gereken işlemler adım adım aşağıda anlatılmaktadır.

İlk işlem marlin firmware programının üzerinde çalışacağı kart türünü seçmektir. Marlin firmware programının desteklediği kart türleri boards.h dosyasında yer almaktadır. Bu dosyaya bakarak kart türünün doğru yazılışını öğrenmek gerekmektedir. .

Marlin klasörü içerisindeki varsayılan Configuration.h dosyası kartezyen yazıcılar için hazırlanmıştır. Configurations.h dosyası example_configurations/delta klasöründeki Configuration.h dosyası ile değiştirilmelidir. Configuration.h dosyası açılmalı ve içerisinde aşağıda anlatılacak değişiklikler yapılmalıdır. Şekil 2.34'deki komut ile haberleşmede kullanılacak baudrate değeri belirlenir.

```
#define BAUDRATE 250000
```

Şekil 2.34. Baudrate ayarı

3B yazıcılarda farklı kontrol kartları kullanılabilir. boards.h dosyasında sisteme tanımlanmış, bağlantı uçları tanımlanmış kartlar bulunmaktadır. Şekil 2.35. deki komutlar yardımı ile kontrol kartı tanımlaması yapılmalıdır. Bu tez için yapılan yazıcıda ramps kullanıldığından şekildeki gibi ayarlanmıştır.

```
#ifndef MOTHERBOARD  
#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB  
#endif
```

Şekil 2.35. Kontrol kartı seçimi

```
#define EXTRUDERS 1
```

Şekil 2.36. Ekstruder sayısının ayarlanması

Şekil 2.36'da gösterildiği gibi yazıcıda kullanılacak ekstruder sayısı tanımlanmalıdır.

3B yazıcılarda bulunan termistör sayısı ve türleri tanımlanmalıdır. Şekil 2. 37 içerisinde bu tanımlamaların yapılacağı komutlar görülmektedir. Bu tezde yaptığımız yazıcıda sadece bir tane termistör olduğundan aşağıdaki gibi ayarlandı. Diğer termistör seçenekleri dosyanın içerisinde yorum satırı olarak gösterilmiştir.

```
define TEMP_SENSOR_0 1  
#define TEMP_SENSOR_1 0  
#define TEMP_SENSOR_2 0  
#define TEMP_SENSOR_3 0  
#define TEMP_SENSOR_4 0  
#define TEMP_SENSOR_BED 0  
  
#define HEATER_0_MAXTEMP 230
```

Şekil 2.37. Isıtıcı ve ısı sensörlerinin ayarlanması

Isıtıcının maksimum ısınma değeri dosya içerisinde tanımlanmalıdır. Bu tez için hazırlanan yazıcıda hammadde olarak PLA kullanılacağından en yüksek sıcaklık 230 olarak tanımlandı.

Yukarıda yazılanlar yazıcı için mutlaka yapılması gereken değişiklikler idi. Aşağıda Configuration.h dosyasında yer alan parametreler ve işlevleri aşağıda açıklanmıştır.

```
#define DELTA_SEGMENTS_PER_SECOND 200
```

Şekil 2.38. Köşe yuvarlaklık oranı

Yazdırma işlemi sırasında köşeler küçük, kısa doğrulara bölünerek oluşturulur. Şekil 2.38'de gösterilen ayar köşelerdeki 1 mm'lik kenarın kaç parçaya bölünmesi gerektiğini gösterir. Değer yükseldikçe işlem ihtiyacı hızlı şekilde artar yazdırma işlemi yavaşlar fakat köşeler daha yumuşak hale gelir. Varsayılan değeri 200 dür.

```
#define DELTA_DIAGONAL_ROD 215.0
```

Şekil 2.39. Krom eklemlerin uzunluğu

Şekil 2.39'daki komut, Şekil 2.40'da gösterilen çapraz krom çubukların merkez uç noktaları arasındaki mesafenin ayarlandığı yerdir. Toplam 6 adet karbon fiber çubuğun hepsinin aynı boyda olması gerekir.

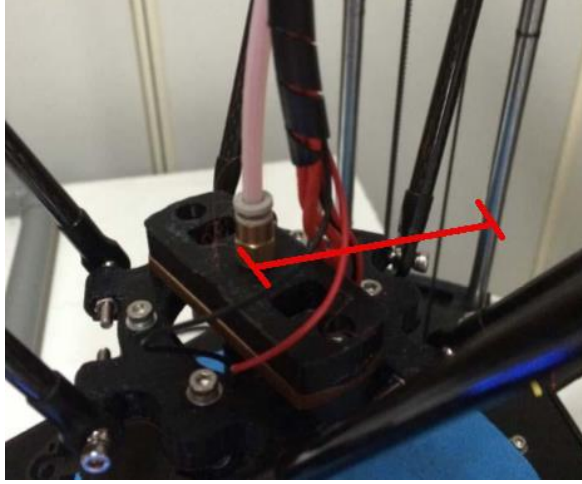


Şekil 2.40. Delta smooth rod offset

```
#define DELTA_SMOOTH_ROD_OFFSET 145.0
```

Şekil 2.41. Delta smooth ayarı

Şekil 2.41'de yer alan komut Şekil 2.42'de gösterildiği gibi sıcak ucun merkezde olduğu anda, sıcak ucun merkezi ile sütunları oluşturan çelik çubuklar arasındaki mesafenin ölçüsüdür. Buradaki ölçülerin tüm çelik çubuklar ile aynı olması gerekmektedir.

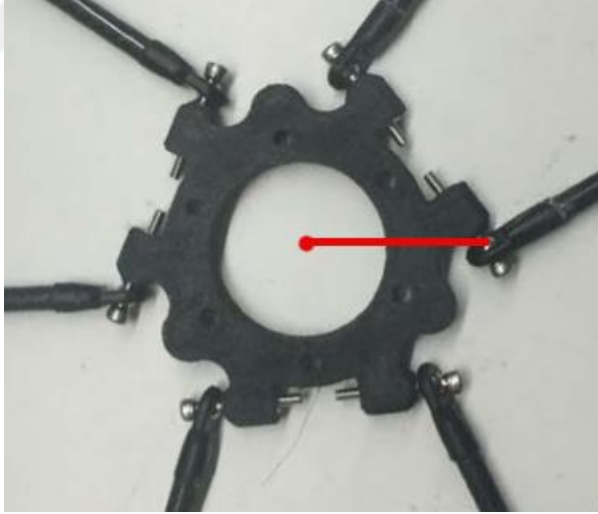


Şekil 2.42. Delta smooth rod offset

```
#define DELTA_EFFECTOR_OFFSET 19.9
```

Şekil 2.43. Delta efector ayarı

Şekil 2.43'deki komut ile Şekil 2.44'de gösterilen sıcak ucun merkezi ile karbon fiber eklemine bağlı olduğu nokta arasındaki yatay mesafenin ayarlanması gerekir.



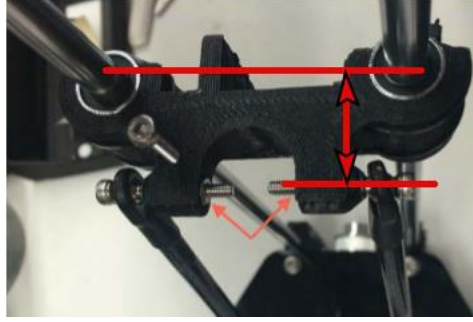
Şekil 2.44. Delta efector offset

```
#define DELTA_CARRIAGE_OFFSET 19.5 // mm
```

Şekil 2.45. Delta carriage ofset

Çelik dik çubuklar ile çapraz krom çubukların birleştiği noktada meydana gelen eklem kaymasının ölçüsü Şekil 2.45'deki komut ile belirtilmelidir. Şekil 2. 46 Çelik

çubuklar ile çapraz çubuklar arasındaki eklem kaymasının nerede olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.46. Delta carriage ofset

```
#define DELTA_HEIGHT 250  
#define DELTA_PRINTABLE_RADIUS 85.0
```

Şekil 2.47. Yazdırma yüksekliği ve alanı ayarı

Yazdırma yüzeyinden sonlandırıcılara kadar olan dikey mesafe ve yazdırılabilir alanın yarıçapı Şekil 2. 47’de gösterildiği gibi ayarlanmalıdır.

```
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 80, 760*1.1 }
```

Şekil 2.48. Motorların tur/mm ayarı

Şekil 2.48’de gösterilen değerlerin birimi adım/mm dir, bir milimetre yol gidilmesi için motorların kaç tur dönmesi gerektiğini ifade eder. Bu değeri daha önce 80 olarak hesaplamıştık.

```
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 500, 500, 500, 25 }
```

Şekil 2.49. Max. feedrate

Şekil 2.49 Maximum feedrate değeri motorların saniyedeki maksimum hızlarını ifade eder.

```
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 9000, 9000, 9000, 10000 }
```

Şekil 2.50. Motorların hızlanma değeri

Şekil 2.50'deki komut motorların maksimum ivmelenme değerlerini tutar. Bir saniye içerisinde yapılabilecek en yüksek değişimin mm cinsinden ifadesidir. Motorlar ilk çalışmaya başladığında bu değer önemli olabilir.

```
#define DEFAULT_ACCELERATION 3000
```

Şekil 2.51. Varsayılan ivmelenme değeri

X,Y,Z yönlerindeki varsayılan ivmelenme değeri Şekil .2.51 deki komutla belirtilir.

```
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 3000
```

Şekil 2.52. Filament geri çekme hızı

Şekil 2.52'deki komut ekstruderin filamenti geri çekerken yapacağı ivmelenmenin değeridir. Çıktıların üzerinde ince filament parçaları olabilir bunu engellemek için filamentin geri çekme miktarını ve buradaki filamentin geri çekme ivmelenmesinin artırılması yerinde olur.

```
#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 3000
```

Şekil 2.53. Boşta hareket hızı

Şekil 2.53'deki komut ekstruder filamanı eritmez iken, yani boşta hareket ederken yazıcının varsayılan ivmelenme değerini gösterir.

```
#define DEFAULT_XJERK 20.0  
#define DEFAULT_YJERK 20.0  
#define DEFAULT_ZJERK 20.0  
#define DEFAULT_EJERK 5.0
```

Şekil 2.54. Motorların yavaşlama ve hızlanma ivmelenmesi

Şekil 2.54'te yer alan değerler motorun hızlanma ve yavaşlama ivmelenmesini gerçekleştirmek için gerekli minimum hız değişikliğini ifade ederler. Motorun hızı 20mm/sn den küçük ise aynı hızda devam etmesi gerektiğini ifade eder. Aynı zamanda motor hareketsiz durumdan harekete başladığı anda motorun hangi hızda çalışması gerektiğini ifade eder. Eğer yazıcıda bluetooth, SDcard, Z-probe veya LCD display gibi ekipmanlar kullanılacaksa firmware içerisinde onların da ayarlarının

yapılması gerekir. Bu tezde kullanacağımız yazıcıda yukarıda bahsedilen ekipmanlar olmadığı için temel ayarlar yukarıda anlatıldığı şekilde yapıldı.

2.1.5.3 G-Code

G-Code CNC ve FDM yazıcıları kontrol etmek için kullanılan kontrol dilinin genel adıdır. NIST RS274NGC G-code standardına göre geliştirilmiştir. Buradaki standartlaşma sayesinde farklı dilimleme programları ile farklı yazıcıların kullanılması sağlanmaktadır. G-Code içerisinde yorum eklemek için “ ; “ karakteri kullanılır. G-Codelerin genel açıklaması Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.4. G-Code komut yapısı

G-Code yapısı	İşlevi
G	Hareket komutu istenen noktaya hareket edilmesi için kullanılır.
M	Reprap yazıcılarda kullanılan konfigürasyon kodları.
T	Seçim komutu. 3B yazıcılarda nozle seçmek için kullanılır.
S	Komut parametreleri
P	Komut parametreleri göndermek için kullanılır.
X	X ekseninde parametre göndermek için kullanılır.
Y	Y ekseninde parametre göndermek için kullanılır
Z	Z ekseninde parametre göndermek için kullanılır.
U,V,W	Farklı eksenlerde parametre göndermek için kullanılır.
I	X ofset bilgisi
J	Y ofset bilgisi
D	Çap bilgisi göndermek için kullanılır.
H	Isıtıcı parametreleri.
F	Hız bilgisi göndermek için kullanılır.

Tablo 2.4. (Devam) G-Code komut yapısı

R	Isı bilgisi göndermek için kullanılır.
Q	Şimdilik bir kullanım alanı olmayan parametre gönderme komutu.
E	Filament boyunu mm olarak ifade etmek için kullanılır.
N	Programa satır numaraları vermek ve program içerisinde dallanmalar yapmak için kullanılır.

2.2. Test Modelinin Tasarlanması

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi üretim araçlarını, hammaddeleri ve üretim süreçlerini test etmek amacı ile test modelleri kullanılmaktadır. Önceki çalışmalar incelendiğinde test modellerinin aşağıdaki özellikleri ölçmek için tasarlandıkları görülmüştür.

1. X-Y-Z doğrultusunda boyut ve konum doğrulukları:

Üretilen bir cismin çizilen, tasarlanan boyutları ile ürünün boyutlarının birbirlerine yakın olma durumuna doğruluk denir. Doğruluk kavramı sık sık çözünürlük kavramı ile karıştırılmaktadır. Çözünürlük yazıcının üretebileceği en küçük boyutlu cisim ifade eder. Çözünürlüğü daha yüksek 3B yazıcıların birçok farklı nedenden dolayı doğrulukları düşük olabilir. Bir 3B yazıcının farklı yönlerdeki doğruluğunu ölçmek için farklı yönlerde ölçümü kolay çıkıntılar ve oyuklar oluşturulur. Ölçümü kolay olması için bu oyuk ve çıkıntılar genellikle doğrusal olmakta bu şekilde 3B yazıcının farklı yönlerdeki doğruluğu hakkında da bilgi sahibi olunabilmektedir.

2. Dairesel cisimlerin çapları ve konumlarının ölçülerek dairesel cisim oluşturma yetenekleri:

Dairesel cisimler oluşturmak için gerekli hareketler, doğrusal cisimleri oluşturmaktan farklıdır ve farklı doğrulukta olabilir. Dairesel doğruluğu test etmek için silindir, küre ve yarım küre şeklinde oyuklar ve çıkıntılar test modeline eklenip bunların yarıçapları ölçülerek sayısal doğruluk değeri tespit edilebilir.

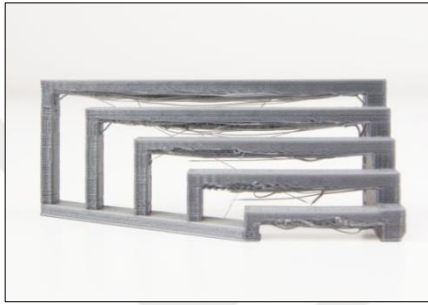
3. Çekme, Dayanıklılık, Sağlamlık gibi mekanik özellikleri ölçmek:

Bu tür özellikler daha çok farklı ham maddelerin özelliklerini test etmek ve birbirleri ile kıyaslamak için kullanılır.

4. İnce duvarlar oluşturma yeteneklerini test etmek:

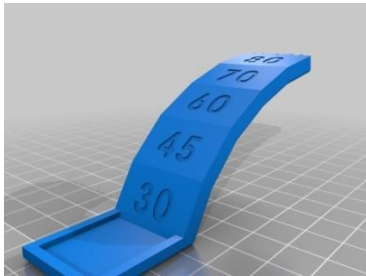
3B yazıcı ile oluşturulabilecek en ince duvar kalınlığı yazıcının genel başarısı, ham maddenin özelliğini ve yazdırma sürecinin kalitesi için bilgi verirken. Bununla birlikte yazıcının oluşturabileceği en ince duvar kalınlığını bilmek, o yazıcıda oluşturulacak 3B cisimlerin doğru tasarlanması açısından da önemlidir.

Yazıcının hızı 3B Yazıcılarda ürünün kalitesinde hız çok önemli bir faktördür. Test modelleri sayesinde belirlenen kalitede bir ürünün yazdırılma hızı farklı yazıcıların yazdırma hızları ile ilgili önemli bir ölçü olabilmektedir.



Şekil 2.55. 3B Yazıcı ürünlerinde köprü şekilleri ve bozulmalar

Yukarıda anlatılan ölçüm özellikleri birçok test modelinde bulunmaktadır. Yukarıdaki özelliklerin yanında gerçek hayatta oluşturulan 3B cisimlerin içerisinde eğimli yüzeyler ve köprüler bulunmaktadır. Önceki çalışmalar incelendiğinde 3B yazıcıların köprü oluşturma ve eğimli yüzey oluşturma becerilerini test edecek özelliklerin ya hiç bulunmadığı yada yetersiz kaldığı görülmektedir. Köprü oluşturma, destek kullanılmadan katmanlar arasında boşluk bırakarak cisimler oluşturabilmesini ifade eder. Köprünün boyu uzadıkça üründe sarkmalar ve bozulmalar meydana gelir. Şekil 2.57’de 3B yazıcıda üretilmiş köprü şekilleri görülmektedir.



Şekil 2.56. Eğimli yüzey baskısı ve bozulmalar

3B yazıcılarla üretilen cisimlerde destek kullanılmaz ise bir yüzeyin eğimi arttıkça cisimde bozulmalar oluşur. Bozulma olmadan eğimli yüzeyler oluşturulması

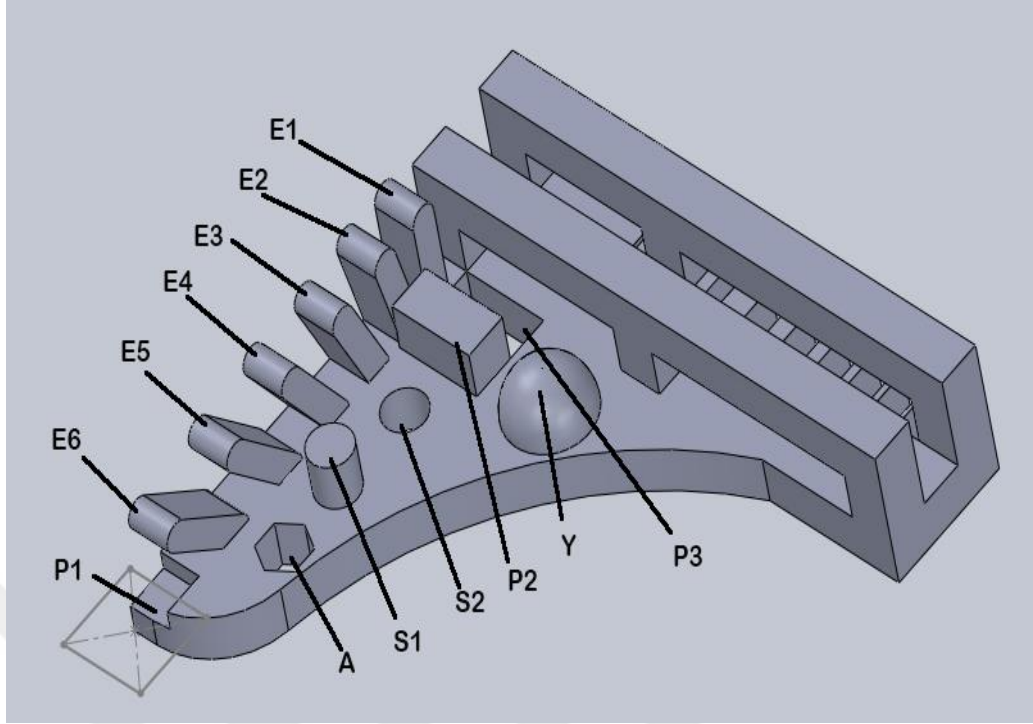
yazıcının, hammaddenin ve yazdırma sürecinin başarısını gösterir. Şekil 2. 58'de eğimin artması ile şekilde ki bozulmaları gösteren resim yer almaktadır. LOM, EBM ve SLS gibi 3B yazdırma yöntemlerinde ürün hammaddenin içinde kaldığı için köprülerde ve eğimli yüzeylerde desteğe ihtiyaç olmadan doğru üretilebilirken özellikle FDM yazıcılarda sorun olmaktadır. Bu sorunu halletmek için uzun köprülerde yada eğimin yüksek olduğu yerlerde destek malzemeleri kullanılmaktadır. Destek malzemeleri aynı malzemedan yada iki farklı ekstruder kullanarak farklı malzemelerden yapılabilir. Aynı malzemedan destek yapılırsa destek malzemelerinin üründen temizlenmesi gerekmekte ve temizlendikten sonra da üründe pürüzler kalabilmektedir. Temizlemesi kolay olan ve pürüz bırakmayan suda çözünen malzemelerin destek olarak kullanılması da mümkün ancak bu da en az iki farklı ekstruder kullanılmasını gerektirdiği için hem yazdırma süresini artırmakta hem de yazdırma işlemini daha karmaşık hale getirmektedir. Destek malzemesi kullanılsa bile yazıcının köprü oluşturabilme ve eğik yüzeyler oluşturabilme yeteneği yazıcının genel başarımı ve yazdırma parametrelerinin doğru seçildiği ile ilgili önemli bilgi vermektedir.

Test modelleri yazıcıları, hammaddeleri kıyaslamının yanında yazıcının kalibrasyonunu yapmak ve yazdırma parametrelerini en iyi hale getirmek içinde kullanılırlar.[12] çalışması bu tür bir çalışmaya örnektir, bu çalışmada üretim süresi ortalama 80 dakika olan 9 tane test ürünü yazdırılmıştır bu da 720 dakika sürmüştür. Bu ve benzeri durumlarda test modelinin hızlı üretilmesi önemli olmaktadır. Yukarıdaki bilgilerden yola çıkarak bu tez çalışmasının ilk amacı, 3B FDM yazıcılarda

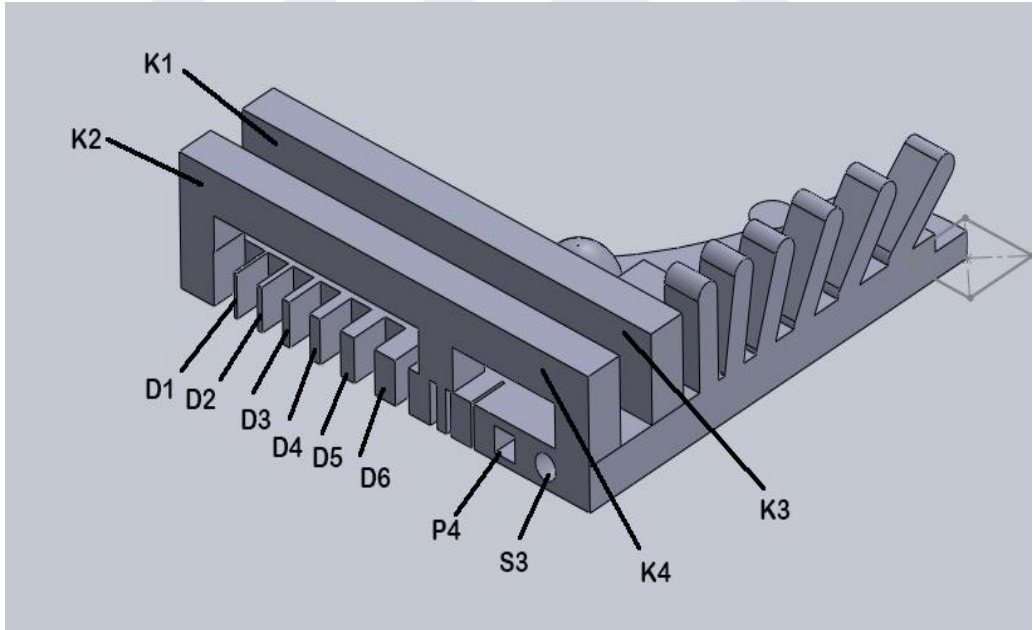
- X-Y-Z eksenlerinde konum ve boyut doğruluğu
- Dairesel doğruluğu
- İnce duvar oluşturma yeteneğini
- Köprü oluşturma yeteneğini
- Eğimli yüzeyler oluşturma yeteneğini

Ölçüp gözlemlenmeyi sağlayacak bir test modeli tasarlanmasıdır.

Birçok deneme ve tekrardan sonra test modeli hızlı üretilip, kolay ölçülmeyi sağlayacak şekilde tasarlandı. Şekil 2.57'de test modelinin üstten görünümü ve Şekil 2.58'de yandan görünümü verilmektedir. Test modeli içerisinde farklı özelliklerin ölçülmesini ve test edilmesini sağlayacak 25 şekil bulunmaktadır.



Şekil 2.57. Önerilen test modeli üst görünümü



Şekil 2.58. Önerilen test model yan görünümü

Tablo 2.5'te test modeli içerisindeki şekillerin isimleri, boyutları ve açıklamaları verilmiştir.

Tablo 2.5. Test modelindeki şekiller

İsim	Açıklama	Ölçüler
Test modeli	Modelin ana parçası genişliği ve uzunlu 60 mm yüksekliği 5mm olarak tasarlandı.	60x60x5 mm
K1	Köprü 1	20x10x5 mm
K2	Köprü 2	30x10x5 mm
K3	Köprü 3	25x10x5 mm
K4	Köprü 4	15x10x5 mm
	Her bir köprünün bacağı aynı zamanda bir prizma olacak şekilde tasarlanmıştır.	5x5x5 mm
D1	Duvar 1	0,4x5x5 mm
D2	Duvar 2	0,7x5x5 mm
D3	Duvar 3	1x5x5 mm
D4	Duvar 4	1,5x5x5 mm
D5	Duvar 5	2x5x5 mm
D6	Duvar 6	3x5x5 mm
	Duvarlar arasındaki boşluklar dar ölçülerek konumsal doğrulama yapmaya olanak sağlayacak şekilde farklı genişliklerde tasarlanmıştır.	Ana parça –D1 :3mm D1-D2 :2 mm D2-D3:1,5 mm D3-D4:1 mm D6 dan sonra da sıra ile 0,7 mm ve 0,4 mm aralıklar bırakılmıştır.
P1	Prizma 1	5x5x3 mm
P2	Prizma 2	5x10x10 mm
P3	Prizma 3	5X10x5 mm

Tablo 2.5. (Devam) Test modelindeki şekiller

P4	Prizma 4	3x3x5 mm
S1	Silindir 1	Yükseklik: 10 mm, Çap:5 mm
S2	Silindir 2	Çap :5 mm
S3	Silindir 3	Çap :3 mm, Derinlik :5mm
Y	Yarımküre	Yarıçap :5 mm
A	Altıgen	Her kenarı: 3 mm
E1	Eğimli yüzey 1	90° 5x3x10 mm
E2	Eğimli yüzey 2	80° 5x3x10 mm
E3	Eğimli yüzey 3	70° 5x3x10 mm
E4	Eğimli yüzey 4	60° 5x3x10 mm
E5	Eğimli yüzey 5	50° 5x3x10 mm
E6	Eğimli yüzey 6	40° 5x3x10 mm

Bu test modelinin değerlendirilmesi 1-üretilen parçanın hata miktarının ölçülerek doğruluğu hesaplanarak, 2-ince duvarların, eğimli yüzeylerin ve köprülerin başarılı bir şekilde üretilip üretilmeyeceğine bakarak yapılacaktır.

Bozulmalar olmadan üretebildiği en uzun köprü, köprü oluşturma yeteneğini, bozulma olmadan oluşturabileceği eğimi en yüksek eğimli yüzey, eğimli yüzey oluşturma yeteneğini ve düzgün üretebildiği en ince duvar da ince duvar oluşturma yeteneğini belirleyecektir.

Test modelinin mümkün olan en az malzeme kullanarak, en kısa sürede üretilmesi için modele yerleştirilen cisimler aynı anda birden fazla amaca hizmet edecek şekilde tasarlanmışlardır. Köprü bacakları köprüleri oluştururken aynı zamanda birer dikdörtgen prizma olarak X-Y-Z eksenlerinde üretim doğruluğu ile ilgili bilgi vermektedir. Duvarlar oluşturulabilecek en ince duvar kalınlığını test

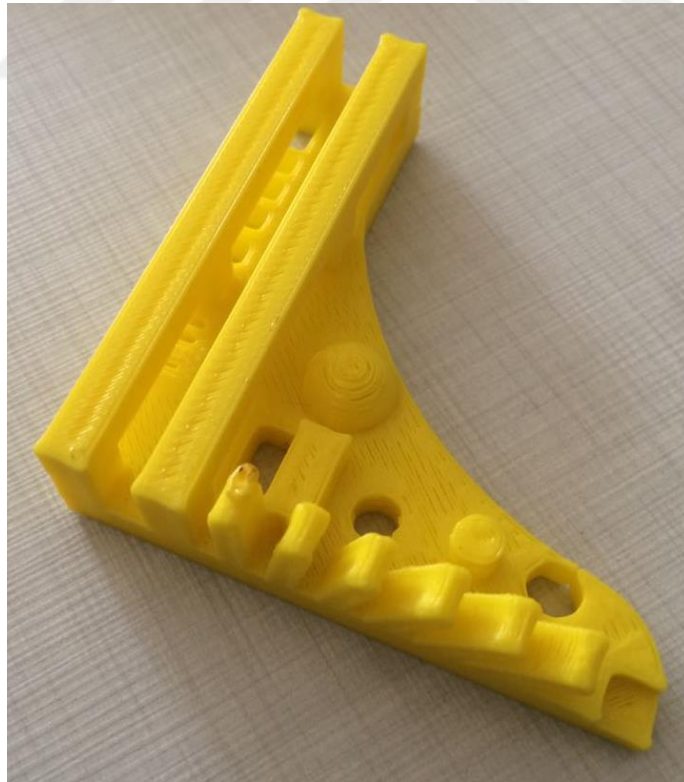
ederken aynı zamanda aralarındaki boşluk ve duvarların ölçüleri de yazıcının doğruluğu ile ilgili veri sağlamaktadır.

Yan yüzeydeki p4 ve s6 şekilleri yanal alanlarda cisim oluşturma yeteneğini test ederken aynı zamanda Y eksenini yönünde de doğrusal ve dairesel cisim oluşturma yeteneğini test etmektedir.

Test modelinden elde edilecek veriler, uluslararası tolerans değeri hesaplamakta kullanılacağından, şekillerin ölçüleri uluslararası tolerans tablosundaki nominal ölçü gruplandırmaları dikkate alınarak belirlenmiştir.

2.3. Test Modelinin Üretilmesi ve Ölçülmesi

Test parçası standart Slic3r ayarlarında %20 dolgu dilimlenip, yazdırılmıştır. Yazdırma işlemi 32 dakikada tamamlanmış, 3,176 mm filaman kullanılmış ve 7,63 cm³ PLA harcanmıştır. Üretilen test modeli Şekil 2.61 de görülmektedir. Test modeli üretildikten sonra, 0,01 mm hassasiyetli dijital kumpas ile ölçümler yapılmış ve aşağıdaki tabloda verilen değerler bulunmuştur.



Şekil 2.59. Üretilen test modeli

Tablo 2.6. Test modelinin ölçüm sonuçları

Şekil	CAD içindeki ölçü			Ölçülen Değer			Hata		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Ana parça ölçüleri	60	60	5	59,95	60,05	5,06	0,05	0,05	0,06
Köprü Ayağı 1	5	5	15	5,09	5,13	14,97	0,09	0,13	0,03
Köprü Ayağı 2	5	5	15	5,1	5,28	14,87	0,1	0,28	0,13
Köprü Ayağı 3	5	5	15	5,12	5,13	14,89	0,12	0,13	0,11
Köprü Ayağı 4	5	5	15	5,9	5,17	14,86	0,9	0,17	0,14
Köprü Ayağı 5	5	5	15	5,13	5,19	14,93		0,19	0,07
Köprü Ayağı 6	5	5	15	5,12		14,95	0,12		0,05
D1	0,4	5	5	Üretilmedi					
D2	0,7	5	5	0,9	5,11	5,09	0,2	0,11	0,09
D3	1	5	5	1,16	5,03	5,05	0,16	0,03	0,05
D4	1,5	5	5	1,62	5,1	5,08	0,12	0,1	0,08
D5	2	5	5	2,15	5,11	5,1	0,15	0,11	0,1
D6	3	5	5	3,14	5,03	5,1	0,14	0,03	0,1
P4	3	5	3	2,88	4,97	2,75	0,12	0,03	0,25
S3	3	5		2,87	5,02		0,13	0,02	0,21
E1	5	3		5,11	3,25		0,11	0,25	0
E2	5	3		5,14	3,2		0,14	0,2	
E3	5	3		5,15	3,2		0,15	0,2	
E4	5	3		5,17	3,31		0,17	0,31	

Tablo 2.6. (Devam) Test modelinin ölçüm sonuçları

E5	5	3		5,05	3,16		0,05	0,16	
E6	5	3		5,09	3,12		0,09	0,12	
S2	10	5		10,03	5		0,03	0	
S1	5	5		4,87	4,57		0,13	0,43	
P3	5	5		5,06	5,11		0,06	0,11	
P2	10	5	10	10,3	4,91	10,05	0,3	0,09	
P1			3			3,16	0	0	0,16
Y	10		10	9,51		9,87			0,13
Ortalama Hata							0,15	0,15	0,10
Standart Sapma							0,17	0,15	0,06

Yukarıdaki sonuçlarda görüleceği üzere 0,4 mm nozle ile 0,4 mm kalınlığındaki ince duvar üretilmemiştir. Köprülere bakıldığında çok hafif dökülmeler başlasa da 35 mm uzunluğundaki köprünün de başarı ile üretildiği, eğimli yüzeylerden E6 yüzeyinin alt kısmında bozulmalar olduğu ancak E5'e kadar olanların başarılı şekilde üretildiği görülmüştür.

Uluslararası tolerans değerinin hesaplanmasında Denklem (2.17), Denklem (2.18), Denklem (2.19), Denklem (2.20) kullanılmaktadır. Tablo 2.7'de K faktörü ile birlikte uluslararası tolerans miktarları görülmektedir. Tablo 2.7'de uluslararası tolerans değerlerinin sadece 1 mm'den 80 mm'ye kadar olan ölçüleri verilmiştir. Tablodaki nominal değerler 3150 mm'ye kadar devam etmektedir. K değeri IT5 den küçük kalite grupları için özel belirlenirken, IT5 için 7 , IT6 için 10 ve IT6 den büyük değerler için R5 standart sayı sırası 10 dan itibaren kullanılır.

Tablo 2.7. K faktörü ile birlikte uluslararası tolerans değerleri

Tolerans Grubu	Nominal ölçü (mm)							
	1-3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	K Faktörü
IT01	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	-
IT0	0,5	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,2	-
IT1	0,8	1	1,0	1,2	1,5	1,5	2	-
IT2	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	-
IT3	2	2,5	2,5	3	4	4	5	-
IT4	3	4	4	5	6	7	8	-
IT5	4	5	6	8	9	11	13	7
IT6	6	8	9	11	13	16	19	10
IT7	10	12	15	18	21	25	30	16
IT8	14	18	22	27	33	39	46	25
IT9	25	30	36	43	52	62	74	40
IT10	40	48	58	70	84	100	120	64
IT11	60	75	90	110	130	160	190	100
IT12	100	120	150	180	210	250	300	160
IT13	140	180	220	270	330	390	460	250
IT14	250	300	360	430	520	620	740	400
IT15	400	480	580	700	840	1000	1200	640
IT16	600	750	900	1100	1300	1600	1900	1000
IT17	-	-	1500	1800	2100	2500	3000	1600
IT18	-	-		2700	3300	3900	4600	2500

$$IT=k.i \quad (2.17)$$

$$D= \sqrt{D_{max}.D_{min}} \quad (2.18)$$

$$i=0,45x^3\sqrt{(D+0,001xD)} \quad (2.19)$$

$$i=0,004D+2,1 \quad (2.20)$$

i çarpanı nominal ölçüleri 500 mm den küçük değerler için Denklem (2.18) daha büyük nominal ölçüler için Denklem (2.20) kullanılmaktadır.

D değeri ölçülen değerın üst ve alt değerlerinin geometrik ortalaması alınarak Denklem (2.18) ile bulunur.

Bu tezde geliştirilen test modelinde ölçüler tolerans tablosundaki nominal ölçü değerleri 3 mm ile 6 mm arasındaki gruplandırmaya uyması için özellikle o değerler arasında seçilmiştir.

Yukarıdaki denklemlerden ve Şekil 2.41 den yararlanılarak yapılan hesaplamalar da X,Y,Z eksenlerinde ve ortalama uluslararası tolerans değerleri IT13,IT14, IT12 ve bunların ortalaması IT13 olarak hesaplanmıştır. [13] çalışmasında farklı hammaddeler ile yapılan metal 3B yazdırma çalışmasında X-Y-Z eksenlerindeki hatalara bağlı olarak uluslararası tolerans değerleri IT15,IT14 ve IT15 olarak hesaplanmıştır. [14] Çalışmasında 3B baskı işlemi ile kalıp üretimi hakkında yapılan araştırma sonuçlarına göre IT14,IT14 ve IT 15 olarak hesaplanmıştır. Bunlarla birlikte [12] çalışmasında folda rebrap FDM 3B yazıcı ile yapılan çalışmada uluslararası tolerans değeri IT14 olarak hesaplanmıştır.

Önceki çalışmalar ile bu tez de elde edilen veriler karşılaştırıldığında 3B delta yazıcının boyutsal doğruluk değerleri açısından önceki çalışmalardan daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. En göze çarpan başarısı Z eksenı üzerindeki hata miktarının diğer yazıcı türlerinden daha düşük olmasıdır. Delta yazıcıların X-Y-Z eksenlerindeki hata oranları Tablo 2.6 da görüldüğü gibi birbirlerine yakındır.

Tablo 2.6. da ölçüm sonuçlarına baktığımızda S1,S2 ve S3 silindirlerinin yarıçap hata miktarlarının 0,03 mm, 0,13 mm ve 0,13 mm olduğu ortalamasının da 0,1 mm olduğu görülebilir. Delta yazıcıların dairesel hata miktarının 0,1 mm olduğunu söyleyebiliriz.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında 3B FDM yazıcıların X-Y-Z yönlerindeki doğruluğunu ve daha önceden olmayan köprü oluşturma ve eğimli yüzey oluşturma becerilerini test etmeye yönelik pratik bir test modeli tasarlanmıştır. Tasarlanan bu model hem üretim süresi, hem kullanılan malzeme miktarı hem de sağladığı veriler açısından önceki modellerden farklı ve daha kullanılabilir. Hazırlanan 3B FDM Delta yazıcı ile test modeli üretilmiş ve daha önce 3B delta yazıcılar ile ilgili yapılmamış olan doğruluk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar [9] ve [12] çalışmalarındaki kartezyen FDM yazıcılarla karşılaştırılmıştır. 3B delta yazıcının daha hızlı ve daha doğru çıktılar verdiği görülmüştür. Bunlarla birlikte yazıcıların değerlendirmesi işleminde yardımcı olmak ve sonraki çalışmalara veri sağlamak amacı ile uluslararası tolerans tablosuna göre 3B Delta yazıcının tolerans sınıfı hesaplanmıştır. 3B delta yazıcı yapımı ve ayarları ile ilgili de literatüre katkı sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://surveys.peerproduction.net/2012/05/manufacturing-in-motion/>
(Ziyaret tarihi : 04 Mart 2017)
- [2] Berman B., 3-D printing: The new industrial revolution, *Business Horizons*, 2012, **5(2)**,155-162.
- [3] Barnatt C., 3D Printing: The Next Industrial Revolution, 3D Printing, ExplainingTheFuture.com, (Ziyaret Tarihi: 01 Mart 2017).
- [4] Chua C. K., Hong K. H., Ho S. L., Rapid Tooling Technology, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, DOI:10.1007/s001700050108
- [5] Landoni B., 3Drag is now printing with Chocolate!, <https://www.open-electronics.org/3drag-is-now-printing-with-chocolate/> (Ziyaret Tarihi : 06. Mart 2017)
- [6] Kechagias J., Investigation of LOM process quality using design of experiments approach, *Rapid Prototyping Journal*, DOI: 10.1108/13552540710824823
- [7] <http://reprap.org/> (Ziyaret tarihi :20 Mayıs 2017)
- [8] Grimm T., Fused deposition modeling: A technology evaluation, *Time Compression Technologies*, 2003, **2(2)**,1-6
- [9] Decker N., Yee, A Simplified Benchmarking Model for the Assessment of Dimensional Accuracy in FDM Processes, *Int. J. Rapid Manufacturing*, 2015, **5(2)**,145–154
- [10] Mahesh M., Wong Y. S., Fuh J. Y. H., Loh H. T., Benchmarking for Comparative Evaluation of RP Systems and Processes, *Rapid Prototyping Journal*, DOI: 10.1108/13552540410526999
- [11] Christian. P., Spath S., Seitz H., Characterization and Evaluation of a PMMA-Based 3D Printing Process, *Rapid Prototyping Journal*, DOI : 10.1108/13552541311292718.
- [12] Sanchez A. C, Boudaoud H., Muller L. & Camargo M., Towards a standard experimental protocol for open source additive manufacturing. *Virtual and Physical Prototyping*, DOI: 10.1080/17452759.2014.919553
- [13] Dimitrov D., Wijck W. V., Schreve K., Beer N. D., Investigating the achievable accuracy of three dimensional printing, *Rapid Prototyping Journal*, DOI: 10.1108/13552540610637264

- [14] Bassoli E., Gatto A., Iuliano L., Violante M. G., 3D printing technique applied to rapid casting, *Rapid Prototyping Journal*, DOI: 10.1108/13552540710750898
- [15] Ishengoma F. R., Mtaho A. B., 3D Printing: Developing Countries Perspectives, *International Journal of Computer Applications* , DOI:10.5120/18249-9329
- [16] Wong K. V, Hernandez A., A Review of Additive Manufacturing, *Mechanical Engineering*, DOI: 10.5402/2012/208760
- [17] <https://www.arduino.cc/> (Ziyaret tarihi : 22 Mayıs 2017)
- [18] <https://www.repetier.com/> (Ziyaret tarihi : 22 Mayıs 2017)
- [19] <http://www.stratasys.com> (Ziyaret tarihi : 16 Mart 2017)
- [20] <http://marlinfw.org/> (Ziyaret tarihi :13 Mart 2017)
- [21] <http://www.arcam.com/> (Ziyaret tarihi :15 Mart 2017)
- [22] <https://www.3dhubs.com/> (Ziyaret tarihi : 25 Mart 2017)

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] Küçük S., **Güneş N.**, A New Model for Measuring Dimensional Accuracy, Bridging and Overhang Performance of FDM 3D Printers, *5th International Conference on Advanced Technology & Sciences*, İstanbul, Türkiye, 9-12 Mayıs 2017.
- [2] Küçük S. , **Güneş N.**, Performance Evaluation of Delta Type 3D Printer Considering the International Tolerance Value, *5th International Conference on Advanced Technology & Sciences*, İstanbul, Türkiye, 9-12 Mayıs 2017.



ÖZGEÇMİŞ

1979 Kırcaali doğumludur. İlk, orta ve lise öğrenimini Bursa'da tamamladı.1996 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Bilgisayar Öğretmenliği lisans eğitimini 2001 yılında mezun olarak tamamladı. 2001 yılından itibaren M.E.B'e bağlı meslek liselerinde Bilişim Teknolojileri Öğretmeni olarak görev yapmaktadır. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Bilişim Sistemleri Mühendisliğinde yüksek lisansa başlamıştır.

