KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜÇ BOYUTLU YAZICIYLA AYAK BİLEĞİ ORTEZİNİN TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

LEVENT AYDIN

KOCAELİ 2014

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

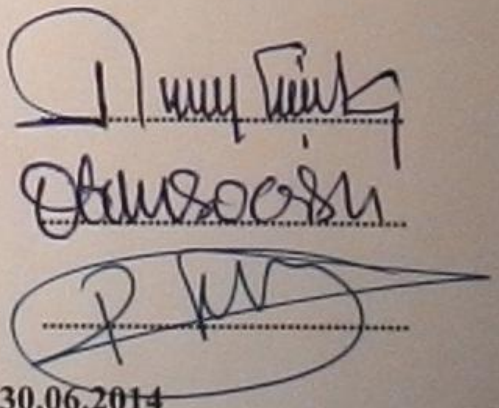
ÜÇ BOYUTLU YAZICIYLA AYAK BİLEĞİ ORTEZİNİN TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

LEVENT AYDIN

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: 30.06.2014

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

3 boyutlu yazıcı ve tarayıcı teknolojilerinin hayatımıza girmesi ile bu teknolojilerden Biyomedikal alanında faydalanmak üzere biyomalzeme sınıfına giren ayak bileği ortezinin, 3 boyutlu bir ortamda özgün olarak tasarlanması, açık kaynak kodlu donanım ve yazılımın iyileştirilerek 3 boyutlu yazıcıda çıktısının alınması, pek çok biyomalzemenin 3 boyutlu yazıcılarla yazdırılabileceğini kanıtlamıştır.

3 boyutlu yazıcıyla ayak bileği ortezinin tasarımı ve geliştirilmesi konusunda hayatım boyunca emeği geçen tüm hocalarıma, bana çalışma fırsatı veren, destekleyen ve daima başarılı olacağıma inanan değerli hocam Doç. Dr. Serdar KÜÇÜK'e teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca beni destekleyen Babam Bülent AYDIN'a, Annem Fatma AYDIN'a ve Ablam Aslı ÇOBANOĞLU'na da sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Haziran - 2014 Levent AYDIN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ v
TABLOLAR DİZİNİ x
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR xi
ÖZET xii
ABSTRACT xiii
GİRİŞ 1
1. TANIMLAR 2
2. TEMEL KAVRAMLAR 3
2.1. 3B Yazdırılabilir Modeller 3
2.2. 3B Baskı 3
2.3. Tamamlama 4
3. KATKI İŞLEMLERİ 6
3.1. Ekstrüzyon Biriktirme 8
3.2. Granül Malzemeleri Birleştirme 9
3.3. Laminasyon 10
3.4. Fotopolimerizasyon 10
3.5. Maske-Görüntü-Projeksiyon Tabanlı Stereolitografi 11
4. YAZICILAR 13
4.1. Sanayi Kullanımı 13
4.2. Tüketici Kullanımı 13
5. UYGULAMALAR 16
5.1. Sanayi Kullanımları 16
5.1.1. Hızlı prototiplendirme 16
5.1.2. Hızlı üretim 17
5.1.3. Kitlesel bireyselleştirme 18
5.1.4. Seri üretim 18
5.1.5. Roket motoru yanma odaları 19
5.2. Eve Ait ve Amatör Kullanımlar 19
5.3. Giyim 20
5.4. Gözlük 20
5.5. Bio Yazdırma 20
5.6. Tıbbi Konsültan ve İmplant İçin 3B Yazdırma 21
5.7. 3B Yazdırma Hizmetleri 21
5.8. Yeni Uygulamalar İçin Araştırma 21
5.9. Eğitim 23
6. FİKİR HAKKI 25
7. 3B YAZDIRMANIN ETKİLERİ 26
7.1. Uzay Keşfi 26
7.2. Sosyal Değişim 26
7.3. Ateşli Silahlar 27
7.4. Otomotiv Kullanımı 27

8. ÜLKEMİZDEKİ GELİŞMELER 28
8.1. 3B Doku ve Organ Basımı Projesi 28
8.1.1. Proje hakkında 29
8.2. GnexLab 30
8.3. 3D Printer Workshop 30
9. DÜNYADAKİ GELİŞMELER 32
9.1. Yeni Vücut Parçaları 32
9.1.1. Zorluk dereceleri 33
9.1.2. İnsan organlarına artan ihtiyaç 34
9.1.3. 3b organ basımı 34
9.1.4. Atılır organların yeniden kullanılması 35
9.1.5. Fikri mülkiyetin görevi 35
9.1.6. İşbirlikçi araştırma 35
9.2. 3B Kan Damarı Basımı 36
9.3. 3B Kulak ve Karaciğer Basımı 37
9.4. 3B Kemik Basımı 38
9.5. Dünyadaki Diğer Önemli Gelişmeler 39
9.5.1. Tüketici kullanımı 39
9.5.1. Üretici kullanımı 42
9.5.3. Bio yazdırma 45
10. 3B YAZICILAR ve BİYOMEDİKAL UYGULAMALARI ÜZERİNE GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMALAR 48
10.1. Dünyanın İlk 3B Yazıcı Kasası 48
10.2. Donanımda Yapılan Değişiklikler 49
10.3. Kişisel Deneyimin Kazanılması 50
10.4. AFO (Ankle-Foot Orthosis) 51
10.4.1. Dinamik afo (dafo, dynamic ankle-foot-orthosis) 51
10.4.2. Rijit afo 52
10.4.3. Eklemli (menteşeli) afo 52
10.4.4. Yer tepkili afo (grafo, ground reaction afo; veya fro, floor reaction orthosis) 53
10.5. Üç Boyutlu Yazıcıyla Ayak Bileği Ortezinin Tasarımı ve Geliştirilmesi 53
11. MM 1.5 MONTAJ, KALİBRASYON, KONFİGÜRASYON 56
11.1. Genel Bakış 56
11.2. Versiyonlar 57
11.2.1. MendelMax 1.0 57
11.2.2. MendelMax 1.5 57
11.2.3. MendelMax 2.0 58
11.3. MendelMax 1.5 BOM 58
11.4. Mekanik Montaj 67
11.4.1. Alt şase montajı 67
11.4.2. Y ekseninin montajı 76
11.4.3. Üst şasenin montajı 88
11.4.4. Ekstrüzyon montajı 94
11.4.5. X ekseninin montajı 99
11.4.6. Z ekseninin montajı 103
11.5. Elektronik Montaj 115
11.6. Yazılım Konfigürasyonu 119

11.6.1. Arduino IDE 120
11.6.2. Repetier ConfigTool 121
11.6.3. Prusa Calculator 124
11.6.4. Repetier Host 130
11.6.5. Slic3r 135
11.6.6. EEPROM ayarları 142
11.6.7. G-Code 143
BULGULAR ve TARTIŞMA 145
SONUÇLAR ve ÖNERİLER 146
KAYNAKLAR 147
EKLER 160
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER 186
ÖZGEÇMİŞ 187

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. 3b model dilimleme 4
Şekil 3.1. Dünya çapında hızlı prototipleme, 2001 6
Şekil 3.2. Audi RSQ 7
Şekil 3.3. Kaynaşmış birikim modelleme 8
Şekil 3.4. CandyFab granül baskı 9
Şekil 3.5. Fotopolimerizasyon 11
Şekil 4.1. RepRap versiyon 2.0 (Mendel) 13
Şekil 4.2. Cupcake CNC 15
Şekil 4.3. Airwolf 3D AW3D v.4 15
Şekil 5.1. 3b sınırlı sayıda basılmış olan takı örneği 17
Şekil 5.2. 3b basılan renkli yüz modelleri 17
Şekil 5.3. Yazımı devam eden bir 3b yazıcı 18
Şekil 5.4. CartesioLDMP 18
Şekil 5.5. MakerBot Replicator 2 20
Şekil 5.6. 3b yazdırılmış VLT bileşeni 23
Şekil 8.1. Bahattin Koç ve ekibi 28
Şekil 8.2. Doku örneği 29
Şekil 8.3. GnexLab 3b yazıcı projesi 30
Şekil 8.4. Atölye İstanbul çalışma ekibi 31
Şekil 9.1. 3b yazdırılmış kemik, kas, kıkırdak 33
Şekil 9.2. Dünyanın ilk mesane implantı 34
Şekil 9.3. Şeker ile 3b kan damarı basımı 36
Şekil 9.4. Regenovo 3b kulak basımı 37
Şekil 9.5. 3b pelvis kemiği basımı 39
Şekil 9.6. 3b yazdırılmış kamera lensi (Thingiverse:yukiSUZUKI) 40
Şekil 9.7. 3b yazdırılmış gitar (Scott Summit) 40
Şekil 9.8. 3b yazdırılmış telefon kılıfı (Mondriaan Case & Card Holder) 40
Şekil 9.9. 3b yazdırılmış tablet standı (SaGa Design) 41
Şekil 9.10. 3b yazdırılmış saat (The Kaleidoscope Clock) 41
Şekil 9.11. 3b basılmış bardak (cunicode) 41
Şekil 9.12. 3b yazdırılmış lamba (Janne Kyttanen) 42
Şekil 9.13. 3b yazdırılmış ayakkabı (Pauline Van Dongen) 42
Şekil 9.14. 3b yazdırılmış elbise (Jiri Evenhuise - Janne Kyttanen) 43
Şekil 9.15. 3b yazdırılmış elbise (Iris van Herpen) 43
Şekil 9.16. 3b yazdırılmış araba (Urbee) 43
Şekil 9.17. 3b yazdırılmış çikolata (Paris, çikolata defilesi) 44
Şekil 9.18. 3b yazdırılmış şeker (3D Systems - ChefJet) 44
Şekil 9.19. 3b basılmış maket (TriAxisArt) 44
Şekil 9.20. 3b yazdırılmış silah (Cody Wilson - DefCad) 45
Şekil 9.21. 3b yazdırılmış heykel (Thomas Jefferson - Smithsonian) 45
Şekil 9.22. 3b yazdırılmış ev (WinSun - China) 45
Şekil 9.23. 3b yazdırılmış yüz (Dr. Andrew Dawood) 46
Şekil 9.24. 3b yazdırılmış çene kemiği (LayerWise - Dr. Jules Pokens) 46

Şekil 9.25. 3b yazdırılmış diş (Xiao Lan) 46
Şekil 9.26. 3b yazdırılmış biyonik kulak (Princeton Üniversitesi - ABD) 47
Şekil 9.27. 3b yazdırılmış protez (Scott Summit) 47
Şekil 9.28. 3b basılmış kol ortezi (Jake Evill) 47
Şekil 10.1. Dinamik AFO 52
Şekil 10.2. Rijit AFO 52
Şekil 10.3. Eklemli AFO 53
Şekil 10.4. Yer tepkili AFO 53
Şekil 10.5. AFO'nun kağıt üzerinde tasarımı 54
Şekil 10.6. AFO'nun 3b modellenmesi 54
Şekil 10.7. AFO modelinin 3b görünüşü 54
Şekil 10.8. AFO'nun 200 mikron çözünürlükte yazdırılması 55
Şekil 11.1. MM 1.5 57
Şekil 11.2. MM 2.0 58
Şekil 11.3. MM 1.5 şasesi 58
Şekil 11.4. MM 1.5 bileşenleri listesi 59
Şekil 11.5. MM 1.5 bileşenleri listesi 2 60
Şekil 11.6. Şase bileşenleri 61
Şekil 11.7. Lineer bileşenler 62
Şekil 11.8. Y ekseni bileşenleri 63
Şekil 11.9. Ekstrüzyon bileşenleri 64
Şekil 11.10. Elektronik bileşenler 65
Şekil 11.11. Şase plastik bileşenleri 66
Şekil 11.12. Y ekseni plastik bileşenleri 66
Şekil 11.13. X ekseni plastik bileşenleri 66
Şekil 11.14. Z ekseni plastik bileşenleri 67
Şekil 11.15. Ekstrüzyon plastik bileşenleri 67
Şekil 11.16. Sigma profil ve T-Slot 67
Şekil 11.17. Bottom Vertex - Lower Right parçası 68
Şekil 11.18. Aynı slota 3 adet T-Slot eklenmesi 68
Şekil 11.19. Bottom Vertex - Lower Left parçası 69
Şekil 11.20. Aynı adımların diğer profile uygulanması 69
Şekil 11.21. T-Slot'ların sigma profildeki konumları 69
Şekil 11.22. Plastiklerin vidalanarak sağlamlaştırılması 70
Şekil 11.23. T-Slot'ların sigma profile eklenmesi 70
Şekil 11.24. Sigma profillerin şase ile birleştirilmesi 71
Şekil 11.25. Sigma profilin şase ile birleştirilmesi 71
Şekil 11.26. Profilin 3 slotuna 2 şer adet T-Slot eklenmesi 72
Şekil 11.27. Sigma profilin şase ile birleştirilmesi 72
Şekil 11.28. İçten görünüşü 73
Şekil 11.29. Profile 2, 3 ve 2 adet T-Slot eklenmesi 73
Şekil 11.30. Sigma profilin şaseye montajı 74
Şekil 11.31. İçten görünüşü 74
Şekil 11.32. Profile 4 ve 2 adet T-Slot eklenmesi 75
Şekil 11.33. Sigma profilin şasenin yan kısmına montajı 75
Şekil 11.34. Sigma profilin şasenin diğer tarafına montajı 75
Şekil 11.35. Alt şasenin montajının tamamlanmış hali 76
Şekil 11.36. Profile 2, 7 ve 2 adet T-Slot eklenmesi 76
Şekil 11.37. Corner Brackets parçalarının montajı 77

Şekil 11.38. Sigma profilin şasenin orta noktasına montajı 77
Şekil 11.39. Sigma profilin şaseye montajı 78
Şekil 11.40. Profilin şasenin orta noktasına montajı 78
Şekil 11.41. Y-Axis Rail'in profil üzerinde hizalanması 79
Şekil 11.42. Y-Axis Rail'in şaseyi ortaladığından emin olunması 79
Şekil 11.43. Y-Axis Rail'in profil üzerine montajı 80
Şekil 11.44. Y-Axis Rail'in şaseyi ortaladığından emin olunması 80
Şekil 11.45. Y-Axis Car'ın, Insulator Plate'e montajı 81
Şekil 11.46. Corner Pieces'ın Insulator Plate'e montajı 81
Şekil 11.47. Corner Pieces üzerindeki somun yataklarının kontrolü 81
Şekil 11.48. Corner Piece parçasının hizalanması 82
Şekil 11.49. Corner Piece üzerine vidaların eklenmesi 82
Şekil 11.50. Corner Piece parçasının yerleştirilmesi 83
Şekil 11.51. Corner Piece parçasının sağlamlaştırılması 83
Şekil 11.52. Insulator Plate üzerine camın yerleştirilmesi 84
Şekil 11.53. Insulator Plate altına ısıtıcının yerleştirilmesi 84
Şekil 11.54. Belt Clap'in Rail Car üzerine montajı 84
Şekil 11.55. Y-Axis Tensioner montajı 85
Şekil 11.56. Y Idler Tensioner'in montajı 85
Şekil 11.57. Y Idler Tensioner'in şaseye montajı 86
Şekil 11.58. Y-Axis Tension Adjustment Screw'in montajı 86
Şekil 11.59. Y Motor Mount'un montajı 86
Şekil 11.60. NEMA 17 step motorun şaseye montajı 87
Şekil 11.61. GT2 Pulley'in motor başına montajı 87
Şekil 11.62. GT2 belt'in izleyeceği yol 87
Şekil 11.63. Vertex parçasına vida ve somun eklenmesi 88
Şekil 11.64. Vertex parçanın profil üzerinde sabitlenmesi 88
Şekil 11.65. Vertex parçalarının profillere montajı 89
Şekil 11.66. T-Slot'ların Vertex üzerinde hizalanması 89
Şekil 11.67. Vertex parçaların T-Slot'lara montajı 89
Şekil 11.68. Sigma profillerin alt şaseye montajı 90
Şekil 11.69. Profillere Self Tapping Blind Screw eklenmesi 90
Şekil 11.70. Sigma profile 2 şer adet T-Slot yerleştirilmesi 91
Şekil 11.71. Sigma profile T-Slot'ların eklenmesi 91
Şekil 11.72. Top Vertex parçalarının montajı 92
Şekil 11.73. Top Vertexes parçalarının montajı 92
Şekil 11.74. Lower Vertex ve Bottom Vertex parçaları 92
Şekil 11.75. Vertex'ler arasındaki mesafenin ölçülmesi 93
Şekil 11.76. Vertex'ler arasındaki mesafenin ayarlanması 93
Şekil 11.77. Upper Vertex parçasının montajı 93
Şekil 11.78. Extruder Groovemount'a 608ZZ eklenmesi 94
Şekil 11.79. Idler Holder parçasının montajı 94
Şekil 11.80. Idler Holder'ın Groovemount'a montajı 95
Şekil 11.81. Hobbed Bolt'un dişlerinin hizalanması 95
Şekil 11.82. Hobbed Bolt'a pul eklenmesi 96
Şekil 11.83. Large Gear'ın Hobbed Bolt'a montajı 96
Şekil 11.84. Groovemount'a somunların eklenmesi 97
Şekil 11.85. Groovemount üzerine vidaların eklenmesi 97
Şekil 11.86. Small Gear parçasının step motora montajı 98

Şekil 11.87. Step motorun Groovemount'a montajı 98
Şekil 11.88. Large Gear ile Small Gear'ın hizalanması 99
Şekil 11.89. Step motorun Groovemount'a montajı 99
Şekil 11.90. Mil yatağının hareketliliğinin kontrolü 100
Şekil 11.91. 608ZZ rulmanların Carriage'e montajı 100
Şekil 11.92. Carriage parçasının millere geçirilmesi 101
Şekil 11.93. X-Axis Motor End'e somunların eklenmesi 101
Şekil 11.94. X-Axis Motor End'in millere montajı 102
Şekil 11.95. X-Axis Idler End'in millere montajı 102
Şekil 11.96. Delrin somunun sabitlenmesi 102
Şekil 11.97. X-Axis Motor End ve X-Axis Idler End'e rulman eklenmesi 103
Şekil 11.98. Z-Axis Motor Mount'un step motora montajı 103
Şekil 11.99. Z-Axis Motor Mount Legs'in montajı 104
Şekil 11.100. Motor Mount parçasının şaseye montajı 104
Şekil 11.101. Kaplinin motora monte edilmesi 105
Şekil 11.102. X ekseni montajının Z-Axis Top Vertex'e hizalanması 105
Şekil 11.103. Z-Axis Rod Clamp'in Z-Axis Top Vertex'e sabitlenmesi 106
Şekil 11.104. Motor Mount ile Rod Clamp'in sabitlenmesi 106
Şekil 11.105. Milin şaseye paralel olduğundan emin olunması 106
Şekil 11.106. Milin şaseye montajı 107
Şekil 11.107. Vidalı milin montajı 107
Şekil 11.108. Vidalı milin motor kaplini ile hizalanması 108
Şekil 11.109. Vidalı milin doğrusal mile montajı 108
Şekil 11.110. X ekseninin paralelliğinin kontrolü 109
Şekil 11.111. Parçaların dizilişi 109
Şekil 11.112. Parçaların X-Axis Idler End'e montajı 110
Şekil 11.113. Motora GT2 kasnağının montajı 110
Şekil 11.114. Motorun X-Axis Motor End'e montajı 111
Şekil 11.115. Belt'in Carriage üzerine montajı 111
Şekil 11.116. Belt'in izleyeceği yol 111
Şekil 11.117. Belt'in Carriage üzerine montajı 112
Şekil 11.118. Belt'in X ekseni ile paralelliğinin kontrolü 112
Şekil 11.119. Groovemount'a somunların eklenmesi 113
Şekil 11.120. Hotend parçasının Carriage üzerine montajı 113
Şekil 11.121. Ekstrüzyon montajının hizalanması 114
Şekil 11.122. Idler Holder ve Groovemount arasındaki mesafenin ayarlanması 114
Şekil 11.123. Megatronics v2.0 115
Şekil 11.124. Megatronics v2 üstten görünüşü 116
Şekil 11.125. Megatronics v2 pinleri 117
Şekil 11.126. Megatronics v2 bağlantı diyagramı 117
Şekil 11.127. Megatronics v2 dual ekstrüzyon 118
Şekil 11.128. LCD bağlantı diyagramı 118
Şekil 11.129. Optik switch bağlantısı 118
Şekil 11.130. Mekanik Switch bağlantısı 119
Şekil 11.131. Jumperların yerleşimi 119
Şekil 11.132. Arduino IDE 120
Şekil 11.133. Yazılımın indirilmesi ve kurulması 120
Şekil 11.134. Port ve kontrol kartı seçimi 121

Şekil 11.135. Repetier ConfigTool yardımı ile Firmware oluşturulması..... 121
Şekil 11.136. Genel yazıcı ayarları 122
Şekil 11.137. Yazdırma boyutunun ayarlanması 122
Şekil 11.138. Mekanik ayarları 123
Şekil 11.139. X ekseni motor ayarları..... 123
Şekil 11.140. Prusa Calculator 124
Şekil 11.141. Y ekseni motor ayarları..... 124
Şekil 11.142. Z ekseni motor ayarları 125
Şekil 11.143. Switch ayarları 125
Şekil 11.144. Hotend pozisyonu ayarları 126
Şekil 11.145. Sıcaklık ayarları 126
Şekil 11.146. Ekstrüzyon sıcaklık ayarları..... 127
Şekil 11.147. Isıtıcı, sensör ve pin ayarları 127
Şekil 11.148. Fan, SD Kart ayarları 128
Şekil 11.149. Soğutma ayarları 128
Şekil 11.150. Kullanıcı arayüzü 128
Şekil 11.151. Firmware'in indirilmesi 129
Şekil 11.152. Firmware'in Arduino IDE'de görüntülenmesi 129
Şekil 11.153. Firmware'in kontrol kartına yüklenmesi 130
Şekil 11.154. Repetier Host 130
Şekil 11.155. Repetier Host yazılımının indirilmesi ve kurulması 131
Şekil 11.156. Repetier ana ekran görüntüsü..... 131
Şekil 11.157. Repetier yazıcı ayarları 132
Şekil 11.158. Genel yazıcı ayarları 132
Şekil 11.159. Yazdırma boyutu ayarları 133
Şekil 11.160. Gelişmiş ayarlar 133
Şekil 11.161. Slic3r ayarları..... 134
Şekil 11.162. Gcode üretici seçimi 134
Şekil 11.163. Slic3r katman ayarları 135
Şekil 11.164. Model içi doldurma ayarları..... 135
Şekil 11.165. Hız ayarları 136
Şekil 11.166. Kenarlık ayarı..... 136
Şekil 11.167. Desen ayarları 137
Şekil 11.168. Hatırlatma notları 137
Şekil 11.169. Çıktı ayarları 138
Şekil 11.170. Çoklu yazdırma başlığı ayarları 138
Şekil 11.171. Gelişmiş ayarlar 139
Şekil 11.172. Filaman ayarları 139
Şekil 11.173. Soğutucu ayarları 140
Şekil 11.174. Yazdırma boyutu ayarları 140
Şekil 11.175. Gcode ayarları..... 141
Şekil 11.176. Ekstrüzyon ayarları 141
Şekil 11.177. Eeprom ayarları..... 142
Şekil 11.178. G-Code..... 143
Şekil 11.179. Manuel kontrol..... 144

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. 3b baskı teknolojileri 7

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

dpi : Dots per inch (Bir inçkaredeki nokta sayısı), (nokta)
μ : Mikron, (μm)

Kısaltmalar

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 Deposing Modelling (Erimiş Birikimi Modelleme)
FOSH : Free Open Source Hardware (Açık Kaynak Kodlu Donanım)
GPL : General Public License (Genel Kamu Lisansı)
IP : Intellectual Property (Fikri Mülkiyet)
LOM : Laminated Object Manufacturing (Laminalı Nesne İmalatı)
RM : Rapid Manufacturing (Hızlı Üretim)
RP : Rapid Prototyping (Hızlı Prototipleme)
SLA : Stereolitography (Stereolitografi)
SLM : Slective Laser Melting (Seçici Lazer Ergitme)
SLS : Selective Laser Sintering (Seçici Lazer Sinterleme)
STL : Stereolitografi Dosya Uzantısı
PLA : Polylactic Acid (Polilaktik Asit)

ÜÇ BOYUTLU YAZICIYLA AYAK BİLEĞİ ORTEZİNİN TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Üç boyutlu yazıcılar, günümüzde birçok alanda kullanılan ve hızla gelişen bir teknolojidir. Bu tez çalışmasında, öncelikle bir üç boyutlu yazıcı açık kaynak donanımın geliştirilmesiyle imal edildi ve açık kaynak yazılımının iyileştirilmesiyle kontrol edildi. Daha sonra bu üç boyutlu yazıcıyı kullanarak ayak bileği ortezi (ankle-foot orthosis, AFO) üretildi.

Açık kaynak donanım kullanarak imal edilen üç boyutlu yazıcıda parçaların uyumsuzluğu ve eksen kaçıklığı gibi bir takım problemler ortaya çıktı. Bu tip problemler üç boyutlu yazıcının mekaniğinde bazı değişimlerin yapılmasını gerektirdi. X, Y ve Z eksenlerindeki eklem kaçıklığını gidermek için gerekli parçalar yerli imkânlarla mümkün olduğu kadar rijit üretildi. Bu değişimler sonucunda üretilen yazıcı ile 100 mikron çözünürlükte bir çıktı elde edilmiştir.

İnsan yürümesi için son derece önemli olan ayak bileği ortezleri deformasyonları önlemek ve bilek hareketini kontrol etmek için üretilir. Bir AFO genellikle zayıf bacağı korumak, bilek ve ayağı doğru pozisyonda tutmak ve adım atmayı düzeltmek amaçları için kullanılır. Son kullanıcı farklı boyutlarda bilek ve farklı tipte deformasyonlara sahip olabileceğinden bir AFO son kullanıcının ayağına tam uygun bir şekilde üretilmelidir. Dolayısıyla seri üretilen AFO'lar her bir son kullanıcı için uygun olmayabilir. Bu durum göz ününde bulundurulduğunda üç boyutlu yazıcılar kişiselleşmiş biyomedikal cihaz üretiminde öne çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında, özel bir AFO öncelikle bir CAD yazılımı ile modellendi ve daha sonra bu model geliştirilen yazıcıyla üretildi. Bu çalışma literatürde bilinen üç boyutlu yazıcı ile gerçekleştirilen ilk ayak bileği ortezidir. Ayrıca bu çalışma üç boyutlu yazıcılarla biyomedikal malzemelerin daha kaliteli ve daha ekonomik bir şekilde üretilebileceğini kanıtlamıştır.

Anahtar Kelimeler: 3B Yazıcı, AFO, Ayak Bileği Ortezi, DIY, RepRap.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF ANKLE FOOT ORTHOSIS BY MEANS OF THREE DIMENTIONAL PRINTERS

ABSTRACT

Three dimensional (3D) printer technologies are rapidly developing and increasingly being used in several fields. In this thesis, as a first step a 3D printer is constructed by modifying open source hardware and controlled by improving open source software. Subsequently, an ankle foot orthosis (AFO) is designed and constructed by using this 3D printer.

Some problems such as axes offsets and incompatible parts have come out after constricting 3D printer by using open source hardware. These kinds of problems were required some changes in the mechanics of 3D printer. The required parts that eliminate the offsets in X, Y and Z axes were produced as rigid as possible. A printout with 100 micron resolution is obtained by using constructed 3D printer that uses 3mm filament and a nozzle having 0.5mm diameter.

The ankle foot orthosis, very important for human walking, is designed to control motion of the ankle and prevents deformities. An AFO can generally be used for following purposes: brace weak limbs, grasp ankle and foot in the right potion and correct the foot drop. Since the users have different sizes of ankles and different types of deformities, an AFO must be produced to match in size to the end-user. Therefore mass production AFOs may not suitable for the each end user. Considering these factors, 3D printers are of great importance for producing individualized biomedical equipment. In this thesis, a distinctive ankle foot orthosis is first modelled by using CAD software and then produced by using constructed 3D printer. This AFO is the first orthosis produced by a 3D printer in the literature. This study is a proof that biomedical equipment can be produced with higher quality and cheaper price by using 3D printers.

Keywords: 3D Printer, AFO, Ankle Foot Orthosis, DIY, RepRap.

GİRİŞ

3b baskı [1], herhangi bir yerden hazır olarak bulunabilen ya da kişisel olarak oluşturulan 3 boyutlu bir modelin, madde olarak çıktısının alındığı işlemdir. Elde edilen bu maddesel çıktı, iki boyutlu katmanların ardışık olarak sıralanmasından oluşur. 3b baskı, kesme ve delme yöntemleri ile malzemenin çıkarılmasına dayanan geleneksel işleme tekniklerinden farklı kabul edilir.

3b yazıcı, bilgisayar kontrolü altında üç boyutlu maddesel çıktı alabilen bir endüstriyel robot türüdür [2].

3b baskı teknolojisi, 1980'lerden bu yana var olmasına rağmen 2010'dan sonra piyasada yaygın olarak kullanılmaya başlandı. 3b yazıcılar, önceleri pahalı ve kullanımı beceri gerektiren cihazlardı [3]. İlk çalışan 3b yazıcı, Chuck Hull tarafından 1984 yılında oluşturuldu [4]. 21. yüzyıldan günümüze kadar bu makinelerin satışlarında büyük bir artış olmuş ve bunların fiyatları önemli ölçüde düşmüştür [5].

3b yazıcılar, günümüzde hemen hemen bütün 3b modelleme yazılımlarından ortak olarak çıktı alınabilen .STL (Stereolitografi) uzantısını kullanır.

3b baskı teknolojisi, endüstriyel tasarım (araba), mühendislik, mimarlık (ev), askeri, medikal sektörü (ortez, protez), biyoteknoloji (insan dokusunun yenilenmesi), moda (ayakkabı, elbise), gıda (pasta, et) ve diğer birçok alanda kullanılır [6].

3b baskı teknolojisinde yazdırma işlemi, erimiş birikimi modelleme (FDM), inkjet malzeme biriktirme, sinterleme (SLS - seçici lazer sinterleme, DLMS - doğrudan lazer metal sinterleme), seçici lazer ergitme (SLM), laminalı nesne imalatı (LOM) ve benzeri üretim teknikleri kullanılarak gerçekleştirilir [7,8].

Açık kaynak kodlu yazıcılar, kendi parçalarını üretebilir [9]. Ayrıca 3b yazıcılar ile tek seferde çalışan parçaların (ingiliz anahtarı) çıktısı da alınabilir.

3b yazıcılar, tüketimi azaltarak üretimi arttırmaktadır [10].

1. TANIMLAR

Katkılı üretim terimi, sıralı katmanlar sayesinde 3 boyutlu nesne oluşturma teknolojilerini ifade eder.

Eksiltme ile imalat terimi, bir maddenin, malzeme çıkarmaya dayalı olarak işlenmesidir.

Stereolitografi terimi, Charles W. Hull tarafından 1984 yılındaki bir patentinde üç boyutlu nesnelerin, enine kesitler oluşturularak üretilmesine yönelik bir işlem olarak tanımlanmıştır [11,12].

Dövme, perçinleme ve kaynak işleme katkılı üretim tekniklerine, delme, taşlama ve frezeleme de eksiltme ile imalat tekniklerine örnektir. 3b baskı ise katkılı üretim tekniklerinin stereolitografi işlemi ile gerçekleştirilmesidir.

Katkılı üretim terimi 2000'li yıllardan sonra yaygınlaşmaya başlamıştır [13]. İlk metal parçaları, 2010'lu yıllarda motor destekleri ve büyük somunların üretilmesiyle gerçekleştirilmiştir [14,15].

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1. 3B Yazdırılabilir Modeller

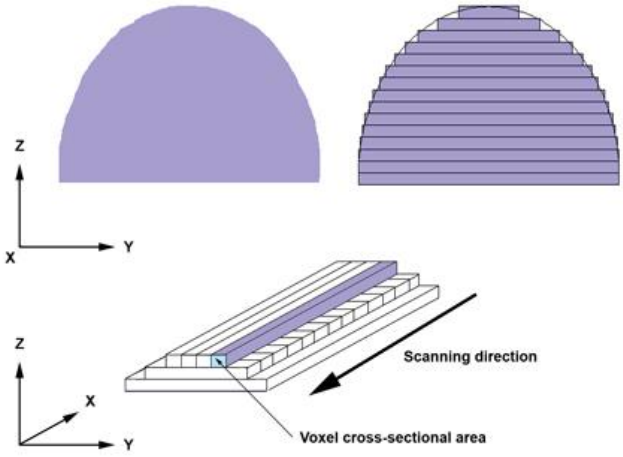
3b yazdırılabilir modeller, bir bilgisayar destekli tasarım yazılımı ya da 3b tarayıcı aracılığıyla oluşturulan, nesneye ait dijital çizimlerdir. Elle modelleme süreci, gerçek nesneye ait geometrik verileri ve 3b tarama da gerçek nesneye ait dijital 3 boyutlu noktalar kümesini ifade eder.

3b modellerin manuel (el) ya da otomatik (3b tarayıcı) oluşturulması herkes için mümkün olmamaktadır. Son yıllarda birkaç 3b baskı pazarının ortaya çıkması bundandır. Bu platformlar insanlara ücretli ya da ücretsiz olarak milyonlarca 3b yazdırılabilir model sunmaktadır. En popülerleri arasında Shapeways, Thingiverse ve Threeding yer alır [16-18].

2.2. 3B Baskı

Bir baskı gerçekleştirmek için, makine, 3b yazdırılabilir dosyayı (.STL dosyası) okur ve bir dizi enine kesitlerden model oluşturmak için sıvı, toz veya katman malzemeleri birbiri ardına yerleştirir.

CAD (Computer Aided Design - Bilgisayar Destekli Tasarım) modelinin enine kesitlere ayrılmasıyla elde edilen bu katmanlar, katkı işlemleriyle ya da kendiliğinden kaynaşarak gerçek nesnenin şeklini oluşturur. Stereolitografi tekniği, herhangi bir şekli oluşturabilme yeteneğidir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi stereolitografi, 3b bir modeli iki boyutlu katmanlara ayırır.



Şekil 2.1. 3b model dilimleme

Yazıcı çözünürlüğü, katman kalınlığı ve dpi (dots per inch - inç başına nokta) olarak XY çözünürlüğü ya da mikrometre (µm) ile ifade edilir. Object Connex serisi ve 3D Systems ProJet serisi gibi bazı makineler 16 mikrona (1,600 DPI) kadar ince tabakalar yazdırabilmesine rağmen tipik tabaka kalınlığı yaklaşık olarak 100 µ (250 DPI) dur [19].

Bir model basımı, kullanılan yönteme, modelin boyutuna ve karmaşıklığına bağlı olarak, birkaç saatten birkaç güne kadar sürebilir. Bütün bu parametrelerin dışında makinenin modeli, tipi, mekaniği, elektroniği ve yazılım konfigürasyonu da yazım hızını ve çözünürlüğü etkilemektedir.

Enjeksiyon kalıplama gibi geleneksel teknikler, ürünlerin seri imalatı için uygun maliyetli olabilir ancak katkı üretimi, nispeten küçük miktarlarda parçalar üretilirken daha hızlı, daha esnek ve daha ucuzdur.

3b yazıcılar tasarımcılara, istedikleri parçaları üretme yeteneği verir. Üretilecek nesneler, tasarımcıların hayal güçleriyle şekillenir.

2.3. Tamamlama

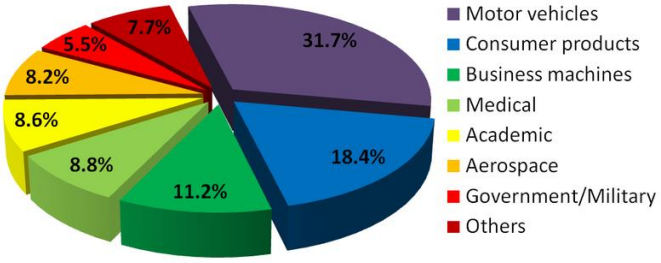
Yazıcı ile üretilen nesnelerin çözünürlükleri pek çok uygulama için yeterli olmasına rağmen, nesne, istenen boyutta ölçeklendirilebilir ya da daha yüksek çözünürlükte yazdırılabilir [1].

Bazı katkı üretim teknikleri parçaların üretimi süresince birden fazla malzeme kullanma yeteneğine sahiptir. Bazıları aynı anda birden fazla renk ve renk kombinasyonları yazdırabilir. Bazıları da oluşturulurken destekler kullanmaktadır. Destekler baskı tamamlanınca çıkartılabilir veya eriyebilir ve yapım sırasında sarkan yapıları desteklemek için kullanılır.

3. KATKI İŞLEMLERİ

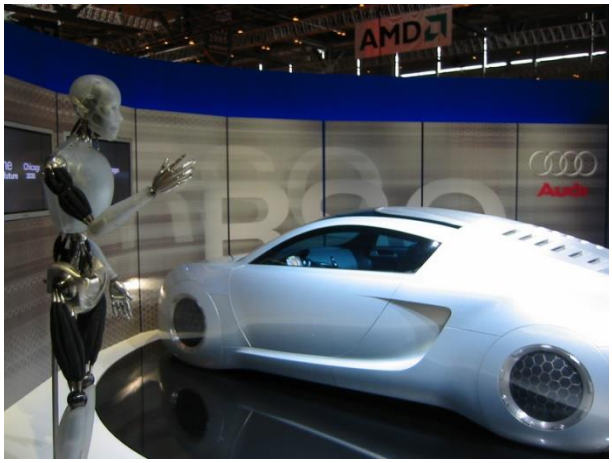
1970'lerden sonra birkaç farklı 3b baskı işlemleri icat edilmiştir. Yazıcılar önceleri büyük, pahalı ve neler üretebileceği konusunda sınırlı cihazlardı [3].

Şu anda çok sayıda katkı işlemleri mevcuttur. Selektif lazer eritme (SLM) ya da doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS), selektif lazer sinterleme (SLS), erimiş birikimi modelleme (FDM) gibi bazı yöntemler katmanların üretilmesi için malzemeyi eritirken ya da yumuşatırken, diğer metotlar stereolitografi (SLA) gibi farklı gelişmiş teknolojileri kullanarak sıvı malzemeleri (reçine) birleştirir. Tablo 3.1'de görüldüğü gibi baskı teknolojileri sınıflandırılabilir. Her yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır [21]. Bir makine seçerken, hız, çözünürlük, 3b yazıcı maliyeti, sarf parçaların maliyeti ve kalitesi ile renk kabiliyeti önemli hususlardır [22]. Şekil 3.1'de dünya genelinde hızlı protiplemenin kullanıldığı alanlar görülmektedir.



Şekil 3.1. Dünya çapında hızlı prototipleme, 2001 [20]

Metal çıktı veren cihazlar pahalıdır. Metal üretimi için açık kaynak kodlu metal sinterleme kullanılabilir [23]. Şekil 3.2'de, 3b yazdırılmış araba prototipi görülmektedir.



Şekil 3.2. Audi RSQ

Audi RSQ, endüstriyel KUKA hızlı protipleme robotları ile yapılmıştır.

Tablo 3.1. 3b baskı teknolojileri

Tip	**Teknolojiler**	**Malzemeler**
Ekstrüzyon	Kaynaşmış birikim modelleme (FDM)	Termoplastik (örneğin PLA, ABS), HDPE, ötektik metaller, yenebilir malzemeler, kauçuk (sugru), kil modelleme, plastisin, RTV silikon, porselen, metal kil
Bağlama	Elektron ışını serbest fabrikasyon (EBF_3)	Neredeyse bütün metal alaşımlar
Granüler	Doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS)	Neredeyse bütün metal alaşımlar
	Elektron ışın ergitme (EBM)	Titanyum alaşımları
	Seçici lazer eritme (SLM)	Titanyum alaşımları, kobalt krom alaşımları, paslanmaz çelik, alüminyum
	Seçici ısı sinterleme (SHS) [24]	Termoplastik toz
	Seçici lazer sinterleme (SLS)	Termoplastik, metal tozları, seramik tozları

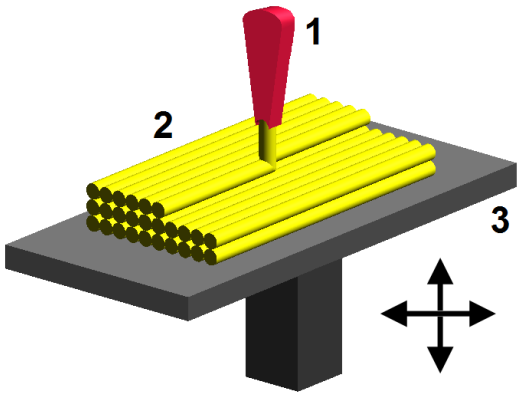
Tablo 3.1.(Devamı) 3b baskı teknolojileri

Toz yatak ve mürekkep püskürtmeli 3b baskı	Alçı tabanlı 3b baskı (PP)	Alçı
Katmanlı	Lamine nesne imalatı (LOM)	Tabaka, metal folyo, plastik folyo
Işık polimerize	Stereolitografi (SLA)	Fotopolimer
	Dijital ışık işleme (DLP)	Fotopolimer

3.1. Ekstrüzyon Biriktirme

Kaynaşmış birikim modelleme (FDM) S. Scott Crump tarafından 1980'lerin sonlarında geliştirildi ve Stratasys tarafından 1990 yılında ticari oldu [25]. Bu teknolojinin patentinin süresinin bitmesi ile günümüzde açık kaynak geliştirme topluluğu ve DIY (Do It Yourself - Kendin Yap) varyantları oluştu. Bu durum, bu teknolojinin ortaya çıkmasından sonra büyük bir fiyat düşüşüne yol açtı.

Erimiş birikimin modellenmesinde, termoplastik filaman ergitilerek katmanların oluşması sağlanır. Yazdırma başlığında bulunan ısıtıcı, filamanı ısıtır ve yazdırma başlığını yatay ve dikey yönde hareket ettirmek için tipik step motorlar kullanılır. Yine yazdırma algoritmaları ve mekaniğiyle yazdırma alanında gereken yere gerektiği kadar filaman ergitilerek katmanlar oluşturulur. Bu mekanizmanın kontrol edilmesinde bir mikrodenetleyici çalıştıran bilgisayar destekli üretim (CAM - Computer Aided Manufacturing) yazılım paketi kullanılır. Şekil 3.3'te FDM baskı teknolojisinin katmanları nasıl oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 3.3. Kaynaşmış birikim modelleme

1 - Erimiş plastik çıkartılırken nozul, 2 - Biriken malzeme (modellenmiş kısım), 3 - Kontrollü hareket eden tabla.

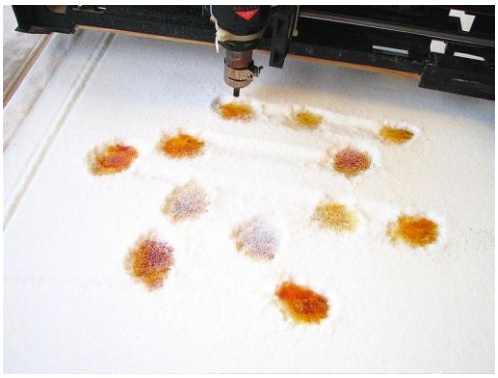
Akrilonitril butadien stiren (ABS), polikarbonat (PC), polilaktikasit (PLA), yoğun polietilen (HDPE), PC/ABS, ve polifenilsülfon (PPSU) gibi çeşitli polimerler filaman olarak kullanılmaktadır. Günümüzde 3 mm ve 1.75 mm çapında filaman ve bu kalınlıkta filaman kullanabilen yazdırma başlıkları üretilmektedir. İsteğe bağlı olarak farklı kalınlıklarda ve farklı maddelerden filaman üretilebilir.

Geri dönüşümlü atıkları işleyerek filamana çevirmeyi hedefleyen pek çok proje bulunmaktadır. Bunlar, plastik malzemeyi parçalayıp filaman halinde presleyen makineleri kullanırlar.

FDM teknolojisinin üretimde bazı sınırlamaları vardır. Örneğin, FDM genelde sarkıt ve benzeri yapıları üretemez çünkü basım süresince bu yapılar desteksiz kalır. Bu tarz sorunları ortadan kaldırmak ikinci bir filaman yani destek elemanı kullanılmalıdır.

3.2. Granül Malzemeleri Birleştirme

Bu teknolojide her bir katman parçasını oluşturan malzemeler seçici bir şekilde birleştirilir. Çalışma alanında bulunan granüller seçici bir şekilde preslenerek ilk katmanı oluşturur. Daha sonra çalışma tablası aşağı doğru hareket ederek üzeri yeni granüller ile kaplanır ve presleme gerçekleşir. Bu işlem, parça bitene kadar tekrar eder. Şekil 3.4'te granül malzemeleri presleyerek birleştiren CandyFab adlı 3b yazıcı görülmektedir. Metal ve polimer (PA, PA-GF, Rijit GF, PEEK, PS, alumid, karbonid, elastomerler) maddeleri birleştirmek için seçici lazer sinterleme (SLS) ve doğrudan lazer metal sinterleme (DLMS) teknolojileri kullanılır.



Şekil 3.4. CandyFab granül baskı

CandyFab, ısınmış hava ve toz şekeri kullanarak kaliteli sanatsal gıdalar üretir.

Seçici lazer sinterleme (SLS), DARPA sponsorluğunun altında, 1980'lerin ortalarında, Austin'de ki Texas Üniversitesinde, Dr. Carl Deckard ve Dr. Joseph Beaman tarafından geliştirilip patentlenmiştir [26]. Buna benzer ve ticarileştirilmemiş bir işlem, 1979'da R. F. Housholder tarafından geliştirilmişti [27].

Seçici lazer eritme (SLM), toz granüllerinin füzyonu için katılaştırmayı kullanmak yerine, yüksek enerjili bir lazer kullanarak, katmanlı bir metot ile tozu seçici bir şekilde eritir.

Elektron demeti eritmesi (EBM), yüksek vakumlu bir elektron demeti ile metal tozunu katman katman eriterek, metal parçaları üretir. Bu teknoloji, metal katılaştırma tekniklerden farklı olup, EBM parçaları çok yoğun, boşluksuz ve çok güçlüdür [28,29].

Inkjet baskı teknolojisinde yazdırma işlemi inkjet başlıklarla gerçekleştirilir. Yazıcı, granülleri (plaster veya reçine) inkjet başlıklardaki her bir delikten yazdırarak yapıştırır ve inkjet'e benzer bir işlemle, birer birer katman modelini oluşturur. Bu işlem son katmana kadar tekrarlanır. Yapışık granül çıktılarının gücü, vaks veya termoset polimer emdirmesi ile arttırılır.

3.3. Laminasyon

Bazı yazıcılarda, yazdırma maliyetini düşürmek için kağıt yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. 1990'larda bazı şirketler, karbondioksit lazeri kullanarak yapışkan kaplamalı kağıttan kesit kesen ve sonra onları lamine eden yazıcıları piyasaya getirdi.

2005'te, Mcor Technologies Ltd, ofis kağıdı şekli kesmek ve bir Tungsten karbit bıçağı ve prototipi bağlamak için basınç ve yapıştırıcıdan oluşan bir kaplamayı kullanan başka bir teknoloji geliştirdi [30].

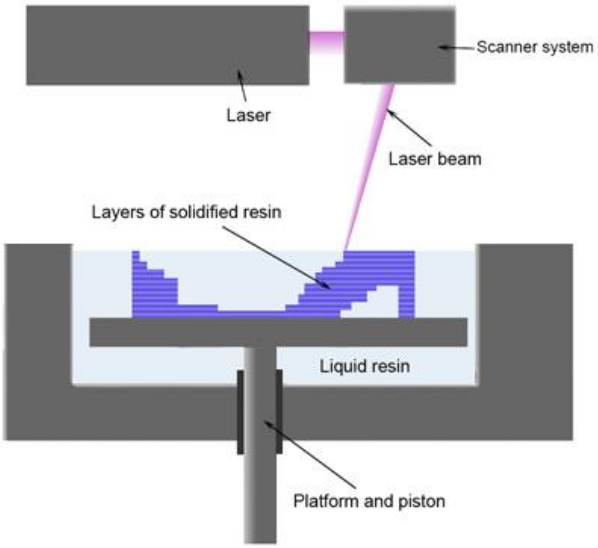
Bu teknoloji ile metal ve ince levhaları yapı malzemesi olarak kullanan yazıcıları üreten şirketler de bulunmaktadır.

3.4. Fotopolimerizasyon

Fotopolimerizasyon öncellikle bir sıvıdan katı bir parça üretmek için stereolitografide (SLA) kullanılmıştır [31]. Bu teknoloji, François Willème'in (1830 - 1905) 1860'da

Photosculpture metodu [32] ve 1974'te Mitsubishi'nin Matsubara fotopolimerizasyonu ile benzerdir [33].

Dijital ışığın (DLP) işlenmesinde, karanlık oda şartlarında, sıvı reçine tankı, DLP projektör ışığına karşı bırakılır. Işığa maruz kalan sıvı polimerler sertleşir. Yazdırma tablasının aşağı doğru hareket etmesiyle sertleşen maddenin yüzeyi reçine ile kaplanır ve sıvı polimer tekrar ışığa maruz bırakılır. Bu işlem, model oluşana kadar tekrarlanır. EnvisionTEC Perfactory [34], DLP hızlı prototipleşme sistemine bir örnektir. Şekil 3.5'te fotopolimerizasyon işlemi görülmektedir.



Şekil 3.5. Fotopolimerizasyon

Multifoton fotopolimerizasyonda kullanılan 3b mikrofabrikasyon yöntemi ile aşırı küçük şekiller yapılabilir. Bu teknolojide, odaklanmış bir lazer kullanılarak istenen 3b nesne, bir jel tankı içerisinde oluşturulur. Fotoeksidasyonun doğrusal olmamasından lazerin odaklandığı yerde jel katı hale gelir ve jelin kalan kısmı ise yıkanır. 100 nm'den küçük olan şekiller, hareketli ve birbirine geçmiş parçaları olan kompleks yapılar bu teknoloji ile kolayca üretilmektedir [35].

Başka bir yaklaşım ise, LED'leri kullanarak sertleşen sentetik bir reçine kullanmaktır [36].

3.5. Maske-Görüntü-Projeksiyon Tabanlı Stereolitografi

Bu teknolojide, 3b dijital model yatay düzlemlerden oluşan bir dizi dilimlere ayrılır. Her bir dilim, iki boyutlu bir maske görüntüye dönüştürülür. Ardından maske görüntü,

ışıkla-kürlenebilir bir sıvı reçine yüzeyine yansıtılır ve katmanları katılaştırmak için yine ışık kullanılır [37].

Basım süresince ışık alttan yansıtılır. Böylece reçine ince katmanları oluşturur ve üretim zamanı saatlerden birkaç dakikaya kadar iner [37].

Bu teknik, farklı oranlarda çeşitli malzemelerden oluşan nesneleri yapmak için kullanılır [37].

Objet Connex gibi piyasada bulunan cihazlar, reçineyi küçük püskürtücü başlıklar vasıtasıyla uygularlar [37].

4. YAZICILAR

4.1. Sanayi Kullanımı

Ekim 2012 itibari ile Amerikan ve İsrailli şirketlerin birleşiminden oluşan Stratasys, 2,000$'dan 500,000$ değerine kadar üretim sistemleri satmaktadır.

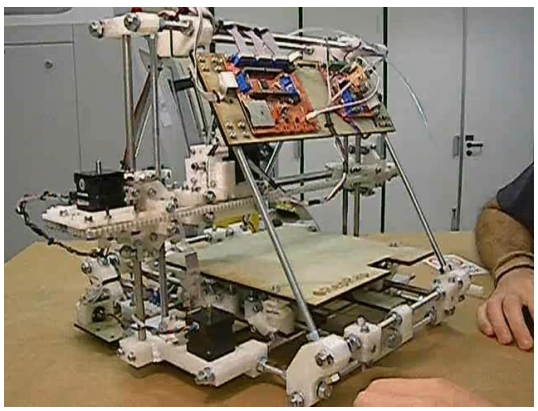
General Electric, türbin parçaları üretimi teknolojisine 1 milyar $'dan fazla yatırım yapmıştır [38].

4.2. Tüketici Kullanımı

Pek çok kullanıcı ve şirket, ev ve masaüstü kullanımı için uygun 3b yazıcı geliştirmektedir. Bu çalışmalar çoğunlukla akademisyenler ve hackerların da yardımıyla DIY (Do It Yourself) benimseyen topluluklarca yürütülür [39].

RepRap, masaüstü yazıcı kategorisinde devam eden en büyük projelerden birisidir. RepRap projesi, açık kaynaklı bir donanım [40] (FOSH - Free Open Source Hardware) üretmeyi hedeflemektedir. Bu projede üretilen tüm donanımlar Genel Kamu Lisansı (GPL - General Public License) altında piyasaya sunulur. RepRap, ürettiği tüm makineler için "kendini kopyalayan imalat makinesi (self-replicating manufacturing machine)" sloganını benimsemiştir [41,42].

RepRap'lerin, metal parçaları üretebilmesi de tespit edilmiştir [43-45]. Şekil 4.1'de RepRap projesi içerisinde yer alan Mendel adlı 3b yazıcı görülmektedir.



Şekil 4.1. RepRap versiyon 2.0 (Mendel)

RepRap'in bugün pek çok çeşitte 3b yazıcısı mevcuttur. Ayrıca her geçen gün bu yazıcılar üzerindeki hatalar kullanıcılar tarafından test edilerek geliştirilmekte ve bir sonraki versiyon olarak insanlara sunulmaktadır. RepRap projeleri sayesinde yazıcıların açık kaynak kodlu olarak geliştirilebilmesi, 3b yazıcı çeşitlerinin icat edilmesini kolaylaştırmaktadır [46,47].

2010'dan bu yana 3b yazıcı fiyatları düşüş yaşamıştır. Önceleri 20,000$ olan makinelerin fiyatları şimdi 1,000$ civarındadır [48]. Birkaç şirket, kullanıcılara 500$'dan başlayan fiyatlarda RepRap yazıcı parçaları satmaktadır [49]. Kullanıcılar bu şekilde parçaları temin ederek yazıcının montajını kendileri yapabilir ve böylelikle çok uygun bir fiyata 3b yazıcı edinebilirler.

Açık kaynaklı Fab@Home projesi [50], çikolata ve silikon gibi enjektör ve benzeri sistemlerle biriktirilebilen yazıcıları geliştirmiştir. Bu yazıcılar 2,000$ civarında olup 2012'den beri kullanıcılara set şeklinde satılmaktadır [49].

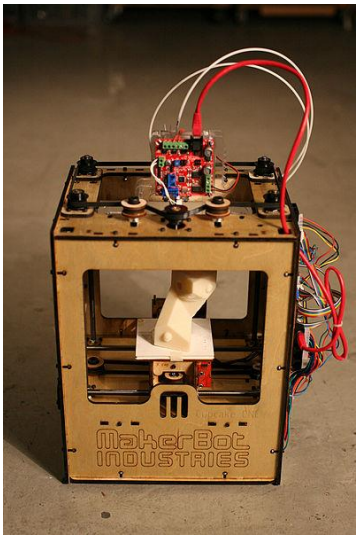
Kickstarter'ın yaptığı Peachy Printer 100$'a tasarlanmış olup mUVe3D ve Lumifold gibi benzer yazıcılar da aynı şekilde ucuz olarak kullanıcılara sunulmaktadır [51].

Profesyonel 3b yazıcılara örnek olarak Rapide 3D'nin tasarladığı ve 1,499$'a satışa sunulan yazıcı verilebilir. Bu yazıcının en büyük avantajlarından birisi de gürültüsüz çalışabilmesidir [52].

3D Doodler firmasının 3D Printing Pen'i (3b baskı kalemi), Kickstarter'da 2,3 milyon $'a ulaşmıştır. 3D Printing Pen 99$'a kullanıcılara satılmaktadır [53,54].

Filastrucer gibi RecycleBots (geri dönüşüm yapan) projeleri, şampuan ve süt ambalajları gibi atık plastikleri, Reprap için ucuz filamanlara dönüştürürler [56]. Bu tarz geri dönüşüm işlemleri çevrenin de korunmasını sağlar [57].

RepRap destekli 3b yazıcıların gelişmesi, tüketici ve küçük işletmelere hizmet sunan yeni bir 3b yazıcı kategorisini oluşturmuştur. Solidoodle [38], RoBo ve RepRapPro gibi üreticiler, Eylül 2012'de aşırı pahalı olup, şimdi 1,000$'dan ucuz olan model paketlerini tüketicilere sunmaktadır [38]. Şekil 4.2'de MakerBot firmasına ait Cupcake CNC adlı cihaz görülmektedir.

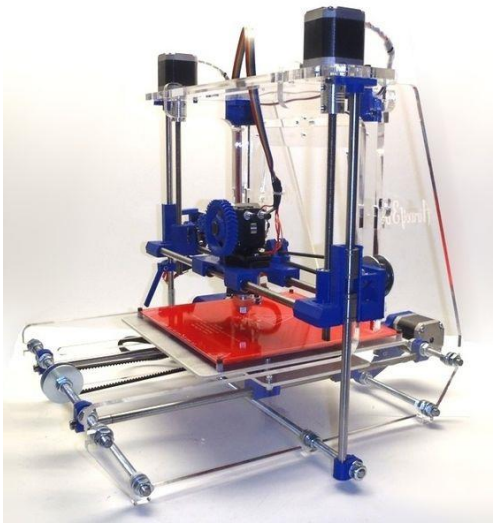


Şekil 4.2. Cupcake CNC

Son zamanlarda 3b yazdırmada üretim hızını arttırmak için TripodMaker gibi delta robotlar [58] geliştirilmiştir. Delta 3b yazıcılarda yazdırmanın hassasiyeti yazdırma başlığının mekaniğine bağlıdır [59].

Bazı şirketler, diğer şirketlerin ürettiği donanımlar için 3b yazılımları sunmaktadır [60].

3b yazıcıların maliyetleri düştüğü için, üretim artık uygun bir duruma gelmiştir [10]. Ayrıca evde gerçekleştirilen 3b baskı işlemi, sanayilerin çevreye verdiği zararları da azaltmaktadır [55]. Şekil 4.3'te Airwold 3D firmasının AW3D adlı modeli görülmektedir.



Şekil 4.3. Airwolf 3D AW3D v.4

5. UYGULAMALAR

3b baskı teknolojisi, üretim maliyetlerini düşürdüğü gibi pek çok alanı da değişik şekillerde etkilemektedir [61].

Katkılı üretim, daha eski uygulamalarda pek tercih edilen bir yöntem değildi. Önceleri sadece çıkarma özelliğine sahip olan yöntemler (yavaş ve pahalı) kullanılırdı. Katkılı üretimin amacı, yeni parça ve cihaz prototiplerinin geliştirilmesinde maliyet ve üretim çıktılarının tesliminde zaman kazandırmaktı. Katkılı üretim her geçen gün iş dünyasında yayılma ve üretim teknolojilerinde de ilerleme kaydetmektedir [62]. Eskiden sadece çıkarma özelliğine sahip olan yöntemlerle üretilen parçalar, şimdi katkılı üretimle daha uygun bir şekilde üretilmektedir.

Uygulama alanları, endüstriyel tasarım, prototiplendirme, metal dökümü, mimarlık, sağlık, coğrafya, eğitim ve eğlenme alanları gibi pek çok alanı içermektedir.

5.1. Sanayi Kullanımları

5.1.1. Hızlı prototiplendirme

Endüstriyel 3b yazıcılar, 1980'lerin öncesinden beri var olan ve hızlı prototiplendirme ve araştırma amacıyla şirketler tarafından kullanılan büyük cihazlardır. Bu makineler genellikle toz halinde bulunan metal, plastik ve benzeri maddeleri sinterleyerek üretimi gerçekleştirir.

Şekil 5.1'de 3b yazdırılmış takı örneği görülmektedir. Bu kolye, cam elyaf doldurulmuş boyalı naylonlardan yapılmıştır. Diğer parçaları ile aynı üretim adımında üretilen döner bağlantıları vardır.



Şekil 5.1. 3b sınırlı sayıda basılmış olan takı örneği

5.1.2. Hızlı üretim

Hızlı üretim (RP - Rapid Prototyping), 3b yazdırmada geçtiğimiz yıllarda kullanılmaya başlanan üretim yöntemidir. 2009 yılında pek çok uzman RP'yi "yeni seviye" teknoloji olarak tanımlamıştır [63]. Bu yöntemin en büyük avantajları az sayıda parça üretiminin gerçekleştirilebilmesi ve ucuz olmasıdır [64].

Seçici lazer sinterleme (SLS) ve doğrudan metal lazer sinterleme (DLMS), RP için geleceği parlak olan baskı teknolojileridir. Şekil 5.2'de 3b yazdırılmış yüz modelleri görülmektedir.



Şekil 5.2. 3b basılan renkli yüz modelleri

5.1.3. Kitlesel bireyselleştirme

Bazı şirketler, basit ve web tabanlı yazılımları kullanarak, müşterilerin nesneleri kişiselleştirebileceği platformları oluşturmuştur [65-67].

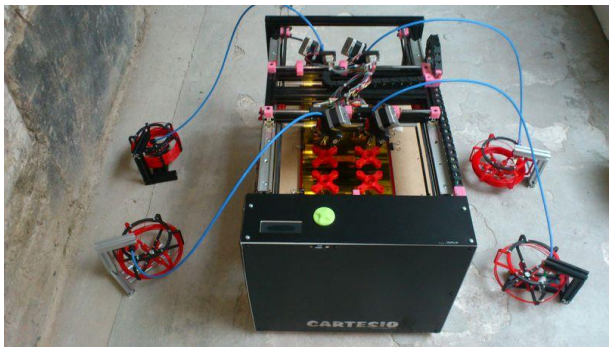
Nokia, üretim için hazırladığı kalıbın 3b tasarımlarını piyasaya sürmüştür. Böylece müşteriler, bu kalıpları kişiselleştirerek kendi tasarımlarını oluşturabilecek ve bu tasarımları 3b yazdırılabilir olarak alabileceklerdir [68]. Şekil 5.3'te yazım işlemi devam eden bir 3b yazıcı görülmektedir.



Şekil 5.3. Yazımı devam eden bir 3b yazıcı

5.1.4. Seri üretim

3b yazıcıların şu an sahip olduğu yazdırma hızları yeterli değildir ve bu da seri üretim için onların kullanımını sınırlar. Bu sıkıntıyı aşmak için, senkronize çalışan birden fazla yazdırma başlıklı makineler ya da çok uçlu püskürtme başlıkları kullanılmalıdır. Bunlar aynı anda birden fazla ve farklı renklerde polimer yazdırabilirler. Böylece az bir maliyetle yazdırma hızı arttırılır. Şekil 5.4'te CartesioLDMP seri üretim cihazı görülmektedir.



Şekil 5.4. CartesioLDMP

Yazım hızı yazdırma başlığı sayısı ile orantılıdır. Birden fazla yazdırma başlığı ile tek bir ürün yazdırma, baskı süresini uzatırken, yine birden fazla başlıkla aynı üründen, aynı anda bir kaç tane bastırmak baskı süresini kısaltır. Her iki koşulda da renkli ve farklı polimer baskılar elde edilebilir. Seri üretimde makine, aynı sıcaklık ile birden fazla kopya üretim gerçekleştirdiği için enerji tasarrufu sağlanır. Bu özelliklerle birlikte genel giderler de azalır.

Günümüzde tüketicilere sunulan 3b yazıcıların çoğu çift yazdırma başlığına sahiptir. Bu yazıcılar birden fazla renkte tek parça üretim için kullanılmaktadır.

Eksiltici yöntemler ile katkı yöntemlerinin karşılaştırılması alanında birkaç çalışma yapılmıştır.

5.1.5. Roket motoru yanma odaları

SuperDraco motoru ve Dragon v2 yolcu taşıyan uzay kapsülü, 3b baskı teknolojisi kullanılarak üretilen, bu alandaki ilk projedir. DLMS teknolojisi kullanılarak üretilen bu roket motoru, çok yüksek sıcaklıklarda ve 6900 kilopaskal'lık (1000 psi) oda basıncında çalışmaktadır. Parçalar bu çalışma koşullarını sağlayacak şekilde üretilmiş ve sonradan dış yüzeyleri korunmuştur [69-71].

Mayıs 2014'te testleri tamamlanan bu motor, 2015 ve 2016 yıllarında ilk yörüngesel uzay uçuşunu yapmaya hazırlanmaktadır [72].

5.2. Eve Ait ve Amatör Kullanımlar

2012'den beri amatör kullanıcıların ve tüketicilerin ilgisini çeken eve ait 3b yazdırma, günlük hayatta eve ait uygulamalarda, pratik çözümler üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu uygulamalara, duvar saati [73], dişliler [74], pardesü askısı, kapı kolu ile bütün dekoratif nesneler örnek olarak verilebilir [75].

2013 yılında 3b yazıcılar, hayvanlara yardım amacıyla da hizmet vermiştir. Sakat bir ördeğe yürüme imkanı sağlamak için 3b ayak yazdırılmıştır [76]. 3b yazdırılan yengeç kabukları, yengeçlere ev olarak kullanabilecekleri ortamı sağlamıştır [77]. Yazıcılar ayrıca insanlar için kolye, yüzük, çanta ve benzeri aksesuar ürünleri de yapmıştır.

Açık kaynak kodlu geliştirilen ve tüketicilere sunulan Fab@Home projesi [50], genel kullanım için sıvı ya da macun malzemeleri enjeksiyon ile uygulayabilen yazıcılar üretmiştir. Bu yazıcılar laboratuvarlarda kimyasal bileşen üretmek amacıyla kullanılmıştır [78]. Proje, hem eve ait hem de sanayide kimyevi uygulama geliştirenlerin bu makinelerden yararlanmasını hedeflemektedir [79,80].

OpenReflex analog SLR kamerası, açık kaynaklı öğrenci projesi olarak geliştirilmiştir [81].

Şekil 5.5'te MakerBot firmasının Replicator 2 adlı 3b yazıcısı görülmektedir.



Şekil 5.5. MakerBot Replicator 2

5.3. Giyim

Moda tasarımcıları, 3b yazıcılar ile bikini, ayakkabı, elbise ve takı üreterek bu teknolojiyi giyim dünyasında kullanmışlardır [82]. Ticari üretimde, Nike, Amerikan futbol oyuncuları için 2012 Vapor Laser Talon ayakkabı prototipi ve üretiminde 3b baskı teknolojisini kullanmıştır. Aynı şekilde New Balance'da atletler için ayakkabı üretmektedir [82,83].

5.4. Gözlük

3b baskı teknolojisinin gelişmesi ile şirketler, hızlı prototipleme yöntemini kullanarak çeşitli şekillerde gözlük üretimi gerçekleştirmişlerdir [84].

5.5. Bio Yazdırma

2012'den beri 3b bio yazdırma alanında inkjet baskı teknolojisi, doku mühendisliğinde, organ ve vücut parçaları üretimi araştırmalarında akademisyenler

tarafından kullanılmıştır. Baskı işleminde, polimer ya da toz yerine canlı hücreler kullanılarak bir jel ortamı içerisinde üç boyutlu damar yapıları oluşturulmuştur [85].

NovoGen firması, bio yazdırma alanında, 3b doku yazdırma için cihaz prototipleri geliştirmiştir [86].

Organovo adlı bir tıbbi laboratuvar ve araştırma şirketi, tıbbi araştırma ve tedavisel uygulamalar için 3 boyutlu insan dokusu tasarlamaktadır [87,88]. Şirket, 3b bio yazdırma araştırmalarında kendi ürettiği NovoGen MMX adlı 3b bio yazıcıyı kullanmaktadır. Organovo, tedavilerin daha hızlı ve ucuz gerçekleştirilmesini ve bu teknolojinin transplantasyon ve cerrahi uygulamalarda kullanılmasını hedeflemektedir [89].

5.6. Tıbbi Konsültan ve İmplant İçin 3B Yazdırma

3b baskı teknolojisi, sağlık alanında, medikal malzeme ve implant üretimi için kullanılmıştır. Bir İngiliz hastaya titanyumdan pelvis, bir Hollandalı hastaya titanyumdan alt çene ve bir Amerikalı hastaya da trakeal atel üretilmiştir [90]. Bu uygulamalar, bu alanda gerçekleştirilmiş olan başarılı çalışmalardır.

3b yazıcılar, işitmeye yardımcı organik ve biyonik kulak üretimi ile dental uygulamalarda da kullanılmaktadır [91]. Mart 2014'te, Swansea'da, bir kazada ağır olarak yaralanan motor sürücüsü için 3b baskı teknolojisi kullanılarak yüz üretilmiştir [92].

5.7. 3B Yazdırma Hizmetleri

Bazı şirketler, müşteriler ve sanayi kullanımı için online prototipleme hizmeti sunmaktadır [93]. Müşteriler, kendi 3b tasarımlarını şirketin web sayfasına yükler ve şirketler de bu tasarımları 3 boyutlu nesnelere dönüştürerek müşterilere ulaştırır [94].

5.8. Yeni Uygulamalar İçin Araştırma

2005 yılında, akademik dergiler, 3b baskı teknolojisi ve uygulamaları hakkında makaleler yayınlamaya başlamıştır [103]. 2007'de görsel basın, Wall Street Journal [104] ve Time Magazine dergisinde yer alan 3b yazdırılmış bir tasarım, yılın en etkileyici 100 tasarımı içerisine dahil edilmiştir [105]. 2011 Londra Tasarım Festivali'nde, Victoria ve Albert müzesinde, Sanayi Devrimi 2.0: Madde Dünyası

Yeniden Nasıl Maddeleşecek isimli organizasyon düzenlenmiştir [106]. 2012'de, Glasgow Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, 3b baskı teknolojisinin, kimyasal bileşimlerin üretiminde kullanılabileceği gösterilmiştir [78]. Cornell Creative Machines Lab, 3b Hidrokollit Yazdırma ile özelleştirilmiş yiyecek üretebileceğini kanıtlamıştır [107,109]. Glasgow Üniversitesi Profesörü Leroy Cronin, 3b baskı teknolojisinin ilaç yazdırma amacıyla kullanılabileceğini belirtmiştir [108].

Kalıplama teknikleri pahalı olduğu için tarihi eserlerin yeniden yapılandırılmasında 3b tarayıcı ve yazıcı teknolojileri kullanılır [110].

Yapı malzemeleri ve inşaat alanında da 3b baskı teknolojisi kullanılmaktadır. Özellikle uzayda yerleşim araştırmalarında, daha az maliyetli olduğu için tercih edilmektedir. Sinterhab projesinde aya ait regolid kullanılarak, 3b baskı ile ay üssü inşası çalışmaları yapılmaktadır [98,111]. Yazdırma işleminde, mikrodalga sinterleme ile hammaddeden oluşturulan sıvı yapılar, regolid bağlayıcı madde görevini üstlenmiştir [112].

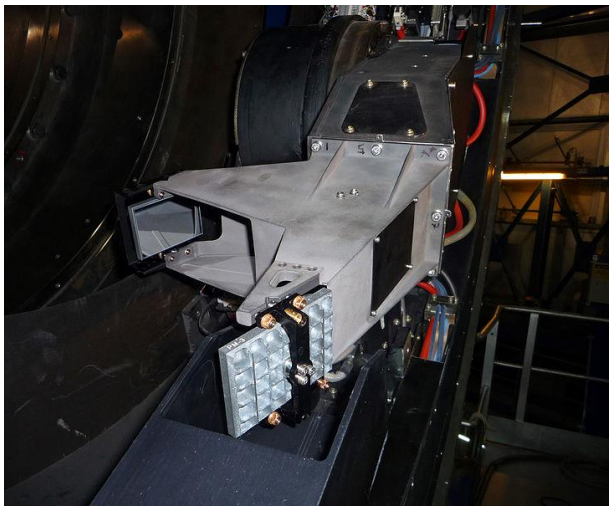
3b baskı teknolojisinde katkılı üretim ile frekans yönlendiricisi ve bağlaştırıcı olarak çalışan Terahertz gibi cihazlar üretilmiştir. Kompleks şekilleri olan bu cihazlar, klasik üretim teknikleri kullanılarak asla üretilemezler. EDEN 260V isimli ticari yazıcı, minimum 100 μm boyutta yapıları üretmek için tasarlanmıştır. Bu yazıcı ile yazdırılan yapılar, Terahertz Plasmonic Cihaz'ı üretebilmek için altın ya da herhangi bir metal ile kaplanır [113].

Çin, 3b baskı teknolojisinin gelişmesine katkıda bulunacak 10 adet ulusal kuruluşun açılışı için yaklaşık 500 milyon $ harcamıştır [114]. 2013 yılında Çinliler, canlı hücreler ile kulak, karaciğer ve böbrek yazdırmaya başlamışlardır. Hangzhou Dianzi Üniversitesi'nde ki araştırmacılar, Regenovo adlı kendi bio yazıcısını icat ettiler. Regenovo'nun mimarı olan Xu Mingen, bir mini karaciğer baskısının bir saatten az bir sürede alınabildiğini belirtti. Bu çalışma, tamamen kullanışlı organların 10 ya da 20 yıl içerisinde mümkün olacağını gösterir [115,116]. Aynı yılda, Belçika Hasselt Üniversitesi'nde ki araştırmacılar, 83 yaşında bir kadın için başarıyla çene kemiği yazdırmışlardır. Kadın, şimdi normal bir şekilde konuşmakta ve nefes almaktadır [117].

Bahreyn'de, hasar gören kayalıkları yenilemek için, koral şekilli yapılar üretilmiştir. Bu üretimde, kumtaşına benzer bir malzeme ile büyük ölçekli 3b yazıcılar kullanılmıştır. Yapay olarak oluşturulan bu kayalıkların pH değeri nötrdür [118].

Kasım 2013 ve 2014'te, Londra'da düzenlenen 3DPrintshow'da, 3b baskı teknolojisi alanındaki gelişmeler sergilenmiştir. Sergide, Joshua Harker, David Prete, Sophie Kahn, Helena Lukasova ve Foteini Setaki gibi sanatçılar, 3b yazdırmanın sanat alanını nasıl etkileyebileceğini göstermiştir. Gösteride ayrıca 3b baskı teknolojisinin tıp alanındaki uygulamaları da yer almıştır [119].

Aralık 2013'te, BAE Sistemleri (British Aerospace), 3b baskı teknolojisi ile bir Panavia Tornado yaptılar ve test uçuşu başarı ile tamamlandı [120]. Şekil 5.6'da 3b yazdırılmış teleskop (VLT - Very Large Telescope) bileşeni görülmektedir.



Şekil 5.6. 3b yazdırılmış VLT bileşeni

3b baskı teknolojisi [96,97], gelecekte, paleontolojide fosillerin yeniden yapılması, arkeolojide çok kıymetli antik eserlerin kopyalanması, adli patolojide kemik ve vücut parçalarının üretilmesi ve olay yeri incelemede hasar gören kanıtların yeniden oluşturulmasında kullanılabilecektir. Baskı teknolojisi ayrıca yapı alanı için de araştırılmaktadır [98-102].

5.9. Eğitim

3b yazıcılar eğitim amaçlı nesne ve prototip üretimi amacıyla kullanılır. Mühendislik alanında maket, coğrafya alanında harita, biyoloji alanında organ modeli ve kimya alanında bileşik modellerinin üretimi bu alandaki uygulamalara örnektir [121-122].

3b baskı teknolojisi, eğitim alanında çocukların ve gençlerin yaratıcılıklarını geliştirmelerine katkı sağlamaktadır [123].

6. FİKİR HAKKI

3b baskı teknolojisinde patent, telif hakkı ve marka gibi pek çok yasal işlemler uygulanabilir. Bu alandaki gelişmeler hızlı yayıldığı için, kişiler ve amatör topluluklarca satış amaçlı üretimleri engelleyecek yazılı hukuk kuralları, uygulamada yetersiz kalmaktadır.

Yasal uygulamalar, 3b yazdırmada kullanılan tasarımların dağıtımından, yazdırılan nesne adeti ve satışına kadar sınırlama getirebilir. Bu durumda hak sahibinin izni ile, belli şartlar ve fiyat altında üretim gerçekleştirilebilecektir.

Patentler, ülkeden ülkeye değişen sürelerde, tasarımları, makineleri ve üreticileri korur. Bir ürün patentli ise, o ürün izinsiz kullanılamaz [124].

Telif hakkı [125], ürün sahibinin ömrü artı 70 yıl geçerliliği olan koruyucu uygulamadır. Bir ürünün telif hakkının olması, başkaları tarafından o ürünün aynısının ya da benzerinin yapılamayacağını belirtir [126].

7. 3B YAZDIRMANIN ETKİLERİ

Katkılı üretim günümüzde şirketler arasında teknolojik rekabete yol açmıştır. Bu durum, şirketler için, sürekli gelişen teknolojiye ayak uydurabilmeyi gerektirmektedir. Öte yandan kullanıcıların üretimi bireysel olarak gerçekleştirebilmesi, satın alımını da azaltacaktır [3].

Katkılı üretim ile geleneksel eksiltici yöntemlerin üstünlükleri üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir [127].

7.1. Uzay Keşfi

2010 yılına girildiğinde 3b baskı teknolojisi, uzay araştırmalarında kullanılmaya başlanıldı [143]. Çalışmalar, el aletleri gibi basit parçaların üzerine yoğunlaştı. İhtiyaç duyulan nesnelerin, Dünya'da üretilip taşınması yerine, uzayda üretilmesi tercih edildi [145]. Bu da yakıt ve zamandan tasarruf sağladı [144].

NASA ve Made in Space şirketleri, uzay keşfinin daha ucuz ve verimli olması için 3b baskı teknolojisini kullanarak bazı çalışmalar gerçekleştirdi. Temmuz 2013'te, iki roket motor enjektörü, 3,316 °C'ye (6,000 Fahrenheit) yaklaşan sıcaklıktaki ateş testleri altında çalıştırılarak, parça üretimi gerçekleştirildi [145].

7.2. Sosyal Değişim

1950'lerden beri, bazı yazar ve yorumcular, katkılı üretim teknolojisinin, sosyal ve kültürel değişimlere neden olabileceğine inanmıştır [128]. İnsanların evlerinde ne kadar çok 3b yazıcı bulunuyorsa, ev ile işyeri arasındaki mesafenin o kadar kısalacağı ifade edilmiştir [129]. Dünya genelinde üretimin arttırılması, taşımacılık hizmetlerine olan ihtiyacı da azaltacaktır [130].

Nesnelerin kolayca kopyalanabilmeleri [131-134], mevcut teknolojide fikir hakkının korunmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum, yasal değişiklikleri gerektirmektedir. 3b baskı ile üretim konusunda [135-137], sivil toplum örgütleri de destek verebilirler [135]. Özellikle silah üretimini kolaylaştıran bu teknolojiye dikkat etmek gerekir [138,139].

3b yazıcılar, evimizdeki kişiselleştirilebilir imalat makineleridir ve bu cihazlar aynı zamanda geleceğimizi de şekillendirecektir. [140-142].

7.3. Ateşli Silahlar

2012'de, ABD'de bulunan Defense Distributed grubu, 3b yazıcı kullanılarak herkesin üretebileceği plastik bir silah prototipinin tasarımlarını paylaştı [146,147]. Defense Distributed, bir AR-15 tüfek alt alıcısı ve 30 atımlık M16 şarjörü tasarladı [148].

AR-15 için paylaşılan tasarımlarda sadece alt alıcının üretimi yasaldır. Defense Distributed'in bu çalışmalarından sonra, Mayıs 2013'te, ABD dışişleri bakanlığının internetten yaptığı açıklamalar ile silah planları paylaşımdan kaldırılmıştır [149].

Defense Distributed'in silah planlarını paylaştığı ilk günde, Amerika'da 100,000 insan bu planları bilgisayarına indirdi. Böylece 3b yazdırmanın ve yaygın CNC kullanımının silah üretimi üzerindeki etkilerinin tekrar gözden geçirilmesi gerekti [150,151,168,169]. ABD iç güvenlik bakanlığı 3b yazdırılabilir dosyaların ve paylaşımlarının kanunla düzenlenmesinin zor olacağını, kamu güvenliğini riske atabileceğini ve üretimlerinin tamamen durdurulamayacağını belirtmiştir [152-156].

3b baskı teknolojisi ile silah protoipleri, yasalar çerçevesinde ve belirli kurumlarca üretilmelidir [157,158]. Bu teknolojinin gelişmesi ile birlikte riskleri de artmaktadır [159,160,170,171,172].

Silah planları Defense Distributed tarafından kaldırılmasına rağmen, planlar The Pirate Bay gibi paylaşım sitelerinde dolaşmaya devam etmiştir [163,167]. Özellikle İngiltere, Almanya, İspanya ve Brezilya'da pek çok insan bu planlara sahiptir [161,162].

7.4. Otomotiv Kullanımı

2014 başlarında, İsveçli otomobil üreticisi Koenigsegg, the One isimli, pek çok parçasının 3b baskı teknolojisi ile üretileceği bir süper araba projesi üzerinde çalışmalara başladı [173].

8. ÜLKEMİZDEKİ GELİŞMELER

Bu bölümde ülkemizdeki önemli buluşlar, araştırmalar ve çalışmalardan bahsedilecektir. Şüphesiz ki ülkemiz bu teknolojinin kapılarını yeni yeni aralamaktadır.

8.1. 3B Doku ve Organ Basımı Projesi

Türkiye'de ilk defa bio yazdırma teknolojileri alanında gerçekleştirilen bu proje ile doku yapısı üretilmiştir [175].

Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi 'nde (SUNUM), Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Üretim Sistemleri Programı öğretim üyesi Bahattin Koç ve öğrencileri; Can Küçükgül, Saime Burçe Özler, Forough Hafezi canlı hücreler kullanarak doku yapısı üretmeyi başarmışlardır. Şekil 8.1'de Bahattin Koç ve çalışma ekibi görülmektedir.



Şekil 8.1. Bahattin Koç ve ekibi

Bahattin Koç liderliğindeki ekibin hedefi, bir hastanın kendi hücrelerini ya da kök hücrelerini kullanarak, gereken doku hatta organın üretilebilmesini sağlamaktır. Böylece vücudun bu organik yapıları reddetmesi durumu ortadan kaldırılacaktır.

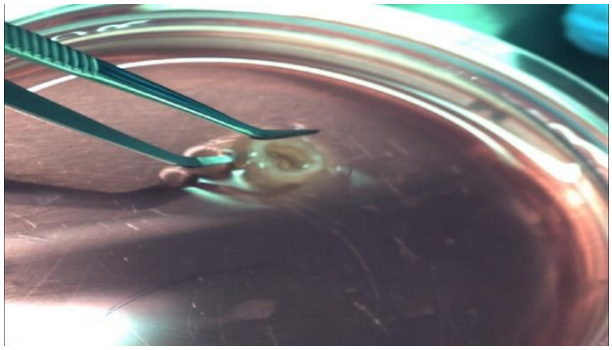
Ekip, MR verilerini kullanarak, anatomik yapıya uygun bir biçimde Aort damarı doku örneğini yazdırmayı başarmıştır.

8.1.1. Proje hakkında

3 Boyutlu Doku ve Organ Basımı Projesi ekibi, aort damarı doku örneğini yazdırabilmek için, canlı fibroblast hücrelerini bio-mürekkep olarak kullanmışlardır [176].

İnsan damar hücreleri genel olarak fibroblast, endotel ve düz kas hücrelerinden oluşmaktadır. Fibroblast hücreleri, bağ dokusunu oluşturan ana hücrelerdir. Endotel hücreleri ise damarların iç tabakasını oluşturur. Düz kas hücreleri de damar, yemek borusu ve bağırsak gibi iç organlarda bulunan kas hücreleridir [177].

Disiplinlerarası bir çalışmanın sonucu olarak üretim sistemleri, nanoteknoloji, malzeme alanlarında çalışan yüksek lisans öğrencileri ve araştırmacıların yer aldığı dört kişilik ekip ile birlikte Sabancı Üniversitesi Doç. Dr. Devrim Gözüaçık ve ekibi projenin başlangıç aşamasında hücre kültürü ve moleküler biyoloji, Yeditepe Üniversitesi'nden Prof. Mustafa Çulha ve ekibi hücre kültürü ve moleküler biyoloji, Yrd. Doç. Dr. Alpay Taralp biyomalzemeler konularında katkılarda bulunmuşlar ve tıbbi konularda GATA'dan Prof. Dr. Bayram Koç projeye danışman olarak destek vermiştir. Şekil 8.2'de 3b yazdırılmış aort damarı doku örneği görülmektedir [178].



Şekil 8.2. Doku örneği

Bahattin Koç bu projeye iki nedenden dolayı öncelik vermiştir. Birincisi Aort damarının insan vücudundaki en büyük ve tek damar olması ve otolog greft ile tedavisinin mümkün olmamasıdır. Otolog greft tedavisi için günümüzde plastikten (dacron) yapılan sentetik damarlar kullanılmaktadır ve bu damarlar asla insan damarının yerini tutmamaktadır. İkincisi ise doku ve organ üretiminde ilk adım, damar üretilmesidir [179].

8.2. GnexLab

Gnexlab topluluğunun Masaüstü İmalat adlı 3 boyutlu yazıcısı, kullanıcılara masaüstü boyutlarda sunulan ve bilgisayar kontrolü altında çalışan bir makinedir. Bu makine, 3 boyutlu tasarımların, fiziksel olarak elle tutulabilen nesneler haline dönüştürülmesini sağlar [174].

FDM baskı teknolojisi ile katkılı üretim gerçekleştiren bu cihaz ile model arabalar, robot parçaları, dişliler ve makine parçaları üretmek mümkündür. Şekil 8.3'te GnexLab firmasının Mİ (Masaüstü İmalat) adlı 3b yazıcısı görülmektedir.



Şekil 8.3. GnexLab 3b yazıcı projesi

8.3. 3D Printer Workshop

Atölye, tasarım, sanat, zanaat, mühendislik ve girişimcilikte, profesyonel ya da amatör kişilerin, bir araya gelerek çalışmalarını paylaşabildikleri, geleneksel ve dijital prototipleme aletlerini kullanarak üretim yapabildikleri bir yaratıcılık merkezi olarak tasarlanmıştır [180].

Atölye İstanbul 2013 yılının sonlarına doğru Türkiye'nin ilk 3D Printer Workshop'unu gerçekleştirmiştir. Şekil 8.4'te Atölye İstanbul ve çalışma ekibi görülmektedir.



Şekil 8.4. Atölye İstanbul çalışma ekibi

9. DÜNYADAKİ GELİŞMELER

Dünyada henüz popüler hale gelen 3b baskı, daha çok üniversitelerin yapmış olduğu ar-ge çalışmalarıyla bizlere neler sunabileceğinin haberlerini vermektedir. Ayrıca bulunduğumuz zaman içerisinde 3b yazıcı piyasası oluşmakta ve pekçok kuruluş prototipleme ve cihaz satış hizmeti vermektedir. 3b yazıcıların henüz mekaniği, elektroniği ve yazılımları ile ilgili bir standartlarının bulunmaması ile birlikte ilerleyen zamanlarda bu alanlarda yapılacak çalışmalarla bu standartların oluşturulması ve ihtiyaç duyulan alan, sektör ya da çözüme göre cihazların üretilmesi beklenmektedir.

9.1. Yeni Vücut Parçaları

Doktorların sadece kronik, hayatı tehdit eden hastalıkların tedavisinde, hastalıklı veya işlevsiz bir organ ya da vücudun bir bölümü yerine yedek vücut parçasını sipariş verilebileceği bir dünya hayal edin. Dr. Anthony Atala, tıp doktoru, Rejeneratif Tıp ve Wake Forest Enstitüsü Müdürü, Wake Forest Baptist Tıp Merkezi Üroloji Bölümü Boyce Profesörü ve Başkanı, rejeneratif tıpta öncü ve bunun gerçekleşebileceğine inanmaktadır.

Dr. Atala‘nın en büyük arzusu hastalarına en iyi tedaviyi sunmaktır. Bir cerrah olarak, bir ameliyathanede olmaktan ve ideal tedavisi bulunmayan bir parça doku ya da bir organı biriyle değiştirmek zorunda kalmaktan daha yıkıcı bir şey olmadığını belirtmiştir. Laboratuvar dışında bu dokuları ve organları oluşturmak ve onların kullanılabilir olması bazı hastalar için gerçekten iyi bir seçenek olacaktır. Bu, Dr. Atala ve ekibinin ilham kaynağı olmuştur. Şekil 9.1’de 3b yazdırılmış kemik, kas ve kıkırdak yapıları görülmektedir [181,182].



Şekil 9.1. 3b yazdırılmış kemik, kas, kıkırdak

Rejeneratif tıp, çaresiz durumlar için yeni tedaviler sunarak hastaları hayata geri döndürebilmek için potansiyel oluşturmaktadır.

Bilinen tıbbi uygulamaların aksine, rejeneratif tıp, hastaya özgü ve hasarlı hücrelerin onarılması, değiştirilmesi veya rejenere bir hastalığın altında yatan nedenleri hedeflemektedir. Fikir 1930'larda yayınlanmıştır. Dr. Atala, onlarca yıllık çalışmalardan sonra bugünkü noktaya ulaşmıştır. 30 yıl önce insan hücrelerini, vücudun dışarısındaki ortamlarda çoğaltmak mümkün değildi ancak bugün insan hücrelerinin vücut dışı ortamlarda nasıl çoğaltılabileceği bilinmektedir. Katı organların implantı yapılamazken, tubuler, içi boş ve tüp şeklinde olmayan organlar doğrudan implante edilebilmektedir.

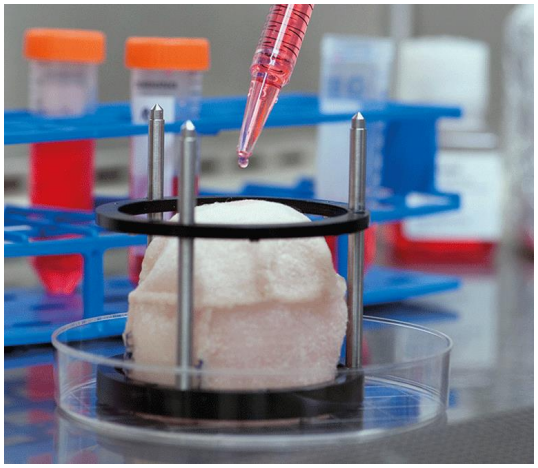
9.1.1. Zorluk dereceleri

Rejeneratif tıp dört aşamalı organ zorluğunu tanımaktadır. Deri gibi tek hücreden oluşan düz yapılar en kolay olanlarıdır. Bir kan damarı ya da iki hücre yapısından oluşan ve daha karmaşık bir yapıya sahip olan nefes borusu kadar komplike bir yapıya sahip değildirler. Dr. Atala'ya göre sadece sıvı ya da havanın tanımlanmış aralıkta sabit olarak akışına izin veren bir borudur. Mesane gibi içi boş tüp şeklinde olmayan organlar, hücreler, şekil ve fonksiyon açısından üçüncü derecede bir organ zorluğu sunmaktadır. 1999 yılında, Dr. Atala ve ekibi, bugün normal, aktif bir hayat yaşayan bir hastaya başarıyla dünyanın ilk mesane implantını gerçekleştirmiştir. Böbrek, karaciğer ve kalp gibi katı organlar en komplike organ tipleridir. Dr. Atala, bu organlarda santimetre başına daha fazla hücrenin düştüğünü, daha büyük miktarda kan damarı desteği gerektiren ve daha çok hücre tiplerini içeren organlar olduğunu belirtmiştir [183].

İlk üç tipteki organlar -düz, tubuler ve içi boş, tüp şeklinde olmayan organlar- biyolojik olarak parçalanabilir bir malzemeden yapılmış hücre ve / veya iskeleler bir arada kullanılarak başarılı bir şekilde hastalara implante edilmiştir [184].

9.1.2. İnsan organlarına artan ihtiyaç

Rejeneratif tıp gerçek ihtiyaçlara yanıt vermektedir. İnsan dokusuna olan talep artmaktadır. Her 30 saniyede bir doku tedavisi ile iyileştirilebilecek hastalar, bu hastalıktan ölmektedir. Organ nakli listeleri artmaya devam etmekte olup sadece Amerika'da her 10 dakikada birisi bu listeye eklenmektedir. Bu önemli bir sorundur. 10 yıllık bir süre içerisinde organ nakillerinin sayısı % 1 artış gösterirken, bu listelerde bekleyenlerin sayısı ikiye katlanmaktadır. Bir organın nakli için başka birisinin ölmesi beklenmeden mevcut organların kullanılabilmesi gerekmektedir. Şekil 9.2'de nakli gerçekleştirilen ilk 3b yazdırılmış mesane görülmektedir [185].



Şekil 9.2. Dünyanın ilk mesane implantı

1999 yılında, Dr. Atala ve onun yönettiği ekibi, bugün normal, aktif bir hayat yaşayan bir hastaya başarıyla dünyanın ilk mesane implantını gerçekleştirmiştir.

Dr. Atala ve 300 araştırmacıdan oluşan multi-disipliner ekibi, hastaların ihtiyacı olan katı organları büyütme yollarını bulmak için paralel stratejileri benimsemişlerdir.

9.1.3. 3B organ basımı

Bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı kullanılarak, araştırmacılar yeni organların oluşturulması için tasarlanan 3b yazıcıları geliştirmişlerdir. Dr. Atala ve ekibinin makineleri, inkjet yazıcılara benzemektedir

fakat kartuş içerisinde mürekkep yerine tek katmandan oluşan hücreler bir seferde yazdırılarak üç boyutlu yapılar oluşturmaktadır. Ekip kemik, kas, kıkırdak ve böbrek yazdırma projeleri üzerinde çalışmaktadır [186,187].

9.1.4. Atılır organların yeniden kullanılması

Araştırmacılar atılan organları da kullanmaktadırlar. Bunlar laboratuara alınır ve üç boyutlu organ yapısı bozulmaması için temizlenir. Dr. Atala bunu, hastanın kendi hücrelerini çoğaltarak organ kalıbının yapısını oluşturmada kullandıklarını ve amaçlarının hastalıklı organdan ufak bir parça doku alıp, normal hücreleri izole ederek, hastanın organına bunu tekrar geri yerleştirmek olduğunu belirtmiştir [188].

9.1.5. Fikri mülkiyetin görevi

Patent sisteminin emektarı olup, yaklaşık 200 patente sahip olan Dr. Atala, tıbbi teknolojileri uygulamakta ve geliştirmekte aynı zamanda onların faydalarını sağlamakta fikri mülkiyetin (IP - Intellectual Property) büyük bir rolu olduğunu ifade etmektedir. Fikir mülkiyeti çok önemlidir. Sonuç olarak, fikir mülkiyeti olmadan, teknolojileri ticarileştirmek mümkün değildir. Yatırımsız teknoloji hastalara asla ulaşamaz, bu teknolojileri üretmek ve dünyaya sunmak için tam olarak yüzlerce milyon $ gerekmektedir. Fikir mülkiyeti korunmadan, insanlar teknolojiye yatırım yapamazlar [189].

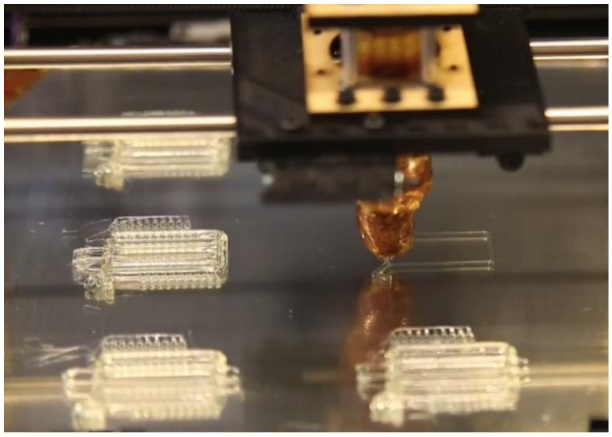
9.1.6. İşbirlikçi araştırma

Yenileyici tıp, birçok disiplinde yer alan kompleks bir alandır. Rejeneratif Tıp için Wake Forest Enstitüsü‘nde ki araştırmacılar paylaştıkları bir laboratuvarda, dokuları geliştirmenin her kademesini dikkatli bir şekilde denemektedirler. Dr. Atala, kendileri için, hastanın güvenliğinin olağanüstü bir önem taşıdığını, hastaların hayatı ile çalıştıklarını ve faydaları olmadan önce, hayatı tehlikeye atmadıklarından emin olmaları gerektiğini ifade etmiştir [190].

Wake Forest Baptist Medical Center ötesinde, enstitü, birkaç araştırmada işbirliklerde bulunmuştur (100‘den fazlası ulusal ve yaklaşık 50 uluslararası). Dr. Atala’nın bu alandaki hedefi, farklı bilim adamlarıyla farklı teknolojilerin buluştuğu, uluslararası bir ağ oluşturmaktır.

9.2. 3B Kan Damarı Basımı

Biyomühendisler, bir hastanın kendi hücreleri üzerinden laboratuvar ortamında organların oluşturulması hedefine doğru çalışmalar gerçekleştirmektedir. Bunlardan bir tanesi besin ve atıkların atılmasını sağlayan damarsal yapının oluşturulmasıdır. Bu kan damarları olmadan, iç hücreler hızla boğulur ve ölür. Şekil 9.3'te şeker matriksi ile 3b yazdırılmış kan damarı görülmektedir [191].



Şekil 9.3. Şeker ile 3b kan damarı basımı

Bilim adamları ince hücre katmanlarını yetiştirebilirler, bu nedenle damar sorununa önerilen çözüm tabaka tabaka hücrelerin basımıdır. Ancak bu yöntem dikişler bırakır ve kan, damarlar yoluyla pompalanacağından bu dikişlere baskı yapar.

Pennsylvania Üniversitesi biyomhühendisleri RepRap denilen bir 3B yazıcı kullanarak kan damarı ağlarının şablonlarını oluşturdular. Damarsal ağlar hücrelerden oluşan bir blok içerisinde muhafaza edildikten sonra şeker geride fonksiyonel bir damar ağı bırakacak şekilde çözündürüldü [192].

Bilim adamları şekeri sertleştirdikten sonra kalıp içerisinde süspanse ettikleri bir jele canlı karaciğer hücrelerini yerleştirdiler. Bu jel, kan damarı şeklindeki filamanı kapladı. Jel kalıbı daha sonra bu damar yapısından ayrıştırıldı. Blok halindeki jel suda yıkanarak geride kalan şekerin çözünmesi sağlandı. Akışkan haldeki şeker, büyüyen hücre yapısına zarar vermeden damar yapısından dışarıya doğru aktı [193].

Araştırmacılar başarılı bir şekilde bu damar yapısı içerisine besin açısında zengin ortamı ve hatta kanı pompalamayı başarmışlardır. Ayrıca deneysel olarak karaciğer

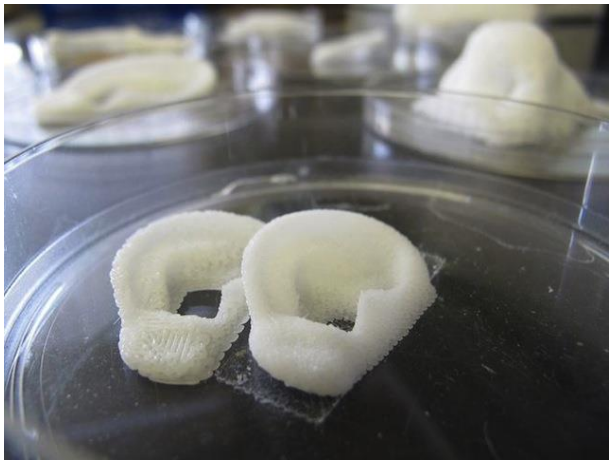
hücrelerinin hayatta kalmasını ve bu damar ağlarının jel içerisinde metabolitler üretmesini göstermişlerdir.

RepRap, hızlı ve ucuz olarak yeni damar mimarilerinin testini gerçekleştirmektedir ve şeker, üretimi biten damar ağlarının laboratuvara gönderilmesine kadar kararlılığını korumaktadır. Araştırmacılar bu metodun, hayvanlar üzerinde organ implantı çalışmalarında kullanılacağını belirtti.

9.3. 3B Kulak ve Karaciğer Basımı

Çin'de bulunan araştırmacılar plastik yerine canlı hücreleri kullanan özelleşmiş 3b yazıcıları kullanarak insan organları yazmayı başardılar [194].

Hangzhou Dianzi Üniversitesi aslında bu karmaşık görev için icat niteliğinde olan Regenovo adlı kendi yazıcılarını imal ettiler. Şekil 9.4'te Regenovo adlı yazıcıyla üretilen kulak yapısı görülmektedir.



Şekil 9.4. Regenovo 3b kulak basımı

Xu'ya göre, Regenovo, steril bir ortamda -5 ile 260 °C sıcaklıkları arasında çıktı alabilmektedir. Belki de Regenovo 3b yazıcısnın en büyük başarısı, çok hassas bir şekilde görevini tamamlaması -hücre hasarı oranı oldukça düşük olup, yazdırma işlemi sırasında yazdırılmış hücrelerin % 90'ı canlı olarak yaşayabilmektedir- olabilir. Xu ayrıca yazdırılmış organların laboratuvar içerisinde 4 aya kadar canlı olarak tutulabileceğini iddia etmektedir [195].

Yazım işleminden önce, her bir katmanın yazdırılma yolları görülebilir, uygun hız ve sıcaklık değerleri ayarlanabilir. Fakat, bazen manuel kontrol edilmesi de gerekebilir.

Bu işlem, geleneksel 3b yazdırma işlemlerinden -bir bardak yazımı- farklıdır. Objeyi kendi materyalleri ile doldurmak gerekmektedir. Bu metot, hücreler için geçerli değildir. Çünkü hücreler kan damarları ve doku alanı içermektedir ve hücrelerin büyümesi için yeterli genişliğin bulunduğundan emin olunulması gerekmektedir [196].

Küçük kulaklar teorik olarak canlı bir hastanın dokususu üzerine aşılanabilir. Araştırmacılar, bir gün, uzun bir bekleme listesi olan karaciğer naklini gerçekleştirmeyi ve bu listeleri azaltmayı umut etmektedirler. Hatta küçük yazdırılmış örnekler bile, toksinleri parçalama, metabolize etme ve salgı salgılama gibi temel işlevleri yerine getirebilecektir [197].

Dünyanın dört bir yanındaki araştırmacılar, 3b organ yazımı üzerinde deneysel olarak çalışmaktadırlar. Mayıs ayında, Princeton Üniversitesi'nde ki doktorlar, hidrojel ve dana hücresinden, entegre anteni bulunan bir kulak yazdırmışlardır. Bilim adamları bu yapıya işlev eklemeyi umut etmektedirler [198].

9.4. 3B Kemik Basımı

Pelvis kemiğinin yarısını kemik kanseri sebebiyle kaybeden bir hasta için 3b yazıcı ile yeni bir pelvis kemiği oluşturuldu. Danışman ortopedik cerrah olan Craig Gerrand 60 yaşlarındaki isimsiz bir hastaya kendi türünün ilk naklini gerçekleştirdi. Kondrosarkoma adlı nadir görülen bir kemik kanserine yakalanan ve pelvis kemiğinin yarısı alınan hasta şu anda tıbbi çalışmalar sonucu yürüyebilmektedir. Newcastle'a bağlı Tyne Hastaneleri NHS Trust'ta çalışan Gerrand, kanserin, pelvis kemiğinin hemen hemen bütün sağ tarafını etkilediğini belirtti [199].

Kanserin ilaç ve radyoterapi tedavisine cevap vermemesi nedeniyle tek çözüm pelvis kemiğinin yarısının alınması oldu. Kanserin yayılmasını engellemek için çok fazla kemik alındığından yerine normal bir implant yerleştirilemedi. Bu durumda, özel üretim bir implant gerekti. Doktor, 3b baskı teknolojisi sayesinde bir şanslarının olduğunu fakat baskının tam uygun olamayabileceğini ya da kırılabileceğini belirterek hastanın bu risklerin farkında olduğunu belirtti. Şekil 9.5'te 3b yazdırılmış pelvis kemiği görülmektedir [200].



Şekil 9.5. 3b pelvis kemiği basımı

Bu yaygın 3b baskı uygulamalarının, tıbbi uygulamalarda bir sağlık devrimi niteliğine sahip olduğuna inanılmaktadır.

Hala emekleme aşamasında olmasına rağmen bilim adamları, bilgisayar kontrollü bu makineler de organik mürekkepler ve sert termoplastikler kullanarak biyolojik madde oluşturma konusunda işbirliği yapmaktadırlar.

Bilim adamları ayrıca kafatasının belirli bölümlerinin kök hücreler sayesinde oluşturulması üzerine de çalışmaktadırlar.

9.5. Dünyadaki Diğer Önemli Gelişmeler

3b baskı teknolojisi dünyada pek çok farklı alanlarda üretici ve tüketiciler tarafından kullanılmaktadır. Tüketiciler ihtiyacı olabilecek herhangi bir nesneyi üretebildikleri gibi, üreticiler de üretime dönük prototipleme ve benzeri işlerinde bu teknolojiden yararlanmaktadırlar.

9.5.1. Tüketici kullanımı

İnsanların 3b baskı teknolojisini kullanarak günlük hayatta kullanabilecekleri nesneleri içerir.

Şekil 9.6-12'de tüketicilerin günlük hayatta kullanabileceği nesneler görülmektedir.



Şekil 9.6. 3b yazdırılmış kamera lensi (Thingiverse:yukiSUZUKI)



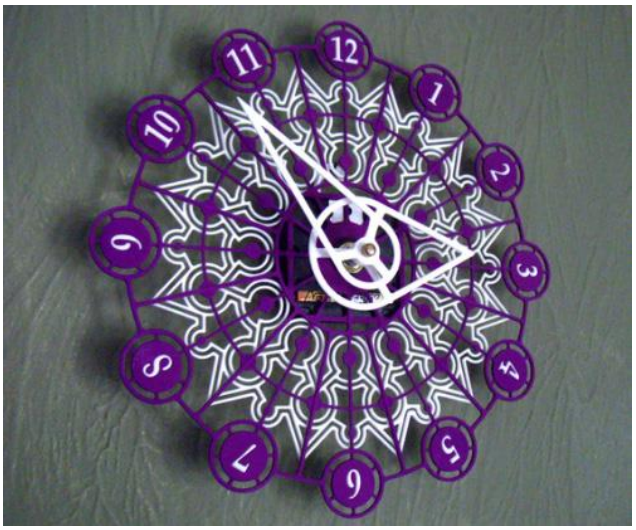
Şekil 9.7. 3b yazdırılmış gitar (Scott Summit)



Şekil 9.8. 3b yazdırılmış telefon kılıfı (Mondriaan Case & Card Holder)



Şekil 9.9. 3b yazdırılmış tablet standı (SaGa Design)



Şekil 9.10. 3b yazdırılmış saat (The Kaleidoscope Clock)



Şekil 9.11. 3b basılmış bardak (cunicode)



Şekil 9.12. 3b yazdırılmış lamba (Janne Kyttanen)

9.5.1. Üretici kullanımı

Üreticilerin endüstriyel, medikal ve benzeri alanlarda sektörel olarak üretim amaçlı oluşturdukları nesneleri içerir.

Şekil 9.13-22'de üreticilerin sektörel amaçlı oluşturdukları baskılar görülmektedir.



Şekil 9.13. 3b yazdırılmış ayakkabı (Pauline Van Dongen)



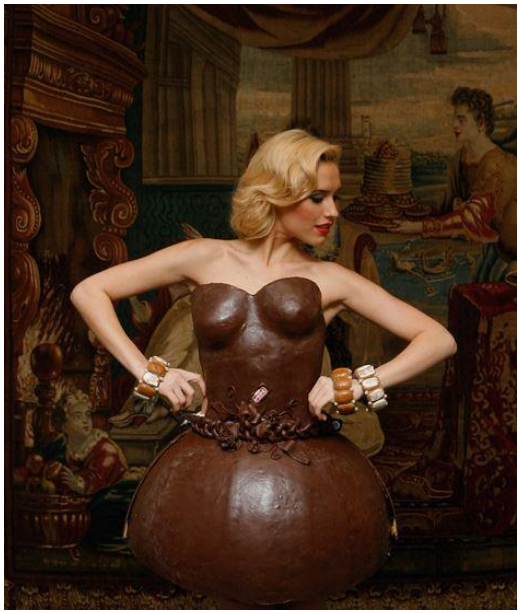
Şekil 9.14. 3b yazdırılmış elbise (Jiri Evenhuise - Janne Kyttanen)



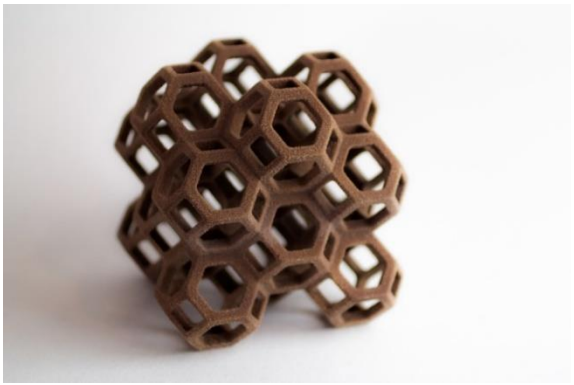
Şekil 9.15. 3b yazdırılmış elbise (Iris van Herpen)



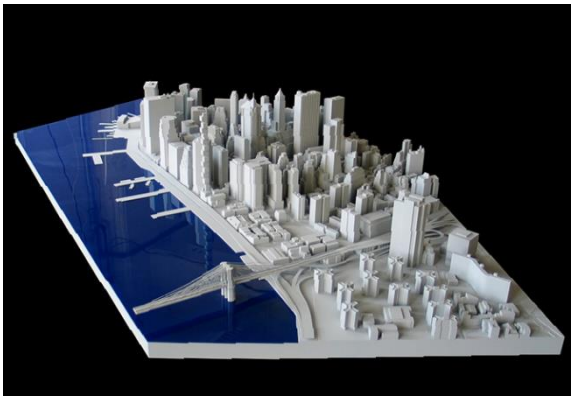
Şekil 9.16. 3b yazdırılmış araba (Urbee)



Şekil 9.17. 3b yazdırılmış çikolata (Paris, çikolata defilesi)



Şekil 9.18. 3b yazdırılmış şeker (3D Systems - ChefJet)



Şekil 9.19. 3b basılmış maket (TriAxisArt)



Şekil 9.20. 3b yazdırılmış silah (Cody Wilson - DefCad)



Şekil 9.21. 3b yazdırılmış heykel (Thomas Jefferson - Smithsonian)



Şekil 9.22. 3b yazdırılmış ev (WinSun - China)

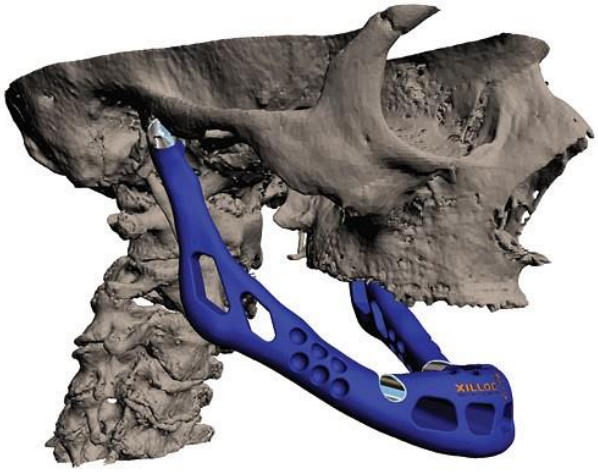
9.5.3. Bio yazdırma

Sağlık ve medikal alanında oluşturulan organik yapıları ve nesneleri içerir.

Şekil 9.23-28'de bu alanlarda oluşturulan baskılar görülmektedir.



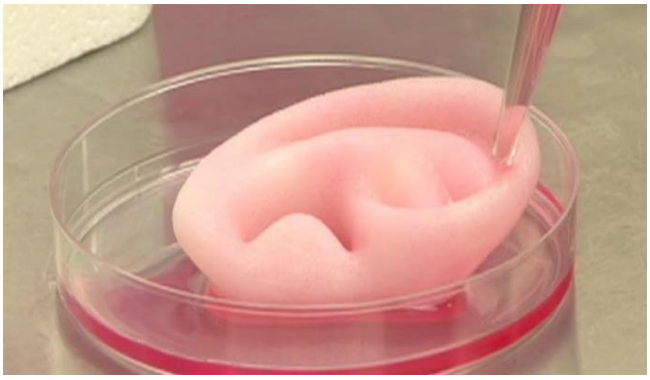
Şekil 9.23. 3b yazdırılmış yüz (Dr. Andrew Dawood)



Şekil 9.24. 3b yazdırılmış çene kemiği (LayerWise - Dr. Jules Pokens)



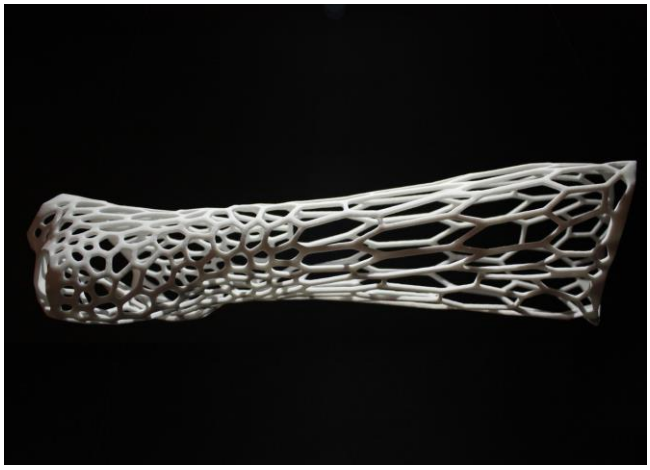
Şekil 9.25. 3b yazdırılmış diş (Xiao Lan)



Şekil 9.26. 3b yazdırılmış biyonik kulak (Princeton Üniversitesi - ABD)



Şekil 9.27. 3b yazdırılmış protez (Scott Summit)



Şekil 9.28. 3b basılmış kol ortezi (Jake Evill)

10. 3B YAZICILAR VE BİYOMEDİKAL UYGULAMALARI ÜZERİNE GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde 3b baskı teknolojisi alanında ki özgün çalışmalar ve kullanıcıların işlerine yarayabilecek bilgiler yer almaktadır. Uzun soluklu denemeler ve çalışmalar sonrasında elde edilen bilgiler, pek çok insanın genel anlamda karşılaşabileceği sorunlara ışık tutacaktır.

10.1. Dünyanın İlk 3B Yazıcı Kasası

3b yazıcıların, güç kaynağı, elektronik kart, filaman ve benzeri çevre birimleri daima 3b yazıcıların şaseleri üzerine monte edilmiştir. Bütün bu çevre birimleri aynı bilgisayar kasası gibi bünyesinde barındıran bir kasa tasarlandı. Tasarımı özgün olup, mümkün olduğunca az yer kaplayan, elektronik bağlantıları kolaylıkla yapılabilen, elektronik kartı koruyucu ve işlevsel bir kasa düşünüldü.

Kasa tasarımı, hemen hemen her türlü 3b yazılım ortamlarında yapılabilir. SolidWorks kullanılarak tamamlanan bu tasarım ile artık 3b yazıcılar için dünyanın ilk 3b yazıcı kasası üretilmiş olundu. 3b yazıcılarda kullanılan her bir vidanın, bağlantı şeklinin, ara elemanlarının ve parçalarının bile versiyonu olduğu düşünülür ve sonradan resme bütün olarak bakılırsa aslında önemli olabilecek bir çalışma olduğu görülmektedir.

Elektronik kartın üzerindeki her bir elemanın bağlantılarının soket bağlantı olması, aynı bilgisayarda olduğu gibi çevre elemanları kolaylıkla takıp çıkarma imkanı sağlar. 3b yazıcılarda bağlantı şekli çok önemlidir. Yazıcıya sonradan eklenecek olan her bir parça veya eleman için Firmware‘de ilgili parçanın tanımlanmış olması gerekmektedir. Yani donanımın değişmesi aynı zamanda yazılımı da etkilemektedir. Örneğin günümüzde popüler olarak bilinen ve bilgisayarsız yazdırma olanağı sunan SD ya da Mini SD kart desteği elemanını yazıcıya eklemek için, Firmware‘de ilgili parçayı tanımlamak ve yeni kodlar ekleyerek elektronik kartı tekrar programlamak gerekmektedir. Aynı şekilde popüler olarak kullanılan LCD ekranlar da yine tanımlanmalı, hatta grafik bir arayüzü de varsa, o arayüzde yer alacak olan grafiklerin kodlarının Firmware‘de yer alması gerekmektedir.

Kasanın en büyük avantajı, şüphesiz elektronik bağlantılarının soket bağlantı olmasından dolayı sağlayacağı kolaylıktır.

Özellikle işletmelerde mekanik montajı tamamlanan 3b yazıcıların testleri bu kasa sayesinde kolaylıkla yapılabilir. Böylece çevre birimlerinin sürekli sökülüp tekrar takılması zamanından fazlasıyla kazanç sağlanır.

3b yazıcılar gerçekten ağırdır. Ağır oldukları için bir yerden bir yere taşınması da zordur. Sadece mekanik montajı olan 2 yazıcı, bu kasa ile çalıştırılabilmektedir. Kasanın ağırlığı elbette yazıcınınkine göre hafif kalmaktadır.

Çevre birimlerin kasa içerisinde toplanmasıyla bu parçaların her birinin korunması sağlandı. Özellikle statik elektriğin bile zarar verebileceği elektronik kontrol kartının pahalı olduğu da göz önünde bulundurulursa bu parçaların korunması önemlidir. Normalde yazıcı üzerine açık olarak monte edilen bu parçaların herhangi bir sebepten dolayı bozulabilmesi söz konusudur. Teknik servislerin yetersiz olması ya da bulunmaması, kullanıcılar için önemli bir sorundur.

10.2. Donanımda Yapılan Değişiklikler

Yazıcı montajında bir standartın bulunmaması hemen hemen bir çok şeyi yeniden keşfettirmektedir. Sadece çalışma mantığı bilindiğinde pek çok parça değerlendirilerek yazıcının daha stabil ve düzgün çalışması sağlanabilir. Bütün bu değişiklikler yazıcılara göre de değişmektedir.

MendelMax, yazıcı şasesi olarak sigma profilleri kullanmaktadır. Bu profiller alüminyumdan yapılmış olup yazıcıya piyasadaki pek çok yazıcıdan daha fazla stabilite kazandırmaktadır.

Yazıcı montajında kablolama yaparken bu profiller arasındaki boşluklardan yararlanıldı ve yazdırma alanını aydınlatacak şekilde içerisine şerit led döşendi.

Bir yazıcıda ki en önemli özelliklerden birisi de eksenlerin sabitliğidir. Yazıcıda ki tüm mekanik tasarım ve montaj bittikten sonra, X, Y ve Z eksenlerinin mümkün olduğunca rijit olması gerekmektedir. Parçaların birbiriyle tam anlamıyla uyumlu olamaması çok değişik çözümler üretilmesine de neden olmuştur. Z eksenindeki millerin onları sabitleyen plastik parçalarda bulunan yuvalara küçük gelmesi, millerin

çapının büyütülmesini gerektirmiştir. Elektrik bandıyla, gereken uzunluk ölçümleri de yapıldıktan sonra, milin etrafında bir kaç tur sararak, plastik yuvaya tam oturması ve böylece Z ekseninde sabitleme işleminin tamamlanması sağlanmış olundu. Ayrıca Z ekseninde sistemin düzgün hareket etmesini sağlamak için somun, pullardan ve plastik kelepçelerden oluşan sabit bir mekanizma geliştirildi.

Firmware ayarları üzerinde gerçekleştirilen uzun çalışmalardan sonra MendelMax 1.5 ile 100 mikron düzeyine inilerek mükemmel çıktılar elde edildi.

Akademik olarak bu alanda gerçekleştirilen bu ilk çalışmada, LCD, SD kart, termokupl ve fan bağlanarak bunların sağlıklı çalışabilmesi için gereken firmware ayarları yapıldı.

10.3. Kişisel Deneyimin Kazanılması

Tez içerisinde anlatılan yazıcı, yurt dışından kit olarak satın alınan, MendelMax 1.5 olarak da bilinen bir cihazdır. Kit denilince akla ilk gelen kurulumunun kolay olmasıdır. Ancak günümüz 3b yazıcılarının en büyük problemi şüphesiz montajı, kalibrasyonu ve konfigürasyonudur. Çünkü piyasada, bir kullanıcı kılavuzu ya da montaj kılavuzu yer almamaktadır. Yazıcının montajı yaklaşık olarak 6 ay sürmüştür. Montaj tamamlandıktan sonra internette yer alan ve yine açık olarak paylaşılan bir iki kılavuz sayesinde nelerin doğru ve nelerin yanlış yapıldığı farkedilmiştir. Hemen hemen montajın bütün aşamalarında hatalarla karşılaşılmış ve mevcut imkanlarla bu hatalar giderilmiştir. Başlangıçta montaj ile ilgili bir kaynağın bulunmaması ve yazıcıların hemen hemen hepsinin kişiselleştirilebilir olduğundan farklılık göstermeleri, karşılaşılan zorluklar olmuştur.

Montajın tamamlanması yazıcının çalışacağı anlamına gelmemektedir. Dünyada popüler olarak bilinen ve fiyatları pahalı olan yazıcılar Tak Çalıştır (Plug and Play) mantığıyla fişe takılarak çalışmamaktadırlar. 3b yazıcıları kullanabilme, bu alanla ilgili beceri gerektirmektedir. Host (3b yazıcı ile bilgisayar arasında iletişimin sağlanması) yazılımının ayarlarının yapılması, cihazın bilgisayara tanıtılması ve manuel kontrolün nasıl gerçekleştiği bilinmelidir.

Montaj tamamlandıktan sonra donanımsal kalibrasyonların yapılması gerekmektedir. Burada söz edilen kalibrasyon donanımsal ölçümlerdir. Bu işlem yazıcılara göre değişmektedir.

Kalibrasyon yapıldıktan sonra sırasıyla Firmware'in oluşturulması ve cihaz ile bilgisayar arasında iletişimi sağlayacak olan Host yazılımının konfigürasyonu gelmektedir. Bütün bu adımlar gerçekleştirildikten sonra 3b yazıcıdan çıktı alınabilmektedir.

Kit olarak alınan MM 1.5 3b yazıcısının alınan halinden -gereken malzemelerin temin edilmiş olması- çalışır duruma getirilmesi için geçen sürecin bu kadar uzamasının temel nedeni parçaların yurt içinde temin edilememesidir.

10.4. AFO (Ankle-Foot Orthosis)

AFO (Ankle-Foot Orthosis - Ayak Bileği Ortezi), ayak bileğini sabitlemeye, yürümeyi kolaylaştırmaya ve vücut dengesini sağlamaya yarayan ortezdir. Ameliyat sonrasında da ekstremiteyi korumak ve sabitlemek amacıyla kullanılabilir. Bu ortezler ilgili kısma vücudun dışından uygulanmaktadır. Ortez seçimini etkileyen pek çok parametre vardır. Şüphesiz kişiye özel olarak üretilerek, amacına tam uygunluk göstermesi ve ideal olması önemlidir.

Ortezler en çok ayak deformiteleri için kullanılmaktadır. Ortez kullanımında amaç, ayağın yere düz basmasını sağlamaktır. Bu amaçla kullanılacak olan ortezin hafif, kullanışlı olması ile birlikte bası yarası oluşturmaması gerekmektedir.

AFO'ların değişik tipleri mevcuttur.

10.4.1. Dinamik afo (dafo, dynamic ankle-foot-orthosis)

İnce ve esnek malzemeden oluşturulan bu ortez, ayağa tam temas edecek şekilde üretilmelidir. Ayağa belirli noktalardan basınç uygulanır. Ayak bileğinde az da olsa hareket gözlenebilir. Ayak topuğu orteze tam oturmalıdır. Bu ortez dinamik düşük ayak deformitesinde kullanılır. Şekil 10.1'de dinamik afo modeli görülmektedir.



Şekil 10.1. Dinamik AFO

10.4.2. Rijit afo

Bu ortezde, ayak bileği hareketine izin verilmemektedir. Uygulanırken ayak topuğunun tam oturması sağlanmalıdır. Ayakta zor duran hastalar için ayakbileği stabilitesi sağlamak için kullanılır. Ameliyat sonrası ekstremiteyi sabitlemek amacı ile de kullanılır. Şekil 10.2'de rijit afo modeli görülmektedir.



Şekil 10.2. Rijit AFO

10.4.3. Eklemli (menteşeli) afo

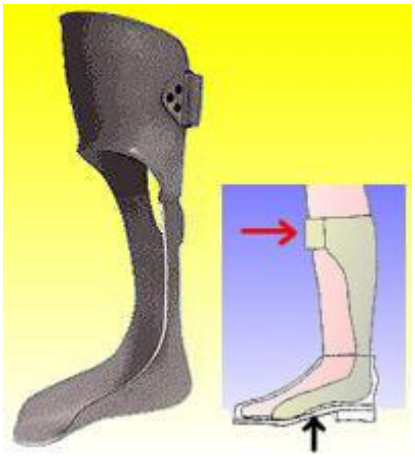
Eklemli AFO'lar, ayakbileğinde kısmen hareketin sağlandığı ve ayak bileğine destek veren ortezlerdir. Bu ortez hastanın merdivenleri daha rahat çıkmasını ya da engebeli yüzeylerde rahat yürümesini sağlamaktadır. Şekil 10.3'te eklemli afo modeli görülmektedir.



Şekil 10.3. Eklemli AFO

10.4.4. Yer tepkili afo (grafo, ground reaction afo; veya fro, floor reaction orthosis)

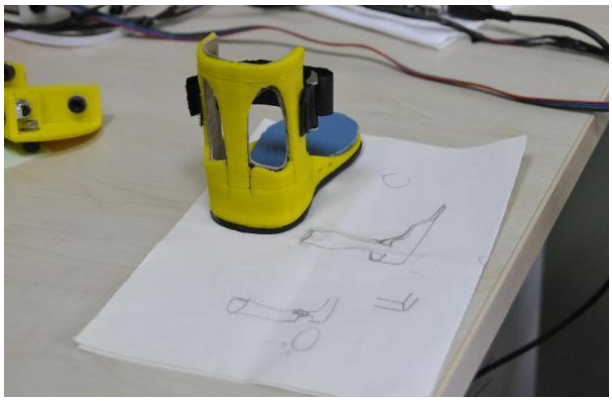
Diğer AFO'ların aksine yer tepkili AFO'da plastik destek bacağın arkasında değil önünde yer alır. Bu ortez güçsüz triseps suraya bağlı topuk yürüyüşünü düzeltmek amacıyla kullanılır. Şekil 10.4'te yer tepkili afo modeli görülmektedir.



Şekil 10.4. Yer tepkili AFO

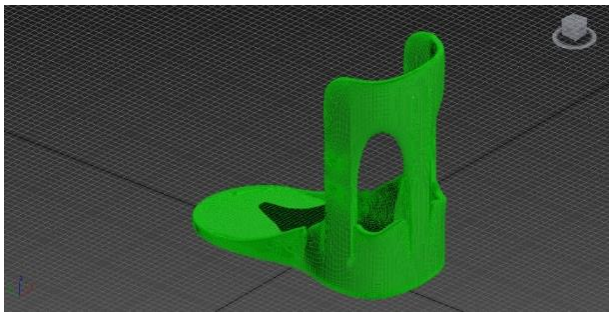
10.5. Üç Boyutlu Yazıcıyla Ayak Bileği Ortezinin Tasarımı ve Geliştirilmesi

Ayak bileği ortezi ilk olarak kağıt üzerinde şekillendi. FDM baskı teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilecek olan baskıda tek parça çıktı alınmasına karar verildi ve bu sebeple rijit afo tasarlandı. Şekil 10.5'te kağıt üzerinde tasarlanan afo modeli görülmektedir.

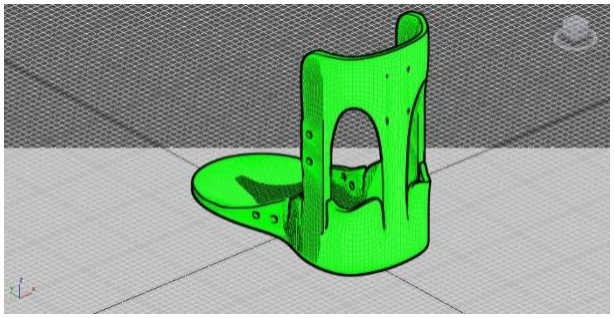


Şekil 10.5. AFO'nun kağıt üzerinde tasarımı

Kağıt üzerinde tasarlanan model, 3 boyutlu modelleme yazılımları yardımı ile 3 boyutlu ortamda modellendi. Şekil 10.6-7'de 3b afo modeli görülmektedir.



Şekil 10.6. AFO'nun 3b modellenmesi



Şekil 10.7. AFO modelinin 3b görünüşü

AFO modeli .STL uzantılı kaydedildi ve yazdırmaya hazırlandı. Yaklaşık 8 saat süren yazdırma işleminde çözünürlük 200 mikron olarak ayarlandı. Çıktının AFO olarak kullanılabilmesi adına medikallerde bulunan mevcut AFO'ların yapısı ve kalitesi incelendi. Elde edilen bu çıktının altına kaymaz ayak altlığı, tabanına ortopedik ayak tabanlığı, içine cilde zarar vermeyen yumuşak deri malzeme ve son olarak da ayağı bilekten ve üstten olmak üzere 2 ayrı noktadan da dengeli bir şekilde kavramaya ve sabitlemeye yarayan cırt bant eklendi. Şekil 10.8'de afo çıktısı görülmektedir.



Şekil 10.8. AFO’nun 200 mikron çözünürlükte yazdırılması

11. MM 1.5 MONTAJ, KALİBRASYON, KONFİGÜRASYON

Bu bölümde MendelMax 1.5 adlı 3b yazıcının sıfırdan bütün montajı, montajın doğruluğunun anlaşılabilmesi için gerekli donanımsal kalibrasyonlar, Firmware ve Host yazılımlarının ayarları ve yüklenmesi ve yazılımsal testler anlatılmış ve bu alanla ilgilenen insanlar için önemli ayrıntılardan bahsedilmiştir.

11.1. Genel Bakış

MendelMax (MM) Maxbots tarafından 2011'in Kasım ayında tasarlanan açık kaynak kodlu bir RepRap 3b yazıcısıdır. Yapısal elemanlar için vidalı mil yerine ucuz alüminyum ekstrüzyon ve basılı destekler kullanan gerçek bir RepRap'tir. Minimum maliyetle sağlamlığı büyük ölçüde arttırır. Gereken ekstrüzyonlar dünya genelinde çeşitli tedarikçilerden sağlanabilir.

MM, Prusa Mendel'in iyi parçalarını içeren ve Prusa Mendel temelli bir 3b yazıcıdır. Prusa Mendel, Sells Mendel'in şasesini korumuş ve X, Y ve Z eksenlerindeki hataları düzeltilmiştir. MM 1.0, çoğunlukla XYZ eksenlerini mevcut haliyle koruyarak, şasenin tamamen yeniden tasarlanmasıyla oluşturulmuştur.

Artan sağlamlığa ek olarak yazıcıyı monte etmesi, standart bir Prusa kadar kolaydır. Hatta deneyimsiz bir üretici bile 1 ya da en çok 2 günde tüm şasenin montajını hiç bir sorun yaşamadan tamamlayabilir. Kolay montaj ile birlikte kolay kişiselleştirme durumu oluşur. Hemen hemen her bir parçası sadece bir kaç vida ile sökülerek çıkartılabilir, herhangi bir bölümünü tam anlamıyla değiştirmek şimdilik önemsiz bir işlemdir.

X ekseni, Prusa Mendel'den alınır, aslında bizlerin bile özel bir X ekseni tasarlamasına gerek yoktur, bir çok kişinin sonradan keşfettiği çeşitli ve içlerinde iyi olanların da bulunduğu dikey odaklı X ekseni tasarımları mevcuttur. X ekseni, standart olarak tanımlı olan Z mili ve Z vidalı mili arasındaki boşluğa takıldığı sürece MM ile iyi çalışmaktadır. Montajın kolaylaştırılmasına rağmen, sadece biraz daha basitleştirmek için, standart Prusa Y tasarımı (versiyon 1.0 için) kullanılabilir.

Z ekseni, eksenin ağırlığını desteklemek (yazdırılmış parçalarda ki problemlerin büyük oranda azaltılması) için opsiyonel yataklı rulmanlar gerektirir ancak bu tamamen isteğe bağlı bir modifikasyondur ve eğer istenirse kolayca eski tasarım kullanılabilir.

MM öncelikle yeni bir şase tasarımı tanımladığı için kullanılacak lineer rulmanlar üreticinin seçimine bağlıdır. LM8UU ve PTFE mil yatakları birlikte kullanılabilir. Pirinç ya da yazdırılmış mil yatağı da kullanılabilir (yüksek güvenilirlik için kaçınılması tavsiye olunur).

17 Temmuz 2012 tarihi itibariyle geçerli revizyon (MM 1.5+ dahil), resmi MM mağazalarından kit olarak sunulmaktadır. MM Y ekseninde, ağır eksene akıcı bir hareket kazandırmak için yağlanmış (PTFE sprey) miller kullanmak ve büyük ölçüde temiz görünmek yerine doğrusal hareketi kullanır. Ayrıca önceki modellerden farklı olarak motorlar, Z eksenini yazıcının tabanından çerçevenin üst kısımlarına kadar kontrol edebilmektedir.

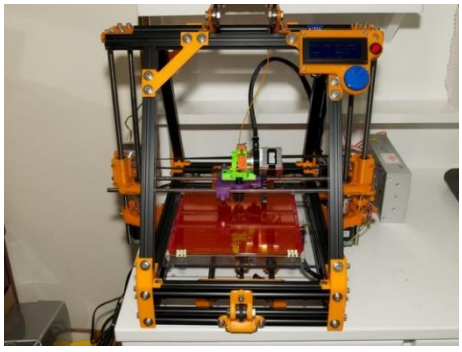
11.2. Versiyonlar

11.2.1. MendelMax 1.0

MendelMax‘ın birinci sürümü temelde Prusa Mendel çerçevesi üzerinde geliştirilmiş ve diğer özellikleri her yönüyle muhafaza edilmiştir.

11.2.2. MendelMax 1.5

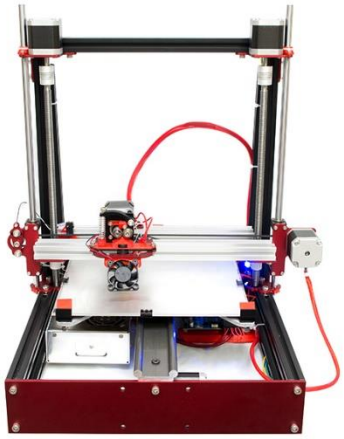
MendelMax 1.5, MendelMax 3b yazıcısının iyileştirilmiş bir versiyonudur. Neredeyse her baskılı bölüm kolay ve hızlı montaj yapabilmek için güncelleştirilmiş ve yazıcının daha düzgün çalışması sağlanmıştır. Şekil 11.1’de MendelMax 1.5 görülmektedir.



Şekil 11.1. MM 1.5

11.2.3. MendelMax 2.0

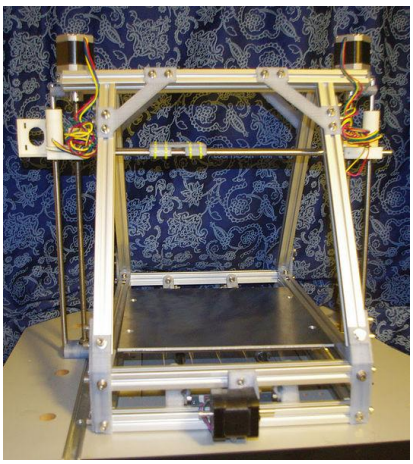
MendelMax‘ın son revizyonu, önceki tasarımlara göre sağlamlık ve montaj kolaylığı açısından daha başarılı bir tasarım üzerine oluşturulmuştur. Şekil 11.2’de MendelMax 2.0 görülmektedir.



Şekil 11.2. MM 2.0

11.3. MendelMax 1.5 BOM

MM 1.5 BOM (Bills of Materials - Malzeme Listesi) günümüzde pek çok yerden temin edilebilmektedir. Ayrıca bazı bilinen ana parçaları dışında hemen hemen her mağazadaki BOM‘da farklıdır. MM içerisinde isteğe bağlı diğer elektronik ve mekanik alternatifleri de çalıştırılabileceği gibi yine isteğe bağlı olarak kişiselleştirilebilir. Ülkemizde henüz BOM satışı gerçekleşmeyen ve toplanmış halde de temin edilemeyen MM, yurt dışındaki pek çok mağazadan temin edilebilmektedir. Şekil 11.3’te MendelMax 1.5’in şasesi görülmektedir.



Şekil 11.3. MM 1.5 şasesi

MM montajı için gerekli parçalar, bir kaç kategoriye ayrılmaktadır. Temelde montaj için gereken parçalar mekanik ve elektronik bileşenlerdir. Şase (frame); sigma profil, miller (rod), yazdırılmış parçalar ve diğer tüm mekanik parçalar. Elektronik; kontrol kartı, motorlar, switch ler (endstop), termistörler ve diğer tüm elektronik parçalar. Vida setleri (vida, somun, pul ve rulmanlar) gibi. Tüm bu bileşenler pek çok ayrı kaynakta daha detaylı olarak gruplanmıştır. Mağazalarda da kit olarak daha özel gruplandırmalar mevcuttur.

Şekil 11.4-15'te MendelMax 1.5 bileşenleri görülmektedir.

Parts Overview

MM Hardware Bag
- ❑ M3 Nuts x10
- ❑ M3 Washers x30
- ❑ M3 SHCS x30
- ❑ T-Slot Nuts x100
- ❑ M5x10mm SHCS x120
- ❑ M5 Thin Nuts x100
- ❑ M5 Washers x100
- ❑ M5x12mm BHS x4
- ❑ M5x12mm SHCS x18
- ❑ M5x20mm SHCS x8
- ❑ M5x10mm FHS x4
- ❑ M8x30mm SHCS x2
- ❑ M8 Nuts x2
- ❑ M8 Washers x5
- ❑ Linear Bushings – 8mm x8
- ❑ Linear Bushings – 10mm x4
- ❑ 608ZZ Bearings x8
- ❑ Z Shaft Couplers M5–M6.35 x2
- ❑ GT2 Pulleys x2

Y-Axis Rail Hardware
- ❑ M3x10mm SHCS x8
- ❑ M3 Nyloc Nuts x8
- ❑ M5x10mm x7
- ❑ M5x16mm x4
- ❑ M5 Thin Nuts x4
- ❑ M5 Washers x11
- ❑ M6x10mm SHCS x4
- ❑ Table Corners x4
- ❑ Rail Belt Clamp x1

Y-Axis Mounting Hardware
- ❑ Corner x4
- ❑ T-Slot Nuts x8
- ❑ M5x10mm x8
- ❑ M5 Washers x8

Y-Axis Rail Kit
- ❑ Insulator Plate x1
- ❑ Rail & Car Assy x1
- ❑ Borosilicate Glass x1
- ❑ PTFE Sheets x2

Frame Kit
- ❑ 300mm Extrusions x4
- ❑ 340mm Extrusions x4
- ❑ 420mm Extrusions x7

Heated Bed Kit
- ❑ Heated Bed x1
- ❑ SSR x1
- ❑ M5x65mm SHCS x4
- ❑ M5 Nuts x4
- ❑ M4 Nyloc x2
- ❑ M3 Nyloc x2
- ❑ M3x12mm FHS x2
- ❑ Power Jack x1
- ❑ Fuses x2

Thermistor Kit
- ❑ Thermistor x1
- ❑ Connector Wire x1
- ❑ Grey Wire x1
- ❑ PTFE 30Gauge Tube x2
- ❑ 1/8" Heat shrink
- ❑ 1/16" Heat Shrink

Şekil 11.4. MM 1.5 bileşenleri listesi

Linear Kit

- ❑ Precision Chromed Rods – 10mm x2
- ❑ Precision Chromed Rods – 8mm x2
- ❑ Precision Leadscrews x2
- ❑ Delrin Nuts x2

Electronics Kit

- ❑ RAMPS 1.4 x1
- ❑ Arduino 2560 Mega x1
- ❑ End Stops x3
- ❑ LED Strips x2
- ❑ Budaschnozzle 1.1 x1
- ❑ Stepper Motors x5
- ❑ 110V Power Supply x1

Extruder Hardware Kit

- ❑ M8x25mm Stud x1
- ❑ M8 Nut x2
- ❑ M8 Washer x4
- ❑ M4x55mm x4
- ❑ M4 Nut x4
- ❑ M4 Washer x15
- ❑ M3x10mm x4
- ❑ M3x25mm x2
- ❑ M3 Washer x10
- ❑ M3 Set Screw x2
- ❑ Hobbed Bolt x1
- ❑ 608ZZ Bearing x3

Plastics Kit

- ❑ Top Vertex x4
- ❑ Bottom Vertex - Upper Left x2
- ❑ Bottom Vertex - Upper Right x2
- ❑ Bottom Vertex - Lower Right x2
- ❑ Bottom Vertex - Lower Left x2
- ❑ 70mm Jig x1
- ❑ Y Motor Mount x1
- ❑ Y Rod Clasp x4
- ❑ Y Idler Mount x1
- ❑ Y Idler Tensioner x1
- ❑ X End Clamp x1
- ❑ X End Motor Side x1
- ❑ X End Idler Side x1
- ❑ X Carriage for Self Aligning Bronze Bushings x1
- ❑ Lower Motor Mount for 10mm Rods x2
- ❑ Z- Top Vertex for 10mm Rods x2
- ❑ Z- Lower Motor Mount Support (A) x2
- ❑ Z- Lower Motor Mount Support (B) x2
- ❑ Rod Clasp x4
- ❑ Extruder Idler Holder x1
- ❑ Extruder Small Gear x1
- ❑ Extruder Large Gear x1
- ❑ Groovemount Holder x1

Şekil 11.5. MM 1.5 bileşenleri listesi 2



Şekil 11.6. Şase bileşenleri



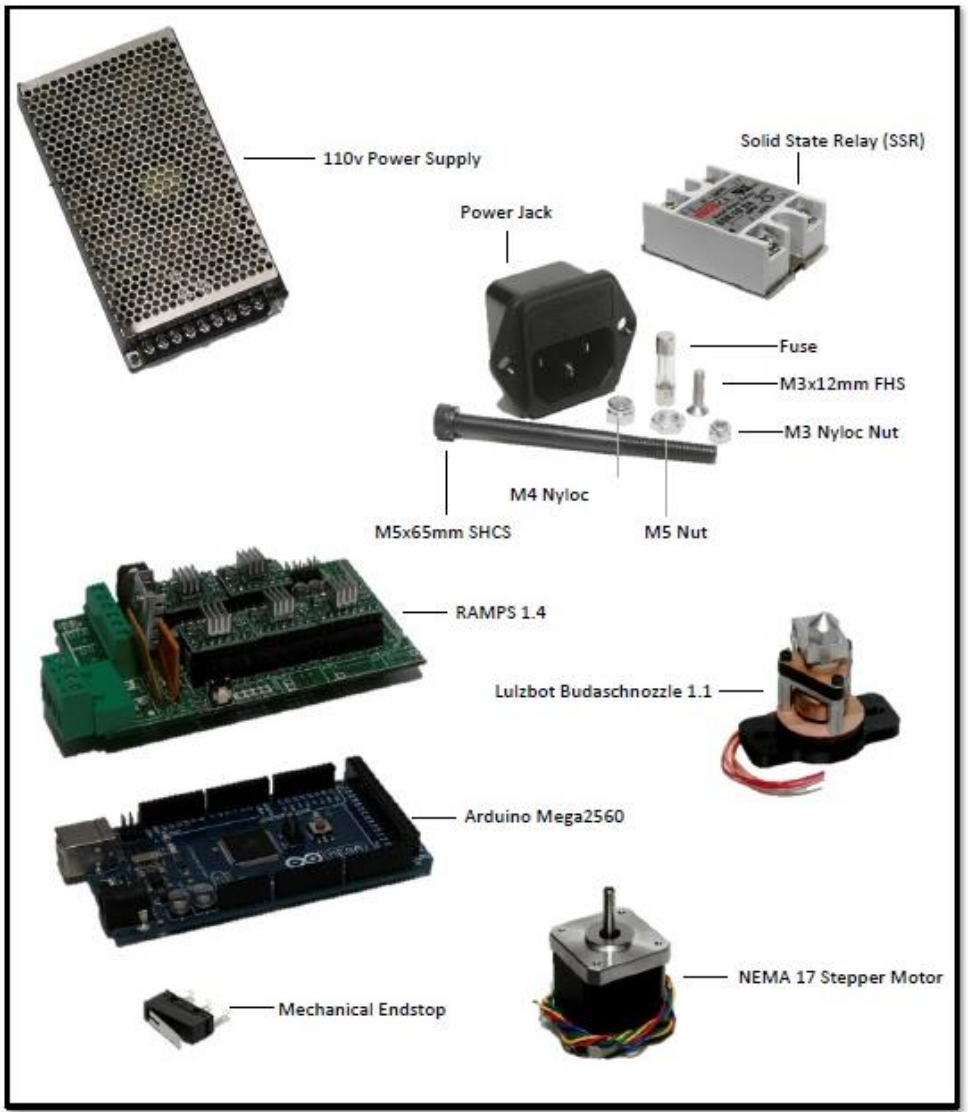
Şekil 11.7. Lineer bileşenler



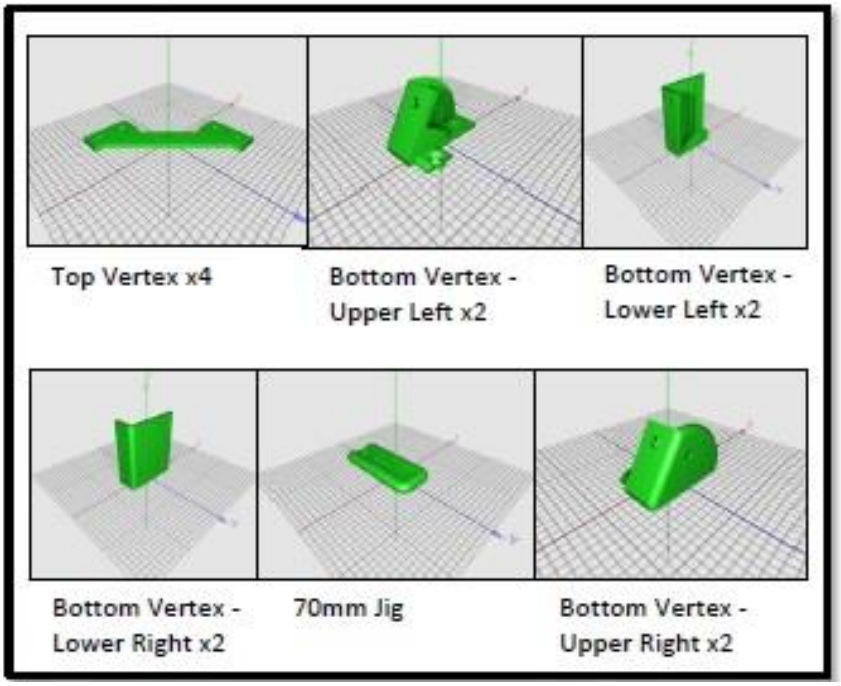
Şekil 11.8. Y ekseni bileşenleri



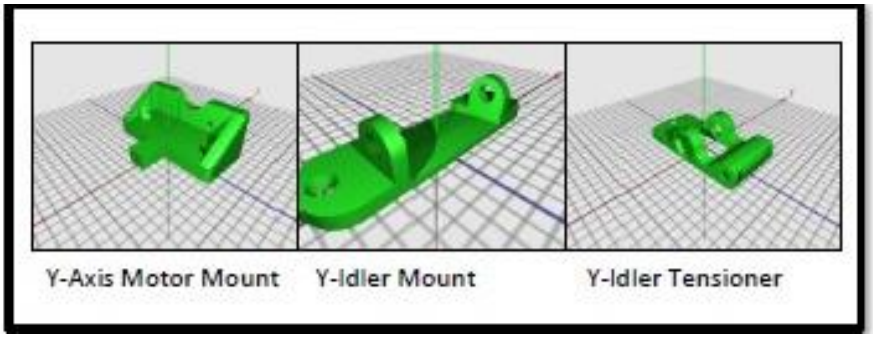
Şekil 11.9. Ekstrüzyon bileşenleri



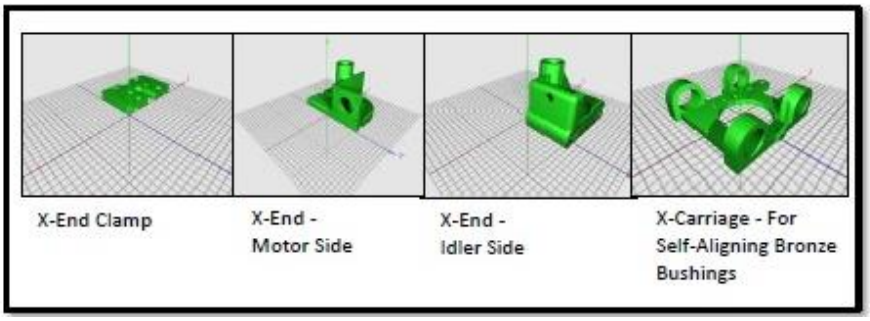
Şekil 11.10. Elektronik bileşenler



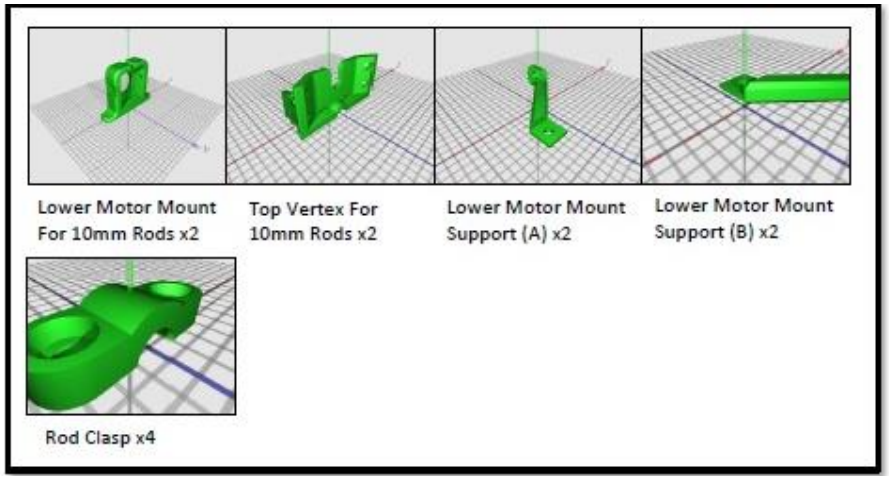
Şekil 11.11. Şase plastik bileşenleri



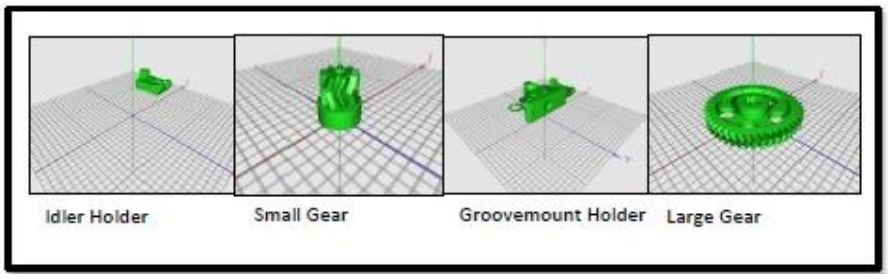
Şekil 11.12. Y ekseni plastik bileşenleri



Şekil 11.13. X ekseni plastik bileşenleri



Şekil 11.14. Z ekseni plastik bileşenleri

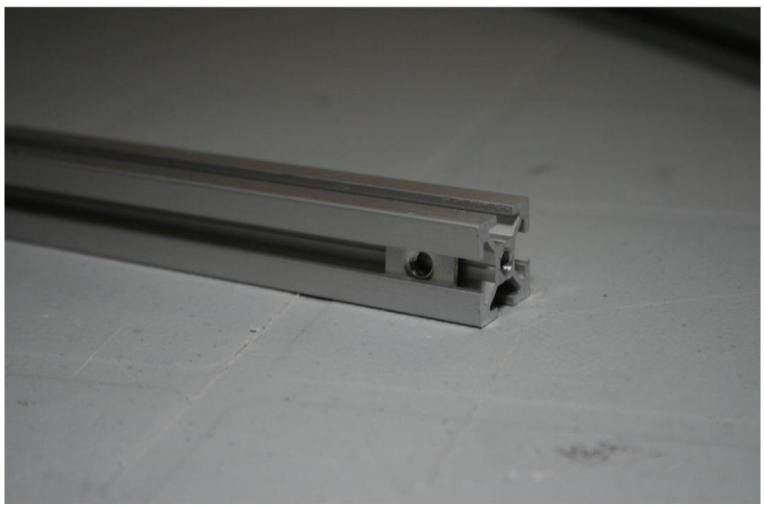


Şekil 11.15. Ekstrüzyon plastik bileşenleri

11.4. Mekanik Montaj

11.4.1. Alt şase montajı

1. Şekil 11.16-35'te görüldüğü gibi 300 mm uzunluğunda bir sigma profil belirlendi ve bir ucuna 1 adet T-Slot yerleştirildi.



Şekil 11.16. Sigma profil ve T-Slot

2. Bir adet Bottom Vertex - Lower Right plastik parçası, 300 mm uzunluğundaki sigma profil ile 2 adet M5 × 10 mm SHCS ve 2 adet M5 pul kullanılarak birleştirildi.



Şekil 11.17. Bottom Vertex - Lower Right parçası

3. Aynı slot üzerinde olacak şekilde sigma profile 3 adet T-Slot yerleştirildi.



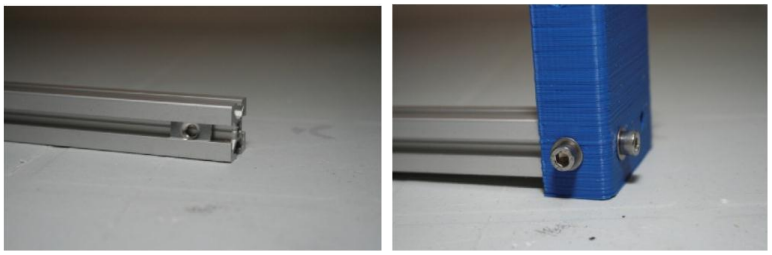
Şekil 11.18. Aynı slota 3 adet T-Slot eklenmesi

4. Bir adet Bottom Vertex - Lower Left plastik parçası, 300 mm uzunluğundaki sigma profilin diğer ucu ile 2 adet M5 × 10 mm SHCS ve 2 adet M5 pul kullanılarak birleştirildi.



Şekil 11.19. Bottom Vertex - Lower Left parçası

5. Başka bir 300 mm uzunluğunda sigma profil belirlendi ve aynı işlemler uygulandı.



Şekil 11.20. Aynı adımların diğer profile uygulanması

6. Bu işlemler uygulanırken sadece 3 adet T-Slot kullanıldı.



Şekil 11.21. T-Slot'ların sigma profildeki konumları

7. 4 adet M5 × 10 mm SHCS ve 4 adet pul ile parçalar sağlamlaştırıldı.



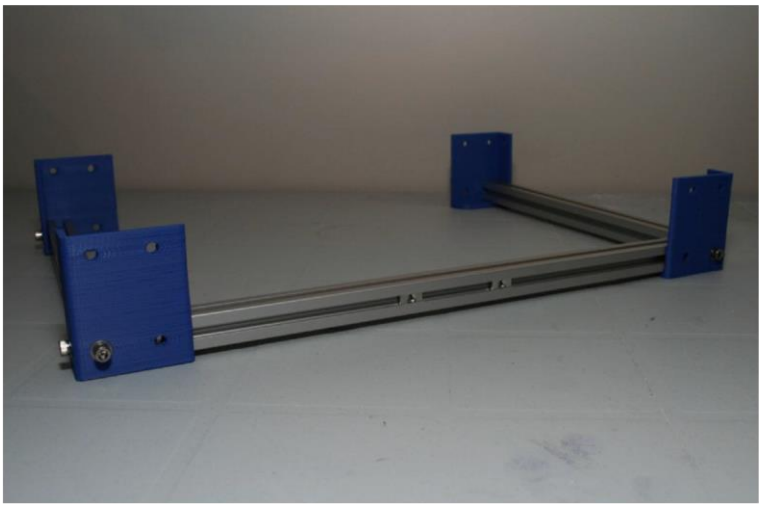
Şekil 11.22. Plastiklerin vidalanarak sağlamlaştırılması

8. Tüm montaj tamamladıktan sonra yazıcının ön tarafında 4 adet T-Slot yer alırken, arka tarafında 3 adet T-Slot yer almalıdır.
9. 420 mm uzunluğunda bir sigma profil belirlendi ve bir slotuna 4 adet T-Slot yerleştirildi.



Şekil 11.23. T-Slot'ların sigma profile eklenmesi

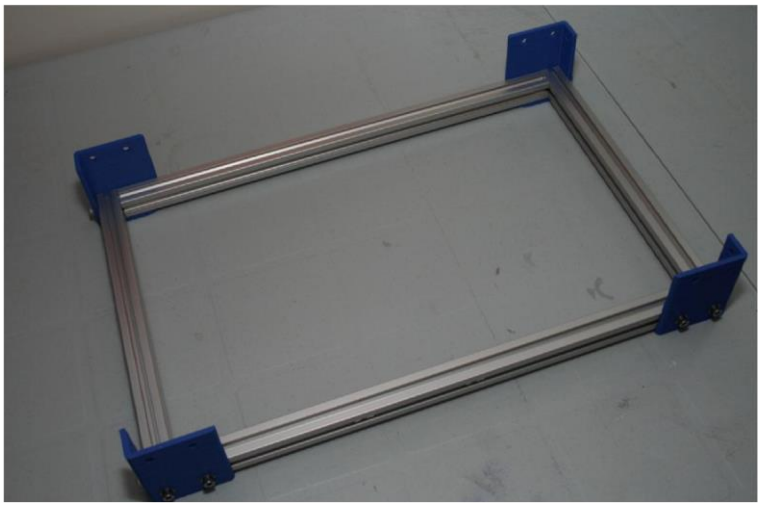
10. 420 mm'lik 2 adet sigma profil birbirleriyle hizalanarak birleştirildi.



Şekil 11.24. Sigma profillerin şase ile birleştirilmesi

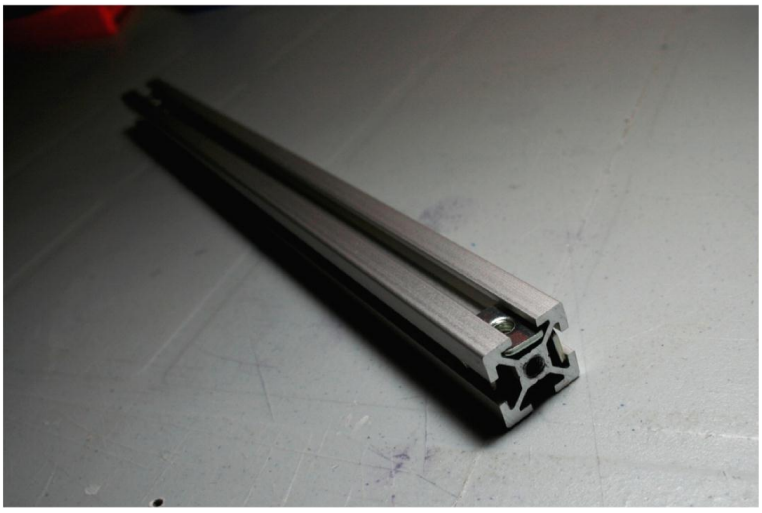
11. 2 adet M5 × 10 mm SHCS ve 2 adet M5 pul ile plastik parçalar sağlamlaştırıldı.

12. 300 mm'lik bir sigma profile de aynı adımlar uygulandı, bu profil şasenin arka tarafı ile birleştirildi.



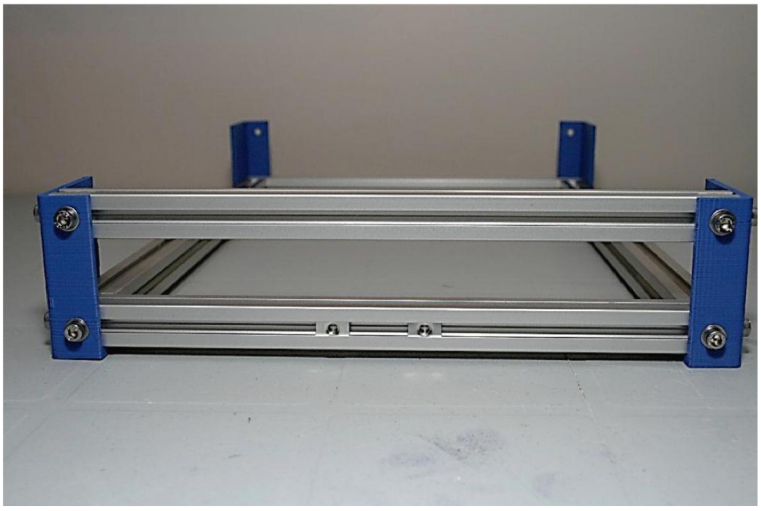
Şekil 11.25. Sigma profilin şase ile birleştirilmesi

13. Bir başka 300 mm uzunluğunda sigma profil belirlendi birbiriyle ardışık olan 3 slotuna 2 şer adet T-Slot yerleştirildi.

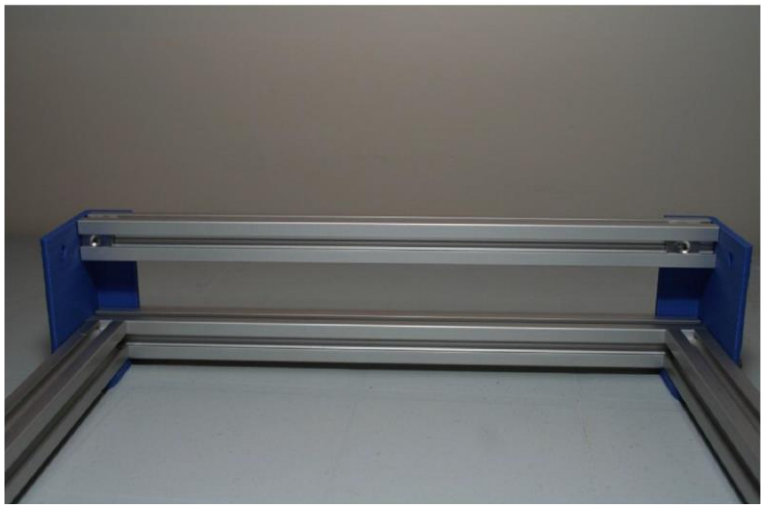


Şekil 11.26. Profilin 3 slotuna 2 şer adet T-Slot eklenmesi

14. 300 mm uzunluğundaki bu sigma profil, alt şase ile yazıcının ön tarafına bakacak şekilde birleştirildi. Bu işlem gerçekleştirirken T-Slot eklenilmeyen 4. slot yere doğru bakmalıdır.

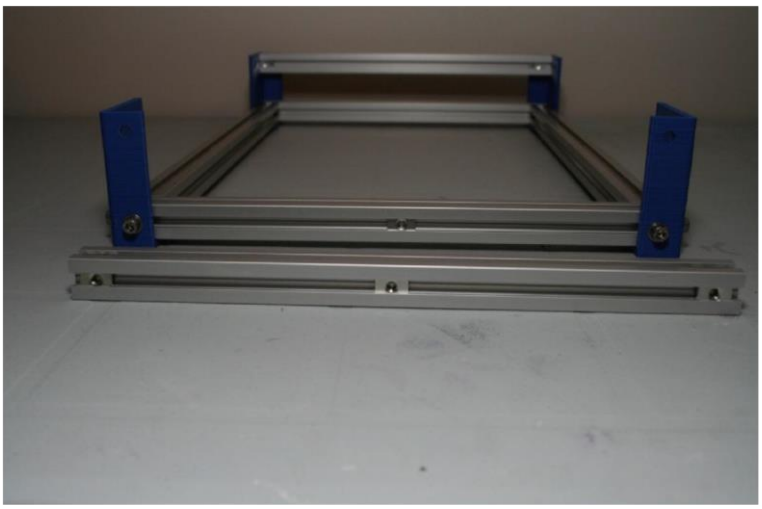


Şekil 11.27. Sigma profilin şase ile birleştirilmesi



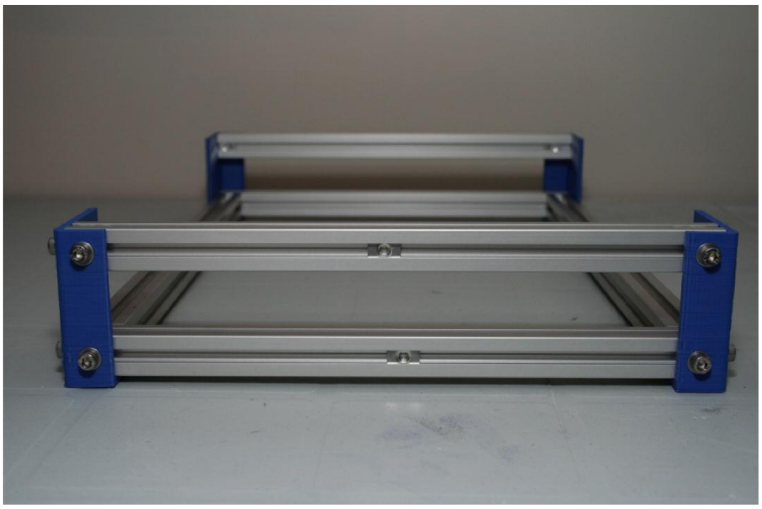
Şekil 11.28. İçten görünüşü

15. 300 mm uzunluğunda bir sigma profil belirlendi ve bir slotuna 3 adet T-Slot, tam karşı tarafındaki slota 2 adet T-Slot ve üstte kalan slota da 2 adet T-Slot yerleştirildi.



Şekil 11.29. Profile 2, 3 ve 2 adet T-Slot eklenmesi

16. Sigma profil, yazıcının arka kısmında yer alacak şekilde alt şasenin üst kısmı, 4 adet M5 × 10 mm SHCS ve 4 adet M5 pul kullanılarak birleştirildi.

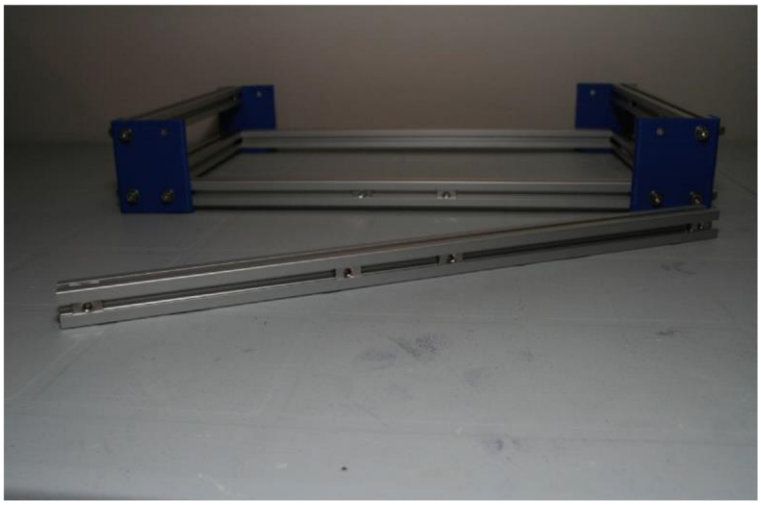


Şekil 11.30. Sigma profilin şaseye montajı



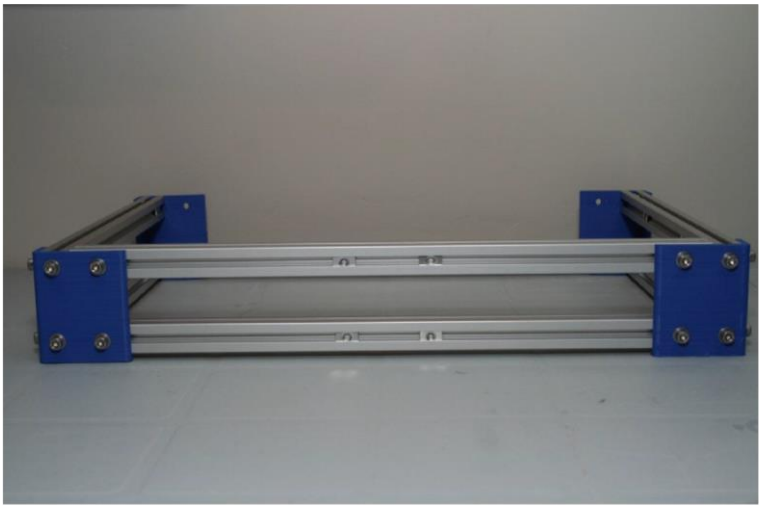
Şekil 11.31. İçten görünüşü

17. 420 mm'lik bir sigma profil belirlendi, ardışık iki slotuna 4 ve 2 adet T-Slot'u yerleştirildi.



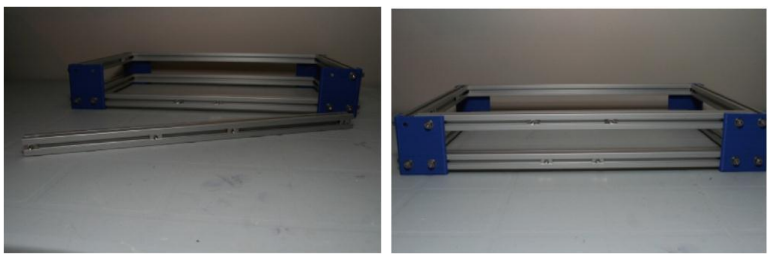
Şekil 11.32. Profile 4 ve 2 adet T-Slot eklenmesi

18. Yazıcının yan kısmını oluşturmak üzere bu sigma profil, alt şasenin yan kısmında bulunan açıklıklara 2 adet M5 × 10 mm SHCS ve 2 adet M5 pul kullanılarak monte edildi.



Şekil 11.33. Sigma profilin şasenin yan kısmına montajı

19. Şasenin diğer yan tarafı için de aynı işlemler uygulandı.



Şekil 11.34. Sigma profilin şasenin diğer tarafına montajı

20. Alt şase montajı böylelikle tamamlandı. Y ekseninin montajına başlandı.



Şekil 11.35. Alt şasenin montajının tamamlanmış hali

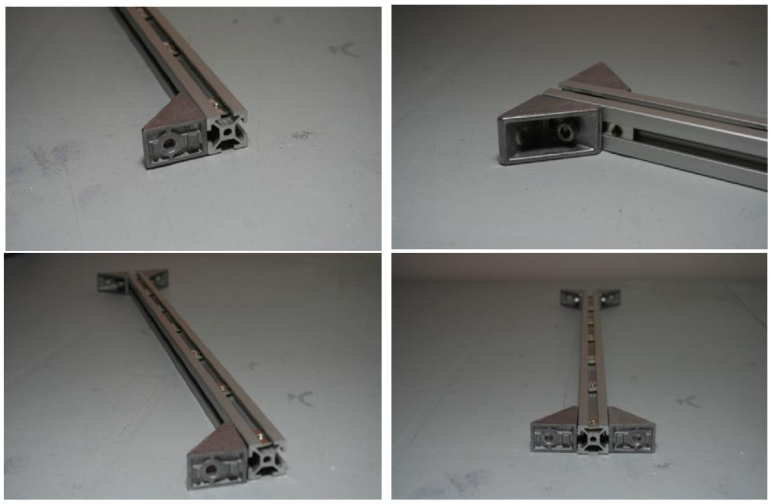
11.4.2. Y ekseninin montajı

1. Şekil 11.36-62'de görüldüğü gibi 420 mm uzunluğunda bir sigma profil belirlendi ve üst yüzeyinde bulunan slota 7 adet, yan yüzeyinde bulunan slota 2 adet ve tam bu slotun karşısındaki diğer yan yüzeye de 2 adet T-Slot yerleştirildi.



Şekil 11.36. Profile 2, 7 ve 2 adet T-Slot eklenmesi

2. Corner Brackets plastik parçaları bu sigma profilin dört yanına da 4 adet M5 × 10 mm SHCS ve 4 adet M5 pul kullanılarak monte edildi.



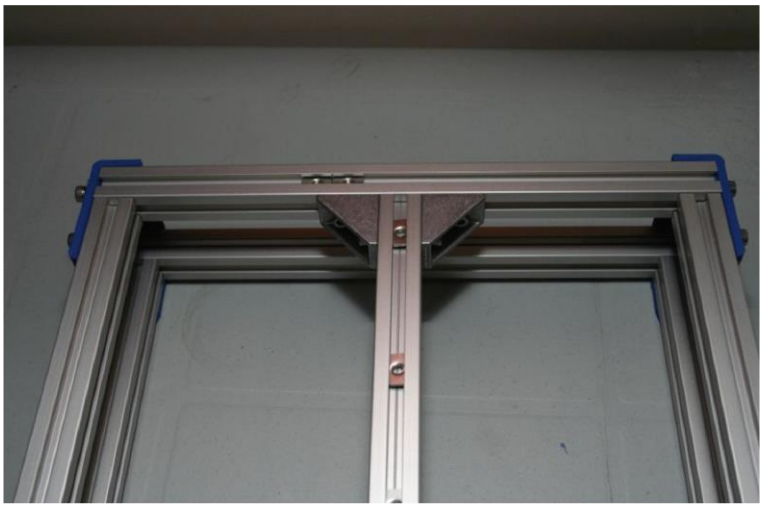
Şekil 11.37. Corner Brackets parçalarının montajı

3. 420 mm'lik bu sigma profili şasenin tam ortasına denk gelecek şekilde alt şasenin üst kısmına, diğer 420 mm'lik sigma profiller ile T-Slot'ları da kullanarak monte edildi.



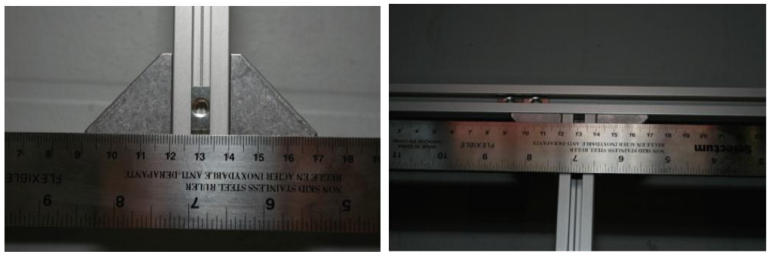
Şekil 11.38. Sigma profilin şasenin orta noktasına montajı

4. 420 mm'lik sigma profili 4 adet M5 × 10 mm SHCS ve 4 adet M5 pul kullanılarak fazla sıkmadan monte edildi.



Şekil 11.39. Sigma profilin şaseye montajı

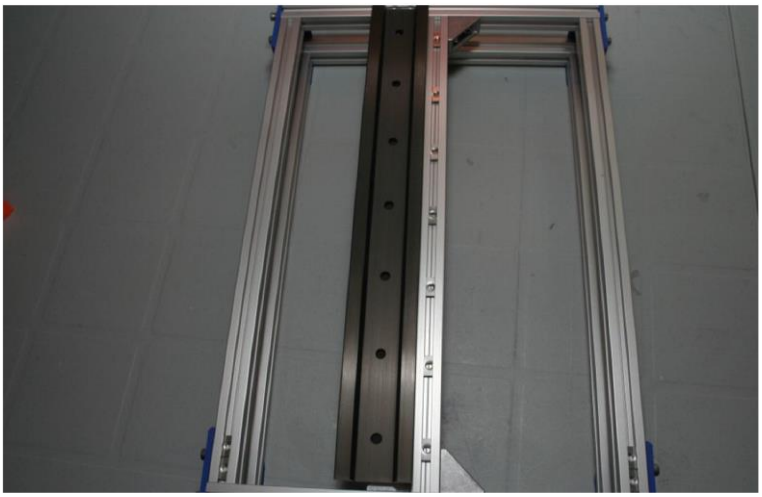
5. Bir cetvel yardımıyla sigma profilin şasenin tam ortasında olduğundan emin olundu. Normal bir MendelMax da bu uzunluk 130 mm'dir.



Şekil 11.40. Profilin şasenin orta noktasına montajı

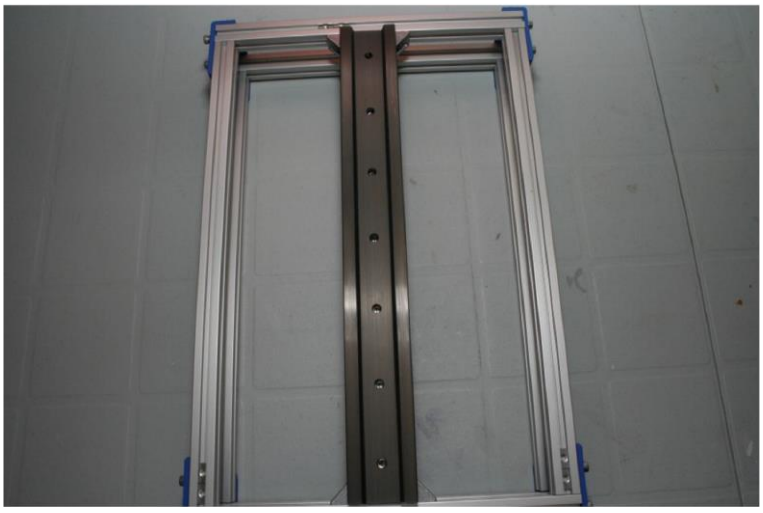
6. Vidalar sıkılarak tekrar cetvel yardımıyla 420 mm'lik sigma profilin şasenin tam ortasına monte edildiğinden emin olundu.

7. Y-Axis Rail, 420 mm'lik profilin üzerine yerleştirildi, 420 mm'lik sigma profildeki T-Slot'ların, Y-Axis Rail üzerindeki delikleri karşılaması sağlandı.



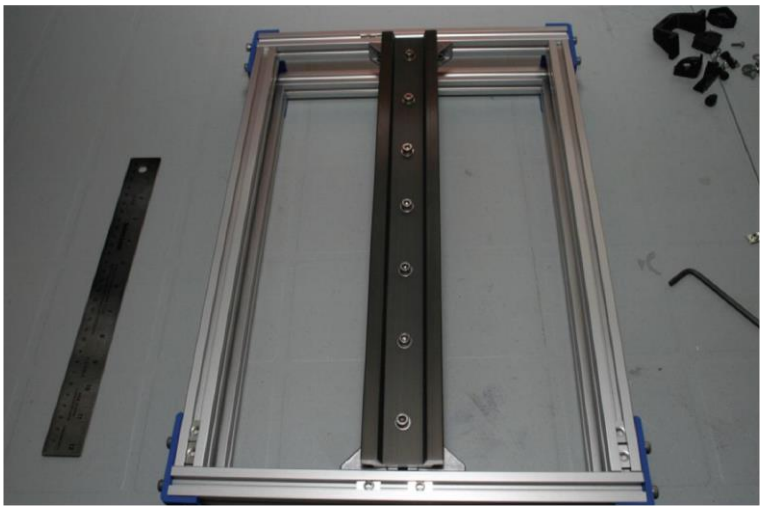
Şekil 11.41. Y-Axis Rail'in profil üzerinde hizalanması

8. Y-Axis Rail, 420 mm'lik sigma profil üzerinde, 300 mm'lik sigma profillerin arasında, yazıcının tam ortasında ve altındaki T-Slot'ları karşıladığından emin olunarak yerleştirildi.



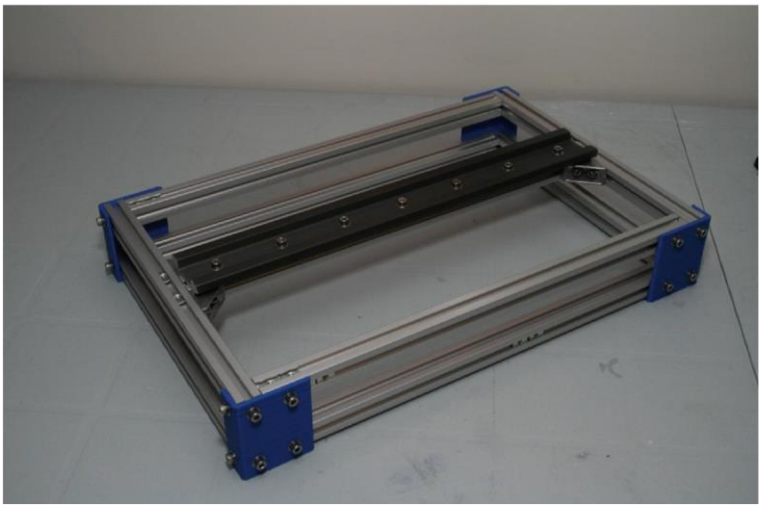
Şekil 11.42. Y-Axis Rail'in şaseyi ortaladığından emin olunması

9. 7 adet M5 × 10 mm SHCS ve 7 adet M5 pul kullanılarak fazla sıkıştırmadan Y-Axis Rail, 420 mm'lik sigma profil üzerine monte edildi.



Şekil 11.43. Y-Axis Rail'in profil üzerine montajı

10. Y-Axis Rail'in şasenin tam ortasında olduğundan emin olunarak vidaları sıkıldı.



Şekil 11.44. Y-Axis Rail'in şaseyi ortaladığından emin olunması

11. Y-Axis Rail Car ve Insulator Plate belirlendi.

12. Y-Axis Car, Insulator Plate'in altında ortalandı ve 4 adet M6 × 10 mm SCHS kullanılarak Y-Axis Car, Insulator Plate'e monte edildi. Biraz sıkı olması normaldir, bu yüzden vidaları sıkarken adım adım sıralı olarak sıkmak gerekmektedir.



Şekil 11.45. Y-Axis Car'ın, Insulator Plate'e montajı

13. Corner Pieces parçaları, 4 adet M5 × 16 mm SHCS, 4 adet M5 pul ve 4 adet M5 somunu belirlendi. Corner Pieces'ın, Insulator Plate üzerine monte edilmesi için Insulator Plate üzerindeki delikler kullanıldı.



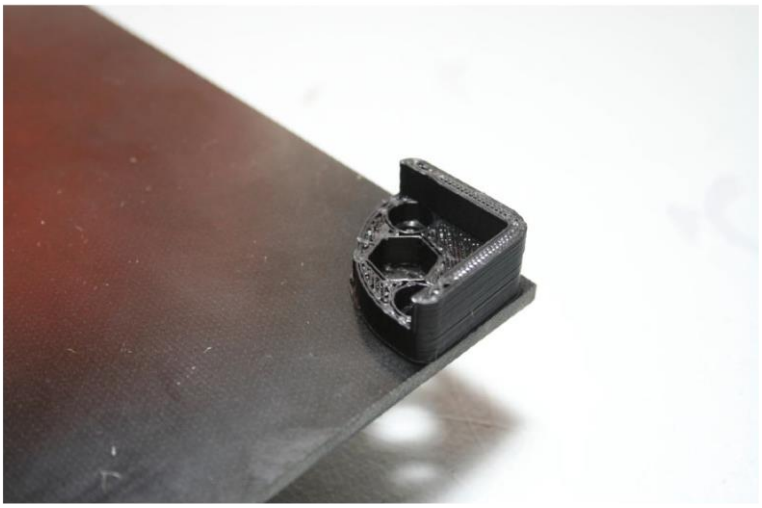
Şekil 11.46. Corner Pieces'ın Insulator Plate'e montajı

14. M5 × 16 mm SHCS vidaları Corner Pieces ile birleştirildi, arka kısımda M5 somunların, somun yataklarına tam oturduğundan emin olundu. Bu işlem, diğer Corner Pieces parçaları için de tekrar edildi.



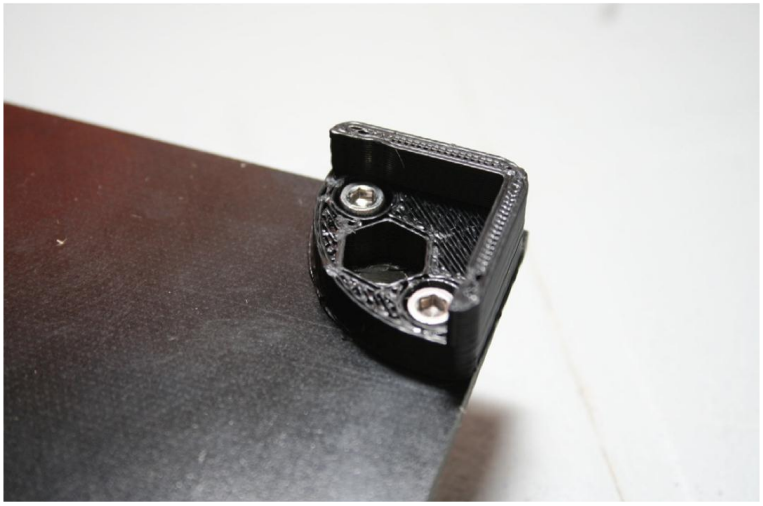
Şekil 11.47. Corner Pieces üzerindeki somun yataklarının kontrolü

15. Corner Piece parçası, Insulator Plate'in üzerine monte edildi.



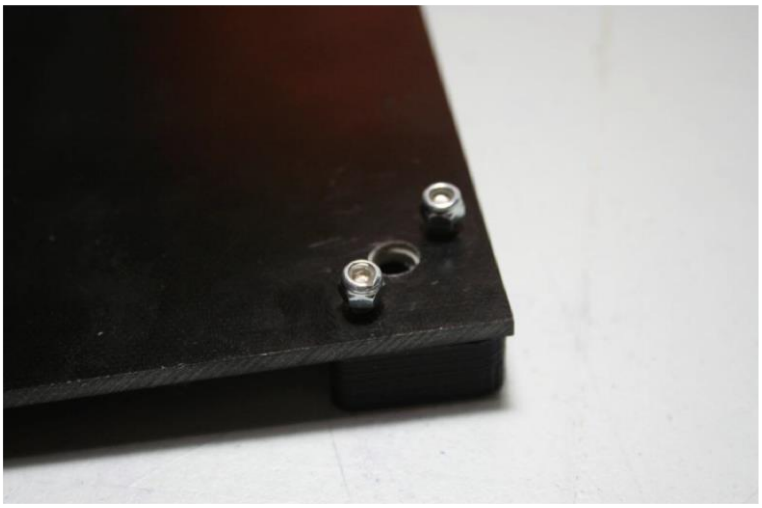
Şekil 11.48. Corner Piece parçasının hizalanması

16. 2 adet M3 × 10 mm SHCS belirlendi ve Corner Piece üzerindeki deliklere yerleştirildi.



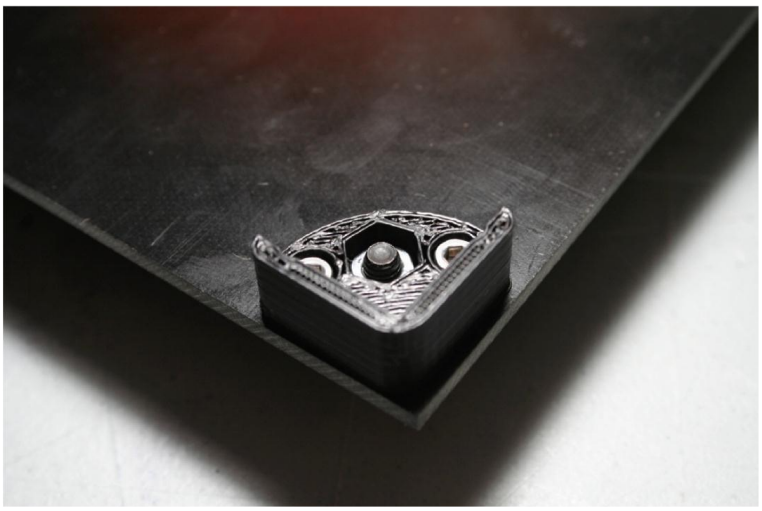
Şekil 11.49. Corner Piece üzerine vidaların eklenmesi

17. 2 adet M3 somunu belirlendi ve M3 SHCS vidaların alt tarafından çok sıkılmadan birleştirildi.



Şekil 11.50. Corner Piece parçasının yerleştirilmesi

18. 1 adet M5 pulu, M5 × 16 mm SHCS vida üzerine yerleştirildi, yatağın alt kısmı boyunca, M5 somunun üstüne doğru birleştirildi.



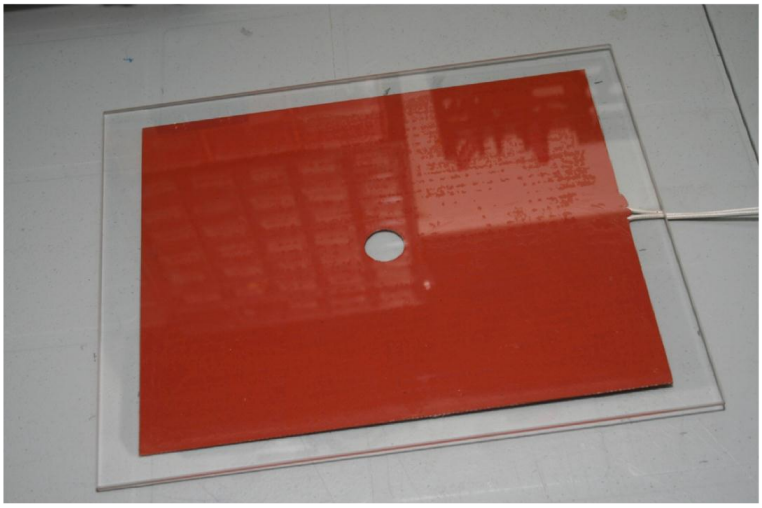
Şekil 11.51. Corner Piece parçasının sağlamlaştırılması

19. Camın yatak üzerine sığıp sığmayacağını test edildi. Rahat oturduğundan ve oynamadığından emin olundu. Eğer rahat oturmuyor ya da hareket ediyorsa, camı söküp köşe parçalarını ayarlamak gerekmektedir.



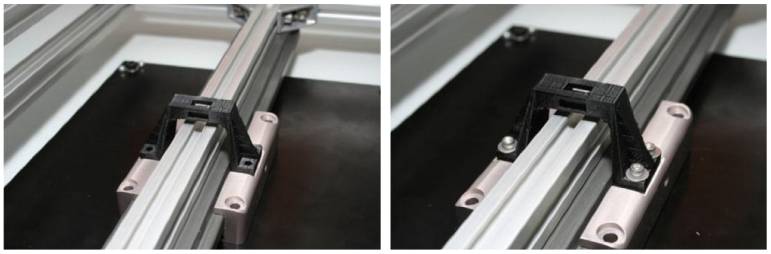
Şekil 11.52. Insulator Plate üzerine camın yerleştirilmesi

20. Cam, yatak üzerinden çıkartılarak, cam yüzeyinin temiz olduğundan emin olunduktan sonra ısıtıcı sabitlendi.



Şekil 11.53. Insulator Plate altına ısıtıcının yerleştirilmesi

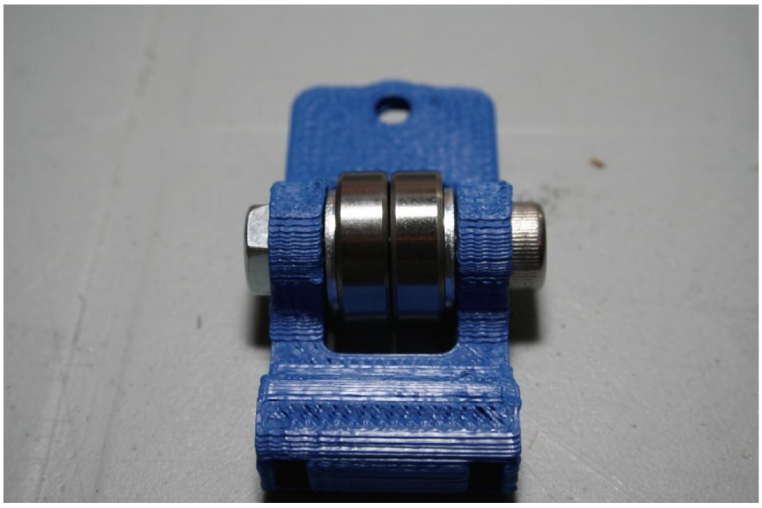
21. Şase ters çevirildi, Belt Clamp, Car üzerinde hizalandı ve 4 adet M3 × 10 mm SHCS vida kullanılarak Y-Axis Belt Clamp, Y-Axis Rail Car üzerine yerleştirildi.



Şekil 11.54. Belt Clap'in Rail Car üzerine montajı

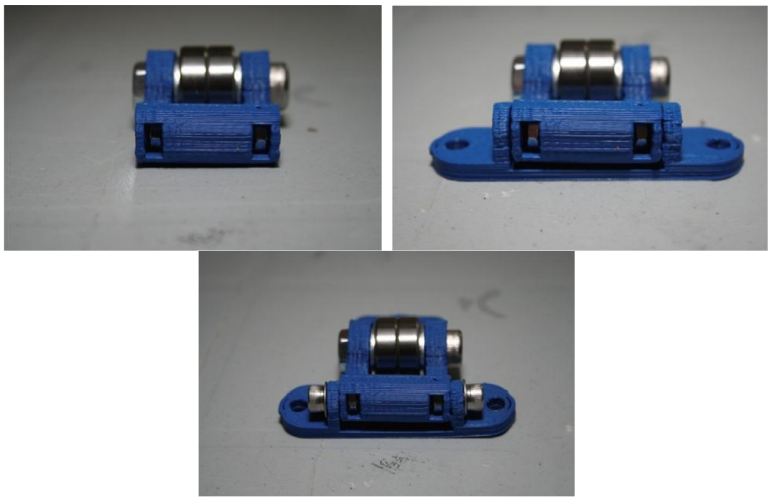
22. Y-Axis Tensioner'i birleştirmek için parçalar belirlendi: Y Idler Tensioner, Y Idler Moıunt, 1 adet M8 pul ve 2 adet 608ZZ rulman.

23. Tensioner, Şekil 11.6.i'de görüldüğü gibi monte edildi.



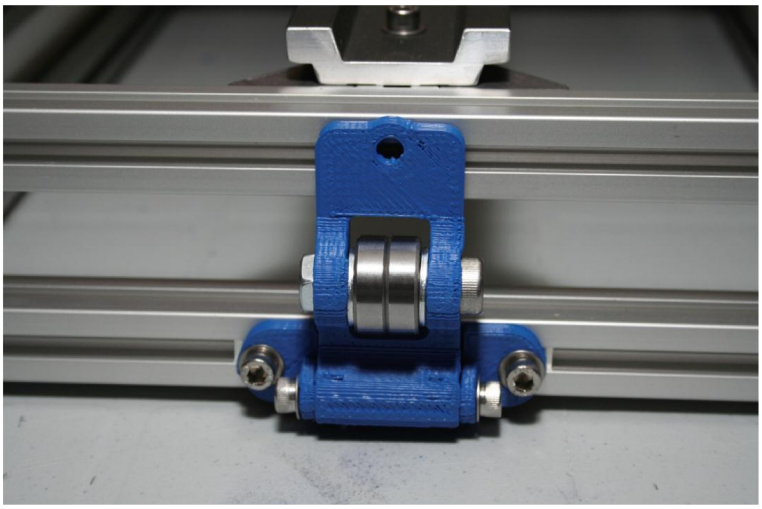
Şekil 11.55. Y-Axis Tensioner montajı

24. Tensioner üzerindeki somun deliklerine 2 adet M5 somun yerleştirildi. 2 adet M5 × 10 mm SHCS ve 2 adet M5 pulu Tensioner üzerine monte edildi.



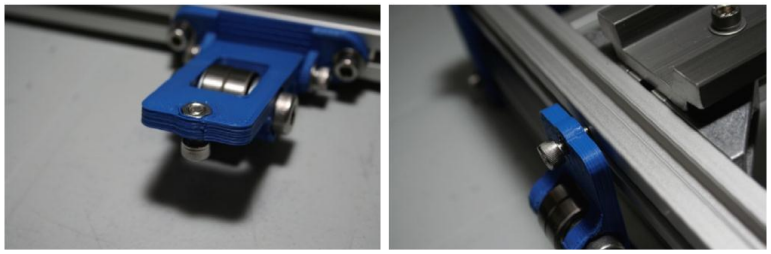
Şekil 11.56. Y Idler Tensioner'in montajı

25. Y Idler Tensioner, 2 adet M5 × 10 mm SHCS ve 2 adet M5 pul kullanılarak T-Slot'ları karşılayacak şekilde şasenin ön kısmına monte edildi.



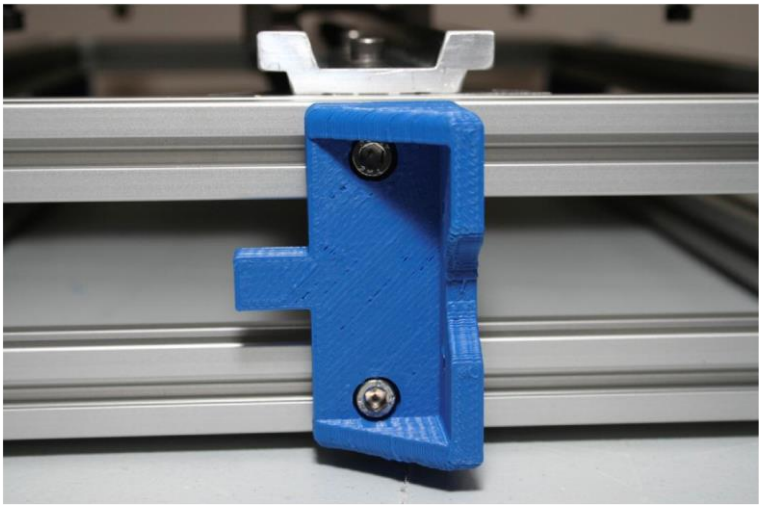
Şekil 11.57. Y Idler Tensioner'in şaseye montajı

26. Y Idler Tensioner'in üst kısmına 1 adet M5 × 10 mm SHCS ve 1 adet M5 somun yerleştirildi, Y-Axis Tension Adjustment Screw monte edildi.



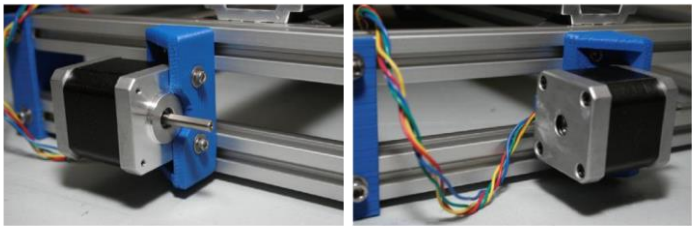
Şekil 11.58. Y-Axis Tension Adjustment Screw'in montajı

27. Y Motor Mount belirlendi, 2 adet M5 × 10 mm SHCS kullanılarak şasenin arka kısmına T-Slot'ları karşılayacak şekilde yerleştirildi.



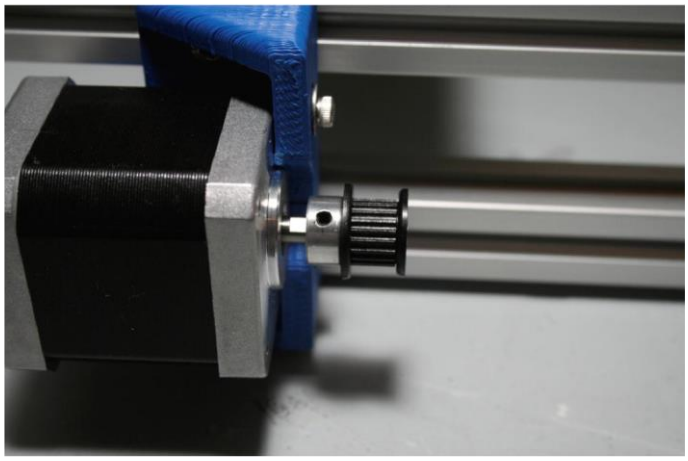
Şekil 11.59. Y Motor Mount'un montajı

28. 1 adet NEMA 17 step motor belirlendi, 2 adet M3 × 10 mm SHCS ve 2 adet M3 pul kullanılarak motor, şaseye monte edildi.



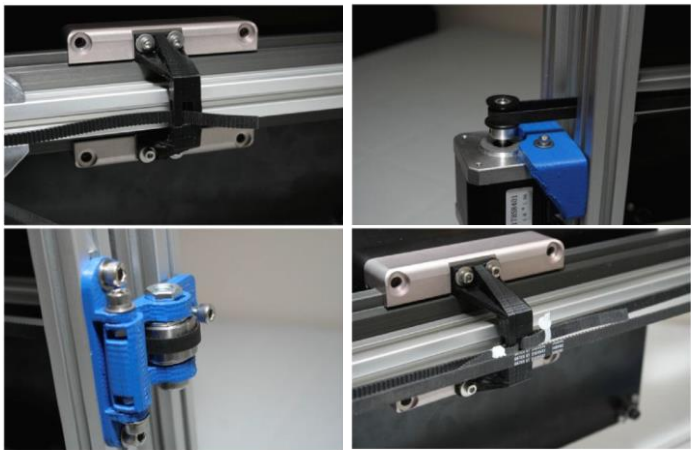
Şekil 11.60. NEMA 17 step motorun şaseye montajı

29. GT2 Pulley belirlendi, motor pinleri yardımıyla 1/16” alyan kullanılarak, Pulley, motor başına monte edildi.



Şekil 11.61. GT2 Pulley’in motor başına montajı

30. GT2 belt, sırasıyla Belt Clap’ten başlayarak, motor başındaki Pulley’den geçirildi daha sonra Y Idler Tensioner’den geçirilerek en son Belt Clap’e sabitlendi.

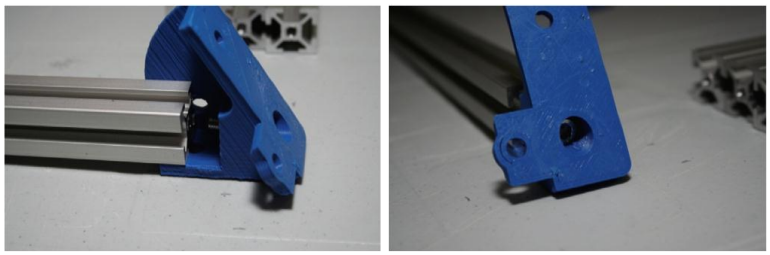


Şekil 11.62. GT2 belt’in izleyeceği yol

31. Plastik kelepçeler yardımıyla belt, sabitlendi ve sıkıştırıldı.

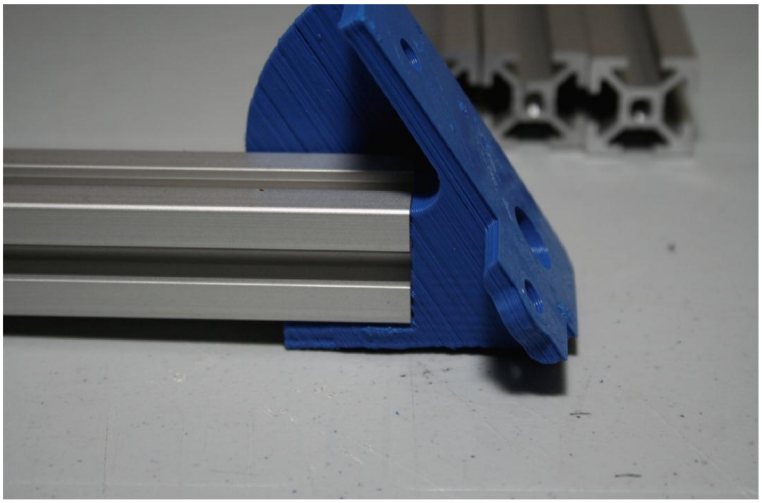
11.4.3. Üst şasenin montajı

1. Şekil 11.63-77'de görüldüğü gibi 340 mm'lik sigma profiller belirlendi. 2 adet Bottom Vertex Upper Left ve 2 adet Bottom Vertex Upper Right parçaları ve 4 adet M5 × 10 mm SHCS vidaları kullanıldı.
2. 1 adet SHCS vidanın üzerine pul yerleştirildi ve bu vida da Şekil 11.7.b'de görüldüğü gibi parça ile birleştirildi.



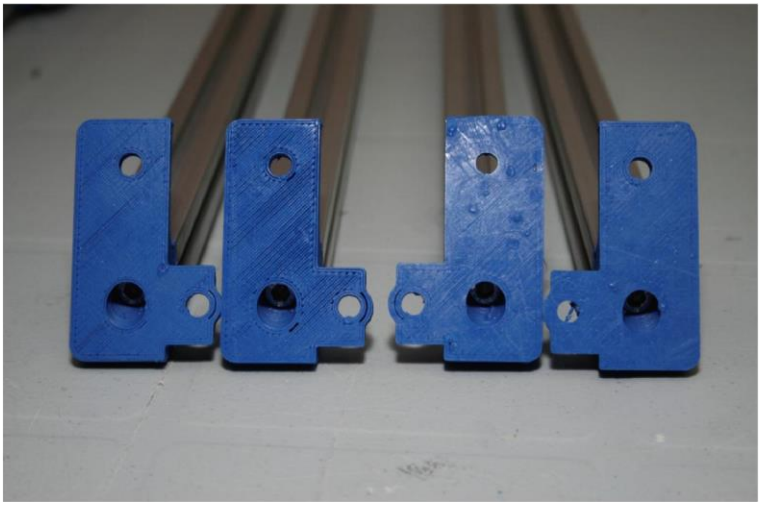
Şekil 11.63. Vertex parçasına vida ve somun eklenmesi

3. Vida, sonuna kadar sıkıldı.



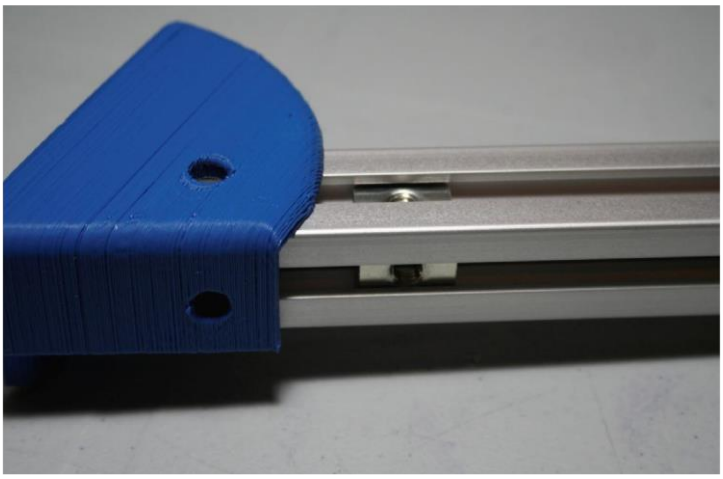
Şekil 11.64. Vertex parçanın profil üzerinde sabitlenmesi

4. Bu adımlar, diğer 3 Vertex parçası için de uygulandı.



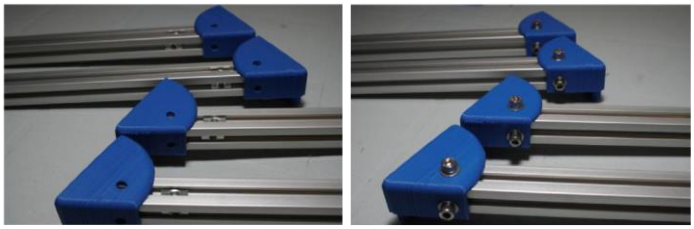
Şekil 11.65. Vertex parçalarının profillere montajı

5. Vertex parçası üzerindeki diğer delikler belirlendi. Sigma profile önceden yerleştirilen 2 adet T-Slot, Vertex parçasındaki delikleri görecek şekilde hizalandı.



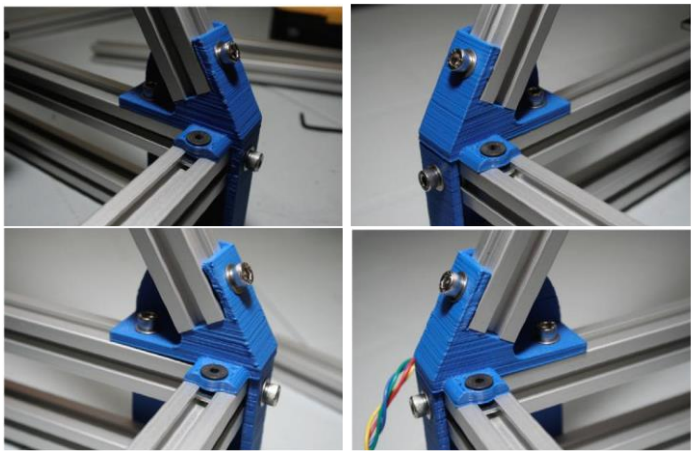
Şekil 11.66. T-Slot'ların Vertex üzerinde hizalanması

6. Bu adımlar, diğer 3 Vertex parçası için de tekrar edildi. Toplamda 8 adet T-Slot somunu, 8 adet M5 × 10 mm SHCS ve 8 adet M5 pul gerekmektedir.



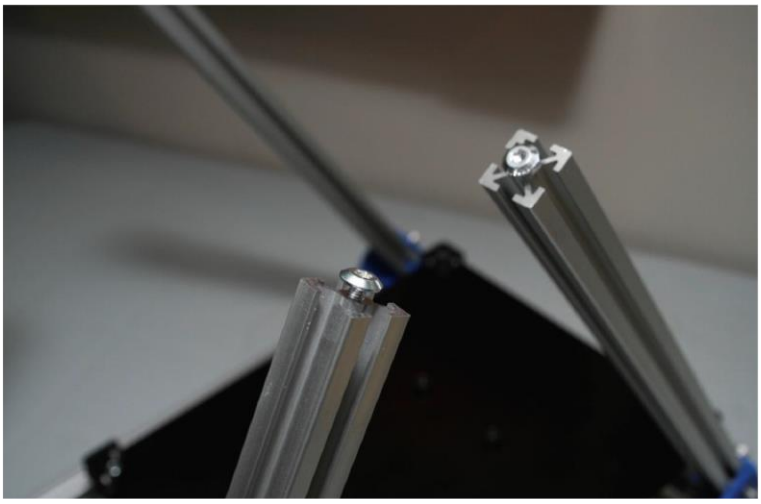
Şekil 11.67. Vertex parçaların T-Slot'lara montajı

7. Bu 4 sigma profilden bir tanesi, 1 adet M5 × 10 mm FHS, 1 adet M5 × 10 mm SHCS ve 1 adet M5 pul kullanılarak alt şaseye monte edildi. Bu işlem yapılırken vidalar çok sıkılmamalıdır. Bu işlemler, diğer 3 sigma profil için de tekrar edildi. M3 FHS için 3 mm'lik alyan kullanıldı.



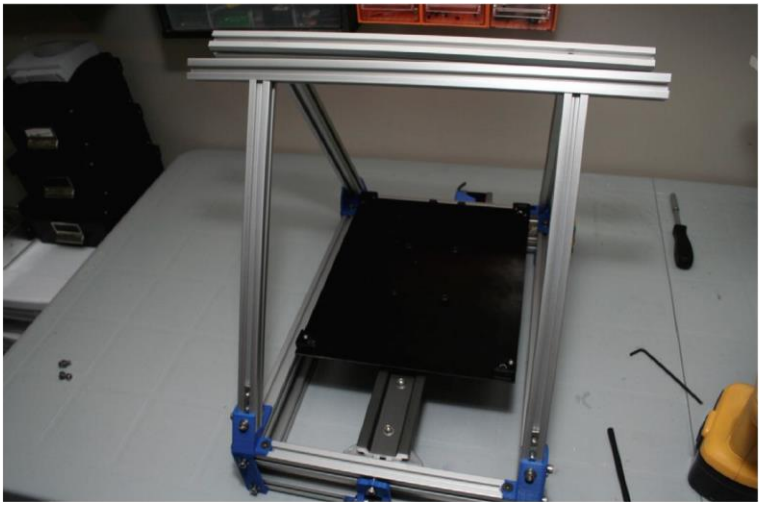
Şekil 11.68. Sigma profillerin alt şaseye montajı

8. 4 adet Self Tapping Blind Screw vidası belirlendi ve 340 mm'lik sigma profilin üstüne yerleştirildi. Bu işlem yapılırken T-20 Torç alyan kullanıldı.



Şekil 11.69. Profillere Self Tapping Blind Screw eklenmesi

9. Her bir 340 mm'lik sigma profilin yazıcının ön kısmında kalan yüzündeki slotlarına, 420 mm'lik sigma profili geçirmeden önce, 2 şer adet T-Slot yerleştirildi. Bu işlem yapılırken vidalar çok sıkılmamalıdır.



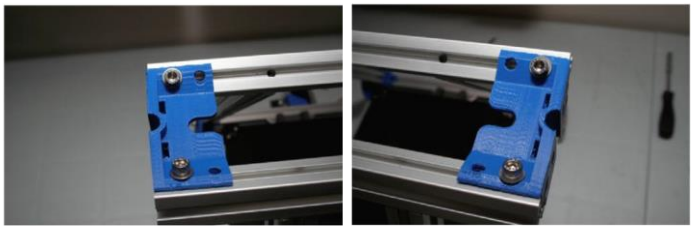
Şekil 11.70. Sigma profile 2 şer adet T-Slot yerleştirilmesi

10. 420 mm'lik sigma profilde yazıcının ön ve arkasına bakan(dışa bakan) slotlarına 4 adet T-Slot, opsiyonel filaman tutucuları için içe bakan slotlarına da yine 2 adet T-Slot yerleştirildi.



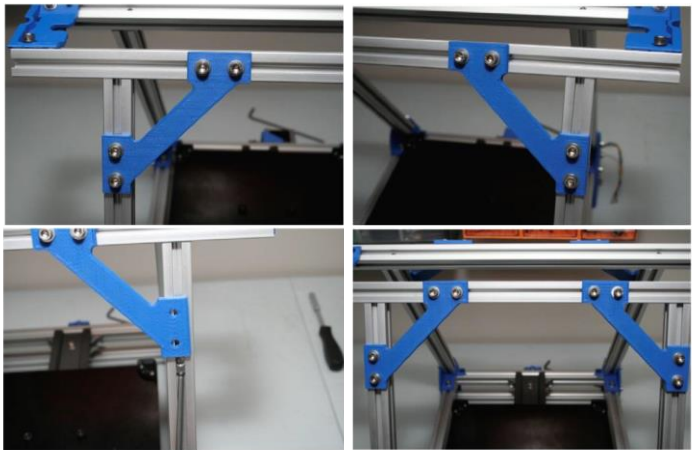
Şekil 11.71. Sigma profile T-Slot'ların eklenmesi

11. 10 mm'lik miller için 2 adet Top Vertex parçası belirlendi. Bu parçalar, 420 mm'lik sigma profil üzerine 4 adet M5 × 10 mm SHCS ve 4 adet M5 pul kullanılarak yerleştirildi. Bu işlem yapılırken vidalar çok sıkılmamalıdır.



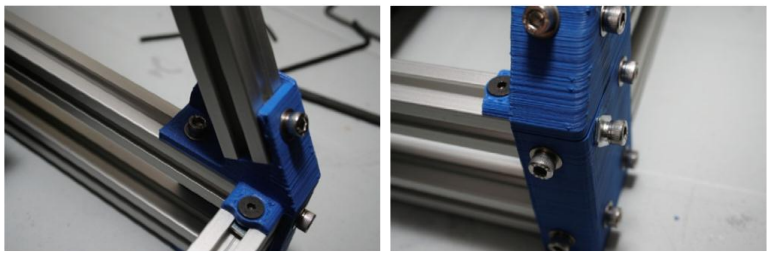
Şekil 11.72. Top Vertex parçalarının montajı

12. 4 adet Top Vertexes parçası belirlenerek yazıcının ön ve arka taraftaki üst köşe noktalarına monte edildi.



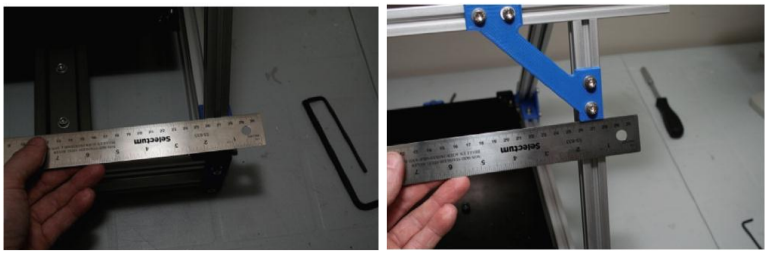
Şekil 11.73. Top Vertexes parçalarının montajı

13. Alt şase üzerine önceden monte edilen sigma profiller üzerinde ki M5 × 10 mm FHS vidaları sıkıldı. Bu işlem yapılırken Lower Vertex ve Bottom Vertex parçalarının birbiri üzerine taşmadan oturduğundan emin olundu.



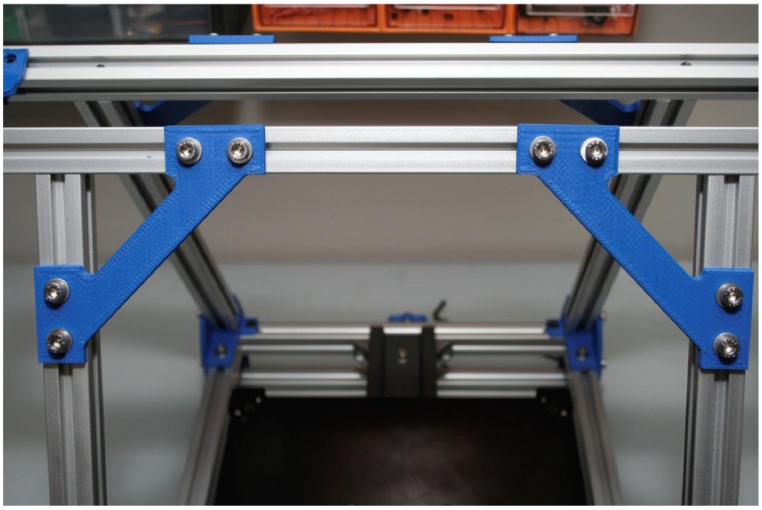
Şekil 11.74. Lower Vertex ve Bottom Vertex parçaları

14. Yukarıda bulunan Vertex'ler arasındaki mesafeyi ölçüldü. Bu mesafe 260 mm olmalıdır. Aynı şekilde alttaki Vertex'ler arasındaki mesafe de ölçüldüğünde 260 mm olmalıdır.



Şekil 11.75. Vertex'ler arasındaki mesafenin ölçülmesi

15. Eğer bu ölçüm doğru değilse, Blind Screw'lerin gevşetilmesi ve 340 mm'lik sigma profillerin bu mesafeye ayarlanması gerekmektedir.



Şekil 11.76. Vertex'ler arasındaki mesafenin ayarlanması

16. Mesafe ayarlandı ve sonra Blind Screw sıkıldı.

17. Mesafeyi tekrar ayarladıktan sonra ölçüm işlemi tekrar edilerek doğruluğundan emin olundu.

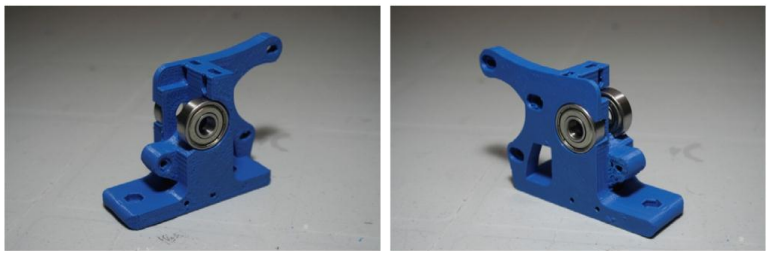
18. Upper Vertex'ler yerleştirilirken sigma profile paralel monte etmeye dikkat edildi.



Şekil 11.77. Upper Vertex parçasının montajı

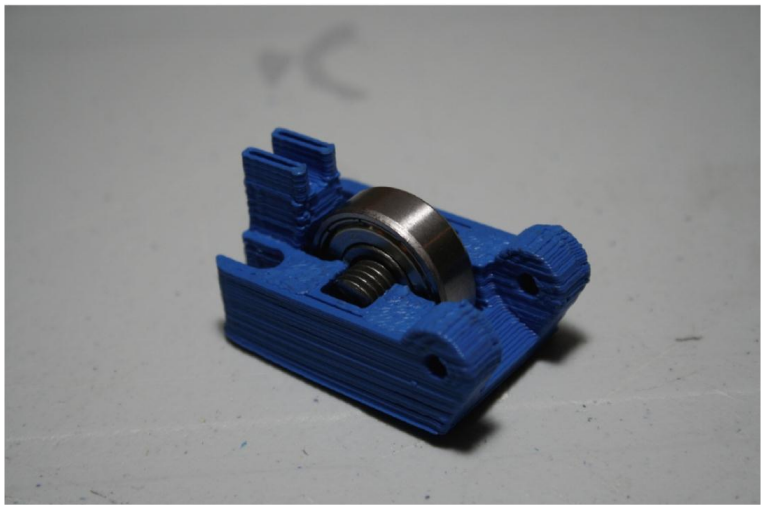
11.4.4. Ekstrüzyon montajı

1. Şekil 11.78-89'da görüldüğü gibi Extruder plastik parçaları ve vida setleri belirlendi.
2. Extruder Groovemount parçası belirlendi ve içerisine 2 adet 608ZZ rulmanı yerleştirildi.



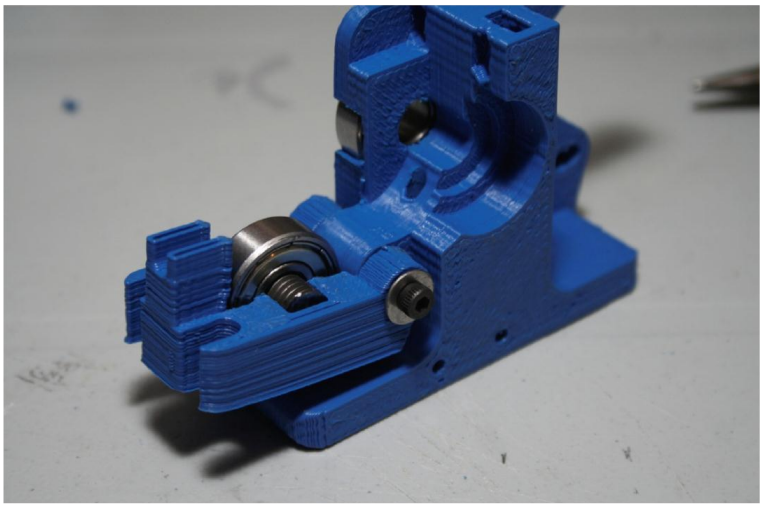
Şekil 11.78. Extruder Groovemount'a 608ZZ eklenmesi

3. Idler Holder parçası, 1 adet M8 Stud (milden kesilerek elde edilebilir) ve 1 adet 608ZZ rulman belirlendi.
4. 608ZZ rulmanı, M8 Stud ile birleştirildi ve Idler Holder'daki yerine monte edildi.



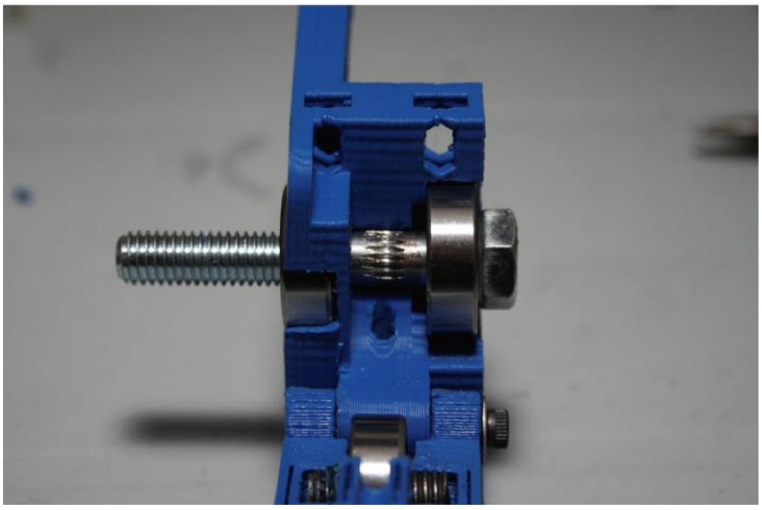
Şekil 11.79. Idler Holder parçasının montajı

5. 1 adet M3 × 35 mm SHCS vida ve 1 adet M3 pul kullanılarak Idler Holder parçası, Groovemount parçası üzerine monte edildi.



Şekil 11.80. Idler Holder'ın Groovemount'a montajı

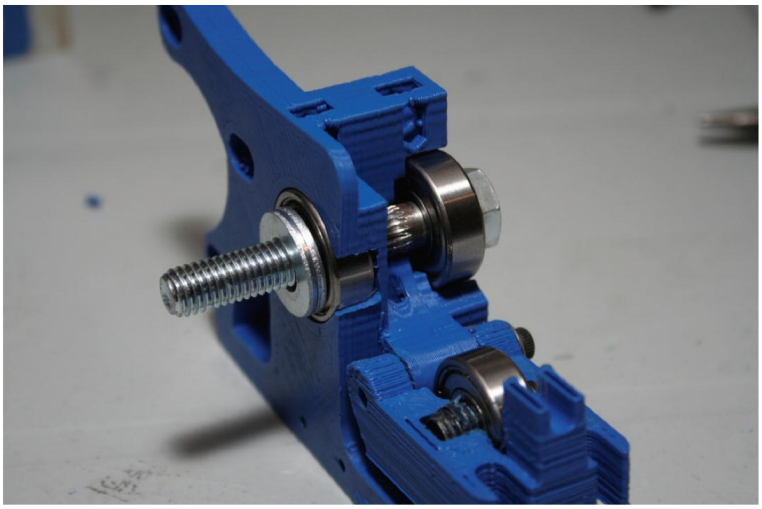
6. Hobbed Bolt vidası belirlendi. Hobbed Bolt üzerindeki dikey dişlerin Groovemount üzerindeki filaman deliğini görmesi sağlandı. Bu dişler filamanı gerektiği kadar ileriye sürmeye yaramaktadır. Bu dişlerin filaman deliğini görmesini sağlamak için pullardan yararlanılabilir.



Şekil 11.81. Hobbed Bolt'un dişlerinin hizalanması

7. Hobbed Bolt'un dişleri, filaman deliğine hizalanamazsa, filaman, ileriye doğru düzgün bir şekilde iletilemeyeceğinden ektrüzyon gerçekleştirilemez. Hobbed Bolt'un vida başı kısmına ya da ucuna pul eklenerek, Hobbed Bolt üzerindeki dişlerin filaman deliğine hizalanması sağlanabilir.

8. 2 adet M8 pul, Hobbed Bolt'a yerleştirildi. Bu adım, sonradan ufak bir motor ve Small Gear parçası eklendikten sonra ayarlanmalıdır.



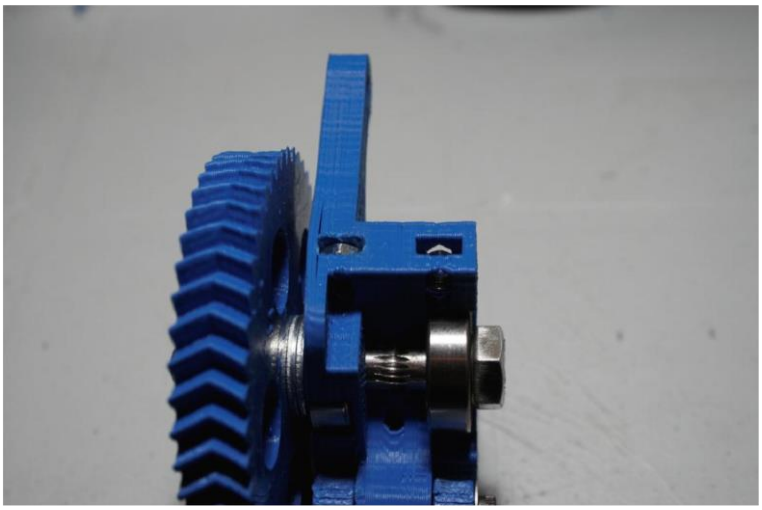
Şekil 11.82. Hobbed Bolt'a pul eklenmesi

9. 1 adet M8 somun belirlendi ve bu somun, Large Gear parçası içerisindeki yatağına yerleştirilerek Hobbed Bolt'a monte edildi. Bu işlem yapılırken somunun Large Gear içerisindeki yatağından kaymamasına özen gösterildi.



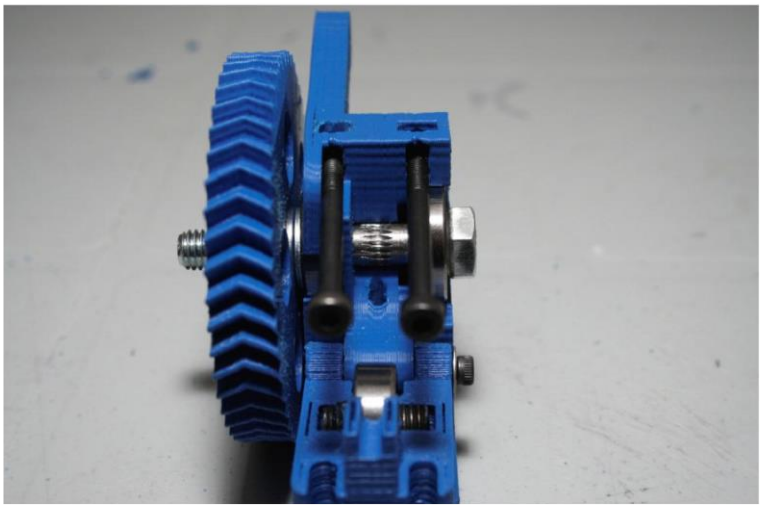
Şekil 11.83. Large Gear'ın Hobbed Bolt'a montajı

10. 2 adet M4 somun belirlendi ve bu somunlar, Groovemount üzerindeki yataklarına yerleştirildi.



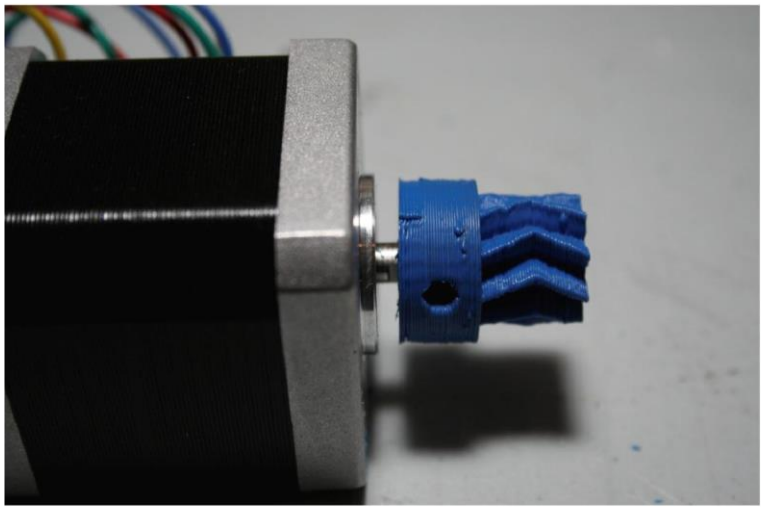
Şekil 11.84. Groovemount'a somunların eklenmesi

11. 2 adet M4 × 55 mm SHCS belirlendi ve bu vidalar, Groovemount üzerindeki deliklere yerleştirildi.



Şekil 11.85. Groovemount üzerine vidaların eklenmesi

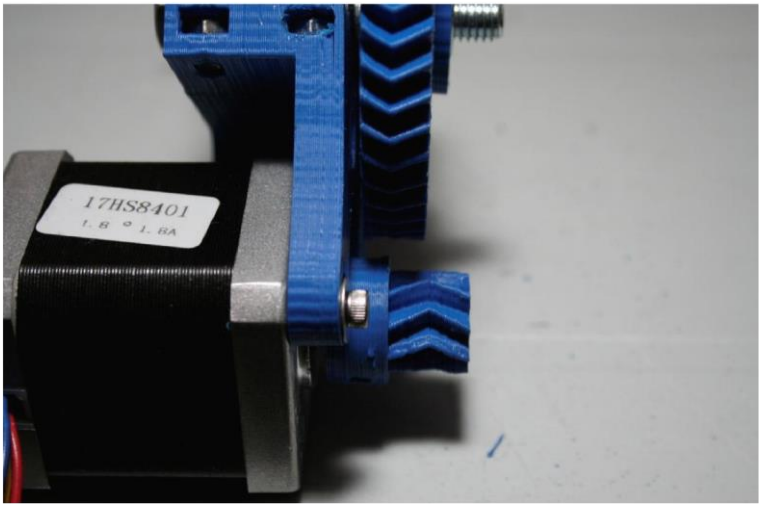
12. Small Gear parçası, NEMA 17 step motor üzerine monte edildi. Small Gear parçası, step motora monte edilirken aralarında 2-3 mm'lik bir boşluk bırakıldı.



Şekil 11.86. Small Gear parçasının step motora montajı

13. Small Gear parçası üzerindeki somun yatağına 1 adet M3 somun yerleştirildi.

14. Step motor, Groovemount parçasındaki vida delikleri ile hizalandı ve 1 adet M3 × 10 mm SHCS vida kullanılarak Şekil 11.8.k'da görüldüğü gibi birleştirildi. Bu işlem yapılırken Groovemount üzerindeki deliklerin step motorun üzerindeki delikleri karşıladığından emin olundu.



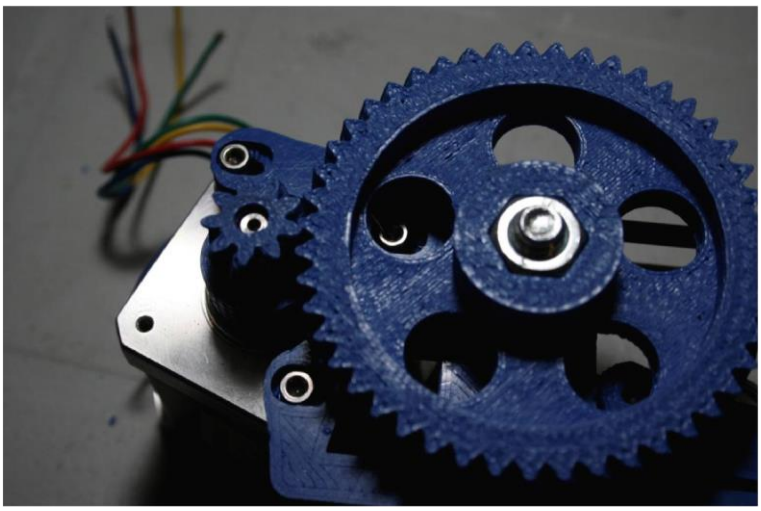
Şekil 11.87. Step motorun Groovemount'a montajı

15. 6 adet M8 pul kullanılarak Large Gear ile Small Gear'ın dişlerinin birbirini karşılaması sağlandı. Bu işlemde Small Gear ve Large Gear'ın birbirini karşılaması için daha fazla ya da daha az pul gerekebilir.



Şekil 11.88. Large Gear ile Small Gear'ın hizalanması

16. 2 adet M3 × 10 mm SHCS kullanılarak step motor, Groovemount'a monte etme işlemi tamamlandı.



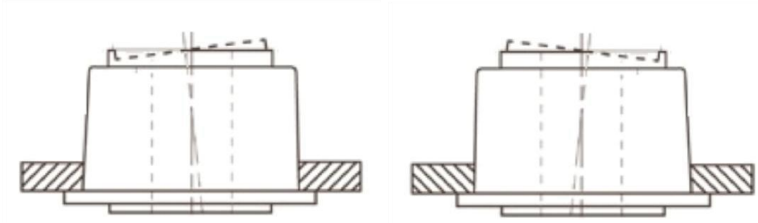
Şekil 11.89. Step motorun Groovemount'a montajı

17. Large Gear ve Small Gear'ın dişlerinin birbirini karşıladığından emin olmak için parçalar el ile çevirildi. Eğer düzgün bir şekilde dönme hareketi gerçekleşmiyorsa, Small Gear ve Large Gear parçalarının montajının tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir. Dönme hareketi gözlemlenerek step motoru Groovemount'a sabitleyen vidalar sıkıldı.

11.4.5. X ekseninin montajı

1. Şekil 11.90-97'da görüldüğü gibi X-Axis Carriage parçası, 8 mm ve 10 mm'lik Self Aligning Bronze Bushings parçaları belirlendi.

2. 1 adet 608ZZ rulman belirlendi. Rulman, mile geçirilerek pürüzsüz hareket ettiğinden emin olundu.



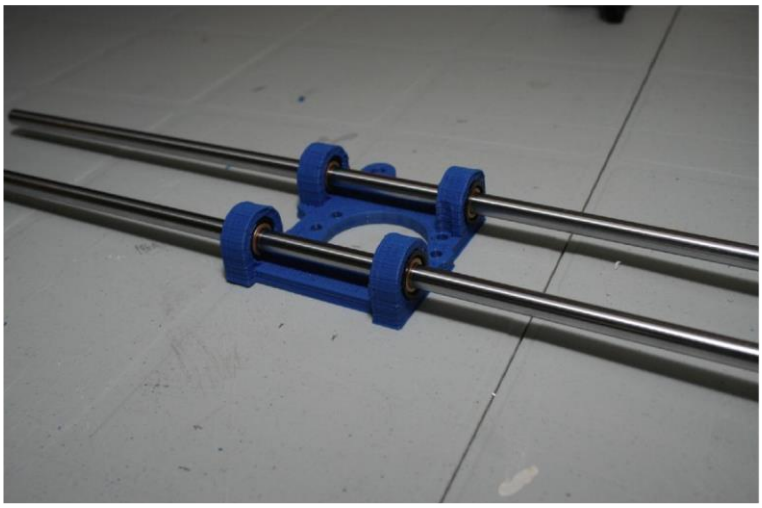
Şekil 11.90. Mil yatağının hareketliliğinin kontrolü

3. Bu işlem, diğer 3 rulman için de tekrar edildi.
4. 608ZZ rulmanları Carriage parçasının içerisindeki yataklara yerleştirildi.



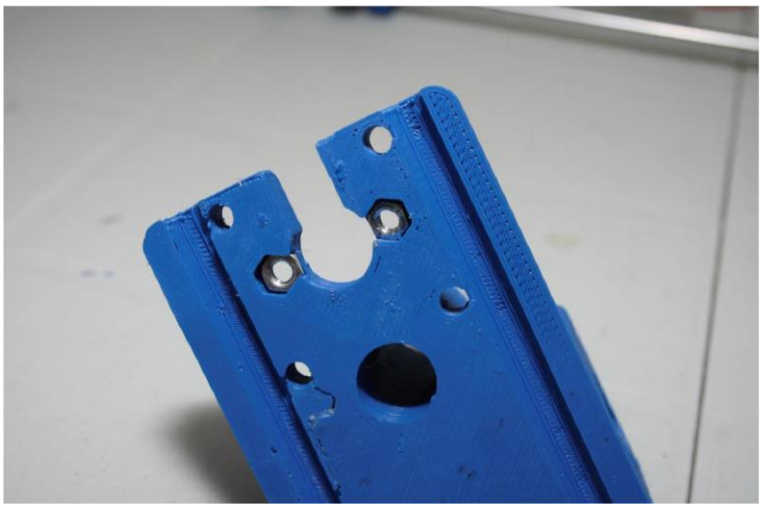
Şekil 11.91. 608ZZ rulmanların Carriage'e montajı

5. 1 adet 8 mm'lik çelik mil belirlendi ve bu mil, yumuşak hareket edinceye kadar 2 rulman içerisinde hareket ettirilerek çıkarıldı.
6. Aynı işlem, diğer 2 rulman için de tekrarlandı. Yumuşak hareket ettiğinden emin olunduktan sonra 2 mil de rulmanlardan geçirildi.



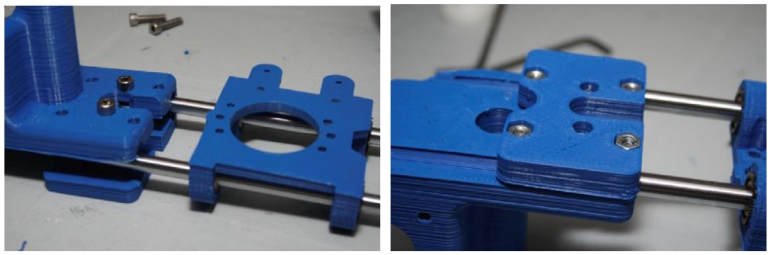
Şekil 11.92. Carriage parçasının millere geçirilmesi

7. X-Axis Motor End ve Clamp parçaları belirlendi. X-Axis Motor End parçasının üzerindeki 2 adet somun yatağına M5 somun yerleştirildi ve 2 adet M5 × 10 mm SHCS vida belirlendi.



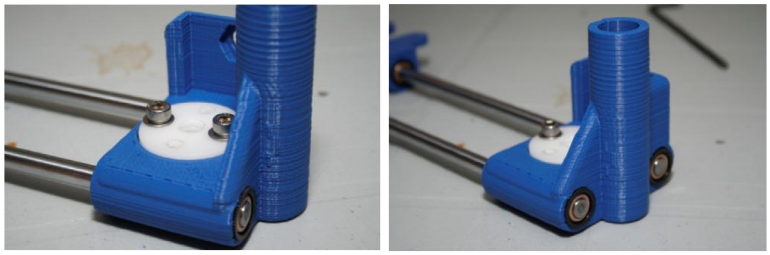
Şekil 11.93. X-Axis Motor End'e somunların eklenmesi

8. 4 adet M5 × 10 mm SHCS, 4 adet M5 pul ve 4 adet M5 somun kullanılarak miller, X-Axis Motor End parçasına yerleştirildi. Bu işlem yapılırken somunların Clamp parçasının altında bulunan yataklara yerleştiğinden emin olundu.



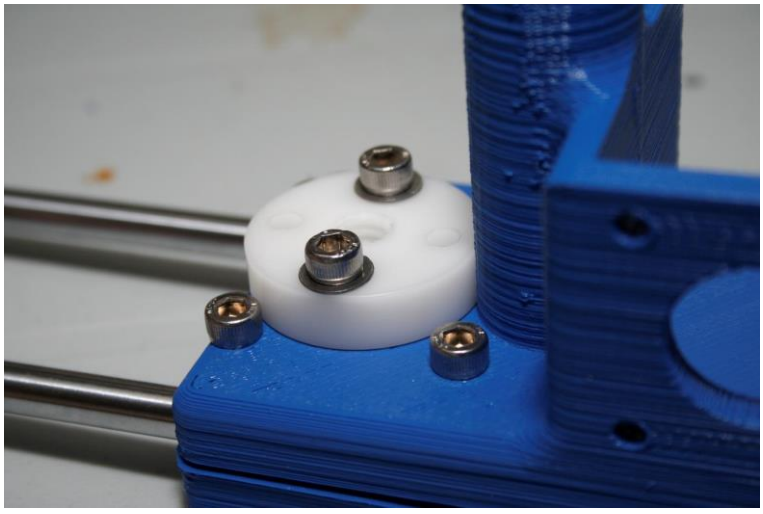
Şekil 11.94. X-Axis Motor End'in millere montajı

9. X-Axis Idler End parçası, 1 adet Delrin somun, 2 adet M5 × 10 mm SHCS, 2 adet M5 pul ve 4 adet 8 mm Self-Aligning Bronze Bushings rulmanları belirlendi. Rulmanlar, X-Axis Idler End parçası içerisine yerleştirildi ve Delrin somununu X-Axis Idler End parçasının ortasına vidalandı.



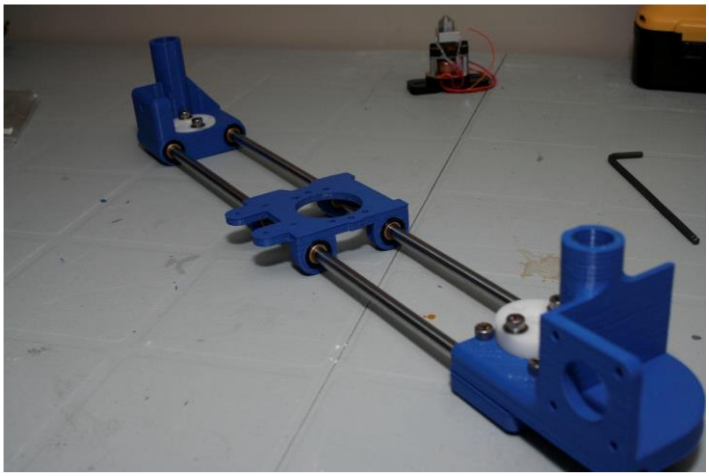
Şekil 11.95. X-Axis Idler End'in millere montajı

10. Delrin somun parçası belirlendi ve 2 adet M5 × 10 mm SHCS vida kullanılarak Delrin somunu X-Axis Motor End parçasına sabitlendi.



Şekil 11.96. Delrin somunun sabitlenmesi

11. 4 adet 10 mm Self Aligning Bronze Bushings rulman belirlendi. Bu rulmanlardan 2 tanesi, X-Axis Motor End'e ve diğer 2 tanesi de X-Axis Idler End parçasına yerleştirildi.

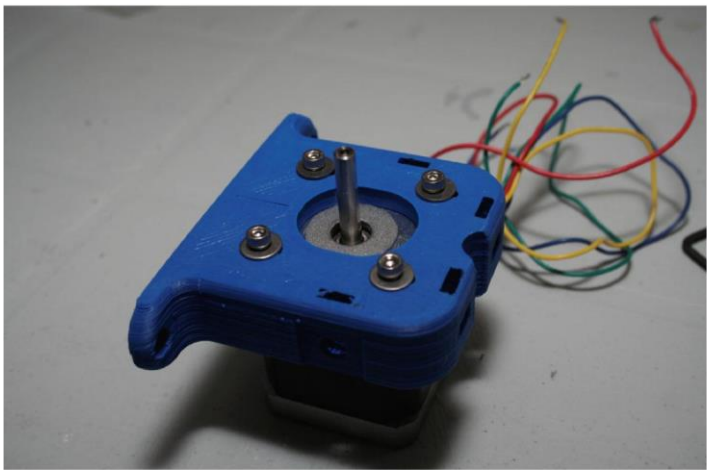


Şekil 11.97. X-Axis Motor End ve X-Axis Idler End'e rulman eklenmesi

12. Bu montaj bir kenara kaldırılarak, Z ekseninin montajına başlandı.

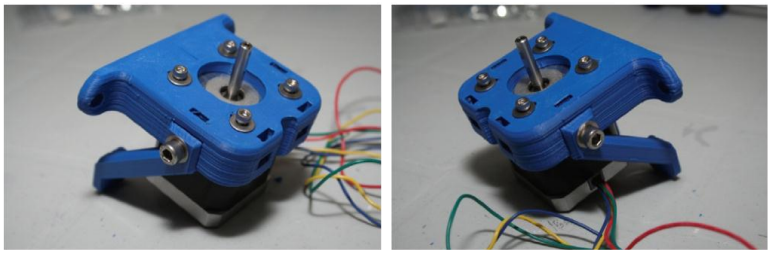
11.4.6. Z ekseninin montajı

1. Şekil 11.98-122'te görüldüğü gibi 1 adet Z-Axis Motor Mount parçası ve 1 adet NEMA 17 step motor belirlendi. 4 adet M3 × 10 mm ve 4 adet M3 pul kullanılarak Z-Axis Motor Mount parçası, NEMA 17 step motoru üzerine yerleştirildi. Bu işlem yapılırken, vidalar çok sıkılmamalıdır. Ayrıca 4 adet M5 somun belirlenerek bu somunlar, Z-Axis Motor Mount parçasının üzerinde yer alan yataklara yerleştirildi.



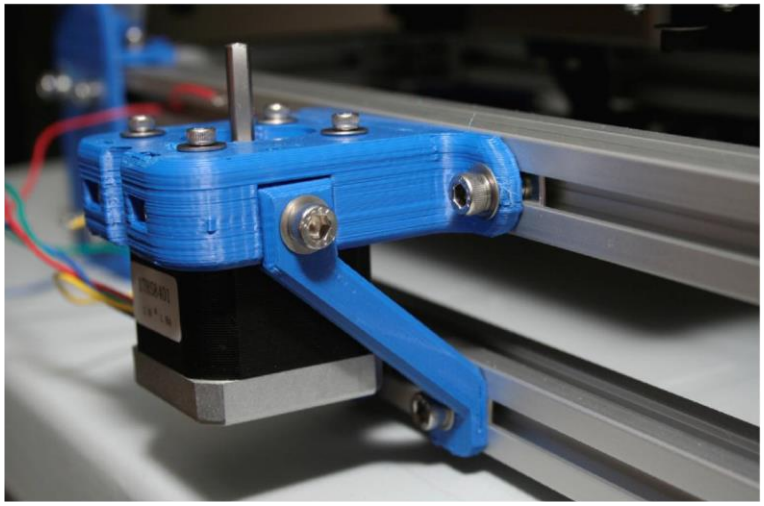
Şekil 11.98. Z-Axis Motor Mount'un step motora montajı

2. 2 adet Z-Axis Motor Mount Legs parçası belirlendi ve bu parçalar, 2 adet M5 × 10 mm SHCS ve 2 adet M5 pul kullanılarak Z-Axis Motor Mount parçası ile birleştirildi.



Şekil 11.99. Z-Axis Motor Mount Legs'in montajı

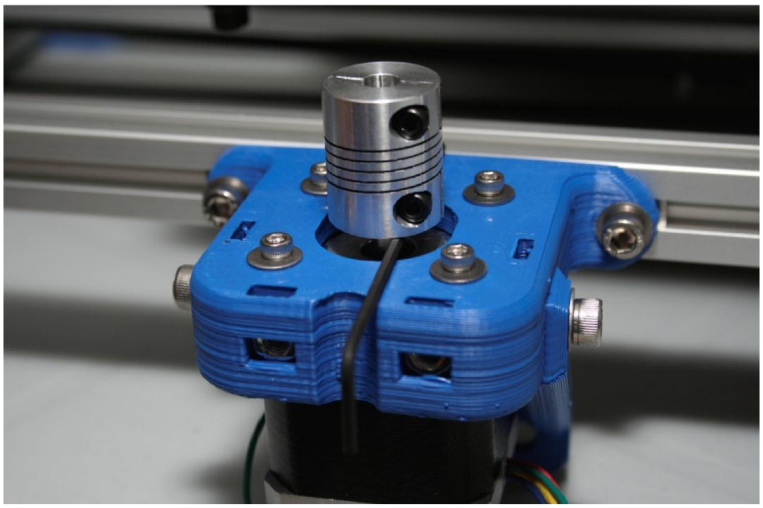
3. Motor Mount parçası şasenin sağ yan kısmına Şekil 11.10.d'de görüldüğü gibi 4 adet M5 × 10 mm SHCS ve 4 adet M5 pul kullanılarak T-Slot'ları karşılayacak şekilde birleştirildi. Bu işlem yapılırken, vidalar çok sıkılmamalıdır.



Şekil 11.100. Motor Mount parçasının şaseye montajı

4. Bu işlemler, diğer Motor Mount parçası için de tekrar edilerek şasenin sol kısmına monte edildi.

5. 1 adet kaplin belirlendi. 3 mm'lik alyan anahtar kullanılarak ve motor başından bir kaç mm boşluk bırakılarak monte edildi.

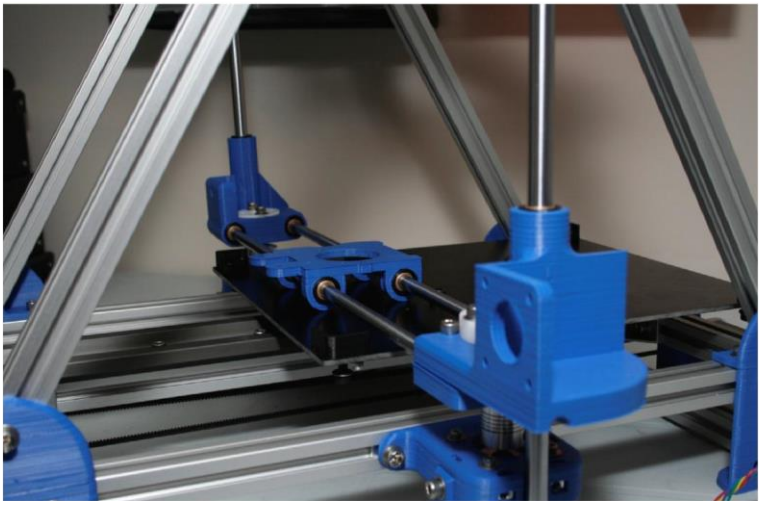


Şekil 11.101. Kaplinin motora monte edilmesi

6. Diğer motor için de aynı işlem tekrar edildi.

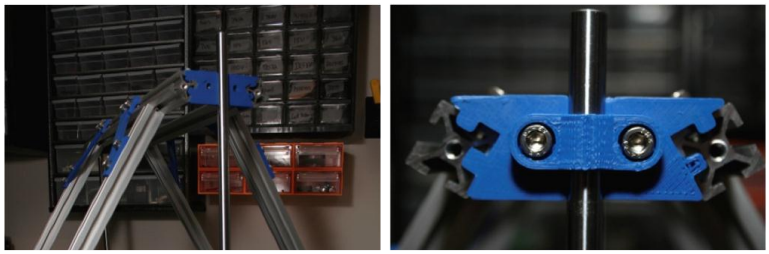
7. X ekseni montajı, 1 adet 10 mm'lik doğrusal mil, 4 adet M5 × 10 mm SHCS ve 2 adet Z-Axis Rod Clamps parçaları belirlendi.

8. X ekseni montajı, Y ekseninde bulunan tabla üzerine koyuldu.



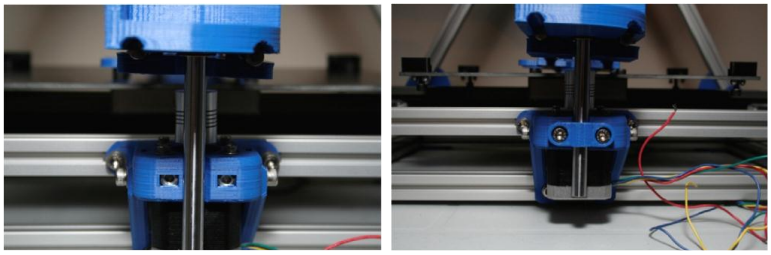
Şekil 11.102. X ekseni montajının Z-Axis Top Vertex'e hizalanması

9. Mil, Z-Axis Top Vertex parçasındaki yatağa yerleştirildi. SHCS vida ve pulları kullanılarak Z-Axis Rod Clamp parçası, Z-Axis Top Vertex parçasına monte edildi.



Şekil 11.103. Z-Axis Rod Clamp'in Z-Axis Top Vertex'e sabitlenmesi

10. Mil, altta bulunan Motor Mount parçası ile hizalanarak Rod Clamp parçası, Motor Mount parçasına vidalandı. Bu işlem yapılırken vidalar çok sıkılmamalıdır.



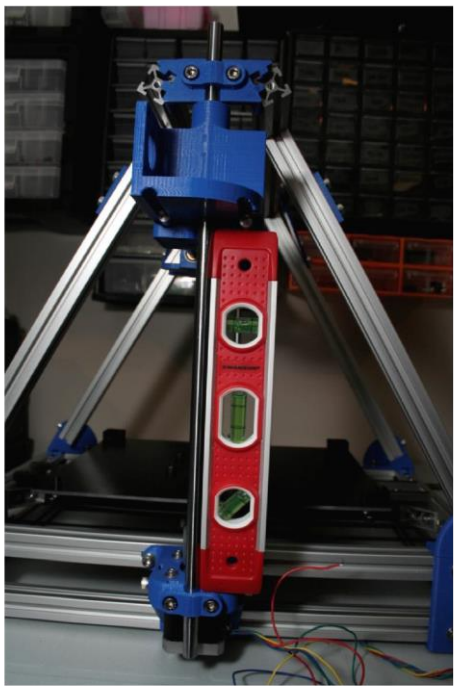
Şekil 11.104. Motor Mount ile Rod Clamp'in sabitlenmesi

11. Mil, şaseye paralel olacak şekilde hizalandı. Bu işlemin doğru bir şekilde gerçekleştirildiğinden emin olmak için su terazisi kullanıldı.



Şekil 11.105. Milin şaseye paralel olduğundan emin olunması

12. Şaseye yandan bakılarak milin düz olması sağlandı ve vidalar sıkıldı.

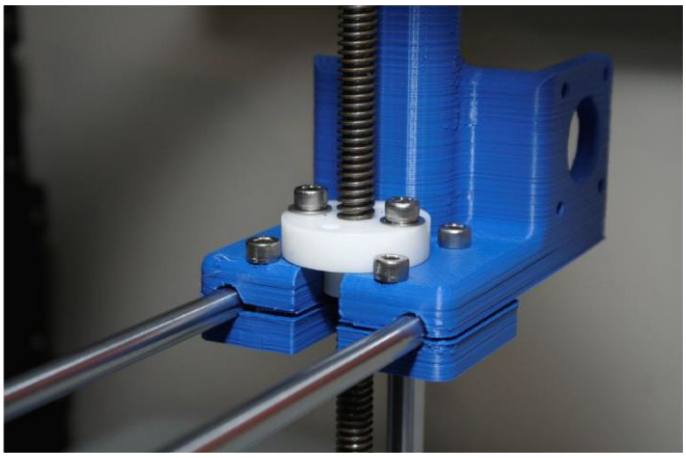


Şekil 11.106. Milin şaseye montajı

13. Diğer taraftaki mil için de aynı işlemler uygulandı.

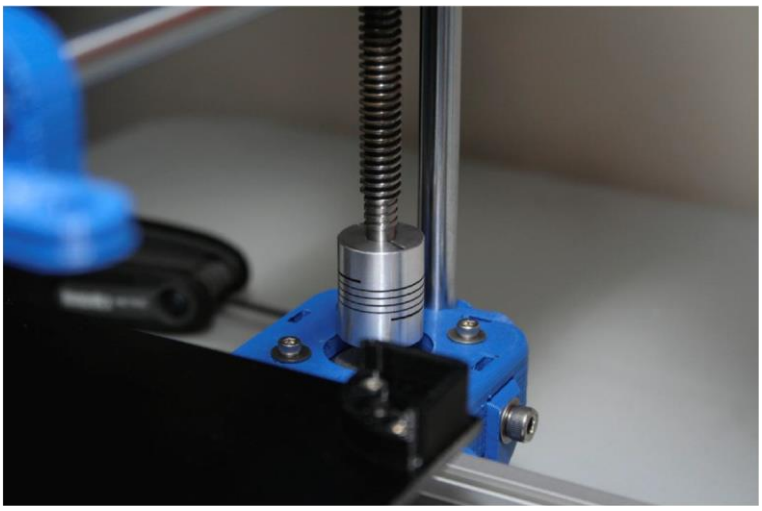
14. X ekseni kaldırılarak, Z eksenindeki hareketliliğin yumuşaklılığı ölçüldü. X eksenindeki montaj, Z ekseni boyunca yumuşak bir şekilde hareket ediyorsa bir sonraki adıma geçilebilir. Eğer düzgün hareket etmiyorsa Z eksenindeki millerin tekrar su terazisiyle ölçülmesi ve yeniden monte edilmesi gerekmektedir.

15. Bir adet vidalı mil belirlendi ve bu mil, X-Axis Motor End parçası üzerindeki Delrin somun içerisinden alt tarafta bulunan Z eksen kaplinine kadar vidalandı.



Şekil 11.107. Vidalı milin montajı

16. Vidalı mil, motor kaplini ile hizalandı ve vidalı milin ucu kapline yerleştirildi.

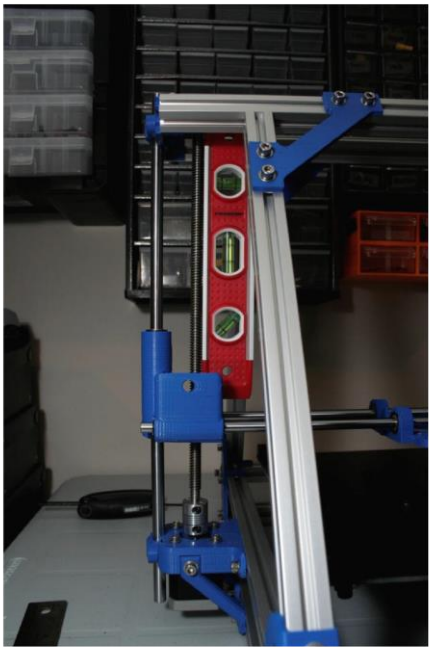


Şekil 11.108. Vidalı milin motor kaplini ile hizalanması

17. Motor kaplinine oturan vidalı mil, motor pimi kullanılarak sıkıldı.

18. Bu işlemler, diğer vidalı mil için de uygulandı.

19. Vidalı milin, doğrusal mile paralel olduğundan emin olmak için su terazisi kullanıldı. Eğer paralel değil ise alttaki motoru hareket ettirerek vidalı milin doğrusal mile paralel olmasını sağlanmalıdır. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra vidalar sıkılmalıdır.



Şekil 11.109. Vidalı milin doğrusal mile montajı

20. Bu işlemler, diğer vidalı mil için de uygulandı.

21. Su terazisi kullanılarak X ekseninin, Y eksenine paralel olmasından emin olundu.



Şekil 11.110. X ekseninin paralelliğinin kontrolü

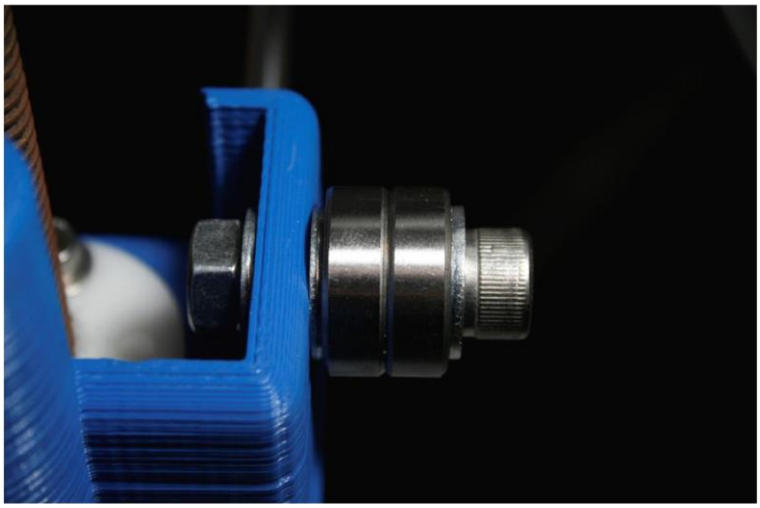
22. 1 adet M8 × 30 mm SHCS, 3 adet M8 pul ve 1 adet M8 somun belirlendi.

23. Bu parçalar, Şekil 11.10.q'da görüldüğü gibi birleştirildi.



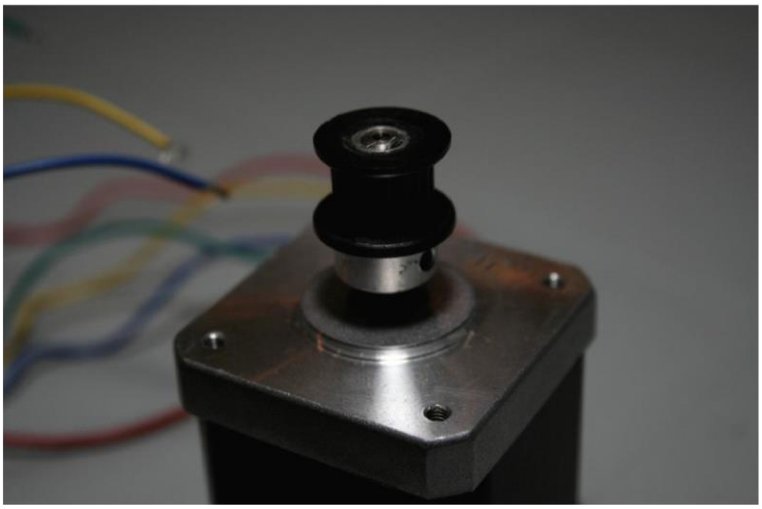
Şekil 11.111. Parçaların dizilişi

24. Bu parça, X-Axis Idler End parçasına pul ve somun kullanılarak Şekil 11.10.r'de görüldüğü gibi monte edildi.



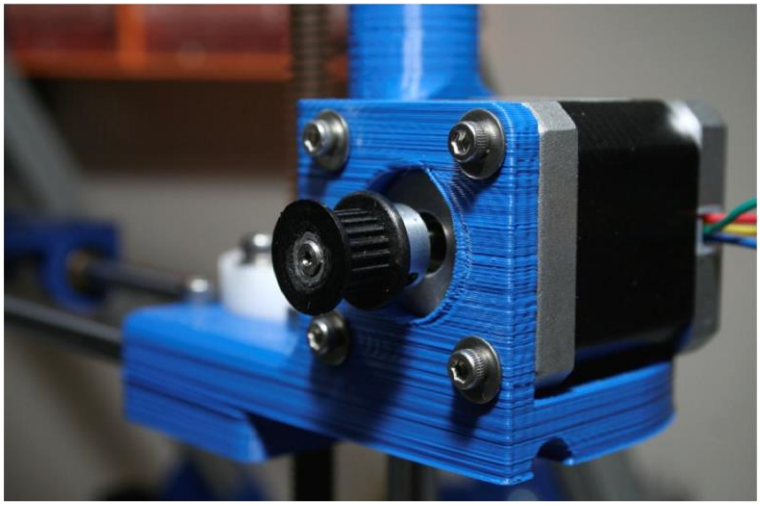
Şekil 11.112. Parçaların X-Axis Idler End'e montajı

25. 1 adet NEMA 17 step motor belirlendi, üzerine GT2 kasnağı yerleştirildi ve vidalandı.



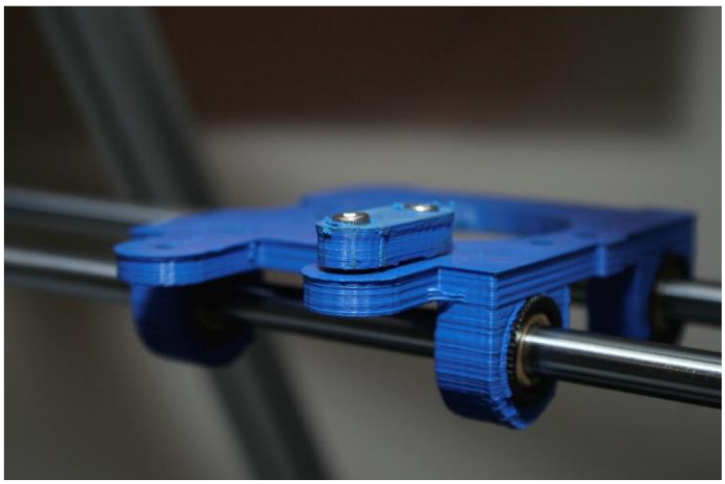
Şekil 11.113. Motora GT2 kasnağının montajı

26. Step motoru X-Axis Motor End parçası üzerine 4 adet M3 × 10 mm SHCS ve 4 adet M3 pul kullanılarak monte edildi.



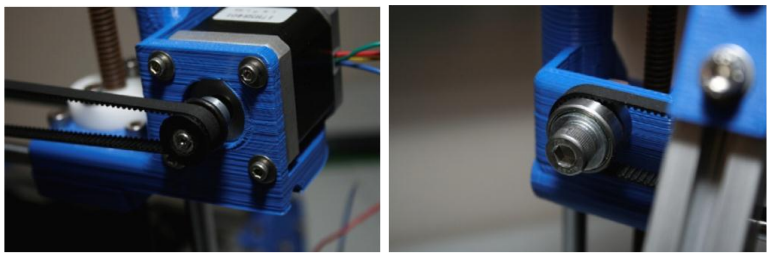
Şekil 11.114. Motorun X-Axis Motor End'e montajı

27. X-Axis GT2 Belt, 1 adet Belt Clip, 2 adet M3 × 16 mm SHCS, 2 adet M3 pul ve 2 adet M3 somun belirlendi. Belt, Carriage üzerinde yazıcının ön kısmına bakan yerde Belt Clip kullanılarak vidalandı.



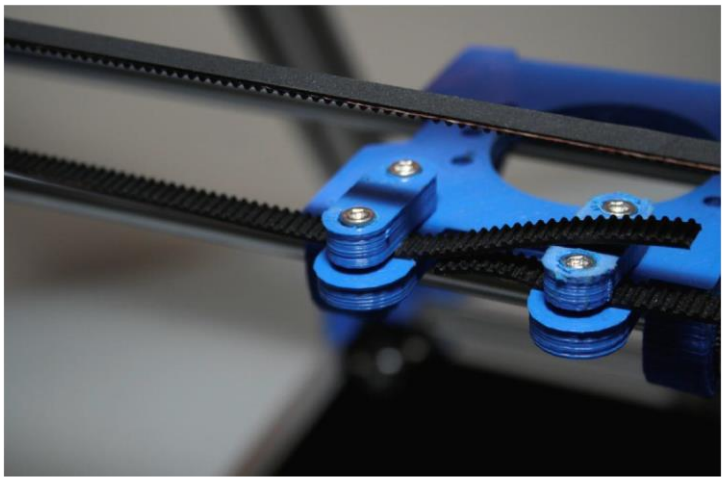
Şekil 11.115. Belt'in Carriage üzerine montajı

28. Belt, dişleri içeriye bakacak şekilde sağda GT2 kasnağından ve solda da 608ZZ rulmanın üzerinden geçirildi.



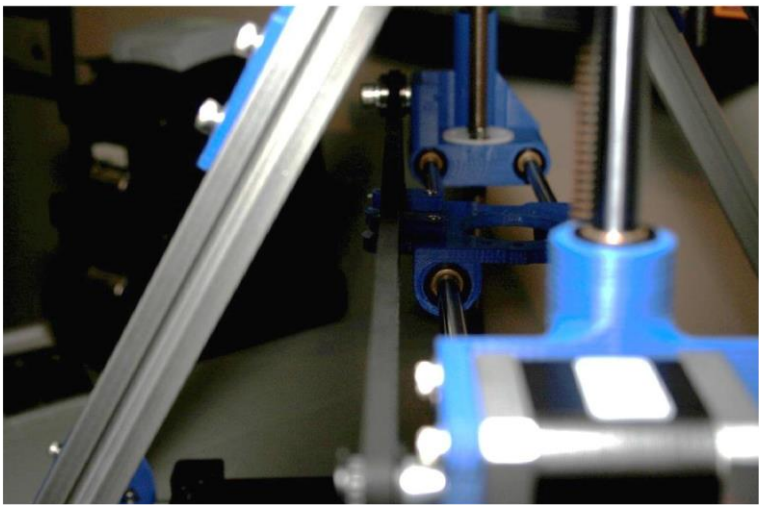
Şekil 11.116. Belt'in izleyeceği yol

29. Carriage'in diğer tarafına gelen Belt, 1 adet Belt Clip, 2 adet M3 × 16 mm SHCS, 2 adet M3 pul ve 2 adet M3 somun kullanılarak sabitlendi. Bu işlem yapılırken Belt'in gergin olmasına özen gösterildi.



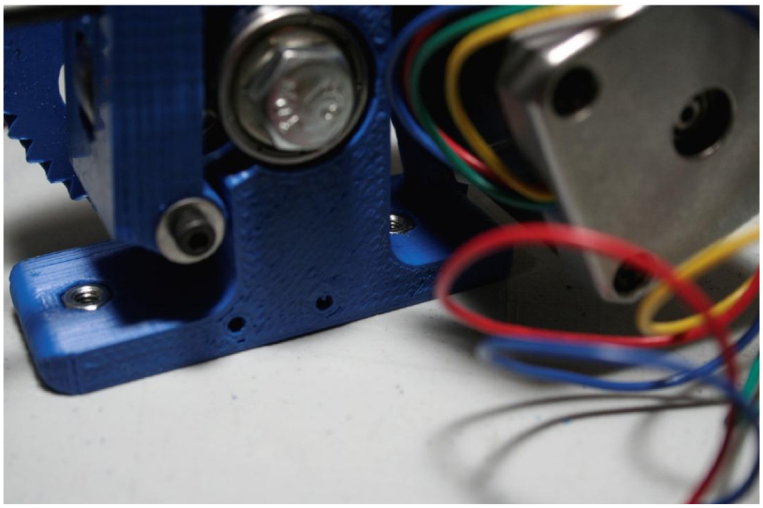
Şekil 11.117. Belt'in Carriage üzerine montajı

30. Belt'in X eksenindeki millere paralel olmasına özen gösterildi. Carriage'i kaydırarak X ekseninde bir hareket bozukluğu olup olmadığı ve Belt'in paralelliğinin değişip değişmediği kontrol edildi. Eğer Belt'ten kaynaklı bir şekil bozukluğu ya da hareket sınırlılığı varsa Belt'in montajını kontrol etmek ve önceki işlemleri tekrarlamak gerekmektedir.



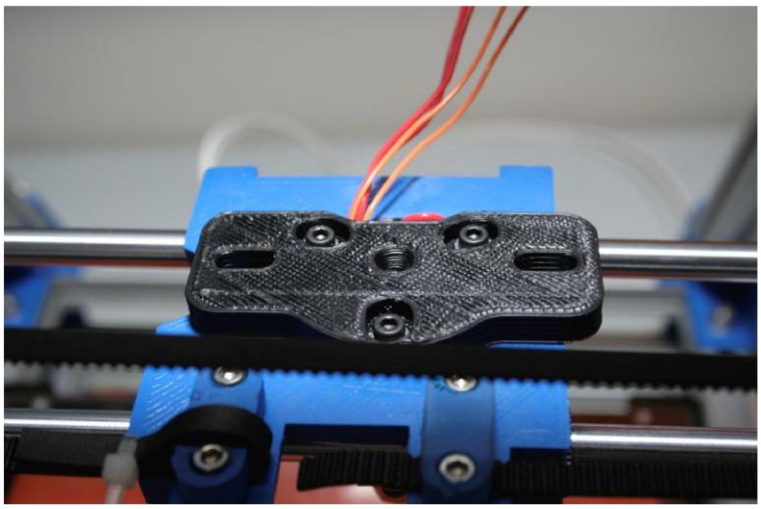
Şekil 11.118. Belt'in X ekseni ile paralelliğinin kontrolü

31. 2 adet M4 somun belirlendi ve bu somunlar, ekstrüzyon montajındaki Groovemount parçasının alt kısımlarındaki somun yataklarına yerleştirildi.



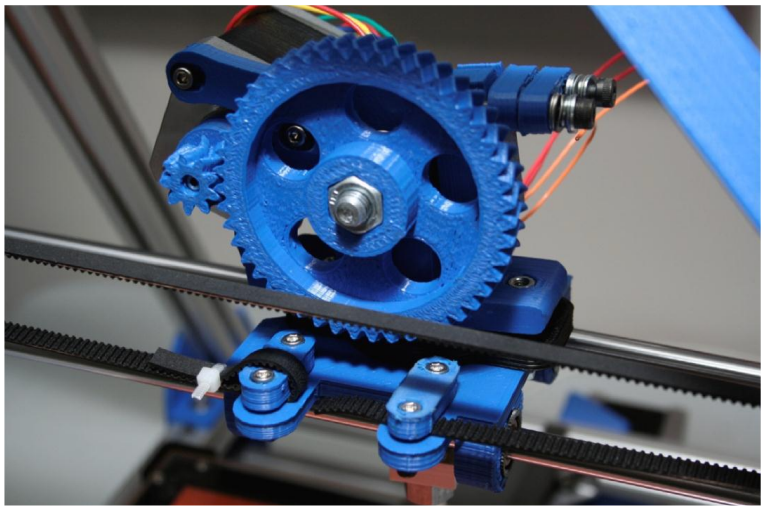
Şekil 11.119. Groovemount'a somunların eklenmesi

32. Hotend parçası, Carriage parçasının üzerine yerleştirildi.



Şekil 11.120. Hotend parçasının Carriage üzerine montajı

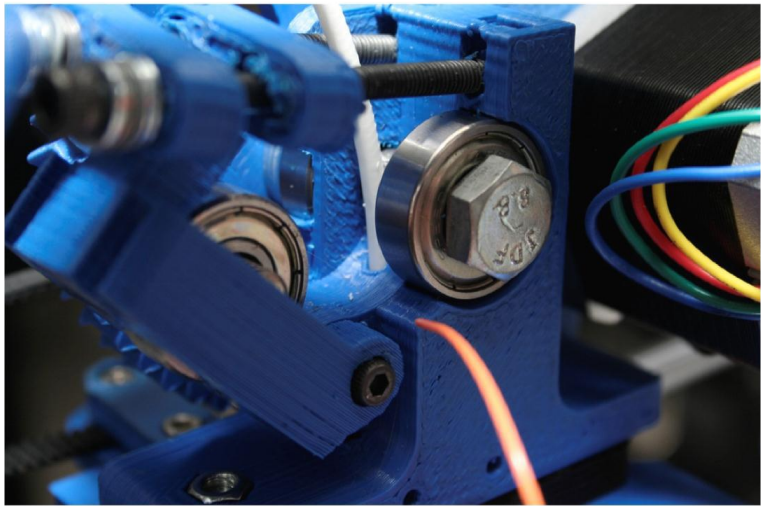
33. Ekstrüzyon montajı, Hotend parçasının üzerine yerleştirilerek vida delikleri hizalandı.



Şekil 11.121. Ekstrüzyon montajının hizalanması

34. 2 adet M4 × 18 mm SHCS ve 2 adet M4 pul kullanılarak Ekstrüzyon montajı, Hotend ve Carriage birleştirildi. Bu işlem yapılırken vidalar çok sıkılmamalıdır.

35. Bir parça filaman kullanılarak, filamanın ekstrüzyon montajı içerisinde Hobbed Bolt tarafından rahat bir şekilde itilmesi ve çekilebilmesi için Idler Holder ve Groovemount parçaları arasındaki mesafe, M4 × 55 mm SHCS vidaları ile sıkılarak ayarlandı.

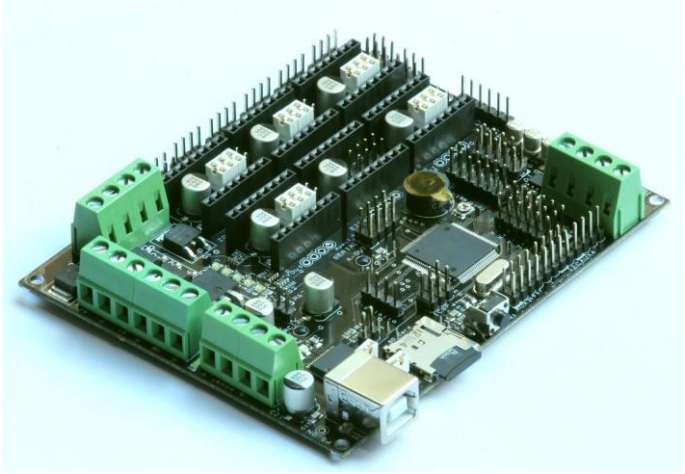


Şekil 11.122. Idler Holder ve Groovemount arasındaki mesafenin ayarlanması

36. Idler Holder, Groovemount parçasına yaklaştırıldı. Large Gear parçası, el ile çevirildi ve filamanın aşağı yukarı hareket ettiğinden emin olundu. Idler Holder, bulunduğu konuma vidaları sıkılarak sabitlendi. Bütün bu aşamalardan sonra yazıcının mekanik montajı tamamlanmış oldu.

11.5. Elektronik Montaj

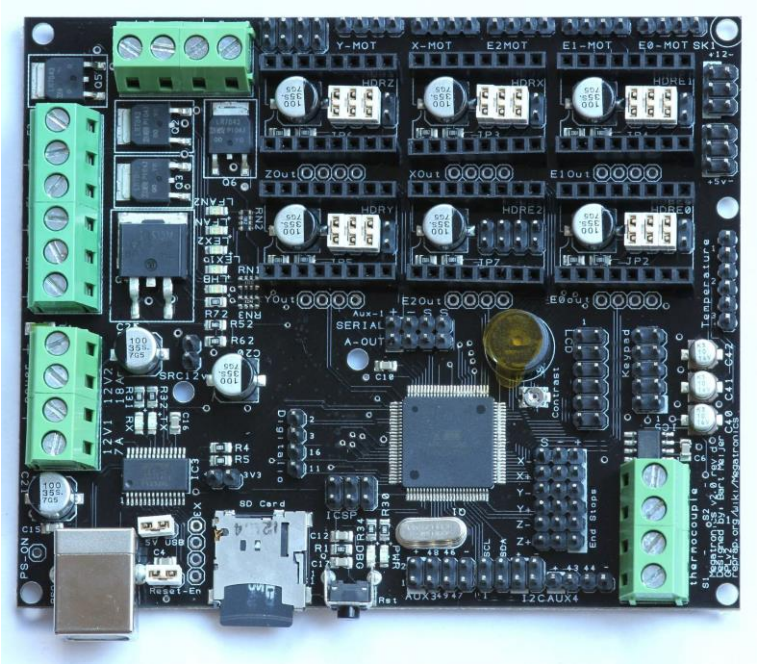
Elektronik kontrol kartı olarak günümüzde hala popülerliğini koruyan ve Bart Meijer tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu Megatronics v2 kullanıldı. Diğer kontrol kartlarına göre pek çok üstünlüğü bulunan bu kart Hollanda'da üretildi. Şekil 11.123'te Megatronics v2.0 görülmektedir.



Şekil 11.123. Megatronics v2.0

Megatronics, Arduino Mega, RAMPS, SD Ramps da dahil olmak üzere pek çok ünlü açık kaynak kodlu kontrol kartından oluşturulmuştur. Bu sebeple bu kartın tasarımının nasıl olacağı konusunda pek fazla sıkıntı yaşanmamıştır. Megatronics diğer tüm kartların özelliklerini bünyesinde toplamış ve 3b yazıcılar için tek çözüm olarak bilinmiştir.

Megatronics üzerinde 16 MHz lik hızda çalışan 256 kB hafızaya sahip güçlü bir Atmega 2560 işlemci bulunmaktadır. Kart bilgisayara doğrudan USB kablosu ile bağlanabilmektedir. Bilgisayar bu kartı FTDI FT232R aygıtı olarak tanır. Kart, Arduino Mega 2560 uyumludur ve bu sebeple Arduino IDE yazılımı ile kolaylıkla programlanabilir. Şekil 11.124'te Megatronics v2.0, üstten görülmektedir.

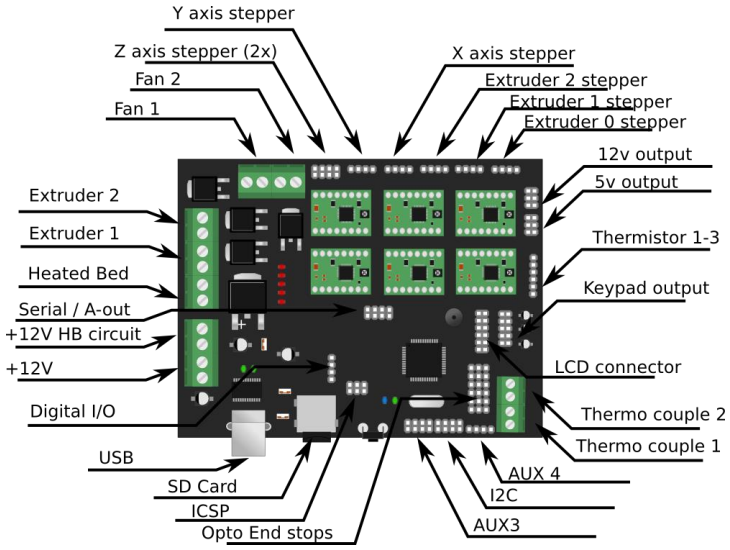


Şekil 11.124. Megatronics v2 üstten görünüşü

Megatronics v2 de bir önceki sürümünden farklı olarak geliştirilmiş termokupl desteği, 2. termokupl desteği, 6 adet step motor desteği, SMD sigortaları ve mosfetler ile yeni DRV8825 Pololu motor sürücüsü desteği bulunmaktadır.

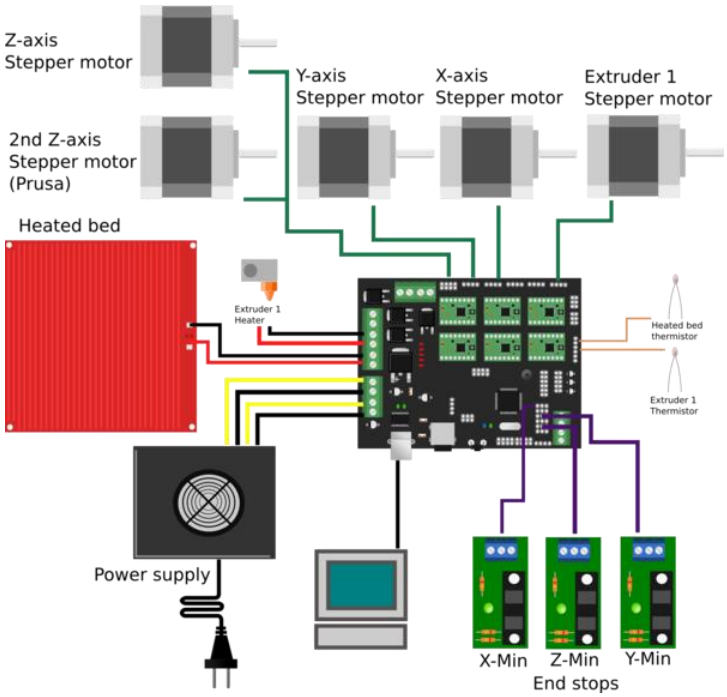
Megatronics v2 de ayrıca otomatik reset, maksimum 12 V ayarlanabilir giriş voltajı, ters akıma karşı diyot koruması, LCD kontrast trimpotu, korumalı 500 mA resetlenebilir sigorta ile korunmuş 5V hattı, bir piezo ile yazıcıdan ses olarak geribildirim alınabilmesi, her sürücü yuvasının harici step sürücülere bağlanabilmesi ve 4 katmandan oluşan kaliteli PCB baskısı gibi özellikleri vardır.

Megatronics v2 PCB üzerinde PIN adlandırmaları ve işaretleri mevcuttur. Bu nedenle elektronik montajı kolaydır. Şekil 11.125'te Megatronics v2.0 pinleri görülmektedir.



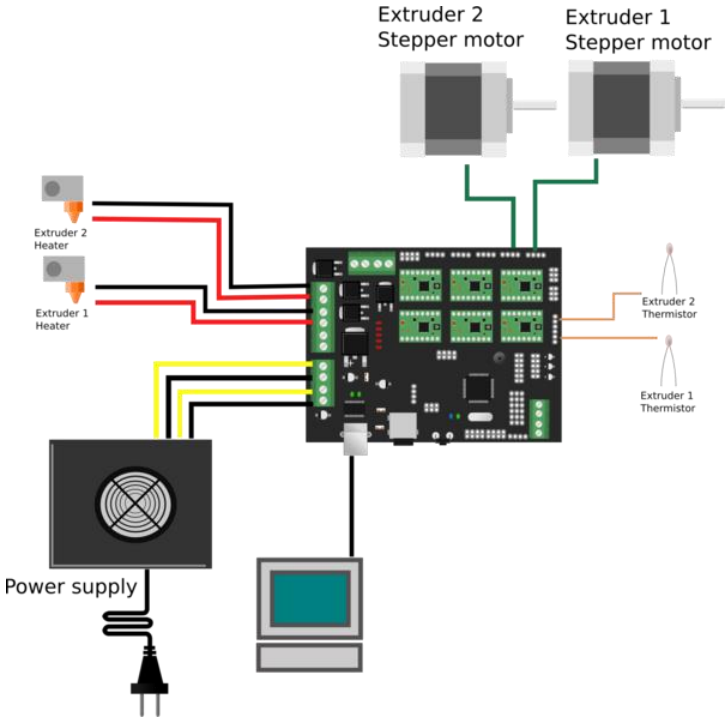
Şekil 11.125. Megatronics v2 pinleri

Şekil 11.126'da Megatronics v2 bağlantı diyagramı görülmektedir.



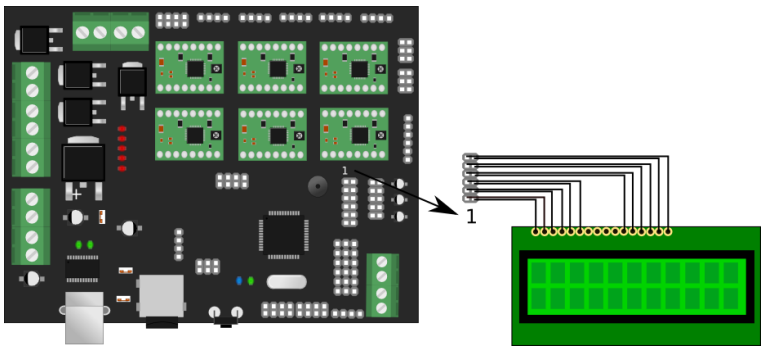
Şekil 11.126. Megatronics v2 bağlantı diyagramı

Şekil 11.127'de Megatronics v2 dual extruder bağlantı diyagramı görülmektedir.



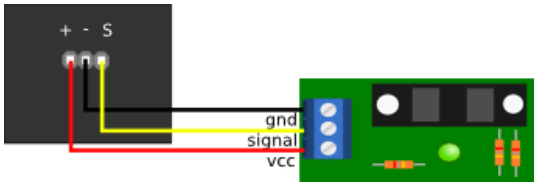
Şekil 11.127. Megatronics v2 dual ekstrüzyon

Şekil 11.128'te Megatronics v2 LCD bağlantı diyagramı görülmektedir.



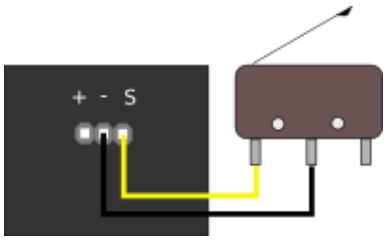
Şekil 11.128. LCD bağlantı diyagramı

Şekil 11.129'da Megatronics v2 optik switch bağlantıları görülmektedir.



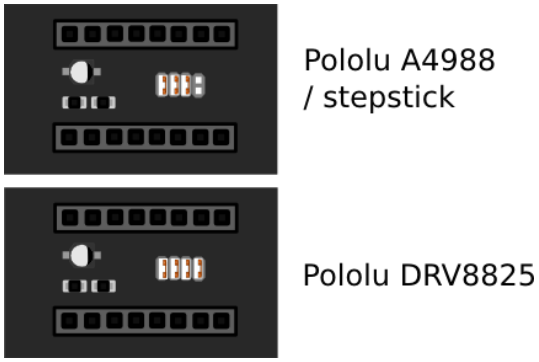
Şekil 11.129. Optik switch bağlantısı

Şekil 11.130'ta Megatronics v2 mekanik switch bağlantıları görülmektedir.



Şekil 11.130. Mekanik Switch bağlantısı

Şekil 11.131'de motor sürücülerine göre jumper yerleşimleri görülmektedir.



Şekil 11.131. Jumperların yerleşimi

A4988 motor sürücüsü için 4 adet ve Pololu DRV8825 motor sürücüsü için de 5 adet jumper kullanılır.

11.6. Yazılım Konfigürasyonu

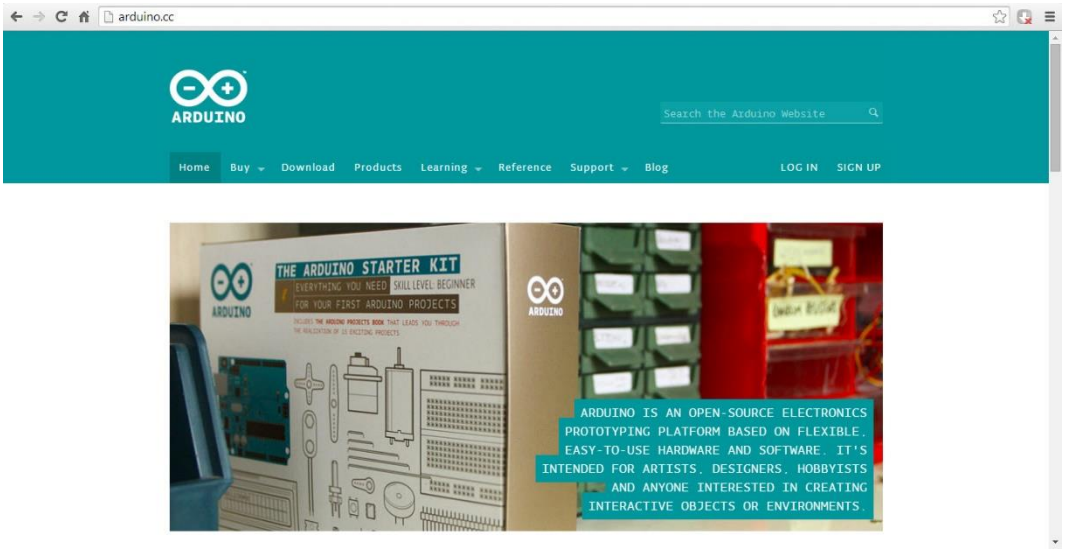
3b yazıcıda çıktı alabilmek için .STL uzantılı bir 3b model, yazıcı ile bilgisayar arasında iletişimi sağlayacak bir Host yazılım (Repetier), 3b modeli iki boyutlu katmanlara ayıracak ve bu katmanların Gcode'unu üretebilecek bir yazılım (Slic3r), kontrol kartına doğrudan müdahale edebilecek bir Firmware yazılımı (Repetier) ve son olarak kartı programlayabilecek bir yazılım (Arduino IDE) gerekmektedir.

Günümüzde Gcode üretebilen SFACT ve Skeinforge gibi alternatif yazılımlar da mevcuttur. Ayrıca Pronterface, RepSnapper ve Replicator G gibi yazıcı ile bilgisayar arasında iletişimi sağlayan programlarla birlikte Sprinter, Marlin ve Teacup gibi firmware yazılımları da bulunmaktadır.

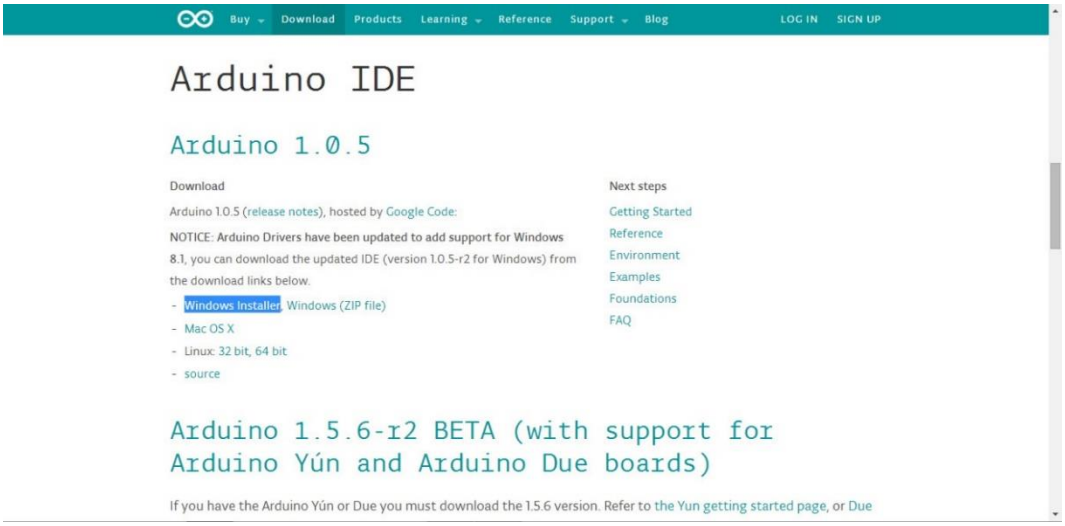
Konfigürasyona başlarken bazı yazılımların bilgisayara kurulması gerekmektedir. Bu yazılımların pek çoğu açık kaynak kodludur.

11.6.1. Arduino IDE

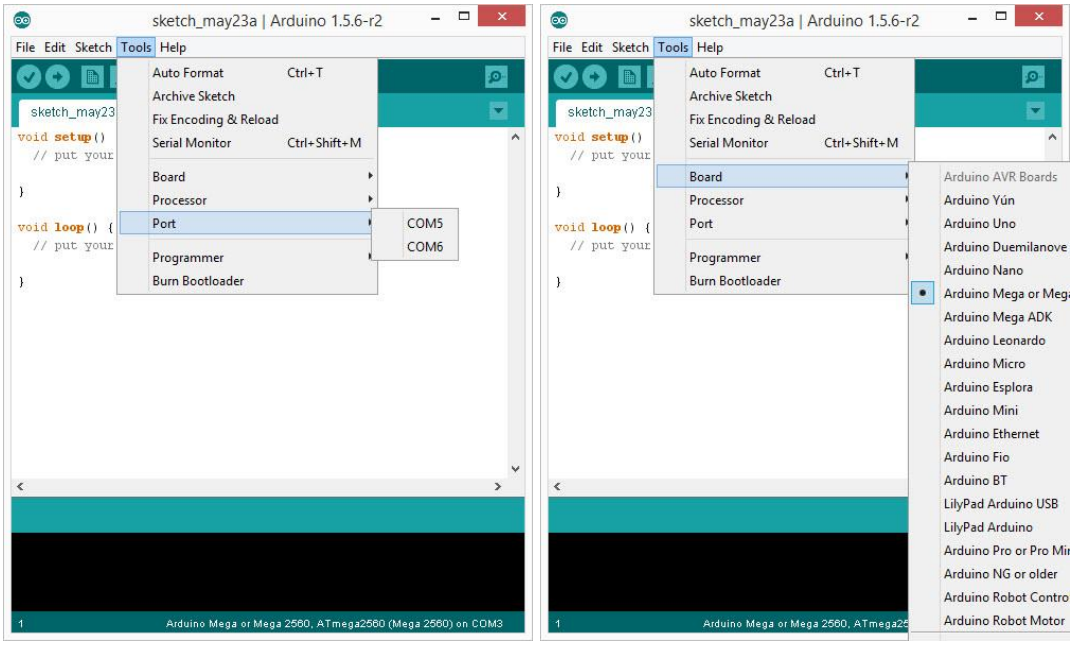
Kontrol kartını bilgisayara tanıtan ve programlayan derleyici yazılımdır. Şekil 11.132-134'te Arduino IDE yazılımı görülmektedir.



Şekil 11.132. Arduino IDE



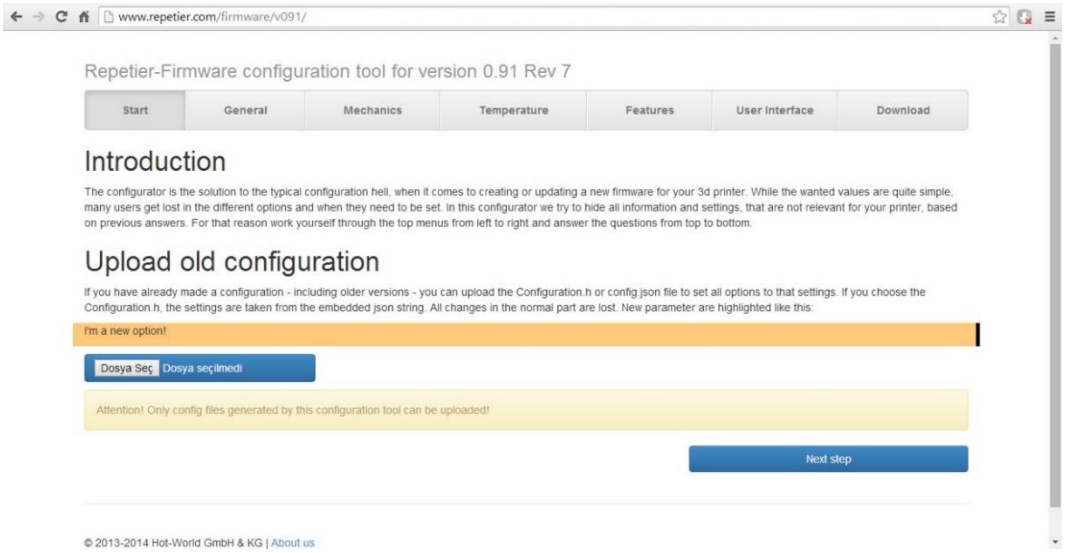
Şekil 11.133. Yazılımın indirilmesi ve kurulması



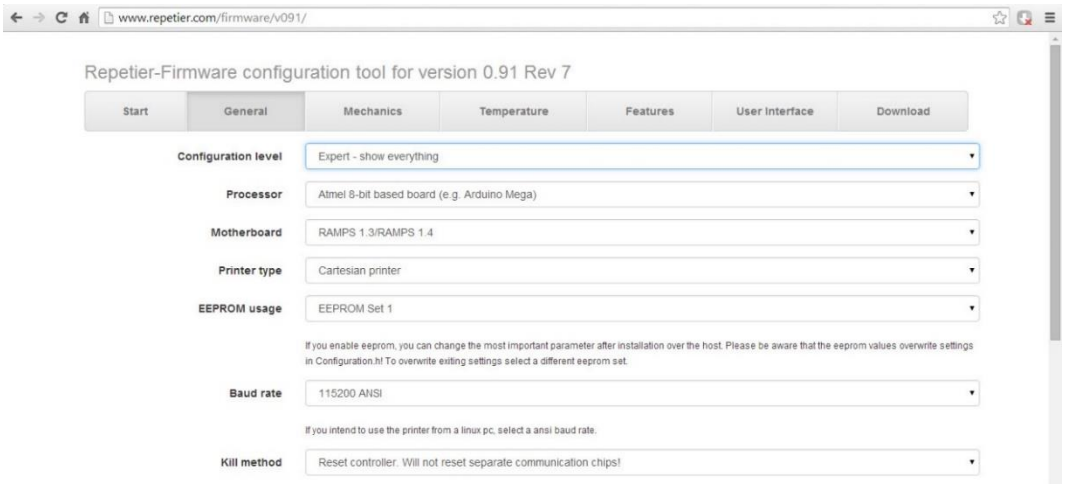
Şekil 11.134. Port ve kontrol kartı seçimi

11.6.2. Repetier ConfigTool

Kart üzerindeki mikroişlemci içerisine atılacak arayüzün oluşturulduğu yerdir. Şekil 11.135-139'da Repetier Config Tool görülmektedir.

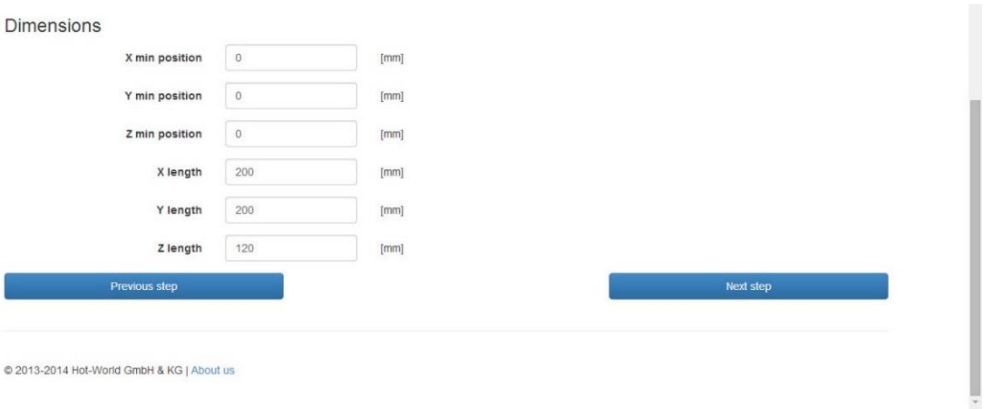


Şekil 11.135. Repetier ConfigTool yardımı ile Firmware oluşturulması



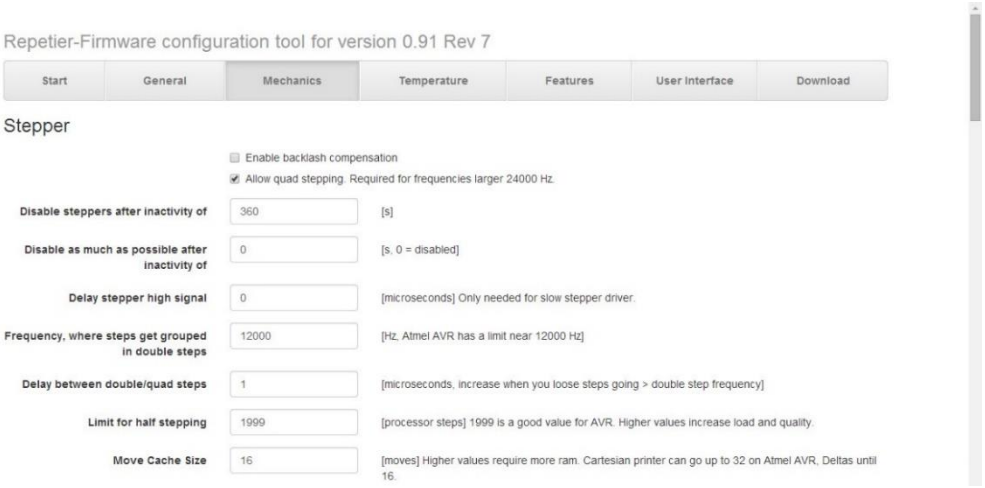
Şekil 11.136. Genel yazıcı ayarları

Bu bölümde yazıcı ile ilgili temel bilgiler, kontrol kartındaki işlemcinin tipi, kontrol kartı ve iletişim hızı seçilir. Kart olarak Megatronics v2, yazıcı tipi olarak kartezyen yazıcı ve Baud hızı olarak da 115200 bilgileri seçilir.



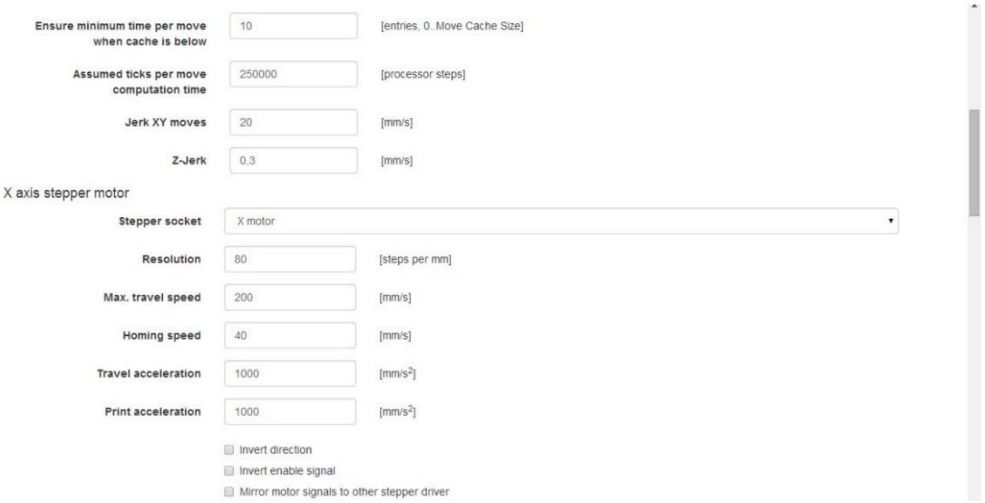
Şekil 11.137. Yazdırma boyutunun ayarlanması

Bu bölümde yazdırma boyutu ile ilgili bilgiler yer alır. Kullanılan mekanik ya da optik anahtarların olduğu yerden başlayarak 3 eksende de ne kadar mesafede bir yazdırma boyutunun olacağı ayarlanır. Desktop tarzı yazıcılarda bu ölçü 3 eksen için de 20 cm'dir.



Şekil 11.138. Mekanik Ayarları

Bu bölümde yazıcının mekanik bilgileri ayarlanır. Ayarlar yapılırken, hemen yanında yer alan ve o özellik ile ilgili kısa açıklamalar dikkatlice okunmalıdır. Bu açıklamalarda ayrıca o ayar için tanımlanmış Default (varsayılan) değerleri de mevcuttur.

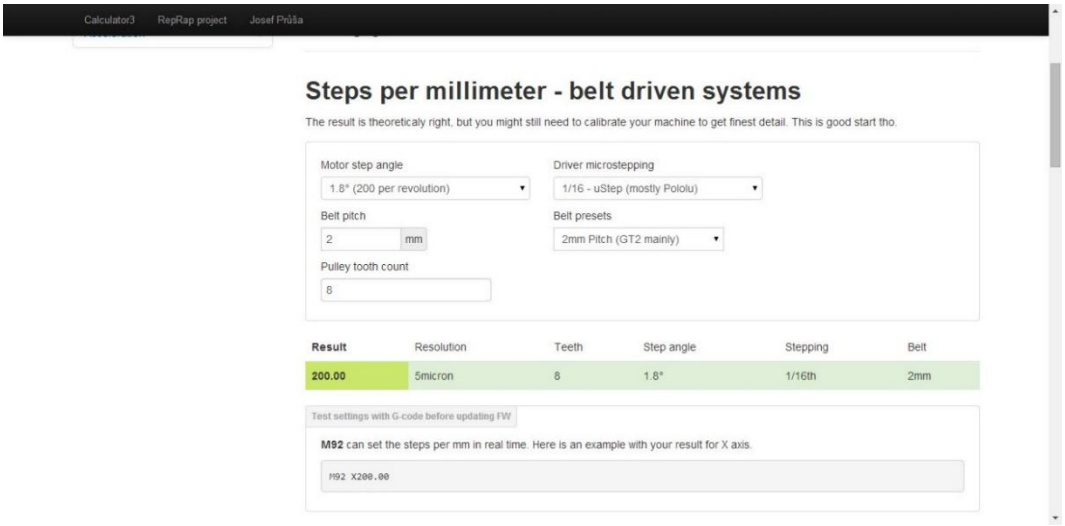


Şekil 11.139. X ekseni motor ayarları

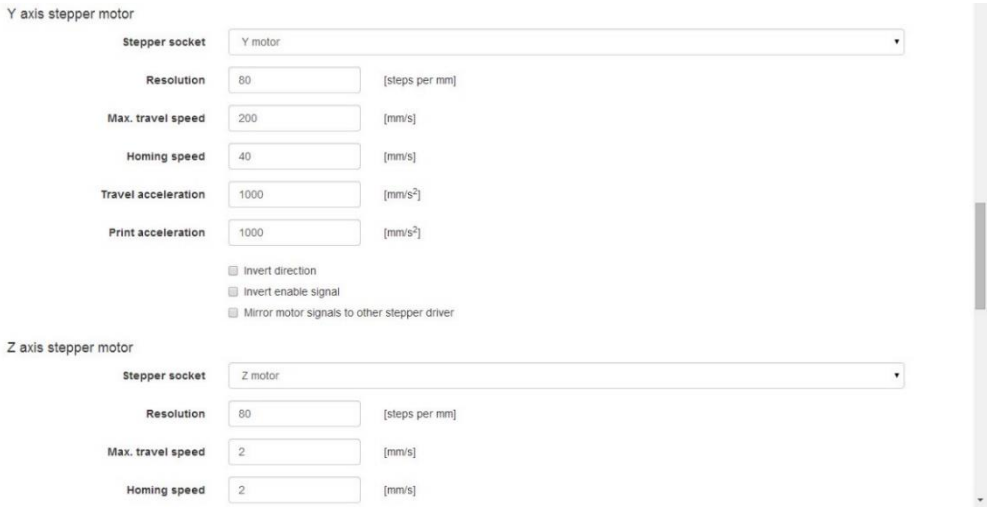
Bu bölümde Jerk (sarsıntı) ayarları yapılarak X eksenindeki motor ayarlarına geçilir. X eksenindeki çözünürlüğü ayarlamak için hesap yapmak gerekir. Kullanılan motorun dönme derecesi, motor sürücüsü, kaplin ve kasnak bu değerleri etkiler. Doğru değeri bulmak için mevcut donanım verileri Prusa Calculator yardımı ile hesaplanarak çözünürlük bulunur. X ve Y eksenlerinde ki çözünürlük bu şekilde elde edilir.

11.6.3. Prusa Calculator

Mevcut donanım bilgileri kullanılarak EEPROM değerlerinin hesaplandığı yerdir. Şekil 11.140-153'te Josef Prusa'nın yaptığı web tabanlı çalışan Prusa Calculator görülmektedir.

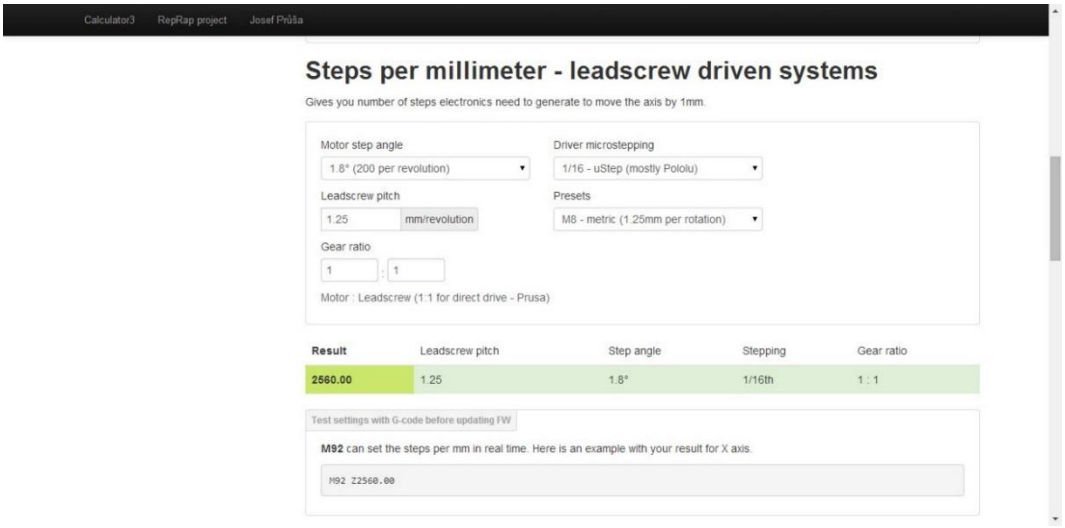


Şekil 11.140. Prusa Calculator



Şekil 11.141. Y ekseni motor ayarları

Aynı şekilde Y ekseni için motor ayarları yapılır. Z eksenindeki motor ayarı ve çözünürlüğün ayarlanması bu iki eksenden farklıdır.

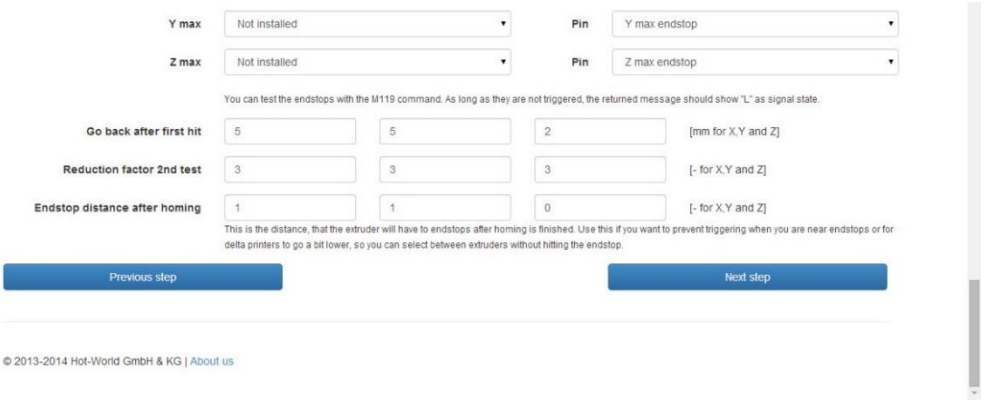


Şekil 11.142. Z ekseni motor ayarları



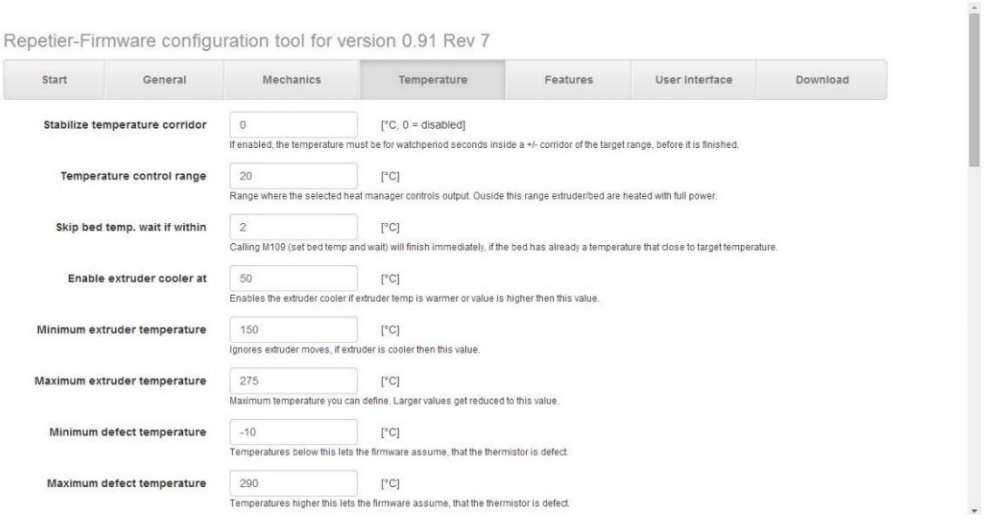
Şekil 11.143. Switch ayarları

Yazıcı üzerinde switch'lerin yerleri ayarlanır. Repetier kurulu iken M119 kodu ile switch'lerin durumu gözlemlenebilir. Yazıcının düzgün çalışabilmesi için en az 3 adet swtich gerekir. Switch'lerin min ya da max konumlarını da kullanıcı belirleyebilir. Switch'ler, kart üzerinde, buradaki değerlere karşılık gelen pinlere bağlanmalıdır. Optik ya da mekanik switch tipi de yine buradan ayarlanır.



Şekil 11.144. Hotend pozisyonu ayarları

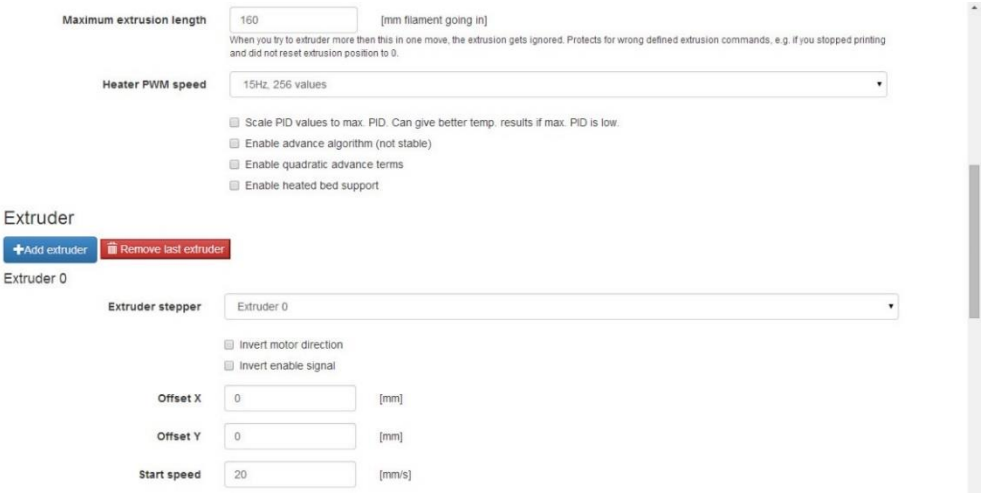
Bu bölümde yazıcı Home (başlangıç konumu ayarı) yapıldığında isteğe bağlı olarak switch'ler referans alınarak ofset değeri ayarlanabilir.



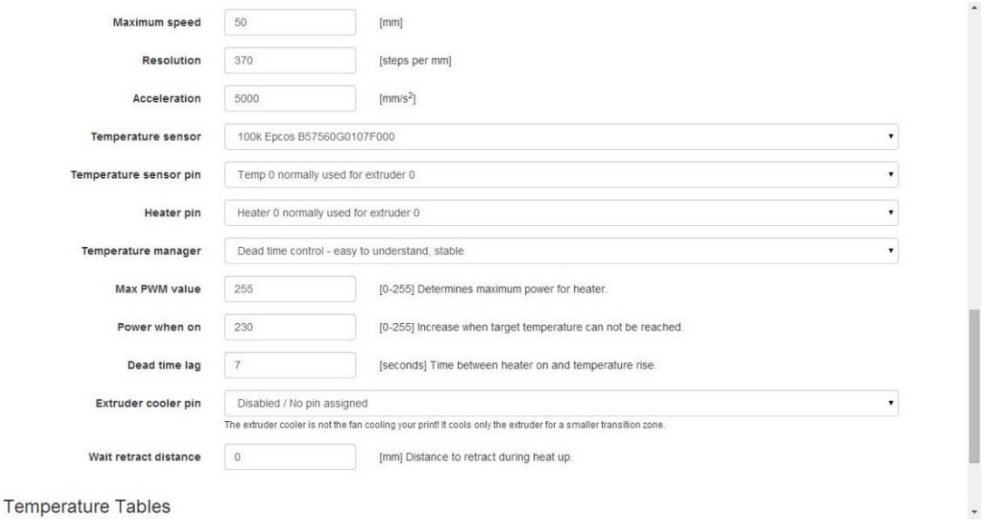
Şekil 11.145. Sıcaklık ayarları

Bu bölümde sıcaklık değerleri ayarlanır. Yazıcının hangi sıcaklıkta yazmaya başlayacağı, yazıcıda kullanılacak minimum ve maksimum sıcaklıklar burada tanımlanır.

PLA için ekstrüzyon sıcaklığı 180-220 arasında iken ABS de bu sıcaklık 200-250 °C arasındadır. Ayrıca bu sıcaklık değerleri kullanılan filamanın kalınlığına ve nozzle başlığına göre de değişmektedir.

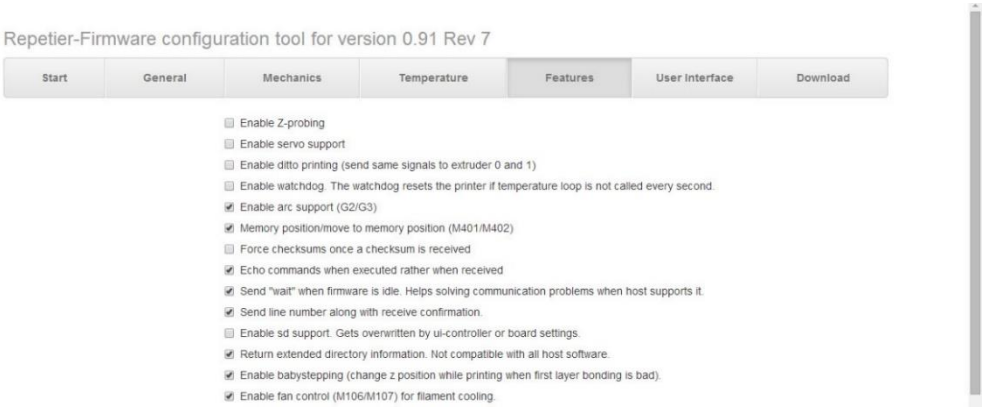


Şekil 11.146. Ekstrüzyon sıcaklık ayarları



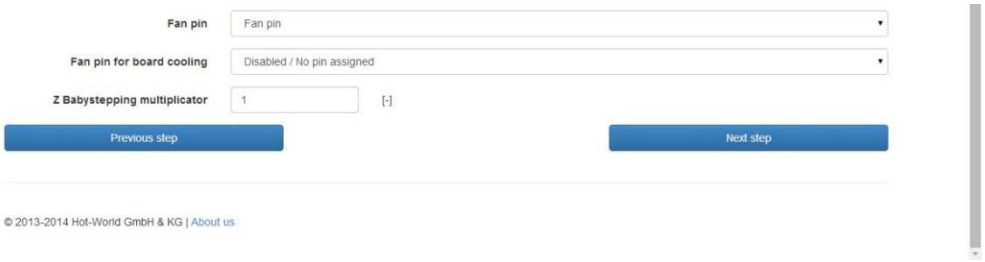
Şekil 11.147. Isıtıcı, sensör ve pin ayarları

Sıcaklık sensörü olarak termistör ya da termokupl kullanılabilir. Termistör doğrudan karta bağlanarak kullanılabilirken termokupl için bazı tanımlamalar yapmak gerekmektedir. Termokupl kullanırken (Megatronics v2 için), sıcaklık sensörü olarak AD595 ve sıcaklık sensör pini olarak Analog Pin 4 ve Analog Pin 8 seçilmelidir.



Şekil 11.148. Fan, SD Kart ayarları

Yazıcıya Fan ya da SD Kart gibi çevre birimler eklenebilir. Bu donanımların ayarları bu bölümde yapılır.

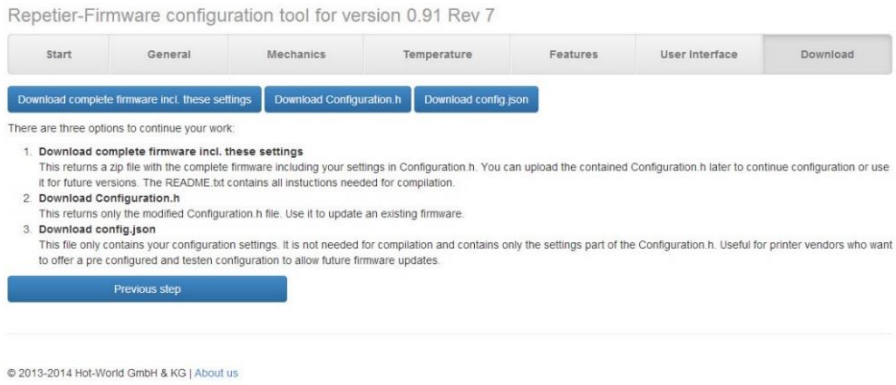


Şekil 11.149. Soğutma ayarları

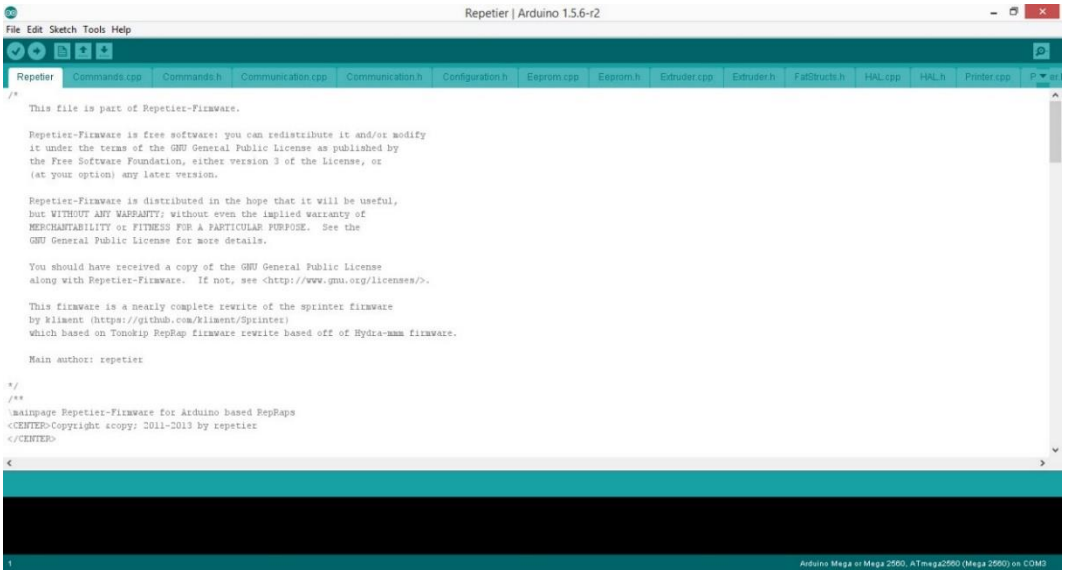


Şekil 11.150. Kullanıcı arayüzü

Bu bölümde LCD ayarı yapılır. LCD yardımıyla sıcaklık, koordinat ve benzeri bilgiler görüntülenebilirken, bilgisayarsız yazdırma için yine LCD'de görüntülenebilen bir arayüz gereklidir. Bu arayüz bu bölümde oluşturulur.

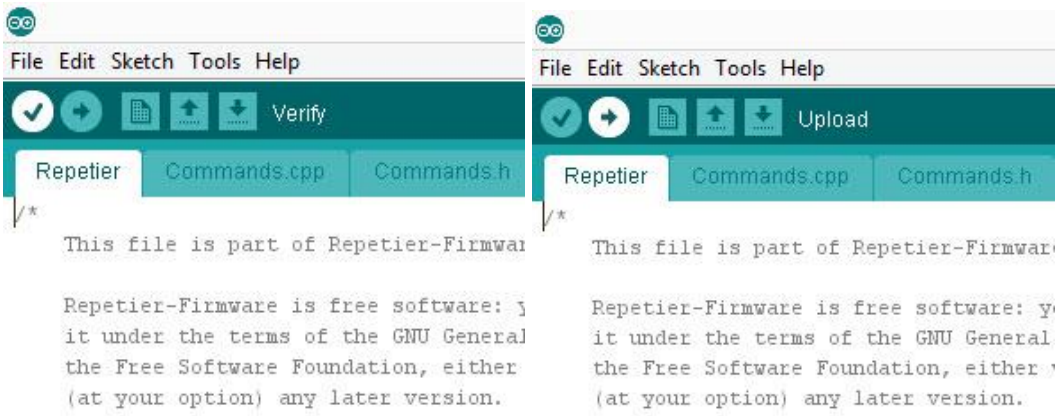


Şekil 11.151. Firmware'in indirilmesi



Şekil 11.152. Firmware'in Arduino IDE'de görüntülenmesi

Firmware C++ kodlarından oluşmaktadır (Ek-A). Yazıcıda kullanılan tüm donanımın ve konfigürasyonun tanımlı olduğu bir kütüphanedir. Firmware'i kontrol kartına yüklemeden önce kontrol kartı USB ile bilgisayara bağlanır. Port ve kart tipi tekrar kontrol edilir.



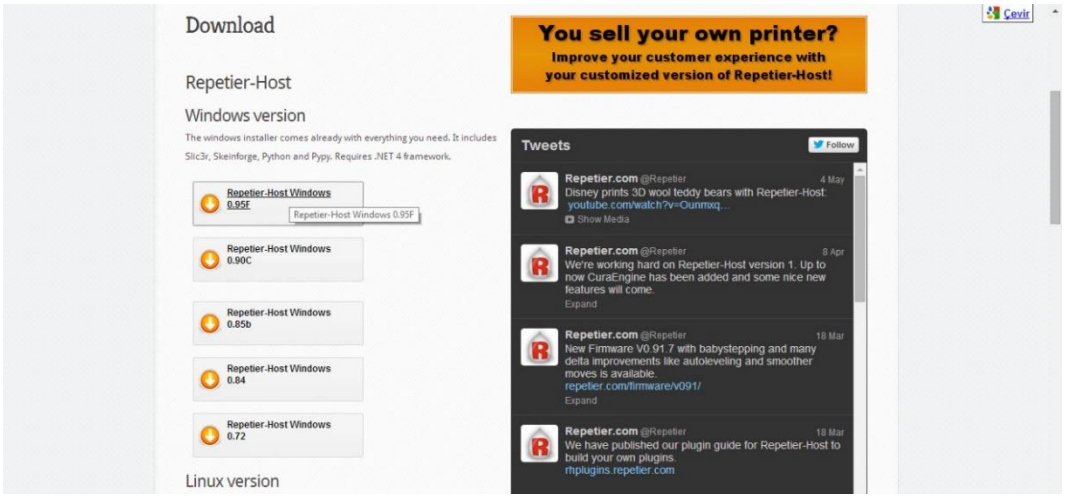
Şekil 11.153. Firmware'in kontrol kartına yüklenmesi

11.6.4. Repetier Host

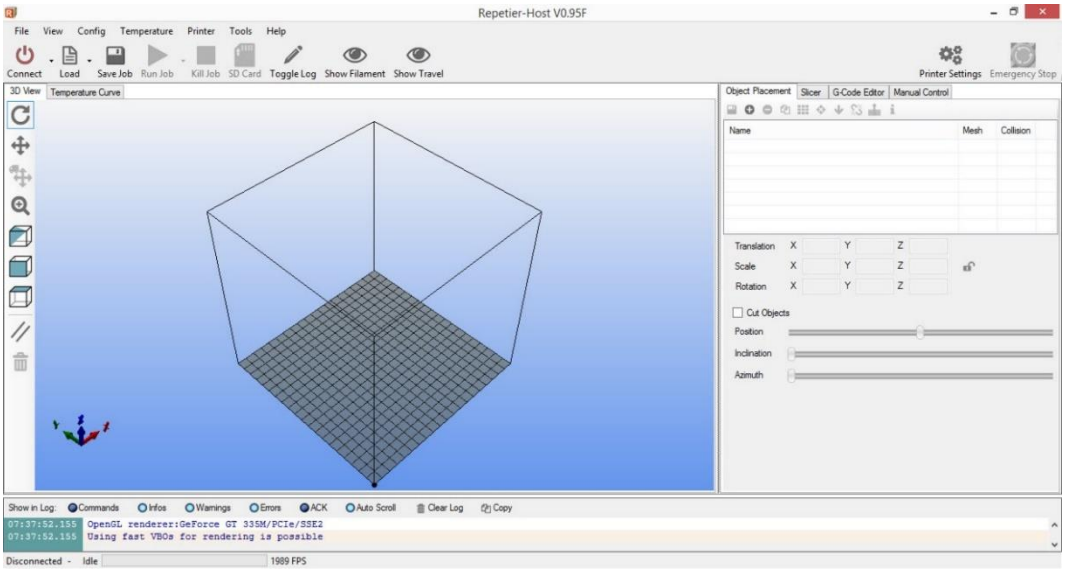
Bilgisayar ile 3b yazıcı arasında iletişimi sağlayan arayüzdür. Şekil 11.154-163'te Host işlemi için kullanılan Repetier arayüzü görülmektedir.



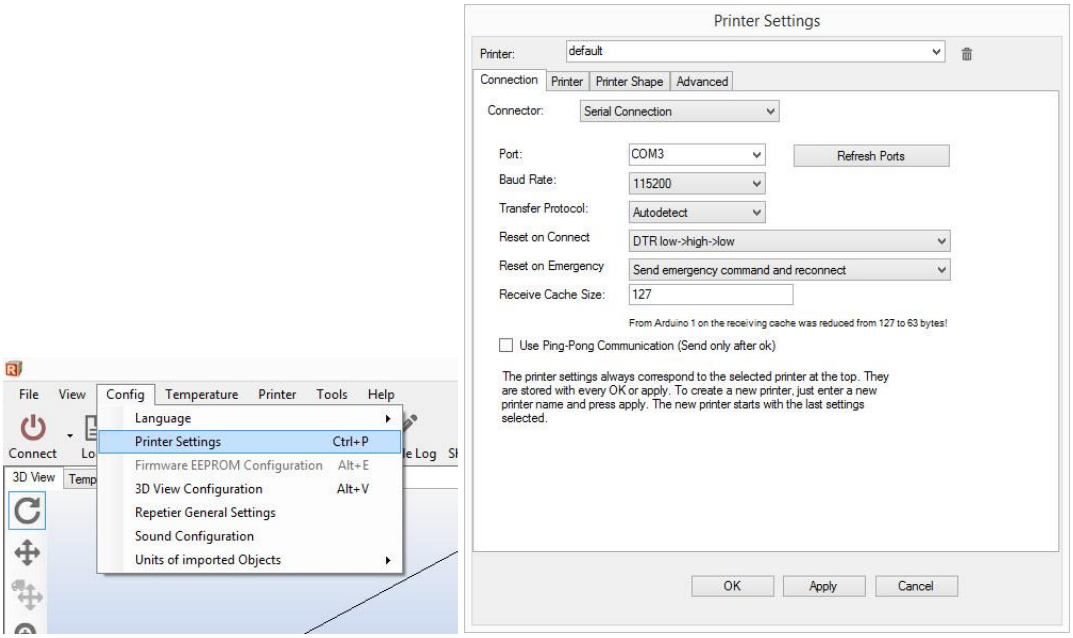
Şekil 11.154. Repetier Host



Şekil 11.155. Repetier Host yazılımının indirilmesi ve kurulması

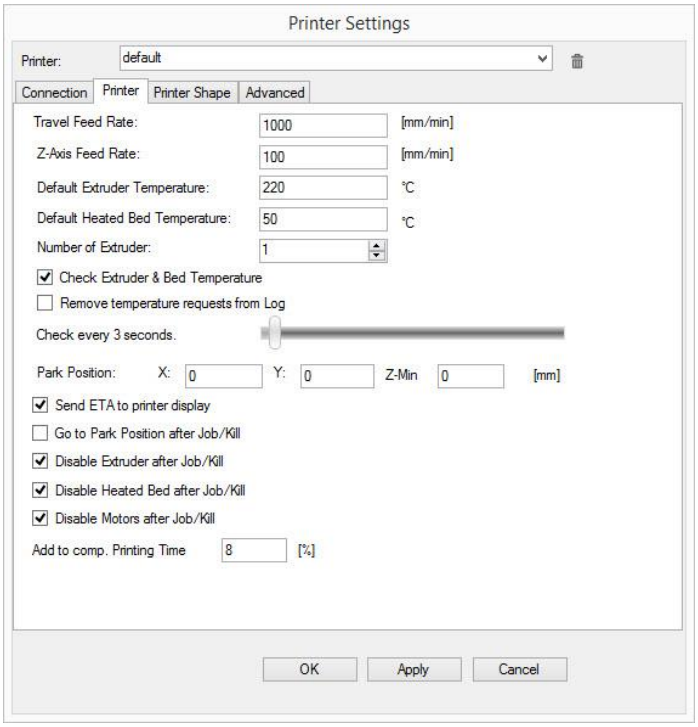


Şekil 11.156. Repetier ana ekran görüntüsü



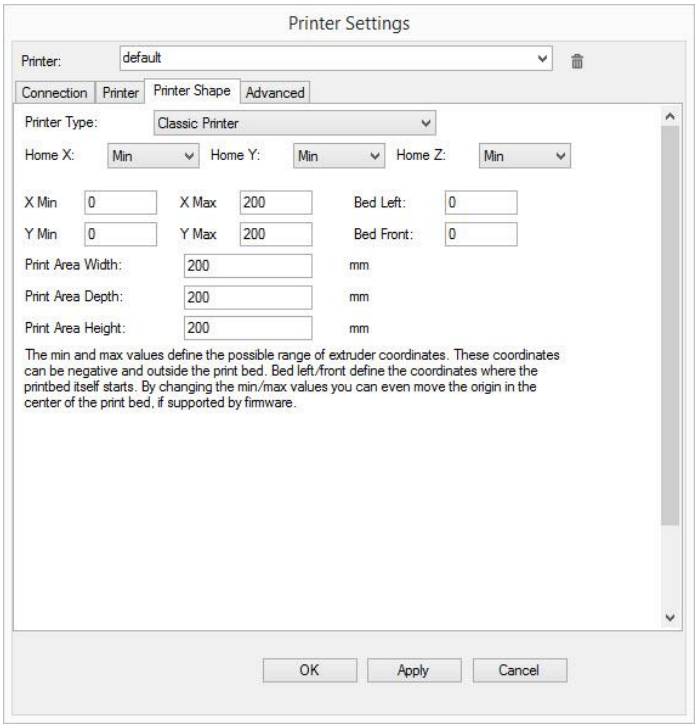
Şekil 11.157. Repetier yazıcı ayarları

Bu bölümde genel yazıcı ayarları yer alır ve Firmware'de tanımlı olan değerler burada da tanımlanır. Port ve Baud hız ayarları bu bölümdedir.



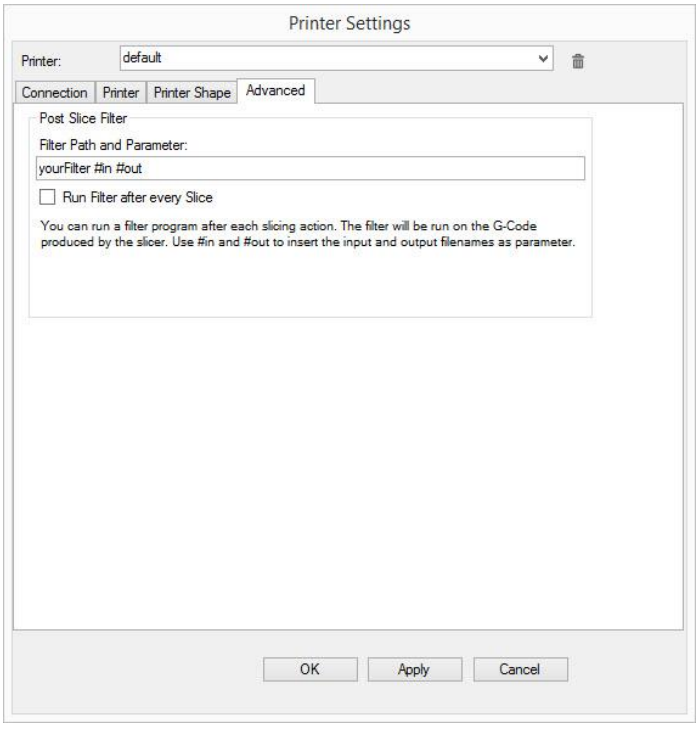
Şekil 11.158. Genel yazıcı ayarları

Bu bölümde ekstrüzyon ve tabla sıcaklık değerleri ayarlanır.

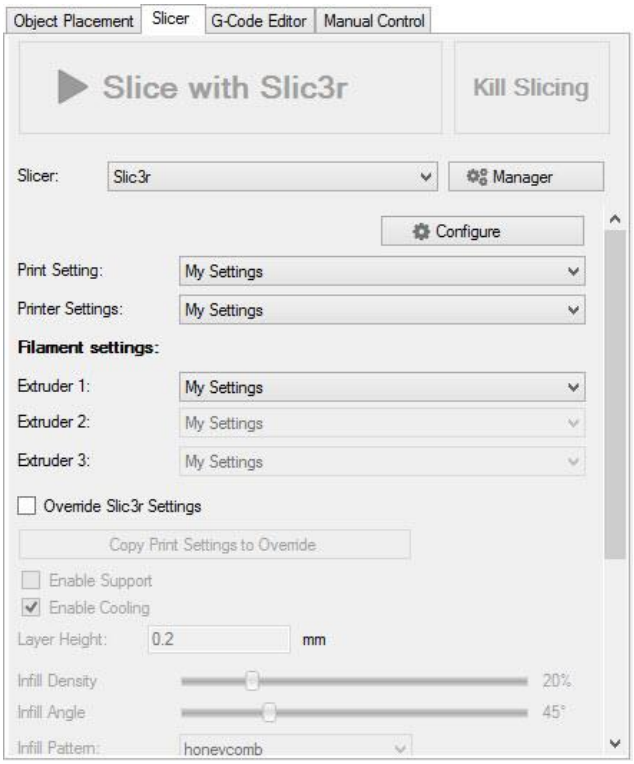


Şekil 11.159. Yazdırma boyutu ayarları

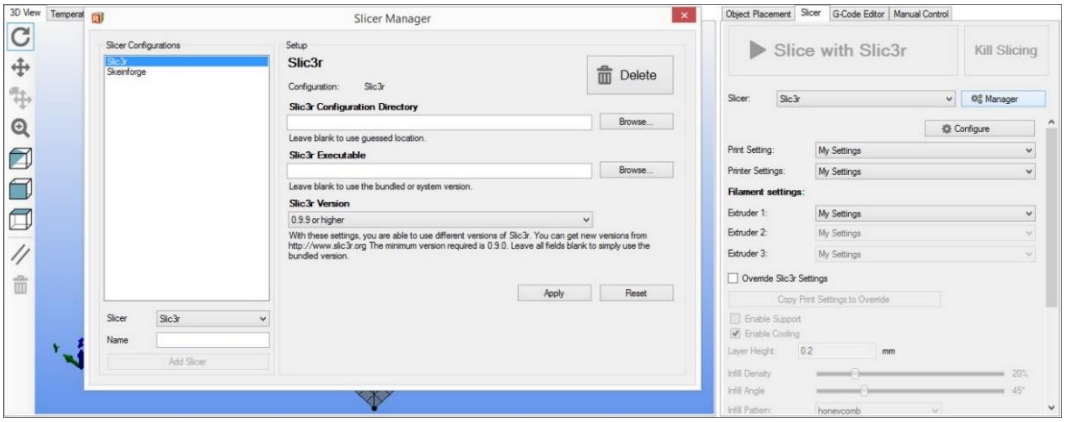
Bu bölümde yazdırma boyutu Firmware'de tanımlı olduğu haliyle ayarlanır.



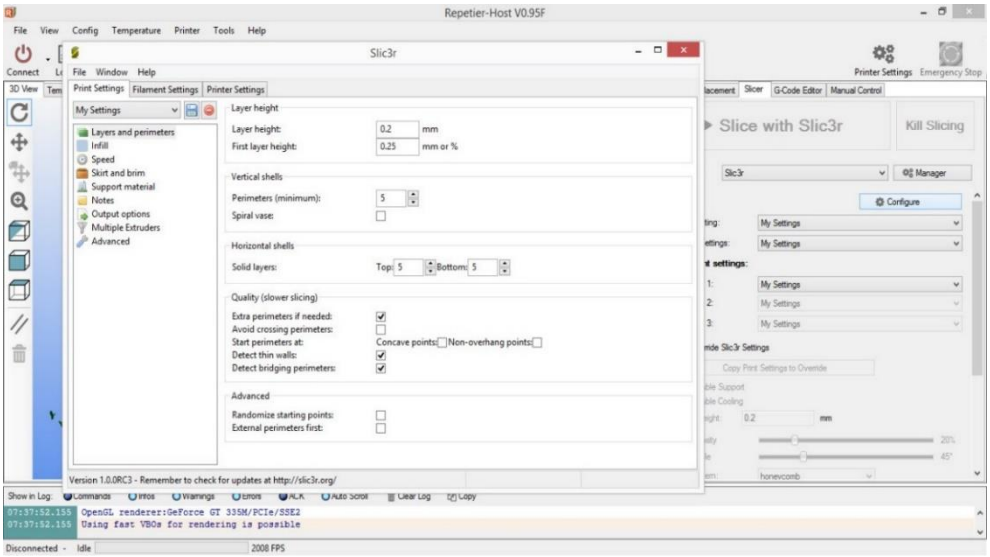
Şekil 11.160. Gelişmiş ayarlar



Şekil 11.161. Slic3r ayarları



Şekil 11.162. Gcode üretici seçimi

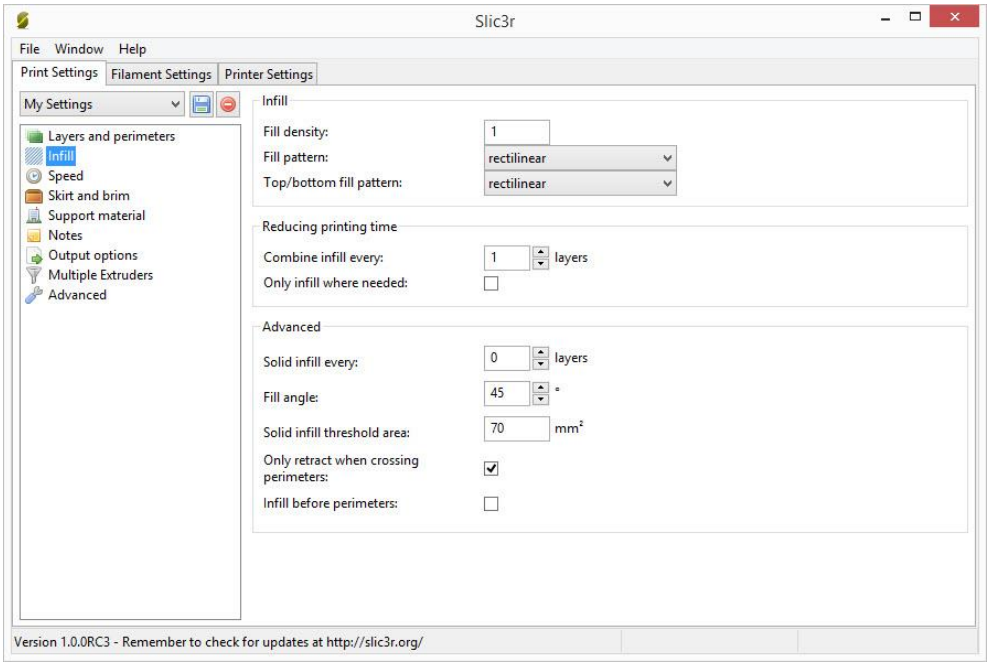


Şekil 11.163. Slic3r katman ayarları

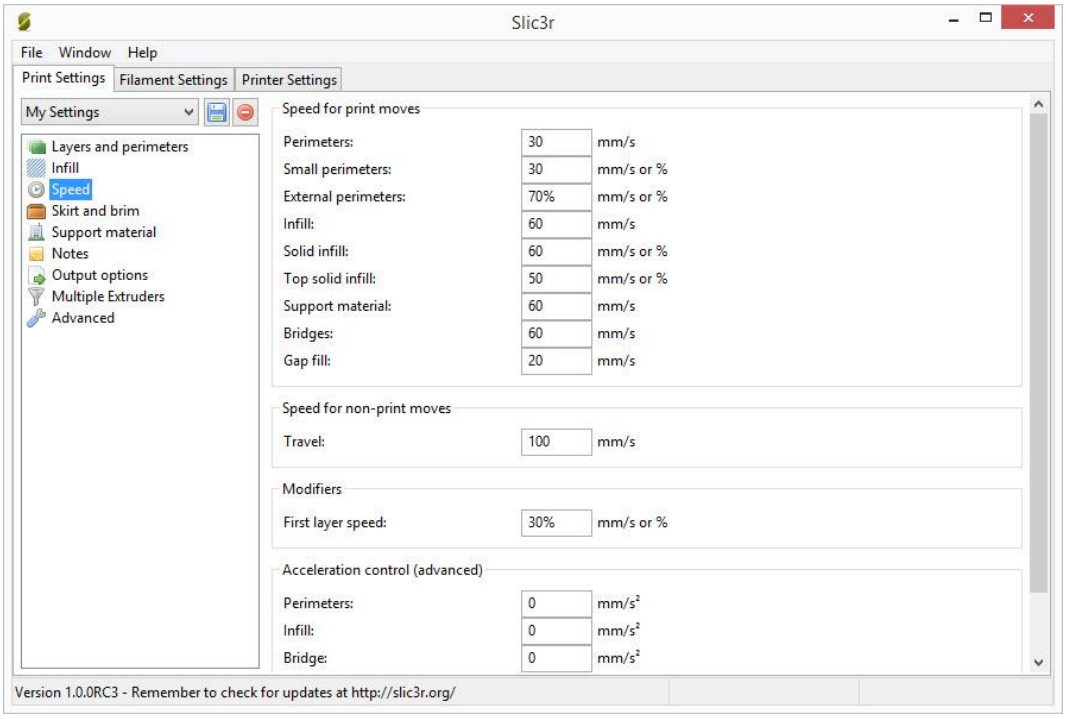
Bu bölümde ilk katman yüksekliği ve normal katman yüksekliği ayarlanır. Katman yüksekliği µ cinsinden yazıcının çözünürlüğünü ifade eder. 3 mm filaman ve 0,5 mm yazdırma başlığı kullanılıyorsa çözünürlük 300-400 µ, 1,75 mm filaman ve 0,35 mm yazdırma başlığı kullanılıyorsa çözünürlük 100-200 µ olarak önerilir.

11.6.5. Slic3r

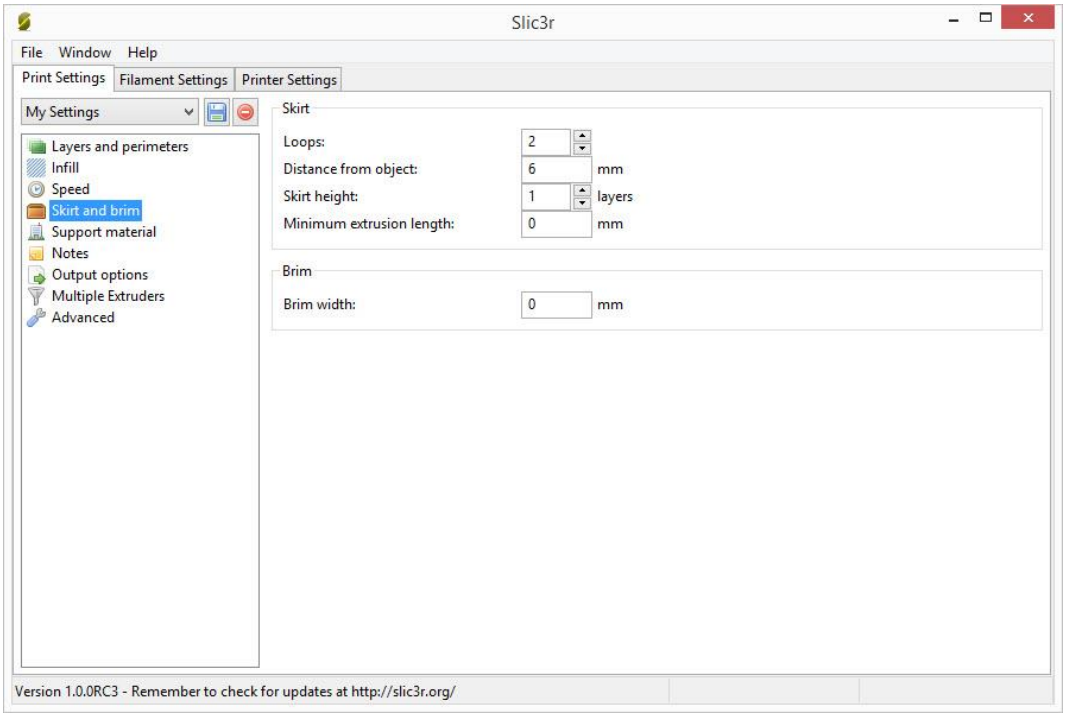
3b modelin iki boyutlu katmanlara dilimleyerek, bu dilimlere tekabül eden G-Code'ları üreten yazılımdır. Şekil 11.164-176'da Slic3r ayarları görülmektedir.



Şekil 11.164. Model içi doldurma ayarları



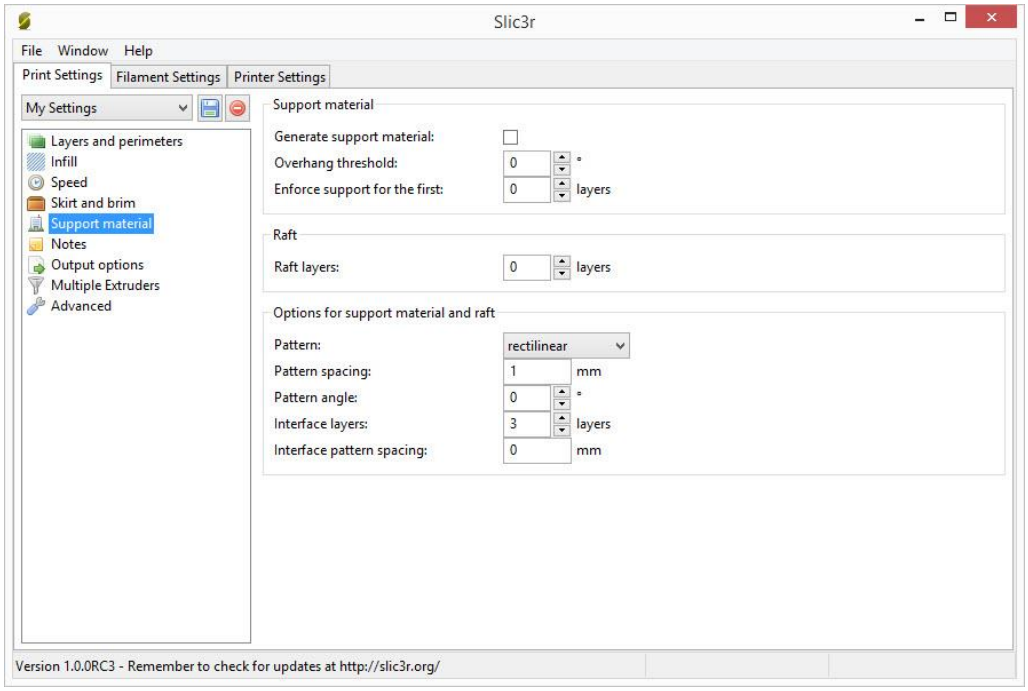
Şekil 11.165. Hız ayarları



Şekil 11.166. Kenarlık ayarı

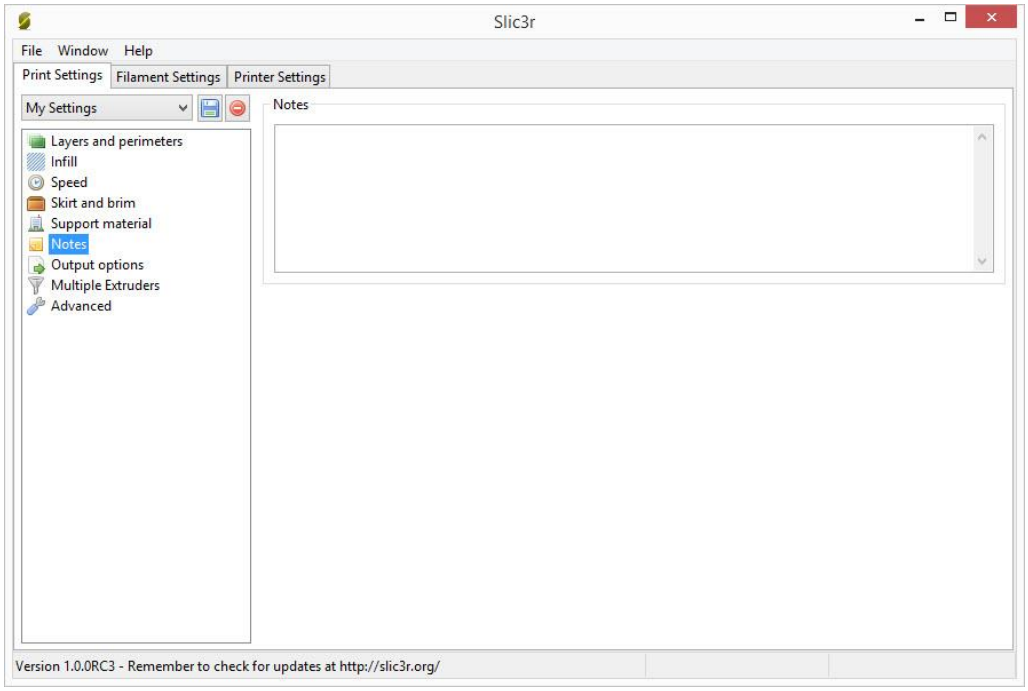
İsteğe bağlı olarak kenarlık ayarlanabilir. Kenarlık modeli yazmadan önce modelin şeklinden belirlenen uzaklıkta daire oluşturulmasıdır. Ekstrüzyon bu daireleri oluştururken belirlenen mutlak doygunluğuna ulaşır bu da modelin tabanının

yazdırılma kalitesini etkiler. Yazdırma tablasında düzgün ve tam bir çıktı elde etmek için kullanılır.

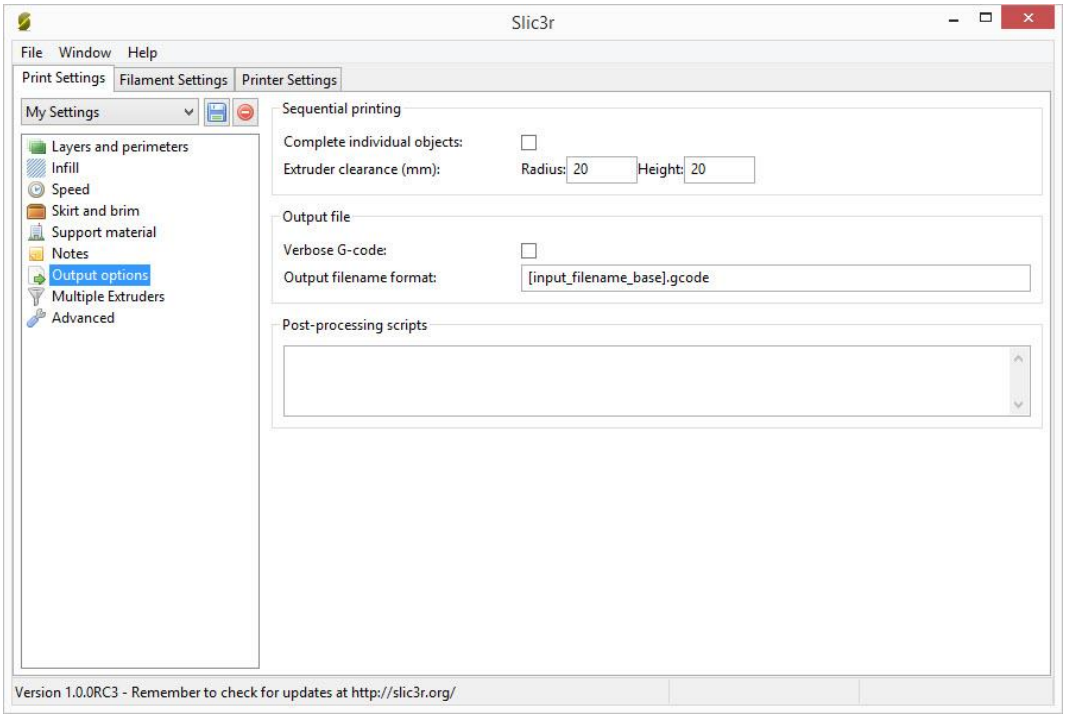


Şekil 11.167. Desen ayarları

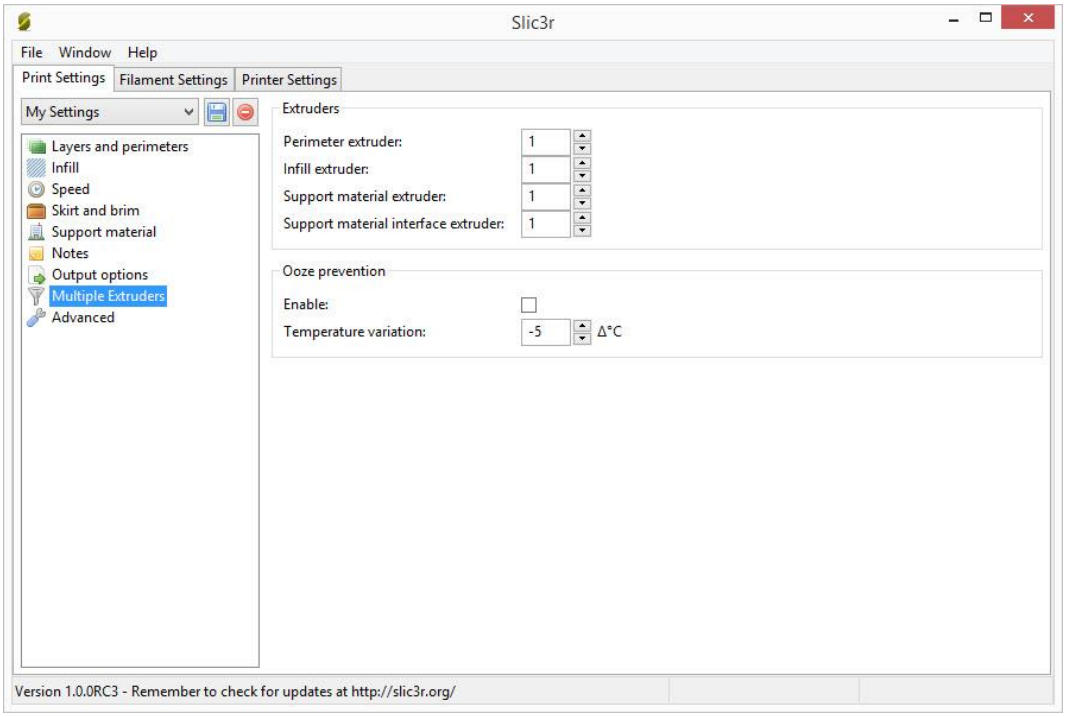
Bu bölümde model içinin hangi desenle ve dışarıdan ne kadarlık bir ofsetle yazdırılacağı ayarlanır.



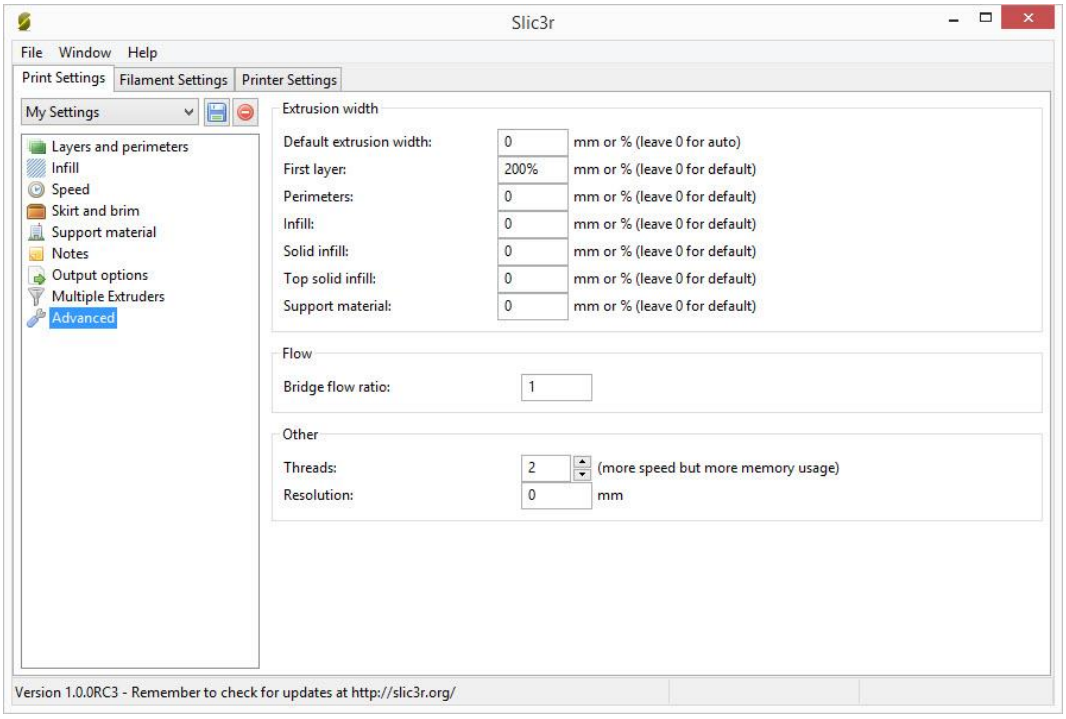
Şekil 11.168. Hatırlatma notları



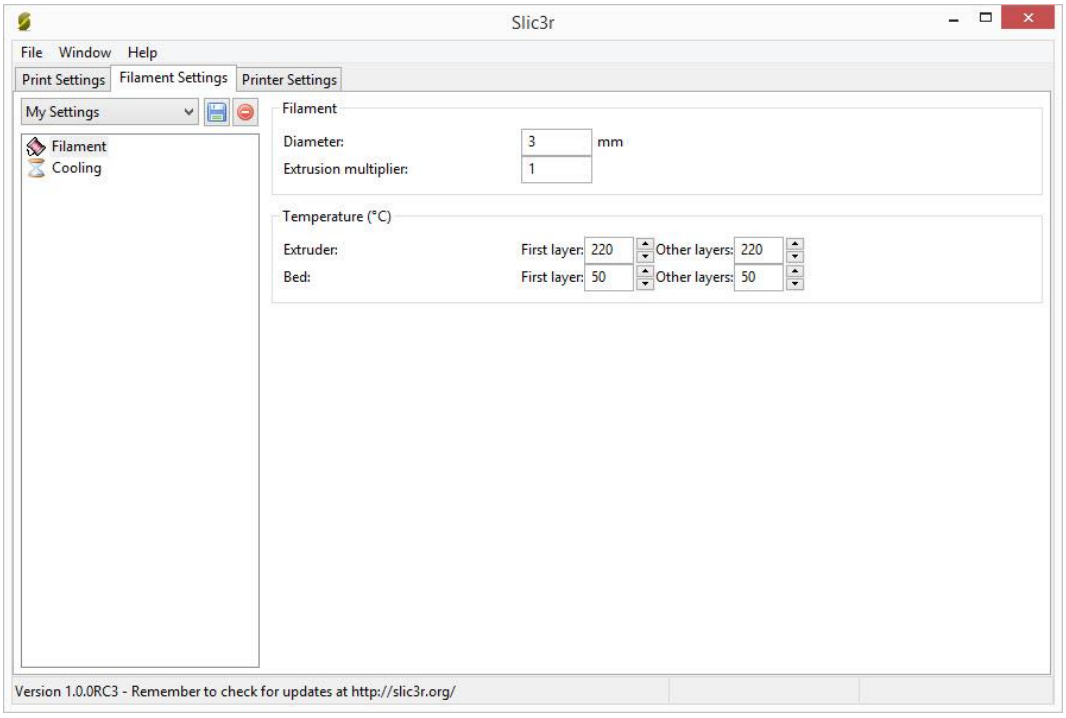
Şekil 11.169. Çıktı ayarları



Şekil 11.170. Çoklu yazdırma başlığı ayarları

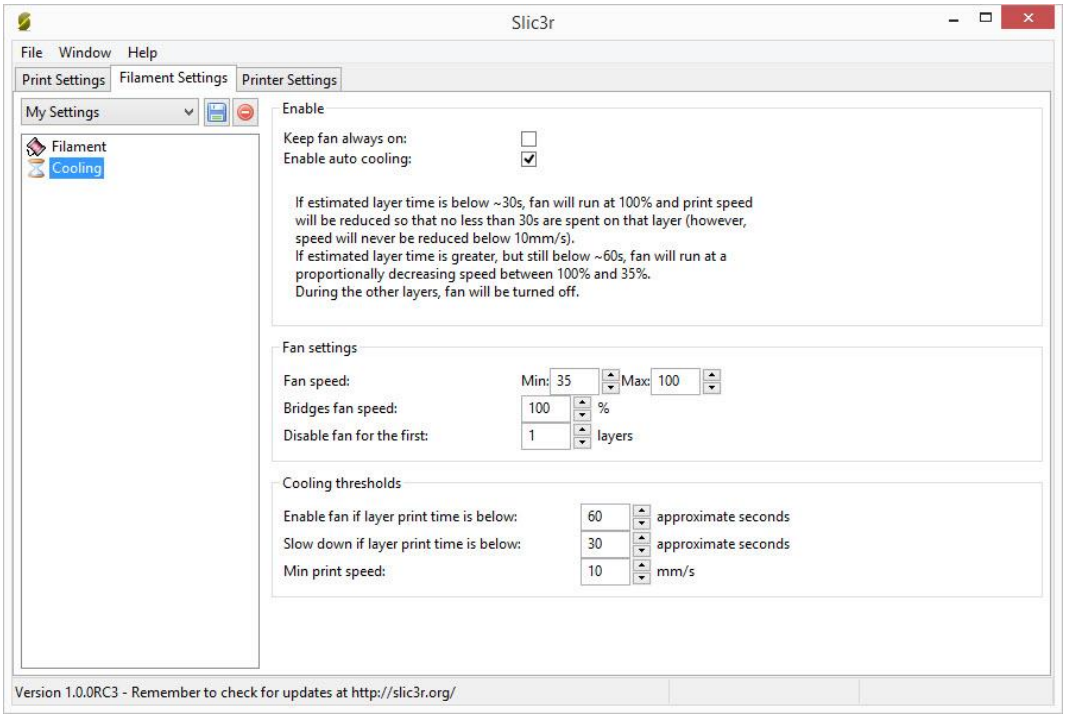


Şekil 11.171. Gelişmiş ayarlar



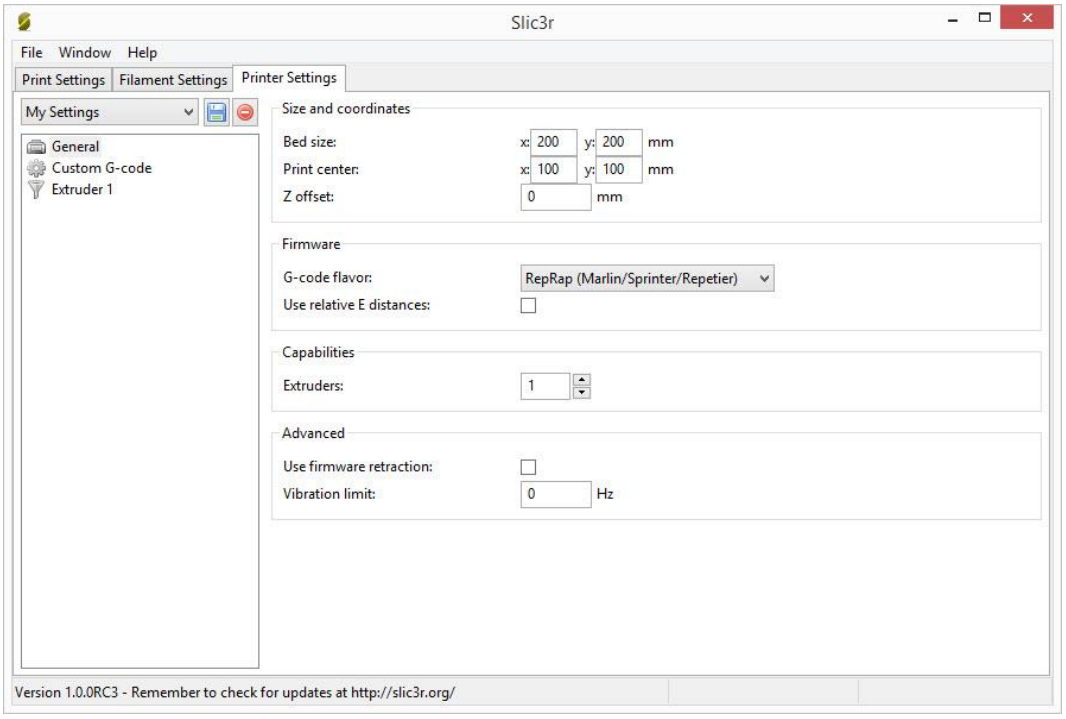
Şekil 11.172. Filaman ayarları

Bu bölümde filaman kalınlığı, ekstrüzyon ve tabla yazdırma yüzeyi sıcaklığı yer alır.



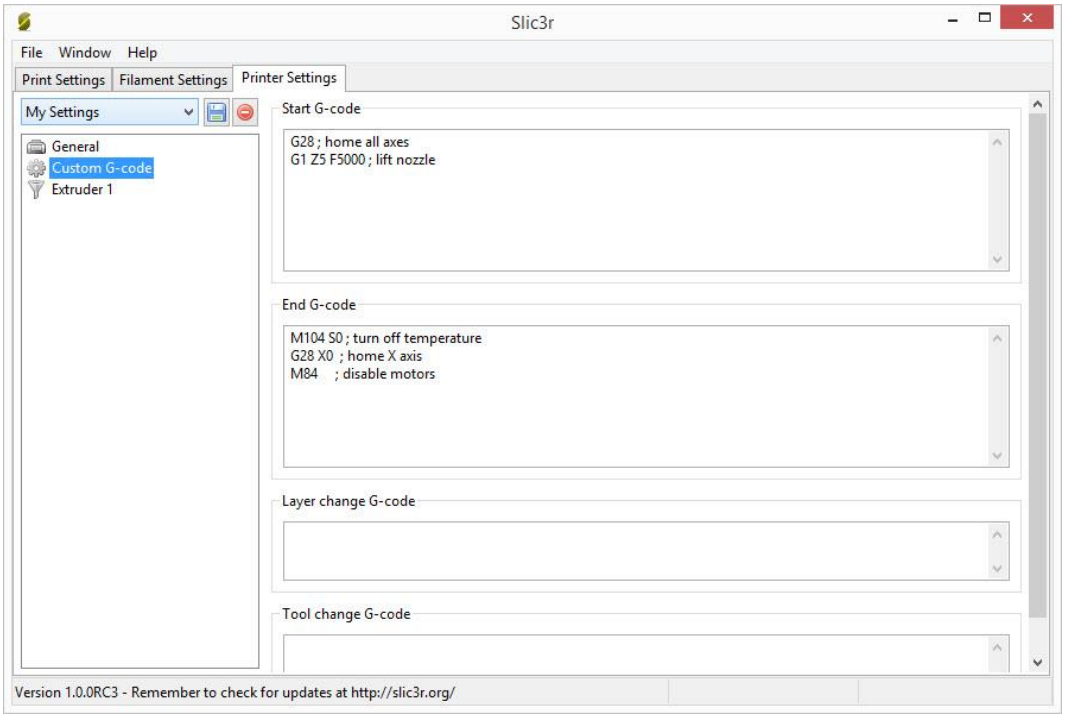
Şekil 11.173. Soğutucu ayarları

Bu bölümde fan ayarları yer alır. Oto soğutma fanın gerektiği yerde gerektiği kadar çalışmasını sağlar.



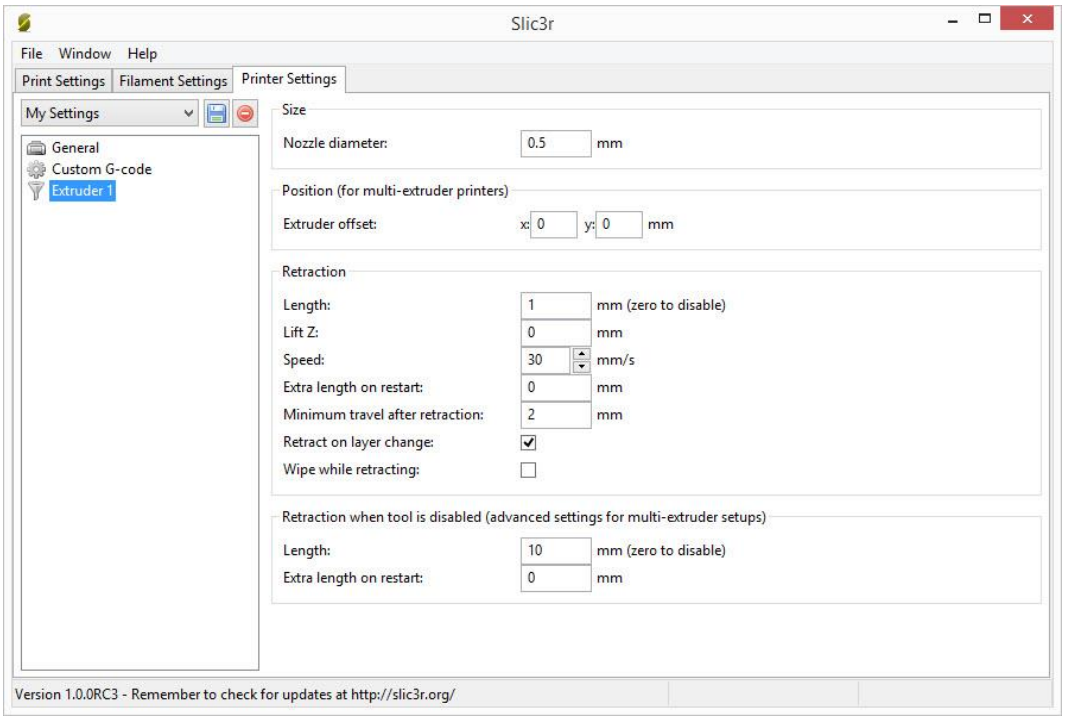
Şekil 11.174. Yazdırma boyutu ayarları

Bu bölümde yazdırma boyutu Firmware'de tanımlı olduğu gibi ayarlanır.



Şekil 11.175. Gcode ayarları

Bu bölümde yazdırma işleminin farklı aşamalarında yazıcıdan yapmasını istediğimiz komutlar yer alır. Yazdırmaya başlamadan önce otomatik olarak bütün eksenlerin Home pozisyona gelmesi buradan ayarlanır.

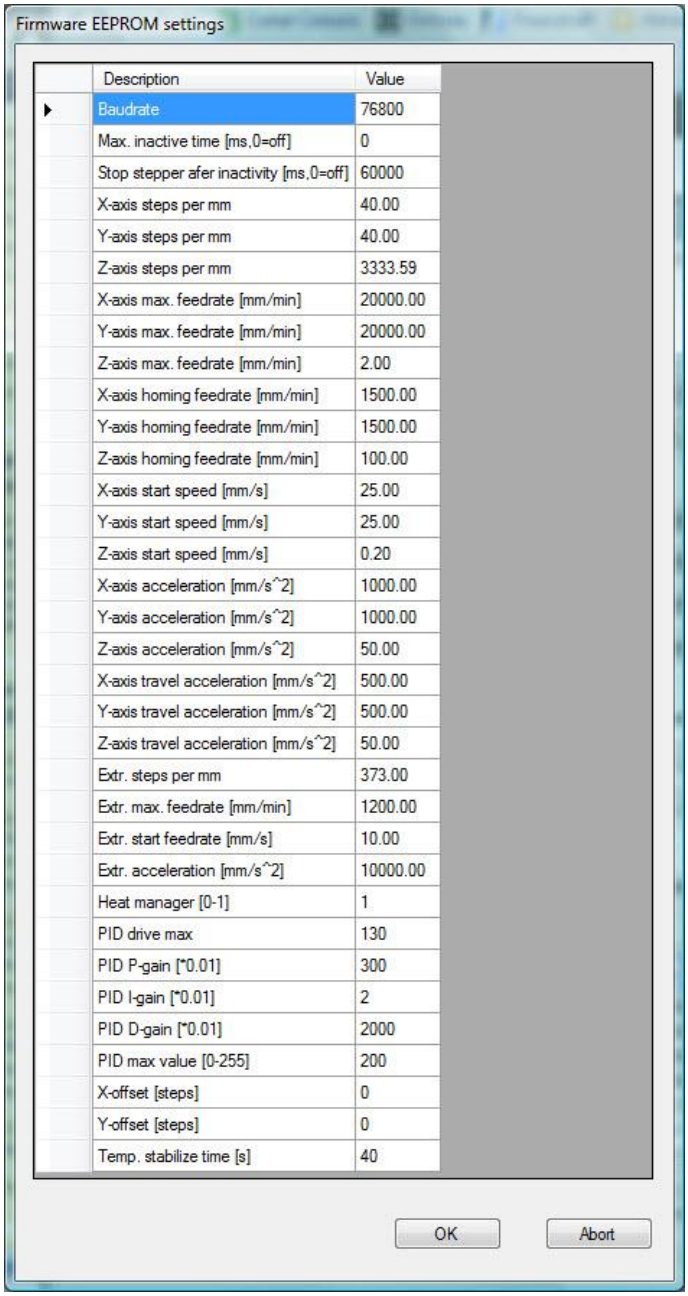


Şekil 11.176. Ekstrüzyon ayarları

Bu bölümde yazdırma başlığı ve yazma işleminin gerçekleşmediği, yazdırma başlığının yazmadan atladığı kısımlarda erimeye bağlı olarak oluşan model bozukluklarını önlemek için geri çekim ayarı yer alır.

11.6.6. EEPROM ayarları

Repetier içerisinde bulunan ve mevcut Firmware üzerinde doğrudan değişiklik yapmayı sağlayan arayüzdür. Şekil 11.177'de EEPROM ayarları görülmektedir.

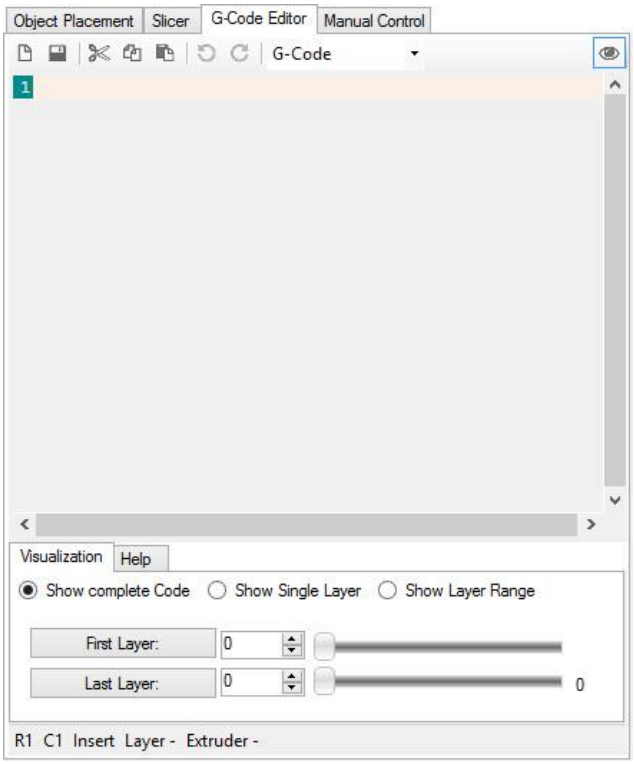


Şekil 11.177. Eeprom ayarları

Bu bölümde Firmware içerisinde önceden tanımlanan değerlere anında müdahale etme imkanı sağlayan arayüz bulunur.

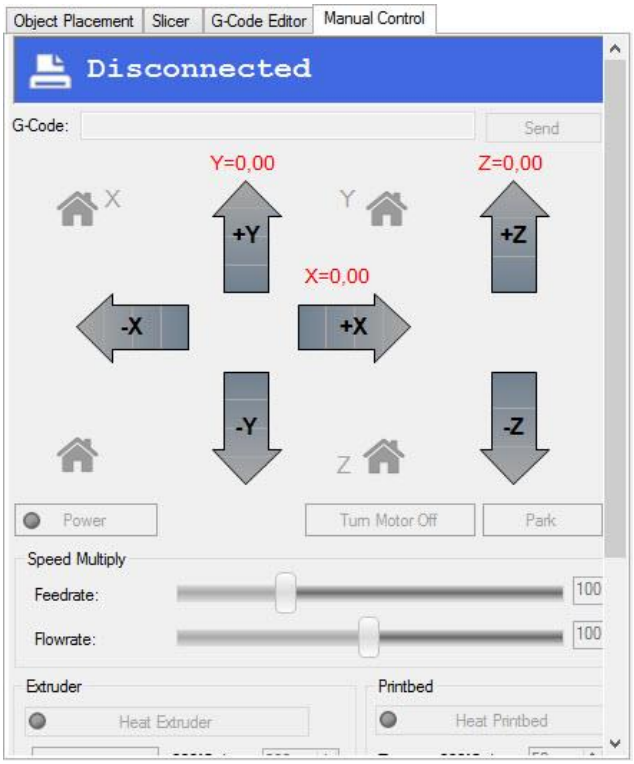
11.6.7. G-Code

Yazıcının elemanlarını gerektiği yerde gerektiği miktarda harekete geçiren kodlardır. Şekil 11.178-179'da G-Code ayarları görülmektedir.



Şekil 11.178. G-Code

Bu bölümde 3 boyutlu modeli oluşturan iki boyutlu katmanların, birbiri ardına sıra ile yazdırılmasını sağlayan G-Code'lar bulunur. Bu kodlar, eksen motorlarının hangi eksende ne kadar yer değiştirme gerçekleştireceğini ve hangi noktada ne kadar ekstrüzyon yapılacağı bilgilerini içerir.



Şekil 11.179. Manuel kontrol

Bu bölümde manuel olarak Home ayarları her bir eksen için ayrı ayrı ya da tüm eksenler için gerçekleştirilir. Manuel olarak motorları kapatma, ekstrüzyon, geri çekme ve fan hız ayarları yine bu bölümde yer alır. Ekstrüzyon ve yazdırma tablası sıcaklıkları termistör ya da termokupl yardımıyla bu arayüzden okunur.

BULGULAR ve TARTIŞMA

3 boyutlu yazıcılarla istenilen ölçü ve materyalde biyomalzeme oluşturulabilmektedir. Bu teknoloji yeni yeni gelişmekte olup bu alanda ilerleyen zamanlarda insanlara çok daha fazla yarar sağlayacağı kaçınılmazdır.

Yazdırma işleminin geliştirilerek daha hızlı, kaliteli, çeşitli ve renkli olması gerekmektedir. Açık kaynak kodlu donanım ve yazılım kullanılarak geliştirilen bu prototipler sayesinde bu teknolojinin nasıl faydalı olabileceği anlaşılmaktadır.

Bu çalışma, ülkemizde akademik olarak uygulanan ilk proje olmakla beraber bu kaynak da ülkemizdeki ilk türkçe kaynak niteliğindedir.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Medikal alanda kullanılabilecek malzemelerin 3 boyutlu yazıcılarla üretilmesi, maliyeti düşürdüğü gibi, kaliteyi de arttırarak (istenilen maddeden) daha özgün tasarımların (kişiye özel) imal edilebileceğini kanıtlamıştır.

Daha hızlı ve kaliteli bir baskı için yazıcının şasesinin tek parça ve destekli olması, kartezyen robot yerine daha farklı eksenel hareket uygulanması, PLA yerine ABS ya da ABSplus kullanılması, mekanik parçaların daha kaliteli ve birbiriyle tam uyumlu olması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] http://www.theengineer.co.uk/in-depth/the-big-story/the-rise-of-additive-manufacturing/1002560.article (Ziyaret Tarihi: 17 Ekim 2013).

[2] http://www.createitreal.com/index.php/technology/process (Ziyaret Tarihi: 8 Ocak 2012).

[3] http://www.ft.com/intl/cms/s/6dc11070-d763-11e1-a378-00144feabdc0,Authorised=false.html?_i_location=http%3A%2F%2Fwww.ft.com%2Fcms%2Fs%2F0%2F6dc11070-d763-11e1-a378-00144feabdc0.html%3Fsiteedition%3Dintl&siteedition=intl&_i_referer=http%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2F3D_printing#axzz24gFn5Cal (Ziyaret Tarihi: 7 Ağustos 2012).

[4] http://www.pcmag.com/slideshow_viewer/0,3253,l=293816&a=289174&po=1,00.asp (Ziyaret Tarihi: 7 Ekim 2013).

[5] http://www.ptonline.com/articles/3d-printers-lead-growth-of-rapid-prototyping (Ziyaret Tarihi: 7 Şubat 2012).

[6] http://www.economist.com/news/technology-quarterly/21584447-digital-manufacturing-there-lot-hype-around-3d-printing-it-fast (Ziyaret Tarihi: 7 Kasım 2013).

[7] http://www.mmsonline.com/blog/post/hybrid-machine-combines-milling-and-additive-manufacturing (Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2013).

[8] http://www.additivemanufacturinginsight.com/articles/add-on-additive-manufacturing (Ziyaret Tarihi: 25 Şubat 2014).

[9] http://whatsnext.blogs.cnn.com/2013/07/31/study-at-home-3-d-printing-could-save-consumers-thousands/ (Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2013).

[10] Wittbrodt B. T., Glover A. G., Laureto J., Anzalone G. C., Oppliger D., Irwin J. L., Pearce J. M., Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers, *Mechatronics*, DOI:10.1016/j.mechatronics.

[11] http://www.google.com/patents/US4575330 (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[12] http://www.technologyreview.com/featuredstory/426391/layer-by-layer/ (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[13] https://books.google.com/ngrams/graph?content=additive+manufacturing&year_start=1940&year_end=2014&corpus=15&smoothing=3&share=&direct_url=t1%3B%2Cadditive%20manufacturing%3B%2Cc0 (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[14] http://grabcad.com/challenges/ge-jet-engine-bracket-challenge (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[15] http://www.mmsonline.com/blog/post/how-do-you-make-a-howitzer-less-heavy (Ziyaret Tarihi: 9 Haziran 2014).

[16] http://www.tgdaily.com/general-science-brief/64170-shapeways-hits-one-million-3d-printed-creations (Ziyaret Tarihi: 19 Ocak 2014).

[17] http://www.crunchbase.com/organization/shapeways (Ziyaret Tarihi: 19 Ocak 2014).

[18] http://www.cnet.com/news/shapeways-the-etsy-of-3d-printing-raises-30m/ (Ziyaret Tarihi: 19 Ocak 2014).

[19] http://www.ops-uk.com/3d-printers/objet-connex (Ziyaret Tarihi: 7 Şubat 2012).

[20] Pham D. T., Dimov S. S., *Rapid manufacturing*, Springer, London, 2001.

[21] http://www.economist.com/node/10105016 (Ziyaret Tarihi: 22 Kasım 2012).

[22] http://wohlersassociates.com/NovDec05TCT3dp.htm (Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2012).

[23] http://www.3ders.org/articles/20120925-casting-aluminum-parts-directly-from-3d-printed-pla-parts.html (Ziyaret Tarihi: 1 Ekim 2012).

[24] http://www.blueprinter.dk/shs.html (Ziyaret Tarihi: 1 Ocak 2014).

[25] Chua C. K., Leong K. F., Lim C. S., *Rapid prototyping*, 2nd ed.,World Scientific, Singapore, 2003.

[26] Deckard C., *Method and apparatus for producing parts by selective sintering*, U.S. Patent 4,863,538, kayda geçiş: 17 Ekim 1986, yayınlanma: 5 Eylül 1989.

[27] Housholder R., *Molding process*, U.S. Patent 4,247,508, kayda geçiş: 3 Aralık 1979, yayınlanma: 27 Ocak 1981.

[28] http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1274037 (Ziyaret Tarihi: 10 Eylül 2012).

[29] http://www.smu.edu/Lyle/Departments/ME/Research/CLAM/Research/Rapid_Manufacturing (Ziyaret Tarihi: 1 Ocak 2014).

[30] http://www.rapidtoday.com/mcor.html (Ziyaret Tarihi: 1 Ocak 2013).

[31] http://image.eastmanhouse.org/files/GEH_1958_07_05.pdf (Ziyaret Tarihi: 1 Ocak 2013).

[32] http://www.google.com/patents/US43822 (Ziyaret Tarihi: 1 Ocak 2013).

[33] http://www.wtec.org/pdf/rp_vi.pdf (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[34] http://envisiontec.com/products/perfactory-4-standard-with-erm/ (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[35] http://www.eetimes.com/news/semi/showArticle.jhtml?articleID=198701422 (Ziyaret Tarihi: 7 Ocak 2014).

[36] http://amt.tuwien.ac.at/projekte/micro_printer (Ziyaret Tarihi: 19 Eylül 2012).

[37] http://www.kurzweilai.net/3d-printing-multi-material-objects-in-minutes-instead-of-hours-to-minutes (Ziyaret Tarihi: 29 Kasım 2012).

[38] http://www.cfr.org/technology-and-science/3d-printing-challenges-opportunities-international-relations/p31709 (Ziyaret Tarihi: 7 Kasım 2013).

[39] http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=131644649 (Ziyaret Tarihi: 7 Kasım 2013).

[40] http://en.wikipedia.org/wiki/Free_and_open_source_software (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[41] Jones R., Haufe P., Sells E., Iravani P., Olliver V., Palmer C., Bowyer A., Reprap -the replicating rapid prototyper-, *Robotica*, DOI:10.1017/S026357471000069x.

[42] http://www.computerworld.co.nz/article/495672/open_source_3d_printer_copies_itself/ (Ziyaret Tarihi: 7 Kasım 2013).

[43] http://blog.reprap.org/2009/04/first-reprapped-circuit.html (Ziyaret Tarihi: 3 Mart 2014).

[44] http://www.nytimes.com/2013/12/10/science/an-inexpensive-way-to-print-out-metal-parts.html?_r=0 (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[45] Anzalone G. C., Zhang C., Wijnen B., Sanders P. G., Pearce J. M., Low-cost open-source 3-d metal printing, *IEEE Access*, DOI: 10.1109/access.2013.2293018.

[46] http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jsd/article/view/6984 (Ziyaret Tarihi: 7 Şubat 2013).

[47] http://techfortrade.org/our-initiatives/3d4d-challenge/ (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[48] http://bits.blogs.nytimes.com/2013/02/17/disruptions-3-d-printing-is-on-the-fast-track/?nl=todaysheadlines&emc=edit_th_20130218 (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[49] http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters/ (Ziyaret Tarihi: 7 Kasım 2013).

[50] http://www.newscientist.com/article/dn10922-desktop-fabricator-may-kickstart-home-revolution.html (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[51] http://www.cbc.ca/news/canada/saskatchewan/3d-printer-by-sask-man-gets-record-crowdsourced-cash-1.2417416 (Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2013).

[52] http://www.indiegogo.com/projects/rapide-one-affordable-professional-desktop-3d-printer-by-rapide-3d/x/2711116 (Ziyaret Tarihi: 27 Ocak 2014).

[53] https://www.yahoo.com/tech/kickstarter-review-the-3doodler-pen-70978316285.html (Ziyaret Tarihi: 13 Mart 2014).

[54] http://singularityhub.com/2013/02/27/kickstarter-3doodler-3d-printing-pen-nothing-of-the-sort-but-somehow-raises-2-million/ (Ziyaret Tarihi: 13 Mart 2014).

[55] Kreiger M., Pearce J. M., Environmental life cycle analysis of distributed three-dimensional printing and conventional manufacturing of polymer products, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, DOI:10.1021/sc400093k.

[56] Baechler C., DeVuono M., Pearce J. M., Distributed recycling of waste polymer into reprap feedstock, *Rapid Prototyping Journal*, DOI:10.1108/13552541311302978.

[57] Kreiger M., Anzalone G. C., Mulder M. L., Glover A., Pearce J. M., Distributed recycling of post-consumer plastic waste in rural areas, *MRS Online Proceedings Library*, DOI:10.1557/opl.2013.258.

[58] http://www.thingiverse.com/thing:17175 (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[59] http://www.tripodmaker.com/tripodmaker-3d-printing-accuracy/ (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[60] http://www.3dprinterworld.com/article/matterhackers-opens-3d-printing-store-and-releases-mattercontrol-076 (Ziyaret Tarihi: 7 Aralık 2013).

[61] http://www.economist.com/node/18114327?story_id=18114327 (Ziyaret Tarihi: 14 Şubat 2012).

[62] http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing#CITEREFVincentEarls2011 (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[63] Wohlers Terry T., State of the industry annual worldwide progress report on additive manufacturing, *Wohlers Associates*, ISBN 978-0-9754429-5-1, 2009.

[64] Hopkinson N., Dickens P., *Emerging rapid manufacturing processes, in rapid manufacturing; an industrial revolution for the digital age*, Wiley & Sons Ltd, Chichester, W. Sussex, 2005.

[65] http://makie.me/ (Ziyaret Tarihi: 25 Ocak 2013).

[66] http://www.myrobotnation.com/ (Ziyaret Tarihi: 2 Şubat 2014).

[67] http://www.businessweek.com/articles/2012-03-10/turn-your-babys-cry-into-an-iphone-case (Ziyaret Tarihi: 20 Şubat 2013).

[68] http://www.bbc.co.uk/news/technology-21084430 (Ziyaret Tarihi: 20 Şubat 2013).

[69] http://aviationweek.com/space/spacex-unveils-step-change-dragon-v2 (Ziyaret Tarihi: 30 Mayıs 2014).

[70] http://www.space.com/26063-spacex-unveils-dragon-v2-manned-spaceship.html (Ziyaret Tarihi: 30 Mayıs 2014).

[71] http://www.nasaspaceflight.com/2014/05/spacex-lifts-the-lid-dragon-v2-crew-spacecraft/ (Ziyaret Tarihi: 30 Mayıs 2014).

[72] http://www.newspacejournal.com/2014/05/30/spacex-unveils-its-21st-century-spaceship/ (Ziyaret Tarihi: 31 Mayıs 2014).

[73] http://www.instructables.com/id/3D-Printed-Clock-and-Gears/ (Ziyaret Tarihi: 7 Kasım 2013).

[74] http://www.backyard-workshop.com/blog-posts/cnc/170-3d-printed-planetary-gears.html (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[75] http://3d-printer-kit.com/?p=565 (Ziyaret Tarihi: 7 Kasım 2013).

[76] http://mashable.com/2013/07/02/3d-printed-duck-foot (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[77] http://www.wired.com/design/2013/07/3-d-printed-hermit-crab-shells-based-on-city-skylines (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[78] Symes M. D., Kitson P. J., Yan J., Richmond C. J., Cooper G. J. T., Bowman R. W., Vilbrandt T., Cronin L., Integrated 3d-printed reactionware for chemical synthesis and analysis, *Nature Chemistry*, DOI:10.1038/nchem.1313.

[79] http://www.newscientist.com/article/dn21709-make-your-own-drugs-with-a-3d-printer.html?full=true (Ziyaret Tarihi: 17 Nisan 2012).

[80] http://www.bbc.co.uk/news/uk-scotland-17744314 (Ziyaret Tarihi: 6 Mart 2013).

[81] http://www.gizmag.com/openreflex-3d-printed-slr/28208/ (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

[82] http://www.resins-online.com/blog/3d-printed-clothing/ (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

[83] http://sloanreview.mit.edu/article/with-3-d-printing-the-shoe-really-fits/ (Ziyaret Tarihi: 7 Kasım 2013).

[84] http://www.forbes.com/sites/rakeshsharma/2013/09/10/custom-eyewear-the-next-focal-point-for-3d-printing/ (Ziyaret Tarihi: 15 Ekim 2013).

[85] http://www.bbc.com/news/technology-18677627 (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[86] http://lifescientist.com.au/content/biotechnology/news/invetech-helps-bring-bio-printers-to-life-413047968 (Ziyaret Tarihi: 31 Aralık 2013).

[87] http://www.theengineer.co.uk/in-depth/analysis/building-body-parts-with-3d-printing/1002542.article (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[88] http://abcnews.go.com/Technology/story?id=1603783&page=1 (Ziyaret Tarihi: 7 Şubat 2013).

[89] http://www.organovo.com/3d-human-tissues (Ziyaret Tarihi: 3 Nisan 2014).

[90] http://www.npr.org/blogs/health/2014/03/17/289042381/doctors-use-3-d-printing-to-help-a-baby-breathe (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[91] http://www.fiercemedicaldevices.com/story/surgeons-have-implanted-3-d-printed-pelvis-uk-cancer-patient/2014-02-11 (Ziyaret Tarihi: 4 Mart 2014).

[92] http://www.telegraph.co.uk/health/10691753/Man-makes-surgical-history-after-having-his-shattered-face-rebuilt-using-3D-printed-parts.html/2014-03-12 (Ziyaret Tarihi: 12 Mart 2014).

[93] http://uk.reuters.article.archive.joblink-inc.org/oldfiles/2011/06/spime-watch-dassault-systemes (Ziyaret Tarihi: 7 Şubat 2012).

[94] http://www.nytimes.com/2011/01/13/technology/personaltech/13basics.html?_r=1 (Ziyaret Tarihi: 11 Şubat 2014).

[95] http://www.eso.org/public/images/ann14011a/ (Ziyaret Tarihi: 11 Şubat 2014).

[96] Pearce J. M., Building research equipment with free, open-source hardware, *Science*, DOI:10.1126/science.1228183.

[97] Zhang C., Anzalone N. C., Faria R. P., Pearce J. M., Open-source 3d-printable optics equipment, *In De Brevern*, DOI:10.1371/journal.pone.0059840.

[98] http://techcrunch.com/2013/01/20/the-worlds-first-3d-printed-building-will-arrive-in-2014-and-it-looks-awesome/ (Ziyaret Tarihi: 8 Şubat 2013).

[99] http://techflesh1.rssing.com/browser.php?indx=21857075&item=95 (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2014).

[100] http://phys.org/news190873132.html (Ziyaret Tarihi: 21 Ekim 2013).

[101] http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576513002889 (Ziyaret Tarihi: 4 Kasım 2013).

[102] http://www.designbuild-network.com/features/featureprinting-houses-how-3-d-printers-are-transforming-construction-4143744/ (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[103] Séquin C. H., Rapid prototyping, *Communications of the ACM*, DOI:10.1145/1064830.1064860.

[104] http://www.zcorp.com/documents/194_2007-1212-Wall%20Street%20Journal-3DP%20Turns%20Web%20World%20Real.pdf (Ziyaret Tarihi: 31 Ocak 2012).

[105] http://www.time.com/time/specials/2007/article/0,28804,1727737_1727680_1727556,00.html (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

[106] http://www.independent.co.uk/arts-entertainment/art/features/object-lesson-how-the-world-of-decorative-art-is-being-revolutionised-by-3d-printing-2342500.html (Ziyaret Tarihi: 31 Ocak 2012).

[107] http://creativemachines.cornell.edu/sites/default/files/SFF09_Cohen1_0.pdf (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[108] http://www.ted.com/talks/lee_cronin_print_your_own_medicine.html (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[109] http://www.businessweek.com/articles/2014-01-28/all-the-food-thats-fit-to-3d-print-from-chocolates-to-pizza (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[110] Cignoni P., Scopigno R., Sampled 3D models for CH applications, *Journal on Computing and Cultural Heritage*, DOI:10.1145/1367080.1367082.

[111] http://gizmodo.com/5980534/this-is-what-the-first-lunar-base-could-really-look-like (Ziyaret Tarihi: 1 Şubat 2013).

[112] http://www.spacesafetymagazine.com/sinterhab-3d-printed-moon-base-concept-lunar-dust/ (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[113] Pandey S., Gupta B., Nahata A., Complex geometry plasmonic terahertz waveguides created via 3d printing, *Cleo*, DOI:10.1364/cleo_si.2013.cth1k.2.

[114] http://www.cfr.org/technology-and-science/3d-printing-challenges-opportunities-international-relations/p31709 (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

[115] http://thediplomat.com/tech-biz/2013/08/15/chinese-scientists-are-3d-printing-ears-and-livers-with-living-tissue/ (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

[116] http://www.3ders.org/articles/20130815-how-do-they-3d-print-kidney-in-china.html (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

[117] http://globaleconomicanalysis.blogspot.co.uk/2013/08/3d-printing-spare-human-parts-ears-and.html (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

[118] http://blogs.ptc.com/2013/08/01/underwater-city-3d-printed-reef-restores-bahrains-marine-life/ (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

[119] http://www.techadvisor.co.uk/features/printing/how-3d-printing-is-helping-doctors-mend-you-better/ (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[120] http://news.yahoo.com/3d-printed-components-flown-british-fighter-jet-034848681.html (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[121] https://www.youtube.com/watch?v=_KBxG1_WO8k (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[122] http://on3dprinting.com/2013/02/20/3d-printing-in-the-classroom-to-accelerate-adoption-of-technology/ (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[123] Kostakis V., Niaros V., Giotitsas C., Open source 3d printing as a means of learning: an educational experiment in two high schools in Greece, *Telematics and Informatics*, DOI: 10.1016/j.tele.2014.05.001.

[124] http://www.patentinsightpro.com/techreports/0214/Tech%20Insight%20Report%20-%203D%20Printing.pdf (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[125] http://www.wired.com/design/2012/05/3-d-printing-patent-law/ (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[126] http://www.publicknowledge.org/files/What%27s%20the%20Deal%20with%20Copyright_%20Final%20version2.pdf (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

[127] http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing#CITEREFAlbert2011 (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[128] http://www.academia.edu/4071685/Confronting_a_new_Era_of_Duplication_3D_Printing_Replicating_Technology_and_the_Search_for_Authenticity_in_George_O._Smiths_Venus_Equilateral_Series (Ziyaret Tarihi: 21 Temmuz 2013).

[129] http://journals.uic.edu/ojs/index.php/fm/article/view/3968 (Ziyaret Tarihi: 13 Ocak 2014).

[130] http://www.econolyst.co.uk/resources/documents/files/Paper%20-%20Oct%202008-%20AM%20a%20supply%20chain%20wide%20response.pdf (Ziyaret Tarihi: 11 Ocak 2014).

[131] http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/3968/3273 (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[132] http://reprap.org/wiki/RepRap_Options (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[133] http://www.reddit.com/r/3Dprinting/ (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[134] http://www.thingiverse.com/ (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[135] Kostakis V., At the turning point of the current techno-economic paradigm: commons-based peer production, desktop manufacturing and the role of civil society in the perezian framework, *TripleC*, 2013, **11**, 173-190.

[136] Kostakis V., Papachristou M., Commons-based peer production and digital fabrication: the case of a reprap-based, lego-built 3d printing-milling machine, *Telematics and Informatics*, DOI: 10.1016/j.tele.2013.09.006.

[137] Kostakis V., Fountouklis M., Drechsler W., Peer production and desktop manufacturing: the case of the helix-t wind turbine project, *Science, Technology & Human Values*, 2013, **38**, 773-800.

[138] http://www.atlanticcouncil.org/publications/reports/could-3d-printing-change-the-world (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[139] Bradshaw S., Bowyer A., Haufe P., The intellectual property implications of low-cost 3d printing, *SCRIPTed*, DOI: 10.2966/scrip.070110.5.

[140] Gershenfeld N., *FAB: the coming revolution on your desktop: from personal computers to personal fabrication*, Cambridge,New York, 2007.

[141] http://www.democracyjournal.org/33/the-inequality-puzzle.php? (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[142] http://www.project-syndicate.org/commentary/michael-spence-describes-an-era-in-which-developing-countries-can-no-longer-rely-on-vast-numbers-of-cheap-workers (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[143] http://www.popsci.com/technology/article/2013-06/nasa-contracts-company-bring-3-d-printers-space (Ziyaret Tarihi: 22 Temmuz 2013).

[144] http://news.yahoo.com/3d-printed-rocket-parts-excel-nasa-tests-155412871.html (Ziyaret Tarihi: 27 Temmuz 2013).

[145] http://www.cfr.org/technology-and-science/3d-printing-challenges-opportunities-international-relations/p31709 (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

[146] http://www.forbes.com/sites/andygreenberg/2012/08/23/wiki-weapon-project-aims-to-create-a-gun-anyone-can-3d-print-at-home/ (Ziyaret Tarihi: 30 Ağustos 2012).

[147] http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2408899,00.asp (Ziyaret Tarihi: 30 Ağustos 2012).

[148] http://www.infowars.com/3d-printed-lower-receiver-withstands-more-than-650-rounds-gun-grabbers-panic/ (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

[149] http://www.statesman.com/news/news/blueprints-for-3-d-printer-gun-pulled-off-website/nXnbG/ (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

[150] http://www.guns.com/2013/05/23/3d-printers-meet-othermill-a-cnc-machine-for-your-home-office/ (Ziyaret Tarihi: 10 Kasım 2013).

[151] http://www.popehat.com/2011/10/06/the-third-wave-cnc-stereolithography-and-the-end-of-gun-control/ (Ziyaret Tarihi: 10 Kasım 2013).

[152] http://www.washingtonpost.com/local/weapons-made-with-3-d-printers-could-test-gun-control-efforts/2013/02/18/9ad8b45e-779b-11e2-95e4-6148e45d7adb_story.html?hpid=z1 (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[153] http://www.economist.com/news/united-states/21571910-regulatory-and-legal-challenges-posed-3d-printing-gun-parts-ready-print-fire (Ziyaret Tarihi: 10 Kasım 2013).

[154] http://www.guardian.co.uk/world/shortcuts/2013/may/06/3d-printable-guns-cody-wilson (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[155] http://www.slate.com/articles/technology/technology/2013/05/_3_d_printed_gun_yes_it_will_be_possible_to_make_weapons_with_3_d_printers.single.html (Ziyaret Tarihi: 10 Kasım 2013).

[156] http://www.foxnews.com/us/2013/05/23/govt-memo-warns-3d-printed-guns-may-be-impossible-to-stop/ (Ziyaret Tarihi: 10 Kasım 2013).

[157] http://www.techrepublic.com/blog/european-technology/peter-cochranes-blog-beyond-3d-printed-guns/1728 (Ziyaret Tarihi: 10 Kasım 2013).

[158] http://metro.co.uk/2013/05/06/gun-factory-fears-as-3d-blueprints-available-online-3714514/ (Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2013).

[159] http://digitaljournal.com/article/349588 (Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2013).

[160] http://www.ibtimes.co.uk/articles/465236/20130507/3d-printed-gun-test-fire-defense-distributed.htm (Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2013).

[161] http://www.neurope.eu/article/us-demands-removal-3d-printed-gun-blueprints (Ziyaret Tarihi: 16 Kasım 2013).

[162] http://economia.elpais.com/economia/2013/05/09/agencias/1368130430_552019.html (Ziyaret Tarihi: 16 Kasım 2013).

[163] http://quietbabylon.com/2013/controlled-by-guns/ (Ziyaret Tarihi: 16 Kasım 2013).

[164] http://www.joncamfield.com/tags/3dprinting (Ziyaret Tarihi: 17 Kasım 2013).

[165] http://news.antiwar.com/2013/05/10/state-dept-censors-3d-gun-plans-citing-national-security/ (Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2013).

[166] http://reason.com/blog/2013/05/08/wishful-thinking-is-control-freaks-last (Ziyaret Tarihi: 21 Aralık 2013).

[167] http://www.salon.com/2013/05/10/the_pirate_bay_steps_in_to_distribute_3d_gun_designs/ (Ziyaret Tarihi: 22 Aralık 2013).

[168] http://sacramento.cbslocal.com/2013/05/08/sen-leland-yee-proposes-regulations-on-3-d-printers-after-gun-test/ (Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2013).

[169] http://newyork.cbslocal.com/2013/05/05/schumer-announces-support-for-measure-to-make-3d-printed-guns-illegal/ (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[170] http://makezine.com/27/doctorow/ (Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2013).

[171] http://www.guardian.co.uk/commentisfree/2013/may/10/3d-printing-gun-blueprint-state-department-ban (Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2014).

[172] http://techcrunch.com/2013/01/18/like-it-or-not-i-think-3d-printing-is-about-to-get-legislated/ (Ziyaret Tarihi: 1 Ocak 2014).

[173] http://www.businessinsider.com/koenigsegg-one1-comes-with-3d-printed-parts-2014-2 (Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2014).

[174] http://3dprint.gnexlab.com/ (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[175] Küçükgül C. & Ö., Burçe S. & K., Ezgi H. & G., Koç D & B., 3d hybrid bioprinting of macrovascular structures, *3rd ECCOMAS Thematic Conference on Tissue Engineering*, DOI: 10.1016/proeng.2013.05.109.

[176] http://gazetesu.sabanciuniv.edu/tr/2014-02/vucudun-yapay-organi-reddetmesi-tarih-oluyor-0 (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[177] http://gazetesu.sabanciuniv.edu/tr/2014-02/vucudun-yapay-organi-reddetmesi-tarih-oluyor-0 (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[178] http://gazetesu.sabanciuniv.edu/tr/2014-02/vucudun-yapay-organi-reddetmesi-tarih-oluyor-0 (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[179] http://gazetesu.sabanciuniv.edu/tr/2014-02/vucudun-yapay-organi-reddetmesi-tarih-oluyor-0 (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[180] http://atolyeistanbul.co/#atolyetr (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[181] Xu T., Binder K. W., Albanna M. Z., Dice D., Zhao W., Yoo J. J., Atala A., Hybrid printing of mechanically and biologically improved constructs for cartilage tissue engineering applications, *Biofabrication*, DOI: 10.1088/1758-5082/5/1/015001.

[182] Xu T., Zhao W., Zhu J. M., Albanna M. Z., Yoo J. J., Atala A., Complex heterogeneous tissue constructs containing multiple cell types prepared by inkjet printing technology, *Biomaterials*, DOI: 10.1016/j.biomaterials.2012.09.035.

[183] http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2013/06/article_0004.html (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[184] http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2013/06/article_0004.html (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[185] http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2013/06/article_0004.html (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[186] Murphy S. V., Skardal A., Atala A., Evaluation of hydrogels for bio-printing applications, *J Biomed Mater Res A*, DOI: 10.1002/jbm.a.34326.

[187] Skardal A., Mack D., Kapetanovic E., Atala A., Jackson J. D., Yoo J., Soker S., Bioprinted amniotic fluid-derived stem cells accelerate healing of large skin wounds, *Stem Cells Transl Med*, DOI: 10.5966/sctm.2012-0088.

[188] http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2013/06/article_0004.html (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[189] http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2013/06/article_0004.html (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[190] http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2013/06/article_0004.html (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[191] http://www.upenn.edu/spotlights/rep-rap-3d-printing-blood-vessel-networks (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[192] http://www.upenn.edu/spotlights/rep-rap-3d-printing-blood-vessel-networks (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[193] http://www.upenn.edu/spotlights/rep-rap-3d-printing-blood-vessel-networks (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[194] http://thediplomat.com/2013/08/chinese-scientists-are-3d-printing-ears-and-livers-with-living-tissue/ (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[195] http://thediplomat.com/2013/08/chinese-scientists-are-3d-printing-ears-and-livers-with-living-tissue/ (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[196] http://thediplomat.com/2013/08/chinese-scientists-are-3d-printing-ears-and-livers-with-living-tissue/ (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[197] http://thediplomat.com/2013/08/chinese-scientists-are-3d-printing-ears-and-livers-with-living-tissue/ (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[198] http://thediplomat.com/2013/08/chinese-scientists-are-3d-printing-ears-and-livers-with-living-tissue/ (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[199] http://www.dailymail.co.uk/health/article-2555522/Doctor-creates-new-pelvis-using-3D-printer-Bone-cancer-sufferer-walking-thanks-breakthrough-treatment.html (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

[200] http://www.dailymail.co.uk/health/article-2555522/Doctor-creates-new-pelvis-using-3D-printer-Bone-cancer-sufferer-walking-thanks-breakthrough-treatment.html (Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2014).

EKLER

EK-A

Configuration.h

```
/*
   This file is part of Repetier-Firmware.
   Repetier-Firmware 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.
   Repetier-Firmware 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 Repetier-Firmware.  If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
*/
#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H
/****************** READ FIRST ************************
  This configuration file was created with the configuration tool. For that
  reason, it does not contain the same informations as the original Configuration.h file.
  It misses the comments and unused parts. Open this file file in the config tool
  to see and change the data. You can also upload it to newer/older versions. The system
will silently add new options, so compilation continues to work.
```

```
   This file is optimized for version 0.91

   generator: http://www.repetier.com/firmware/v091/

   If you are in doubt which named functions use which pins on your board, please check the

   pins.h for the used name->pin assignments and your board documentation to verify it is

   as you expect.

*/

#define NUM_EXTRUDER 1

#define MOTHERBOARD 701

#include "pins.h"

// ################## EDIT THESE SETTINGS MANUALLY ################

// ################ END MANUAL SETTINGS ##########################

#define FAN_BOARD_PIN ORIG_FAN_PIN

//#define EXTERNALSERIAL  use Arduino serial library instead of build in. Requires more ram, has only 63 byte input buffer.

// Uncomment the following line if you are using arduino compatible firmware made for Arduino version earlier then 1.0

// If it is incompatible you will get compiler errors about write functions not beeing compatible!

//#define COMPAT_PRE1

#define DRIVE_SYSTEM 0

#define XAXIS_STEPS_PER_MM 160

#define YAXIS_STEPS_PER_MM 160

#define ZAXIS_STEPS_PER_MM 160

#define EXTRUDER_FAN_COOL_TEMP 50

#define EXT0_X_OFFSET 0

#define EXT0_Y_OFFSET 0
```

```
#define EXT0_STEPS_PER_MM 675
#define EXT0_TEMPSENSOR_TYPE 100
#define EXT0_TEMPSENSOR_PIN 8
#define EXT0_HEATER_PIN HEATER_0_PIN
#define EXT0_STEP_PIN ORIG_E0_STEP_PIN
#define EXT0_DIR_PIN ORIG_E0_DIR_PIN
#define EXT0_INVERSE 0
#define EXT0_ENABLE_PIN E0_ENABLE_PIN
#define EXT0_ENABLE_ON 0
#define EXT0_MAX_FEEDRATE 50
#define EXT0_MAX_START_FEEDRATE 20
#define EXT0_MAX_ACCELERATION 5000
#define EXT0_HEAT_MANAGER 3
#define EXT0_WATCHPERIOD 1
#define EXT0_PID_INTEGRAL_DRIVE_MAX 150
#define EXT0_PID_INTEGRAL_DRIVE_MIN 40
#define EXT0_PID_P 7
#define EXT0_PID_I 2
#define EXT0_PID_D 40
#define EXT0_PID_MAX 255
#define EXT0_ADVANCE_K 0
#define EXT0_ADVANCE_L 0
#define EXT0_ADVANCE_BACKLASH_STEPS 0
#define EXT0_WAIT_RETRACT_TEMP 150
#define EXT0_WAIT_RETRACT_UNITS 0
#define EXT0_SELECT_COMMANDS ""
#define EXT0_DESELECT_COMMANDS ""
```

```
#define EXT0_EXTRUDER_COOLER_PIN ORIG_FAN2_PIN
#define EXT0_EXTRUDER_COOLER_SPEED 255
#define RETRACT_DURING_HEATUP true
#define PID_CONTROL_RANGE 20
#define SKIP_M109_IF_WITHIN 2
#define SCALE_PID_TO_MAX 0
#define TEMP_HYSTERESIS 0
#define EXTRUDE_MAXLENGTH 160
#define NUM_TEMPS_USERTHERMISTOR0 0
#define USER_THERMISTORTABLE0 {}
#define NUM_TEMPS_USERTHERMISTOR1 0
#define USER_THERMISTORTABLE1 {}
#define NUM_TEMPS_USERTHERMISTOR2 0
#define USER_THERMISTORTABLE2 {}
#define GENERIC_THERM_VREF 5
#define GENERIC_THERM_NUM_ENTRIES 33
#define HEATER_PWM_SPEED 0
// ############# Heated bed configuration ########################
#define HAVE_HEATED_BED 1
#define HEATED_BED_MAX_TEMP 50
#define SKIP_M190_IF_WITHIN 3
#define HEATED_BED_SENSOR_TYPE 100
#define HEATED_BED_SENSOR_PIN 4
#define HEATED_BED_HEATER_PIN HEATER_2_PIN
#define HEATED_BED_SET_INTERVAL 5000
#define HEATED_BED_HEAT_MANAGER 0
#define HEATED_BED_PID_INTEGRAL_DRIVE_MAX 255
```

```
#define HEATED_BED_PID_INTEGRAL_DRIVE_MIN 80
#define HEATED_BED_PID_PGAIN   196
#define HEATED_BED_PID_IGAIN   33
#define HEATED_BED_PID_DGAIN 290
#define HEATED_BED_PID_MAX 255
#define MIN_EXTRUDER_TEMP 100
#define MAXTEMP 275
#define MIN_DEFECT_TEMPERATURE -10
#define MAX_DEFECT_TEMPERATURE 290
// ################ Endstop configuration ####################
#define ENDSTOP_PULLUP_X_MIN true
#define ENDSTOP_X_MIN_INVERTING true
#define MIN_HARDWARE_ENDSTOP_X true
#define ENDSTOP_PULLUP_Y_MIN true
#define ENDSTOP_Y_MIN_INVERTING true
#define MIN_HARDWARE_ENDSTOP_Y true
#define ENDSTOP_PULLUP_Z_MIN true
#define ENDSTOP_Z_MIN_INVERTING true
#define MIN_HARDWARE_ENDSTOP_Z true
#define ENDSTOP_PULLUP_X_MAX true
#define ENDSTOP_X_MAX_INVERTING false
#define MAX_HARDWARE_ENDSTOP_X false
#define ENDSTOP_PULLUP_Y_MAX true
#define ENDSTOP_Y_MAX_INVERTING false
#define MAX_HARDWARE_ENDSTOP_Y false
#define ENDSTOP_PULLUP_Z_MAX true
#define ENDSTOP_Z_MAX_INVERTING false
```

```
#define MAX_HARDWARE_ENDSTOP_Z false
#define max_software_endstop_r true
#define min_software_endstop_x false
#define min_software_endstop_y false
#define min_software_endstop_z false
#define max_software_endstop_x true
#define max_software_endstop_y true
#define max_software_endstop_z true
#define ENDSTOP_X_BACK_MOVE 5
#define ENDSTOP_Y_BACK_MOVE 5
#define ENDSTOP_Z_BACK_MOVE 2
#define ENDSTOP_X_RETEST_REDUCTION_FACTOR 3
#define ENDSTOP_Y_RETEST_REDUCTION_FACTOR 3
#define ENDSTOP_Z_RETEST_REDUCTION_FACTOR 3
#define ENDSTOP_X_BACK_ON_HOME 1
#define ENDSTOP_Y_BACK_ON_HOME 1
#define ENDSTOP_Z_BACK_ON_HOME 0
#define ALWAYS_CHECK_ENDSTOPS 1
// ################# XYZ movements ###################
#define X_ENABLE_ON 0
#define Y_ENABLE_ON 0
#define Z_ENABLE_ON 0
#define DISABLE_X 0
#define DISABLE_Y 0
#define DISABLE_Z 0
#define DISABLE_E 0
#define INVERT_X_DIR 0
```

```
#define INVERT_Y_DIR 0

#define INVERT_Z_DIR 0

#define X_HOME_DIR -1

#define Y_HOME_DIR -1

#define Z_HOME_DIR -1

#define X_MAX_LENGTH 150

#define Y_MAX_LENGTH 150

#define Z_MAX_LENGTH 150

#define X_MIN_POS 0

#define Y_MIN_POS 0

#define Z_MIN_POS 0

//
###########################################################################

// ##                    Movement settings                              ##

//
###########################################################################

#define FEATURE_BABYSTEPPING 1

#define BABYSTEP_MULTIPLICATOR 1

#define DELTA_SEGMENTS_PER_SECOND_PRINT 180 // Move accurate setting
for print moves

#define DELTA_SEGMENTS_PER_SECOND_MOVE 70 // Less accurate setting
for other moves

// Delta settings

#define DELTA_HOME_ON_POWER 0

#define MAX_DELTA_SEGMENTS_PER_LINE 24

#define STEPPER_INACTIVE_TIME 360L

#define MAX_INACTIVE_TIME 0L

#define MAX_FEEDRATE_X 200
```

```
#define MAX_FEEDRATE_Y 200
#define MAX_FEEDRATE_Z 2
#define HOMING_FEEDRATE_X 40
#define HOMING_FEEDRATE_Y 40
#define HOMING_FEEDRATE_Z 2
#define HOMING_ORDER HOME_ORDER_XYZ
#define ENABLE_BACKLASH_COMPENSATION 0
#define X_BACKLASH 0
#define Y_BACKLASH 0
#define Z_BACKLASH 0
#define RAMP_ACCELERATION 1
#define STEPPER_HIGH_DELAY 0
#define STEP_DOUBLER_FREQUENCY 12000
#define ALLOW_QUADSTEPPING 1
#define DOUBLE_STEP_DELAY 1 // time in microseconds
#define MAX_HALFSTEP_INTERVAL 1999
#define MAX_ACCELERATION_UNITS_PER_SQ_SECOND_X 1000
#define MAX_ACCELERATION_UNITS_PER_SQ_SECOND_Y 1000
#define MAX_ACCELERATION_UNITS_PER_SQ_SECOND_Z 100
#define MAX_TRAVEL_ACCELERATION_UNITS_PER_SQ_SECOND_X 1000
#define MAX_TRAVEL_ACCELERATION_UNITS_PER_SQ_SECOND_Y 1000
#define MAX_TRAVEL_ACCELERATION_UNITS_PER_SQ_SECOND_Z 100
#define MAX_JERK 20
#define MAX_ZJERK 0.3
#define MOVE_CACHE_SIZE 16
#define MOVE_CACHE_LOW 10
#define LOW_TICKS_PER_MOVE 250000
```

```
#define FEATURE_TWO_XSTEPPER 0
#define X2_STEP_PIN   ORIG_E1_STEP_PIN
#define X2_DIR_PIN    ORIG_E1_DIR_PIN
#define X2_ENABLE_PIN ORIG_E1_ENABLE_PIN
#define FEATURE_TWO_YSTEPPER 0
#define Y2_STEP_PIN   ORIG_E1_STEP_PIN
#define Y2_DIR_PIN    ORIG_E1_DIR_PIN
#define Y2_ENABLE_PIN ORIG_E1_ENABLE_PIN
#define FEATURE_TWO_ZSTEPPER 0
#define Z2_STEP_PIN   ORIG_E1_STEP_PIN
#define Z2_DIR_PIN    ORIG_E1_DIR_PIN
#define Z2_ENABLE_PIN ORIG_E1_ENABLE_PIN
#define FEATURE_DITTO_PRINTING 0
// ################## Misc. settings ###################
#define BAUDRATE 115200
#define ENABLE_POWER_ON_STARTUP
#define POWER_INVERTING 0
#define KILL_METHOD 1
#define GCODE_BUFFER_SIZE 2
#define ACK_WITH_LINENUMBER
#define WAITING_IDENTIFIER "wait"
#define ECHO_ON_EXECUTE
#define EEPROM_MODE 1
/* ======== Servos =======
Control the servos with
M340 P<servoId> S<pulseInUS>   / ServoID = 0..3  pulseInUs = 500..2500
```

Servos are controlled by a pulse width normally between 500 and 2500 with 1500ms in center position. 0 turns servo off.

WARNING: Servos can draw a considerable amount of current. Make sure your system can handle this or you may risk your hardware!

*/

```
#define FEATURE_SERVO 0

#define SERVO0_PIN 11

#define SERVO1_PIN -1

#define SERVO2_PIN -1

#define SERVO3_PIN -1

#define FEATURE_WATCHDOG 0

// ##################### Z-Probing #####################

#define FEATURE_Z_PROBE 0

#define Z_PROBE_BED_DISTANCE 10

#define Z_PROBE_PIN -1

#define Z_PROBE_PULLUP 0

#define Z_PROBE_ON_HIGH 0

#define Z_PROBE_X_OFFSET 0

#define Z_PROBE_Y_OFFSET 0

#define Z_PROBE_WAIT_BEFORE_TEST 0

#define Z_PROBE_SPEED 2

#define Z_PROBE_XY_SPEED 150

#define Z_PROBE_SWITCHING_DISTANCE 1

#define Z_PROBE_REPETITIONS 1

#define Z_PROBE_HEIGHT 40

#define Z_PROBE_START_SCRIPT ""

#define Z_PROBE_FINISHED_SCRIPT ""
```

#define FEATURE_AUTOLEVEL 1

#define Z_PROBE_X1 20

#define Z_PROBE_Y1 20

#define Z_PROBE_X2 160

#define Z_PROBE_Y2 20

#define Z_PROBE_X3 100

#define Z_PROBE_Y3 160

#ifndef SDSUPPORT // Some boards have sd support on board. These define the values already in pins.h

#define SDSUPPORT 0

#define SDCARDDETECT -1

#define SDCARDDETECTINVERTED 0

#endif

#define SD_EXTENDED_DIR 1 /** Show extended directory including file length. Don't use this with Pronterface! */

#define ARC_SUPPORT 1

#define FEATURE_MEMORY_POSITION 1

#define FEATURE_CHECKSUM_FORCED 0

#define FEATURE_FAN_CONTROL 1

#define FEATURE_CONTROLLER 0

#define UI_LANGUAGE 0

#define UI_PRINTER_NAME "RepRap"

#define UI_PRINTER_COMPANY "Home made"

#define UI_PAGES_DURATION 4000

#define UI_ANIMATION 1

#define UI_SPEEDDEPENDENT_POSITIONING 0

#define UI_DISABLE_AUTO_PAGESWITCH 1

```
#define UI_AUTORETURN_TO_MENU_AFTER 30000
#define FEATURE_UI_KEYS 0
#define UI_ENCODER_SPEED 1
#define UI_KEY_BOUNCETIME 10
#define UI_KEY_FIRST_REPEAT 500
#define UI_KEY_REDUCE_REPEAT 50
#define UI_KEY_MIN_REPEAT 50
#define FEATURE_BEEPER 0
#define CASE_LIGHTS_PIN -1
#define CASE_LIGHT_DEFAULT_ON 1
#define UI_START_SCREEN_DELAY 1000
/**
Beeper sound definitions for short beeps during key actions
and longer beeps for important actions.
Parameter is delay in microseconds and the secons is the number of repetitions.
Values must be in range 1..255
*/
#define BEEPER_SHORT_SEQUENCE 2,2
#define BEEPER_LONG_SEQUENCE 8,8
#define UI_SET_PRESET_HEATED_BED_TEMP_PLA 60
#define UI_SET_PRESET_EXTRUDER_TEMP_PLA   190
#define UI_SET_PRESET_HEATED_BED_TEMP_ABS 110
#define UI_SET_PRESET_EXTRUDER_TEMP_ABS   240
#define UI_SET_MIN_HEATED_BED_TEMP  30
#define UI_SET_MAX_HEATED_BED_TEMP 120
#define UI_SET_MIN_EXTRUDER_TEMP   170
#define UI_SET_MAX_EXTRUDER_TEMP   260
```

#define UI_SET_EXTRUDER_FEEDRATE 2

#define UI_SET_EXTRUDER_RETRACT_DISTANCE 3

#endif

/* Below you will find the configuration string, that created this Configuration.h

========== Start configuration string ==========


```
{
   "editMode": 2,
   "processor": 0,
   "baudrate": 115200,
   "xStepsPerMM": 160,
   "yStepsPerMM": 160,
   "zStepsPerMM": 160,
   "xInvert": 0,
   "xInvertEnable": 0,
   "eepromMode": 1,
   "yInvert": 0,
   "yInvertEnable": 0,
   "zInvert": 0,
   "zInvertEnable": 0,
   "extruder": [
      {
         "id": 0,
         "heatManager": 3,
         "pidDriveMin": 40,
         "pidDriveMax": 150,
         "pidMax": 255,
         "sensorType": 100,
```

"sensorPin": "8",

"heaterPin": "HEATER_0_PIN",

"maxFeedrate": 50,

"startFeedrate": 20,

"invert": "0",

"invertEnable": "0",

"acceleration": 5000,

"watchPeriod": 1,

"pidP": 7,

"pidI": 2,

"pidD": 40,

"advanceK": 0,

"advanceL": 0,

"waitRetractTemp": 150,

"waitRetractUnits": 0,

"waitRetract": 0,

"stepsPerMM": 675,

"coolerPin": "ORIG_FAN2_PIN",

"coolerSpeed": 255,

"selectCommands": "",

"deselectCommands": "",

"xOffset": 0,

"yOffset": 0,

"xOffsetSteps": 0,

"yOffsetSteps": 0,

"stepper": {

"name": "Extruder 0",

```
            "step": "ORIG_E0_STEP_PIN",
            "dir": "ORIG_E0_DIR_PIN",
            "enable": "E0_ENABLE_PIN"
        },
        "advanceBacklashSteps": 0
    }
],
"uiLanguage": 0,
"uiController": 0,
"xMinEndstop": 1,
"yMinEndstop": 1,
"zMinEndstop": 1,
"xMaxEndstop": 0,
"yMaxEndstop": 0,
"zMaxEndstop": 0,
"motherboard": 701,
"driveSystem": 0,
"xMaxSpeed": 200,
"xHomingSpeed": 40,
"xTravelAcceleration": 1000,
"xPrintAcceleration": 1000,
"yMaxSpeed": 200,
"yHomingSpeed": 40,
"yTravelAcceleration": 1000,
"yPrintAcceleration": 1000,
"zMaxSpeed": 2,
"zHomingSpeed": 2,
```

```
"zTravelAcceleration": 100,
"zPrintAcceleration": 100,
"xMotor": {
    "name": "X motor",
    "step": "ORIG_X_STEP_PIN",
    "dir": "ORIG_X_DIR_PIN",
    "enable": "ORIG_X_ENABLE_PIN"
},
"yMotor": {
    "name": "Y motor",
    "step": "ORIG_Y_STEP_PIN",
    "dir": "ORIG_Y_DIR_PIN",
    "enable": "ORIG_Y_ENABLE_PIN"
},
"zMotor": {
    "name": "Z motor",
    "step": "ORIG_Z_STEP_PIN",
    "dir": "ORIG_Z_DIR_PIN",
    "enable": "ORIG_Z_ENABLE_PIN"
},
"enableBacklash": "0",
"backlashX": 0,
"backlashY": 0,
"backlashZ": 0,
"stepperInactiveTime": 360,
"maxInactiveTime": 0,
"xMinPos": 0,
```

"yMinPos": 0,

"zMinPos": 0,

"xLength": 150,

"yLength": 150,

"zLength": 150,

"alwaysCheckEndstops": "1",

"disableX": "0",

"disableY": "0",

"disableZ": "0",

"disableE": "0",

"xHomeDir": "-1",

"yHomeDir": "-1",

"zHomeDir": "-1",

"xEndstopBack": 1,

"yEndstopBack": 1,

"zEndstopBack": 0,

"deltaSegmentsPerSecondPrint": 180,

"deltaSegmentsPerSecondTravel": 70,

"deltaDiagonalRod": 445,

"deltaHorizontalRadius": 209.25,

"deltaAlphaA": 210,

"deltaAlphaB": 330,

"deltaAlphaC": 90,

"deltaDiagonalCorrA": 0,

"deltaDiagonalCorrB": 0,

"deltaDiagonalCorrC": 0,

"deltaMaxRadius": 150,

"deltaRadiusCorrA": 0,

"deltaRadiusCorrB": 0,

"deltaRadiusCorrC": 0,

"deltaXOffsetSteps": 0,

"deltaYOffsetSteps": 0,

"deltaZOffsetSteps": 0,

"deltaSegmentsPerLine": 24,

"stepperHighDelay": 0,

"stepDoublerFrequency": 12000,

"allowQuadstepping": "1",

"doubleStepDelay": 1,

"maxHalfstepInterval": 1999,

"maxJerk": 20,

"maxZJerk": 0.3,

"moveCacheSize": 16,

"moveCacheLow": 10,

"lowTicksPerMove": 250000,

"enablePowerOnStartup": "1",

"echoOnExecute": "1",

"sendWaits": "1",

"ackWithLineNumber": "1",

"killMethod": 1,

"useAdvance": "0",

"useQuadraticAdvance": "0",

"powerInverting": 0,

"mirrorX": 0,

"mirrorXMotor": {

```
    "name": "Extruder 1",
    "step": "ORIG_E1_STEP_PIN",
    "dir": "ORIG_E1_DIR_PIN",
    "enable": "ORIG_E1_ENABLE_PIN"
},
"mirrorY": 0,
"mirrorYMotor": {
    "name": "Extruder 1",
    "step": "ORIG_E1_STEP_PIN",
    "dir": "ORIG_E1_DIR_PIN",
    "enable": "ORIG_E1_ENABLE_PIN"
},
"mirrorZ": 0,
"mirrorZMotor": {
    "name": "Extruder 1",
    "step": "ORIG_E1_STEP_PIN",
    "dir": "ORIG_E1_DIR_PIN",
    "enable": "ORIG_E1_ENABLE_PIN"
},
"dittoPrinting": "0",
"featureServos": "0",
"servo0Pin": 11,
"servo1Pin": -1,
"servo2Pin": -1,
"servo3Pin": -1,
"featureWatchdog": "0",
"hasHeatedBed": "1",
```

"enableZProbing": "0",

"extrudeMaxLength": 160,

"homeOrder": "HOME_ORDER_XYZ",

"featureController": 0,

"uiPrinterName": "RepRap",

"uiPrinterCompany": "Home made",

"uiPagesDuration": 4000,

"uiAnimation": "1",

"uiDisablePageswitch": "1",

"uiAutoReturnAfter": 30000,

"featureKeys": "0",

"uiEncoderSpeed": 1,

"uiKeyBouncetime": 10,

"uiKeyFirstRepeat": 500,

"uiKeyReduceRepeat": 50,

"uiKeyMinRepeat": 50,

"featureBeeper": "0",

"uiPresetBedTempPLA": 60,

"uiPresetBedABS": 110,

"uiPresetExtruderPLA": 190,

"uiPresetExtruderABS": 240,

"uiMinHeatedBed": 30,

"uiMaxHeatedBed": 120,

"uiMinEtxruderTemp": 170,

"uiMaxExtruderTemp": 260,

"uiExtruderFeedrate": 2,

"uiExtruderRetractDistance": 3,

"uiSpeeddependentPositioning": "0",

"maxBedTemperature": 50,

"bedSensorType": 100,

"bedSensorPin": "4",

"bedHeaterPin": "HEATER_2_PIN",

"bedHeatManager": 0,

"bedUpdateInterval": 5000,

"bedPidDriveMin": 80,

"bedPidDriveMax": 255,

"bedPidP": 196,

"bedPidI": 33,

"bedPidD": 290,

"bedPidMax": 255,

"caseLightPin": -1,

"caseLightDefaultOn": "1",

"bedSkipIfWithin": 3,

"gen1T0": 25,

"gen1R0": 100000,

"gen1Beta": 4036,

"gen1MinTemp": -20,

"gen1MaxTemp": 300,

"gen1R1": 0,

"gen1R2": 4700,

"gen2T0": 25,

"gen2R0": 100000,

"gen2Beta": 4036,

"gen2MinTemp": -20,

```
"gen2MaxTemp": 300,
"gen2R1": 0,
"gen2R2": 4700,
"gen3T0": 25,
"gen3R0": 100000,
"gen3Beta": 4036,
"gen3MinTemp": -20,
"gen3MaxTemp": 300,
"gen3R1": 0,
"gen3R2": 4700,
"userTable0": {
    "r1": 0,
    "r2": 4700,
    "temps": [
    ]
},
"userTable1": {
    "r1": 0,
    "r2": 4700,
    "temps": [
    ]
},
"userTable2": {
    "r1": 0,
    "r2": 4700,
    "temps": [
    ]
```

```
},
"tempHysteresis": 0,
"pidControlRange": 20,
"skipM109Within": 2,
"extruderFanCoolTemp": 50,
"minTemp": 100,
"maxTemp": 275,
"minDefectTemp": -10,
"maxDefectTemp": 290,
"arcSupport": "1",
"featureMemoryPositionWatchdog": "1",
"forceChecksum": "0",
"sdExtendedDir": "1",
"featureFanControl": "1",
"fanPin": "ORIG_FAN_PIN",
"scalePidToMax": 0,
"zProbePin": -1,
"zProbeBedDistance": 10,
"zProbePullup": "0",
"zProbeOnHigh": "0",
"zProbeXOffset": 0,
"zProbeYOffset": 0,
"zProbeWaitBeforeTest": "0",
"zProbeSpeed": 2,
"zProbeXYSpeed": 150,
"zProbeHeight": 40,
"zProbeStartScript": "",
```

"zProbeFinishedScript": "",
"featureAutolevel": "1",
"zProbeX1": 20,
"zProbeY1": 20,
"zProbeX2": 160,
"zProbeY2": 20,
"zProbeX3": 100,
"zProbeY3": 160,
"zProbeSwitchingDistance": 1,
"zProbeRepetitions": 1,
"sdSupport": "0",
"sdCardDetectPin": -1,
"sdCardDetectInverted": "0",
"uiStartScreenDelay": 1000,
"xEndstopBackMove": 5,
"yEndstopBackMove": 5,
"zEndstopBackMove": 2,
"xEndstopRetestFactor": 3,
"yEndstopRetestFactor": 3,
"zEndstopRetestFactor": 3,
"xMinPin": "ORIG_X_MIN_PIN",
"yMinPin": "ORIG_Y_MIN_PIN",
"zMinPin": "ORIG_Z_MIN_PIN",
"xMaxPin": "ORIG_X_MAX_PIN",
"yMaxPin": "ORIG_Y_MAX_PIN",
"zMaxPin": "ORIG_Z_MAX_PIN",
"deltaHomeOnPower": "0",

"fanBoardPin": "ORIG_FAN_PIN",
"heaterPWMSpeed": 0,
"featureBabystepping": "1",
"babystepMultiplicator": 1,
"hasMAX6675": false,
"hasMAX31855": false,
"hasGeneric1": false,
"hasGeneric2": false,
"hasGeneric3": false,
"hasUser0": false,
"hasUser1": false,
"hasUser2": false,
"numExtruder": 1,
"version": 91.7
}
========== End configuration string ==========
*/

KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

[1] Küçük S., **Aydın L**., Tıp Tekno 2014, Perissia Hotel & Convention Center, Kapadokya, 25 Eylül 2014 (Onaylanmıştır).

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Mersin‘de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Mersin‘de tamamladı. 2008 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Öğretmenliği Bölümü‘nden 2012 yılında Bilgisayar Öğretmeni olarak mezun oldu. 2012 yılında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı‘nda yüksek lisansa başladı.