

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**6 Eksenli Endüstriyel Robot Kolun Biyoyazıcıya
Dönüştürülmesi ve PDMS ile Organ Modellerinin Basılması**

Fatih ONART

Makine Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı

Eylül, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

6 Eksenli Endüstriyel Robot Kolun Biyoyazıcıya
Dönüştürülmesi ve PDMS ile Organ Modellerinin Basılması

Fatih ONART

Makine Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 05/09/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Dr. Öğr. Üyesi Veli ÖZBOLAT (Danışman)

: Prof. Dr. Gökhan TÜCCAR

: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Nur ACAR

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalında
Hazırlanmıştır.
Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak
gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VII
1. GİRİŞ	1
1.1. Robot.....	1
1.1.1. Robotların Tarihçesi.....	1
1.1.2. Robotların Sınıflandırılması.....	2
1.1.2.a. İnsansı Robotlar	2
1.1.2.b. Çoklu Robotlar	2
1.1.2.c. Sürü Robotları:	3
1.1.2.ç. Mikro-Nano robotlar.....	3
1.1.2.d. Biyonik robotlar	3
1.1.2.e. İşbirlikçi ve etkileşimli robotlar	4
1.1.3. Robotların Kullanım Avantajları.....	4
1.1.4. Robotların Sahip Olması Gereken Özellikler	5
1.2. 6 Eksenli Robot Kol.....	5
1.2.1. 6 Eksenli Robot Kolu Oluşturan Bileşenler	6
1.2.2. 6 Eksenli Robot Kolun Kullanım Alanları	6
1.3. Biyobasım ve Biyoyazıcılar	7
1.3.1. Biyoyazıcıların Tarihçesi	8
1.3.2. Biyoyazıcı Yaklaşımları.....	9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. Robotların ve Biyoyazıcıların Sağlık Alanında Kullanılması.....	11
2.2. Robot ile 3B Basım İşlemleri.....	15
2.3. Robotlarda 3B Yiyeceklerin Basım İşlemleri	16
3. MATERYAL VE METOT	17
3.1. Robot Kol seçimi	17
3.1.1. 6 Eksenli Robot Kolun Teknik Verileri	18
3.1.2. Robot Aks Verileri	18
3.1.3. İşletim Koşulları.....	19
3.1.4. Robotun Hareketsel Kinematiki	19
3.1.5. Robot Taşıma Kapasitesi	20

3.1.6. Robot Flaşının Teknik Ölçüleri.....	20
3.2. Robotun Mekanik Tasarımlarının Oluşturulması.....	20
3.3. Robotun Elektriksel Olarak Hazırlanması	26
3.4. Robotun Programsal Olarak Hazırlanması	26
3.4.1. Basılacak Modelin CAM Alma Süreci	27
3.5. Basılacak Malzemenin Hazırlanması.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1. Organ Modellerinin CAD ve CAM Uygulamaları.....	29
4.2. Organ Modellerinin Basılması	33
4.2.1. Parmak Modelinin Basım İşlemleri	34
4.2.2. Kulak modelinin basım işlemleri	36
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	41
KAYNAKÇA.....	43
ÖZGEÇMİŞ	49

**6 Eksenli Endüstriyel Robot Kolun Biyoyazıcıya
Dönüştürülmesi ve PDMS ile Organ Modellerinin
Basılması**

Fatih ONART

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Veli ÖZBOLAT

Makine Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı

ÖZ

Üç boyutlu (3B) yazıcıların kullanımları özellikle tıp dünyasında yeni gelişmelere ön ayak olmuştur. Doğuştan, kaza sonucu ya da çeşitli nedenlerle organ veya uzuvlarını kaybetmiş canlılara 3B yazıcılarla basılan organlar veya uzuvlar umut olmuştur. Bu çalışmada, 3B biyoyazıcının biyobasım işlemleri 6 eksenli endüstriyel robot kola entegre edilmiş yani 6 eksenli endüstriyel robot biyoyazıcıya dönüştürülmüştür. İlk olarak satın alınan KUKA marka 6 eksenli endüstriyel robot kolun bilgisayar destekli tasarım (CAD) modelleri çıkarılmıştır. Biyomalzemenin yerleştirileceği 3 cc'lik şırınganın yerleştirileceği tutucu tasarlanıp, 3B yazıcıda üretilerek 6 eksenli endüstriyel robot kola monte edilmiştir. Şırınga içerisindeki malzemeyi ekstrüzyon ile basmak için gerekli basınçlı havayı sağlamak için 8 bar'lık bir kompresör alımı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, basım işleminin gerçekleşeceği tabla tasarlanıp imal edilmiş ve masaya monte işlemi gerçekleştirilmiştir. Tablanın masaya montajı bittikten sonra CAD modellemesi yapıp robotun tüm montaj resmi oluşturulmuştur. Bu işlemlerden sonra robot parça basım işlerinde programlanabilmesi için bir bilgisayar destekli imalat (CAM) programı (sprutCAM) alınarak robotun bütün CAD modellemesi bu programa tanıtılmıştır. Organ modelleri STL formatında CAM programı ile basım işlemleri için robota aktarılmıştır. Son olarak, robot kolundan dönuşen biyoyazıcı kullanılarak Polidimetilsiloksan (PDMS) ile kulak ve parmak modeli basılarak biyoyazıcının etkinliğine bakılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Robot, 6 eksenli endüstriyel robot, Biyoyazıcı, PDMS, 3B tasarım

Converting a 6 – Axis Industrial Robot Arm to a Bioprinter and Printing Organ Models with PDMS

Fatih ONART

Advisor: Assist. Prof. Dr. Veli ÖZBOLAT

Department of Mechanical Engineering (Turkish)

ABSTRACT

The use of three-dimensional (3D) printers has led to new developments, especially in the medical world. Organs or limbs printed with 3D printers have become a hope for living beings who have lost their organs or limbs by birth, accident, or for various reasons. In this study, the bioprinting processes of the 3D bioprinter were integrated into a 6-axis industrial robot arm, that is, a 6-axis industrial robot was converted into a bioprinter. First, computer-aided design (CAD) models of the purchased KUKA brand 6-axis industrial robot arm were created. The holder for the 3 cc syringe in which the biomaterial will be placed was designed, produced on a 3D printer, and mounted on the 6-axis industrial robot arm. An 8-bar compressor was purchased to provide the compressed air required to extrude the material in the syringe. Then, the print bed on which the printing process will take place was designed, manufactured, and mounted on the table. After the print bed was assembled on the table, CAD modeling was done and the whole assembly picture of the robot was created. After these processes, a computer-aided manufacturing (CAM) program (sprutCAM) was purchased and all CAD modeling of the robot was introduced to this program so that the robot could be programmed for part printing. Organ models were transferred to the robot for printing in STL format with the CAM program. Finally, the effectiveness of the bioprinter was examined by printing an ear and finger model with Polydimethylsiloxane (PDMS) using a bioprinter converted from a robot arm.

Keywords: Robot, 6 – Axis Industrial Robot, Bioprinter, PDMS, 3D design

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim süresince bilgi ve tecrübesiyle her zaman yanımda olan, çalışmamın her aşamasında zaman fark etmeksizin yardımlarını esirgemeyen, beni en doğru sonuçlara yönlendiren ve öğrencisi olmaktan ömrüm boyunca onur duyacağım kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Veli ÖZBOLAT'a şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen ve verdikleri manevi destekten dolayı ONART ailesine teşekkür ederim.

Yüksek Lisans ders ve tez aşamasında benden maddi-manevi imkân ve desteklerini esirgemeyen Akdeniz Otomotiv Tic. ve San. Ltd. Şti. Yönetim Kurulu Başkanı Recai PELVAN'a teşekkürü borç bilirim.



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. 3B Baskı İşlemi akış çizelgesi (Aydın ve ark.,2015).....	8
Çizelge 3.1. Robotun teknik verileri	18
Çizelge 3.2. Eksen verileri	18
Çizelge 3.3. Robotun aksiyon verileri.....	19
Çizelge 3.4. Robotun erişebileceği maksimum eksen ölçüleri.....	19
Çizelge 3.5. Robotun orijin noktasına olan mesafelere göre taşıma kapasiteleri.....	20



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. KUKA marka robot (Salameen ve ark., 2020).....	1
Şekil 1.2. A) İnsan görünümüne benzeyen, B) mekanik olarak insan görünümüne benzeyen robot görselleri (Engineered Arts, 2021)	2
Şekil 1.3. Kaynak İstasyonu – Ford Otosan Gölcük Fabrikası (Deniz ve Çakır, 2020).....	3
Şekil 1.4. Deprem bölgelerinde arama kurtarma görevi için tasarlanan prototip biyonik robot (Çetin G ve ark, 2022).....	4
Şekil 1. 5. İşbirlikçi ve etkileşimli robot uygulamaları (Argın, 2021)	4
Şekil 1.6. Plazma kesim işlemi yapan 6 eksenli robot	6
Şekil 1.7. 6 Eksen Robot Kolun Cerrahi Uygulamalarda Kullanımı (Almusawi ve ark., 2016).	7
Şekil 1.8. Farklı modellerdeki ekstrüzyon tabanlı biyoyazıcı örnekleri (Özbolat ve ark., 2017)....	10
Şekil 2.1. Sağlam kulaktan taranarak elde edilen protezin hasta üzerindeki görünümü (Watson ve Hatamleh 2014).	11
Şekil 2.2. Tsuji ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği maksillofacial (çene cerrahisi) uygulama öncesi ve sonrası görüntüleri (Tsuji ve ark., 2004).	12
Şekil 2.3. (a) Donanım yapısının şematik diyagramı; (b) meme yapısının şematik diyagramı; (c) yazdırma işleminin üstten görünümü; (d) robotik kol baskı platformu; (e) çift ışık kaynaklı mürekkep püskürtmeli ışıkla kütleme başlığı (Li ve ark., 2017).....	13
Şekil 2.4. Yerinde 3D biyo-baskı sürecinin tamamı. (A) İn vivo çalışmanın akış şeması. (B) Robotik manipülatör tabanlı 3D yazıcının genel görünümü. (C) Yerinde baskı işlemi. (D) Gözenekli bir yapıya sahip baskılı iskele.	14
Şekil 2.5. (A) yüzey kaydı, (B) kemik frezeleme ve (C) 3B baskı	14
Şekil 2.6. 6 Eksenli robotik kol biyoyazıcı döngüsü Ma ve ark. (2020).....	15
Şekil 2.7. (A) İki robotlu biyobaskı platformunun kurulumu. İki adet 6-DOF robot tabanlı biyoyazıcı, koroner büyük damarları andıran bir vasküler iskele üzerinde biyobaskı yapmak için Nötr Kırmızı lekeli hCM'ler (kırmızı renkli) veya Hızlı Yeşil lekeli hEC'ler (yeşil renkli) içeren biyoinklerle yüklenir. (B) İskele üzerindeki basılı biyomürekkeplerin yan görünümü ve üst görünümü (Zhang ve ark., 2022).....	15
Şekil 2.8. 3B farklı kafes yapılar (Ishak ve Larochelle., 2017).....	16
Şekil 2.9. 3B yiyecek basımı: A) basım işlemini gerçekleştiren robot, B) basılmış yiyecekler (Pan ve ark., 2024).	16
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan robotun ana gövdesi	17
Şekil 3.2. Robot uç flanşının montaj resmi	20
Şekil 3.3. KUKA robot 3B CAD görseli.....	21
Şekil 3.4. Robot 3B saydam görünüş görseli	21

Şekil 3.5. Basım sistemi parçalarının ve montajlarının CAD modelleri: A) nozul, B) 33 cc şırınga, C) hava kanalı, D) parçaların montajlı hali	22
Şekil 3.6. Şırınga tutucu parçaların ve montajlarının CAD modelleri ile saydam görüntüleri: A) tutucu ana gövdesi, B) sıkıştırıcı, C) parçaların montajlı hali.....	23
Şekil 3.7. CAD montajı tamamlanan basım sistemi ve şırınga tutucunun robota montaj edilmiş halinin CAD görseli	24
Şekil 3.8. Basım işleminin yapılacağı tabla ve robotun masaya montajlanmasının CAD görseli ..	24
Şekil 3.9. Robotun biyoyazıcıya dönüştürülmesinde kullanılacak parça ve cihazlar: A) Basım sistemi ve şırınga tutucu parçalar, B) Festo 3/2 M5 pnömatik selenoid valf, C) 8 bar yağsız hava kompresörü.....	25
Şekil 3.10. 3000 VA kesintisiz güç kaynağı	26
Şekil 3.11. Robot genel montajın gerçek görüntüsü	26
Şekil 3.12. A) Robotun CAM programına tanıtılması, B) Robotun pozisyonu ve tüm montaj ilişkilerinin CAM programına tanıtılması.....	27
Şekil 3.13. (A) Örnek parçanın CAM programı, B) programın basım işlemi.....	28
Şekil 4.1. Mesh yoğunluğu arttırılmış insan parmağı 3B CAD modellemesi (2024,08,01)	29
Şekil 4.2. İnsan parmağı 3B modelinin CAM programının alınması.....	30
Şekil 4.3. İnsan parmağı modelinin basım işleminde takım yolunun oluşturulması.....	30
Şekil 4.4. Parmak modeli basımı için oluşturulan CAM program çıktısı	31
Şekil 4. 5. İnsan kulak modelinin oluşturulma aşamaları. (A) Mesh yoğunluğu arttırılmış insan parmağı 3B CAD modellemesi, (B) İnsan kulağının 3B modelinin CAM programının alınması, (C) İnsan kulak modelinin basım işleminde takım yolunun oluşturulması.....	32
Şekil 4.6. Kulak modeli basımı için oluşturulan CAM program çıktısı.....	33
Şekil 4.7. Parmak modelinin CAM program görseli.....	34
Şekil 4.8. CAM programının robota kaydedilmesi ve çalıştırılması.....	35
Şekil 4.9. (A) Parmak modelinin basım işlemi sırasındaki görüntüsü, (B) parmak modelinin basılmış hali görüntüsü	36
Şekil 4.10. Kulak modelinin CAM program görseli.....	37
Şekil 4.11. Kulak modelinin CAM programının robota gönderilmesi.....	38
Şekil 4.12. (A) Kulak modelinin basım işlemi sırasındaki görüntüsü, (B) kulak modelinin basılmış hali görüntüsü	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

CAD	: Bilgisayar destekli tasarım
CAM	: Bilgisayar destekli imalat
CNC	: Bilgisayarlı sayısal kontrol
PDMS	: Polidimetilsiloksan
STL	: StereoLithography
3B	: 3 Boyutlu
DC	: Sürekli akım
X	: X eksen
Y	: Y eksen
Z	: Z eksen
J4	: 4. Eksen
J5	: 5. Eksen
J6	: 6. Eksen
MR	: Manyetik rezonans görüntüleme
BT	: Bilgisayarlı tomografi
kg	: Kilogram
mm	: Milimetre
cc	: Santimetreküp
L	: Litre
HP	: Beygir gücü
HZ	: HERTZ
Db	: Desibel
PSI	: İnçkareye etki eden pound
V	: Volt
°C	: Santigrat derece
Rpm	: Dakikadaki devir sayısı

1. GİRİŞ

1.1. Robot

İnsanın kendine yardımcı olabilecek aletleri geliştirebilme gayreti günümüz şartlarında hayvanlara ve bitkilere benzeyen özellikle de insanın kendisine benzeyen aletleri yapmasına kadar ilerlemiştir. İnsan bu uğraşlar sonucunda robotları geliştirmiştir. Robotlar, birçok karmaşık eylem geliştiren makinelerdir (Ak, 2018). ISO 8373'e göre endüstriyel robot tanımı: En az üç veya daha fazla kontrol edilebilen eksenlere sahip olan, otomasyon kontrollü, programlanabilen, hassasiyet oranı yüksek, sabit bir yerde duran veya tekerlekli olarak yapılan endüstri alanındaki uygulamalarda kullanılan yönlendirici araçlardır (ARO, 1998). Robot, birçok farklı işlemi yerine getirmek için ürünleri, parçaları veya özel aletleri taşımak, kesmek, boyamak, taşlamak veya basmak işlemlerini yapmak için tasarlanmış, yeniden programlanabilen, çok fonksiyonel bir aygıttır. Robotlarla daha hızlı, hata payı çok daha az ve üretimlerin seri yapılabilirdiği görülmektedir (Acar, 2007). Robotların aralıksız bir şekilde hassas çalışabilme yetenekleri, insanlığa en faydalı icatlarından biri olmalarını sağlamıştır (Ergün ve ark., 2018). Robotlar başlıca arama kurtarmada, hizmet sektöründe, medikal alanda, otomotiv sektöründe ve elektrik, elektronik ve mekanik uygulamalarla endüstrideki birçok alanda kullanılmaktadır (Yapıcı, 2008).



Şekil 1.1. KUKA marka robot kolu (Salameen ve ark., 2020)

1.1.1. Robotların Tarihçesi

18. yüzyılda otomatik olarak kontrol edilebilen makinelerin kullanılmaya başlanması, robotlar ile ilgili teknoloji alanındaki çalışmaların başlangıcı olmuştur. 20. yüzyılda ise kendiliğinden kontrol edilen ve programlanabilen makineler ve teçhizatların icatları gerçekleşmiştir. 1950'lerde haberleşme ağının gelişmesi ile robot teknolojisinde kayda değer gelişmeler olmuştur. Japonya

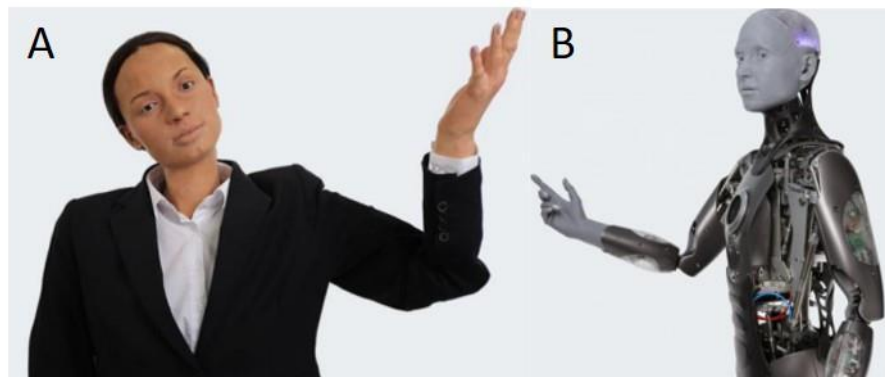
robotları endüstride ilk olarak kullanan ülkedir. İş yaşamında robot kullanma düşüncesinin ortaya çıkması ile insanlar tarafından işsizlik artabilir düşüncesi ile tepki gösterilmiştir. Robotlar iş yaşamına girdikten sonra insanların endişelerinin geçersiz olduğu, aksine robot teknolojisinin birden çok iş kolunu beraberinde getirmesiyle işsizlik oranlarında azalmalar kaydedilmiştir (Çengelci ve Çimen, 2005).

George Devol ve Joseph Engelberger 1956 yılında Unimation (Universal Animation) şirketini kurmuştur. Unimation şirketi tarafından yapılan çalışmalar sonucu 1959 yılında ilk endüstriyel robot geliştirilmiştir. Dünyada endüstriyel robotlar ilk olarak 1961 yılında Unimation şirketi tarafından General Motors'da bir konveyör sistemine bağlanan ve eksantrik pres makinesinden sıcak ve ağır iş parçalarının alınıp paletlere yerleştirilmesinde kullanılmıştır. Eski dönemlerde teknoloji yetersizliğinden dolayı endüstriyel robotun programı manyetik bir tambur üzerine kayda geçirilmiştir (Endüstriyel Robot Programlama eğitimi dergisi).

1.1.2. Robotların Sınıflandırılması

1.1.2.a. İnsansı Robotlar

İnsan gibi düşünebilen, kararlar verebilen, yürüyen, insanlara benzer hareket kabiliyetlerine sahip olan robotlar artık gerçek hayatta bulunabilmektedir. Evde, işte ve birçok alanda insanların yaptıkları işleri yapabilen makinelerin hayatımıza girmesi ile birçok araştırma şirketi ve üniversitenin bu alana ilgisi çekilmiş ve bu doğrultuda yapılan yatırımlarla gelişime açık hale gelmiştir. Robot dış görüntüsü bakımından, insana odaklı veya ürüne odaklı olarak çeşitlendirilebilir. İnsana odaklı robot insan görünümüne benziyorken (Şekil 1.2A); ürün odaklı robot (Şekil 1.2B) işlevselliği üst düzeye yükseltmektedir (Kwak, 2014).



Şekil 1.2. A) İnsan görünümüne benzeyen, B) mekanik olarak insan görünümüne benzeyen robot görselleri (Engineered Arts, 2021)

1.1.2.b. Çoklu Robotlar

Tekli robot ile yapılacak olan işin karmaşık yapıda olması ile çıktı hızının robotla dahi olsa düşük ve maliyetli olmasından dolayı tekli robot yerine iş paylaşımları yapılarak çoklu robot sistemleri geliştirilmiştir. Buradaki görev dağılımları ile her bir robotun bütünsel olarak çalışarak tek

bir işi en hızlı şekilde çıkartabilmesi hedeflenmiştir. Çoklu robotların kullanım alanlarına örnek olarak arama kurtarmada kullanılan ya da girilmesi tehlikeli olan yerlere daha rahat ulaşabilmede kullanılan robotlar verilebilir (Deniz ve Çakır, 2020).



Şekil 1.3. Kaynak İstasyonu – Ford Otosan Gölcük Fabrikası (Deniz ve Çakır, 2020)

1.1.2.c. Sürü Robotları:

Doğada çoklu halde hareket eden canlı varlıkların bir araya geldiklerinde yapmış oldukları koordinasyonlu ve gelişmiş davranışsal hareketlerin homojen robotlarla ortak bir mantık üzerinde uygulanabileceği fikri ile sürü robotların işlevsellik mantığı ortaya koyulmuştur. Özellikle kullanılabilen donanımsal yapıların mikro seviyede küçük ve işlevsel hale gelmesi, bu çalışmalarda ilgiyi artırmış ve sürü robotlarının yapılabilirliğini göstermiştir (Akyol ve Alataş, 2012).

1.1.2.ç. Mikro-Nano robotlar

Robotikleşmenin yeni bir alanı olan mikro-nano robotların nanometre boyutunda olması amaçlanmıştır. Bu robotların insan vücudunda gezinerek çeşitli işlemleri yerine getirebileceği düşüncesi ile tıp alanında kullanılabilmesi amacıyla bu robotlarla ilgili çalışmaların önemi artmıştır (Gürgöze ve Türkoğlu, 2019).

1.1.2.d. Biyonik robotlar

Biyonik robotlar doğadaki canlıların kendi biyosferinde sergiledikleri hareketlerden ilham alınarak tasarlanmış robotlardır. Örneğin; yılanın S şeklinde sürünerek hareket etmesinden esinlenerek enkazlarda kullanılan kolay hareket kabiliyeti olan robotlar oluşturulmuş (Şekil 1.4) veya ahtapotun kolayca yüzebilen ve dar alanlara girebilen esnek yapısından esinlenerek okyanuslarda ya da denizlerde arama kurtarma çalışmalarında kullanılan biyonik robotlar tasarlanmıştır.



Şekil 1.4. Deprem bölgelerinde arama kurtarma görevi için tasarlanan prototip biyonomik robot (Çetin G ve ark, 2022)

1.1.2.e. İşbirlikçi ve etkileşimli robotlar

Robotlar endüstriyel çalışma alanlarında yük transfer etmek, iletmek, yerleştirmek, kesim yapmak, boya atmak ve taşlama yapmak gibi görevleri yerine getirmek için yapılmıştır. İlerleyen dönemlerdeki gelişmeler artık tepki etkisini kullanan robotların üretilmesine imkan sağlamış ve bu robotlar insanlar ile birlikte aynı ortamlarda çalışabilecek düzeye gelmiştir. Günümüzde insanlar ile beraber ortak çalışmalar yapabilen, yardımcı olan ve aynı ortamları güvenli bir seviyede paylaşabilen, tepkisel ve geniş işlemler yüzeyinde verilen görevleri yerine getirebilen bu robotlar işbirlikçi robotlar olarak tanımlanmaktadır (Wang, 2015).



MRK-Roboter ABB YuMi



PRISMA Lab Comau SMART-3 S industrial robots



Okonomiyaki Robot

Şekil 1.5. İşbirlikçi ve etkileşimli robot uygulamaları (Argın, 2021)

1.1.3. Robotların Kullanım Avantajları

Günümüzde birçok alanda kullanılan robotların çok fazla avantajı bulunmaktadır. Browne ve ark.,1998'e göre bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- İşçilik maliyetini düşürmek
- İş sağlığı ve güvenliği açısından oldukça avantajlı
- Hızlı ve düzenli üretim sistemlerini sağlamak
- Yüksek kalitede ürün elde edebilmek
- Seri üretimi arttırmak
- Usta işçilik sıkıntısını karşılayabilmek

- Mola vermeden sürekli çalışabilme yeteneği,
- İnsanlara göre fazlaca yük taşıyabilme yeteneği,
- İnsanlara kıyasla çabucak sonuç verebilme kabiliyeti,
- Usandırıcı ve seri işlemlerde yeterlilik,
- Tehlikeli sahalarda sıkıntısız çalışabilme kabiliyeti,
- İnsanlarda ki işlem hataları en az seviyede tutmak,
- Yatırım sermayesini çok çabuk amorti etme,
- Yüksek kazanç elde edilmesi.

1.1.4. Robotların Sahip Olması Gereken Özellikler

Robotların sahip olması gereken ilk özellik işlem yapabilme kapasitesidir. Bu özellik robotun yapılacak olan işlemleri fiziksel veya farazi olarak yerine getirebilmesidir. İkinci sahip olması gereken özellik ise işlemin sonucunu belirleme yeteneğidir. Bu özellik işlem yapıldıktan sonra robotun sonucu fonksiyonel olarak kayda alabilmesidir. Üçüncü özellik ise karar verme yetisi olmakla birlikte bu özellik robotun işlem sonucuna göre veya dış etkilere göre kesinlikle sonuç çıkarabilmesidir (Alp, 2012).

1.2. 6 Eksenli Robot Kol

Robotlar birçok endüstriyel alanda kullanılan, üç ya da daha fazla eksene sahip, programlanabilen bir cihazdır (Çubukçu ve ark., 2015). Endüstri alanlarında üretim bantlarında sıklıkla karşılaştığımız hareket kabiliyeti çok yüksek olan 6 eksen robot kollar mevcuttur. Gün geçtikçe robot teknolojisinde büyük gelişmeler sağlanıp en çok sanayi ve tıp alanında 6 eksen robotlar kullanıma açılmıştır. Tıp alanında ise 6 eksen robot kolların kullanım amaçları hem hareket kabiliyeti hem de hassasiyet oranlarının yüksek olmasıdır.

6 eksenli robotlarda eksen sayısı ve yönleri şu şekilde belirlenir:

- X
- Y
- Z
- J4
- J5
- J6

6 eksen robotlar özellikle hareket kabiliyeti gerektiren yerlerde kullanılmaktadır.

1.2.1. 6 Eksenli Robot Kolu Oluşturan Bileşenler

6 eksenli robot kolu oluşturan bileşenler beş tanedir. Bunlardan birincisi robotu oluşturan eklemler ve birbiri üzerine montajı yapılabilen katı parçalar tanımına sahip mekanik aksamdır. İkinci bileşen tutaç (tool) bu parça robotun yapacağı işe uygun tasarlanmış ve montajı yapılmış parçadır. Robotun en uç noktasını belirler ve tüm programlamalar bu uç noktasına göre yapılmaktadır. Üçüncü bileşen motorlardır, tool ve eklemleri hareket ettirmek amacıyla kullanılır, en çok kullanılanlar servo ve hidrolik motorlardır. Dördüncü bileşen data girişlerini işleyip robotun programlama görevini tamamlayan kontrollerdir. Beşinci bileşen ise sensörlerdir ve sensörler kontrole bağlıdır, robotun görevlerini yapabilmesi için robota geri dönüş ve giriş verilerini sağlamaktadır (Güzel ve Koyuncu, 2008). Robot, hareketlendirici, kontrol mekanizmaları ve mekanik aksamlardan oluşmaktadır. Robotta mekanik aksamlar; akuplaj bölümleri, taşıyıcılar yapısal parçalar ve güç ileten parçalar olarak gösterilebilir. Mekanik aksamlar, temel yapı parçaları ve servis parçaları olarak ikiye ayrılmaktadır. El veya diğer gereçler (kaynak, boyama, taşlama, taşıma ve baskı araçları) mekanik servisin parçalarını oluşturur. Son teknoloji robotlarda çoğunlukla hareketlendiricileri elektrikseldir (servo DC sürücüler). Sanayi ve tıp alanlarında kullanılan robot kollar, bugün birçok uygulama için yeterli hız, kararlılık ve kolaylıkla programlanabilir özelliklere sahiptir. Robot kollar, verilecek işlemlere göre çalışacak sistemlerin ihtiyaç durumlarına göre belirlenmektedir. Tek eksenle hareket edebilen robot kolu olduğu gibi birden fazla eksenlerde hareketler sağlayabilen robot kollar da bulunmaktadır (Bejo ve ark., 2009).

1.2.2. 6 Eksenli Robot Kolun Kullanım Alanları

Şekil 1.6.'da plazma kesim işlerinde kullanılan 6 eksenli robot gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Plazma kesim işlemi yapan 6 eksenli robot

Tıp dünyasında robotlar en fazla cerrahi müdahalelerde kullanılır ve robotların kullanılmasıyla insandan kaynaklı hatalar minimum seviyeye indirilmiştir. Robotlar hastanın durumunu tarayarak hastaya tanı konulmasını ve hastaya en uygun tedavi yollarının belirlenebilmesini sağlarken sağlık personellerine bu konuda yardımcı olmaktadır (Çelebi ve ark., 2019). Ayrıca robotlar gelişmiş boyutta ve hassasiyette ürün çıkartabilmeleri sayesinde tıp alanında çok özel organ basım işlerinde dahi kullanılmaktadır.

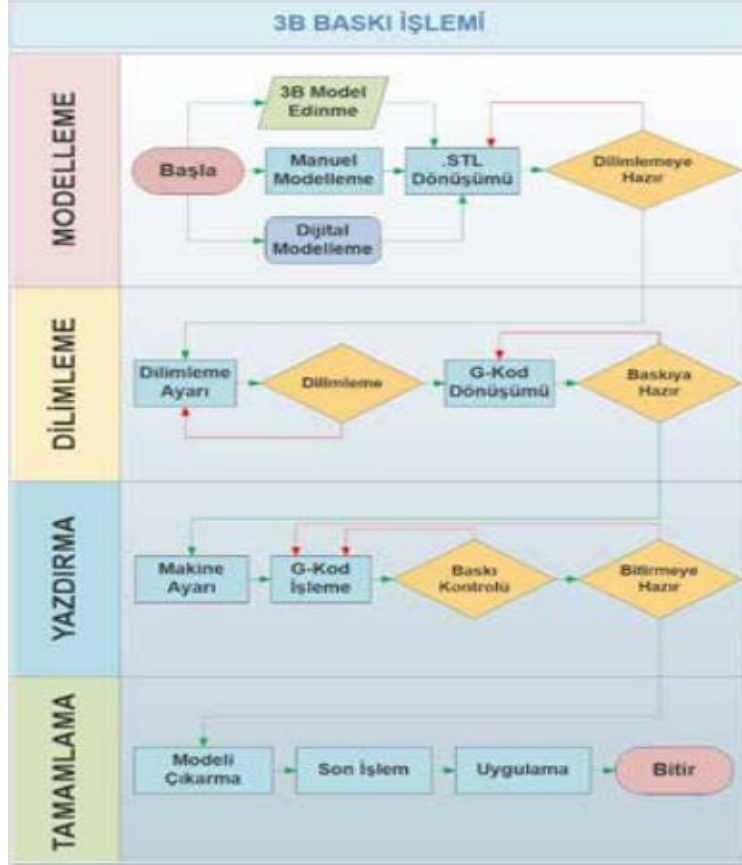


Şekil 1.7. 6 Eksen Robot Kolun Cerrahi Uygulamalarda Kullanımı (Almusawi ve ark., 2016).

1.3. Biyobasım ve Biyoyazıcılar

3B basım, üç boyuta sahip bir modelin somut olarak gözle görülebilen ve dokunulabilen bir şekle dönüştürülmesidir. Ortaya çıkan bu cisim iki boyutlu katmanların birikmesi ile oluşturulur. 3B basım, geleneksel işleme tekniklerinden farklı kabul edilmektedir (Bose ve ark., 2013). 3B yazıcıdan ürün elde edebilmek için önce ürünün üç boyutlu modelini oluşturmak gerekir. Bu model çıkarılırken genellikle CAD yazılımları kullanılır. 3B model, dilimleme yazılımı ile yapılır. Bu yazılımda model katmanlara ayrılarak her katmanın nasıl yazdırılacağına ait görevler oluşturulur. Yazdırma hızı, katman yüksekliği, doluluk oranı gibi çeşitli ayarlar bu aşamada oluşturulur. Yazıcıda hangi malzeme kullanılacaksa (reçine, toz vb.) yazıcıya yüklenerek yazıcının düzenli çalışabilmesi için sıcaklık ayarları ve tabla hizalama gibi işlemleri ayarlanır. Bu işlemler tamamlandığında elde edilen ürün kullanıma hazır hale gelmiş olacaktır (Evlen ve Sarımsakçı, 2019).

Çizelge 1.1. 3B Baskı İşlemi akış çizelgesi (Aydın ve ark.,2015).



Biyoyazıcılar, doku mühendisliği alanındaki kısıtlamaların ortadan kalkabilmesi için 3B karmaşık doku veya organların basılabilmesinde kullanılan yeni bir teknolojidir. Bu teknolojiye biyomalzemelerin içerisine hücrelerin programlanarak yerleştirilmesini sağlar (Demirtaş ve Karakeçili, 2015).

Bu makineler, basılacak olan parçanın önceden CAD tasarım çalışmalarının tamamlanıp CAM programı ile programlanması yöntemiyle çalışmaktadır. Hazır tasarımlar da STL formatıyla çekilip daha sonra da CAM programları ile işlenebilir. Çetinkaya ve ark., (2017)'e göre 3B biyoyazıcılar, dijital ortamlarda bulunan ürün verilerini kullanarak 3B parçaların imalatının gerçekleştirildiği yazıcılardır. 3B biyoyazıcı tekniği, katmanları yığılma yöntemi ile çalışır. Katmanlar oluşturulurken farklı yöntemler kullanılmaktadır.

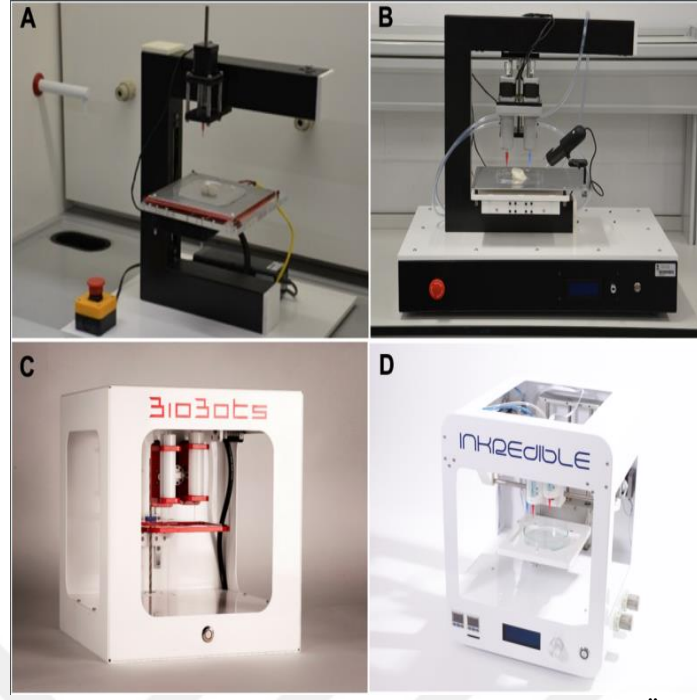
1.3.1. Biyoyazıcıların Tarihçesi

3B yazıcı ilk defa 1986 yılında Charles W. Hull tarafından "Sterolitografi" adıyla tanıtılmıştır (Hull, 1986). Biyoyazıcı ilk defa 1988 yılında Klebe tarafından ticari olarak satılan standart mürekkep püskürtmeli yazıcı kullanılarak gösterildi. Biyobasım, tıp ve farmakoloji alanlarında devrim niteliğinde bir etki yaratan ve gün geçtikçe büyüyen bir alandır. Dünya çapında bu alana duyulan ilgi ve merak artmaktadır (Özbolat, 2015).

İlk ekstrüzyon tabanlı biyoyazıcı 2000’li yıllarda geliştirildi. 2001 yılında, mesane şeklindeki bir iskelenin doğrudan baskısı ve bir donörün hücrelerinin tohumlanması gerçekleştirildi. Daha sonra, 2002 ve 2003’te araştırmacılar, hücrelerin yüksek canlılıklarıyla karakterize edildiği bir biyobaskı yöntemi geliştirmiştir. 2009’da yepyeni bir 3B biyo-yazıcının icat edilmesiyle (Novogen MMX) büyük çapta ticarileşme meydana geldi. 2009 yılında kemikli yapı içermeyen damarlı yapılar üretilmiş olup, 2010 yılında lazer tabanlı direk biyobasım teknolojileri kullanılarak kolajen içinde karaciğer hücreleri modellemesi yapılmıştır. 2012 yılında deri basımı, eklem kıkırdaklarını onarabilmek için mürekkep püskürtmeli basım uygulamaları çalışmaları yapılmıştır (Özbolat, 2016). Montero ve ark., 2019’a göre suni karaciğer (2012), doku entegrasyonu gibi birçok yeni biyobaskı ürününün piyasaya sürüldüğü görüldü. Daha sonra dolaşım sistemi (2014) ve hatta kalp kapakçıkları (2016) ürünlere eklendi. 2016 yılında büyük düzeyde perfüze edilebilen dokusal yapıların, damla jeti ve şırınga bazlı teknik çalışmalar kullanılarak biyobasım işlemleri yaygın olarak uygulanmaya konulmuştur (Özbolat, 2016).

1.3.2. Biyoyazıcı Yaklaşımları

3B biyobasım süreci üç önemli teknolojik aşamada gerçekleşir; baskıdan önceki süreç, asıl baskıdaki süreç ve baskı işlemi sonrasındaki süreçlerdir (Mobaraki, 2020). Biyobasım işlemleri, biyomürekkep kullanma işlemine göre; ekstrüzyon tabanlı, damlacık tabanlı ve lazer tabanlı olarak ayrılır. Basım tekniği uzuv veya organ basılırken kullanılacak olan malzemenin çeşidine göre değişmektedir. Üç yöntemin de kendi içinde avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. İnkjet tekniği bilinen en eski yöntemlerden biridir. Bu yöntem biyoişlevsel mürekkep damlalarının birikmesiyle oluşur. Mekanik, piezoelektrik ve termal olarak üçe ayrılır. Bu yöntemin tercih edilmesinin nedenleri ise basım hızının yüksek, maliyetinin düşük ve hücre canlılığının yüksek olmasına bağlıdır (Hacıoğlu ve ark., 2018). Tekniklerden bir diğeri mikroektrükyon biyoyazıcılarıdır. Bu teknik, çalışmada kullanılan mürekkebin mekanik ileti ya da gaz ve basınçla basılmasına bağlı olarak gerçekleşir. Bu yöntemin avantajları akışkan özelliği çok düşük olan malzemelerle uyum içinde olması ve bunun yanında doku veya organları basma işlemi yaparken bu işlemi yüksek hücre yoğunluğu ile yapabilmesi, maliyetinin az olması ve basımının kolay bir şekilde yapılabilmesidir. Lazer destekli biyobasım yönteminde ise hücre veya organ basılırken lazer ışınları kullanılır. İnkjet biyobasım yönteminde akışkan özelliği çok düşük olan malzemelerle uyum içinde olmasının aksine lazer destekli biyobasım yönteminde bu tam tersidir. Yöntemin dezavantajları arasında çözünürlüğün yüksek olması için jelleşme hızının yüksek olmasının koşul olması ve aynı zamanda da pahalı olması bulunur (Noh ve ark., 2017).



Şekil 1.8. Farklı modellerdeki ekstrüzyon tabanlı biyoyazıcı örnekleri (Özbolat ve ark., 2017)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Robotların ve Biyoyazıcıların Sağlık Alanında Kullanılması

Yapay organ üretmekle, doğuştan uzuv kaybı yaşayan ya da olası bir kaza sonucu uzvunu kaybedip fiziksel engelli birey haline gelen kişilerde hayat kalitesi artmış olup kendilerini eksik ya da yetersiz hissetme duygusunda azalma meydana gelmiş, özgüven artışı görülmüştür (Gomez ve ark., 2016). Yaşanan son gelişmelerde işlev ve estetik açıdan kulak, burun, kalp, çene gibi yapay uzuvların kullanılması için bu alanda yapılan çalışmalarda artma gözlenmektedir (Mive ark., 2013). Üç boyutlu biyoyazıcı çalışmaları dünyada yeni yeni gelişmektedir. Daha çok çalışmayı ise üniversitelerin yapmış olduğu görülmektedir. Bununla birlikte üç boyutlu yazıcı piyasasında büyük oranda gelişmeler olmaktadır. Konu ile ilgili yapılmış çalışmalar incelendiğinde;

Küçükgül ve ark., 2013'e göre Türkiye'de ilk olarak biyoyazdırma teknolojileri ile Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde canlı hücreler kullanarak doku yapısı üretilmiştir. Çalışmayı yapan ekibin amacı hastanın kök hücreleriyle istenen dokunun ya da organın üretilmesi ve hastanın vücudunun bu yapıyı kabul ederek istenmeyen durumun ortadan kaldırılmasıdır. Hastanın MR sonuçları dikkate alınarak hastanın vücuduna uyabilecek Aort damarının doku örneği basılmıştır.

Watson J. ve Hatamleh M.M. (2014) yapmış oldukları çalışmada önce kulağın anatomisini tasarlayarak kulağa şeklini verebilmek adına döküm kalıbı oluşturulmuştur. Daha sonraki aşamada ise medikal dereceli silikon kalıba dökülerek yumuşak bir doku protezi ortaya çıkmıştır. Kulak şeklindeki protezlerin yapısını, rengini, yönünü geliştirip çeşitlendirebilmek için 3B yazdırma ile birlikte renkli tarama yapılmıştır. Hastanın normal kulağı tarama işlemi yapıldıktan sonra protez tasarımları için aynalı görüntü kullanıldıktan sonra kulak basım işlemi tamamlanarak klinik uygulama için kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Sağlam kulaktan taranarak elde edilen protezin hasta üzerindeki görünümü (Watson ve Hatamleh 2014).

Dünyada ilk kez yapılan bir teknoloji ile Avusturalya Queensland Teknoloji Üniversitesinde protez kulak üretimi gerçekleştirilmiştir. Woodruff ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmalarda önce genetik ya da sonradan geçirilen bir kaza sonucu tek kulağa sahip olan bireylerin sağlıklı olan kulağı 3B yazıcı ile kulağın modeli 3 boyutlu bir şekilde çıkarılmaktadır. Protez kulak üretimine göre daha basit ve ucuz bu işlemde elde edilen 3B kulağın içine özel üretilmiş olan silikon malzeme kullanılmaktadır. Ortaya çıkan kulağın şekli ve modeli hastanın sağlıklı olan kulağıyla neredeyse aynı görünmekte ve gerçek hissi yaratmaktadır (2024, 03, 12).

Yapılan bir diğer çalışmada ise 27 yaşındaki kadın hastanın geçirdiği bir kaza sonucu kaybettiği burnunun yerine burun protezi takılmıştır. Bu işlemler öncesinde hastanın kaybettiği eksik burun bölgesi yeniden tasarlanmıştır. Hastanın ten renginin uyumu için 3B rekonstrüksiyonlarını renklendirme amacıyla hastanın renkli bir fotoğrafı kullanılmıştır. Daha sonra ise estetik durması açısından hastanın burnuna renk pigmentasyonları uygulanıp, basılan burun silikon ile kapatılıp 15 dakika polimerleşmesi için zaman tanınmıştır. Hasta için tasarlanan ve 3B biyoyazıcıda basılan burun hastanın yüzü ile bütünlük oluşturarak hastanın memnun kalmasını sağlamıştır. İzleme ve değerlendirme çalışması için hasta ile 1 hafta sonunda tekrar görüşülerek hastanın burnunda herhangi bir sorun yaşamadığı görülmüştür. (Nuseir ve ark.,2018).

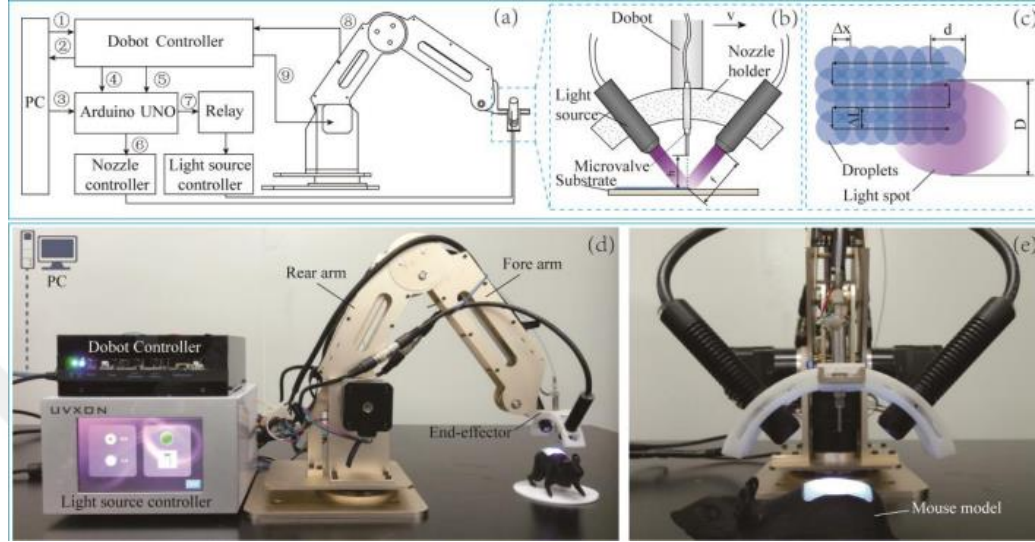
Tsuji ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada ise geçirmiş olduğu kaza sonucu çenesinin şekli bozulan hasta için öncelikle hastanın yüzü tarayıcı ile taranarak CAD modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modelle birlikte hastanın sağlıklı olan yüz bölgesinin aynalama tekniği ile kopyalanması sağlanmıştır. Daha sonra silikon malzemeden kalıp üretilmiş ve bu kalıba sıvı parafin wax maddesi konularak kalıp çıkarılmıştır. Bu kalıptan çıkarılan protezin üzerine hastayı memnun etmek hem de yüzde eksiklik olmaması adına yapay göz eklenmiştir. Hastanın ten renginin uyumu için 3B rekonstrüksiyonlarını renklendirme amacıyla hastanın renkli bir fotoğrafı kullanılarak ten rengine en uygun renk seçilmiş ve protez hastanın yüzüne yerleştirilmiştir (Tsuji ve ark., 2004)



Şekil 2.2. Tsuji ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği maksillofacial (çene cerrahisi) uygulama öncesi ve sonrası görüntüleri (Tsuji ve ark., 2004).

İn situ (yerinde) basım, tıp alanındaki yaralanma işlemlerinde uygulanabilir bir tekniktir. Li ve arkadaşları, çift ışık kaynaklı bir nozul sistemi ile donatılmış küçük ölçekli bir robotik kol kullanmıştır. Oluşturulan yerinde baskı platformunda robotik kol, ışık kaynağı, nozul, damlacık çapı,

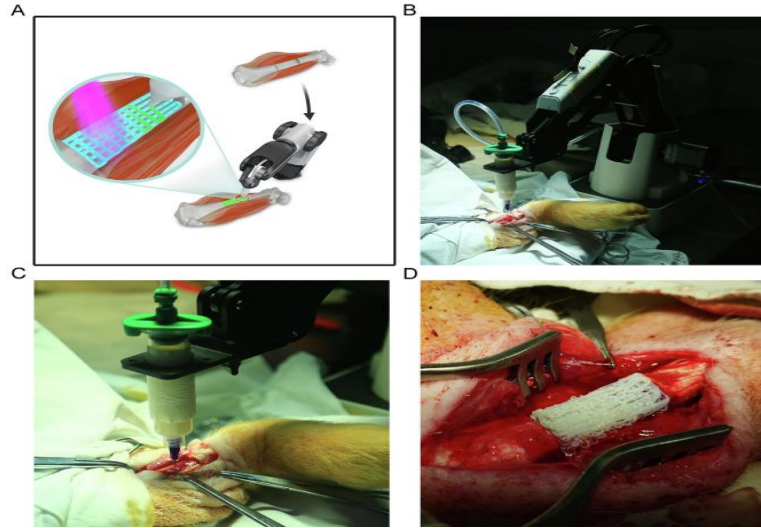
kürlenme süresi ve mekanik özelliklerin ölçüldüğü baskı parametrelerinin (örneğin, nozül hızı, nozül frekansı) belirlendiği bir bilgisayar arayüzü tarafından koordineli olarak kontrol edilmiştir. Robotik kolun hidrojel baskısı yapabildiği ve sıvı malzemenin kavıslı yüzey üzerinde hızla kürlenebildiği gösterilmiştir (Li ve ark., 2017).



Şekil 2.3. (a) Donanım yapısının şematik diyagramı; (b) meme yapısının şematik diyagramı; (c) yazdırma işleminin üstten görünümü; (d) robotik kol baskı platformu; (e) çift ışık kaynaklı mürekkep püskürtmeli ışıkla kütleme başlığı (Li ve ark., 2017).

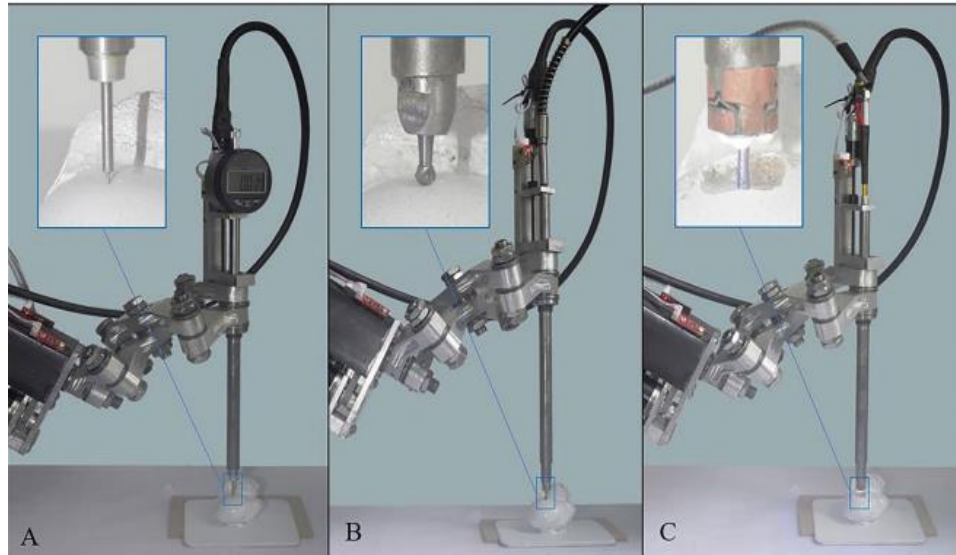
Üçüncü derece ciddi yanık modeli oluşturulan domuzların ameliyatında kullanılan 6 eksenli robotik kol tabanlı bir biyoyazıcı ile ekstrüde edilen hücre yüklü biyomürekkebin, doku rejenerasyonu ve yaranın yeniden epidermalizasyonu için gerekli olan in situ fibroblast büyüme faktörü ve vasküler endotelial büyüme faktörü üreterek cilt rejenerasyonunu önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir (Albony ve ark., 2022).

Li ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, domuz modelinde robotik manipülatör 3B yazıcı kullanılarak in situ 3B biyobasım ile uzun segmental kemik defektlerinin onarımı rapor edilmiştir. Domuzların sağ tibiasında oluşturulan uzun segmental defektlerin 12 dakika içinde 3B biyobasım kullanılarak onarılmasının sağladığı ve 3B biyobasım grubunun kontrol grubuna kıyasla 3 ay sonra daha iyi tedavi etkileri gösterdiği bildirilmiştir (Li ve ark., 2020).



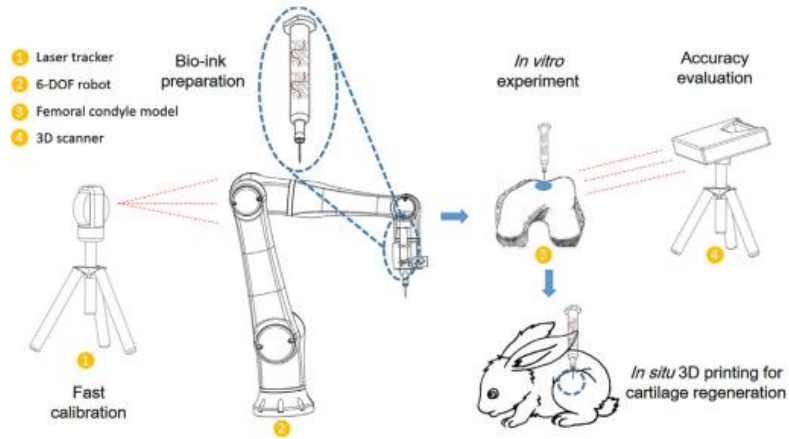
Şekil 2.4. Yerde 3D biyo-baskı sürecinin tamamı. (A) İn vivo çalışmanın akış şeması. (B) Robotik manipülatör tabanlı 3D yazıcının genel görünümü. (C) Yerde baskı işlemi. (D) Gözenekli bir yapıya sahip baskılı iskele.

Hücre ve doku bazlı cerrahide invazivliği daha da azaltarak kritik boyuttaki doku defektlerini iyileştirmek için yeni tekniklere ihtiyaç olduğu bilinmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için 3B biyobasım ve robotik destekli minimal invaziv cerrahi tekniklerini birleştiren yeni bir rejeneratif tıbbın geliştirilmesini sunulmuştur. Fokal kırıkta defekti restorasyonunda, robotik destekli 3B biyobasımın eklem içi uygulanabilir rejeneratif tıp temelli bir tedavi tekniği olduğu ortaya konulmuştur (Lipsksas ve ark., 2019).



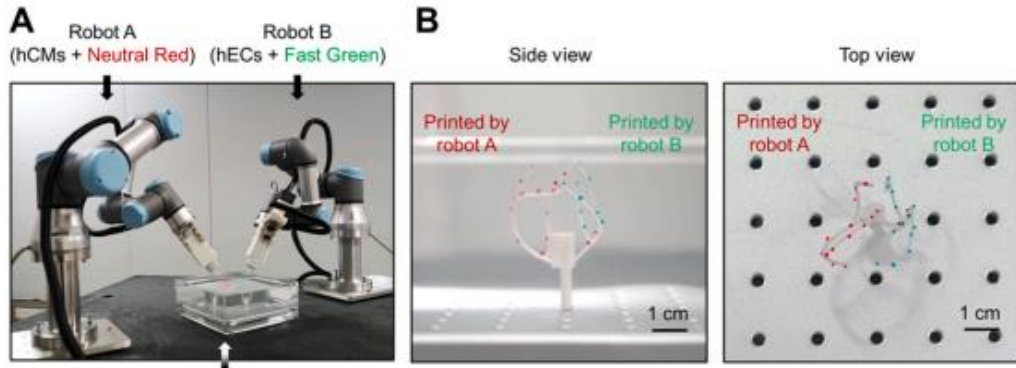
Şekil 2.5. (A) yüzey kaydı, (B) kemik frezeleme ve (C) 3B baskı

Ma ve ark. (2020) tavşanlarda kırıkta rekonstrüksiyonu ve fonksiyonel onarım kabiliyetini değerlendirmek için 6 serbestlik dereceli robotik destekli bir 3B biyoyazıcıyı kullanmıştır. Osteokondral defektin yaklaşık 60 saniye içinde onarılabildiği bildirilmiştir.



Şekil 2.6. 6 Eksenli robotik kol biyoyazıcı döngüsü Ma ve ark. (2020)

Yapay doku ve organ mühendisliğindeki son gelişmelere rağmen büyük boyutlu canlı ve işlevsel kompleks organların nasıl üretileceği rejeneratif tıp için hala büyük bir zorluk olmaya devam etmektedir. Üç boyutlu biyobasım, basit dokuların üretilmesinde avantaj sağlarken, karmaşık organ üretiminde vaskülatörlerin oluşturulması ve hücre fonksiyonlarının korunmasında hala zorluklarla karşılaşmaktadır. Altı serbestlik dereceli bir robotik kolu bir biyoyazıcıya dönüştürerek geleneksel biyobasım sistemlerinin sınırlamalarının üstesinden gelmiştir. Böylece 3B karmaşık şekilli vasküler iskeleler üzerinde her yönden hücre basımına olanak sağlanmıştır (Zhang ve ark., 2022).

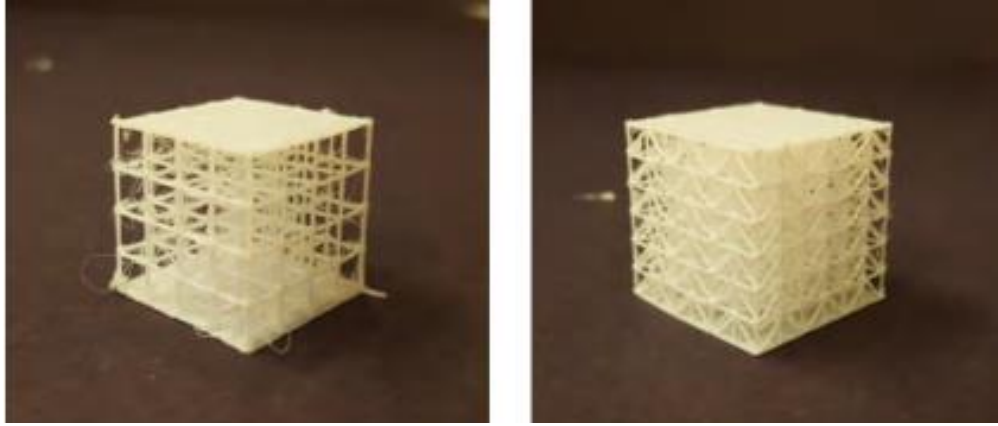


Şekil 2.7. (A) İki robotlu biyobaskı platformunun kurulumu. İki adet 6-DOF robot tabanlı biyoyazıcı, koroner büyük damarları andıran bir vasküler iskele üzerinde biyobaskı yapmak için Nötr Kırmızı lekeli hCM'ler (kırmızı renkli) veya Hızlı Yeşil lekeli hEC'ler (yeşil renkli) içeren biyoinklerle yüklenir. (B) İskele üzerindeki basılı biyomürekkeplerin yan görünümü ve üst görünümü (Zhang ve ark., 2022)

2.2. Robot ile 3B Basım İşlemleri

Bu çalışmada ise 3B basım proseslerinde kullanılan 6 DoF robot kolun ekstrüzyon başlığı ile çalışabilirliği gösterilmiştir. Girintili çıkıntılı bir yapıya sahip 3 boyutlu kafes yapıları, çok düzlem gerektiren hareket kabiliyeti kullanılarak basım işlemi yapılmıştır. 3 boyutlu kafes sistemlerinin tasarımlarını yapabilmek için yeni malzemeler ve takım yolları geliştirilmiştir bu gelişimler 3 boyutlu baskılı parçaları üretmek için mekanik dayanımlarda iyileştirmelere, üretim süresinin kısalmasına ve

filamet kullanım miktarlarında yol açtığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmalardaki örnek görsellere şekil 2.8’de yer verilmiştir (Ishak ve Larochelle., 2017).

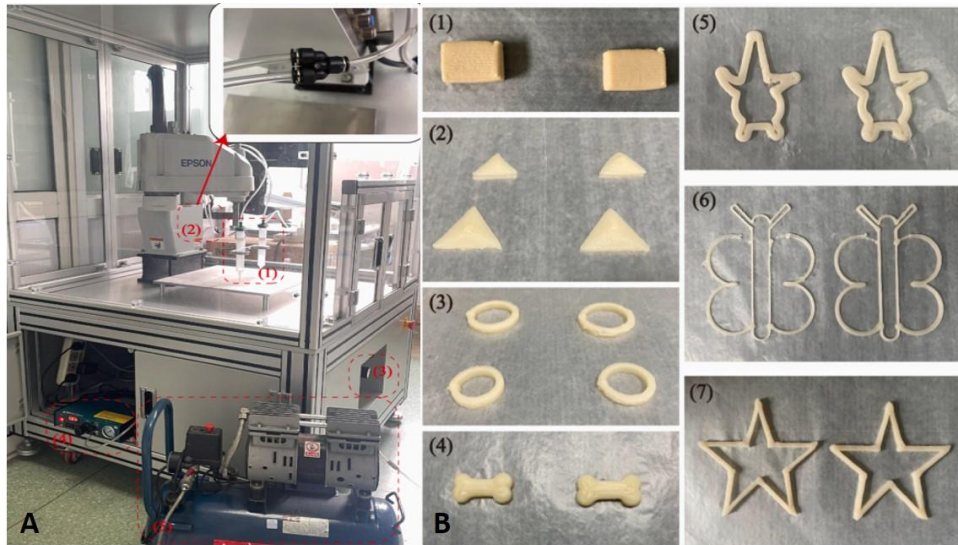


Şekil 2.9. 3B farklı kafes yapılar (Ishak ve Larochelle., 2017)

2.3. Robotlarda 3B Yiyeceklerin Basım İşlemleri

Deniz ürünleri ve et ürünlerine olan ilgi onlarca yıl küresel seviyede artış göstermektedir. Bu artışın çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerini azaltmak için laboratuvarlarda geliştirilen kaslı gıda ürünleri ve bunların analogları için 3B gıda biyobaskı teknolojisinin geliştirilmesinde büyük oranda bir artış sağlanmıştır (Gurel ve ark., 2024).

Gıdaların 3B baskı işlemlerinde son araştırmalara göre mürekkep malzemeleri ön plana çıkmaktadır, yazıcı ekipmanların gelişimde ise sınırlı sayıda araştırmalar vardır. Ayrıca geleneksel gıda 3B yazıcıların geliştirilmesi yüksek maliyet ve düşük üretkenlik yaratacağından bu çalışmada gıda 3B baskısı için ikili ekstrüder geliştirilmiş ve seçici uyumluluk olan montaj robot kolu (SCARA) ekipmanına dayalı bir çift ekstrüder sistem tasarlanıp basım işlemleri yapılmıştır. Bu çalışmalardaki örnek görsellere şekil 2.10’ da yer verilmiştir (Pan ve ark., 2024).



Şekil 2.11. 3B yiyecek basımı: A) basım işlemini gerçekleştiren robot, B) basılmış yiyecekler (Pan ve ark., 2024).

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada 6 eksenli endüstriyel robot kol biyoyazıcıya dönüştürüldükten sonra PDMS ile farklı organ modellerinin basım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler için yapılanlar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

3.1. Robot Kol seçimi

Robotlar yapılacak işlere göre ayrılabilir. Kontrol mekanizmalarına, uygulamalarına, çalışma koşullarına ve işlevsellik hareketlerine göre sınıflara ayrılabilir. Robotlar bu vasıflarına göre iki farklı alanda gösterilebilir (Çakmak 2006).

Endüstriyel robotlar çoğunlukla kullanıldıkları bölgeler, pozisyon hassasiyeti, hareketsetel yetenekleri ve eklemsetel yapılarına göre ayrılırken; mobil robotlar daha fazla büyüklükleri ve yapılacak işlere göre farklılık göstermektedir (Köse, 2023). Bu çalışmada dönüştürülecek robotun biyobasım yapacak olmasından dolayı robotun pozisyonlara hareket hassasiyet oranlarının çok iyi olması ve hareket kabiliyetinin bir insan kadar gelişmiş olması gerekmektedir. Bundan ötürü KUKA KR6900-2 C4SR modeli 6 eksene sahip robot satın alınmıştır. Alınan robotun KUKA resmi internet sitesinden elde edilen teknik özellikleri aşağıda verilmiştir:



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan robotun ana gövdesi

3.1.1. 6 Eksenli Robot Kolun Teknik Verileri

Çizelge 3.1. Robotun teknik verileri

Maksimum erişim mesafesi	901 mm
Maksimum taşıma kapasitesi	6.7 kg
Konumu tekrarlama hassasiyeti (ISO 9283)	$\pm 0,02$ mm
Aks sayısı	6
Bağlantı konumu	Zemin; Tavan; Duvar; herhangi bir açı
Kurulum alanı	208 mm x 208 mm
Ağırlık	yaklaşık 55 kg

Biyoyazıcının basım boyutları çok büyük olmayacağından erişim mesafesi olan 901 mm uygun görülmüştür. Robot sadece şırınga içindeki malzeme ile şırınga tutucunun ağırlığını kaldıracağı için taşıma kapasitesi kg olarak uygunluk değerlerin içinde kalmıştır. Konumu tekrarlama hassasiyeti robot programlandığında maksimum hızla giderken en büyük sapma oranı $\pm 0,02$ mm (%2) uygun değerdir. Buradaki hız düşürüldüğünde sapma oranı da düşmektedir. Sabitlenecek yüzey bir masa olacağından montaj verileri de uygunluk göstermiştir. Kurulum alanı ise masa boyutundan küçük olduğundan dolayı herhangi bir sıkıntı yaratmayacağı ön görülmüştür.

3.1.2. Robot Aks Verileri

Robotlarda bulunan aks sayısı robotun hangi eksenlerde hareket edebileceğini göstermektedir.

Çizelge 3.2. Eksen verileri

Hareket aralığı	
A1	$\pm 170^\circ$
A2	$-190^\circ / 45^\circ$
A3	$-120^\circ / 156^\circ$
A4	$\pm 185^\circ$
A5	$\pm 120^\circ$
A6	$\pm 350^\circ$

3.1.3. İşletim Koşulları

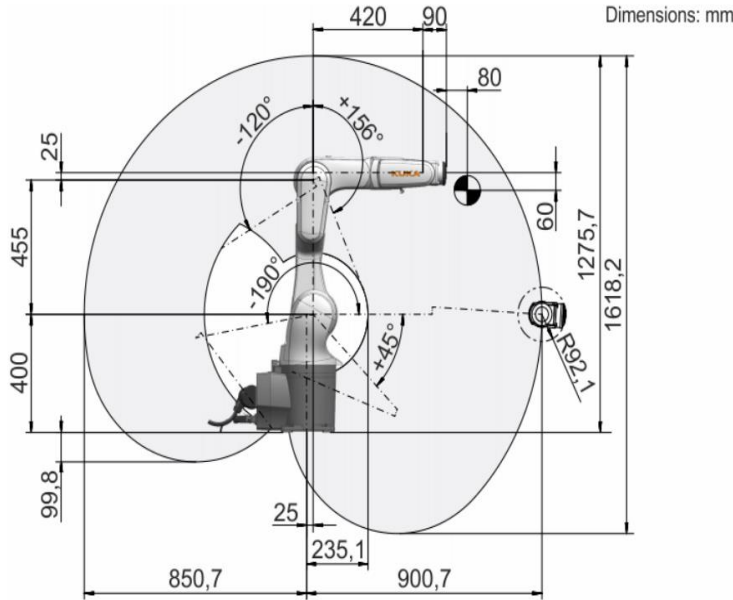
İşletimde ortam sıcaklığı, robotun çalışma ortamında optimum sıcaklık değerlerinin bilgilerini verir. Koruma sınıfı, robotun güvenlik modülündeki değerleri gösterir. Kontrolör sistemi ise robotun programlanmasındaki bütün değerleri ve verileri robota aktaran sistemdir.

Çizelge 3.3. Robotun aksiyon verileri

İşletimde ortam sıcaklığı	0 °C ila 45 °C (273K ila 318K)
Koruma sınıfı (IEC 60529)	IP65 / IP67
Koruma sınıf robot eli (IEC 60529)	IP65 / IP67
Kontrolör sistemi	KR C5 micro; KR C4 smallsize-2 KR C4 compact
ESD gereksinimleri	IEC61340-5-1; ANSI/ESD S20.20
Çevrim süresi	150 dakika başına siklüs (25 mm / 305 mm / 25 mm, 1kg)

3.1.4. Robotun Hareketsel Kinematiği

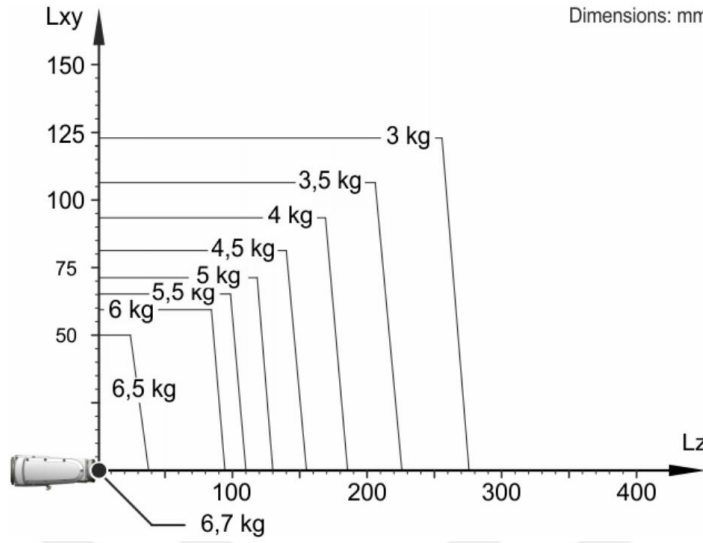
Çizelge 3.4. Robotun erişebileceği maksimum eksen ölçüleri



Çizelge 3.4.'te robotun tüm eksenlerinin maksimum erişebileceği ölçüler verilmiştir. Öte yandan robota eklenip işlem yapacak olan şırınga tutucunun tasarım ve boyutuna göre eksenlerin erişebileceği değerler değişecektir.

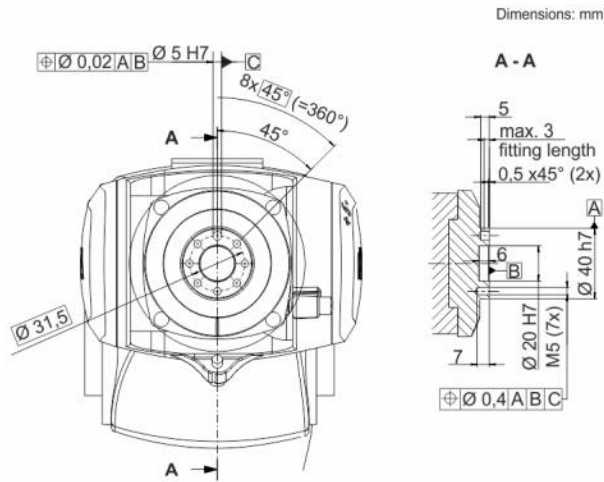
3.1.5. Robot Taşıma Kapasitesi

Çizelge 3.5. Robotun orijin noktasına olan mesafelere göre taşıma kapasiteleri



3.1.6. Robot Flanşının Teknik Ölçüleri

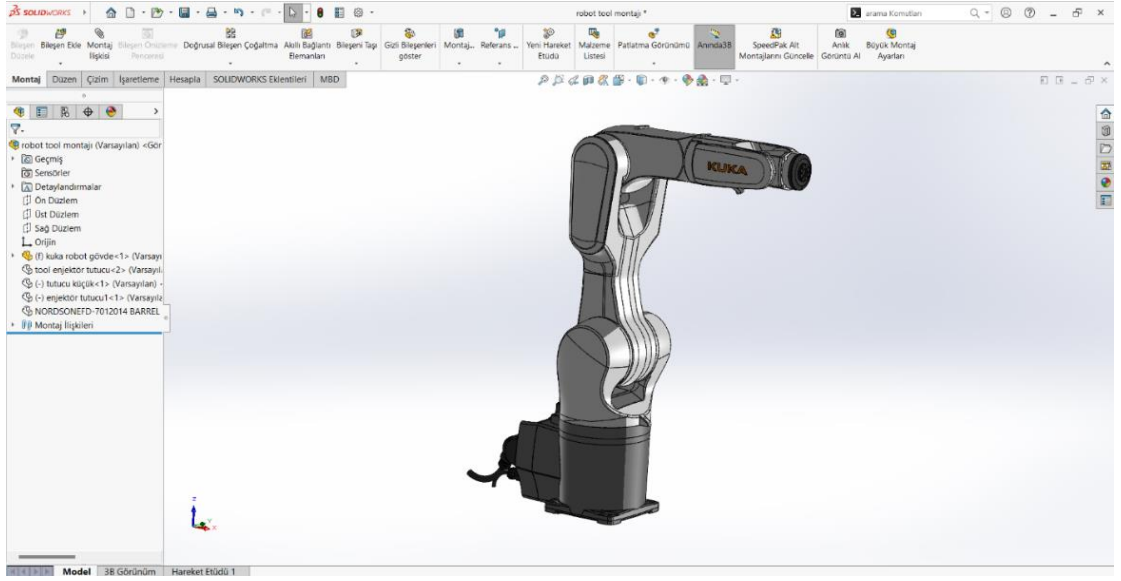
Şırınga tutucu robot flanşına monte edilebilecek şekilde tasarlanıp üretilmektedir.



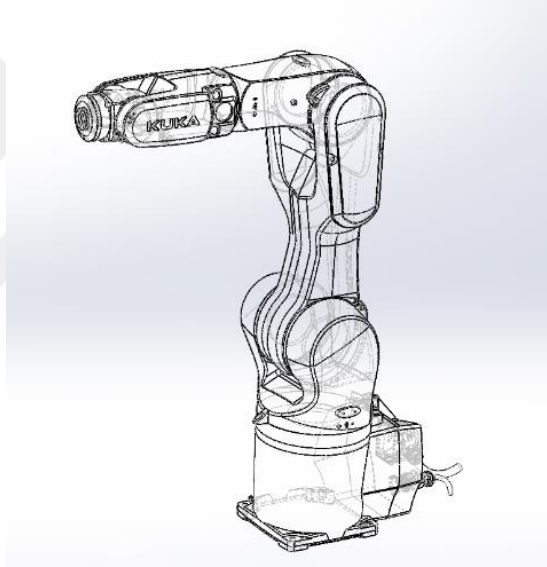
Şekil 3.2. Robot uç flanşının montaj resmi

3.2. Robotun Mekanik Tasarımlarının Oluşturulması

Robot elde edildikten sonra ilk olarak robotun CAD katı modellemeleri SolidWorks programı ile yapılmıştır. Bu işlem ile şırınganın yerleştirileceği tutucu robota uygun bir şekilde tasarlanmıştır.

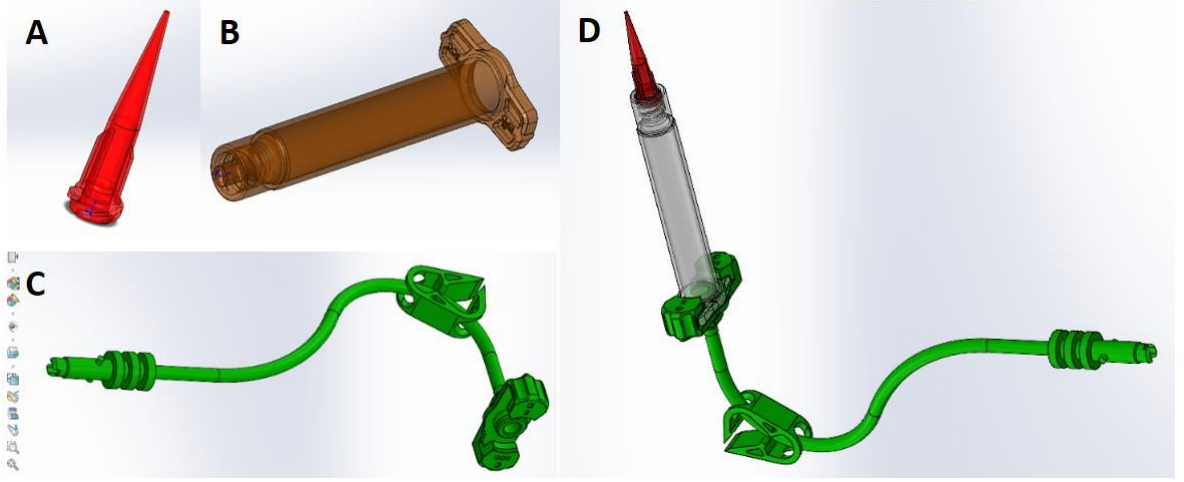


Şekil 3.3. KUKA robot 3B CAD görseli



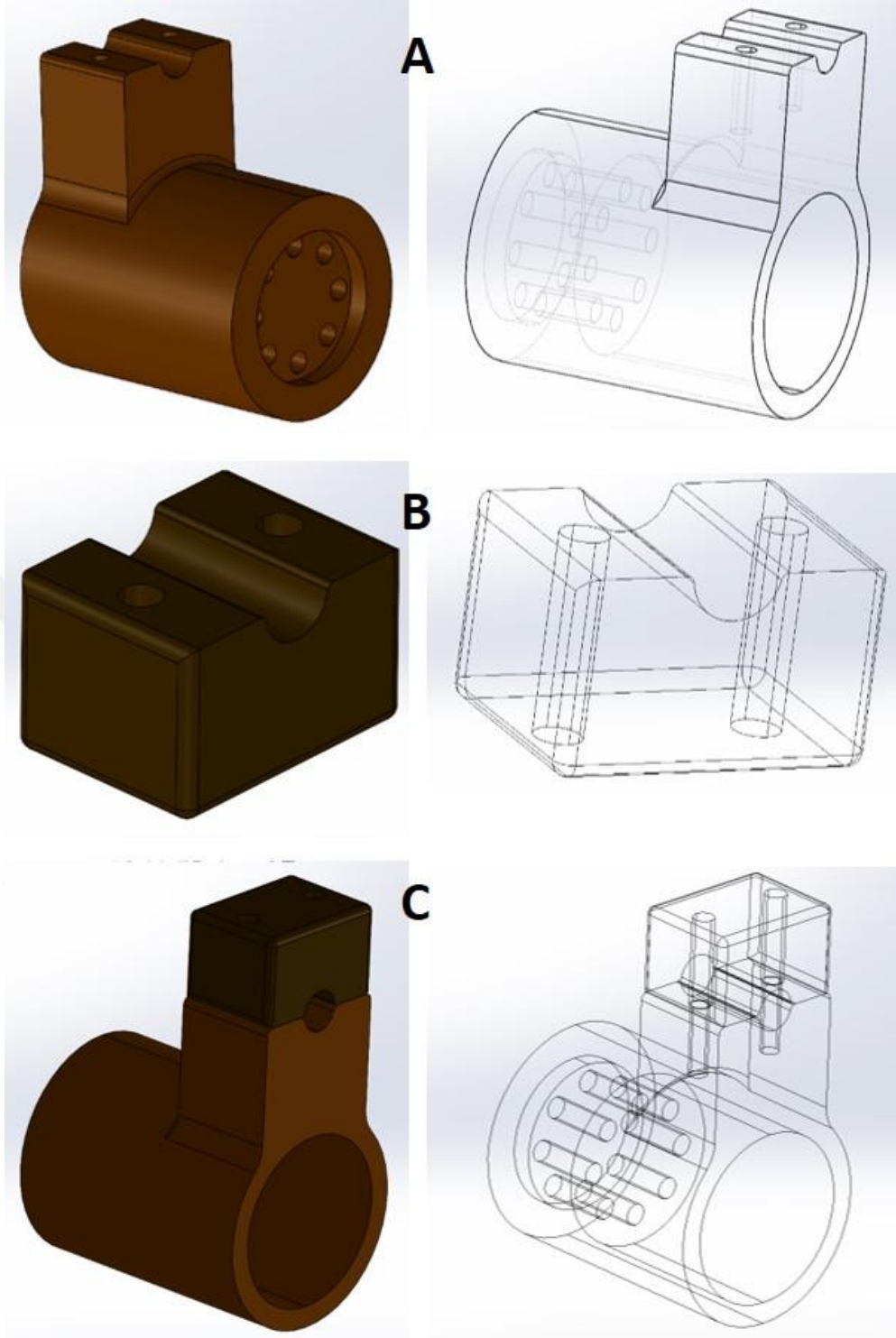
Şekil 3.4. Robot 3B saydam görünüş görseli

Robotun katı modellemesi ve montajı oluşturulduktan sonra basım işleminin yapılacağı malzemenin yükleneceği şırınganın sabitleneceği ve robota entegre edilebilecek bir tutucu tasarımı oluşturulacağından, öncelikle şırınga boyutu ve modeli seçilmiştir. 3 cc'lik bir şırınga ve buna uyacak bağlantı parçalarının ve hortumun tasarımları oluşturulmuştur.



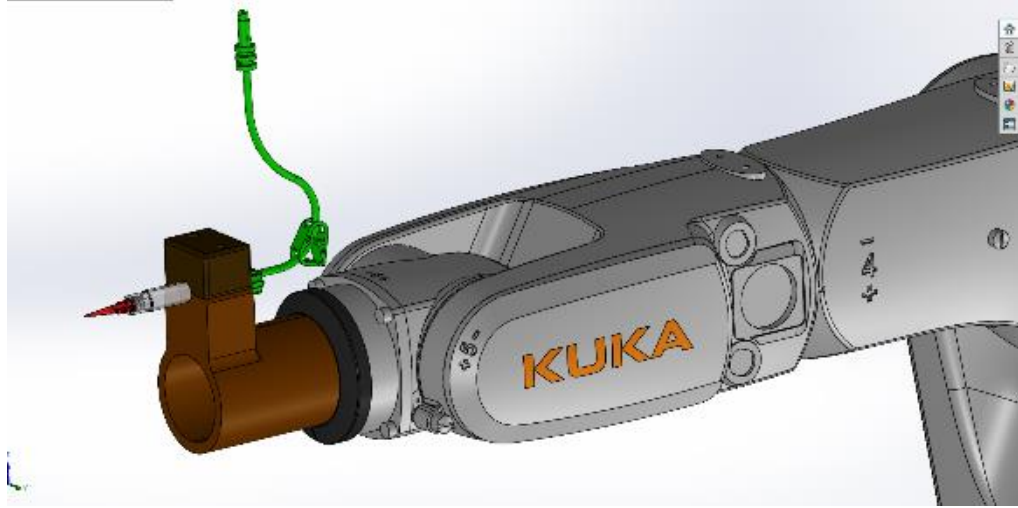
Şekil 3.5. Basım sistemi parçalarının ve montajlarının CAD modelleri: A) nozul, B) 33 cc şırınga, C) hava kanalı, D) parçaların montajlı hali

Bu parçaların tasarımları bittikten sonra robotun uç kısmına şırıngayı takabilmek için portatif bir tutucu tasarımı yapıp, 3B yazıcı ile tutucu parçaları üretildikten sonra robota montajlanmıştır. Detay resimleri aşağıda verilmiştir.



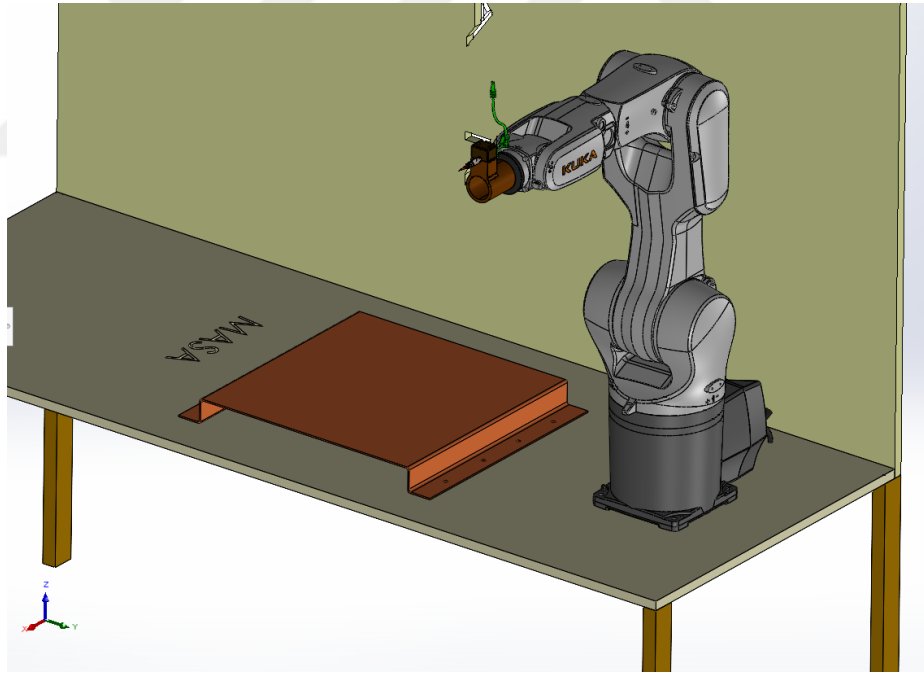
Şekil 3.6. Şırınga tutucu parçaların ve montajlarının CAD modelleri ile saydam görüntüleri: A) tutucu ana gövdesi, B) sıkıştırıcı, C) parçaların montajlı hali

Buradaki parça montajları bittikten sonra robot üzerinde montaj işlemlerine geçilmiştir.



Şekil 3.7. CAD montajı tamamlanan basım sistemi ve şırınga tutucunun robota montaj edilmiş halinin CAD görseli

Diğer bir adım robotun nereye konumlandırılacağı ve basım işleminin hangi parça üstünde ve hangi koordinatlarda yapılacağını belirlemek için robotun bağlandığı masa ve biyobasımın yapılacağı tabla tasarlanmıştır. Daha sonra tasarlanan tabla masa üzerine montajlanmıştır.



Şekil 3.8. Basım işleminin yapılacağı tabla ve robotun masaya montajlanmasının CAD görseli

Tüm CAD tasarım ve montaj işlemleri tamamlandıktan sonra şırıngadaki malzemenin ekstrüzyon ile basılabilmesi için gerekli basınçlı hava ihtiyacını karşılamak amacıyla bir kompresör ve kompresördeki basınçlı havayı yönlendirecek bir selenoid pnömatik valf özellikleri belirlenmiştir. Bunun için laboratuvarda bulunan masa üstü Proter marka elektrikli kompresör ve satın alınan Şekil

3.9.B'deki Festo marka valf kullanılacaktır. Kompresördeki basınçlı havanın robotun arkasında bulunan portlara girişi sağlanacaktır.

Kompresörün tüm teknik dataları aşağıda belirtilmiştir:

Markası: Proter

Hava Tankı kapasitesi: 9 L

Güç: 550 W / 0.75 hp

Basınç: 8 Bar

Voltaj: 220 V, 50 Hz

Hız: 1400 rpm

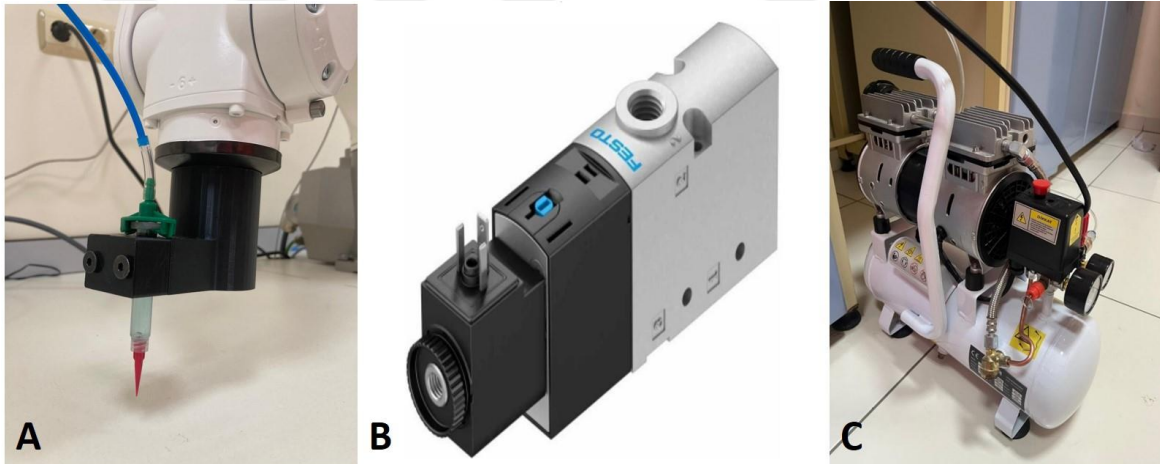
Maksimum çalışma sıcaklığı: 100 °C

Minimum çalışma sıcaklığı: - 10 °C

Ses seviyesi: 66.5 Db

Ağırlık: 15 kg

Basım işlemi sırasında basınçlı havayı verme/kesme işlemini yapacak pnömatrik selenoid valf 8 bar sistem basıncındaki havanın kararlı ve kaçırlmadan doğru şekilde iletebilmesini sağlayacak özelliktedir.



Şekil 3.9. Robotun biyoyazıcıya dönüştürülmesinde kullanılacak parça ve cihazlar: A) Basım sistemi ve şırınga tutucu parçalar, B) Festo 3/2 M5 pnömatrik selenoid valf, C) 8 bar yağsız hava kompresörü

Pnömatrik valf satın alındıktan sonra robota montajı sağlanıp valf çıkışının basım işlemi yapacak olan robotun ucundaki şırıngaya bağlı hortuma girişi sağlanmıştır. Valf girişinin ise robot kolunda bulunan hava çıkış portuna bağlantısı yapılmıştır. Bu pnömatrik valfin robottaki program ile yönlendirilmesi için robotun panosuna elektrik girişi yapılmıştır. Valfin tüm kontrolü Kuka yazılımındaki program ve SprutCAM programı ile sağlanacaktır.

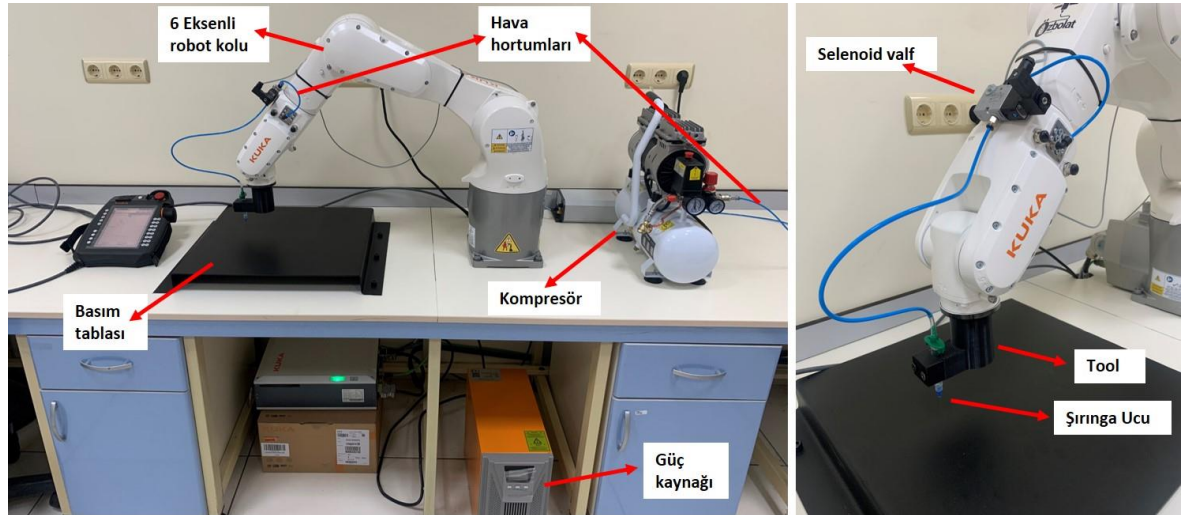
3.3. Robotun Elektriksel Olarak Hazırlanması

Herhangi bir elektrik kesintisinde veya elektrik hattındaki dalgalanmalar sonucunda robotta oluşabilecek arızaların önüne geçmek veya basınç işleminin durmasını engellemek için 3 kVA'lık bir kesintisiz güç kaynağı edinilerek robot ve kompresör bağlanmıştır. Güç kaynağının bir diğer kullanıma sebebi robotun uzun süreli kullanılmadığı durumlarda kartları besleyen pillerin boşalmasının önüne geçmektir.



Şekil 3.10. 3000 VA kesintisiz güç kaynağı

Robotun biyoyazıcıya dönüştürülmesinde kullanılacak tüm parça ve cihazlar üretildikten veya satın alındıktan sonra gerçek montaj aşamasına geçirilerek Şekil 3.11.'deki görüntü elde edilmiştir.

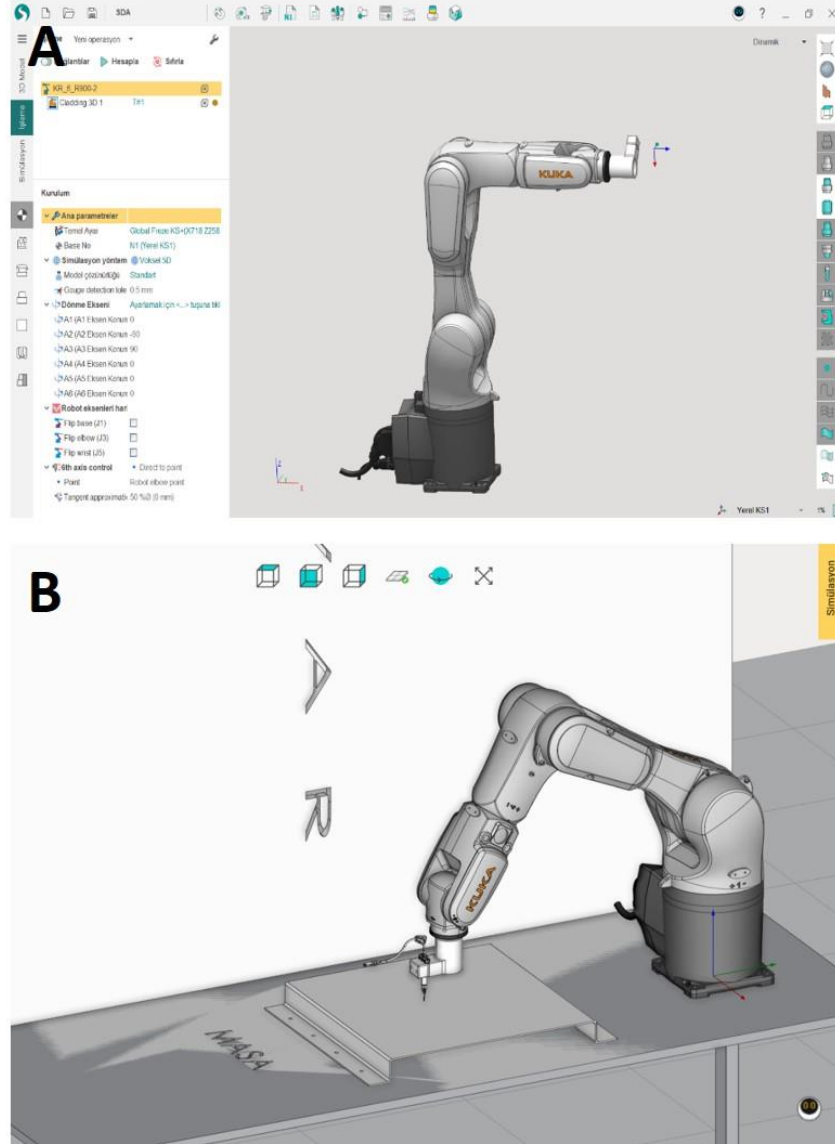


Şekil 3.11. Robot genel montajın gerçek görüntüsü

3.4. Robotun Programsal Olarak Hazırlanması

Laboratuvarda bulunan KUKA marka robot kendi yazılım programı ile programlanabilmektedir fakat bu program sadece verilen noktalar bulutunu takip ederek işlem yapmaktadır. Burada, robotun biyoyazıcı olarak çalıştırılabilmesi için bir modelin tasarlanıp,

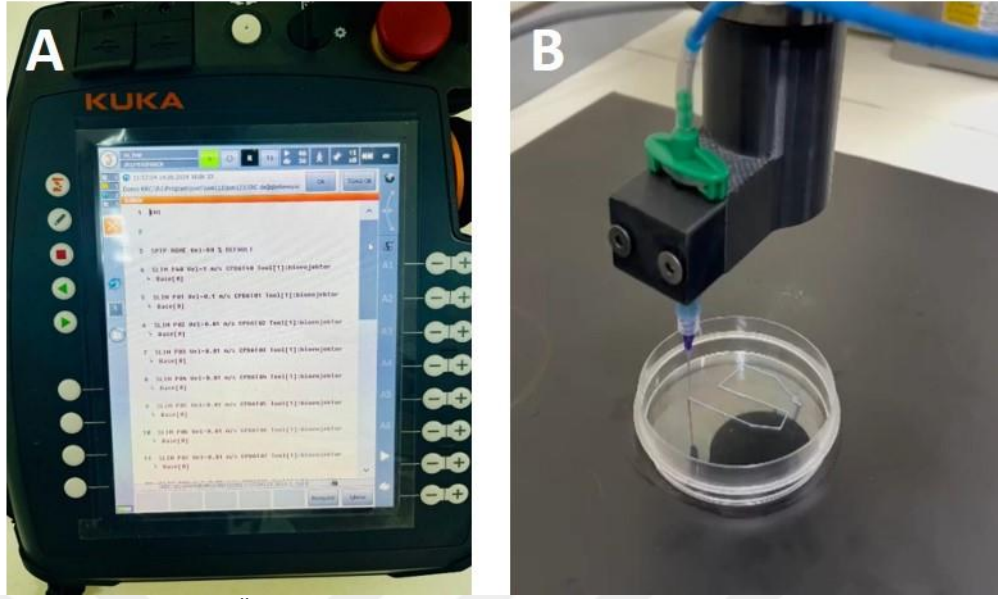
tasarlanan modelin basılacağını robota tanımlamak gerekmektedir. Bunun için bir CAM programına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu programla CAD modeli CAM programına gönderilerek basım işlemi için gerekli program oluşturulacak, böylece robotun bir biyoyazıcı olarak hareket etmesi ve biyobasımın gerçekleştirilmesi sağlanacaktır. Bu dönüşümü sağlamak için SprutCAM programının lisansı alınmış ve tüm çalışmalar bu program üzerinden sağlanmıştır.



Şekil 3.12. A) Robotun CAM programına tanıtılması, B) Robotun pozisyonu ve tüm montaj ilişkilerinin CAM programına tanıtılması

3.4.1. Basılacak Modelin CAM Alma Süreci

Robot montajı tamamen bittikten sonra tutucunun, tablanın ve masanın geometri ve boyutları ile robotun masa üzerindeki konumu SprutCAM programına tanıtılmıştır. Daha sonra, basılacak olan organ modellerinin STL formatı elde edilerek model basım işlemlerine geçilmiştir. Aşağıda örnek bir modelin CAM oluşturma ve robota bu verilerin aktarılması basım sürecine geçilmesini gösteren fotoğraflar bulunmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. (A) Örnek parçanın CAM programı, B) programın basım işlemi

3.5. Basılacak Malzemenin Hazırlanması

Polidimetilsiloksan (PDMS), silikon elastomerler sınıfında yer alan bir polimerdir. Hiperelastik Kontakt lenslerden tıbbi cihazlara kadar biyomedikal alanında geniş bir uygulama alanına sahip olan malzeme araştırma alanı ve hastalıkların davranışları deneylerinde kullanılabilen (Rodrigues ve ark., 2016) bu nedenle PDMS'yi daha çok paha biçilmez bir ürün olarak gören birçok araştırmacının dikkatlerini çekmeyi başarmıştır. Bu malzeme mikroakışkanlar alanında çok üst seviyelerde yer almaktadır sebebi ise yumuşak litografi ile şekil alması çok kolaydır, optik düzeyinde şeffaftır, gazları geçirebilme özelliği vardır ve deneylerin birçoğunda kullanılacak kadar fiyatı uygundur bu özellikler PDMS'yi mikroakışkan cihazlarında hızlı üretim için mükemmel bir aracı olarak kabul edilebilir (Mukhopadhyay, 2007). Özbolat ve ark., (2018) yaptığı çalışmada PDMS'nin 3B basmanın mekanik özellik ve hücre yapışması anlamında döküm işlemine göre daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

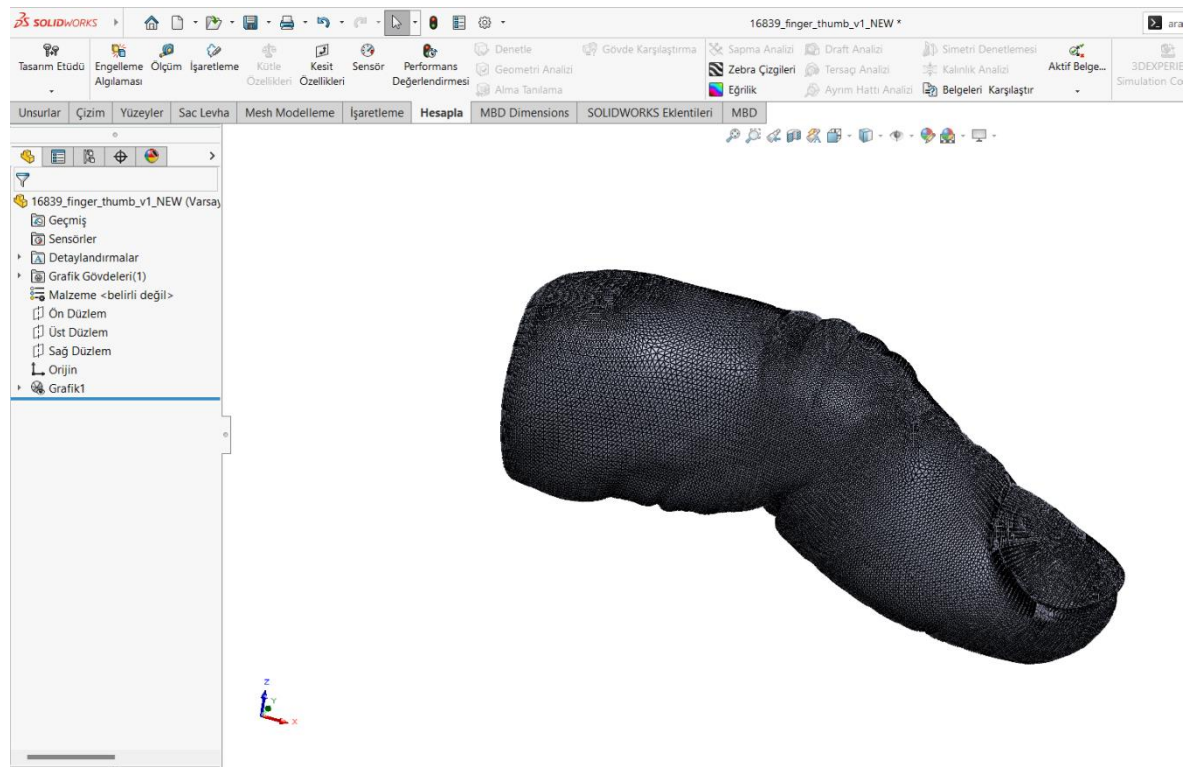
Bu çalışmada Slygard 184 ve SE 280 malzemeleri 1:10 ve 1:5 (a:a) oranlarında karıştırılarak 3cc'lik şırıngaya yüklenmiş ve basıma hazır hale gelmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Robotun biyoyazıcıya dönüştürülmesinden sonra organ modellerinin basım işlemleri gerçekleştirilmiştir.

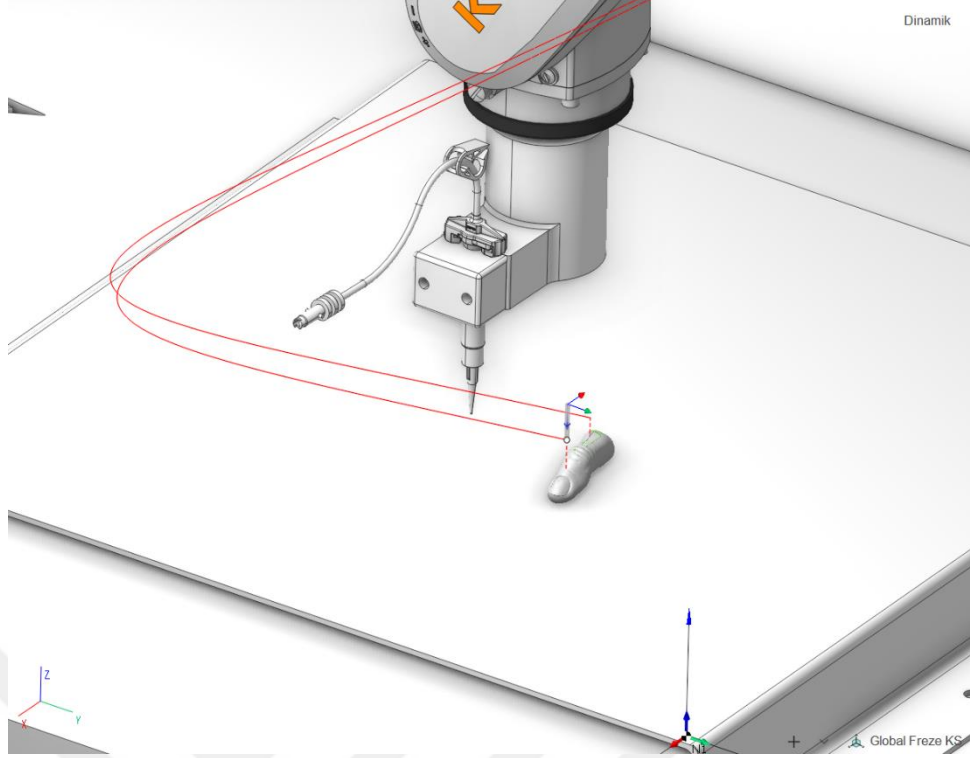
4.1. Organ Modellerinin CAD ve CAM Uygulamaları

Basım işlemi için insan parmağı ve kulağı modellerinin basım işlemine uygun formata getirilmesi işlemleri yapılmıştır. Burada, modelin görüntü kalitesi düşük olduğu gözlemlenip SolidWorks programında mesh yoğunluğu artırılmıştır (Şekil 4.1).



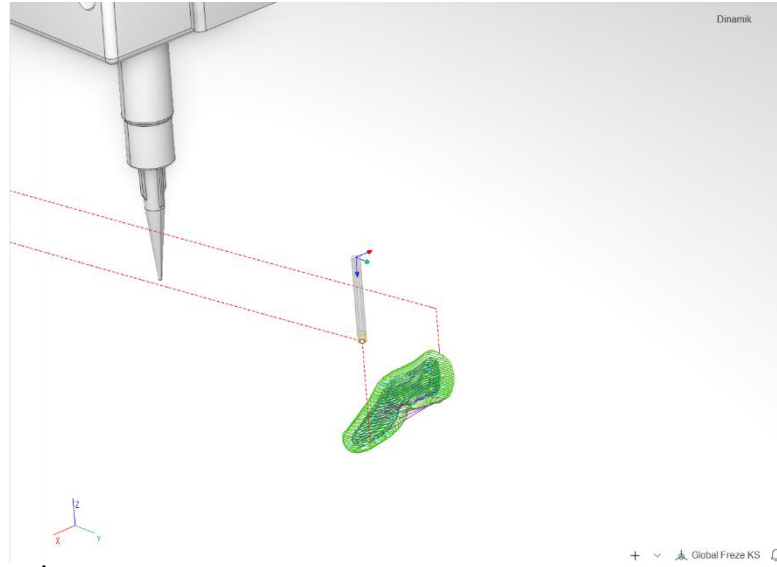
Şekil 4.1. Mesh yoğunluğu artırılmış insan parmağı 3B CAD modellemesi (2024,08,01)

İnsan parmağı modeli OBJ dosya formatında indirilerek SolidWorks programında STL formatına dönüştürülüp mesh yoğunluğu artırılmıştır. Mesh yoğunluğu artırılarak yüzey kalitesi iyileştirilmiştir. Bu işlem basım kalitesini artırmak amacıyla yapılmıştır.



Şekil 4.2. İnsan parmağı 3B modelinin CAM programının alınması

Katı modeli oluşturulmuş insan parmağının CAM programı oluşturulup robota tanıtılmıştır (Şekil 4.2). Ayrıca, robotun işleme simülasyonları çalıştırılarak hız oranları belirlenmiştir. Basım aşamasında, robotun hıza göre hareket pozisyonları da ayarlanıp CAM datası alınmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. İnsan parmağı modelinin basım işleminde takım yolunun oluşturulması

Modelin CAM alma süreçlerinde en son aşama program çıktısının alınmasıdır. Bu aşamada çıktılar alınırken modelin boyutuna göre program fazlaca uzun sürmekte ve basım işleminde tek şırınga kullanmayı hedeflediğimiz için modelin ölçeklendirilmesi 10'da 2 boyutunda küçültülerek

programın çalışma süresi düşürülmüştür. Bu işlem sonucunda parmak basım programı 10230 adet adımdan oluşmuştur.

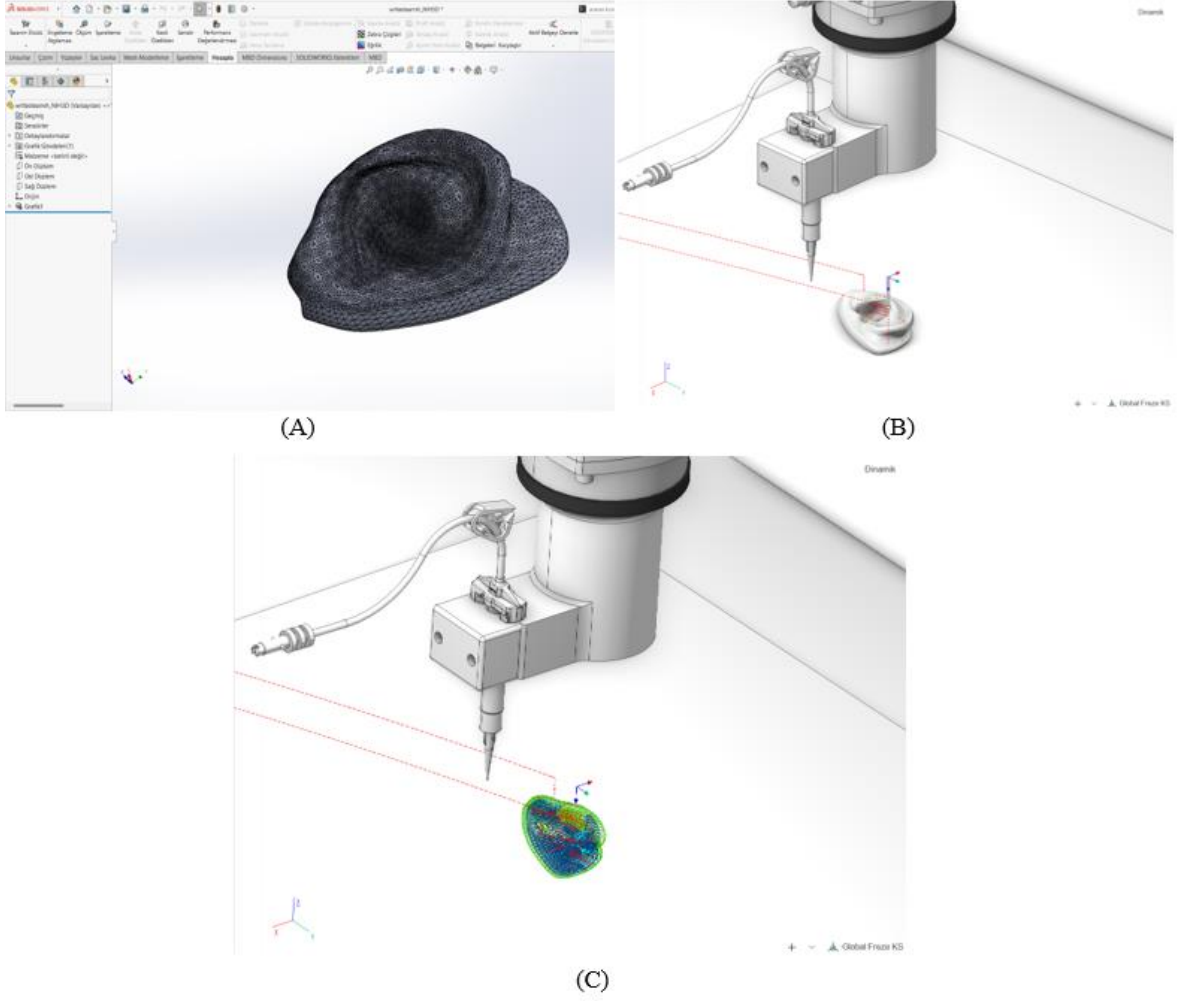
```

1  DEF PRMKBSMDNM()
2  GLOBAL INTERRUPT DECL 3 WHEN $STOPMESS==TRUE DO IR_STOPM ( )
3  INTERRUPT ON 3
4  BAS (#INITMOV,0)
5  $CIRC.TYPE = #BASE
6  BAS (#VEL_PTP,10)
7  BAS (#ACC_PTP,10)
8  $APO.CDIS = 0.000
9
10 $BASE=BASE_DATA[1]
11 ;$BASE={X 230, Y -417, Z 53, A 0, B 0, C 0}
12 $ACT_BASE=1
13 $TOOL=TOOL_DATA[1]
14 ;$TOOL={X -39.23, Y 42.98, Z 148.96, A 0, B 0, C 0}
15 $ACT_TOOL=1
16
17 $advance=5
18 $VEL_CP=0.167
19 PTP {A1 82.577, A2 -38.468, A3 102.148, A4 0.000, A5 26.320, A6 81.330, E1 0, E2 0, E3 0, E4 0, E5 0, E6 0}
20 LIN {X -113.638, Y -125.817, Z 25.709, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
21 LIN {X -113.638, Y -125.817, Z 2.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
22 $VEL_CP=0.1
23 LIN {X -113.638, Y -125.817, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
24 LIN {X -113.635, Y -125.816, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
25 LIN {X -113.635, Y -125.742, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
26 LIN {X -113.614, Y -125.595, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
27 LIN {X -113.571, Y -125.453, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
28 LIN {X -113.508, Y -125.318, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
29 LIN {X -113.426, Y -125.194, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
30 LIN {X -113.326, Y -125.084, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
31 LIN {X -113.211, Y -124.99, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
32 LIN {X -113.083, Y -124.914, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
33 LIN {X -113.015, Y -124.885, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
34 LIN {X -112.884, Y -124.841, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
35 LIN {X -112.621, Y -124.761, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
36 LIN {X -112.356, Y -124.69, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
37 LIN {X -112.088, Y -124.627, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
38 LIN {X -111.953, Y -124.599, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
39 LIN {X -111.856, Y -124.575, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
40 LIN {X -111.658, Y -124.542, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
41 LIN {X -111.458, Y -124.527, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
42 LIN {X -111.257, Y -124.529, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
43 LIN {X -111.157, Y -124.539, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
44 TTM {Y -110.984, Y -124.567, Z 0.846, A 178.753, B 0, C 180} C_vel

```

Şekil 4.4. Parmak modeli basımı için oluşturulan CAM program çıktısı

Diğer basım işlemi yapılacak organ modeli olan insan kulağı için yine parmak basım işlemlerinde gerçekleştirilen tüm aşamalar yapılmıştır. 3B insan kulağı modeli Amerikan Sağlık Enstitüsü'nden (NIH) OBJ formatında alınarak SolidWorks programında STL formatına çevrilmiştir. Yüzey kalitesini artırmak amacıyla modelin mesh yoğunluğu artırılmış ve CAM programına atılarak robota tanıtılmıştır. CAM programı alınırken robotun basım hızı ve hareket pozisyonları oluşturularak başlangıç ve bitiş noktaları belirlenmiş ve CAM programında simülasyonları çalıştırılarak hız oranları belirlenmiştir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra programın çıktısı alınarak robota entegre edilmiştir. Tüm bu aşamaları oluşturan görseller Şekil 4.5'te sunulmuştur.



Şekil 4.5. İnsan kulak modelinin oluşturulma aşamaları. (A) Mesh yoğunluğu arttırılmış insan parmağı 3B CAD modellemesi, (B) İnsan kulağının 3B modelinin CAM programının alınması, (C) İnsan kulak modelinin basım işleminde takım yolunun oluşturulması.

Modelin CAM alma süreçleri tamamlandıktan sonra program çıktısı yani post alma işlemi yapılmıştır. Burada gözlemlenen en önemli kriter robotun basım aşamasındaki hız ve hareket pozisyonları olmuştur. Bundan dolayı robotun hız ve hareket sınırlamaları göz önünde bulundurularak program çıktısı alınmıştır. Bu işlemler sonucunda kulak basım programı 5258 adet adımdan oluşturulmuştur. Program çıktısını gösteren görsel Şekil 4.6’da sunulmuştur.

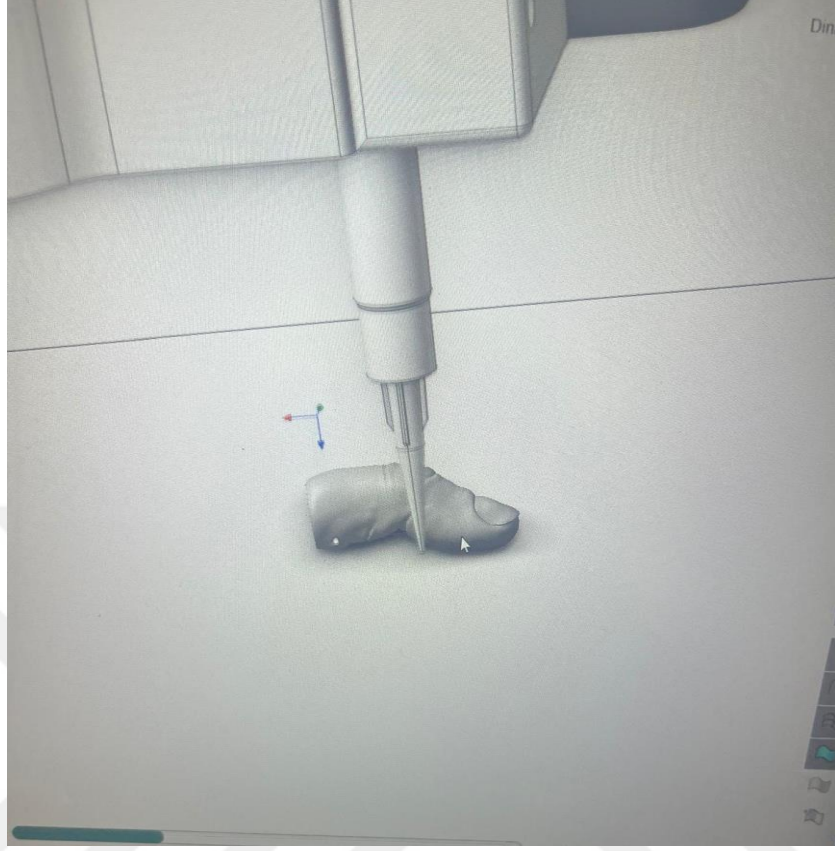
```
C:\Users\fatih\OneDrive\Masaüstü\kulak 3d basım_stc\klksmm.src - Notepad++
Dosya Düzen Ara Görünüm Kodlama Diller Ayarlar Araçlar Makrolar Çalıştır Eklentiler Pencerele ?
klksmm.src
1 DEF KLKSMM()
2 GLOBAL INTERRUPT DECL 3 WHEN $STOPMESS==TRUE DO IR_STOP ( )
3 INTERRUPT ON 3
4 BAS (#INITMOV,0)
5 $CIRC_TYPE = #BASE
6 BAS (#VEL_PTP,10)
7 BAS (#ACC_PTP,10)
8 $APO.CDIS = 0.000
9
10 $BASE=BASE_DATA[1]
11 $BASE=[X 230, Y -417, Z 53, A 0, B 0, C 0]
12 $ACT_BASE=1
13 $TOOL=TOOL_DATA[1]
14 $TOOL=[X -39.23, Y 42.98, Z 148.96, A 0, B 0, C 0]
15 $ACT_TOOL=1
16
17 $advance=5
18 $VEL.CP=0.5
19 PTP [A1 84.581, A2 -39.390, A3 106.539, A4 0.000, A5 22.851, A6 83.334, E1 0, E2 0, E3 0, E4 0, E5 0, E6 0]
20 LIN [X -136.699, Y -101.152, Z 19.454, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
21 LIN [X -136.699, Y -101.152, Z 2.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
22 $VEL.CP=0.1
23 LIN [X -136.699, Y -101.152, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
24 LIN [X -136.697, Y -101.151, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
25 LIN [X -136.722, Y -101.099, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
26 LIN [X -136.76, Y -100.99, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
27 LIN [X -136.785, Y -100.877, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
28 LIN [X -136.797, Y -100.762, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
29 LIN [X -136.796, Y -100.646, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
30 LIN [X -136.781, Y -100.532, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
31 LIN [X -136.753, Y -100.419, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
32 LIN [X -136.713, Y -100.311, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
33 LIN [X -136.66, Y -100.208, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
34 LIN [X -136.596, Y -100.112, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
35 LIN [X -136.521, Y -100.023, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
36 LIN [X -136.437, Y -99.944, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
37 LIN [X -136.344, Y -99.875, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
38 LIN [X -136.244, Y -99.818, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
39 LIN [X -136.138, Y -99.772, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
40 LIN [X -136.027, Y -99.738, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
41 LIN [X -135.97, Y -99.728, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
42 LIN [X -135.853, Y -99.714, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
43 LIN [X -135.618, Y -99.693, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
44 LIN [X -135.283, Y -99.68, Z 0.5, A 178.753, B 0, C 180] C_vel
length : 339.513 lines : 5.259 Ln : 1 Col : 1 Pos : 1
```

Şekil 4.6. Kulak modeli basımı için oluşturulan CAM program çıktısı

4.2. Organ Modellerinin Basılması

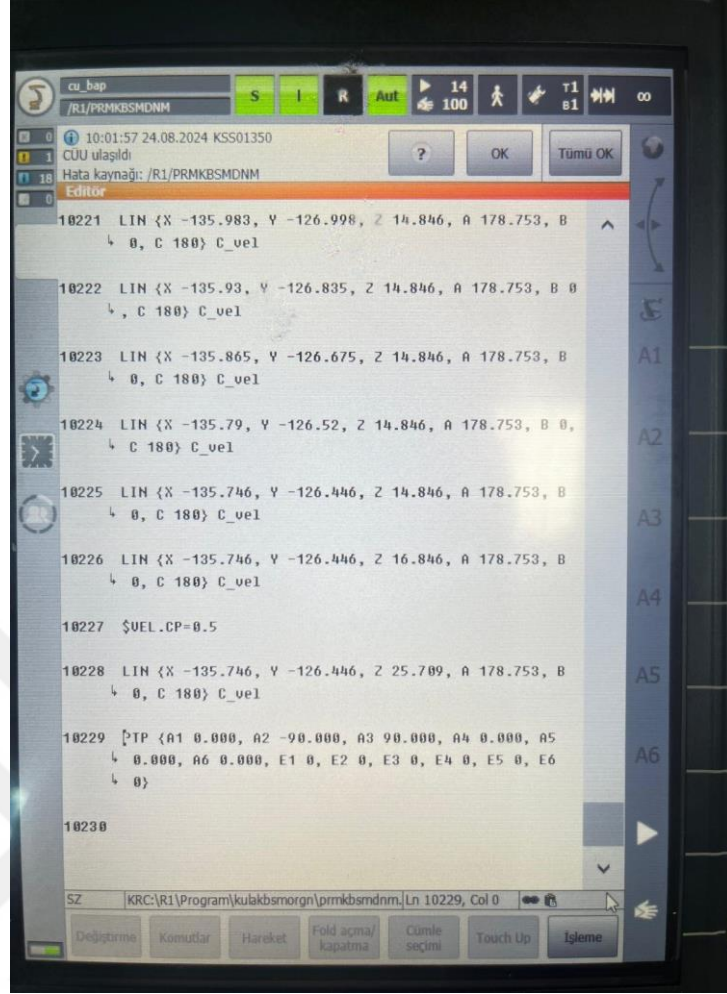
Biyoyazıcıya dönüştürülmüş robot ve basılacak malzeme basım işlemine hazır hale getirildikten sonra parmak modelinin CAM programı robota kaydedilerek test basımı yapılmıştır. Test basımları esnasında uygun olan basım hızı ve hava basıncı ayarlamaları yapılmıştır. Kompresörün hava basıncı ve basım hızı belirlendikten sonra organ modellerinin basım işlemi gerçekleştirilmiştir. Basım işlemi aşama aşama verilmiştir.

4.2.1. Parmak Modelinin Basım İşlemleri



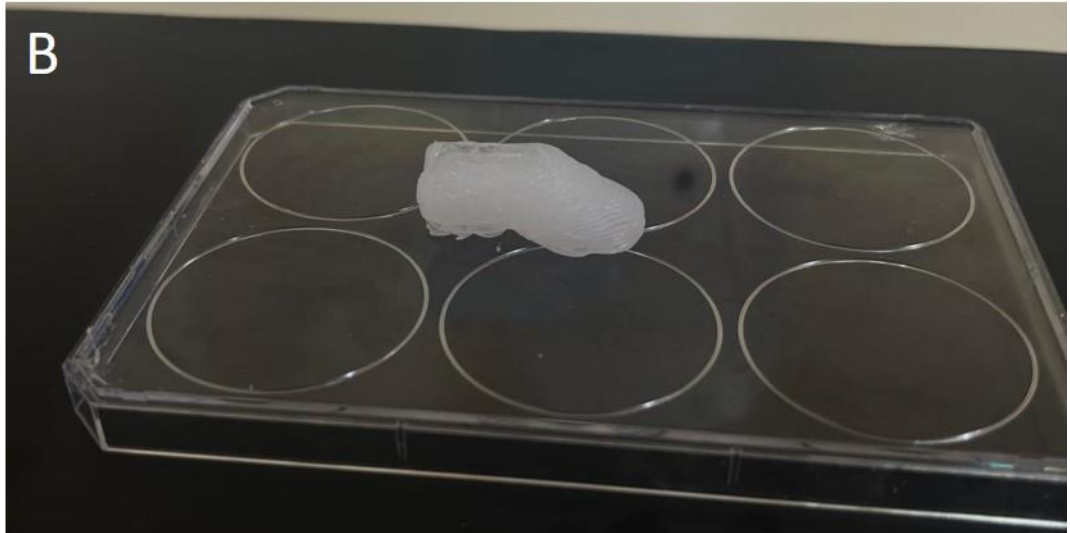
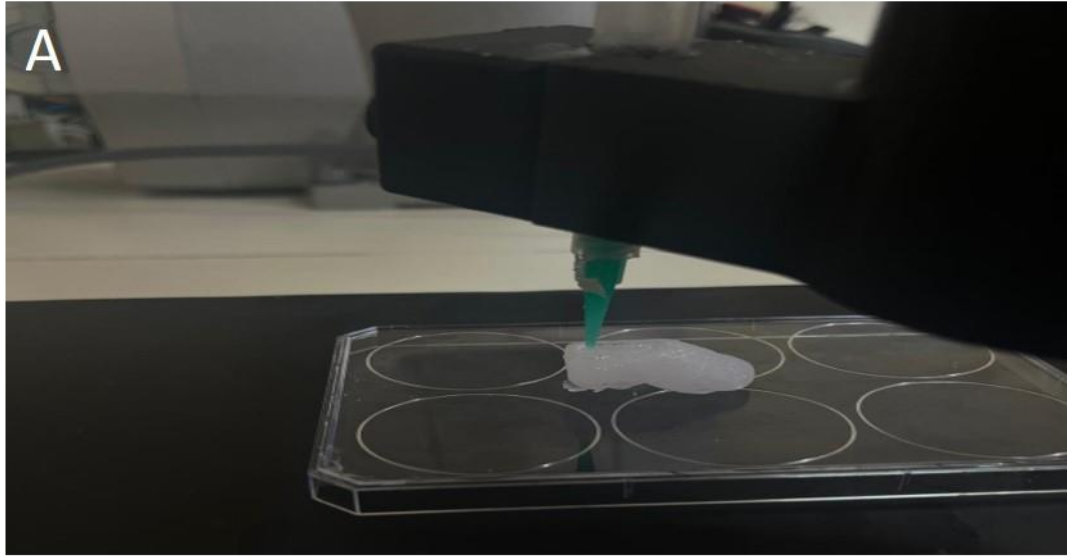
Şekil 4.7. Parmak modelinin CAM program görseli

CAM programındaki simülasyonda parmak modelinin tabla üzerinde hangi koordinat noktalarında basım işlemini yapacağı, modelin X, Y ve Z eksenlerindeki açıları, basım süresi ve hareket pozisyonları gözlemlenmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.8. CAM programının robota kaydedilmesi ve çalıştırılması

SprutCam programından önce CAM programın çıktısı alınarak robota kaydedildikten sonra 10230 adet satırdan oluşan çıktı robottaki çıktıyla kıyaslanmış ve doğru olduğu gözlemlendikten sonra robot %10 hızda ve basım hızı 6000 mm/dk olacak şekilde çalıştırılmıştır. Bu da basım hızının 600 mm/dk olarak basımın gerçekleştiği anlamına gelmektedir. Basım işlemi için hava basıncı 1.5 bar (150000 Pa) olarak ayarlanmıştır. Bu parametreler ile basım işlemi gerçekleştirilmiştir. Basım esnasındaki ve basım sonundaki görseller sırasıyla Şekil 4.9A ve 4.9B’de verilmiştir.

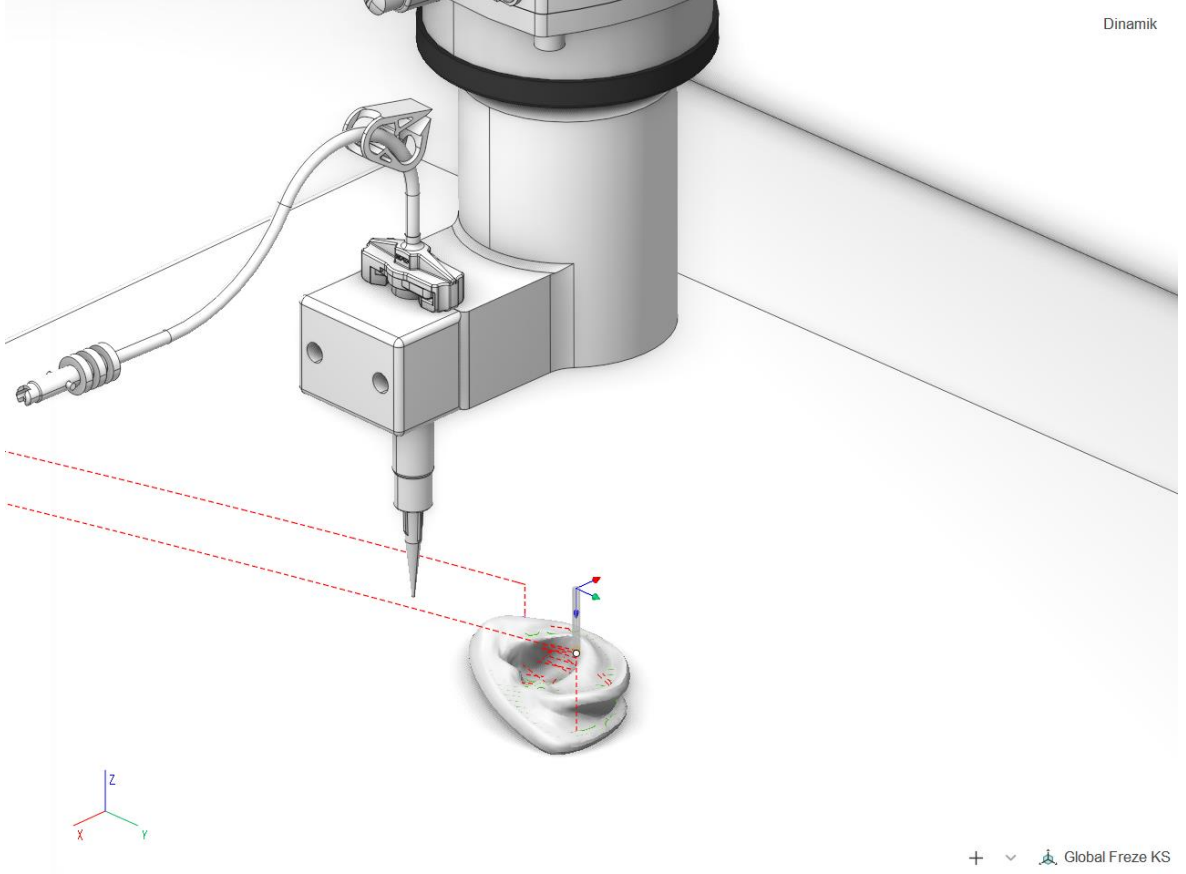


Şekil 4.9. (A) Parmak modelinin basım işlemi sırasındaki görüntüsü, (B) parmak modelinin basılmış hali görüntüsü

Basım işlemi bittikten sonra modeldeki katmanlar gözle incelenmiş ve robotun basım işlemini düzgün bir şekilde yerine getirdiği anlaşılmıştır. Daha sonra basılan modelin CAD modeliyle uyuşup uyuşmadığı ölçüsel olarak kontrol edilmiştir.

4.2.2. Kulak modelinin basım işlemleri

Parmak modelinin basımı tamamlandıktan sonra kulak basım işlemlerine geçilmiştir. Öncelikle, CAM programında kulak modelinin tabla üzerinde basım işlemi yapacağı koordinat noktaları, modelin X, Y ve Z eksenlerindeki açıları, basım süresi ve hareket pozisyonları belirlenmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Kulak modelinin CAM program görseli

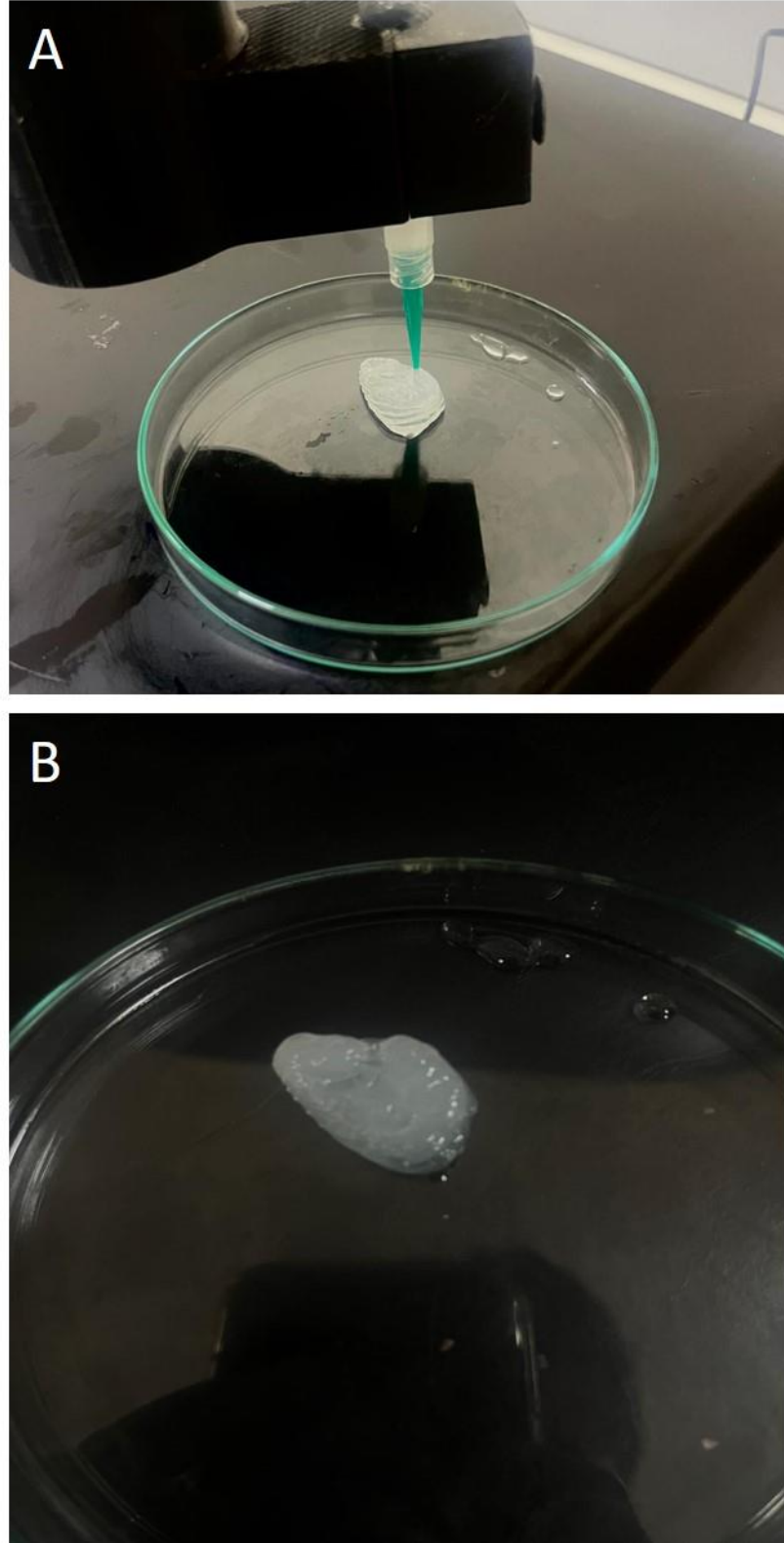
Bu aşamada kulak modelinin basım yapılacak olan tabla üzerindeki konumu belirlenmiştir. Robotun basım hızı ve hareket pozisyonları programda simülasyon yapılarak gözlemlenmiştir. Daha sonra programın çıktısı yani post alınmıştır (Şekil 4.11).

```
C:\Users\fatih\OneDrive\Masaüstü\kulak 3d basım_stc\kikbsmm.src - Notepad++
Dosya Düzen Ara Görünüm Kodlama Diller Ayarlar Araçlar Makrolar Çalıştır Eklentiler Pencerele ?
kikbsmm.src
5217 LIN {X -141.307, Y -123.383, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5218 LIN {X -141.457, Y -123.411, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5219 LIN {X -141.534, Y -123.414, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5220 LIN {X -141.622, Y -123.411, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5221 LIN {X -141.796, Y -123.389, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5222 LIN {X -141.968, Y -123.35, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5223 LIN {X -142.136, Y -123.296, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5224 LIN {X -142.217, Y -123.262, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5225 LIN {X -142.696, Y -123.15, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5226 LIN {X -142.787, Y -123.121, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5227 LIN {X -142.875, Y -123.083, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5228 LIN {X -142.958, Y -123.036, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5229 LIN {X -142.997, Y -123.008, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5230 LIN {X -143.044, Y -122.972, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5231 LIN {X -143.134, Y -122.892, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5232 LIN {X -143.218, Y -122.807, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5233 LIN {X -143.297, Y -122.717, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5234 LIN {X -143.333, Y -122.67, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5235 LIN {X -143.378, Y -122.604, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5236 LIN {X -143.462, Y -122.468, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5237 LIN {X -143.54, Y -122.328, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5238 LIN {X -143.611, Y -122.185, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5239 LIN {X -143.643, Y -122.111, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5240 LIN {X -144.086, Y -121.004, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5241 LIN {X -144.162, Y -120.756, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5242 LIN {X -144.328, Y -120.263, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5243 LIN {X -144.509, Y -119.776, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5244 LIN {X -144.704, Y -119.294, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5245 LIN {X -144.809, Y -119.056, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5246 LIN {X -144.895, Y -118.898, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5247 LIN {X -145.092, Y -118.595, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5248 LIN {X -145.201, Y -118.451, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5249 LIN {X -145.257, Y -118.397, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5250 LIN {X -145.352, Y -118.272, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5251 LIN {X -145.425, Y -118.134, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5252 LIN {X -145.477, Y -117.987, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5253 LIN {X -145.491, Y -117.91, Z 8, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5254 LIN {X -145.491, Y -117.91, Z 10, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5255 $VEL.CP=0.5
5256 LIN {X -145.491, Y -117.91, Z 19.454, A 178.753, B 0, C 180} C_vel
5257 PTP {A1 0.000, A2 -90.000, A3 90.000, A4 0.000, A5 0.000, A6 0.000, E1 0, E2 0, E3 0, E4 0, E5 0, E6 0}
5258 END
5259
```

ESCRIP file length : 339,513 lines : 5,259

Şekil 4.11. Kulak modelinin CAM programının robota gönderilmesi

5258 adımdan oluşan CAM programı robota kaydedildikten sonra test basımı yapılarak programın doğru çalıştığı ve simülasyonda verilen tüm verilerin doğru olduğu kontrol edilmiştir. Robota simülasyonda verilen hız değeri, başlangıç konumundaki pozisyon değeri, bitiş noktasındaki geri kaçma hızı ve pozisyonu gibi birçok değer kontrol edilmiştir. Bu gözlem sonucunda robot çalışır konumda basıma başlatılmıştır. Basım anındaki ve basım sonrasındaki görseller sırasıyla Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. (A) Kulak modelinin basım işlemi sırasındaki görüntüsü, (B) kulak modelinin basılmış hali görüntüsü

Budde ve ark., 2022'ye göre 6 eksene sahip ekstrüzyon tabanlı biyoyazıcıya dönüştürülecek robot kol seçiminde robot kolun pozisyon tekrarlanabilirlik hassasiyeti 0,2 mm olarak seçilmiş ve ekstrüzyon tabanlı biyoyazıcıya dönüşümünde herhangi bir hatalı

ürün elde edilmediği görülmüştür. Öte yandan, robottaki pozisyona ulaşma hassasiyet oranı artıkça model ile basılmış model arasında fark edilebilecek boyutta ölçüsel sapmalar gözlemlenmiştir. Bahsedilen çalışmada basılmış modelin basılmak istenilen haline göre her ekseninde 0,2 mm saptığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada ise ekstrüzyon tabanlı robot kol basım işleminde robotun pozisyon tekrarlanabilirlik hassasiyeti 0,02 mm olarak seçilmiştir. Bu oranın çok düşük olması sonucunda basılmış organ modeli ile tasarım arasındaki fark en fazla 0,02 mm olarak gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, Budde ve ark., 2022’de yapılan çalışmaya kıyasla basım işlemindeki hatanın 10 kat daha az olduğunu göstermektedir. Buradaki kıyas ile ölçüsel olarak hatasız bir basım işleminde dikkat edilmesi gereken en önemli özelliğin pozisyonlara ulaşma anındaki sapma toleransı olduğu gözlemlenmiştir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Robotların, gelecekte kullanılacak en önemli teknolojilerden biri olması beklenmektedir. Robotların insanlarla birlikte çalışmaları, bunun yanı sıra insanlardan daha hızlı, kararlı ve doğru sonuçlar verebilmesi ön görülmektedir. Tıp alanında robotların kullanımı ile hastaların tedavi süreçlerinin kısılacağı, sağlık çalışanlarına destek olunacağı ve yeni bir bakış açısına yol göstereceği bilinmektedir. Birçok farklı alanda insanlar ile birlikte çalışmakta olan robotların gelecekte insanların yerine bu işlerin tamamını yapabileceği düşünceleri uzak değildir. Öte yandan, son yıllarda kullanımı giderek artan biyoyazıcılar ile sağlık alanında genel üretim teknikleri geliştirilmiştir. CAD çizimlerinin sanal programlar ile verilerin aktarılmasıyla 3B modellerin katman katman basılıp üretilmesiyle oluşturulan, hassas ve hızlıca prototipleme işlemine dayanan bu çalışmalar gelecek dönemlerde fonksiyonlarını yerine getirebilecek karmaşık dokular ve organların laboratuvar ortamlarında üretilebilip naklinin yapılabilmesini sağlayacaktır. Yapılan her yeni araştırma, bizleri gerçek insan organlarının veya uzuvlarının biyoyazıcılar ile birlikte hızlı bir şekilde basılması ve sonrasında hasta insanlara naklinin yapılması sürecine bir adım daha yaklaştırmaktadır. İşlevlerini yitirmiş organ veya dokuların tekrardan kazanımını amaçlayan doku mühendisliği yaklaşımı, eskiden gelen geleneksel çalışmalardaki kısıtlamaları, gen tedavileri ve biyoyazıcıların sağlamakta olduğu yüksek avantajlar ile bu algıları ve eski teknikleri yıkmaya çalışmaktadır. 3B biyoyazıcı teknolojileri ile organ ve doku üretimlerinin yapılarak bunların nakil işlemlerinin başarıyla gerçekleştirilmesine başlandığı anda sağlık alanında yepyeni bir çağın başlayacağına kesin bir gözle bakılmaktadır.



KAYNAKÇA

- Acar M., (2007). İki Ayaklı Yürüme Hareketinin Modellemesi ve Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ak, D. (2018). Endüstri 4.0'ın çalışma ilişkileri sürecine etkileri üzerine bir inceleme.
- Akyol S. ve Alataş B., (2012). Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları, c:1, ss:36–50.
- Albouy, M., Desanlis, A., Brosset, S., Auxenfans, C., Courtial, E. J., Eli, K., ... & Marquette, C. A. (2022). A preliminary study for an intraoperative 3D bioprinting treatment of severe burn injuries. *Plastic and Reconstructive Surgery–Global Open*, 10(1), e4056.
- Almusawi, A.R.J., Dülger, L.C., Kapucu, S.(2016, Eylül-Ekim). Haptik Teknoloji İle Robot Kolun Denetimi ve Medikal Operasyonlarda Uygulanabilirliği. O.Parlaktuna ve C.Uyanık (Ed.), Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı Bildiriler Kitabı (ss: 159-243)
- Alp, O. E. (2012). *Genel amaçlı robot kolu tasarımı* (Master's thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey)).
- Argın, Ö. F., (2021). İşbirlikçi Robotların Haptik Arayüzlerle Teleoperasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Aydın, L., Küçük, S., ve Kenar, H., (2015). Doku ve Organ Biyo Yazdırma Amaçlı 3B Biyoyazıcı Tasarımı ve Geliştirilmesi, Muğla.
- Bejo, A., Pora, W., & Kunieda, H. (2009, May). Development of a 6-axis robotic arm controller implemented on a low-cost microcontroller. In *2009 6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology* (Vol. 1, pp. 328-331). IEEE.
- Bose, S., Vahabzadeh, S., & Bandyopadhyay, A. (2013). Bone tissue engineering using 3D printing. *Materials today*, 16(12), 496-504.
- Browne et al.1998 Browne, I.W.A., et al. 1998 MNRAS 293, 257 Interferometer phase calibration sources – II
- Budde, L., Ihler, S., Spindeldreier, S., Lücking, T., Meyer, T., Bodenschatz, E., & Zimmermann, W. H. (2022, September). A six degree of freedom extrusion bioprinter. In *Current Directions in Biomedical Engineering* (Vol. 8, No. 2, pp. 137-140). De Gruyter.
- Çakmak T. T., Robotlar, ss. 15-20, 2006.
- Çetinkaya, C., Kabak, M., & Özceylan, E. (2017). 3D printer selection by using fuzzy analytichierarchy process and PROMETHEE. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 371-380.
- Çelebi, A., Korkmaz, A., Yılmaz, T., ve Tosun, H. (2019). 3 Boyutlu Yazıcı İle 6 Eksenli Robot Kol Tasarım ve İmalatı. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3(3), 269-278.

- Çengelci, B., ve Çimen, H. (2005). Endüstriyel robotlar. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 69-78.
- Çetin, G., Aksakal, E., ve Taskın, S. (2022). Göçük Altında Kalanların Tespiti için Biyonomik Yılan Robot Tasarımı. *Journal of Materials and Mechatronics: A*, 3(1), 63-78.
- Çubukçu, A., Kuncan, M., İmren, M., Erol, F., Ertunç, H. M., Öztürk, S., ve Kaplan, K. (2015). Görüntü işleme ile 3 eksenli robot mekanizması üzerinde nesne ayırt edilmesi ve sıralanması.
- Demirtaş, T., ve Karakeçili, A. (2015). Gen Tedavisi, Biyoyazıcılar ve Doku Mühendisliğinde Geleceğe Yönelik Yaklaşımlar Kök Hücre ve Doku Mühendisliği Özel Sayısı. *Türkiye Klinikleri Plastic Surgery-Special Topics*, 4(3).
- Deniz, C., & Çakır, M. (2020). Çok Robotlu Üretim İstasyonlarında Çarpışma Olmaması İçin Çalışma Alanı Yönetimi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 1-10.
- Ergün, G., Ataol, A. S., ve Tekli, B. (2018). Dış hekimliğinde robotik uygulamalar: Bir literatür derlemesi. *Ege Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 39(3), 125-133.
- Evlen, H., ve Sarımsakçı, N. (2019). Hücre İskelesi Yazdırma Amaçlı Çift Başlıklı 3B Biyoyazıcı Tasarımı ve Geliştirilmesi.
- Gurel, M., Rathod, N., Cabrera, L. Y., Voyton, S., Yeo, M., Ozogul, F., & Ozbolat, I. T. (2024). Anarrative review: 3D bioprinting of cultured muscle meat and seafood products and it potential for the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 104670.
- Gürgüze, G., ve Türkoğlu, İ. (2019). Kullanım Alanlarına Göre Robot Sistemlerinin Sınıflandırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(1), 53-66.
- Güzel, M. S. Y., ve Koyuncu, B. T. D. (2008). Altı Eksenli Robot Kolun Hareketsel Karakteristliğinin Görsel Programlanması Gerçek Zamanlı Uygulamalar.
- Hacıoglu, A., Yilmazer, H., & Ustundag, C. B. (2018). 3D printing for tissue engineering applications. *Politeknik Dergisi*, 21(1), 221-227.
- Hull, C. W. (1984). Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. *United States Patent, Appl., No. 638905, Filed*.
- Ishak, I., & Larochelle, P. (2017, May). Robot arm platform for additive manufacturing: 3D lattice structures. In *30th Florida Conference on Recent Advances in Robotics* (pp. 11-12).
- Köse, A. (2023). *Endüstriyel robot kol geliştirilmesi ve prototipinin üretilmesi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksekisans Tezi.
- Kucukgul, C., Ozler, B., Karakas, H. E., Gozuacik, D., & Koc, B. (2013). 3D hybrid bioprinting of macrovascular structures. *Procedia Engineering*, 59, 183-192.
- Kwak, S. S. (2014). The impact of the robot appearance types on social interaction with a robot and service evaluation of a robot. *Archives of Design Research*, 27(2), 81-93.

- Li, L., Shi, J., Ma, K., Jin, J., Wang, P., Liang, H., ... & Jiang, Q. (2021). Robotic in situ 3D bio-printing technology for repairing large segmental bone defects. *Journal of Advanced Research*, 30, 75-84.
- Lipskas, J., Deep, K., & Yao, W. (2019). Robotic-assisted 3D bio-printing for repairing bone and cartilage defects through a minimally invasive approach. *Scientific reports*, 9(1), 3746.
- Li, X.; Lian, Q.; Li, D.; Xin, H.; Jia, S. (2017). Development of a Robotic Arm Based Hydrogel Additive Manufacturing System for In-Situ Printing. *Appl. Sci.* 7, 73.
- Ma, K., Zhao, T., Yang, L., Wang, P., Jin, J., Teng, H., & Wang, X. (2020). Application of robotic-assisted in situ 3D printing in cartilage regeneration with HAMA hydrogel: An in vivo study. *Journal of advanced research*, 23, 123-132.
- Mi, H. Y., Salick, M. R., Jing, X., Jacques, B. R., Crone, W. C., Peng, X. F., & Turng, L. S. (2013). Characterization of thermoplastic polyurethane/polylactic acid (TPU/PLA) tissue engineering scaffolds fabricated by microcellular injection molding. *Materials Science and Engineering: C*, 33(8), 4767-4776.
- Mironov, V., Trusk, T., Kasyanov, V., Little, S., Swaja, R., & Markwald, R. (2009). Biofabrication: a 21st century manufacturing paradigm. *Biofabrication*, 1(2), 022001.
- Mobaraki, M., Ghaffari, M., Yazdanpanah, A., Luo, Y., & Mills, D. K. (2020). Bioinks and bioprinting: A focused review. *Bioprinting*, 18, e00080.
- Montero, F. E., Rezende, R. A., Da Silva, J. V., & Sabino, M. A. (2019). Development of a smart bioink for bioprinting applications. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 5, 56.
- Mukhopadhyay, R. (2007). When PDMS isn't the best.
- Noh, S., Myung, N., Park, M., Kim, S., Zhang, S. U., & Kang, H. W. (2018). 3D bioprinting for tissue engineering. *Clinical Regenerative Medicine in Urology*, 105-123.
- Nuseir, A., Hatamleh, M. M. D., Alnazzawi, A., Al-Rabab'ah, M., Kamel, B., & Jaradat, E. (2019). Direct 3D printing of flexible nasal prosthesis: optimized digital workflow from scan to fit. *Journal of Prosthodontics*, 28(1), 10-14.
- Ozbolat, I. T. (2015). Bioprinting scale-up tissue and organ constructs for transplantation. *Trends in biotechnology*, 33(7), 395-400.
- Ozbolat, I. T., Moncal, K. K., & Gudapati, H. (2017). Evaluation of bioprinter technologies. *Additive Manufacturing*, 13, 179-200.
- Ozbolat, V., Dey, M., Ayan, B., Povilianskas, A., Demirel, M. C., & Ozbolat, I. T. (2018). 3D printing of PDMS improves its mechanical and cell adhesion properties. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 4(2), 682-693.
- Pan, J., Chen, X., Zhu, Y., Xu, B., Li, C., Khin, M. N., ... & Lin, L. (2024). Design and development of dual-extruder food 3D printer based on selective compliance assembly robot arm and printing of various inks. *Journal of Food Engineering*, 370, 111973.

- Robotik, A., ve Otomasyon, A. Ş. (1998). Dünya Robot Nüfusu-1997. *Makina Magazin Dergisi*, (23), 89-94.
- Rodrigues, R. O., Pinho, D., Bento, D., Lima, R., & Ribeiro, J. (2016). Wall expansion assessment of an intracranial aneurysm model by a 3D Digital Image Correlation System. *Measurement*, 88, 262-270.
- Salameen, L., Estatieh, A., Darbisi, S., Tutunji, T. A., & Rawashdeh, N. A. (2020, December). Interfacing Computing Platforms for Dynamic Control and Identification of an Industrial KUKA Robot Arm. In *2020 21st International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)* (pp. 1-5). IEEE.
- Suaste-Gómez, E., Rodríguez-Roldán, G., Reyes-Cruz, H., & Terán-Jiménez, O. (2016). Developing an ear prosthesis fabricated in polyvinylidene fluoride by a 3D printer with sensory intrinsic properties of pressure and temperature. *Sensors*, 16(3), 332.
- Tsuji, M., Noguchi, N., Ihara, K., Yamashita, Y., Shikimori, M., & Goto, M. (2004). Fabrication of a maxillofacial prosthesis using a computer-aided design and manufacturing system. *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry*, 13(3), 179-183.
- Ürkmez, A. Ş., Seçkin, U. D., Görgün, C., ve Uyanıkgil, Y. (2018). Deri Doku Mühendisliği Amaçlı Üç boyutlu Biyobaskı ve Keratinosit Kültürü. *Dicle Tıp Dergisi*, 45(1), 9-14.
- Yapıcı K. O., (2008). 14 Serberstlik Dereceli İki Ayaklı Bir Robotun Dinamik Yürüme Hareketinin Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Zhang, Z., Wu, C., Dai, C., Shi, Q., Fang, G., Xie, D., ... & Wang, X. J. (2022). A multi-axis robot-based bioprinting system supporting natural cell function preservation and cardiac tissue fabrication. *Bioactive materials*, 18, 138-150.
- Wang, L. (2015). Collaborative robot monitoring and control for enhanced sustainability. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81, 1433-1445.
- Watson, J., & Hatamleh, M. M. (2014). Complete integration of technology for improved reproduction of auricular prostheses. *The Journal of prosthetic dentistry*, 111(5), 430-436.
- Wilkinson, P. N., Browne, I. W. A., Patnaik, A. R., Wrobel, J. M., & Sorathia, B. (1998). Interferometer phase calibration sources—III. The regions $+20^\circ \leq \delta B1950 \leq +35^\circ$ and $+75^\circ \leq \delta B1950 \leq +90^\circ$. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 300(3), 790-816.

İNTERNET KAYNAKLARI

Euronews, <https://www.youtube.com/watch?v=nmLP5TteXPk>. Son Erişim Tarihi: 12.03.2024

www.robotpark.com.tr/blog/tum-robot-tipleri/nano-robotlar. Son Erişim Tarihi: 15.06.2024

<https://www.gunmak.com.tr/tr/robot/6-eksenli-robotlar.html>. Son Erişim Tarihi: 12.03.2024

Engineered Arts. (2021), <https://www.engineeredarts.co.uk/robot/>. Son Erişim tarihi: 10.07.2024

Teknoloji Projeleri, “3B Biyo Yazıcı Nedir? Nasıl Çalışır? 3B Yazıcı ile Organ Üretimi”,
<https://teknolojiprojeleri.com/3d-yazici/biyo-yazici-nedir-organ-uretimi>, 2019. Son Erişim
Tarihi: 11.02.2024

<https://free3d.com/tr/3d-model/finger-thumb-v1--577668.html>. Son Erişim Tarihi: 01.08.2024

<https://3d.nih.gov/>. Son Erişim Tarihi: 2.08.2024





ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Fatih ONART

Eğitim Durumu

Lise: Mehmet Özöncel Anadolu Lisesi

Lisans: Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurum: Akdeniz Otomotiv Tic. ve San. Ltd. Şti.

