



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SCARA TİPİ ÜÇ BOYUTLU YAZICININ
TASARIMI VE ANALİZİ

Ahmet Saygın ÖĞÜLMÜŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran - 2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet Saygın ÖĞÜLMÜŞ tarafından hazırlanan “Scara Tipi Üç Boyutlu Yazıcının Tasarımı ve Analizi” adlı tez çalışması 14/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Mustafa TINKIR

Üye

Prof.Dr. Şahin YILDIRIM

Üye

Yrd.Doç.Dr. Ümit ÖNEN

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet COŞKUN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ahmet Saygın ÖĞÜLMÜŞ

Tarih: 17/07/2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SCARA TİPİ ÜÇ BOYUTLU YAZICININ TASARIMI VE ANALİZİ

Ahmet Saygın ÖĞÜLMÜŞ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa TINKIR

2017, 76 Sayfa

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Mustafa TINKIR

Prof.Dr. Şahin YILDIRIM

Yrd.Doç.Dr. Ümit ÖNEN

Bu çalışmada üç serbestlik dereceli SCARA tipi üç boyutlu FDM (Birleştirme Yoluyla Yığma) yazıcının kinematik ve kinetik analizlere göre tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Matlab programında çalışma alanı oluşturulan üç boyutlu yazıcının dinamik analizlere göre uzuv ölçüleri ve tahrik sistemi belirlenmiştir. Yapılan mühendislik hesaplamalarından sonra yazıcının SolidWorks programında katı modeli oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra, tasarım ve analiz çalışmalarına göre sistemi oluşturan parçaların imalatı ve montajları gerçekleştirilmiştir.

Yazıcının elektronik kontrol mekanizmasında Arduino MEGA 2560 kullanılmıştır. Marlin açık kaynak kod yazılımı ile yazıcıya özgü değişkenler, kinematik hesaplamalardan elde edilen düz kinematik ve ters kinematik eşitlikler açık çevrim kontrol sistemine eklenmiştir. Sistemdeki step motorların milimetre başına basamak sayıları, ivmelenme miktarları ve baskı hızları farklı giriş değerlerine göre Repetier Host programı kullanılarak kalibre edilmiştir.

Gerçek deneme baskıların yapılmasında üçgen prizma ve küp şeklinde iki farklı katı model belirlenmiştir. Solidworks programında tasarlanan STL formatlı bu katı modeller açık kaynak kodlu Slic3r programında işlenmiş ve gerçek zamanlı baskılar elde edilmiştir. Nümerik ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, istenilen ve gerçekleşen baskılardaki hata oranları ve baskı kalitesine göre elde edilen bulgular paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Scara, üç boyutlu yazıcı, kinematik, kinetik analiz, tasarım, imalat.

ABSTRACT

MS THESIS

DESIGN AND ANALYSIS OF SCARA TYPE 3D PRINTER

Ahmet Saygın ÖĞÜLMÜŞ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Mustafa TINKIR

2017, 76 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Mustafa TINKIR

Prof.Dr. Şahin YILDIRIM

Asst.Prof. Dr. Ümit ÖNEN

In this study; according to kinematic and kinetic analysis, 3 DOF Scara robot is designed and manufactured, it has been clarified according to 3D printer's link dimensions and actuating system by using MATLAB Software. After the engineering calculations, solid model of the printer is created in SolidWorks program. Later on this stage, design and analysis studies based the production and assembly of the parts forming the system are realized.

Arduino MEGA 2560 is used in the electronic control mechanism of the printer. Using Marlin open source software, printer specific variables, forward kinematics and inverse kinematic equations obtained from kinematics calculations are added to the open loop control system. The number of steps per millimeter, the amount of acceleration and the print velocities of the step motors in the system are calibrated using the Repetier Host program according to different input values.

Two different solid models as triangular prism and cube are determined in the real test prints. These solid models in STL format designed in Solidworks program, are processed in open source Slic3r program and real time prints are obtained. The results obtained from numerical and experimental studies are compared, error rates of desired and realized prints and the findings obtained as to print quality are shared.

Keywords: Scara, three dimensional printer, kinematic, kinetic analysis, design and manufacturing.

ÖNSÖZ

Başta Sevgili Hocam; Yrd. Doç. Dr. Mustafa TINKIR olmak üzere bu çalışmada tüm emeği geçenlere sonsuz teşekkürler.

Ahmet Saygın ÖĞÜLMÜŞ
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. SCARA Robot İle İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar.....	4
2.2. Üç Boyutlu Yazıcılar İle İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Temel Kavramlar	15
3.1.1. Robotlar	15
3.1.2. Robotların Sınıflandırılması	15
3.1.4. Üç Boyutlu Yazıcılar	17
3.1.5. Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojileri.....	18
3.1.6. FDM Teknolojisindeki Üç Boyutlu Yazıcı Çeşitleri	20
3.2. Kullanılan Donanımlar	22
3.2.1. Arduino Mega 2560	22
3.2.2. Ramps 1.4	23
3.2.3. A4988 Motor Sürücü Kartı	24
3.3. Kullanılan Yazılımlar	25
3.3.1. Marlin.....	25
3.3.2. Repetier Host	26
3.3.3. Slic3r.....	26
3.3.4. G-Code.....	27
3.3.5. STL	28
3.4. Dinamik Analiz.....	28
4. HESAPLAMALAR	30
4.1. SCARA Yazıcının Çalışma Alanı.....	30
4.2. Kinematik Hesaplamalar.....	32
4.2.1. Düz Kinematik.....	32
4.2.2. Ters Kinematik	33
4.2.3. Hareket Denklemlerinin Elde Edilmesi	34
4.3. X ve Y Eksenindeki Motorların Dişli Oranı Hesabı.....	41
4.4. X-Y Step/mm Hesaplamaları.....	41

4.5. Z Step/mm Hesaplamaları	42
4.6. Filament Besleme Sisteminin Hesaplanması (E Step).....	42
5.TASARIM VE UYGULAMA	43
5.1. Tasarım	43
5.2. Scara Tipi Üç Boyutlu Yazıcının Kontrol Sistemi	45
5.3. Elektronik Sistemin Montajı	46
5.4. Hesaplamaların Marlin'e Uygulanması	46
5.5. Repetier Ayarları.....	49
5.6. Slic3r Ayarları.....	50
6. DENEYSEL VERİLERİN ANALİZİ	52
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
7.1. Sonuçlar	60
7.2. Öneriler	61
KAYNAKLAR	62
EKLER	64
ÖZGEÇMİŞ	76

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Θ	: Robot Mekanizmasındaki Birinci Uzvun Dönüş Açısı
\emptyset	: Robot Mekanizmasındaki İkinci Uzvun Dönüş Açısı
β	: Robot Mekanizmasındaki Tekillik Açısı
l_1	: Robot Mekanizmasındaki Birinci Uzvun Uzunluğu
l_2	: Robot Mekanizmasındaki İkinci Uzvun Uzunluğu
m_1	: Robot Mekanizmasındaki Birinci Uzvun Kütlesi
m_2	: Robot Mekanizmasındaki İkinci Uzvun Kütlesi
τ_1	: Birinci Uzva Uygulanan Tork
τ_2	: İkinci Uzva Uygulanan Tork
q_i	: Kolun Genelleştirilmiş Koordinatları
L	: Lagrange Formülasyonu
K	: Sistemin Toplam Kinetik Enerjisi
P	: Sistemin Toplam Potansiyel Enerjisi

Kısaltmalar

ABS	: Akrlonitril Bütadien Stiren
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
DOF	: Degree of Freedom (serbestlik derecesi)
FDM	: Fused Deposition Modelling (Birleştirme Yoluyla Yığıma)
FEM	: Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Metodu)
PID	: Proportional, Integral, Derivative(oransal-integral-türevsel)
PD	: Proportional, Derivative (oransal-türevsel)
PCT	: Polinomsal Kaos Teorisi
PLA	: Polilaktik Asit
PLC	: Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
PSO	: Parçacık Temelli Sürü Optimizasyonu
SLS	: Selective Laser Sintering (Seçmeli Lazer Sinterleme)

1. GİRİŞ

Robotlar ,günümüzde endüstriyel üretimden uzay araştırmalarına tıp biliminden ulusal güvenliğe kadar hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Mevcut teknolojik kabiliyetleri sayesinde bilim kurgu filmlerindeki gösterimlerdeki yerlerine çok yaklaşmışlardır. Özellikle Endüstri 4.0'le beraber nesnelerin interneti ve makinaların birbiriyle haberleşmesi gündeme gelince önümüzdeki bir kaç yıl boyunca daha önce karşılaşmadığımız farklı uygulamalara karşı karşıya kalabiliriz.

Endüstri ve teknoloji günümüze kadar çok farklı evrelerden geçerek ve gelişerek sürekli kendini yenilemiş ve şekil değiştirmiştir. 18 yy. 'sonlarına doğru ticaretin büyük bölümünü tarım ve hayvancılık ürünleri ve hammadde ticareti oluşturmaktadır. 19 Y.Y. sonlarına doğru ise buhar makinalarının keşfi sanayi devrimini tetiklemiştir ve endüstriyel ürünlerin ticareti hızla önem kazanmıştır.

20 yy. başlarında başlayan 1. Dünya savaşında artan hammadde ihtiyacı savaşın çıkma sebepleri arasında yerini alırken, savaş esnasında elde edilen tecrübeler ve gereksinimlerin sonucu olarak hızlı bir şekilde askeri endüstri oluşmuş ve daha sonra 2. Dünya savaşında kullanılacak olan yeni teknolojik silahlar ve araçlar geliştirilip üretilmiştir. 20. yy. ilk çeyreğinde Henry Ford 'un ortaya attığı seri üretim fikri otomotiv sektörüyle buluşmuş ve ilerleyen dönemlerde diğer sektörlerle yayılmıştır. Savaş yıllarında yoğun teknolojik programlar uygulanmış ve ortaya rakip devletlerden daha üstün savaş silahları ve araçları üretmek için ülkeler zamana karşı birbirleriyle yarışmışlardır.

Savaş yıllarında elde edilen teknolojik birikim takip eden yıllarda endüstriye aktarılmış, dünya devletleri hızla ekonomik kalkınma ve teknoloji rekabetine girişmişlerdir. Giderek verim, hız ve maliyet odaklı üretime doğru şekillenen endüstriyel imalat ve refah düzeyi artan sanayi toplumları yeni gereksinimlere ihtiyaç duymuşlardır. Bunun sonucunda tam otomatik üretim sistemleri ve robotik teknolojiler endüstride kullanılmaya başlanmıştır. İnsana dayalı üretim ve iş kollarında tehlike, hız, hassasiyet ve çevre koşullarından etkilenme gibi kısıtlardan yoksun olan robotlar önem kazanmıştır. İlk olarak endüstride kullanılmaya başlayan robotlar; günümüzde medikal, savunma, uzay ve hizmet sektörü gibi hemen hemen her alana yayılmaya başlamıştır.

SCARA robotlarında endüstriyel robotlar için de ayrı bir yeri vardır. Kendi kontrol yazılımı ve yönetim bordu olan ilk endüstriyel robot SCARA'dır. SCARA, İngilizce; "Selective Compliance Assembly Robotic Arm" kelimelerinin kısaltmasıdır.

Türkçesi ise Seçimlere uyum gösteren montaj robot koludur. SCARA ile ilgili sayısız ticari marka çıkmış ve binlerce araştırma yapılmıştır. Hızlı olması, hassasiyetinin yüksekliği, kolay uygulanması, işletim ve ilk yatırım maliyetinin düşük oluşu SCARA robotun yaygınlaşmasının en büyük nedenlerindedir.

Endüstride hızı ve verimi etkileyen en büyük etmenlerden biride tasarım doğrulama ve geliştirmenin olmazsa olmazı hızlı prototiplemedir. Adım adım hataları görerek ve eksikleri tamamlayarak nihai üretime başlamadan ideal bir örnek model oluşturmaya prototip üretimi denir. Seri üretim hattı tasarımı ya da birbiriyle ilintili çok parçalı mamüllerin uyumu gibi faktörler üretim süresini ve maliyetini etkiler. Prototiplemenin konvansiyonel yöntemlerle maliyetli ve yavaş olması yeni gereksinimlere yol açmıştır. Artan gereksinimlerin sonucu olarak 1980’li yıllarda uç uca eklemeli (FDM) hızlı imalat metodu günümüzdeki tabiri ile üç boyutlu yazıcıların atası geliştirilmiştir. Ham maddenin katı modelinin ısıl işlem ya da çeşitli proseslerden geçirilerek katmanlar halinde üst üste yığılmasıyla üretilmesi teknolojik alt yapısını oluşturmaktadır. Patentlerden kaynaklanan kısıtlamalar ve teknik bilgiye ulaşmanın zor oluşundan dolayı keşfinden yaklaşık 20 yıl sonra 2000’li yılların başlarında sık kullanılmaya başlanmıştır. İnternetin giderek yaygınlaşması ve patent sürelerinin dolmasıyla günümüzdeki trendlerden Kendin Yap (Do it Your Self) akımıyla tabana yayılmış zevkli, kolay uygulanabilir ve ucuz, bir çeşit hızlı prototipleme yöntemi olmuştur. DIY (Do it Your Self) akımı, internet ortamında farklı noktalardaki bireysel kullanıcıların ya da toplulukların sanal ortamda bağ kurarak ücretsiz ve kollektif bilgi paylaşımını içermektedir. Bu akım, karmaşık endüstriyel ürünlerin teknik uygulamalarını düşük maliyetli alternatif donanımlarla ve açık kaynak kodlu; yani kaynak kodlarının herkes tarafından görülebildiği ve geliştirilebildiği yazılımlarla amatör kullanıcının kullanımına sunmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar her gün biraz daha gelişmekte ve farklı türden, daha karmaşığından basitine kadar yeni yazıcı tipleri ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada SCARA robotla FDM tipi üç boyutlu yazıcı tekniği birleştirilerek SCARA tipi üç boyutlu yazıcı tasarlanmıştır. SCARA robotun dinamik kabiliyeti üç boyutlu yazıcının üretim metoduyla harmanlanmış, açık kaynak kodlu yazılımlar kullanılarak özgün yazıcı sistemi elde edilmiştir. Öncelikle hali hazırdaki uygulamalar ve literatürdeki yayınlar taranarak altyapı ve motivasyon basamakları oluşturulmuştur.

Scara tip yazıcının uzuv ölçüleri, çalışma alanı, kullanılacak baskı kafası, filament kalınlığı gibi tasarımı birinci dereceden etkileyen hesaplamalar yapılmıştır.

Yapılan hesaplamalarla özgün yazıcının üç boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Katı modeli oluşturulan yazıcının iskeleti imal edilerek temin edilen standart parçalarla montajı tamamlanmıştır. Uzuvlarda tahrik ve konum kontrolünü sağlayacak kinematik hesaplamalar ve matematiksel modelleme yapılmıştır. Elde edilen eşitlikler sayısal anlamda test edilerek, doğruluğu sağlandıktan sonra açık kaynak kodlu yazılıma gömülmüştür. Sayısal anlamda testi yapılan örnekler katı modellemesi yapılarak üç boyutlu yazıcıda baskısı alınmıştır. Baskısı istenen modellerle, baskısı alınan numuneler karşılaştırılarak elde edilen bulgular analiz edilmiştir.

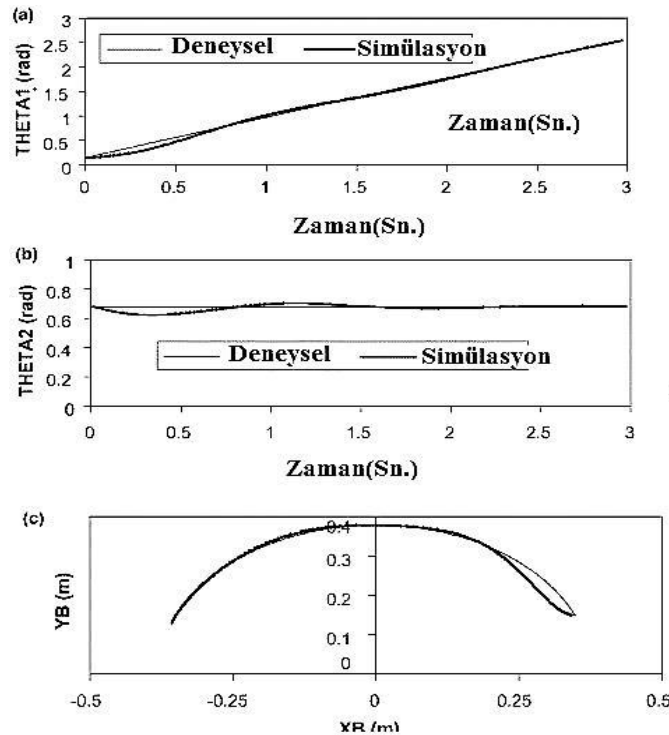


2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Konuyla alakalı daha önce yapılmış olan çalışmalarda doğrudan SCARA tipi üç boyutlu yazıcıyla alakalı akademik bir çalışma olmamakla birlikte SCARA robot ve üç boyutlu yazıcılarla alakalı birçok çalışma mevcuttur dolayısıyla iki başlıkta ele almamız daha doğru olacaktır. İncelediğimiz kaynakların içinde son yıllarda yapılan çalışmalara odaklanılmıştır. SCARA robot ilk endüstriyel robotlardan olduğu için 1970’li yıllardan günümüze aktif olarak kullanılmaktadır ve bu konuyla alakalı sayısız çalışma mevcuttur. Üç boyutlu yazıcılar 1980’lerin başlarında kullanılmaya başlanmış patent ve yasal kısıtlamalardan dolayı 2000’li yılların başlarına kadar çok yaygınlaşmamıştır. Bugün üç boyutlu yazıcılar maliyetlerin ucuzlaması ve üretim metodolojilerinin internet ortamında küresel bir imce mühendisliğiyle herkesin kullanımına sunulması her yaşta kişinin ilgisini çekmektedir ve çok sayıda ev tipi kullanıcısı bulunmaktadır.

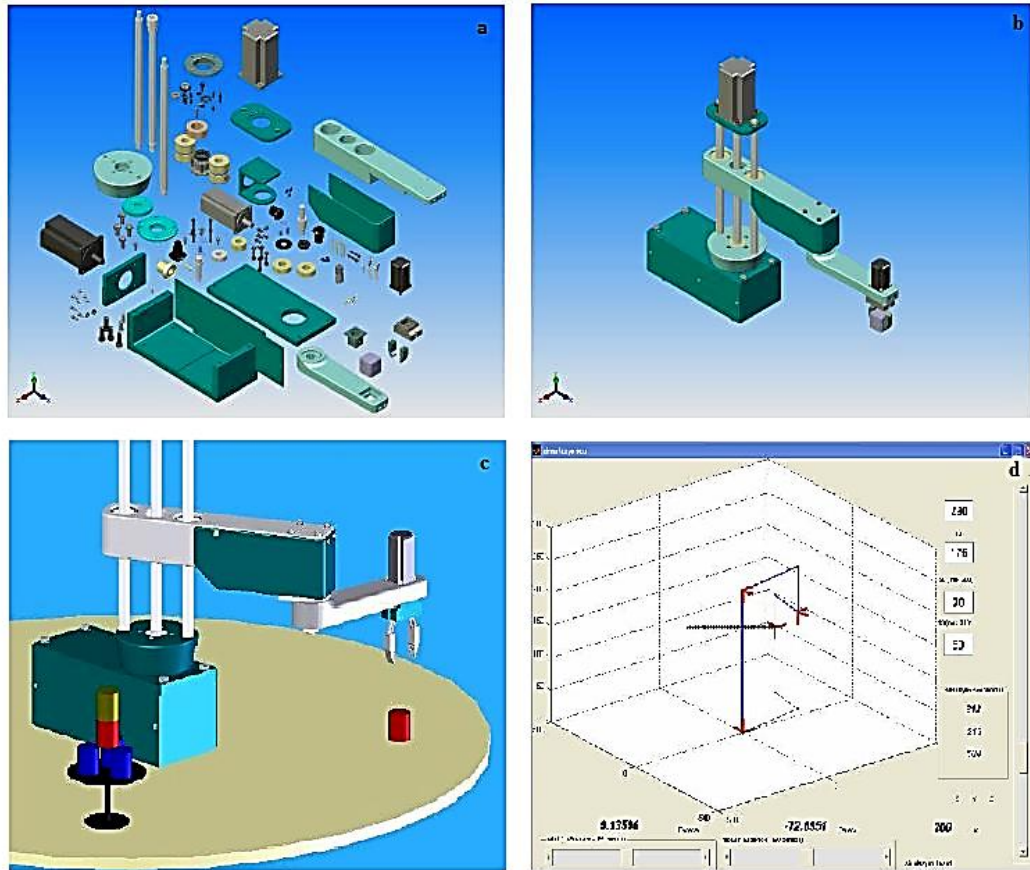
2.1. SCARA Robot İle İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

Soygüder (2004); çalışmasında SCARA tipi bir robotta programlanabilir lojik kontrolörler (PLC) kullanılarak robotun hız kontrolü sağlanmıştır. PID kontrolör sayısallaştırılarak PLC’ye uygulanmıştır. PID kullanarak ve PID kullanmadan iki koşulda motorların hız kontrolü yapılmış ve deneysel sonuçlar aktarılmıştır.



Şekil 2.1 Deneysel Kontrolle Simülasyonun Karşılaştırılması.

Das ve Dülger (2005) ; yaptıkları çalışmada Serpent 1 model SCARA robotun matematiksel modellemesi ve dinamik simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Sistemin Hareket denklemlerini Lagrange mekaniği kullanarak çözümlenmişlerdir. Tasarladıkları PD tipi kontrolcü ile sistemi simüle etmişler Şekil 2.1’de görüldüğü gibi gerçek zamanlı kontrol ile simülasyon arasındaki farklı sonuçları yorumlamışlardır.



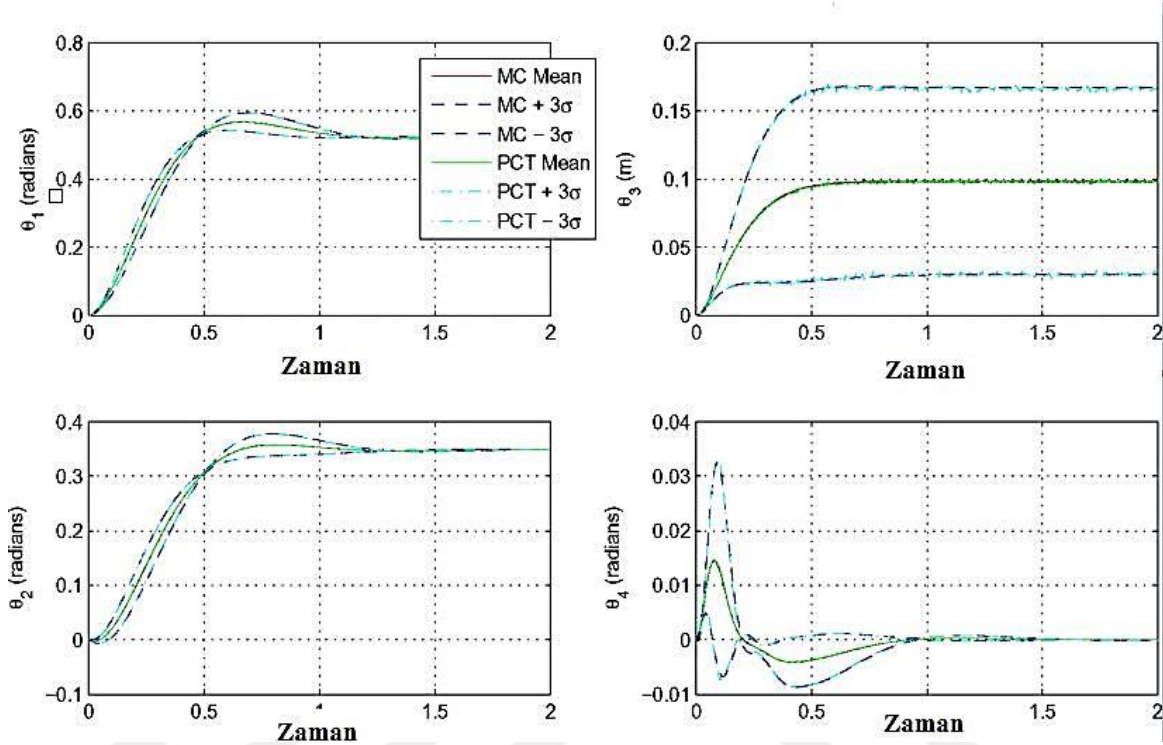
Şekil 2.2 SCARA Robotun (a) Bileşenleri (b) Montajı (c) Gifmax Simülasyonu (d) Yörünge Simülasyonu.

Saygılı (2006); tezinde SolidWorks programı kullanarak SCARA tipi bir robotun CAD tasarımını ve montajını gerçekleştirmiştir. Düz ve Ters Kinematik denklemleri elde edilmiştir. Şekil 2.2. c’de Gifmax Simülasyonu ve Şekil 2.2. d’de MATLAB programıyla hazırlanmış Yörünge Simülasyonu görülmektedir.

Tablo 2.1 Hedeflenen ile YSA Arasındaki Hata Değerleri.

	Minimum Hata Değeri	Maksimum Hata Değeri
1.Eklem	0.000009°	0.011°
2.Eklem	0.00001°	0.01°
3.Eklem	1.897 x10 ⁻⁷ m	1.906 x10 ⁻⁴ m
4.Eklem	0.00004°	0.008°

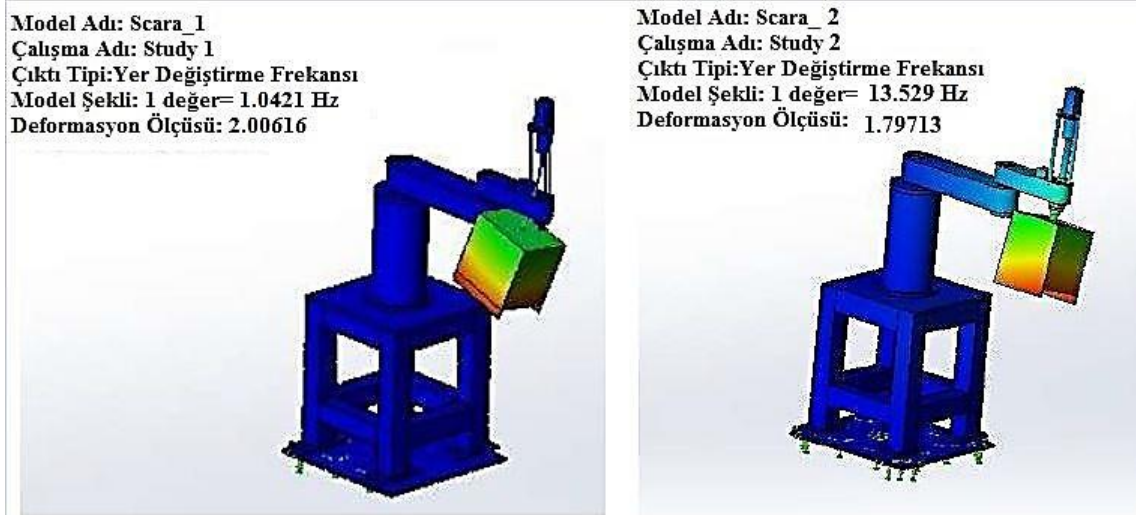
Öztürk (2007); çalışmasında 4 serbestlik dereceli SCARA tipi robota yapay sinir ağları mimarisi uygulamıştır. Robotun tork değerleri Lagrange-Euler denklemleriyle bulunmuştur. Tablo 2.1’ de Robotun yapay sinir ağlarıyla eğitilmesiyle elde edilen sonuçlarla hedeflenen sonuçlar arasında hata oranı yer almaktadır.



Şekil 2.3 SCARA Robotun PCT ve MC Simülasyonları.

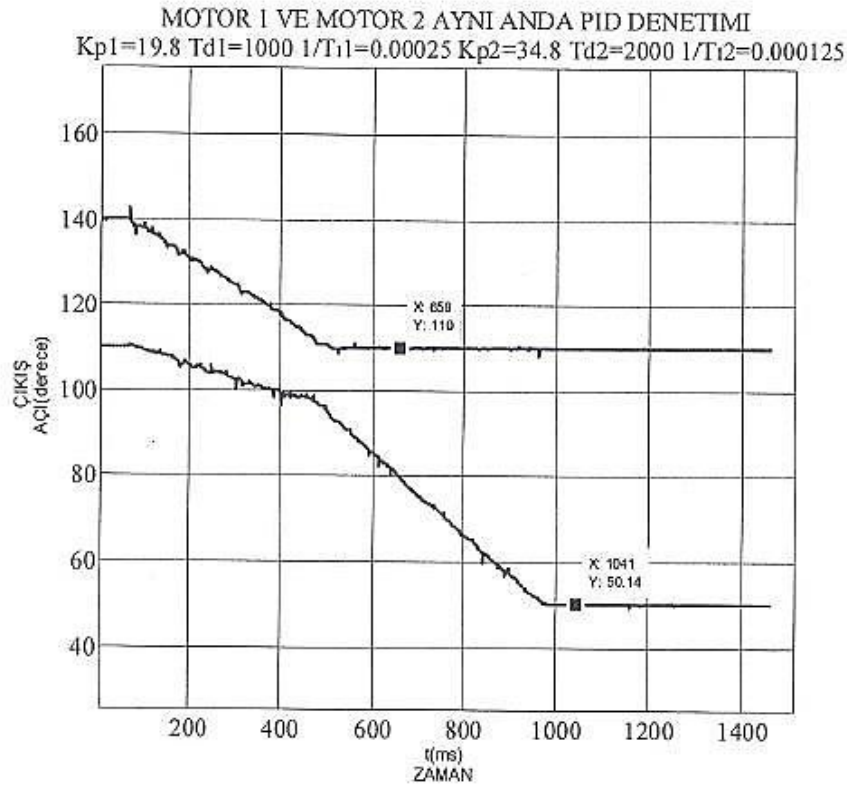
Voglewede ve Ark. (2009) ,yaptıkları çalışmada 4 serbestlik dereceli bir SCARA Robotun dinamik modellemesini Polinomsal Kaos Teorisi (PCT) uygulayarak gerçekleştirmişler. Şekil 2.3’de Monte Carlo (MC) ve PCT analizinin sonuçları görülmektedir. Robot manipülatörün ucunda bulunan ağırlığın ve kendi uzuv ağırlıklarının etkilerini PCT yöntemiyle minimize etmişlerdir.

Özkarakoç (2009); çalışmasında Serpent 1 modeli SCARA robotun CAD simülasyonu ile karşılaştırmalı konum kontrolü yapılmıştır. Visual Studio programıyla konum kontrolü için kontrol yazılımı kodlanmıştır. SolidWorks programıyla CAD modeli oluşturulmuştur. Manüpilatör gerçek zamanlı kontrol edilmiş ve elde edilen sonuçlarla CAD simülasyonu sonuçları karşılaştırılmıştır. Eklem değişkenlerinin değerlerinde \pm %2 lik bir fark gözlemlenmiştir. Bu farkın mekanik sistemdeki boşluktan kaynaklı olduğunu belirtmiştir.



Şekil 2.4 Farklı Girişler Uygulanan Modelin FEM Analizi.

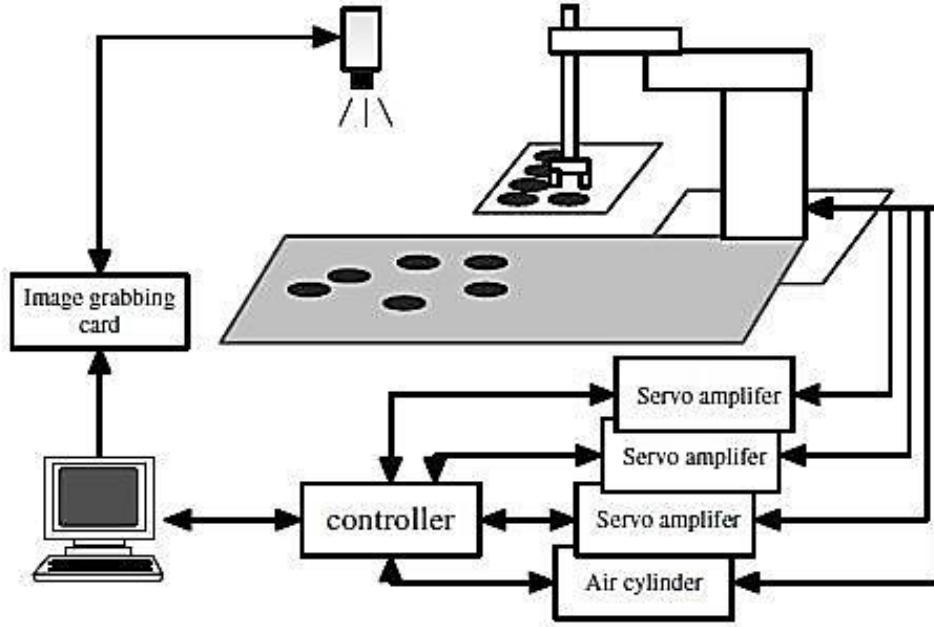
Demirci (2012); yaptığı çalışmada SolidWorks programı ve eklentilerini kullanarak SCARA robotun tasarımını, statik analizini, doğal frekans ve hareket analizlerini yapmıştır. Sonlu elemanlar analizi (FEM) kullanılarak tasarım doğrulaması ve iyileştirmeler yapılmıştır. Elde ettiği sonuçlarla robotun imalini gerçekleştirmiştir.



Şekil 2.5 1.ve 2. Motorun PID denetimi Sonuçları.

Çelikbağ (2015); çalışmasında 4 serbest dereceli SCARA robotu, grafiksel analizlerinde MATLAB Ve Simulink Programlarını kullanarak gerçek zamanlı olarak

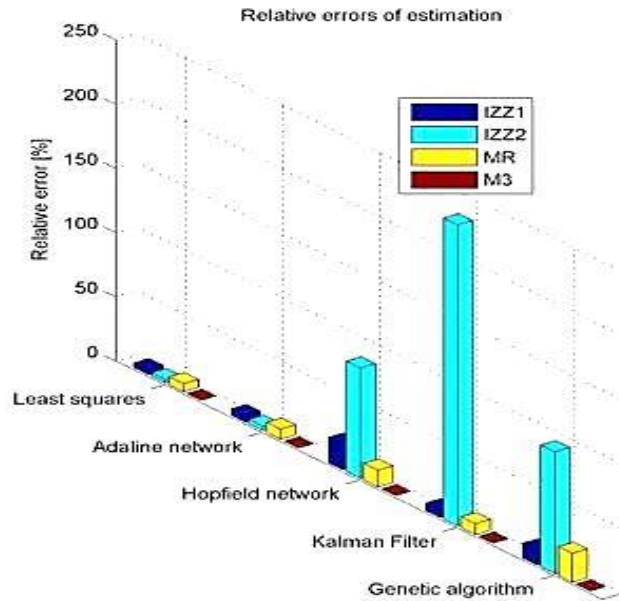
denetlemiştir. Çalışmanın yapıldığı SCARA robot Feedback firmasının Serpent-1 modelidir ve kontrol kartı olarak Arduino Mega 2560 sayısal kontrol kartı kullanılmıştır. PID katsayılarını Ziegler ve Nichols yöntemini kullanarak Şekil 2.5'deki gibi hesaplamıştır.



Şekil 2.6 Scara Robotun Çalışma Sistemi.

Chen ve ark. (2016); yaptıkları çalışmada 4 serbestlik dereceli SCARA robotun kontrol sistemi tasarımını ve kartezyen uzayda yörünge tayinini gerçekleştirmişlerdir. Şekil 2.6 'daki gibi konveyördeki bisküvileri alma ve yerleştirme işlevi gören SCARA robotun yörünge tayini, konveyör üzerindeki kameradan elde edilen görüntü bilgisayar ortamında işlenerek bisküvilerin konumunu belirlenmiş ve kontrol döngüsüne girdi sağlanarak gerçekleştirilmiştir.

Urrea ve Pascal (2016); yaptıkları çalışmada MATLAB/Simulink programıyla 3 serbestlik dereceli SCARA robotu; Sistem Tanıma Metodu ile (identification method) En Küçük Kareler Yöntemi, Genişletilmiş Kalman Filtresi, Uyarlamalı Yapay Sinir Ağı, Genetik Algoritma ve Hopfield Ağı gibi farklı yaklaşımlar uygulayarak modellemiştir. Şekil 2.7' de görüldüğü gibi En Küçük Kareler Yönteminin ve Uyarlamalı Yapay Sinir Ağı metodunun uygulandığı modellemede tahminlerdeki relatif hata oranı minimize olmaktadır.



Şekil 2.7 Uygulanan Farklı Metodların Hata Oranları.

Fister ve ark.(2016); çalışmasında doğa esinli algoritmalar kullanarak SCARA robotun PID kontrolcüsünü tasarlamıştır. PID'nin parametre ayarlarında evrimsel algoritmalar ile sürü zekâsına dayalı algoritmaları kullanmıştır.

Tablo 2.2 Doğa Esinli Algoritmaların İçindeki En İyi Giriş Parametleri.

Alg.	Eksen-1		Eksen-2		Verim [%]
	$q_{1,0}$	$q_{1,1}$	$q_{2,0}$	$q_{2,1}$	
BA	255.47	20.00	102.76	11.70	97.80
HBA	30.70	1.22	154.97	9.47	97.64
DE	215.17	18.01	120.81	7.26	97.88
PSO	151.44	10.89	114.95	6.55	98.31
GA	56.42	3.27	108.57	7.69	97.86
CS	136.55	8.88	89.84	5.81	97.47

Evrimsel algoritmalar; diferansiyel evrimsel algoritma ve genetik algoritmayı, Sürü zekâsına dayalı algoritmalar; yarasalar algoritması, hibrit yarasalar algoritması, parçacık sürü optimizasyonu, guguk kuşu arama optimizasyonunu kullanmıştır. Elde ettiği sonuçları karşılaştırmalı olarak sunmuştur. Tablo 2.2' de görüldüğü gibi en etkili olan algoritma parçacık sürü optimizasyonu (PSO) olmuştur.

2.2. Üç Boyutlu Yazıcılar İle İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

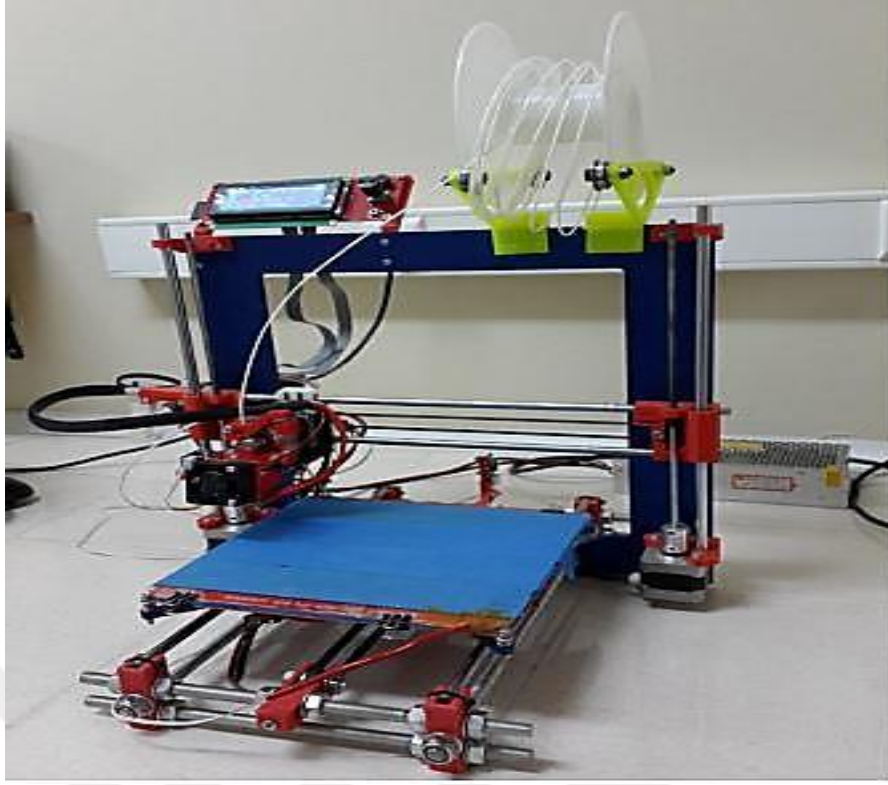
Aydın (2014); tezinde açık kaynak kodlu donanım ve yazılım kullanarak Şekil 2.8' deki ayak bileği ortezini üretmiştir.



Şekil 2.8 Baskısı Alınmış Ayak Bileği Ortezi.

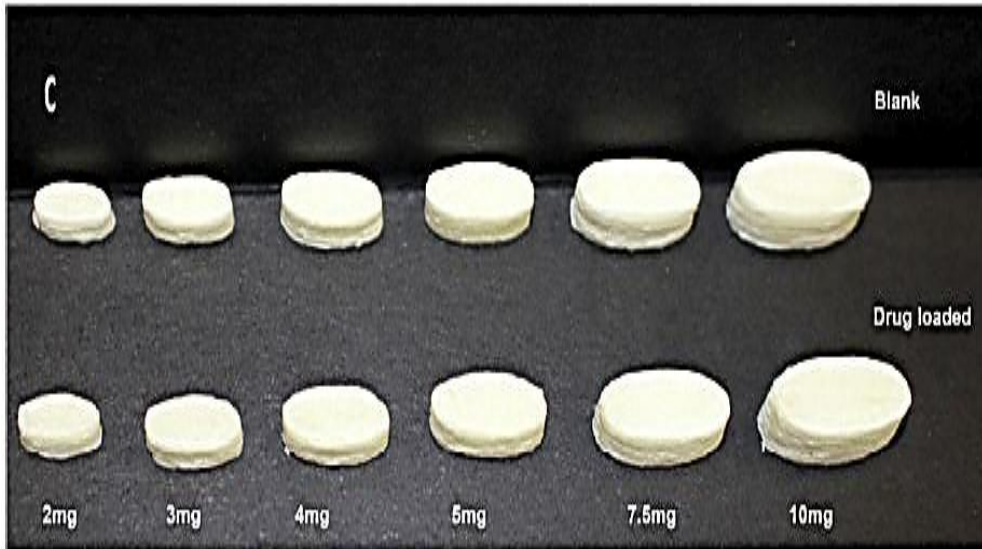
Mendel modeli 3 boyutlu yazıcıyı imal ettikten sonra yazılımda çeşitli iyileştirmeler yapmıştır. Baskıda Slic3r ve Repetier Host açık kaynak kodlu yardımcı programlarını kullanmıştır.

Çelik(2015) ; tezinde amatör ev tipi yazıcılardan daha istikrarlı ve kaliteli baskı yapan bir yazıcı tasarlamayı hedeflemiş ve imal etmiştir. Şekil 2.9'da görülen yazıcıyı imal ettikten sonra, çeşitli koşullarda farklı malzemelerden baskı alarak bu malzemeleri diğer yazıcıların baskılarıyla karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmayı yaparken yüzey sertlik değerleri ve gerilme kuvvetini ele almıştır.

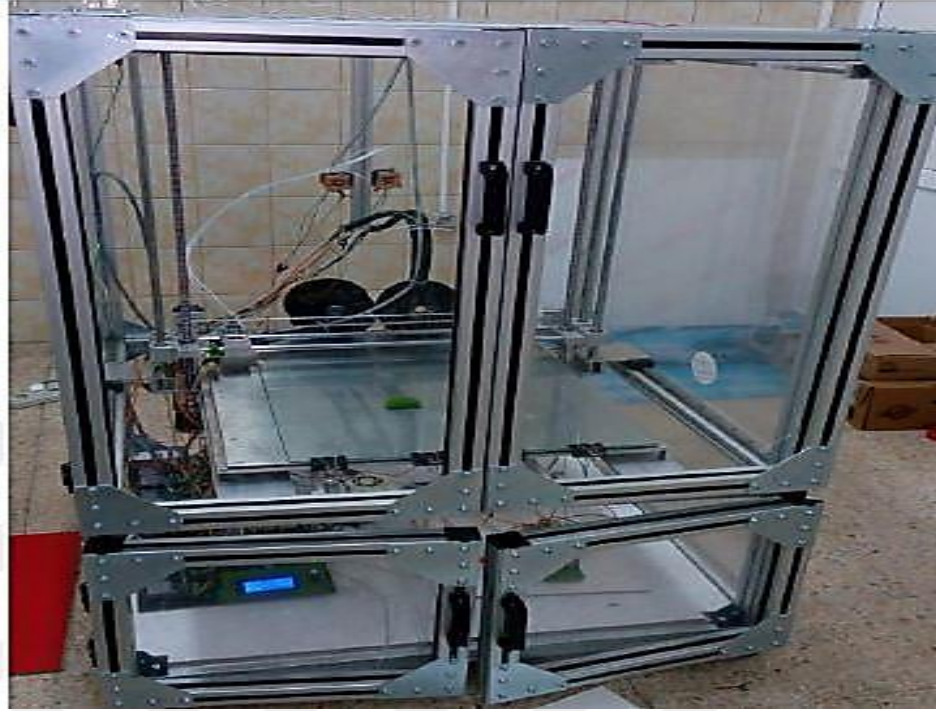


Şekil 2.9 FDM Tipi Üç Boyutlu Yazıcı.

Skowrya ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada FDM tipi yazıcıyla hastaya özgü ilaç baskısı yapmışlardır. Şekil 2.10'daki gibi farklı gramajlarda Prednizon tabletleri baskısını üç boyutlu yazıcı teknolojisini kullanarak elde etmişlerdir.

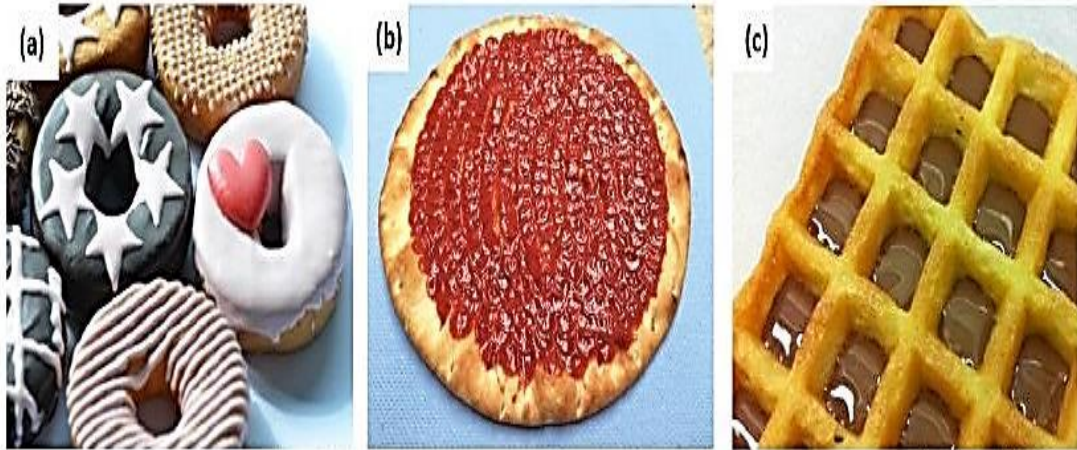


Şekil 2.10 Farklı Gramajlarda Prednizon Tablet Baskıları.



Şekil 2.11 İki Kafalı Kartezyen Üç Boyutlu Endüstriyel Yazıcı.

Güler(2016); çalışmasında iki kafalı kartezyen üç boyutlu endüstriyel yazıcının tasarımını ve imalini gerçekleştirmiştir. Yazdırma boyutları 600x700x800 mm olan şekil 2.11'deki yazıcı standart yazıcıların yaklaşık 3 katıdır. Standart üç boyutlu yazıcı tasarımının iskeletindeki ebat değişikliğinin yanında Nema 17 motorlar yerine Nema 23 step motorlar koordinat hareketlerinde tahrik elemanı olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.12 Gıda Baskısı Örnekleri (a) Grafikselsel Dekorasyon (b) Yüzey Doldurma (c) Boşluk Doldurma.

Godoi ve ark. (2016); yaptıkları çalışmada üç boyutlu yazıcı teknolojisinin gıda üretiminde kullanılmasını incelemiştir. Baskısı yapılmak için seçilen gıdaların Şekil

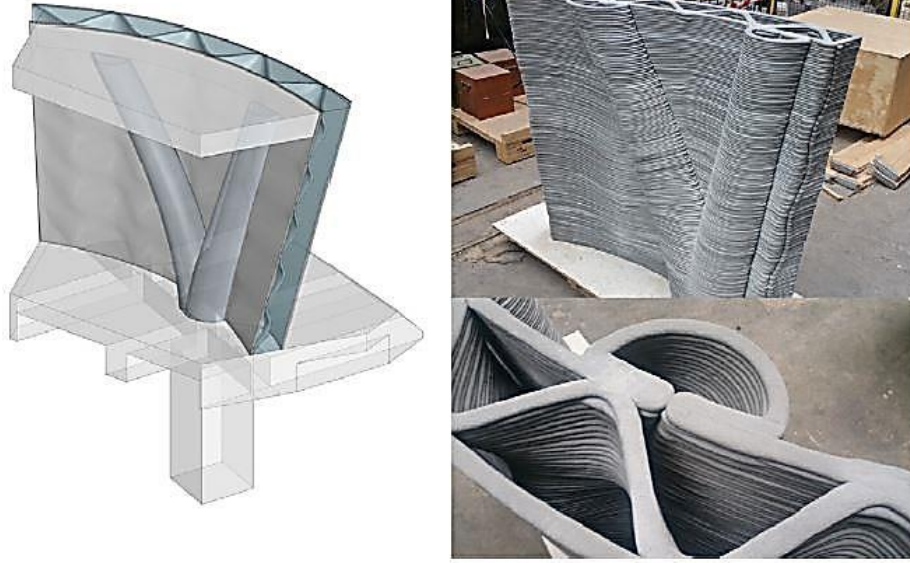
2.12'deki gibi baskılanabilir ve uygulanabilir olması, baskı sonrası işlenebilir olmasına dikkat etmişlerdir.



Şekil 2.13 Kumtaşı Kullanılarak 3 Boyutlu Baskısı Alınmış Kaya Parçası.

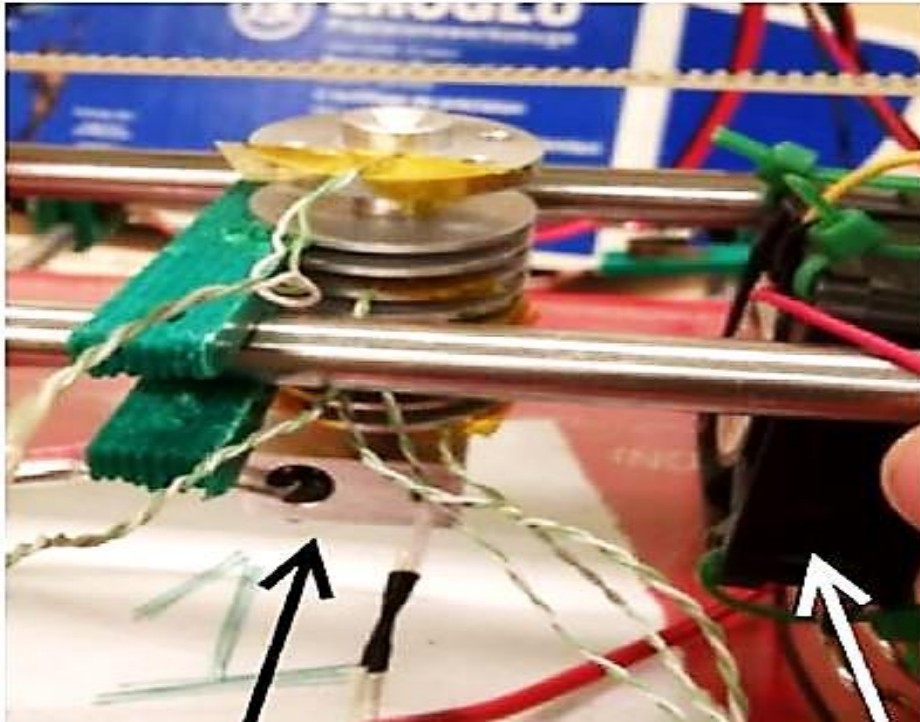
Mohammed (2016); Yaptığı çalışmada 3 boyutlu yazıcı teknolojisini oşinografide kullanımını incelemiştir. Ekolojik izleme ve örnek toplama, hidrodinamik, biyomekanik ve hareket gibi oşinografinin alt dallarında sağlayacağı faydaları ve sualtı ekosistemini koruyucu etkilerini 3 boyutlu yazıcı teknolojisinin hızlı, ucuz ve uygulanabilir olmasıyla eşleştirip oşinografiye farklı bir bakış açısı sunmuştur. Şekil 2.13'de Kumtaşı kullanılarak elde edilmiş bir kaya parçasının gerçeğinden neredeyse hiçbir farkı bulunmamaktadır.

Gosselin ve ark. (2016); çalışmasında 6 eksenli robot kol ile 3 boyutlu kompleks mimari elemanların baskısının uygulanabilirliğini incelemiştir. Mimari ve Yapı bilimine farklı bir bakış açısı getiren çalışmada baskı maddesi olarak çimento bazlı yapı elemanın kullanıldığı şekil 2.14'deki eğimli ve kıvrımlı duvar parçasının katı modeli ve 3 boyutlu baskısı görülmektedir.



Şekil 2.14 Katı Modeli Oluşturulan Duvar Parçasının 3 Boyutlu Baskısı

Mesa ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada 3 boyutlu yazıcının baskı kafasını Sonlu elemanlar analizi yöntemiyle baskı sırasındaki termal davranışını incelemiştir. Şekil 2.15’ de görüldüğü gibi 4 adet termoçift yerleştirdikleri kafadan aldıkları ölçümleri FEM metoduyla elde ettikleri verilerle karşılaştırmışlardır.



Şekil 2.15 Baskı Kafasına Termoçiftlerin Yerleştirilmesi.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Temel Kavramlar

3.1.1. Robotlar

Robotlar; zaman, güç, güvenlik ve hassasiyet gibi sınırlamalar ve özel koşullarda belirli bir amaca yönelik üretilmiş karmaşık akıllı ve verimli makinalardır. Hemen hemen bütün robotlar yazılım ve kontrol kartlarıyla yönetilen mekanik cihazlardır. Endüstriyel olarak üretim, nakliye, kontrol gibi uygulamaların yanında savunma, arama kurtarma, gözlem, araştırma gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Son yıllarda hizmet sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Lokanta, kafe, otopark gibi halka açık alanlarda akıllı robotlardan yararlanılmaktadır.

3.1.2. Robotların Sınıflandırılması

Günümüzde kullanılan robotlar çeşitli sınıflara ayrılabilirler. Bu sınıflama ;

Konfigürasyonlarına göre sınıflandırma;

- Kartezyen koordinatlı robot
- Silindirik koordinatlı robot
- Küresel koordinatlı robot
- Mafsallı kol konfigürasyonlu robot

Hareket kontrolü yöntemlerine göre sınıflandırma;

- Noktadan noktaya hareket eden robotlar
 - Sürekli güzergahlı robotlar
- Kontrol döngüsüne göre sınıflandırma;
- Açık döngü kontrol sistemi
 - Kapalı döngü kontrol sistemi

olarak yapılmaktadır. Farklı robotların kinematik yapısı ve çalışma uzayı Şekil 3.1'de verilmiştir.

Robot	Eksenler		Örnek
Genel görünüm	Kinematik yapı	Çalışma uzayı	Resim
Kartezyen			
Silindirik			
Küresel			
SCARA			
Mafsallı			
Paralel			

Şekil 3.1 Robotların Kinematik Yapısı Ve Çalışma Uzayı.

3.1.3 SCARA Robotlar

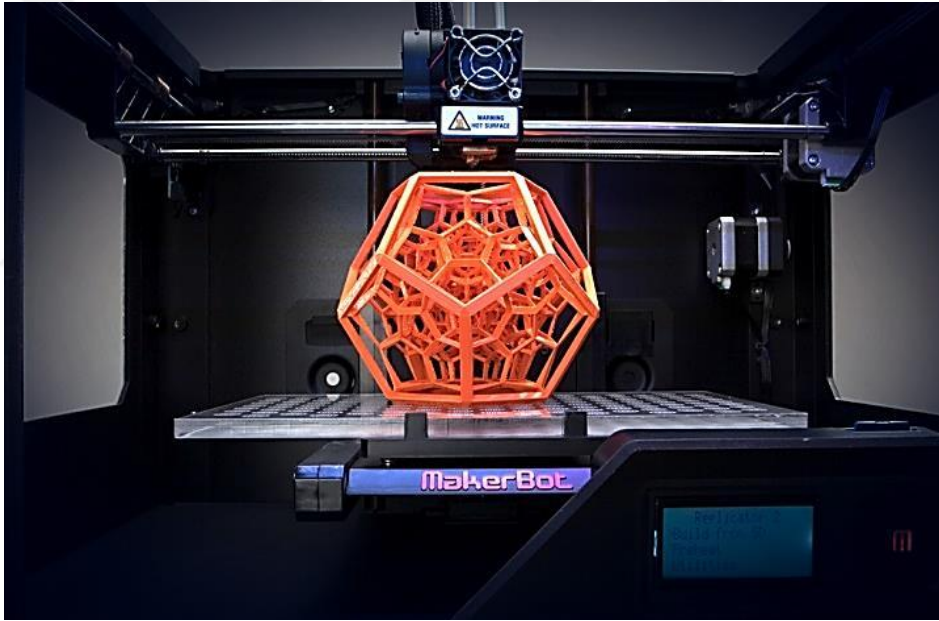


Şekil 3.2 OMRON Firmasına Ait SCARA Robotu.

1970'lerin ortalarında Japonya'da kullanılmaya başlayan SCARA robotlar kendilerine özgü basit ve hızlı yapısıyla endüstride hızla kendine yer edinmiştir. Genel olarak tutma, kavrama yer değiştirme, seçme, eleme, kaldırma, yerleştirme gibi işlemleri yapmaktadırlar. Çok seri olmaları doğruluk oranlarının yüksek oluşu, maliyetlerinin düşük olması ve kolay işletmeye alınmalarından dolayı endüstride tercih edilmektedirler.

3.1.4. Üç Boyutlu Yazıcılar

Üç boyutlu yazıcı, bilgisayarda katı modelini oluşturduğunuz bir nesneyi plastik bazlı malzeme, metal tozu ya da reçine vb. materyalleri çeşitli ısı işlem, laser sinterleme ya da benzer proseslerden geçirerek üst üste katmanlar halinde istenilen ölçekte ya da birebir üreten akıllı makinalardır. Şekil 3.3'de üç boyutlu yazıcı örneği verilmiştir.



Şekil 3.3 Makerbot 3d Yazıcı.

1980'li yıllardan bu yana kullanılmakta olan üç boyutlu baskılama patentlerin süresinin dolmasıyla giderek yaygınlaşmaktadır. Popülerleşmesindeki en büyük etkenlerden biri katmanlı üretim tekniği sayesinde karmaşık şekillerin dahi çok hızlı bir şekilde kolayca üretilmesidir. Otomotiv, medikal, havacılık, modelcilik, kuyumculuk, mimari vb. alanlarda ticari olarak kullanılmakta olan üç boyutlu yazıcılar açık kaynak kodlu yazılım ve açık kaynaklı donanım enformasyonu sayesinde günümüzde bireysel

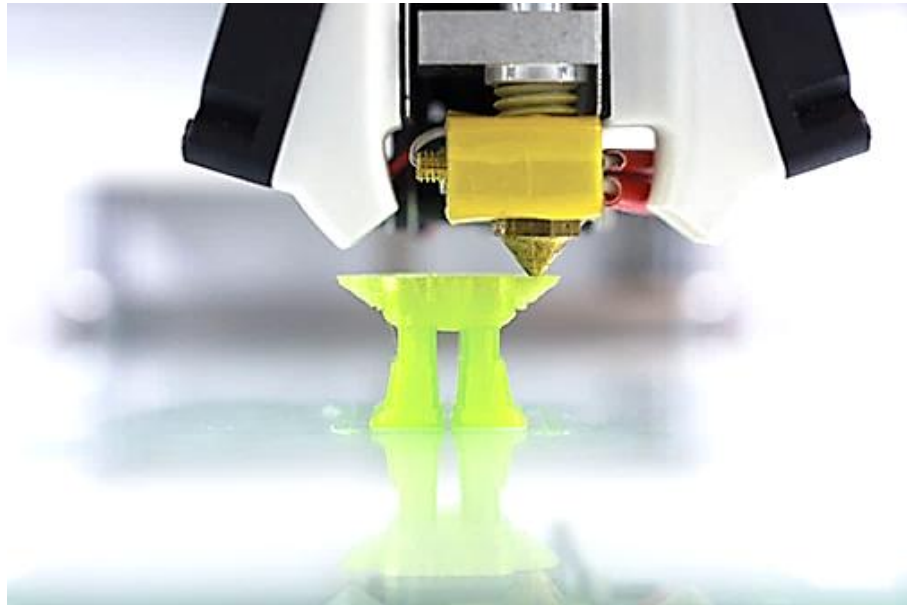
kullanımı hızla artmaktadır. Donanım ve yazılımın yanında baskılamada kullanıldıkları malzemeye göre de kendi içinde yazıcılar ayrılmaktadır.

3.1.5. Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojileri

Uç uca eklemeli imalat yöntemlerinden biri olan 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kompleks geometrili tasarımları üretebilmesi, üretimde minimum malzeme kullanması, pahalı üretim ekipmanlarının olmaması vb. etmenlerden dolayı konvansiyonel üretim teknolojilerine göre çoğu yönden avantaj sağlamaktadır. 3 boyutlu yazıcı teknolojisinde üretim hızı imali gerçekleştirilecek katı modelin şekil yapısının karmaşıklığına, uygulanan üretim teknolojisine ve kullanılan malzemeye göre değişmektedir. Üç boyutlu yazıcıları üretim tekniğine göre özelleştirsek Birleştirme yoluyla yığma (FDM), stereolitografi (SLA),Seçici lazer Sinterleme (SLS) ve Enjektörlü ekstrüzyon olmak üzere 4 gruba ayırabiliriz.

3.1.5.1. Birleştirme Yoluyla Yığma (Fused Deposition Modelling):

Bu teknolojiye bir termoplastik filament ısıtılmış sıcak memeden geçirilerek akışkanlaştırılır ve kolay form alması sağlanır. Ergimiş plastik yazılımla belirlenmiş çok ince katmanlar halinde belli konturları ve modelin kesit izlerini takip ederek üst üste Şekil 3.4'deki gibi yığılır. Bu proses model tamamlanıncaya kadar devam etmektedir.

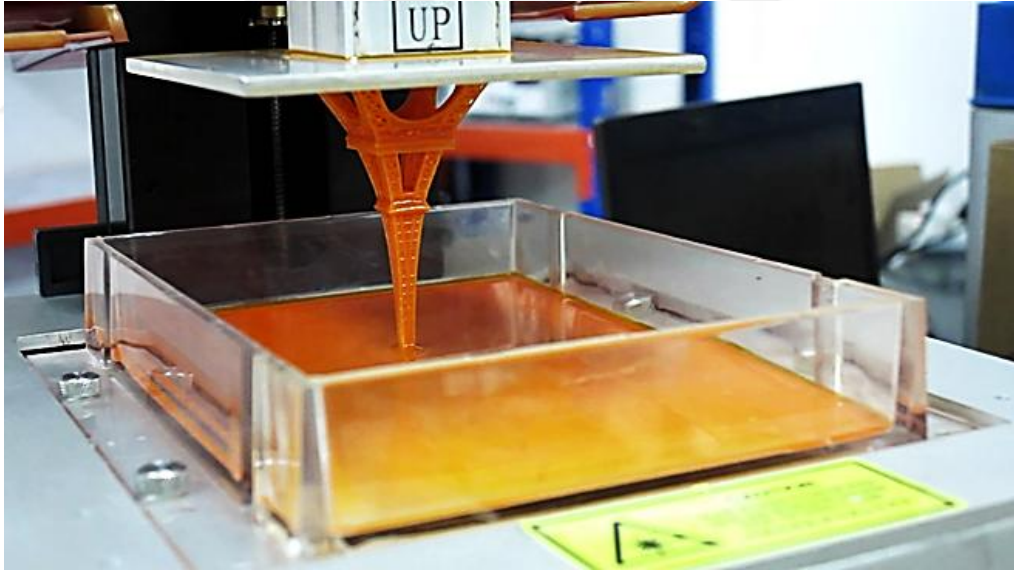


Şekil 3.4 FDM Tipi Yazıcının Baskı Esnasındaki Görünümü.

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan üretim tekniği kullanılan ekipmanın ve kullanılan malzemenin ucuz olmasından dolayı FDM'dir. Genellikle ABS, Naylon ve PLA olmak üzere farklı renklerde ve kalınlıklarda termoplastikler kullanılmaktadır. En büyük handikapları kaba yığıma teknolojisinden dolayı metrolojik olarak hassas toleransa sahip olmamaları ve kullanılan malzemenin mukavemeti ölçüsünde ortaya çıkan ürünlerin ısı ve yük altında diğer yöntemlere göre kolay deforme olabilmeleridir. Günümüzde ticari çok sayıda fabrikasyon ürün olmakla birlikte açık kaynak kodlu donanım ve yazılımlar sayesinde Kendin Yap (Do it Yourself) toplulukları aracılığıyla kullanıcılar sayısız ev yapımı amatör yazıcı modelleri üretmiştir.

3.1.5.2. Stereolitografi (SLA):

Stereolitografi, fotopolimer havuzuna üretecek modelin kesitleri aktif ışık kaynağı aracılığıyla yansıtılarak fotopolimerin katılaşması sağlanmaktadır. Üretilen her katmandan sonra modelin bağlı olduğu taban, katman kalınlığı kadar fotopolimer havuzuna Şekil 3.5'deki gibi daldırılmakta yada çekilmektedir.



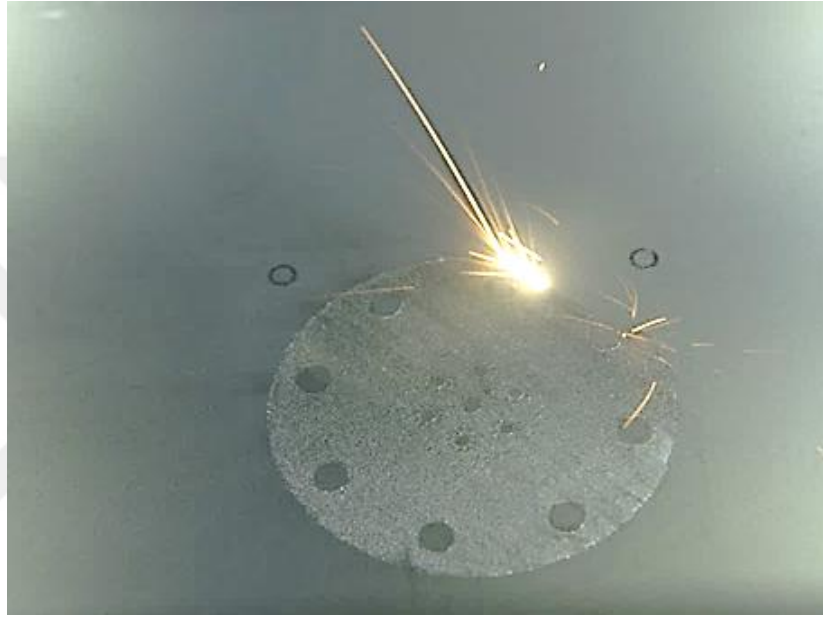
Şekil 3.5 SLA Tipi Yazıcının Baskı Esnasındaki Görünümü.

Genellikle noktasal UV ışık kaynağı, Lazer ve Projeksiyon kullanılmaktadır. Projeksiyonun diğer yöntemlerden farkı, modelin katmandaki kesit şeklinin tamamını tek bir seferde yansıtmakta ve daha hızlı üretimi gerçekleştirmektedir. SLA'nın FDM göre avantajı modelin işlenen katman kalınlığı çok ince olduğundan yüzey kalitesinin ve metrolojik ölçülerinin çok iyi olmasından kaynaklanmaktadır. Dezavantajı ise kullanılan

fotopolimer reçinenin termoplastik malzemelere göre çok pahalı olması ve renk seçeneğinin çok fazla olmamasıdır.

3.1.5.3. Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering) :

Şeçici Lazer Sinterleme Teknolojisinde model katmanlar halinde serilen metal ya da delrin, polyamid vb. plastik bazlı tozların Şekil 3.6'daki gibi yüksek çözünürlükte lazerle yakılmasıyla oluşmaktadır.



Şekil 3.6 SLS Tipi Yazıcının Baskı Esnasındaki Görünümü.

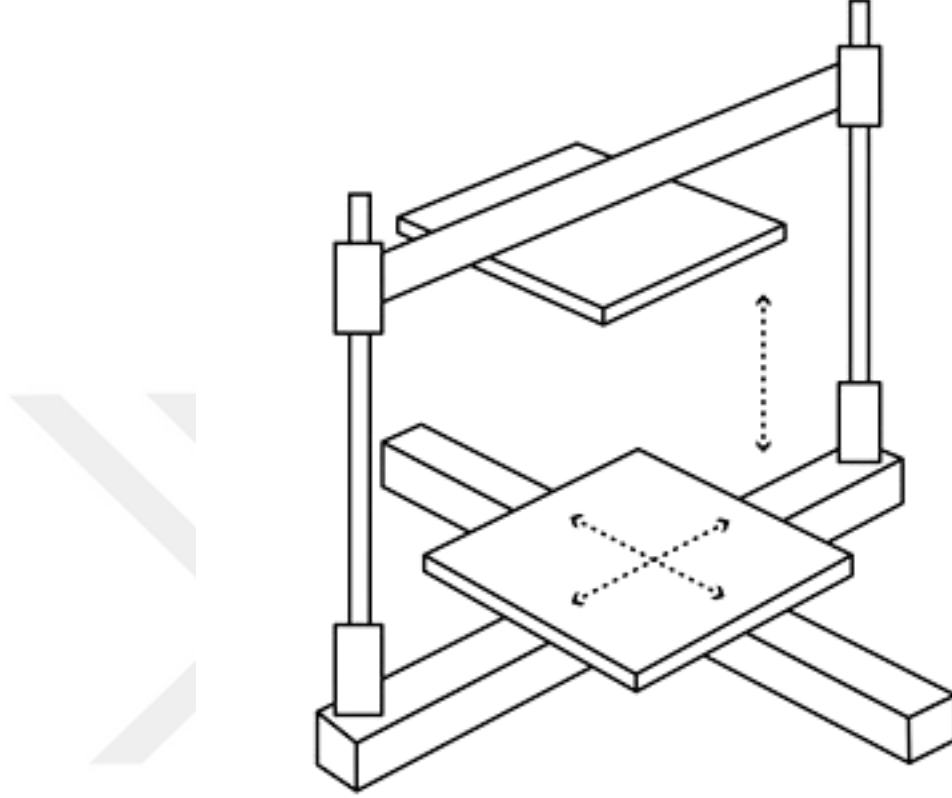
Günümüzde savunma,medikal ve havacılık sektöründe endüstriyel olarak en yaygın uç uca eklemeli imalat yöntemidir. Bunun sebebi kullanılan malzemenin çeşitliliği ve son ürün ölçü hassasiyetin yüksek olmasıdır. Dünyanın en büyük motor üreticilerinden General Motors jet motorlarının türbün kanatçıklarını bu teknolojiyle üretmek için milyonlarca dolarlık yatırım yapmıştır. Diğer teknolojilere göre çok pahalı olması ve patentlerden dolayı telif haklarının üretimi sınırlaması yaygınlaşmamasındaki en önemli etgenlerdir.

3.1.6. FDM Teknolojisindeki Üç Boyutlu Yazıcı Çeşitleri

FDM teknolojisindeki yazıcıların katmansal üretim teknolojisi aynı olsa da hareket mekanizmaları çalışma uzayına göre farklılık göstermektedir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılanları Kartezyen ve Delta yazıcılarıdır.

3.1.6.1. Kartezyen Yazıcılar

Bu tip yazıcılar Kartezyen uzayda X,Y ve Z ekseninde hareket eden yazıcılardır.

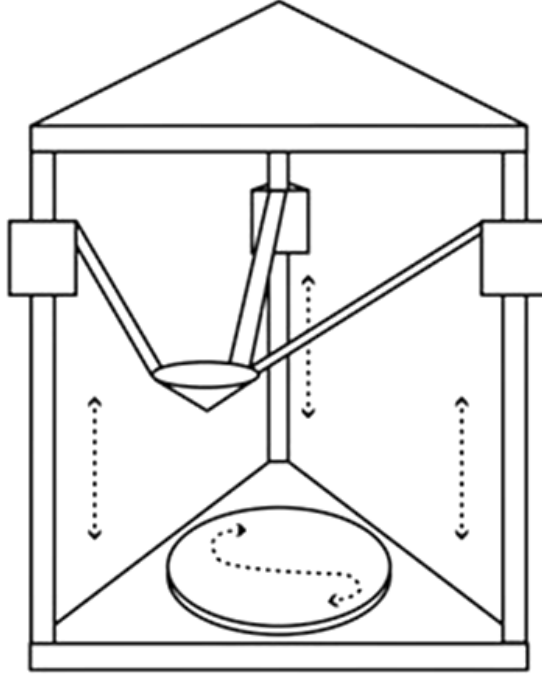


Şekil 3.7 Kartezyen Tipi Yazıcının Hareket Yörüngeleri.

Kartezyen yazıcılar üretilirken hareket tasarımı ya sıcak tabla Z ekseninde yukarı ve aşağı hareket ederken kafa X,Y ekseninde hareket edecek şekilde ya da Şekil 3.7’de görüldüğü gibi tabla X,Y ekseninde hareket ederken kafa Z ekseninde yukarı aşağı hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. İki Koşulda X ve Y ekseninde tahrik mekanizması kayış kasnak sistemi, Z eksenine ise vidalı mil ya da gijondan oluşmaktadır.

3.1.6.2. Delta Yazıcılar

Delta yazıcılar delta robot kol ile aynı hareket uzayına sahiptir. Hareket mekanizması XY eksenine yerleşen eşkenar üçgenin köşelerine oturan üç adet lineer kayma mekanizmasının baskı kafasına eşit uzunluktaki mafsallı çubuklarla bağlanmasıyla oluşmaktadır.



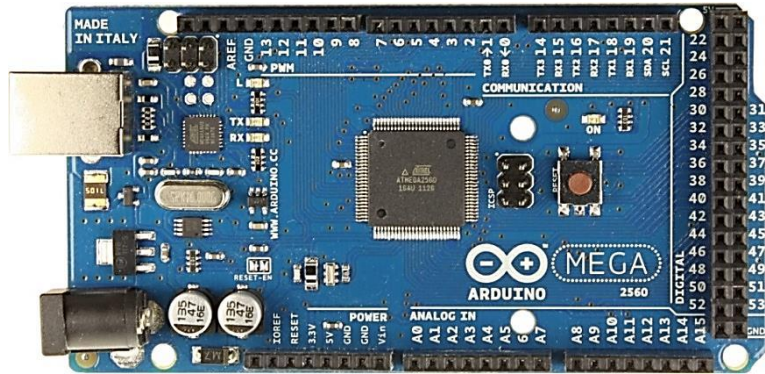
Şekil 3.8 Delta Tipi Yazıcının Hareket Yörüngeleri.

Düşey ekseninde yukarı ve aşağı hareket edebilen kayma mekanizmasına kayış kasnak sistemiyle bağlanan step motorlar tahrik mekanizmasını oluşturur. Kartezyen yazıcılara göre daha düşük maliyetli olan delta yazıcılar kinematiğindeki farklılık ve karmaşıklıktan dolayı daha az tercih edilmektedirler.

3.2. Kullanılan Donanımlar

3.2.1. Arduino Mega 2560

Arduino , hobby elektronikte geniş kullanım amaçlı tasarlanmış çok yönlü açık kaynak kodlu kontrol kartıdır.



Şekil 3.9 Arduino ATMEGA 2560 Modelinin Üstten Görünüşü.

Bugün arduinonun milyonlarca kullanıcısı mevcuttur. Kullanım kolaylığı, açık kaynak kodlu oluşu, maliyetlerinin düşük olması, yüzlerce entegre edilebilir elektronik modülü bulunması ve yeterince kaynak dokümantasyonuna sahip olmasından dolayı her alandan ve yaştan kullanıcısı bulunmaktadır. Üç boyutlu yazıcı sektörünün gelişmesinde de büyük etkisi vardır.

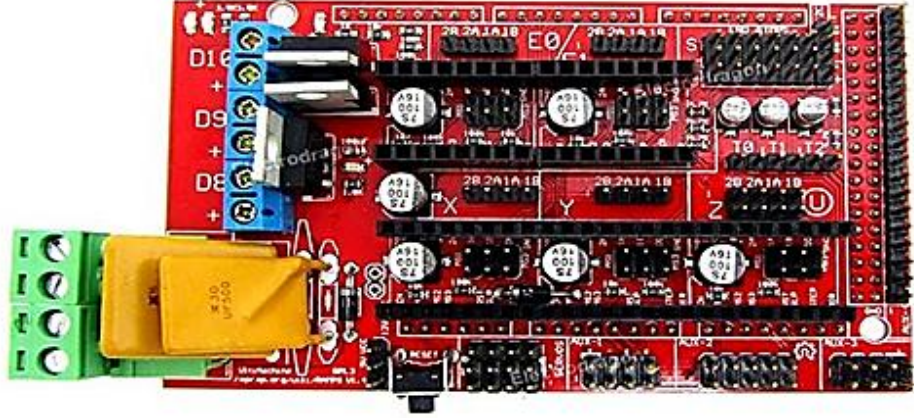
Tablo 3.1 Arduino Mega 2560 'ın Özellikleri.

Mikro Denetleyici	ATmega2560
İşletme Voltajı	5V
Giriş Voltajı (önerilen)	7-12V
Giriş Voltajı (limit)	6-20V
Dijital I/O Pinleri	54 (15 adet PWM çıkışı olarak kullanılabilir)
Analog Giriş Pinleri	16
I/O Pin başına düşen DC Akım	20 mA
3.3V Pin için DC Akım	50 mA
Flash Hafıza	256 KB (8KB 'ı bootloader için kullanılır)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Saat Hızı	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Uzunluk	101.52 mm
Genişlik	53.3 mm
Ağırlık	37 g

Özellikleri Tablo 3.1'de verilen Mega 2560 kontrol kartı Arduino'nun en gelişmiş bordudur. Üzerinde Atmel'in AT2560 mikro denetleyicisi bulunmaktadır. 15 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilen 54 adet dijital giriş ve çıkış pinleri bulunmaktadır. SCARA tipi 3 boyutlu yazıcıda kullanılacak bord ATMEGA 2560'dır.

3.2.2. Ramps 1.4

Ramps 1.4 Arduino Mega 2560 için tasarlanmış dönüşüm bordudur. Üzerinde Şekil 3.10' daki gibi güç kaynağı girişi, limit switch bağlantı pinleri, lcd panel bağlantı portu, step motor bağlantı portu, termistör pinleri, sürücü portu ve fan bağlantı yuvası bulunmaktadır.



Şekil 3.10 Ramps 1.4 Dönüşüm Bordonun Üstten Görünüşü.

ATMEGA 2560'ın çevresindeki pin yuvalarına oturacak şekilde tasarlanmıştır. Üç boyutlu yazıcıların elektronik montajında büyük kolaylık sağlamaktadır.



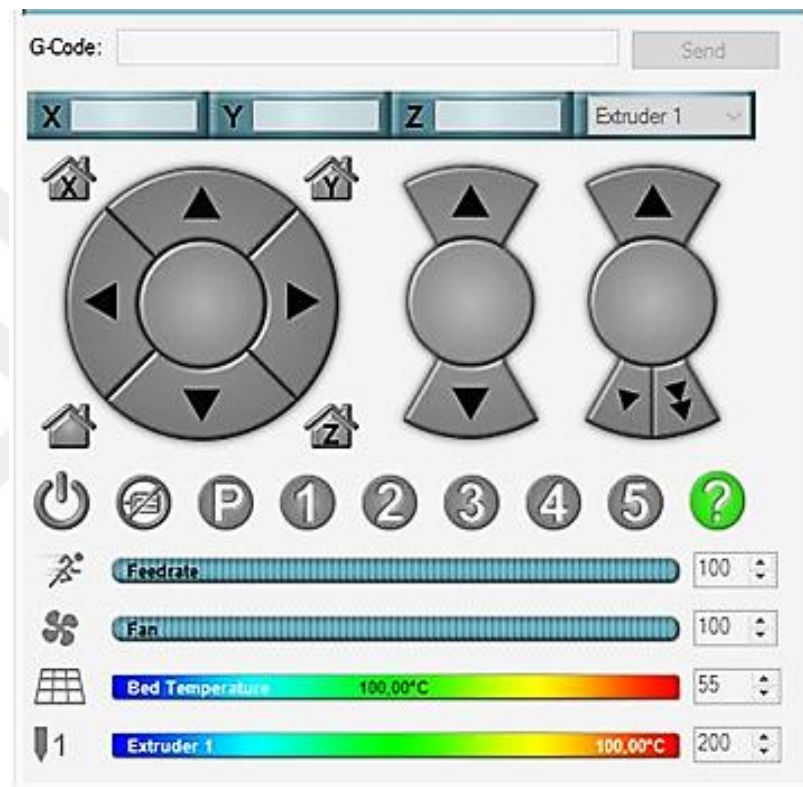
Şekil 3.11 A4988 Motor Sürücüsü.

3.2.3. A4988 Motor Sürücü Kartı

Step motorların çalışma mekanizması dc motorlara göre daha karmaşıktır. Üzerinde bulunan bobinler anahtarlanarak istenilen yön tayinine göre ileri ve geri stepler yaptırılır. Değişken hızlar için voltajın artılıp azaltılması gerekir. Voltaj arttığı zaman negatif voltaj oluşmaması için akımında azaltılması gerekmektedir. Motor sürücü devreleri bu karmaşa çözüm bulan elektronik elemanlardır. Üç boyutlu yazıcılarda her bir eksen için ayrı sürücü kullanılmaktadır. A4988 motor sürücü ismini

3.3.2. Repetier Host

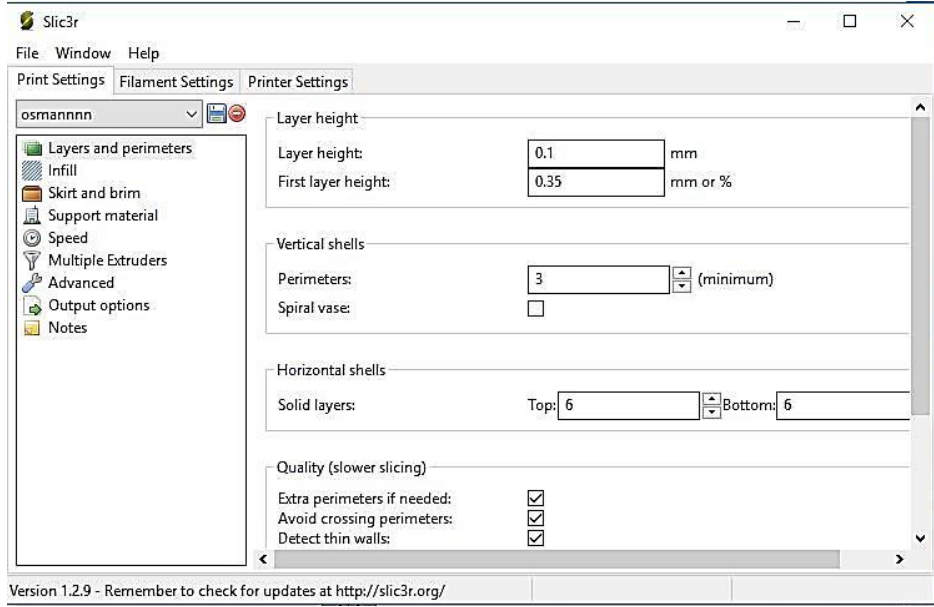
Repetier Host üç boyutlu yazıcı kontrol arayüz programıdır. Bilgisayar üzerinden doğrudan yazıcıyı Şekil 3.13’de bulunan butonlarla kontrol ve kalibre etme olanağı sağlamaktadır. Yazıcı ayarları, Filament ayarları, baskı hızı, mm başına step sayısı vb. yazıcının kontrol ve baskı ayarlarını düzenlemek mümkündür. Repetier host da baskı almadan önce baskısı alınacak “.STL” uzantılı CAD modeli Slic3r benzeri bir dilimleme programıyla düzenlenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.13 Repetier Host Kontrol Menüsü.

3.3.3. Slic3r

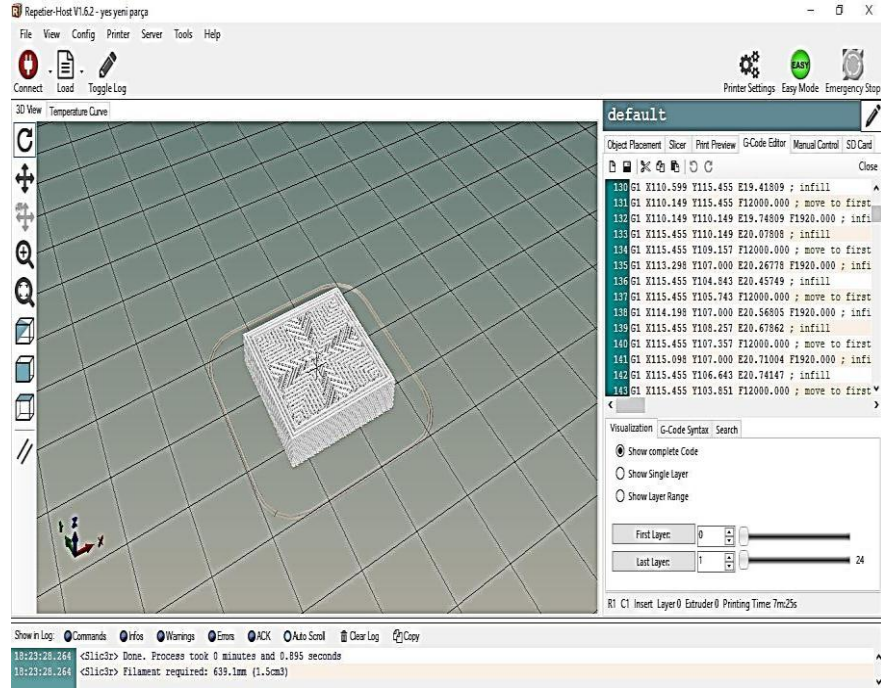
Slic3r , .STL uzantılı CAD dosyalarını düzenleyip G-Code ‘a döken dilimleme programıdır. İçinde bulunan sekmelerde Şekil 3.14’de görüldüğü gibi baskı kalitesini, doluluk oranını, dolgu şekillerini belirlemek mümkündür. Slic3r ile baskısı alınacak nesne istenilen şekilde baskı alınması için G-Code lara dökülmesi gerekmektedir. Dönüşümü sağlanan model Repetier Host programıyla doğrudan yazılacağı gibi SD kart ya da USB bellek vasıtası ile Ramps 1.4 ‘ün üzerinde bulunan kart yuvasına ya da USB girişine takılarak da bastırılabilir.



Şekil 3.14 Slic3r Baskı Yazdırma Ayarları Menüsü.

3.3.4. G-Code

G kodları, CNC tabanlı talaş kaldırma yöntemlerinden aşına olduğumuz alfanümerik yönetim kodlarıdır. Manipülatörün ya da yazıcı baskı kafasının hangi ekseninde ne kadar gideceği, motorları besleme hızı baskı kafası sıcaklığı gibi bilgiler belirli bir sırayla G kodlar halinde yazılır ve uygulanır.

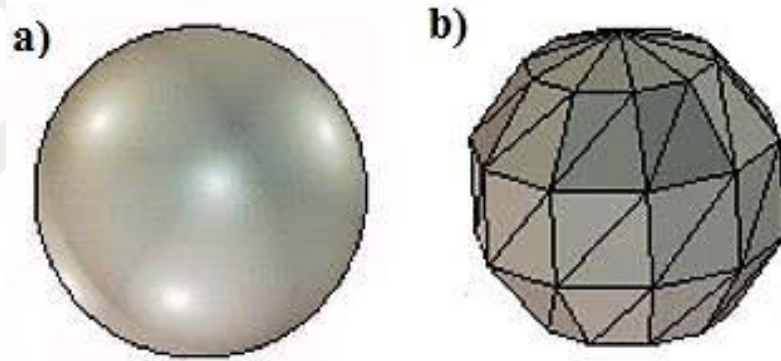


Şekil 3.15 Repetier'de G kodlarının Görünümü.

Slic3r programı konfigürasyona göre bastırılması istenen nesnenin G kodlarını çıkartmaktadır. Çıkarılan bu kodlara göre yazıcı yazdırma işlemini istenilen sıraya göre takip etmektedir. Örneğin; G0 X15, baskı kafasını X ekseninde 15 mm hareket ettirirken G0 F1500 ilerleme hızını 1000 mm/dakika olarak seçer. Daha önceden Marlin yazılımına tanımlanmış G ve M kodları, Slic3r'ın oluşturduğu kod listesine göre sırasıyla çağırılarak baskı işlemi gerçekleştirilir. Şekil 3.15'de Repetier'de G kodlarının görünümü verilmiştir.

3.3.5. STL

Bir Çeşit CAD dosya uzantısıdır. Çalışma mekanizması Şekil 3.16'da görüldüğü gibi katı modeli üçgenler şeklinde ağ yapısı uygulayarak yeniden yorumlar ve sadeleştirir. CAD modelinde bulunan malzeme, renk gibi parametreler .STL formatında bulunmamaktadır. Üç boyutlu yazdırma işlemlerinde en çok kullanılan CAD formatıdır.



Şekil 3.16 Bir Kürenin (a) SLDPRT modeli (b) STL modeli.

3.4. Dinamik Analiz

Bir robot manipülatörün belirli bir sürede istenilen koordinatlara ulaşması ya da belirli koordinatlara gelmesi istenen kola uygulanması gereken kuvvetin hesaplanması için gerekli parametrelerin matematiksel modellenmesi kinematik hesaplamalarla belirlenmektedir. Belirli bir t anında manipülatöre uygulanan belirli bir kuvvetin kolu hangi hızda hangi ivmeyle hangi koordinata sevk edeceğini düz kinematik , belirli bir koordinattaki manipülatörün bu koordinatlara gelmesi için gerekli kuvvetlerin hesaplanmasına ters kinematik hesaplamalar denilmektedir. Bir başka deyişle Şekil 3.17 'de görüldüğü gibi belirli bir açıdaki manüplatorün uç işlevcisinin koordinatlarının

bulunması düz kinematik hesaplamalarla, belirli koordinatlardaki uç işlevcinin manüpülâtörünün açısının bulunması ters kinematik hesaplamalarla bulunur. Kinematik analiz robot kolun istenilen koordinatlara tayininde çok önemlidir. Kolu tahrik eden motorların uygulayacağı tork, sürücülerin motorları beslemesi için gerekli voltaj kinematik analizin matematiksel eşitlikleri kodlanarak elektronik kontrol borda gömülmektedir. Bord hesaplamaları bu eşitliklerle yaparak uygun hareketi sağlamaktadır.

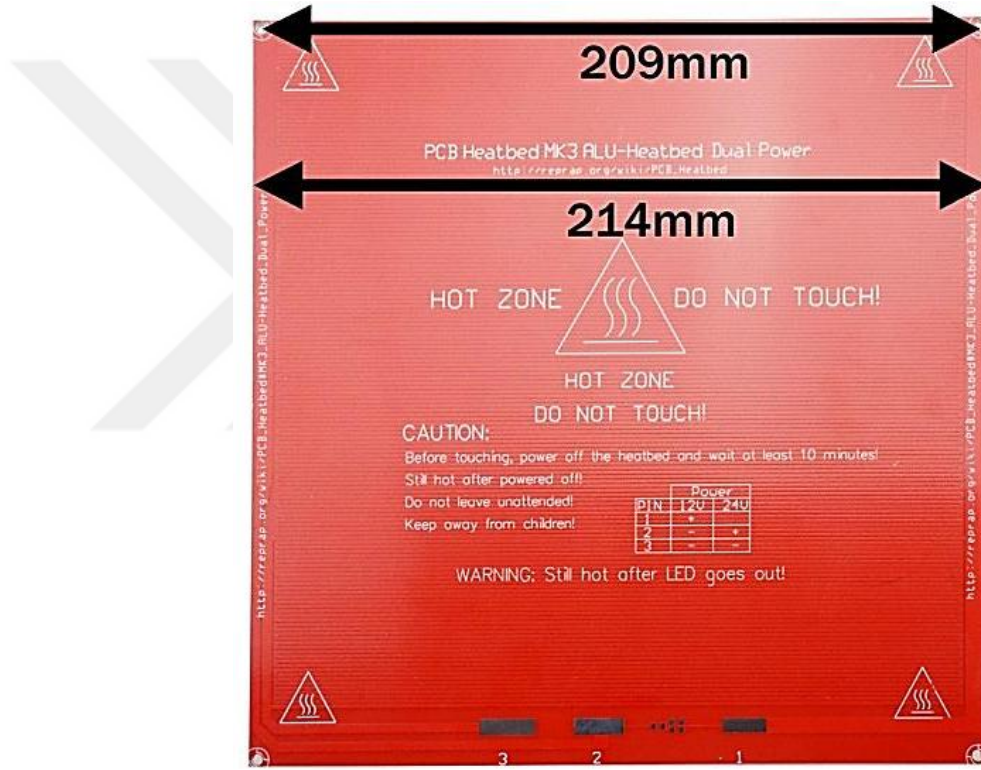


Şekil 3.2 İleri Kinematik İle Ters Kinematik Arasındaki İlişki.

4. HESAPLAMALAR

4.1. SCARA Yazıcının Çalışma Alanı

SCARA Yazıcının zemininde PCB sıcak tabla kullanılacaktır. Standart ölçüsü 214 x 214 x 1,6 mm'dir. Dört köşesinde bulunan bağlantı delikleri Şekil 4.1' de görüldüğü gibi 209 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Nominal kullanım alanı bağlantı deliklerine yerleşecek olan cıvata başlarının dış çap mesafesine 1mm pay koyarsak 205 x 205 mm 'dir. Yani maksimum çalışma alanımız PCB'nin nominal çalışma alanı içinde olmaktadır.



Şekil 4.1 PCB Sıcak Tabla.

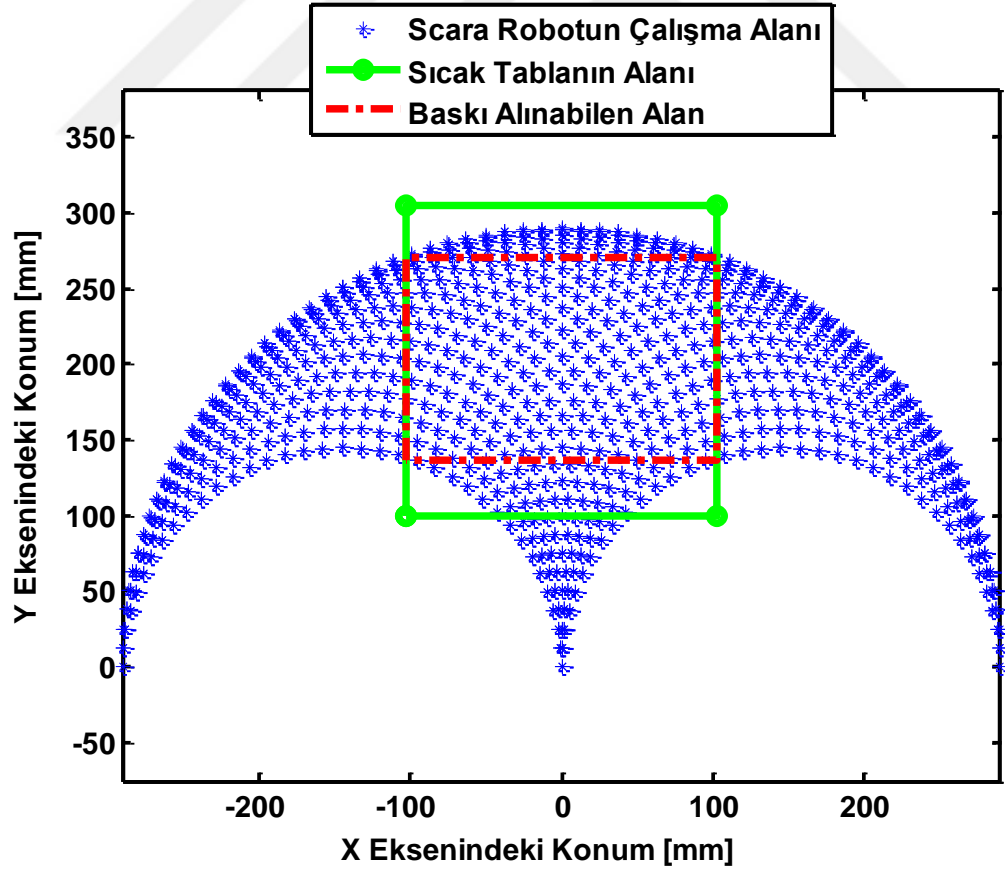
Matlab programında SCARA yazıcının çalışma alanını Şekil 4.2'deki gibi kodlanarak oluşturulmuş ve farklı kol uzunlukları denenerek ideal ebat belirlenmiştir. Şelil 4.3'de PCB'nin nominal çalışma alanını grafiğin üzerine yerleştirilerek karşılaştırılmıştır. İki Kol uzunluğu birbirine eşit ($L1=L2$) ve 145 mm olarak seçilmiştir. İki kolun eşit seçilmesindeki amaç üretim maliyetlerini azaltmak, hesaplamaları ve yazılımı kolaylaştırmaktır. X ve Y ekseninde dikdörtgen şeklinde 145 X 214 mm lik çalışma alanı PCB'nin dışına taşmayacak şekilde işaretlenmiştir.

```

VARIABLE | CODE | SIMULINK | ENVIRONMENT
Documents ▸ MATLAB ▸
Command Window
L1=145;
L2=145;
k=0;
for teta=0:5*pi/180:pi;
for phi=0:5*pi/180:pi;
for s=0:10:300;
k=k+1;
X(k)=L1*cos(teta)+L2*cos(phi);
Y(k)=L1*sin(teta)+L2*sin(phi);
Z(k)=s;
end
end
end
plot3(X,Y,Z,'*');grid;
xlabel('X MM');
ylabel('Y MM');
figure;
plot(X,Y,'*');grid;
fx >> |

```

Şekil 4.2 Matlab Programında Çalışma Alanının Kodlanması.

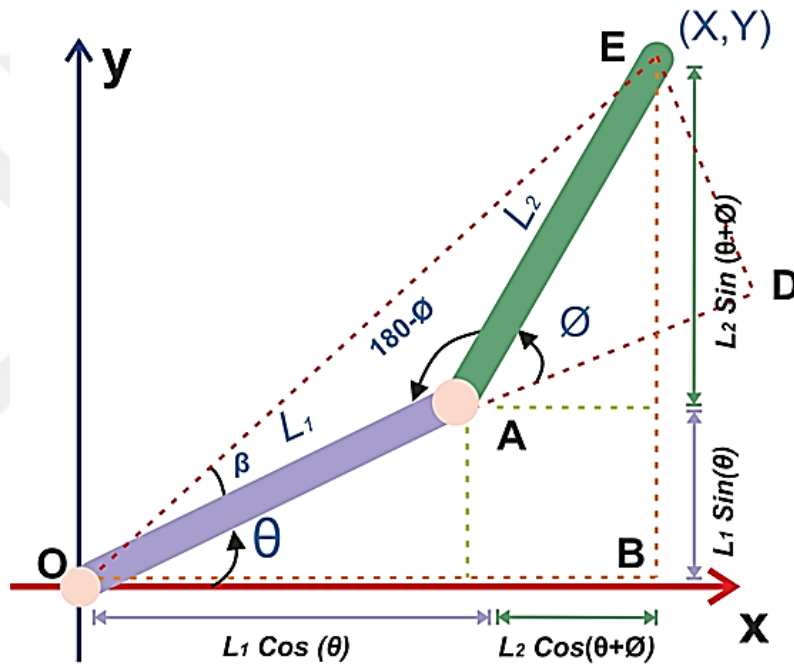


Şekil 4.3 Baskı Alınabilen Alan ile SCARA Robotun Çalışma Alanının Karşılaştırılması.

X ekseninde SCARA robot istenilen çalışma mesafesini sağlarken Y ekseninde 60 mm'lik bir boşluk bulunmaktadır. Nominal çalışma alanı 205 x 205 mm olan PCB'nin 145x205 mm' lik kısmı kullanılabilir.

4.2. Kinematik Hesaplamalar

Düz ve Ters kinematik hesaplamaları geometrik çözüm yapılarak elde edilmiştir. Çeşitli trigonometrik eşitlikler ve geometrik üçgen bağıntıları kullanarak çözümlenmiştir.



Şekil 4.4 SCARA Robotun X ve Y Eksenindeki Konumu.

4.2.1. Düz Kinematik

SCARA robotun uç işlevcisinin koordinatları L_1 ve L_2 kolun düşey ve yatay eksenlerdeki iz düşümleri X ve Y 4.1 ve 4.2 deki gibi trigonometrik bağıntılarla hesaplanarak elde edilmiştir.

$$X = L_1 \cos(\theta) + L_2 \cos(\theta + \phi) \quad (4.1)$$

$$Y = L_1 \sin(\theta) + L_2 \sin(\theta + \phi) \quad (4.2)$$

4.2.2. Ters Kinematik

Kosinüs teoremi (4.3) Şekil 4.4' deki EAO üçgenine (4.4)'deki gibi uygulanırsa;

$$a^2 = b^2 + c^2 - bc \cos \emptyset \quad (4.3)$$

$$|EO|^2 = X^2 + Y^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2 \cos(180 - \emptyset) \quad (4.4)$$

$$L_1 = L_2$$

$$X^2 + Y^2 = 2L_1^2 + 2L_1^2 \cos(\emptyset)$$

$$\cos \emptyset = \frac{X^2 + Y^2}{2L_1^2} - 1 \quad (4.5)$$

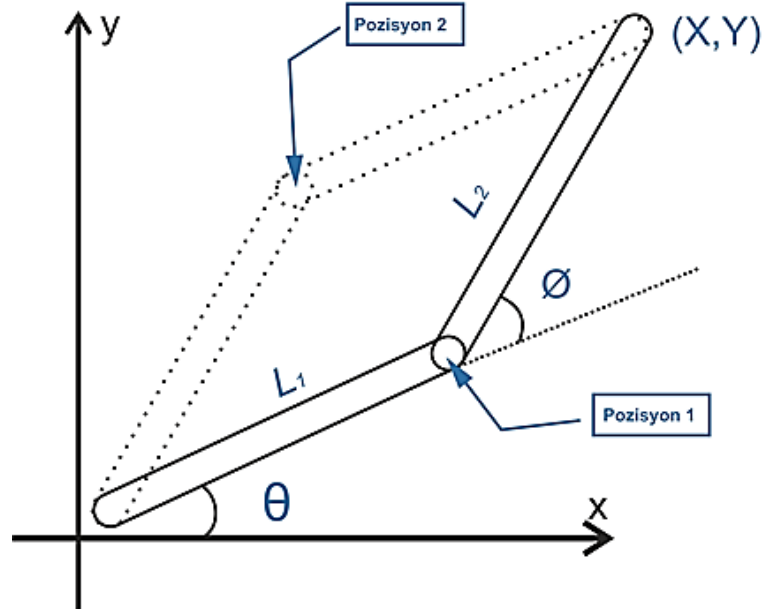
\emptyset açısı (4.6) te ki eşitlikten elde edilir.

$$\emptyset = \cos^{-1}\left(\frac{X^2 + Y^2}{2L_1^2} - 1\right) \quad (4.6)$$

\emptyset açısının sinüsü (4.7) numaralı bağıntıdan çekilirse (4.8) elde edilir.

$$(\cos \emptyset)^2 + (\sin \emptyset)^2 = 1 \quad (4.7)$$

$$\sin \emptyset = \sqrt{1 - (\cos \emptyset)^2} \quad (4.8)$$



Şekil 4.5 SCARA Kolun Farklı Pozisyonları

Şekil 4.5' de görüldüğü gibi SCARA yazıcının baskı kafası iki pozisyonda da aynı koordinatlarda bulunmaktadır. Eğer robot soldan sağa doğru hareket ediyorsa (dirsek yukarı) geniş açıdan harekete başlayacağından , \emptyset açısını bulmak için Şekil 4.4'deki \widehat{EOB} açısına β açısını eklememiz gerekmektedir. Bizim sistemimizde sağdan

sola doğru (dirsek aşağı) hareket etmektedir. Dolayısıyla Θ açısını bulmak için \widehat{EOB} açısından β açısını çıkarmamız gerekmektedir. İki açıyı da bulmak için 4.5 ve 4.8 deki eşitlikleri kullanarak Şekil 4.4'de oluşturdukları üçgenlerin tanjantlarını almamız gerekmektedir.

$$|OD| = L_1 + L_2 \cos \emptyset$$

$$|ED| = L_2 \sin \emptyset$$

$$\tan \beta = \frac{|ED|}{|OD|} = \frac{L_2 \sin \emptyset}{L_1 + L_2 \cos \emptyset}$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{L_2 \sin \emptyset}{L_1 + L_2 \cos \emptyset} \right) \quad (4.9)$$

$$\tan(\beta + \theta) = \frac{Y}{X}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Y}{X} - \beta \quad (4.10)$$

yazıcının L1 ve L2 kolunun açıları \emptyset ve Θ 4.6 ve 4.10 daki eşitliklerden elde edilmiştir.

4.2.3. Hareket Denklemlerinin Elde Edilmesi

SCARA robotun hareket denklemlerini elde etmek için Lagrange-Euler (L-E) yaklaşımı kullanılmıştır. Lagrange-Euler (L-E) yaklaşımı 4.X sistemin toplam enerji ve işi ile ifade edilir. Lagrange-Euler eşitliğini oluşturabilmemiz için ilk önce 4.11'deki L (Lagrange Fonksiyonu) 'yi belirlememiz gerekir.

$$L^* = K - P \quad (4.11)$$

*L Lagrange fonksiyonunun sembolüdür. L1 ve L2 kol uzunluğuyla karıştırılmaması için L1 yerine l_1 L2 yerine l_2 ifadesi kullanılacaktır.

Potansiyel enerji tasarladığımız SCARA yazıcıda Z eksenine doğru ve sabit olduğu için ihmal ederiz (P=0). Sistemin toplam kinetik enerjisi 4.15 deki gibi L1 kolunun (4.13) ve L2 kolunun (4.14) kinetik enerjisinin toplamına eşittir.

$$K = K_1 + K_2 \quad (4.12)$$

$$K_1 = \frac{1}{2} m_1 l_1^2 \dot{\theta}^2 \quad (4.13)$$

$$K_2 = \frac{1}{2} m_2 l_1^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m_2 l_2^2 (\dot{\theta}^2 + \dot{\emptyset}^2 + 2\dot{\theta}\dot{\emptyset}) + m_2 l_1 l_2 \cos \emptyset (\dot{\theta}^2 + \dot{\emptyset}^2) \quad (4.14)$$

$$K = \frac{1}{2}m_1l_1^2\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m_2l_1^2\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m_2l_2^2(\dot{\theta}^2 + \dot{\phi}^2 + 2\dot{\theta}\dot{\phi}) + m_2l_1l_2 \cos \phi (\dot{\theta}^2 + \dot{\theta}\dot{\phi}) \quad (4.15)$$

$$L = \frac{1}{2}m_1l_1^2\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m_2l_1^2\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m_2l_2^2(\dot{\theta}^2 + \dot{\phi}^2 + 2\dot{\theta}\dot{\phi}) + m_2l_1l_2 \cos \phi (\dot{\theta}^2 + \dot{\theta}\dot{\phi}) \quad (4.16)$$

4.15 deki toplam Kinetik Enerji eşitliğini 4.11 deki Lagrange fonksiyonunda yerine koyarsak ve 4.16 deki Lagrange fonksiyonunu 4.17'deki Lagrange-Euler eşitliğinde yerine koyup Θ için hesaplırsak;

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.17)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = (m_1 + m_2)l_1^2\dot{\theta} + m_2l_2^2(\dot{\theta} + \dot{\phi}) + 2m_2l_1l_2 \cos(\phi)\dot{\theta} + m_2l_1l_2 \cos(\phi)\dot{\phi} \quad (4.18)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) = \left((m_1 + m_2)l_1^2 + m_2l_2^2 + 2m_2l_1l_2 \cos(\phi) \right) \ddot{\theta} + (m_2l_2^2 + m_2l_1l_2 \cos(\phi)) \ddot{\phi} - 2m_2l_1l_2 \sin(\phi) \dot{\theta}\dot{\phi} - m_2l_1l_2 \sin(\phi) \dot{\theta}\dot{\phi}^2 \quad (4.19)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = 0 \quad (4.20)$$

1. Kol için gereken torku (τ_1) 4.21 de görüldüğü gibi elde etmiş oluruz.

$$\tau_1 = \left((m_1 + m_2)l_1^2 + m_2l_2^2 + 2m_2l_1l_2 \cos(\phi) \right) \ddot{\theta} + (m_2l_2^2 + m_2l_1l_2 \cos(\phi)) \ddot{\phi} - 2m_2l_1l_2 \sin(\phi) \dot{\theta}\dot{\phi} - m_2l_1l_2 \sin(\phi) \dot{\theta}\dot{\phi}^2 \quad (4.21)$$

Aynı şekilde 2. Kol için ϕ için hesaplırsak

$$\frac{\partial L}{\partial \phi} = m_2l_2^2(\dot{\theta} + \dot{\phi}) + 2m_2l_1l_2 \cos(\phi)\dot{\theta} + m_2l_1l_2 \cos(\phi)\dot{\phi} \quad (4.22)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\phi}} \right) = m_2l_2^2(\ddot{\theta} + \ddot{\phi}) + m_2l_1l_2 \cos(\phi)\ddot{\theta} - m_2l_1l_2 \sin(\phi) \ddot{\theta}\dot{\phi} \quad (4.23)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \phi} = -m_2l_1l_2 \sin(\phi) (\dot{\theta}^2 + \dot{\theta}\dot{\phi}) \quad (4.24)$$

$$\tau_2 = m_2l_2^2(\ddot{\theta} + \ddot{\phi}) + m_2l_1l_2 \cos(\phi)\ddot{\theta} - m_2l_1l_2 \sin(\phi) \ddot{\theta}\dot{\phi} + m_2l_1l_2 \sin(\phi) (\dot{\theta}^2 + \dot{\theta}\dot{\phi}) \quad (4.25)$$

İkinci kol için gereken torku (τ_2) 4.25 de görüldüğü gibi elde etmiş oluruz.

SCARA yazıcının kolları dönme hareketi yapmaktadır. Tork değerlerini hesaplamak için 4.26 ve 4.29 da verilen kübik yörünge denklemlerini uygularsak

$$\theta = at^3 + bt^2 + ct + d \quad (4.26)$$

$$\dot{\theta} = 3at^2 + 2bt + c \quad (4.27)$$

$$\ddot{\theta} = 6at + 2b \quad (4.28)$$

$$\phi = et^3 + ft^2 + gt + h \quad (4.29)$$

$$\dot{\phi} = 3et^2 + 2ft + g \quad (4.30)$$

$$\ddot{\phi} = 6et + 2f \quad (4.31)$$

$$t_i = 0, t_s = 10; \theta_i = 0, \theta_s = \frac{\pi}{6}; \dot{\theta}_i = 0, \dot{\theta}_s = 0,$$

Başlangıç ve bitiş değerlerine göre 4.26, 4.27 ve 4.28 çözüldüğünde

$$a = -0.0010473, b = 0.01571, c = 0, d = 0$$

değerleri elde edilir.

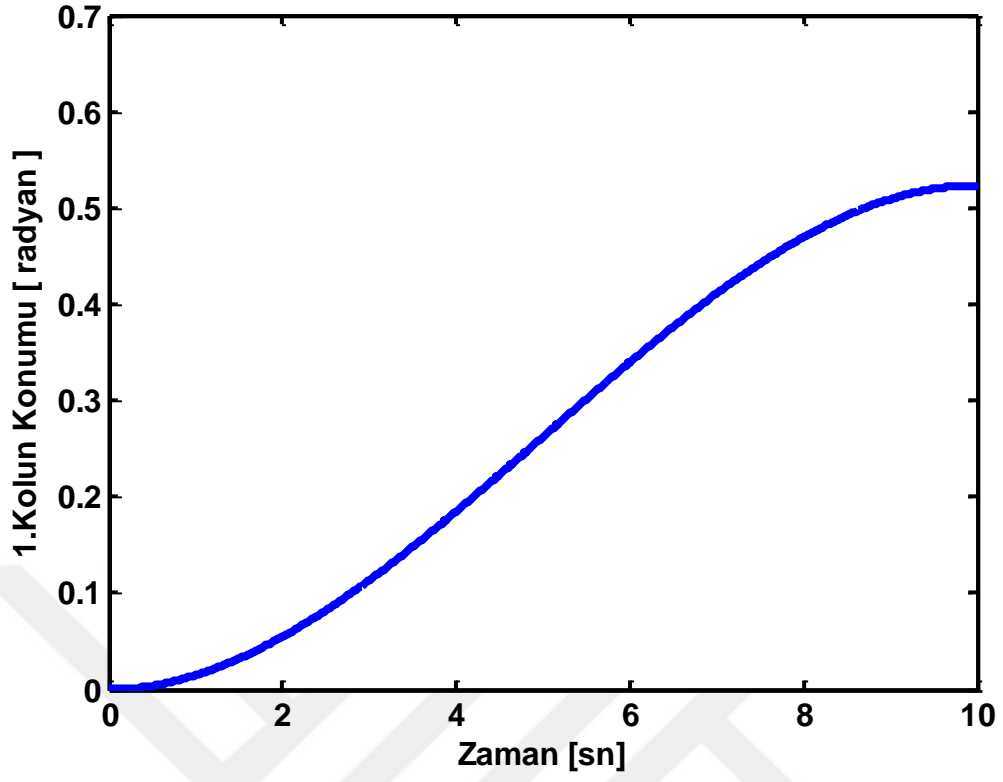
$$t_i = 0, t_s = 10; \phi_i = 0, \phi_s = \frac{\pi}{3}; \dot{\phi}_i = 0, \dot{\phi}_s = 0,$$

Başlangıç ve bitiş değerlerine göre 4.29, 4.30 ve 4.31 çözüldüğünde

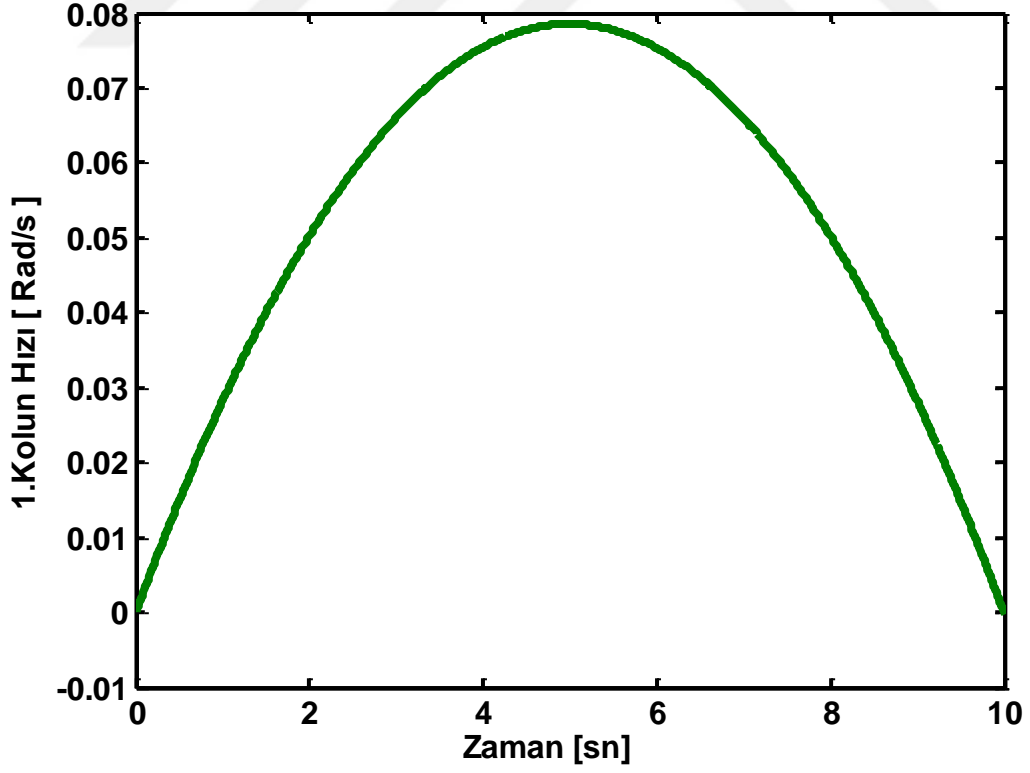
$$e = -0.002095, f = 0.031425, g = 0, h = 0$$

değerleri elde edilir.

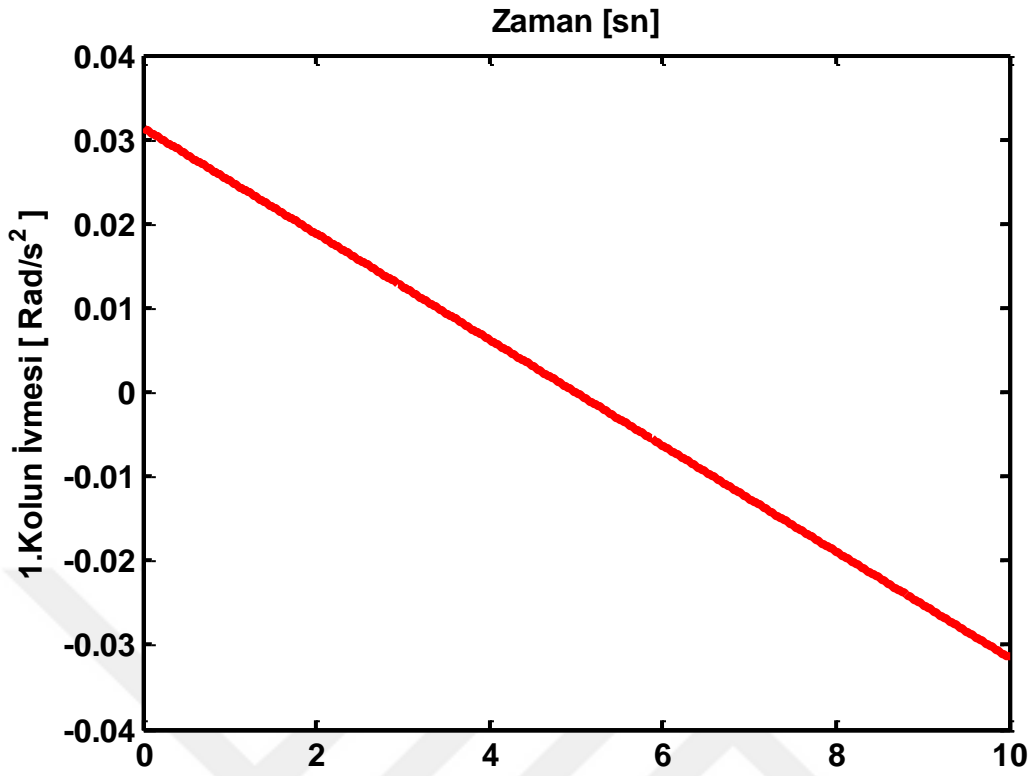
Ek-4'de yer alan Matlab M-File dosyasındaki komutlar yardımıyla $t=0:0.01:10$ saniyeye kadar 4.21 ve 4.25 'deki hareket denklemleri çözdürüldüğünde birince ve ikinci kolun Şekil 4.6 ve Şekil 4.9'daki konum, Şekil 4.7 ve Şekil 4.10'daki hız, Şekil 4.8 ve Şekil 4.11'deki ivme grafiği ile birinci ve ikinci kola uygulanan Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'deki tork grafikleri elde edilmektedir. Grafiklerden elde edilen değerlerde maksimum tork gereksinimi 1 Nm geçmemektedir. Bizim seçeceğimiz nema 17 step motorun tork değeri 2 Nm olduğu için sistem için uygundur.



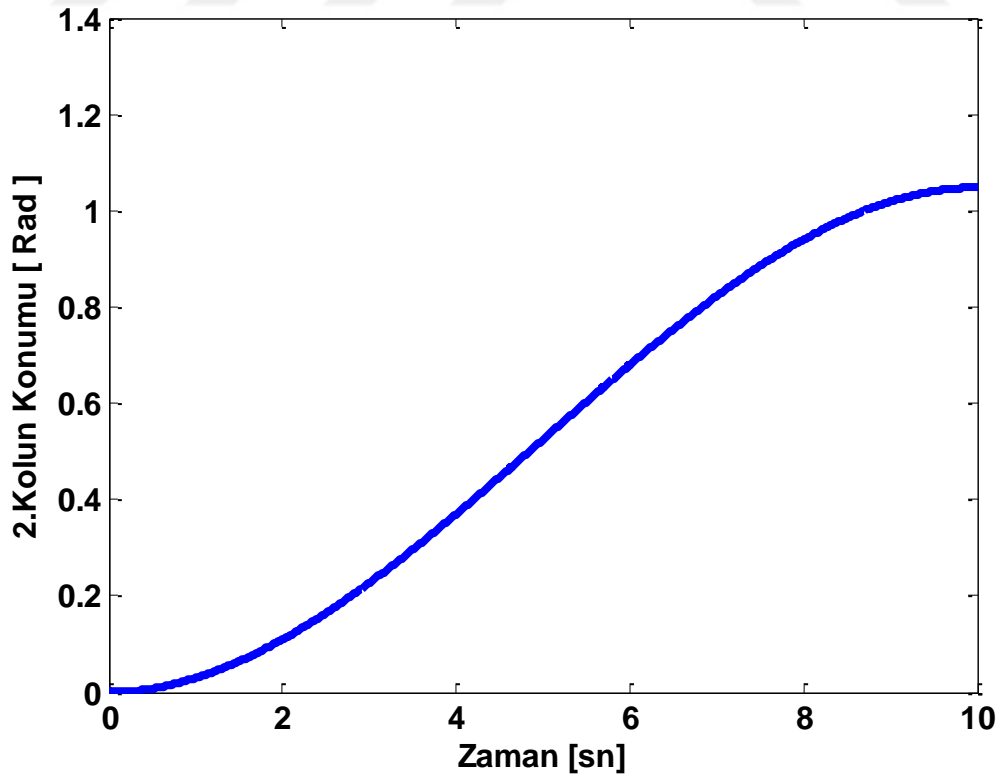
Şekil 4.6 Birinci Kolun Konum-Zaman Grafiği.



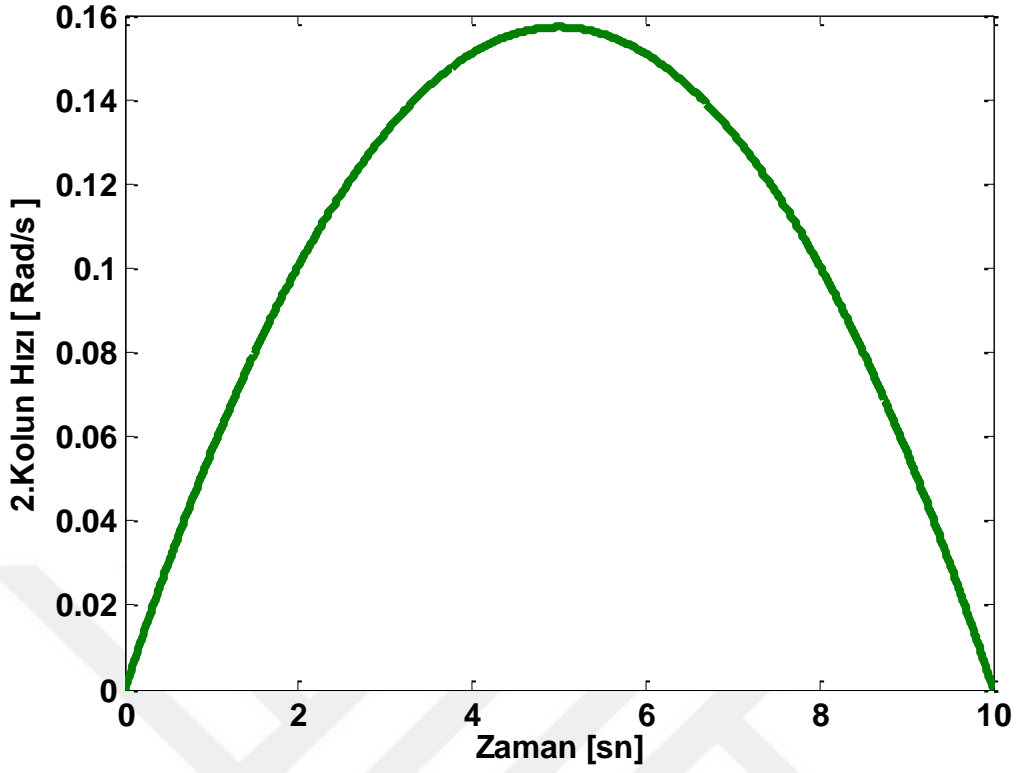
Şekil 4.7 Birinci Kolun Hız-Zaman Grafiği.



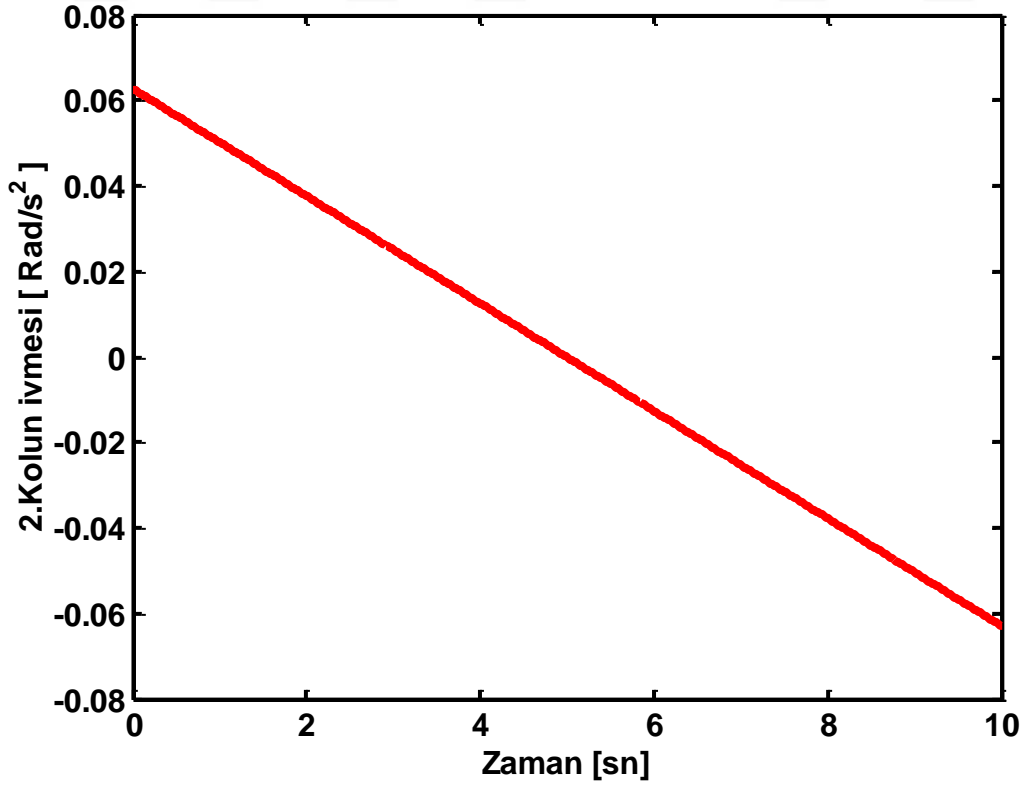
Şekil 4.8 Birinci Kolun İvme-Zaman Grafiği.



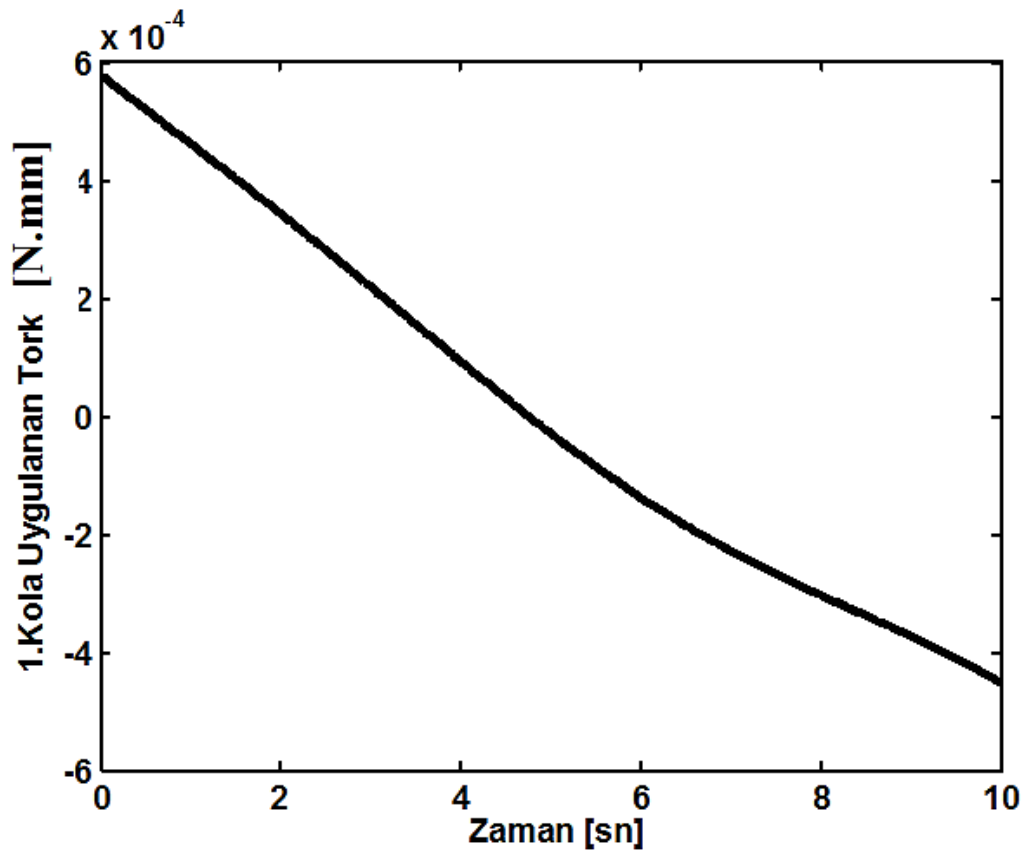
Şekil 4.9 İkinci Kolun Konum-Zaman Grafiği.



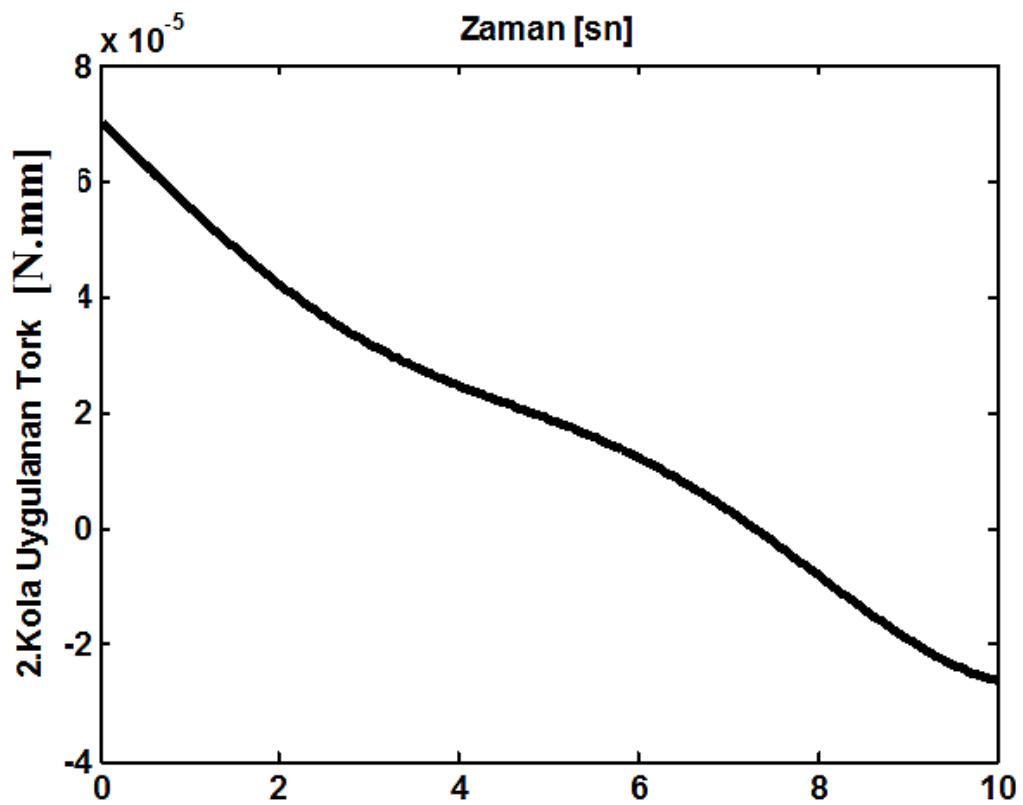
Şekil 4.10 İkinci Kolun Hız-Zaman Grafiği.



Şekil 4.11 İkinci Kolun İvme-Zaman Grafiği.



Şekil 4.12 Birinci Kola uygulanan Tork-Zaman Grafiği.



Şekil 4.13 Birinci Kola uygulanan Tork-Zaman Grafiği.

4.3. X ve Y Eksenindeki Motorların Dişli Oranı Hesabı

SCARA robotlar kartezyen robotlardan farklı olarak dairesel hareket etmektedirler. Bundan dolayı düz step motorlarla istenilen hareket hassasiyeti ve adım aralığı sağlanamamaktadır. İstenilen hassasiyeti sağlayabilmek için dişli kutusu ya da kayış kasnak sistemi kullanmamız gerekmektedir. Uygun dişli oranının seçimi 4.32 da belirtilen Kontrol Çözünürlüğü (CR) hesabıyla bulunur. Kontrol çözünürlüğü iki kolun uç uca eklenerek oluşturduğu yarı çapın tam turda izleyeceği yörünge çevresinin step motorun tam turda yapacağı step sayısına oranıyla elde edilmektedir.

$$CR = \frac{2\pi(L_1 + L_2)}{400} \quad (4.32)$$

$$= \frac{2\pi(145+145)}{400} \quad (4.33)$$

$$\cong 4,555$$

$$Dişli Oranı = \frac{CR}{istenen\ hassasiyet} \quad (4.34)$$

$$= \frac{4,555}{1} = 4,555 \cong 5 \quad (4.35)$$

4.35 'da elde ettiğimiz sonuca göre 5:1 dişli kutusu bize gereken hassasiyeti sağlayacaktır.

4.4. X-Y Step/mm Hesaplamaları

Motor tam tur döndüğünde yazıcı kafası x ekseninde toplam 580 mm yer değiştirmektedir. 1mm yer değiştirmesi için toplamda $\frac{1}{580}$ tur dönmesi gerekir.

$$\frac{Step}{mm} =$$

$$Dişli Oranı \times \frac{mm}{tur} \times 1/(Mikro Step) \times Motorun Tam Turdaki Step Sayısı$$

(4.36)

$$= 5 \times \frac{1}{580} \times \frac{1}{16} \times 200$$

(4.31)

$$= 27,5862 \cong 27,6 \frac{Step}{mm} \quad (4.36)$$

X ekseninde 4.36 de ki gibi $27,6 \frac{Step}{mm}$ bulunur. Y ekseninde aynı değer geçerlidir.

4.5. Z Step/mm Hesaplamaları

Z ekseninde SFU1204 vidalı mil göbeği kullanılmıştır. 12 mm vidalı milin çapı, 04 ise vida adımıdır. Yani bir tam turda 4 mm ilerlemektedir. Sistemin 1mm hareket edebilmesi için $\frac{1}{4}$ tur dönmesi gerekir. Kullandığımız step motorun katalog değerine göre $\frac{1}{16}$ mikro step yaparak her stepte 1.8° lik açıyla dönmektedir. 4.39 'de motor tam tur döndüğünde 200 step yapacak yani 200 Step/Tur olacak. Bunu 4.34' de yerine koyarsak bizim için gerekli olan sistemi 1 mm hareket ettirebilmek için motorun kaç step yapması gerektiğini 4.35 de ki gibi 800 step/mm sonucunu elde ederiz.

$$\text{Motorun Tam Turdaki Step Sayısı} = \frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200 \text{ Step/Tur} \quad (4.39)$$

$$\frac{\text{Step}}{\text{mm}} = \text{Vidalı Mil Adımı} \times \frac{1}{\text{Mikro Step}} \times \text{Motorun Tam Turdaki Step Sayısı} \quad (4.40)$$

$$= \frac{1}{4} \times \frac{1}{16} \times 200 = 800 \text{ step/mm} \quad (4.41)$$

4.6. Filament Besleme Sisteminin Hesaplanması (E Step)

Burada diğer hesaplamalardan farklı olarak hob efektif çapı devreye girmekte, Kullandığımız ekstruder MK8 tabanlı ve üzerinde hob efektif çapı 10,19 mm olan dişli bulunmaktadır. Bu değeri 4.42 da yerine koyarsak, 4.43 'de el ettiğimiz sonuç 100 step/mm olur.

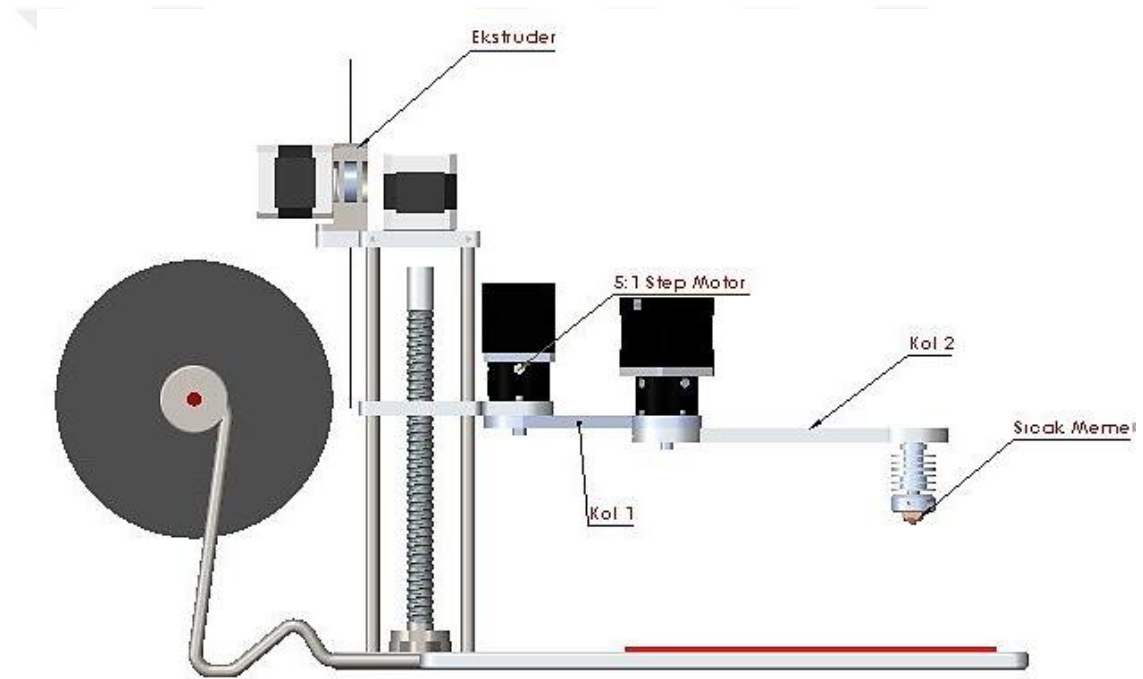
$$\frac{\text{Step}}{\text{mm}} = \frac{\frac{1}{\text{Mikro Step}} \times \text{Motorun Tam Turdaki Step Sayısı}}{\text{hob efektif çapı} \times \pi} \quad (4.42)$$

$$= \frac{\frac{1}{16} \times 200}{10,19 \times \pi} = 99,96 \cong 100 \text{ step/mm} \quad (4.43)$$

5.TASARIM VE UYGULAMA

5.1. Tasarım

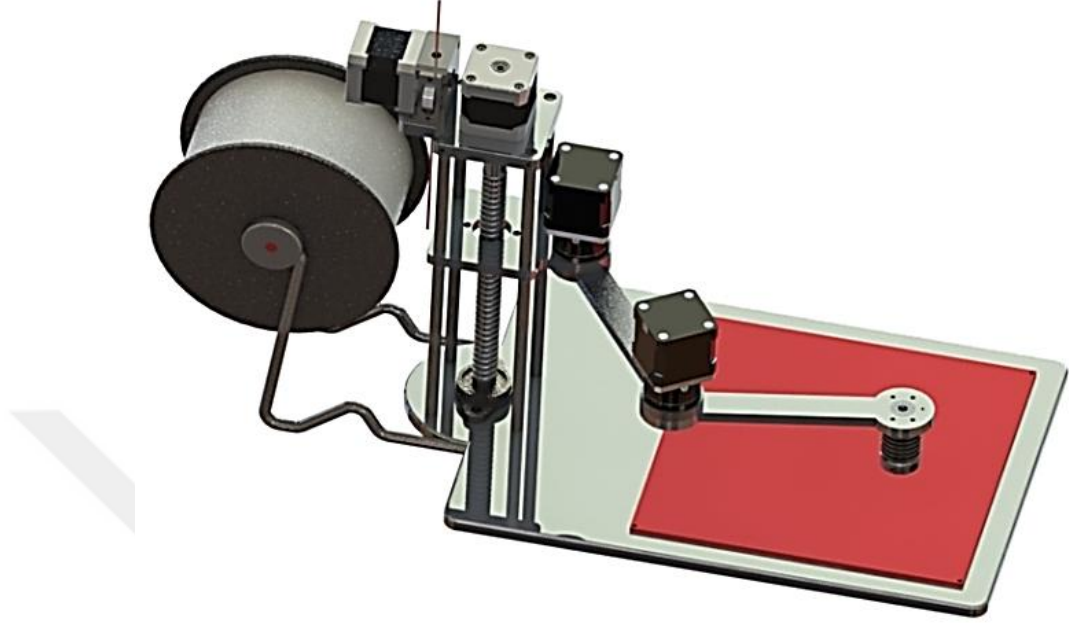
SCARA yazıcının hesaplamalarda elde edilen değerlere göre SolidWorks programında tasarımı yapılmıştır. Şekil 5.1’de oluşturulan katı modelin resmi verilmiştir. Daha önce belirlenen kol uzunluklarına ve çalışma alanına göre SCARA yazıcının çalışma hacmi $145 \times 214 \times 350 \text{ mm}^3$ olarak belirlenmiştir. Kol tasarımında 5:1 dişli kutusuna sahip step motorun mil uzunluğu ve alın rulmanların eni toplamda 18 mm olmaktadır. 145 mm uzunluğa sahip kolun et kalınlığı 8 mm yapılmıştır. Z ekseninde yataklamayı yapacak parçanın kararlı ve tolerans yığılmasına izin vermemesi için 4 adet 8 mm’ lik indüksiyonlu milled alt tablaya sabitlenmiştir. Z ekseninde sfu 1204 vidalı mil göbeği seçilmiş ve 1. Kolu tutan parçaya sabitlenmiştir.



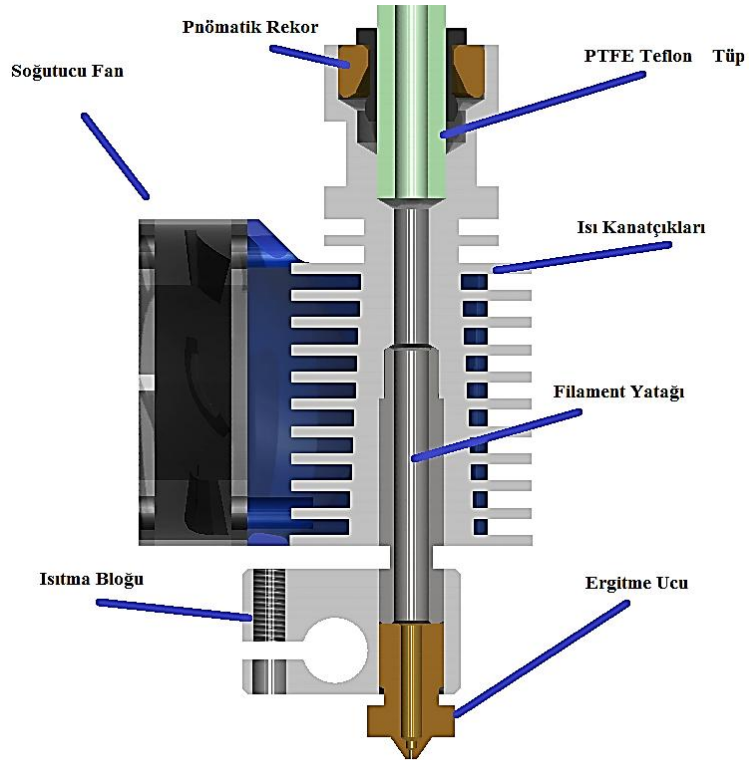
Şekil 5.1 SCARA Tipi Üç Boyutlu Yazıcının Bileşenleri.

İndüksiyonlu millerin tablaya oturan kısımların uçlarına metrik 8 diş açılmış ve tablaya vidalandıktan sonra pul civata kombiniyle rijitleştirilmiştir. Hareket esnasında salgı oluşmaması için indüksiyon miller üst noktada yanlardan setskur civatayla sabitlenmiştir. Filament beslemesi esnasında destek hortumunun bükülüp hareketi aksatmaması ve manipülatörün hareketini kısıtlamaması için filament besleme sistemi en üst noktaya monte edilmiştir.

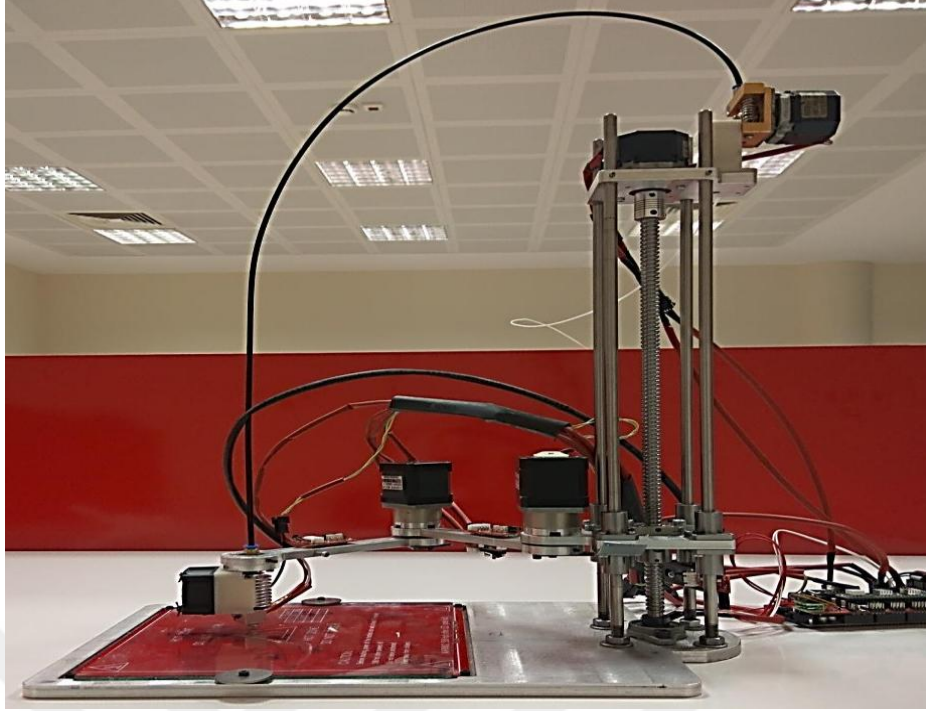
Tasarımın Solidworks programında renderlanmış hali Şekil 5.2’ deki gibidir. Yazıcının uç kısmında bulunan ergitme bölümünün ayrıntısı Şekil 5.3’de verilmiştir. Şekil 5.4’de ise SCARA tipi üç boyutlu yazıcının imal edilmiş hali gözükmektedir.



Şekil 5.2 SCARA Yazıcının CAD Modeli.



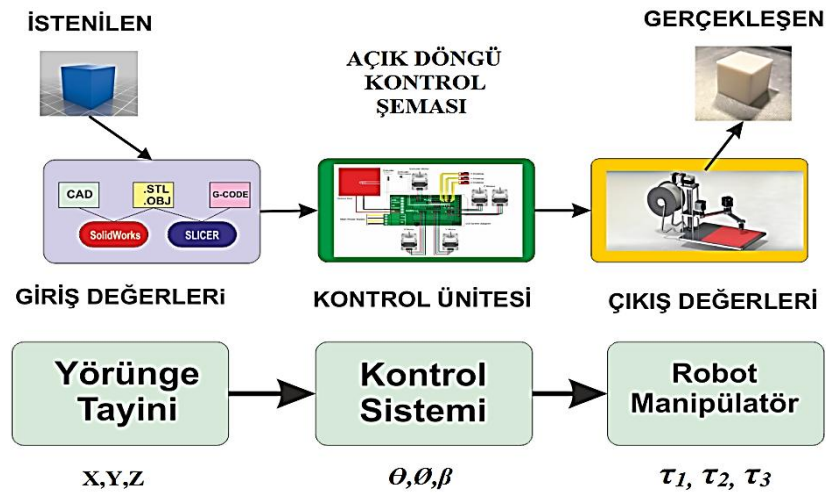
Şekil 5.3 Yazıcının Uç Kısmında Bulunan Ergitme Bölümü ve Elemanları.



Şekil 5.4 SCARA Tipi Üç Boyutlu Yazıcının Gerçek Görüntüsü.

5.2. Scara Tipi Üç Boyutlu Yazıcının Kontrol Sistemi

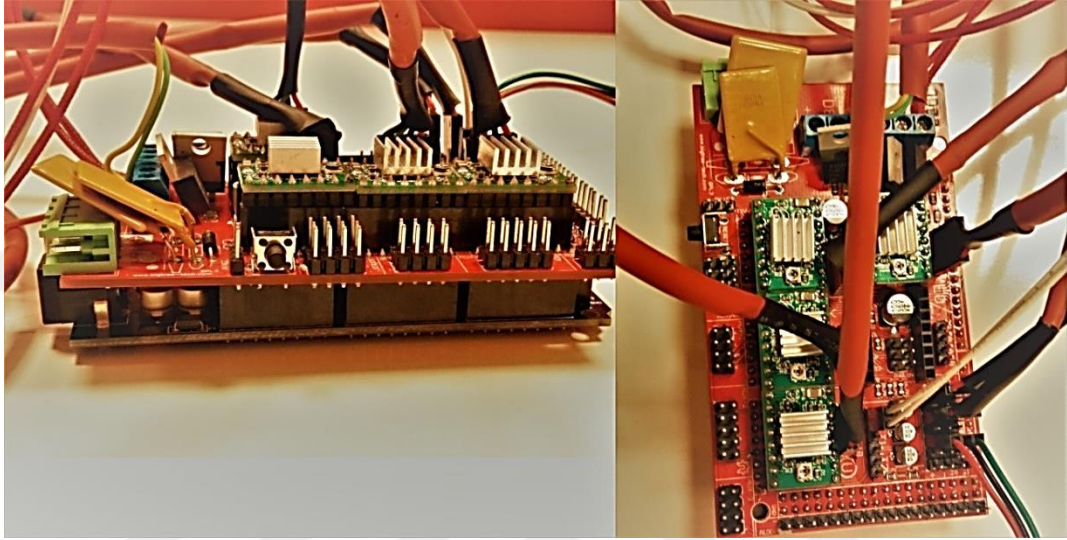
Scara tipi üç boyutlu yazıcının kontrol sistemi diğer üç boyutlu yazıcılarla aynı olup açık döngü kontrol sistemidir. Üç boyutlu yazıcılarda açık çevrimin kullanılmasının en büyük nedeni daha basit ve düşük maliyetli oluşudur. Şekil 5.5 'te görüldüğü gibi baskısı istenilen katı modelin boyutlarına göre sistemin giriş parametreleri oluşturulup yörünge tayini yapıldıktan sonra gereken dönüş açılarına göre belirlenen torqlara dönüştürülerek sistemden çıkışı sağlanmaktadır.



Şekil 5.5 Scara Tipi Üç Boyutlu Yazıcının Açık Döngü Kontrol Şeması.

5.3. Elektronik Sistemin Montajı

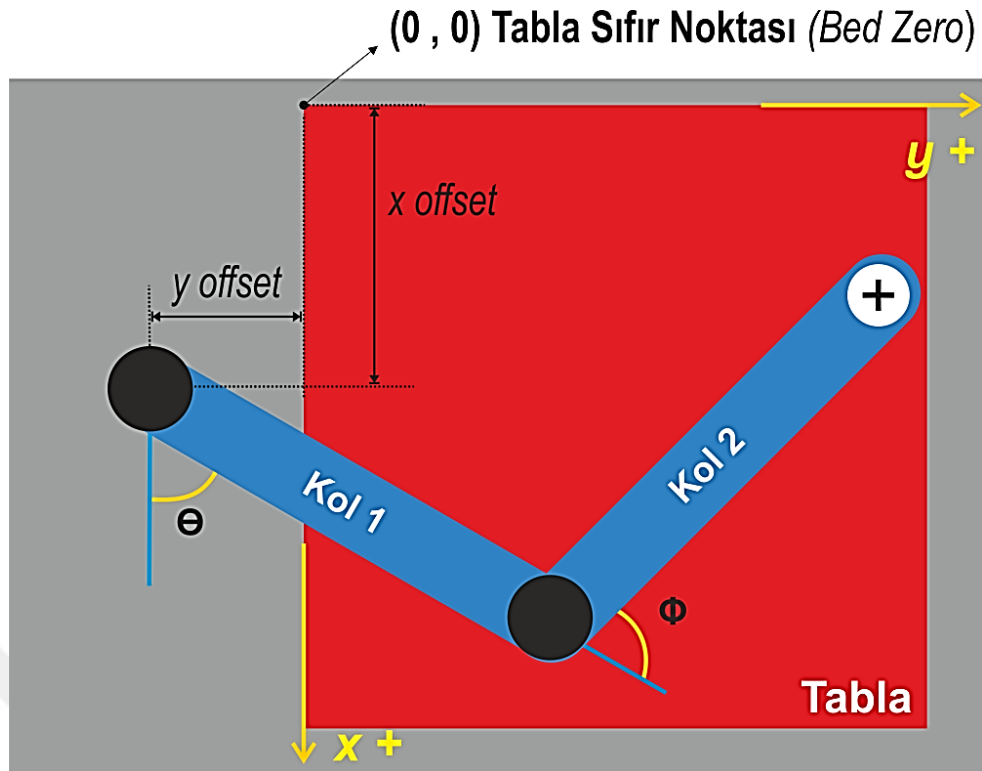
Arduino Mega 2560 ana kontrol borduna Ramps 1.4 Şekil 5.6'daki gibi yerleştirilmiştir. Ramps 1.4 dönüştürücü bordun üzerinde bulunan sürücü yuvalarına 4 adet a4988 sürücü yerleştirilmiş sürücülere step motorların pinleri Şekil 5.6'daki gibi yerleştirilmiştir. Limit switch Zmin, Xmin ve Ymin portuna bağlanmıştır. Güç kaynağından 12 voltluk besleme bordun ana girişine Şekil 5.6'daki gibi bağlanmıştır.



Şekil 5.6 SCARA Yazıcının Kontrol Bordu.

5.4. Hesaplamaların Marlin'e Uygulanması

Marlin yazılımının içinde bulunan konfigürasyon dosyası Configuration.h 'de motorların ve yazıcının genel ayarları düzenlenmiştir. Hesaplamalarda 4.39'deki eşitlikten elde edilen tur başına step sayısı SCARA_SEGMENTS_PER_SECOND 200 olarak tanımlanmıştır. Kol uzunlukları Şekil 5.8'daki gibi Linkage_1 ve Linkage_2 145 mm olarak tanımlanmıştır. Burda en önemli kısım offset_x ve offset_y dir. Eğer offset_x ve offset_y'nin doğru değerini girmezsek yazıcı kafası hiçbir zaman doğru pozisyonda bulunmaz . Onun için ölçümü doğru yapmamız gerekir. Offset_X Şekil 5.7'de görüldüğü gibi 1. Kolun dönme noktasının tabla sıfır noktasına kadar olan X eksenindeki mesafesidir. Burada tabla sıfır noktasını tablanın sol alt köşesi olarak alıyoruz. Offset_Y ise 1. Kolun dönme noktasının tabla sıfır noktasına kadar olan Y eksenindeki mesafesidir. 2. Kısımda ise X,Y ve Z sınır anahtarların pin yuvalarını tanımlayarak yazılımsal olarak aktive ediyoruz. Minimum sınır anahtarlar kullanılacağı için minimum sınır anahtarlar tanımlanmaktadır.



Şekil 5.7 SCARA Yazıcının Tabla Sıfır Noktası.

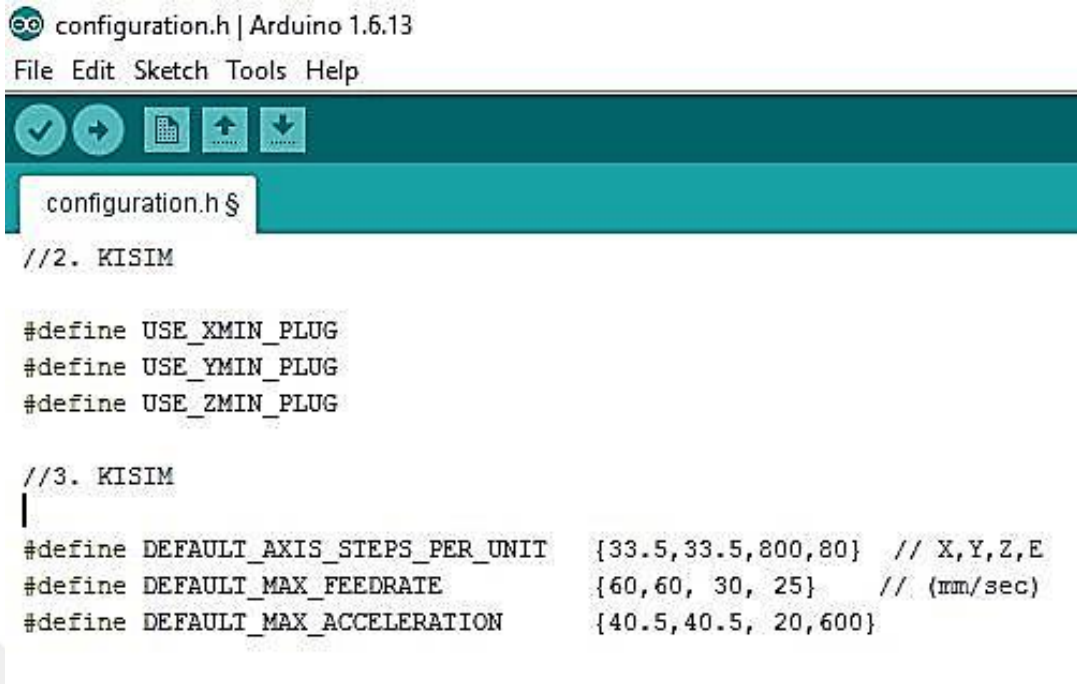
configuration.h | Arduino 1.6.13

File Edit Sketch Tools Help

configuration.h §

```
#define SCARA
#define SCARA_SEGMENTS_PER_SECOND 200
#define Linkage_1 145
#define Linkage_2 145
#define SCARA_offset_x 108 //mm
#define SCARA_offset_y -61 //mm
#define SCARA_RAD2DEG 57.2957795
```

Şekil 5.8 Marlin Configuration.h Dosyası.



```

configuration.h | Arduino 1.6.13
File Edit Sketch Tools Help

configuration.h $

//2. KISIM

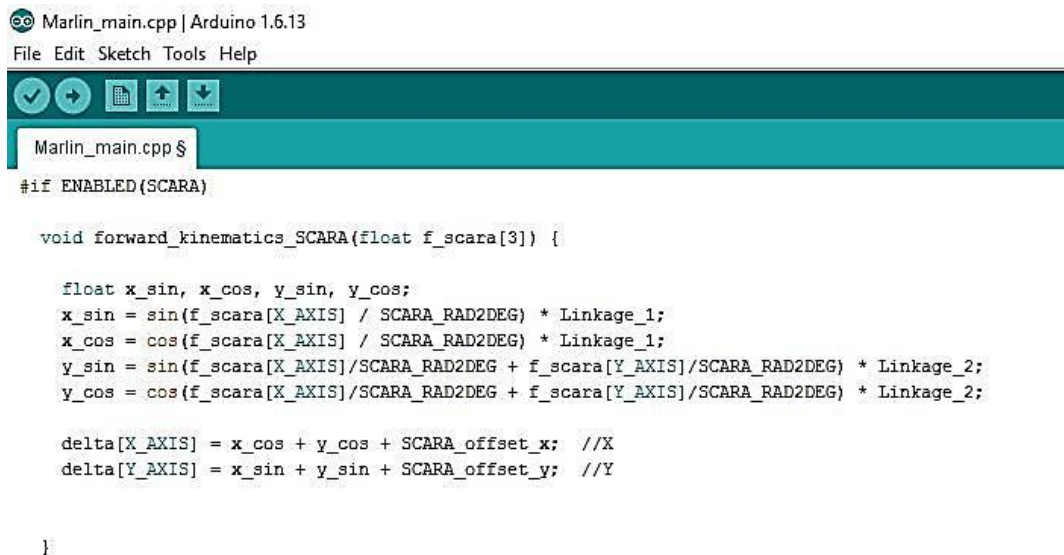
#define USE_XMIN_PLUG
#define USE_YMIN_PLUG
#define USE_ZMIN_PLUG

//3. KISIM
|
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {33.5,33.5,800,80} // X,Y,Z,E
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {60,60, 30, 25} // (mm/sec)
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {40.5,40.5, 20,600}

```

Şekil 5.9 Configuration.h Dosyasındaki Ayarlar.

Üçüncü kısımda ise her bir birim için hesaplamalardan elde edilen değerler tanımlanmıştır. X ve Y motoru için 4.39’de elde edilen 27.6 , Z motoru için 4.41’de elde edilen 800 , E motoru için 4.43’de elde edilen 100 değeri tanımlanmıştır. Diğer besleme hızı ve ivmelenmeyi istenilen baskı kalitesine göre uygun değerler girilmiştir.



```

Marlin_main.cpp | Arduino 1.6.13
File Edit Sketch Tools Help

Marlin_main.cpp $

#if ENABLED(SCARA)

void forward_kinematics_SCARA(float f_scara[3]) {

float x_sin, x_cos, y_sin, y_cos;
x_sin = sin(f_scara[X_AXIS] / SCARA_RAD2DEG) * Linkage_1;
x_cos = cos(f_scara[X_AXIS] / SCARA_RAD2DEG) * Linkage_1;
y_sin = sin(f_scara[X_AXIS]/SCARA_RAD2DEG + f_scara[Y_AXIS]/SCARA_RAD2DEG) * Linkage_2;
y_cos = cos(f_scara[X_AXIS]/SCARA_RAD2DEG + f_scara[Y_AXIS]/SCARA_RAD2DEG) * Linkage_2;

delta[X_AXIS] = x_cos + y_cos + SCARA_offset_x; //X
delta[Y_AXIS] = x_sin + y_sin + SCARA_offset_y; //Y

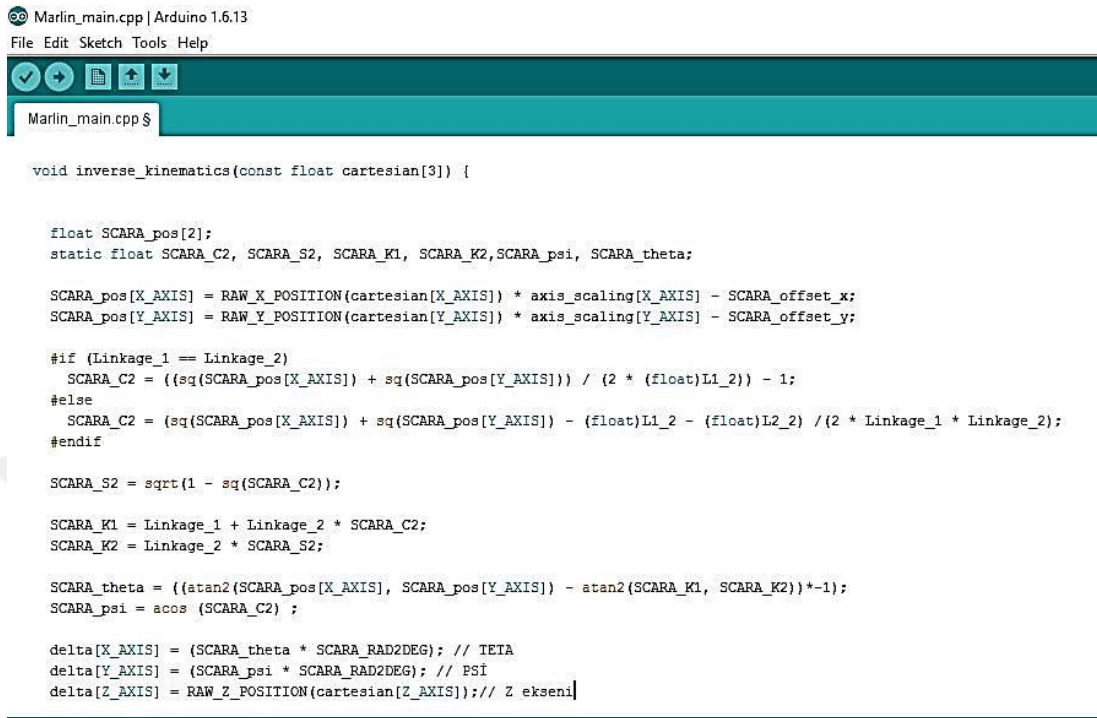
}

```

Şekil 5.10 Marlin_main.cpp de Düz Kinematik.

Bir başka Marlin dosyası olan Marlin_main.cpp dosyasında ileri ve ters kinematik eşitliklerini Şekil 5.11’deki gibi tanımlanmaktadır. Hesaplamalarda elde

edilen 4.4 ve 4.5 deki ileri kinematiğin X ve Y değerlerini delta[X_AXIS] ve delta[Y_AXIS] olarak girişi yapılmaktadır.



```

Marlin_main.cpp | Arduino 1.6.13
File Edit Sketch Tools Help

Marlin_main.cpp $

void inverse_kinematics(const float cartesian[3]) {

    float SCARA_pos[2];
    static float SCARA_C2, SCARA_S2, SCARA_K1, SCARA_K2, SCARA_psi, SCARA_theta;

    SCARA_pos[X_AXIS] = RAW_X_POSITION(cartesian[X_AXIS]) * axis_scaling[X_AXIS] - SCARA_offset_x;
    SCARA_pos[Y_AXIS] = RAW_Y_POSITION(cartesian[Y_AXIS]) * axis_scaling[Y_AXIS] - SCARA_offset_y;

    #if (Linkage_1 == Linkage_2)
        SCARA_C2 = ((sq(SCARA_pos[X_AXIS]) + sq(SCARA_pos[Y_AXIS])) / (2 * (float)L1_2)) - 1;
    #else
        SCARA_C2 = (sq(SCARA_pos[X_AXIS]) + sq(SCARA_pos[Y_AXIS]) - (float)L1_2 - (float)L2_2) / (2 * Linkage_1 * Linkage_2);
    #endif

    SCARA_S2 = sqrt(1 - sq(SCARA_C2));

    SCARA_K1 = Linkage_1 + Linkage_2 * SCARA_C2;
    SCARA_K2 = Linkage_2 * SCARA_S2;

    SCARA_theta = ((atan2(SCARA_pos[X_AXIS], SCARA_pos[Y_AXIS]) - atan2(SCARA_K1, SCARA_K2)) * -1);
    SCARA_psi = acos (SCARA_C2) ;

    delta[X_AXIS] = (SCARA_theta * SCARA_RAD2DEG); // TETA
    delta[Y_AXIS] = (SCARA_psi * SCARA_RAD2DEG); // PSI
    delta[Z_AXIS] = RAW_Z_POSITION(cartesian[Z_AXIS]); // Z ekseni

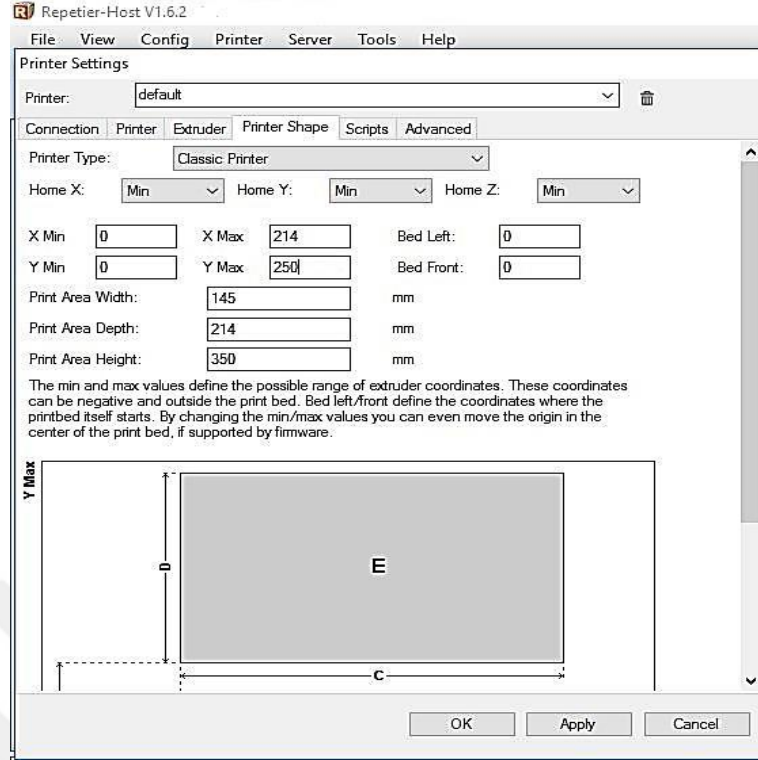
```

Şekil 5.11 Marlin_main.cpp Ters Kinematik.

Devamında 4.4'ten 4.9'a kadar olan ters kinematik eşitlikleri sırasıyla kodlanılmaktadır. Burada delta [X_AXIS] Θ açısını ve delta [Y_AXIS] \emptyset açısının değerini hesaplamaktadır.

5.5. Repetier Ayarları

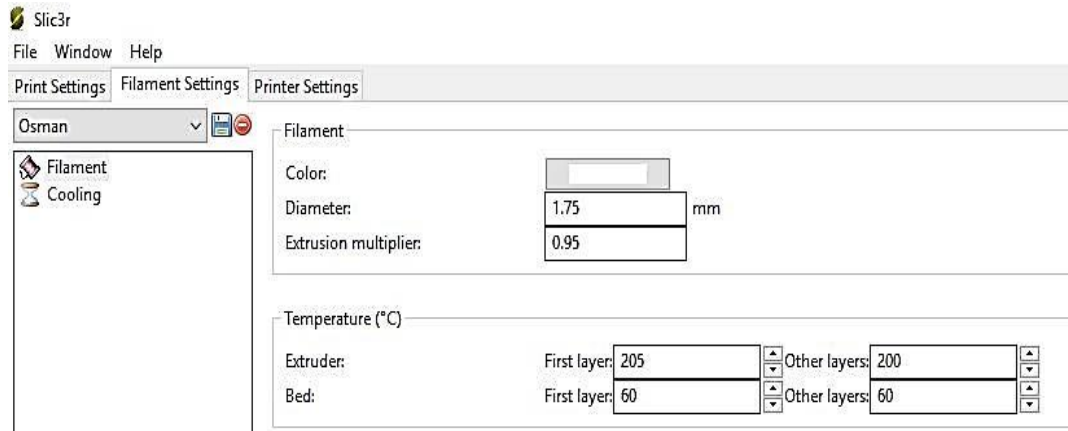
Repetierde yazıcı ayarları bölümünde kullanılan yazıcının çalışma alanı maksimum ve minimum koordinatları belirlenmektedir. Eğer doğru değerleri girilmezse,örneğin Marlinde belirlenen çalışma alanından daha düşük bir değer girilirse repetier programı yazılımsal olarak yazıcıya limit koymaktadır ve gitmesi istenilen ekseninde o değerden daha fazla motoru hareket ettirmeyip sistemi sıfırlamaktadır. Diğer ayarları Repetier programı Marlinden otomatik olarak çektiği için diğer ayarlarla herhangi bir düzenleme yapılmamaktadır. Repetier yazıcı ayarları Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12 Repetier Yazıcı Ayarları.

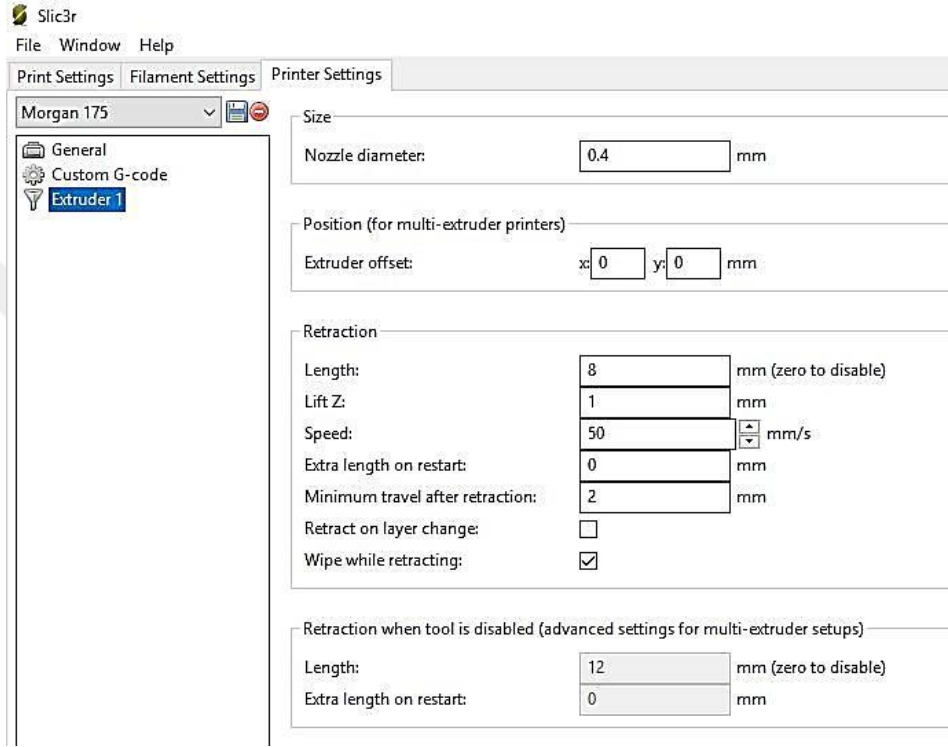
5.6. Slic3r Ayarları

Slic3r ayarlarında kullandığımız filamentin çapını ve sıcak memenin sıcaklığını belirlenmektedir. Kullanılan malzeme 1.75 mm PLA'dır. PLA'ların çalışma sıcaklığı 190-210°C dir . İlk katman sıcaklığı için 205°C diğer katmanlarda 200°C'yi Şekil 5.13 'deki gibi seçilmektedir. PLA 'lar için sıcak tabla çok önemli değildir. Sıcak tablayı hiç çalıştırmadan da baskı alınabilmektedir. Bu yüzden sıcak tabla ayarında herhangi bir değişiklik yapılmamaktadır.



Şekil 5.13 Slic3r'da Filament Ayarları.

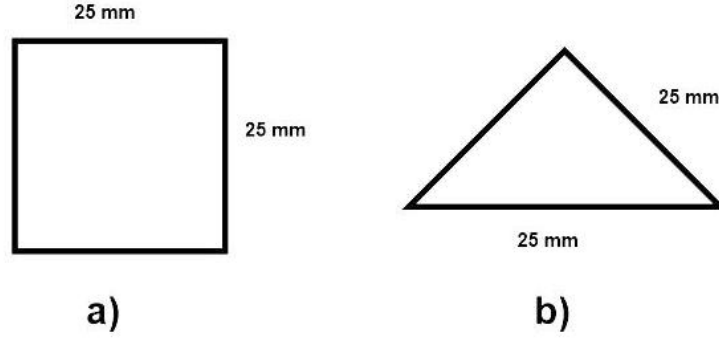
Slicer’da bir diğ er ayar yazıcı ayarları bölümüdür. Burada kullanılan meme ucun ölçüsü olan 0.4 mm Şekil 5.14’de ki gibi yazdırma ucu değ eri girilmektedir. Diğ er ayarlar z ekseninde yazıcının hangi hızla ne kadar geri çekileceğ i ve ilk beslemede ne kadar filament basacağ ıyla alakalıdır. Burada baskıya göre deneyerek farklı ayarlar kullanılabilir. Diğ er ayarları Marlin yazılımsal olarak konfigüre ettiğ inden diğ er ayarlarda herhangi bir değ iş iklik yapmak gerekmemektedir.



Şekil 5.14 Slic3r’da Yazıcı Ayarları.

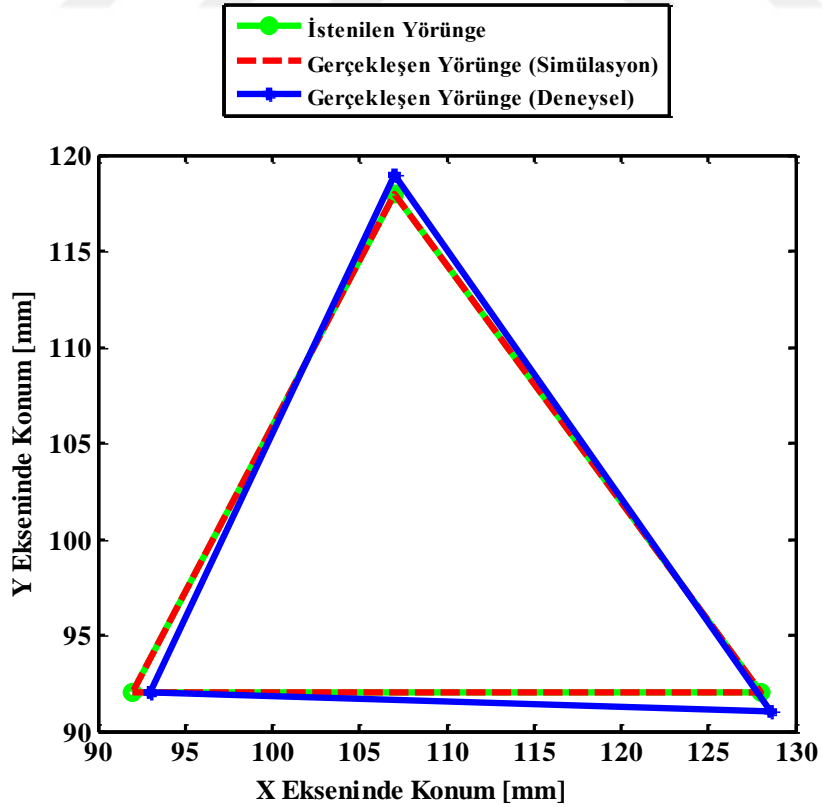
6. DENEYSSEL VERİLERİN ANALİZİ

Tasarımı ve imali gerçekleştirilen üç boyutlu Scara tipi yazıcının Şekil 6.1'deki gibi kare prizma ve eşkenar üçgen prizmanın kesitinden oluşan yörünge planlaması yapılmıştır.



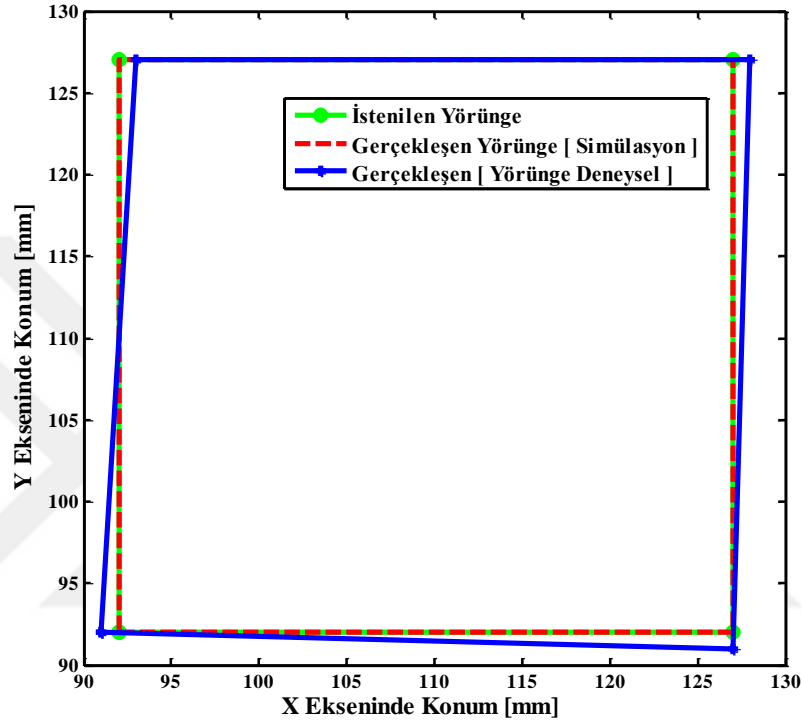
Şekil 6.1 Baskıların Kesit Ölçüleri (a) Kare Prizma (b) Üçgen Prizma.

Scara yazıcının yazdırma kafasının takip edeceği istenilen yörünge Şekil 6.1'deki iki boyutlu eşkenar üçgen ve kareden oluşmaktadır. İstenilen Yörünge değerlerine göre kinematik hesaplamalardan elde edilen Gerçekleşen Simülasyon ile üç boyutlu baskısı alınan üçgen prizma ve kare prizmadan yapılan ölçümlerle oluşturulan



Şekil 6.2 Üçgen Prizmanın İstenilen, Simülasyon olarak ve Deneysel Gerçekleşen Yörünge Grafiği.

Nümerik ve deneysel gerçekleşen yörünge karşılaştırma sonuçları üçgen prizma için Şekil 6.2’de, küp için Şekil 6.3’de verilmiştir. İstenilen yörünge grafiği ile gerçekleşen simülasyon grafiği birbiriyle örtüşürken, Gerçekleşen Deneysel grafiğinde hafif sapmalar oluşmuştur. Bu da kinematik denklemlerin sağlamasının karşılandığını ve uzvun konumlarını belirleyecek olan kinematik hesaplamaların doğruluğunu göstermektedir.

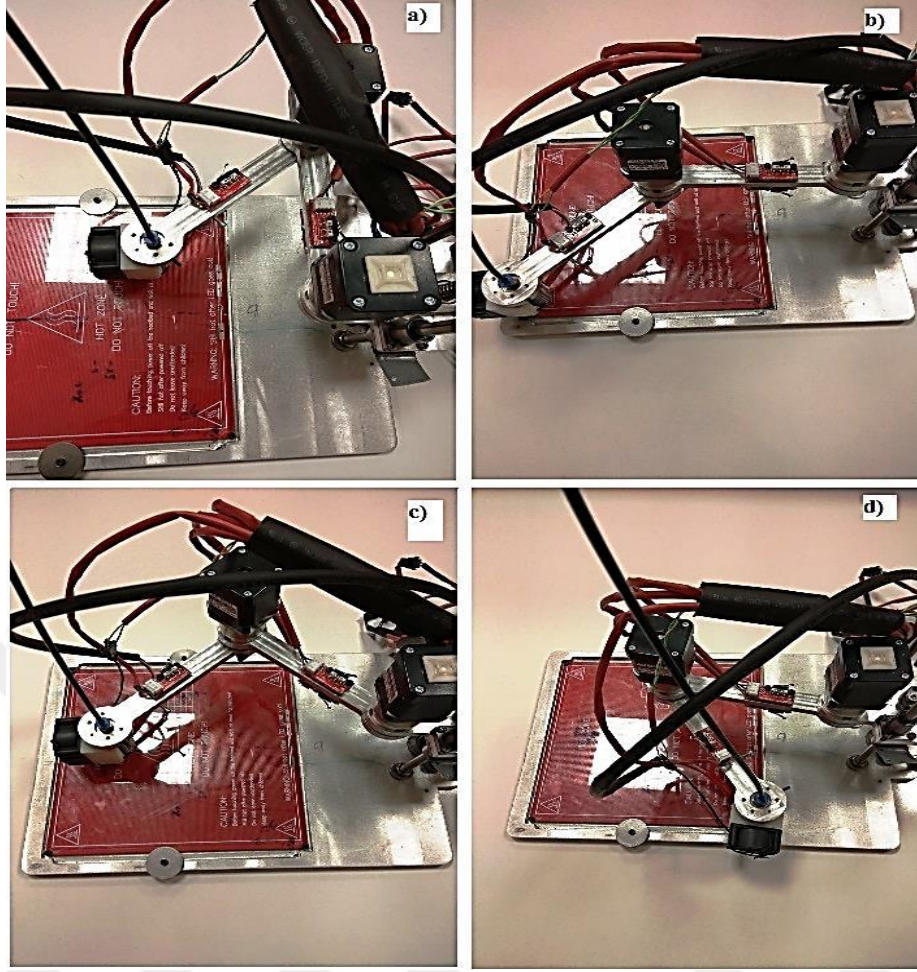


Şekil 6.3 Kare Prizmanın İstenilen ,Simülasyon olarak ve Deneysel Gerçekleşen Yörünge Grafiği.

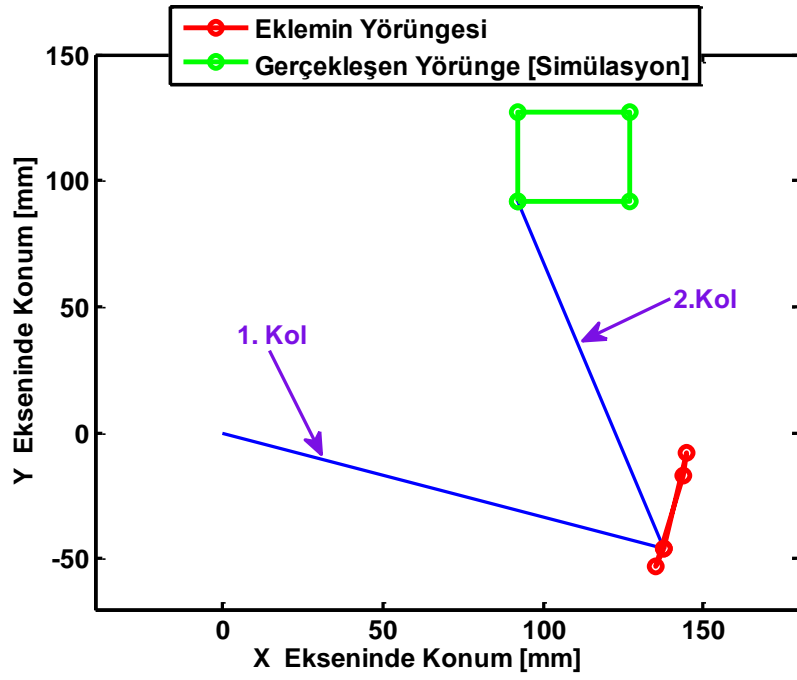
Yaptığımız tüm ayarların doğru çalışıp çalışmadığını anlamak için G kodları yardımıyla farklı açılarda sisteme hareket verilerek kolların konumları incelenmiştir. Şekil 6.4’de görüldüğü gibi farklı açı ve koordinatlarda baskı kafası, birinci kol ve ikinci kolunun konumu bulunmaktadır.

Şekil 6.4 ‘te ki uzvun istenilen açı ve koordinatları sağladığı gözlemlenmektedir. Buradan mekanik aksamla kinematik denklemlerin işlendiği Marlin yazılımı arasında uyumsuzluk olmadığı sistemin sağlıklı çalıştığı anlamı çıkmaktadır.

Ek-6 daki Matlab programında, Scara Tipi Üç boyutlu Yazıcının kare yörüngede uzuvlarının simülasyonun grafiği X ve Y ekseninde Şekil 6.5’te ki gibi oluşturulmuştur.

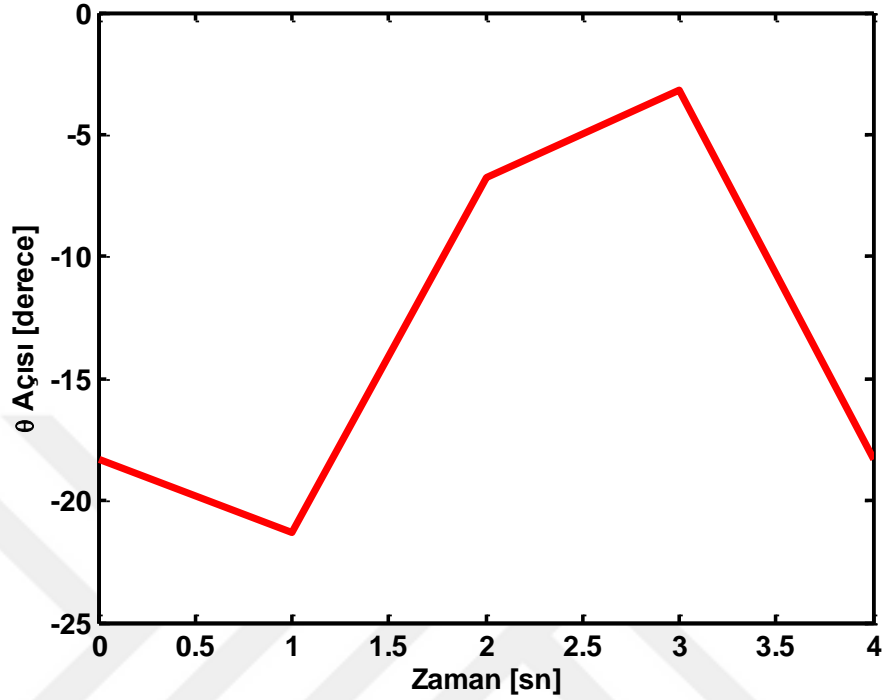


Şekil 6.4 Scara Yazıcının Farklı Açılardaki Pozisyonları ; (a) $\Theta=0^\circ$ $\Phi=120^\circ$ (b) $\Theta=90^\circ$ $\Phi=30^\circ$ (c) $\Theta=45^\circ$ $\Phi=90^\circ$ (d) $X=0, Y=0$.

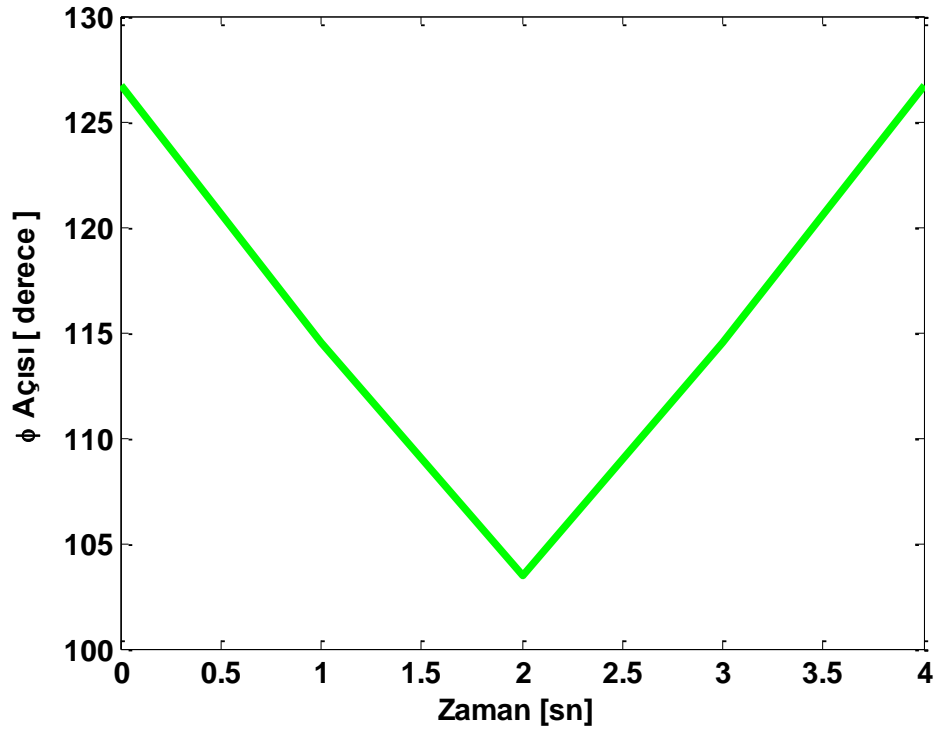


Şekil 6.5. Kare Yörüngenin Takibi Esnasında Uzuvarların Konumları.

Θ açısının zamana göre değişimi Şekil 6.6'daki gibi gerçekleşirken ϕ açısının zamana göre değişimi Şekil 6.7'deki gibi gerçekleşmiştir.

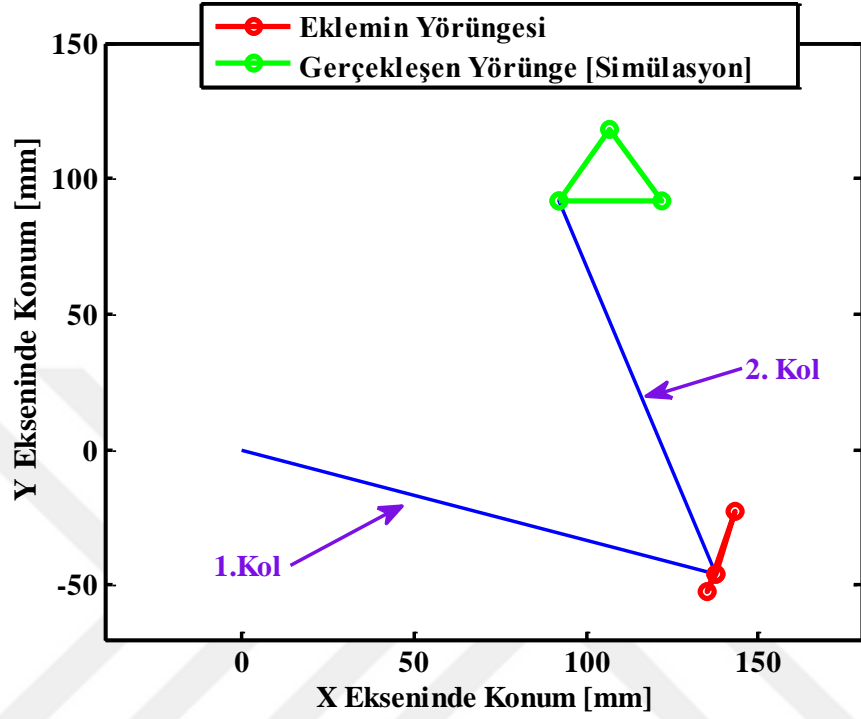


Şekil 6.6. Θ Açısının Zamana Göre Değişimi.

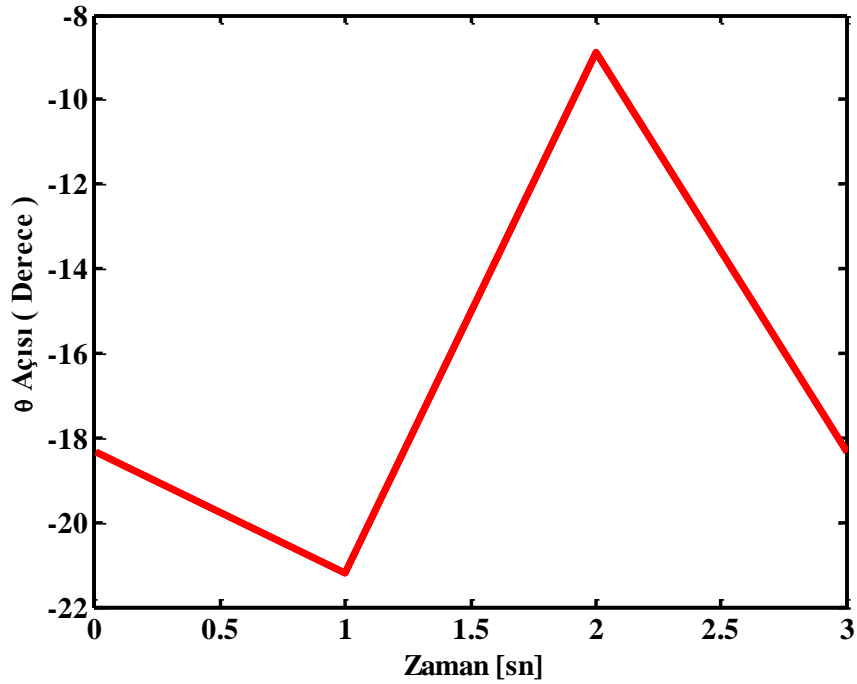


Şekil 6.7 ϕ Açısının Zaman Göre Değişimi.

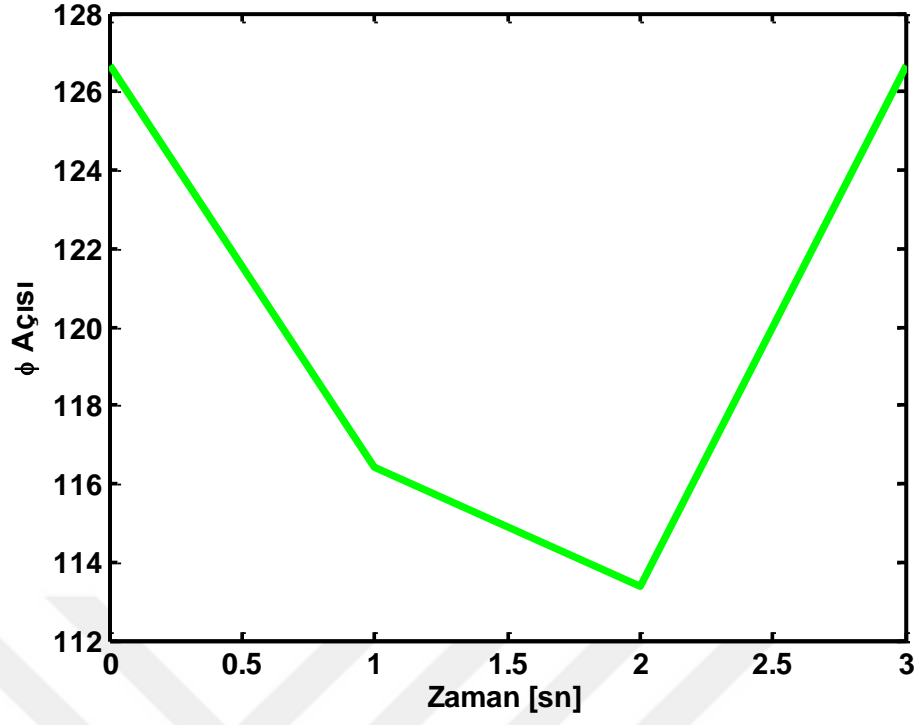
Ek-6 daki Matlab programında, Scara Tipi Üç boyutlu Yazıcının eşkenar üçgen yörüngede Uzunlarının simülasyonun grafiği X ve Y ekseninde Şekil 6.8'deki gibi oluşturulmuştur. θ açısının zamana göre değişimi Şekil 6.9'da ki gibi gerçekleşirken θ açısının zamana göre değişimi Şekil 6.10'da ki gibi gerçekleşmiştir.



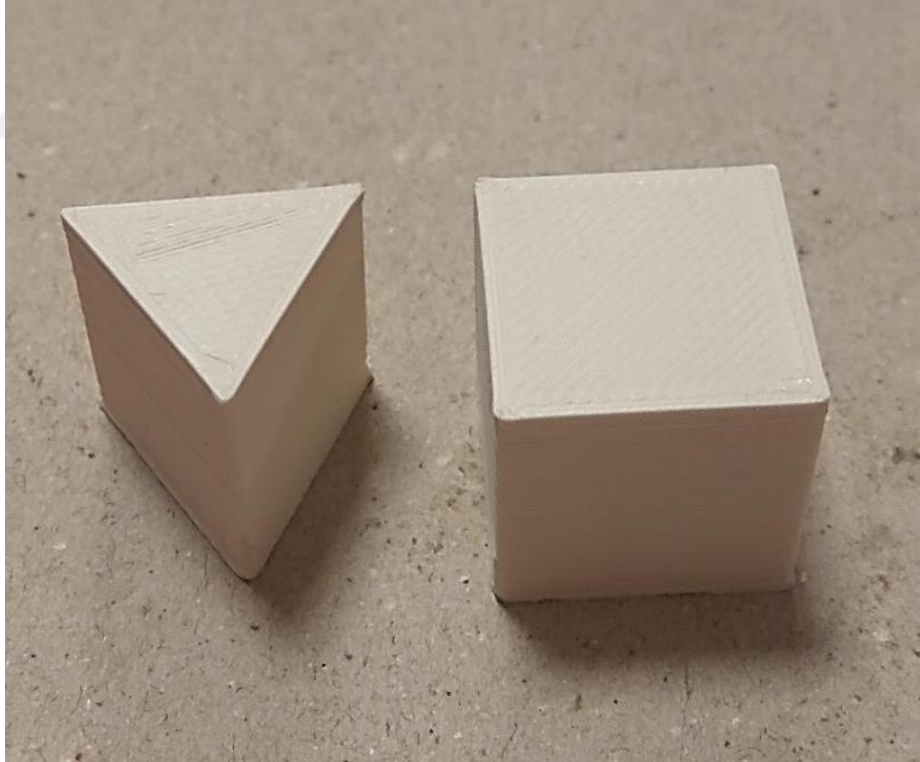
Şekil 6.8 Eşkenar Üçgen Yörüngesinin Takibi Esnasında Uzuvların Konumları.



Şekil 6.9 θ Açısının Zamana Göre Değişimi.



Şekil 6.10 ϕ Açısının Zaman Göre Değişimi.



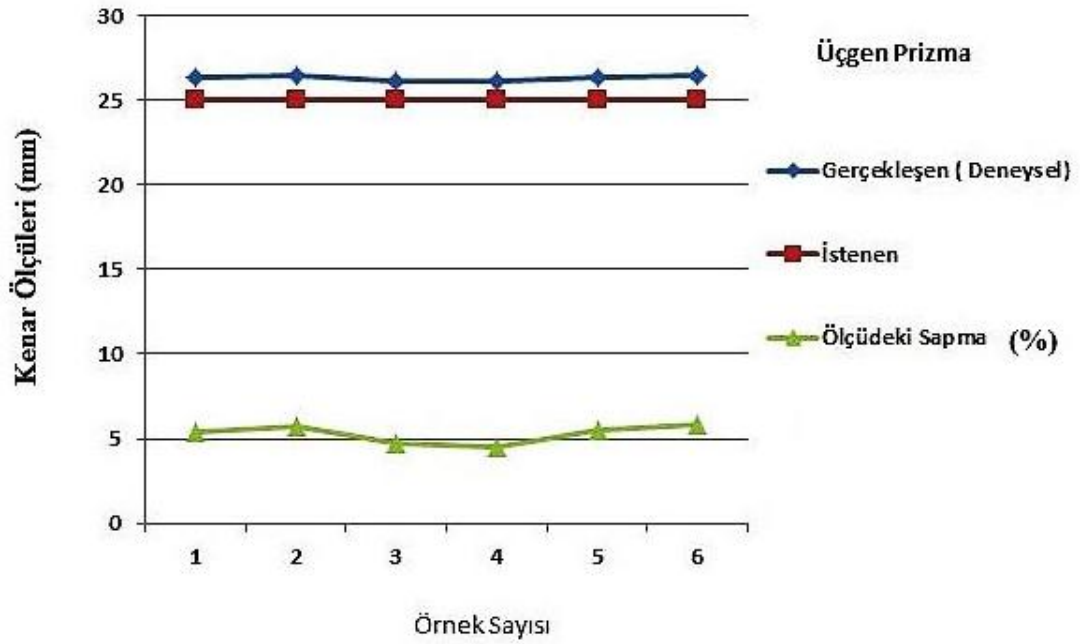
Şekil 6.11 Scara Yazıcıyla Alınmış Örnek Baskılar.

SolidWorks ile CAD modelini oluşturduğumuz Şekil 6.1’de kesit ölçüleri verilen 25mm X 25mm X 25mm Kare ve Eşkenar üçgen prizma yaklaşık 190 dk.’da Şekil 6.11’ deki gibi baskısı alınmıştır. Tablo 6.1’ de tasarımın ölçüleri , baskının ölçü ortalaması ve ölçülerdeki ortalama hata oranı verilmiştir.

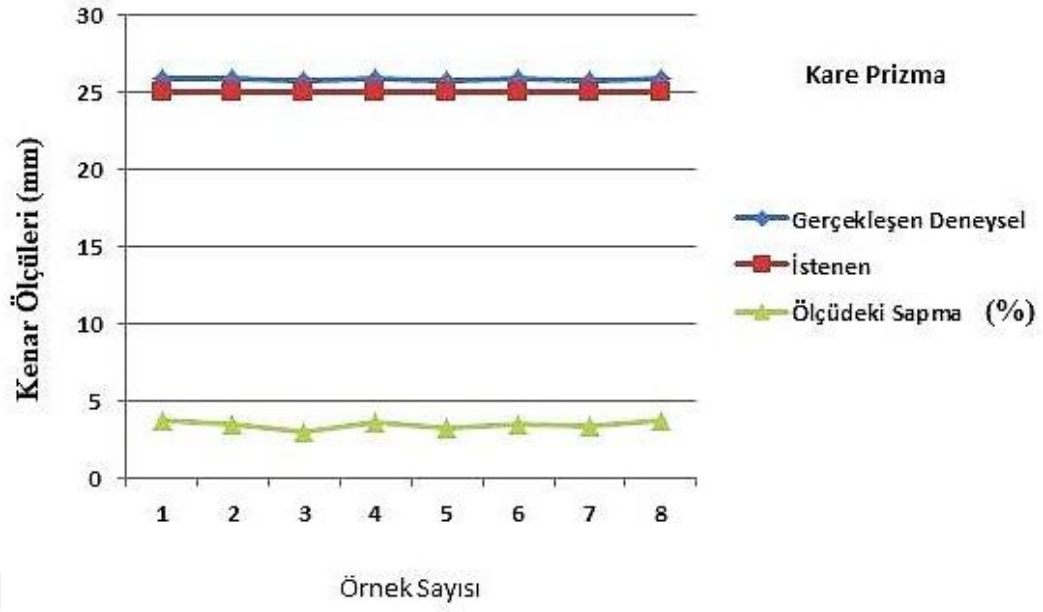
Tablo 6.1 Baskı Örneklerinin Karşılaştırılması.

	Gerçekleşen Ölçü Ortalaması (mm)	İstenilen Ölçüler(mm)	Hata Oranı (%)
Üçgen Prizma	26.32	25	5,28
Küp	25.87	25	3,48

Şekil 6.12 ve Şekil 6.13 ‘de baskılardan alınan rastgele ölçüler istenilen ölçü değerleriyle kıyaslanmış, ölçülerdeki hata oranı yüzde olarak belirtilmiştir.



Şekil 6.12 Eşkenar Üçgen Prizmanın Gerçekleşen Ve İstenilen Ölçülerin Karşılaştırılması.



Şekil 6.13 Kare Prizmanın Gerçekleşen ve İstenilen Ölçülerin Karşılaştırılması.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Scara tip üç boyutlu yazıcı, Scara robotun hareket kabiliyeti ile üç boyutlu FDM tipi yazıcının üretim teknolojisinin birleştirilerek oluşturulduğu bir çeşit hibrit yazıcı modelidir. Günümüzde pek çok üç boyutlu FDM yazıcı modeli bulunsa da genellikle daha stabil ve kullanımı kolay olduğu için delta ve kartezyen tipi yazıcılar yaygınlaşmıştır. Fakat bu modellerinde kendilerine göre kısıtları mevcuttur. Yeterince uzun nesnelere baskısında ya da birden fazla yazıcıyla çok hızlı bir şekilde tek bir parça basılmasını istenmesi halinde yetersiz kalmaktadır. Ayrıca her ne kadar ebatları masaüstü düzeyine indirgenmiş olsa da yazdırma hacimlerinden daha fazla yer kaplamaktadırlar. Yapmış olduğumuz çalışmada, bu gibi problemlere alternatif çözüm olması için Scara tipi üç boyutlu yazıcının tasarımı ve analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada; Scara robotlar ve üç boyutlu yazıcılar hakkında literatür taraması yapılmış, daha önce gerçekleştirilmiş çalışmalar irdelenmiş ve çalışmanın motivasyon basamakları belirlenmiştir.

Kinematik ve kinetik hesaplamaları yapılan Scara tipi üç boyutlu yazıcının katı modellemesi oluşturulmuş ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalardan elde edilen veriler eşliğinde temini sağlanan elektronik ve mekanik donanım montajlanarak Scara tipi üç boyutlu yazıcı oluşturulmuştur.

Donanımsal olarak tamamlanan ve açık döngü kontrol sistemiyle kontrol edilen Scara tipi üç boyutlu yazıcının kinematik hesaplamalardan elde edilen eşitlikleri yazılımsal olarak açık kaynak kodlu Marlin yazılımında işlenerek Arduino Mega 2560 kontrol kartına gömülmüştür.

İstenilen yörünge için Matlab programında yapılan simülasyonlardan elde edilen sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırması yapılmış ve grafiksel analizleri sunulmuştur.

Baskısı alınan eşkenar üçgen prizmanın ölçülerinde ortalama % 5,28, kare prizmanın ölçülerinde % 3,28 konum hatası oluşurken, baskıların köşelerinde yaklaşık 0,7 mm'lik radyüslü bombeler oluşmuştur.

Yazıcının çalışma alanında, Scara manipülatörün baskı kafasının erişemediği kör noktalardan kaynaklanan diğer kartezyen yazıcılara göre 60 x 205 mm² lik

kullanılmayan alan söz konusuysen, Z ekseninde yine diğer yazıcılara göre 150 mm. ekstra çalışma yüksekliği sağlanmıştır.

Yapılan hesaplamalarla beraber elde edilen hareket denklemlerinin açık kaynak kodlu Marlin yazılımına entegrasyonu ile elde ettiğimiz sonuçlar sistemin düzgün çalıştığını göstermiştir.

7.2. Öneriler

Sistemin hassasiyetini artırmak için daha yüksek çevrim oranına sahip dişli kutulu step motorlar kullanılabilir. Fakat bu motorlar uzuvların ağırlığını artıracığı için harekette dalgalanmalara ve titreşime neden olabilir. Bunun yerine minimum boşluk oranına sahip enkoderli harmonik sürücülü servo motorlar kullanılabilir. Tez kapsamında yapılan Scara tipi üç boyutlu yazıcının daha sade ve düşük maliyetli olması hedeflendiğinden sistemde step motorlar kullanılmıştır. Dolayısıyla sistemin açık çevrim kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle sistem kapalı çevrim kontrol sistemleri gibi ölçüsel hatayı anlık tolere edememektedir. Açık çevrim kontrol sistemi yerine geri beslemeli PD ya da PID kontrolcülü kapalı çevrim kontrol uygulanabilir. Bu şekilde ölçülerdeki hata oranı minimize edilirken, ölçüsel sapmalara anlık müdahaleler gerçekleştirilerek sistem daha kararlı ve hassas hale getirilebilir. Her ne kadar hesaplamalarda kolaylık sağlaması için kol uzunlukları eşit tasarlanmışsa da ikinci kol uzunluğu daha verimli bir baskı ebatı için %50'ye kadar istenilen çalışma alanına göre artırılabilir ya da eşit uzunlukta üçüncü kol eklenebilir. Bunun yanında Z ekseninde diğer yazıcılara göre yaklaşık 150 mm.'lik ekstra çalışma yüksekliği sağlanırken, sistemin etrafı açık olduğu için büyük boyutlu parçalarda özellikle ABS malzeme kullanılması halinde tabanla üst kısım arasında ısı farkı oluşacağından baskıda çatlaklar ve dalgalı katmanlar oluşabilir. Bu durumu önlemek için boyu yeterince uzun baskılarda tabanda bulunun sıcak tabla orta katmanlara etki etmeyeceğinden yazıcının etrafında termal yalıtım sağlanmalıdır. Bunun yanında X ve Y ekseninde hareketi sağlayan tahrik mekanizmasında, motor ve uzuv ağırlıklarının Z ekseninde oluşturduğu yük, yataklamalardan kaynaklanan boşluklar, step motorlardaki redüktörlerin hassasiyeti ölçülerde oluşan hataların sebebi olabilir. Bu sistemler daha hafif ve daha hassas olanlarıyla değiştirilerek sistem daha stabil hale getirilebilir.

KAYNAKLAR

- Aydın,L.,2014, Üç Boyutlu Yazıcıyla Ayak Bileği Ortezinin Tasarımı Ve Geliştirilmesi, Kocaeli Ün. Fen Bilimleri Enst.,6-13
- Chen,G.,Yang,Y., Zhai,L.,Zou,K., and Yang,Y.,2012, SCARA Robot Control System Design and Trajectory Planning: A Case Study,Advances in Electrical Engineering and Automation (Vol:139) ,Springer ,171-176
- Cılız,M.K.,Tuncay,M.Ö.,2005,Comparative experiments with a multiple model based adaptive controller for a SCARA type direct drive manipulator, Robotica(Vol.23), Cambridge University Press, 721–729
- Craig, J.,2005, Introduction to Robotics: Mechanics and Control, 3rd ed., Addison-Wesley
- Çelik,D.,2015, Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi Ve Tersine Mühendislik Uygulamaları, Karabük Ün. Fen Bilimleri Enst.100-116
- Çelikbağ,Y.,2015, Sayısal Sinyal İşlemci Kullanarak SCARA Robot Denetimi, Yüksek Lisans Tezi, Makine Müh. ABD, Fırat Ün. Fen Bilimleri Enst.
- Das,M.T.,Dülger,L.C.,2005, Mathematical modelling, simulationand experimental verification of a SCARA robot,Simulation Modelling Practice and Theory(13),257–271
- Demirci,A.E.,2012, Design And Analyses of A SCARA Robot, Yüksek Lisans Tezi,Dokuzeylül Ün. Fen Bilimleri Enst.
- Godoi, F.,C., Prakash, S. and Bhandari, B.,R., 2016, 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects, Journal of Food Engineering,44-54
- Gosselin , C. , Duballet , R. , Roux , P. , Gaudillière , N. , Dirrenberger , J. & Morel , P. ,2016, Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete – a new processing route for architects and builders, Materials and Design(100),Elsevier, 102-109
- Güler,B.,2016, Çift Başlı Kartezyen Tipi 3 Boyutlu Yazıcı Tasarım Ve Prototip İmalatı, Karabük Ün. Fen Bilimleri Enst, 8-19
- Jerez-Mesa,R., Travieso-Rodriguez, J.A. , Corbella, X. ,Busqué,R., Gomez-Gras,G., 2016,Finite element analysis of the thermal behavior of a RepRap 3D printer liquefier,Mechatronics (36),119–126
- Mohammed,J.S.,2016,Applications of 3D printing technologies in Oceanography,Methods in Oceanography (17),97–117
- Murr,L.E.,2016,Frontiers of 3D Printing/Additive Manufacturing: from Human Organsto Aircraft Fabrication ,Journal of Materials Science & Technology (32),987–995







- Özkan,B, Özgören,M.K.,2001, Invalid joint arrangements and actuator related singular configurations of a system of two cooperating SCARA manipulators, Mechatronics (11),Elsevier,491-507
- Özkan,B.,2009, Mekatronik Sistemlerde Uygulanan Belli Başlı Kontrol Yöntemleri , Tünav Bilim Dergisi,Cilt: 2, Sayı: 3, Sayfa: 302-316
- Özkarakoç,M.,2009, SCARA Robot İle Seçme Ve Yerleştirme Uygulaması,6-15, Dokuz Eylül Ün. Fen Bilimleri Enst.
- Öztürk,S.,2007,SCARA Tipi Robotun Yapay Sinir Ağları İle Eğitilmesi, Sakarya Ün. Fen Bilimleri Enst.10-21
- Pourrahim,M.,Shojaei,K.,Chatraei,A.,Nazari,O.S.,2016, Experimental Evaluation of a Saturated Output Feedback Controller Using RBF Neural Networks for SCARA Robot IBM 7547,24th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)
- Saygılı,Ç.,2006,SCARA Tipi Bir Robotun Tasarımı Ve Animasyonu,9-16, Dokuz Eylül Ün. Fen Bilimleri Enst.
- Soygüder,S.,2004,Programlanabilir Lojik Kontrolör Kullanılarak Pıd Yöntemi İle Bir SCARA Robotun Kontrolü, Fırat Ün. Fen Bilimleri Enst.37-39
- Şahin,Y.,2006, SCARA Tip Bir Robotun Yörünge Kontrolünde PID Kontrol Uygulaması,Selçuk Ün. Fen Bilimleri Enst.,40-48
- Skowrya ,J., Pietrzak ,K., Alhnan, M.A.,2015 ,Fabrication of extended-release patient-tailored prednisolone tablets via fused deposition modelling (FDM) 3D printing,European Journal of Pharmaceutical Sciences(68), 11–17
- Urrea ,C. and Pascal, J.,2016, Design, simulation, comparison and evaluation of parameter identification methods for an industrial robot, Computers and Electrical Engineering,Elsevier,1-16
- Voglewede,P.,Smith, A. H. C. , and Monti,A.,2009, Dynamic Performance of a SCARA Robot Manipulator With Uncertainty Using Polynomial Chaos Theory ,IEEE Transactions On Robotics (Vol. 25, No. 1), 206-210

EKLER**EK-1** Marlin Yazılımı

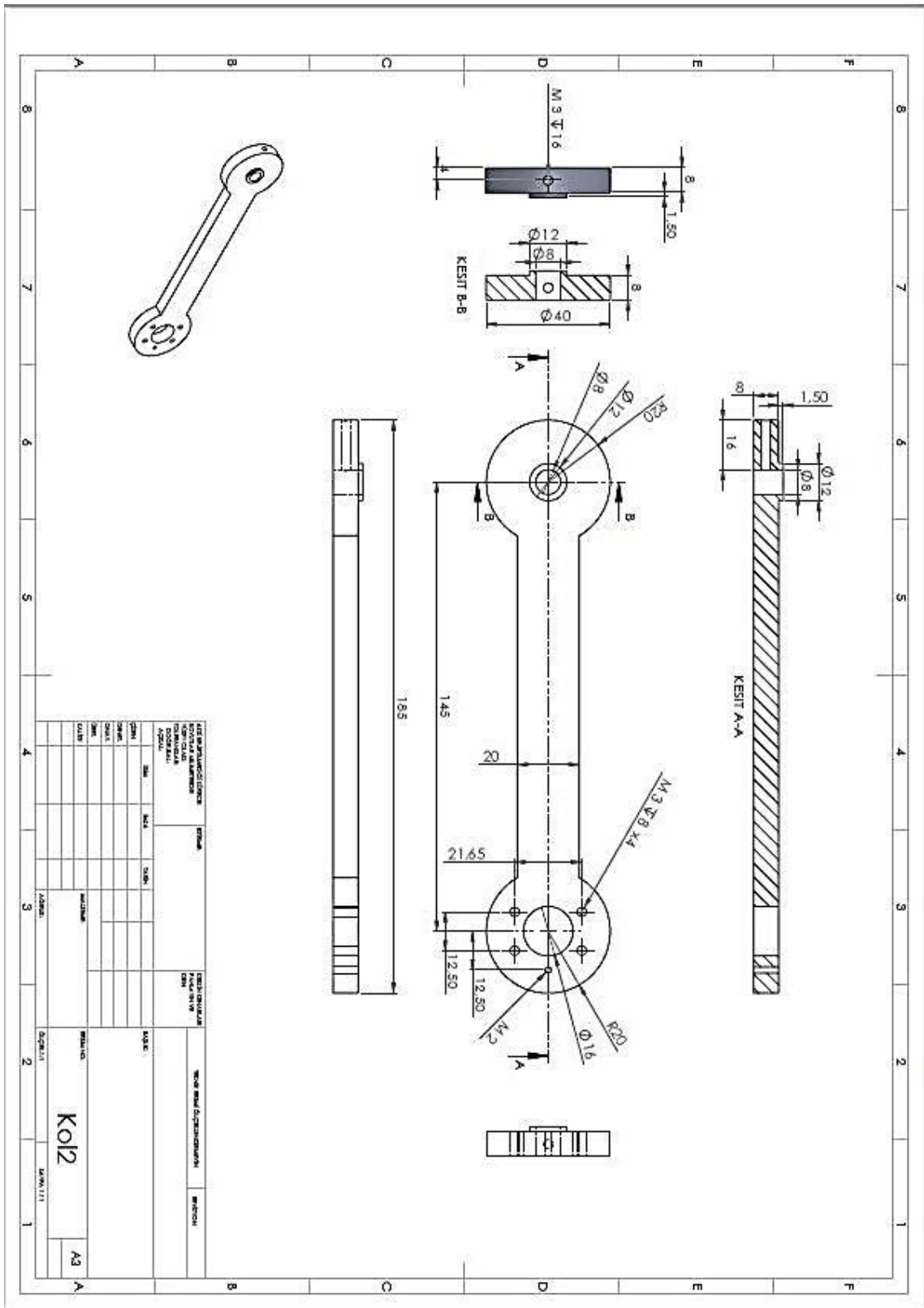
Kaynak Dosyası: <https://yadi.sk/d/FI6hmgwS34beNJ>



EK-2 SCARA Yazıcıda kullanılan Standart Malzemeler.

Baskı Kafası		E3DV5 J-head(0.4mm/1.75mm)
Ekstruder(Filament Besleme Sistemi)		MAKERBOT2 (3D075) 1.75
Sıcak Tabla		MK3 Heatbed + LED + Resistor + Cable
Miller için Yataklar		LMK10UU
Step Motor Sürücü		A4988 Stepper Motor Driver
Güç Kaynağı		12V30A LED power supply

Baskı Kafası Tutucu		Reprap Kossel E3D V6
Ramps Dönüştürücü		Ramps 1.4 Control board 32bit
Sınır Anahtarlar		endstop sensor module
Lcd Panel Adaptörü		adapter for ramps 2004 lcd controller
Pnömatik rekor		Pc4-01 1.75MM Bowden
LCD panel		12864 LCD Controller pcb board



EK-4 Yörünge Denklemi için M File

```

t=0:0.01:10;
a=-0.001048;
b=0.015714;
c=0;
e=0;
f=-0.002095;
h=0.031429;
k=0;
d=0;
T=a*t.^3+b*t.^2+c*t+e;
Td=3*a*t.^2+2*b*t+c;
Tdd=6*a*t+2*b;
P=f*t.^3+h*t.^2+k*t+d;
Pd=3*f*t.^2+2*h*t+k;
Pdd=6*f*t+2*h;
M1=96.53/1000;
M2=97.49/1000;
L1=0.145;
L2=0.145;
C2=cos(P);
S2=sin(P);
T1=((M1+M2).*L1.^2+M2.*L2.^2+2*M2.*L1.*L2.*C2).*Tdd+(M2.*L2.^2+M2.*L1.*L2.*C2).*Pdd-
2*M2.*L1.*L2.*S2.*Td.*Pd-M2.*L1.*L2.*S2.*Td.*Pd.^2;
T2=(M2.*L2.^2.*(Tdd+Pdd)+M2.*L1.*L2.*C2).*Tdd-
M2.*L1.*L2.*S2.*Pdd.*Td.*Pd+M2.*L1.*L2.*S2.*(Td.^2+Td.*Pd);
subplot(4,2,1),plot(t,T),title('1.Kolun Konumu'),ylabel('T (Rad)'),xlabel('t'),grid;
subplot(4,2,3),plot(t,Td),title('1.Kolun Hizi'),ylabel('Td (Rad/s)'),grid;
subplot(4,2,5),plot(t,Tdd),title('1.Kolun ivmesi'),ylabel('Tdd (Rad/s^2)'),grid;
subplot(4,2,2),plot(t,P),title('2.Kolun Konumu'),ylabel('P (Rad)'),grid;
subplot(4,2,4),plot(t,Pd),title('2.Kolun Hizi'),ylabel('Pd (Rad/s)'),grid;
subplot(4,2,6),plot(t,Pdd),title('2.Kolun ivmesi'),ylabel('Pdd (Rad/s^2)'),grid;
subplot(4,2,7),plot(t,T1),title('Tork1'),ylabel('T1'),grid;
subplot(4,2,8),plot(t,T2),title('Tork2'),ylabel('T2'),grid;

```

EK-5 Düz ve Ters Kinematik Denklemler için M file

```

t=0:0.01:10;

a=-0.001048;

b=0.015714;

c=0;

e=0;

f=-0.002095;

h=0.031429;

k=0;

d=0;

TT=a*t.^3+b*t.^2+c*t+e;

PP=f*t.^3+h*t.^2+k*t+d;

T=TT.*0.98;

P=PP.*0.98;

M1=96.53/1000;

M2=97.49/1000;

L1=0.145;

L2=0.145;

X = L1 .* cos(T) + L2 .* cos(T + P);

Y = L1 * sin(T) + L2 * sin(T + P);

c2 = (X.^2 + Y.^2 - L1^2 - L2^2)/(2*L1*L2);

s2 = sqrt(1 - c2.^2);

THETA2D = acos(c2);

k1 = L1 + L2.*c2;

k2 = L2*s2;

THETA1D = atan2(Y, X) - atan2(k2, k1);

subplot(2,2,1),plot(t,X),title('X'),ylabel('X'),grid;

subplot(2,2,2),plot(t,Y),title('Y'),ylabel('Y'),grid;

subplot(2,2,3),plot(t,THETA2D),title('THETA2D'),ylabel('THETA2D'),grid;

subplot(2,2,4),plot(t,THETA1D),title('THETA1D'),ylabel('THETA1D'),grid;

```

EK-6 Baskısı alınacak Şekillerin Kesitsel Grafikleri için M file

```

l1=145;
l2=145;
TT=[0:10:120];
PP=[120:-10:0];
T=deg2rad(TT);
P=deg2rad(PP);
X = l1 .* cos(T) + l2 .* cos(T + P);
Y = l1 .* sin(T) + l2 .* sin(T + P);
Ox=0;
Oy=0;
X_L_1=l1*cos(T);
Y_L_1=l1*sin(T);
t=1:1:4;
plot([0,X_L_1],[0,Y_L_1], 'r', 'LineWidth',2),title('X'),ylabel('Y');
axis equal;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
l1=145;
l2=145;
Y=[92,92,117.981,92];
X=[92,122,107,92];
Ox=0;
Oy=0;
X_2=X.^2;
Y_2=Y.^2;
c2=((X_2 + Y_2)./(2.*(l1.^2)))-1;
s2 = sqrt(1 - c2.^2);
PHI = acos(c2);
k1 = l1 + l2.*c2;
k2 = l2*s2;
THETA = (atan2(Y, X) - atan2(k2, k1));
THETAD=radtodeg(THETA);
PHID=radtodeg(PHI);
Xx=l1*cos(THETA)+l2*cos(THETA+PHI);
Yy=l1*sin(THETA)+l2*sin(THETA+PHI);
X_L_1=l1*cos(THETA);
Y_L_1=l1*sin(THETA);
t=1:1:4;
hold on
plot(Xx,Yy,'g-O','LineWidth',2),title('X'),ylabel('Y');
plot(X,Y,'-r','LineWidth',1),title('X'),ylabel('Y'),grid off;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
l1=145;
l2=145;
Y=[92,92,117.981,92];
X=[92,122,107,92];
Ox=0;
Oy=0;
X_2=X.^2;
Y_2=Y.^2;
c2=((X_2 + Y_2)./(2.*(l1.^2)))-1;
s2 = sqrt(1 - c2.^2);
PHI = acos(c2);
k1 = l1 + l2.*c2;
k2 = l2*s2;
THETA = (atan2(Y, X) - atan2(k2, k1));
Xx=l1*cos(THETA)+l2*cos(THETA+PHI);
Yy=l1*sin(THETA)+l2*sin(THETA+PHI);
X_L_1=l1*cos(THETA);

```

```
Y_L_1=l1*sin(THETA);  
t=1:1:5;  
hold on  
line([X_L_1 X],[Y_L_1 Y]);  
line([0 X_L_1],[0 Y_L_1]);  
plot(X_L_1,Y_L_1,'r-O','LineWidth',2),title('X'),ylabel('Y');  
plot(Xx,Yy,'g-O','LineWidth',2),title('X'),ylabel('Y');  
axis([-40 180 -70 150]);
```



ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Saygın ÖĞÜLMÜŞ

Adres : Y.Ziraat Mah. Altındağ/Ankara

E-Mail : sayginayolla@gmail.com

Telefon :



EĞİTİM BİLGİLERİ

Kırıkkale Anadolu Lisesi,2000 -Orta Okul, Kırıkkale

Kırıkkale Fen Lisesi, 2003 –Lise, Kırıkkale

Genel Not Ortaması : 4,67 / 5

Bitirme Projesi: Atık Linyit Külünün Horasan Harcı Ve Ponza Taşı Tozuyla Birleştirilerek Tuğla Yapılması

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği,2013- Lisans,Ankara

Genel Not Ortaması :2,44 / 4

Bitirme Tezi: Diş Hekimliğinde, Ortodonti Tedavisinde Kullanılan farklı cins braket ve telde tedavi esnasında oluşan sürtünme kuvvetini ölçebilen test Düzeneginin tasarımı ve imali, 2011

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Makine Müh. A.B.D.2017- Y.Lisans,Konya

Genel Not Ortaması :3,40 / 4

Y.Lisans Tezi: Scara tipi üç boyutlu yazıcının tasarımı ve analizi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Makine Müh. A.B.D ,2017

Yayın: Ahmet Saygın Oğulmuş, Abdullah Çakan, Mustafa Tınkır: Modeling and Position Control of Scara Type 3D Printer. International Journal of Scientific & Technology Research 12/2016.

İŞ ve STAJ DENEYİMİ BİLGİLERİ

Stajyer

Ağustos 2009, TEKNOAN Hidrolik , Stajyer

Temmuz 2008, ARTEM Makine, Stajyer

Ağustos 2006, HİDROLİFT Sanayi Makineleri A.Ş , Stajyer

Temmuz 2005, AY DÖKÜM Makine San. ve Tic. A.Ş , Stajyer

Yarı ve Tam zamanlı iş Deneyimleri

16.01.2011-20.05.2011,Ar-Ge Sorumlusu, Biomeksan Enerji,Müh. Ltd şti.,Ankara

01.06.2011 – 04.05.2013,Genel Mdr. Yrd. Satınalma ve Ar-Ge, Beriş Makine Araç Üstü Ekipman Sanayi, Ankara

10.05.2013-11.05.2015,Firma Sahibi, Ahmet Saygın ÖĞÜLMÜŞ(Şahıs Firması),Ankara.

11.05.2015-01.01.2017 Genel Mdr. Yrd.,Özeğitek Eğitim ,Yazılım Danış. Ltd. Şti., Konya.

Danışmanlıklar

2012-Farklı Tel ve Braket Kombinasyonunun Üzerindeki Dinamik Kuvvetleri Ölçen Test Düzeneği –TGSD-Sanayi Bakanlığı-97.600,00 TL Hibe

2013-Güneş Işığının Otomatik Takip Edebilen Fiberoptik Aydınlatma sistemi - TGSD-Sanayi Bakanlığı-95.800,00 TL Hibe

2014-Hızlı Kalıp Teknolojisi- TGSD-Sanayi Bakanlığı-92.500,00 TL Hibe

2015-Özel Gereksinimli Bireyler İçin Kablosuz Eğitim Modülünün Geliştirilmesi. TGSD-Sanayi Bakanlığı-98.200,00 TL Hibe

KİŞİSEL

Doğum Tarihi ve Yeri : 20.07.1985–Kırıkkale

Medeni Durumu ve Uyuşuğu : Evli, T.C.

Askerlik Durumu : Muaf.

Ehliyet : B-Sınıfı [2005]

YABANCI DİL

İngilizce : YDS (58,25-2016 Kasım) [Teknik literatür takip edebiliyor.]

Almanca: Başlangıç – Kırıkkale Anadolu Lisesi

BİLGİSAYAR BİLGİSİ

İşletim Sistemleri

PARDUS

LiNux Debian Tabanlı OS'lar

Windows 10 ve alt sürümleri

Mac OS

Teknik Programlar

AutoCAD 2012

Mechanical Desktop

Inventor

CatiaV6R10

Solidworks 2015

FluidSim Festo

Matlab Release 12

Simulink
PHP
HTML
Mach 3
Phoenics (CFD)
İcePak
Ansys Workbench(CAE)
Fortran
C++
Microsoft Office

İLGİ ALANLARI

İnsansız Hava Araçları, Savunma Sanayii Teknolojileri, Robot Teknolojileri, Hızlı prototip imalat yöntemleri(FDM,SLS,SLA), Mekanik Düzenekler Tasarlama ve Üretme, İnternet ve Web Tabanlı uygulamalar ,Makine Elemanları, Mekanizmalar ve Makineler, CNC Programlama, Tasarım, Mekatronik, İnternette Makale ve Bilgi Tarama, Teknik Literatür Okuma (Makina Üretici Katalogları ve online yayınlar), Hobby Elektronik, Puzzle, Araba Yarışları (F1 Racing),Müzik