

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BEŞ PARMAKLI PROTEZ ROBOT EL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. ALİ ARI

HAZİRAN 2016

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun / / gün ve sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan :

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Çalışmamda insansı robot eli tasarlandı ve 3D yazıcıda imal edildi. KTÜ el olarak isimlendirilen bu el ile amaçlanan melodiyi piyanoda çaldırma işlemi başarıyla gerçekleşmiştir.

Çalışmam boyunca bana değerli zamanını ayıran ve verdiği fikirler ile beni yönlendiren kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL'e teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca her türlü desteğini esirgemeyen değerli annem ve babama teşekkür ederim.

Ali ARI

Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Beş Parmaklı Protez Robot El” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri ve analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 15/06/2016

Ali ARI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Robot	1
1.2. Robot Eli Kullanım Amaçları	2
1.3. Eklem Yapıları	2
1.4. Seri ve Paralel Manipülatör	3
1.5. Literatür Çalışması	4
2. GENEL DÜŞÜNCE VE ANALİZ	15
2.1. Tasarım	15
2.2. Serbestlik Derecesi	15
2.3. Tahrik Mekanizması	16
2.4. Parmak Tasarımı	16
2.4.1. Sistemin Gereksinimleri	16
2.4.2. Donanım Seçimi	17
2.4.2.1. Motor	17
2.4.2.1.1. Adım Motoru	18
2.4.2.1.2. Adım Motorlarının Denetimi	19
2.4.2.1.3. Adım Motoru Sürücüsü	20
2.4.2.2. Kontrol Sistemi	21
2.4.2.3. Algılayıcı	22
2.5. Kinematik Analiz	23
2.5.1. Denavit-Hartenberg Gösterimi	23
2.5.2. Parmak İçin Kinematik Çözümü	26

2.5.3.	Başparmak İçin Kinematik Çözümü	27
2.6.	Hız Kinematikleri	27
2.6.1.	Jakobiyen.....	27
2.6.2.	Tekillikler (Singülerlikler)	31
2.7.	Sonlu Elemanlar Analizi	31
2.8.	3D Yazıcı.....	31
3.	TASARIM VE UYGULAMA	33
3.1.	Tasarım.....	33
3.2.	Tahrik Sistemi	34
3.3.	Uygulama	34
4.	BULGULAR	37
4.1.	Kuvvet Basınç Sensörü Ölçüm Değerleri	37
4.2.	Gerilme Analizi	38
4.3.	KTÜ Elin Özellikleri	39
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	40
6.	KAYNAKLAR.....	42
7.	EKLER	45
Ek 1.		
Ek 2.		
Ek 3.		
Ek 4.		
Ek 5.		
Ek 6.		
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

BEŞ PARMAKLI PROTEZ ROBOT EL

Ali ARI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof.Dr. Levent GÜMÜŞEL
2016, 44 Sayfa, 20 Sayfa Ek

Mekanik el sistemleri, gelişmeye devam eden teknolojilerdir. Bu gelişmeler enerji, esneklik, hız gibi değişkenlerin iyileştirilmesi ya da tutucunun (End-effector) yeniden tasarlanarak geliştirilmesi şeklinde olabilmektedir.

Robotlarda kullanılan birçok tutucu çeşidi vardır. Bazı durumlarda bu tutucular yeterli olamamaktadır. Bu durumlar, yeni tutucuların geliştirilmesine neden olur. İleri teknolojiye sahip olması istenen yeni tutucular geliştirilirken yapılacak değişikliklerde yeterli hareket, esneklik ve iş yapabilme yeteneklerine sahip olan canlılar örnek olarak alınmaktadır.

Bu çalışmada, KTÜ el olarak adlandırdığımız robot el, seri manipülatör yapısındadır ve beş parmaklı olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan robot elin arduino kontrol sistemi kullanılarak kodu yazılan melodiyi piyano ve org benzeri bir müzik aletinde çalması hedeflenmiştir. Robot eli dört parmak ve bir başparmaktan oluşmaktadır. Parmaklar üç, başparmak bir serbestlik derecesine sahiptir. Güç iletim mekanizması, triger kayışı ve dişli kasnak, mikro servo motorla tahrik edilmektedir. Robot el, 3d yazıcıda abs plastik malzemesinden üretilmiştir. El, tasarladığımız sistemde adım motoru kullanılarak sabit ekseninde hareket edebilmekte ve bu sayede piyanoda istediğimiz tuşa basabilmektedir. Adım motoru ve mikro servo motoru arduino mega kullanılarak kontrol edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: KTÜ El, piyano, robot el

Master Thesis

SUMMARY

FIVE FINGERED PROTHESIS ROBOT HAND

Ali ARI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Levent GÜMÜŞEL
2016, 44 pages, 20 appendix pages

Mechanical hand systems, are among the developing technologies. These developments would be either improving the variables such as flexibility and velocity or recovering the end-effectors through redesigning.

There are many kinds of end-effectors used in robotic technologies. In some cases, these effectors may not be sufficient. These circumstances would cause to develop new end-effectors. During changes when new end-effectors with high technologies are intended to develop, animates having ability to move and to work and also having flexibility are taken for example.

In this study, robot hand called as KTÜ Hand is designed to have five fingers and structured as serial manipulator. Robot hand is designed to play the melody having programmed code by using arduino control system. Designed robot hand includes one thumb and four fingers. Fingers consist of three degree of flexibility (dof) and thumb consist of one dof. Power transmission mechanism, trigger belt and gear pulley are actuated by micro servo motors. KTÜ Robot Hand is produced by 3d printer through using abs plastic material. In our designed system, KTÜ Robot Hand is actuated in linear axe by using step servo motor. And thus it is able to press the piano key. Step servo motors and micro servo motors are actually controlled by using arduino mega.

Key Words: KTÜ Hand, piano, Robot Hand

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Döner Tip Eklem.....	2
Şekil 2. Kayar Tip Eklem.....	2
Şekil 3. Paralel Manipülatör.....	3
Şekil 4. Seri Manipülatör.....	4
Şekil 5. Hirose Yumuşak Tutucu.....	5
Şekil 6. Belgrade / USC El.....	6
Şekil 7. Skinner Elin Kavrama Hareketi.....	6
Şekil 8. Okada El.....	7
Şekil 9. Stanford / JPL El.....	7
Şekil 10. UTAH / MIT El.....	8
Şekil 11. Barrett El.....	9
Şekil 12. Gifu El.....	9
Şekil 13. DLR / HIT El.....	10
Şekil 14. TUAT/Karlsruhe El.....	10
Şekil 15. SPRING El.....	11
Şekil 16. Manus El.....	11
Şekil 17. Geliştirilen Beş Parmaklı Robot El.....	12
Şekil 18. Robonaut El.....	12
Şekil 19. Mat/ODTÜ Dört Parmaklı El.....	13
Şekil 20. Metu-Hand.....	13
Şekil 21. SMA Üç Parmaklı Robot El.....	14
Şekil 22. Üç Parmaklı Robot El.....	14
Şekil 23. X Ekseninde Döner Eklem.....	15
Şekil 24. Kuvvet İletimi.....	17
Şekil 25. Micro Servo Motor (SG90).....	18
Şekil 26. Servo Adım Motoru.....	19
Şekil 27. Açık Döngülü Denetim İçin Blok Diyagramı.....	19
Şekil 28. Kapalı Döngü Denetimin Blok Diyagramı.....	20
Şekil 29. Servo Motor Sürücü.....	20
Şekil 30. Arduino Mega.....	21

Şekil 31. Kuvvet Basınç Sensörü	22
Şekil 32. Denavit-Hartenberg Çerçeve Ataması	24
Şekil 33. Parmak Eklem Değişkenleri	25
Şekil 34. Parmağın Son Hali ve Pozisyon Açısı	26
Şekil 35. Referans Noktaları	28
Şekil 36. FDM 3D Yazıcı.....	32
Şekil 37. KTÜ Parmak ve Piyano Tuşu Tasarımı	33
Şekil 38. KTÜ Eli ve Piyano Tasarımı.....	33
Şekil 39. Güç İletim Mekanizması.....	34
Şekil 40. Dişli Kasnak ve Triger Kayışı Tasarımı	34
Şekil 41. Atp Serisi Yüksek Hassasiyetli Ayarlanabilir DC Güç Kaynağı	35
Şekil 42. KTÜ El ve Ray Sistemi.....	35
Şekil 43. KTÜ El Montaj	36
Şekil 44. Kuvvet Basın Sensörü Kuvvet Direnç Değişimi.....	37
Şekil 45. Gerilme Analizi.....	38
Ek Şekil 1. KTÜ Parmak Ve Piyano	57
Ek Şekil 2. KTÜ Parmak Piyanoya Basma Pozisyonu	57
Ek Şekil 3. KTÜ El	58
Ek Şekil 4. KTÜ El 3D Yazıcıda İmal Edilen Parçalar.....	58

TABLO DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Denavit ve Hartenberg	24
Tablo 2. Kuvvet Basınç sensörüyle ölçülen değerler	37
Tablo 3. KTÜ Elin Özellikleri.....	39
Ek Tablo 1. Model Bilgisi	59
Ek Tablo 2. Etüt Özellikleri	60
Ek Tablo 3. Malzeme Özellikleri	60
Ek Tablo 4. Yükler ve Fikstürler.....	61
Ek Tablo 5. Mesh Bilgileri	62
Ek Tablo 6. Etüt Sonuçları	63
Ek Tablo 7. Maliyet Tablosu.....	65

SEMBOLLER DİZİNİ

F	: Mekanizma serbestlik derecesi
l	: Mekanizmadaki uzuv sayısı (sabit uzuv dahil)
j	: Mekanizmadaki mafsal sayısı
f_i	: Mafsalın serbestlik derecesi
a_i	: Uzuv uzunluğu[mm]
α_i	: Çevrilme açısı (uzuv bükümü)
d_i	: Açıklık, kayma (uzuv açıklığı)
θ_i	: Dönme açısı (uzvun dönme miktarı)
a_1	: Parmağın birinci bağlantı uzvu
a_2	: Parmağın ikinci bağlantı uzvu
a_3	: Parmağın üçüncü bağlantı uzvu
Φ	: Parmak uzuvlarının toplam dönme açısı
X	: Parmağın x doğrultusundaki konumu
Y	: Parmağın y doğrultusundaki konumu
A	: A ekleminin koordinatı
B	: B ekleminin koordinatı
C	: C ekleminin koordinatı
J	: Jacobian matrisi
$\dot{\theta}_1$: Birinci uzvun hızı[°/s]
$\dot{\theta}_2$: İkinci uzvun hızı[°/s]
$\dot{\theta}_3$: Üçüncü uzvun hızı[°/s]
r_k	: Kasnak yarıçapı[mm]
v	: Kasnakla eklem arasındaki kayışın hızı
T	: Motorun torku[N.mm]

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Robot

Çek yazar Karel Capek tarafından 1921 yılında sahneye konulan " Rossum' un Evrensel Robotları " oyununda zeka sahibi milyonlarca mekanik işçiler betimlenmişti. Capek bu işçilere kendi dilinde işçi veya köle anlamına gelen robot adını vermiştir. Günümüzde bütün dünyanın kullandığı robot sözcüğü buradan gelmektedir.[1]

Robotik terimi ise ilk kez ünlü bilim kurgu yazarı Isaac Asimov'un 1942 yılında yayınlanan ' Runaround ' adlı kısa öyküsünde geçmektedir. Bu öykü daha sonra Asimov' un ünlü kitabı ' Ben, Robot ! ' içerisinde de yer alacaktır. Robotlar pek çok öyküye ve filme konu olmuştur.[1]

“Robotik, fiziksel aktivite ve karar verme gibi uygulamalarla bir görevi yürüterek insanların yerini alabilecek makinalarla ilgili çalışmaları içerir. Robotik, birçok mühendislik bilimini ilgilendiren bir teknoloji alanıdır.”[3]

“Robotların karmaşık yapıları ve uygulama alanlarının genişliği elektrik-elektronik mühendisliği, makine mühendisliği, endüstri mühendisliği, bilgisayar mühendisliği ve malzeme mühendisliği alanlarında geniş bir bilgiyi gerektirmektedir.”[4]

“Robot Institute of America (RIA)'nın robot tanımı, bir dizi verilen görev çerçevesinde çeşitli programlanmış hareketler ile materyalleri, parçaları, aletleri veya özel donanımları hareket ettirmek için tasarlanmış programlanabilir çok işlevli manipülatördür.” [5]

Robot dört ana kısımdan meydana gelir:

1.Robot eklemlerle birbirine bağlanmış sıralı rijit cisimlerden (uzuvlardan) oluşan manipülatördür. Bu tariften hareketle en basit bir manipülatör, serbestliği sağlayan bir koldan (arm), el becerisi sağlayan bir bilekten (wrist) ve robotun yapması gereken görevi tamamlayan mekanik elden (end effector, gripper) oluşmaktadır.[5,6]

2.Eklemleri hareketlendirerek manipülatörün hareketini sağlayan eyleyicilere, (motors, actuators,) gerekmektedir.

3.Manipülatörün veya çevrenin durumunu gözleyen algılayıcılarla (sensör) donatılmaktadır.

4.Manipülatör hareketini kontrol eden ve yöneten bir kontrol sistemi olmaktadır.[5,6]

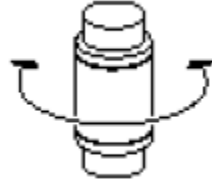
1.2. Robot Eli Kullanım Amaçları

Mekanik el, bir robotun verilen görevi gerçekleştiren ve iş parçasıyla temasta olan kısmıdır. Mekanik el, kısaca işlemi tamamlayan araçtır. Bir mekanik elin kullanılma amacı, robotlardan beklenen işlemlerin en iyi şekilde yapılmasını sağlamaktır. Robotlar, insanlar için tehlikeli olan çalışma ortamlarında, tekrarlanan çalışma döngülerinde, tutarlılık ve doğruluğun önemli olduğu yerlerde, insanlar için zor ve ağır olan işlerde, çok vardiyalı çalışmalarda, işlemlerde insanın yerini doldurmak amacıyla kullanılır ve mekanik el bütün bu işlemlerin yapılmasını sağlar. [7]

1.3. Eklem Yapıları

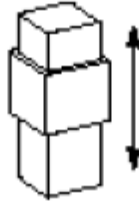
Eklemler manipülatörlerde hareketi sağlayan mekanizmalardır ve yapılarına göre ikiye ayrılırlar:

-Döner (Revolute - R) Eklemler: Menteşeye benzer ve iki uzuv arasında dönme hareketine izin verir. (Şekil 1)



Şekil 1. Döner Tip Eklem

-Kayar (Prismatic - P) Eklemler: iki uzuv arasında doğrusal harekete izin verir. (Şekil 2)



Şekil 2. Kayar Tip Eklem

1.4. Seri ve Paralel Manipulatör

“Robotlar temel olarak seri ve paralel robotlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Seri robotlar bir dizi eklemler ve bu eklemleri birbirine bağlayan uzuvlardan oluşur. Seri robotlar geniş bir çalışma uzayına ve az sayıda mekanik parçaya sahiptir. Paralel robotlar ise ana çerçeve ile uç işlevcisi arasında birden fazla paralel uzuvlardan bir araya gelmiştir. Paralel robotlar seri robotlara göre çok sağlam bir mekanik yapıya sahiptir. Bu iki robot türü taşıyacakları kütlelerin mekanik yapılarının kütlelerine oranı bakımından karşılaştırıldıklarında bu oran seri robotlarda çok küçük, paralel robotlarda ise çok büyüktür. Kısacası seri robotlar daha küçük kütleli işlerde, paralel robotlar ise büyük kütleli işlerde kullanılır.”[8]



Şekil 3. Paralel Manipulatör

Paralel manipulatörde, ağır motorlar genelde tek bir merkeze monte edilmektedir. Kolun üzerindeki ağırlık azaldığı için daha hafif malzemeler kullanılmakta ve daha küçük motorlarla daha hızlı hareket sağlanmaktadır. Bu tek merkezden kontrol robotun toplam eylemsizlik momentini düşürür, bu da mobil robotlar için bir avantaj sağlar. [9]

Seri Manipulatörlerin Paralel Manipulatörlerle Karşılaştırılması:

Çoğu robot uygulaması rijitliğe ihtiyaç duyar. Seri robotlar bu rijitliği tek eksenle hareket edebilen ama bunun dışındaki hareketlerde rijitliğini koruyan yüksek kaliteli döner eklemler ile sağlar. Harekete izin veren her eklem bu hareketi bir eyleyicinin planlı kontrolü altında yapmalıdır. Bir eklemden istenmeyen bir esneklik ya da eğim aynı eğim ve esnekliğin kolda da görülmesine sebep olur. Bir eklem hareketiyle diğerini telafi etmesi imkânı da yoktur. Bu eklemlerin önlenemeyen histerezisleri ve eksen dışı esneklikleri kolun kinematik zinciri boyunca toplanarak uç işlevcisine eklenir.[9]



Şekil 4. Seri Manipülâtör

Paralel manipülâtörlerin dezavantajı, seri manipülâtörlerle karşılaştırıldıklarında sınırlı çalışma alanlarıdır. Bir başka dezavantajı ise tekil pozisyonlarda rijitliğini kaybetmeleridir Bu eklem uzayından Öklid uzayına transfer matrisi olan Jakobiyen matrisinin tekil olması nedeniyle oluşur.[9]

1.5. Literatür Çalışması

70'lerden bu yana teknolojinin hızla gelişmesiyle robot eli (tutucu) üzerine mühendislik çalışmalarında ciddi düzeyde gelişme olmuştur.

Robot eli birçok alanda kullanılmaktadır. Birçok prototip çalışmaları yapılmaktadır. Birçok alanda olduğu gibi bu çalışmalarda da canlılar örnek alınmasıyla çok daha verimli çalışmalar ortaya çıkmaktadır.

Özel işler için tasarlanan robotlardan, çok amaçlı robotlara geçilirken birçok konuda olduğu gibi robot tutucu tasarımlarıyla da ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. İnsanların, çoğu işlerini elleriyle yapabildikleri düşünülürse, insan gücünün yerini alan robotların tutucularının da insan eli kadar hünerli ve uyumlu olması gerekmektedir. Bu nedenle konuyla ilgili yapılan çalışmalarda insan elinin yapısına benzeyen ve fonksiyonunu yerine getiren robot tutucu tasarımları gerçekleştirilmektedir. Ancak, insan eline benzetilerek tasarlanan ilk robot eller oldukça karmaşık yapılı ve yüksek maliyetli olmuştur. [10]

“İnsan eline benzer çok parmaklı robot el ile nesne kavrama konusu robotik araştırmacılar için önemli sorunların başında gelmektedir. Robotların karmaşık yapıdaki kinematik ve dinamik özellikleri, nesnelere birden fazla alternatif ile kavranabilmesi, parmaklar tarafından uygulanacak kuvvet ve momentin nesneye zarar vermeden en uygun

olarak hesaplanması, konuya araştırmacıların farklı aıllardan bakmalarına neden olmaktadır.”[11]

Robot el ile nesne kavrama problemi üç ana çatıdan oluşmaktadır:

İlk aşamada, kavranılacak olan nesnenin bulgulanması ve tanınması gerekmektedir. Bu durumda, nesnenin şekil ve boyutu gibi öznitelikleri algılayıcılar tarafından elde edilip belirlenmesi gerekmektedir.

İkinci aşamada, belirli bir amaç ile nesneyi kavramak için robot, bulgularan nesneye, kinematik özelliklerine bağlı olarak ters kinematik yöntemi kullanarak uzanabilmelidir.

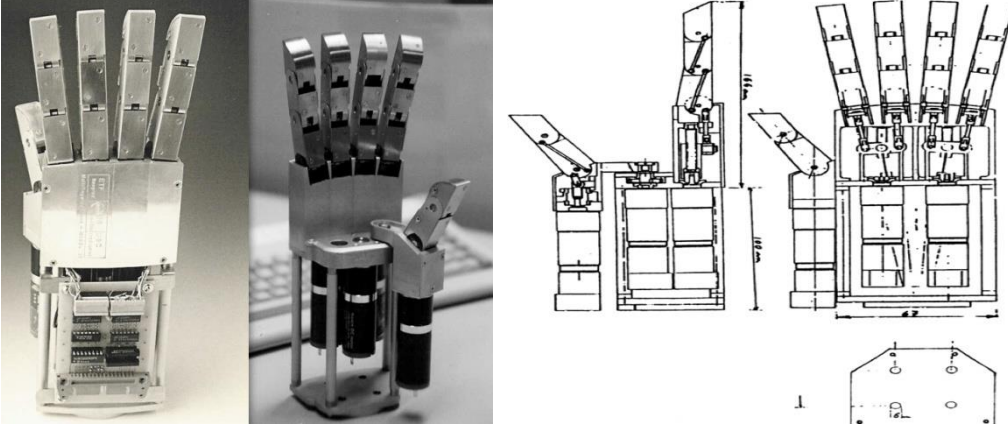
Son aşamada da nesneye zarar vermeden belirli bir kuvvet ve moment uygulayarak nesneyi parmakların arasından düşürmeden kavrama işlemini başarıyla gerçekleştirebilmelidir.[11]

70’lerin sonunda Tokyo Teknoloji Enstitüsünden Shigeo Hirose, Hirose yumuşak tutucuyu (şekil 5) geliştirmiştir. Bir serbestlik derecesine sahip olan bu prototip bağlantı kasnakları sayesinde kuvvetleri dağıtmaktadır.[12]



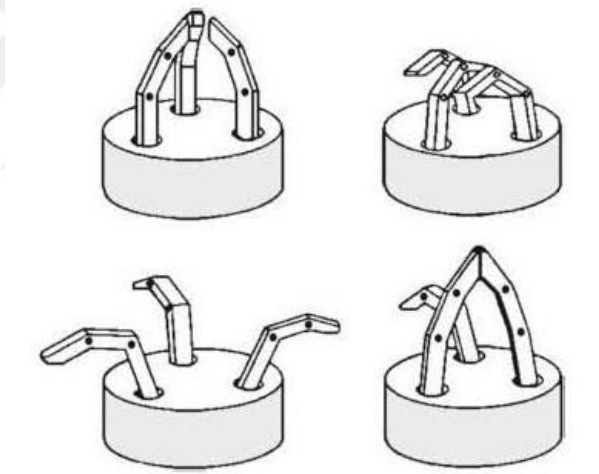
şekil 5. Hirose Yumuşak Tutucu

80’lerin başında Rajko Tomovic ve George Bekey Belgrade / USC el (şekil 6) gelişmesinde öncülük etmiştir. Belgrade el beş parmaklı ve dört motorlu bir tutucudur. Her parmak çifti 1 serbestlik derecesine sahiptir. Başparmak 2 serbestlik derecesine sahiptir. Dört serbestlik derecesine sahiptir.[13]



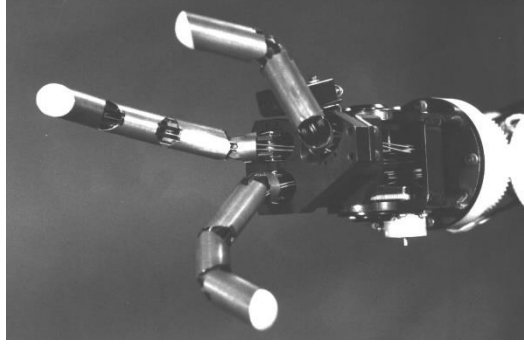
Şekil 6. Belgrade / USC El

1974'de üç parmaklı prototip olan Skinner el (Şekil 7) , kucaklayarak kavrama tasarımına önemli bir örnek olmaktadır. Her parmak, üç ekleme sahiptir ve buna ek olarak döndürülebilir tabanı vardır. Sistemi hareket ettirmek için toplam dört motor kullanılmaktadır.[14]



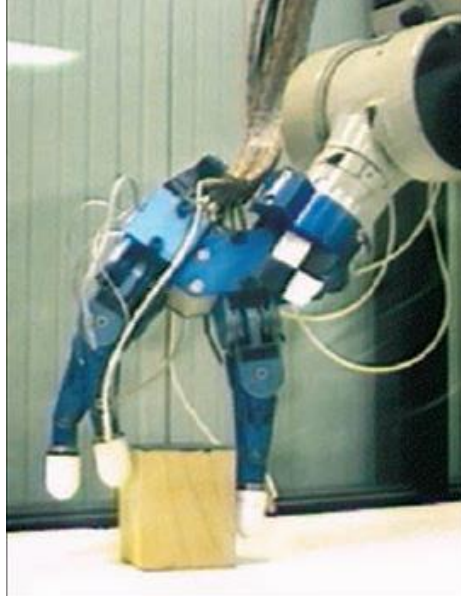
Şekil 7. Skinner Elin Kavrama Hareketi

Japon araştırmacılar diğer bir üç parmaklı el olan Okada elini (Şekil 8) geliştirdiler. Bu prototip 11 serbest derecedir ve parmağın pozisyonu elektronik hafızada saklanabilmektedir. Ara pozisyonlar doğrusal interpolasyonla sağlanmaktadır.[15]



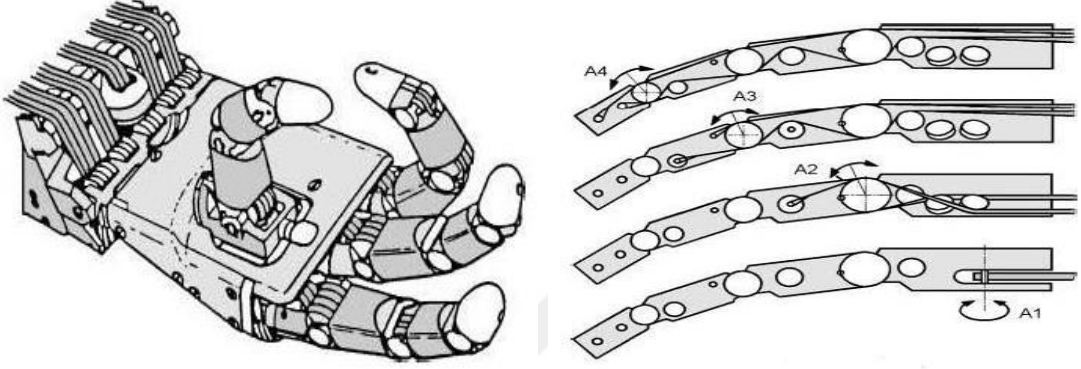
Şekil 8. Okada El

Aynı dönemlerde çok fazla araştırma yapıldı ve robot elinin gelişmesi için yeni teknolojiler geliştirildi ve prototipler güncellendi. Mesela Stanford/JPL el (Şekil 9) 9 serbestlik derecesine sahip olarak tasarlandı. Üç parmağı olan bu prototip her parmağında üç serbestlik derecesi vardır ve bu serbestlik derecesi dört adet motorla sağlanmaktadır. Kontrol sistemi çok karmaşıktır ve parmaklarda dört ayrı kablunun gerilimini ayarlamak ve uzun süre aynı gerilimi korumak oldukça zordur. Parmak ucu eklemleri 8 x 8 dokunmatik sensör dizileri örnekleriyle desteklenir. Her parmak için bölgesel kararlılığı olan çok değişkenli geri beslemeli denetim sağlamak için parmakların dinamik modellerini kullanmışlardır. Buna karşın parmaklar arasındaki bağımlılığı göz önüne almamışlardır.[16]



Şekil 9. Stanford / JPL El

1982’de UTAH / MIT eli geliştirilmiştir. Şekil 10’da görülen, bu elin üç parmaktan başka insan eline benzeyen başparmak modeli vardır. Parmak bağlantıları makara ip ile sağlanmaktadır. Bu üç parmak ve başparmak için toplam 32 tendon bant kullanılmakta ve 16 serbest dereceli bir hareket kazanmaktadır. Güç üretimi için pnömatik tahrik elemanı kullanılmıştır. Elektrikli sistemlere nispeten hesaplama yoğun bir yazılım gereksinimi vardır. Pozisyon ayarlayabilmek için sensörler kullanılmaktadır.[17]



Şekil 10. UTAH / MIT Eli

Şekil 11’de ki Barrett teknoloji şirketinin piyasaya sunduğu Barrett eli, üç parmak, 7 serbestlik derecesi ve bunları tahrik eden toplam dört adet DC motora sahiptir. Her ne kadar görüntüsü itibari ile diğer biyonik el modellerinden farklı olsa da, sahip olduğu serbestliklerinin tasarımı sayesinde çok esnek kullanım kabiliyeti sunmaktadır. Bu özelliği sayesinde endüstriyel tutucu olarak kullanılmasının yanı sıra uzay araştırmalarında da kullanılmaktadır.[10]

Barrett elinde toplam dört motor vardır. Bunların birisi avuç içinde diğer üçü parmaklardadır. Geri çekme teknolojisiyle parmaklar nesnenin şeklini alıp nesneyi dahi iyi kavrayabiliyor. Pozisyon hassasiyeti için optik kodlayıcılar kullanılmaktadır. Bu el 1.18 kg ağırlığında ve 14N parmak gücüne sahiptir.[18]



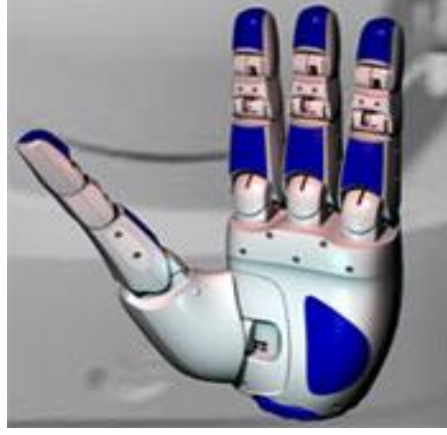
Şekil 11. Barrett Eli

Dainichi şirketi tarafından satılan Gifui eli (Şekil 12) , Gifu üniversitesindeki Kawasaki ve Mouri araştırma görevlileri tarafından geliştirmiştir. 3N parmak gücüne ve 1.4 kg ağırlığa sahiptir. 16 serbest derecesi ve basınç sensörleri vardır ancak net pozisyon belirleyen sensörleri yoktur. Dezavantajı insan elinden büyük olması ve sensörlerinin hassas olmamasıdır.[18]



Şekil 12. Gifu Eli

Başka bir el ise Gerhard Hirzinger tarafından geliştirilen (Şekil 13) DLR/HIT eldir. İnsan elinden çok büyüktür, 7N parmak gücüne sahiptir, alan etkili (Hall Effect) sensörleri vardır ve 2.2 kg ağırlıktadır. 13 serbestlik derecesi vardır. [19]



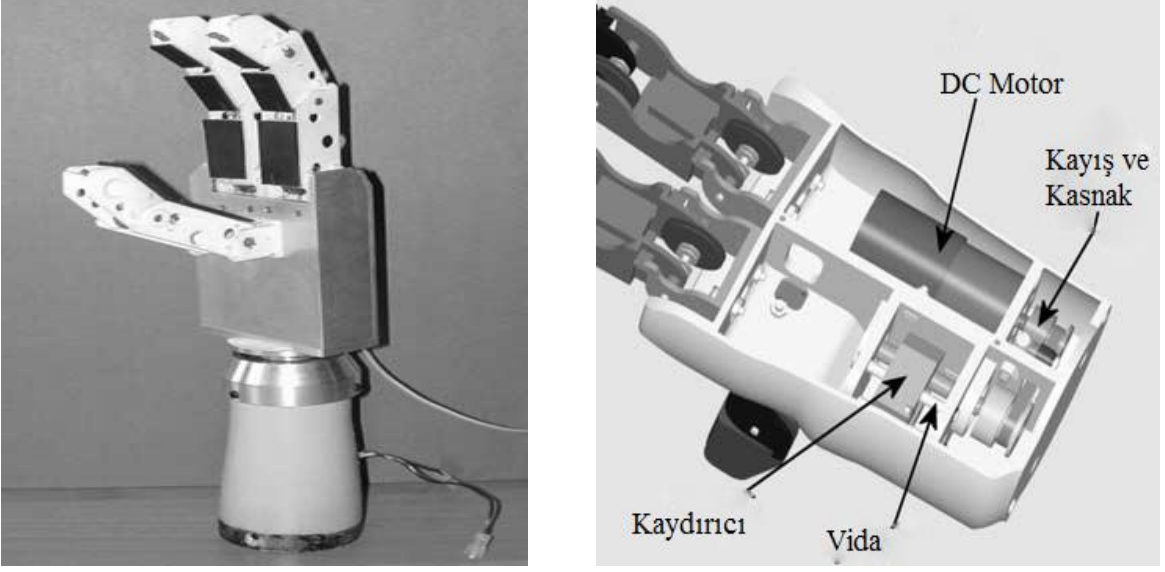
Şekil 13. DLR / HIT El

N. Fukaya ve arkadaşlarının sundukları TUAT/Karlsruhe eli (Şekil 14), beş parmaklı ve 20 serbestlik derecesine sahiptir. Mevcut olan 20 serbestlik derecesinde tek motorla tahrik edildiğinden bu el az tahrikli mekanizmaların temel örneklerinden birisidir.[20]



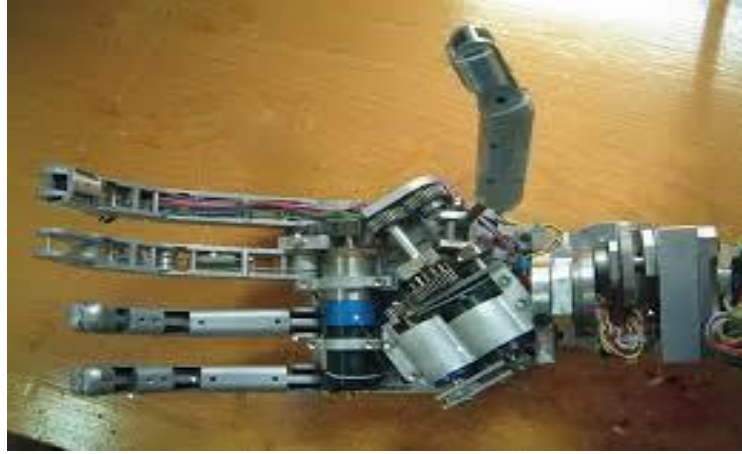
Şekil 14. TUAT/Karlsruhe Eli

M.C. Carroza ve arkadaşlarının geliştirdiği Spring eli (Şekil 15) ise tendon iletim mekanizmalı, üç parmaklı, 8 serbestlikte ve tek tahrik motoruna sahip yeni nesil az tahrikli ellere bir örnektir. SPRING elinin yapısının barındırdığı diferansiyel mekanizması ile şekil adaptasyonu geliştirilmiştir. Bu el örneğinde kavrama analizi yapılırken, deneysel düzenden ölçülen kuvvet değerlerinin kavrama operasyonu esnasında temas noktaları değiştiği için net belirlenemediği tespit edilmiş ve genelleştirilmiş kavrama yaklaşımı sunulmuştur.[21]



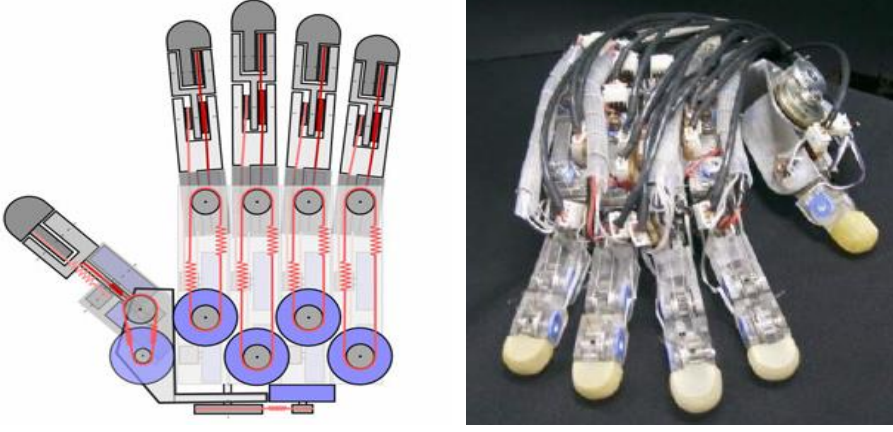
Şekil 15. Spring Eli

J.L. Pons ve arkadaşlarının ortaya koyduğu Manus el (Şekil 16), sahip olduğu başparmak tasarımı ile benzerlerinden ayrılmaktadır. Bu el toplamda beş parmaklı, 10 serbestlikle ve üç tahrik elemanına sahiptir. Ayrıca başparmağında bulunan Cenova mekanizması sayesinde iki eksenli mafsalsın hareketini tek tahrik elemanı ile sağlamaktadır. [22]



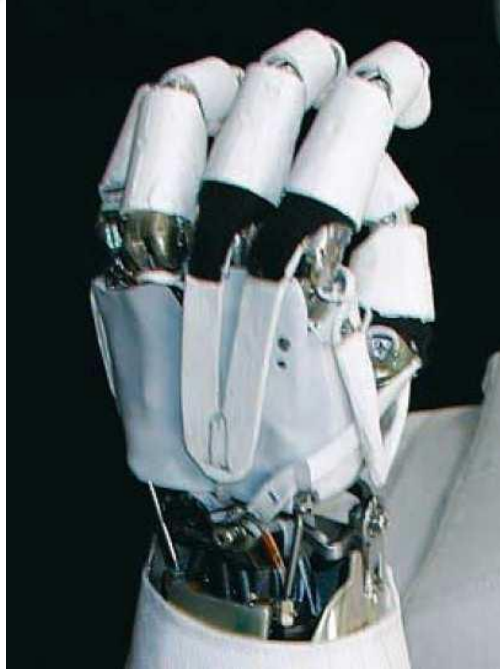
Şekil 16: Manus El

Ikuro Yamano ve Takashi Maeno'nun geliştirdiği beş parmaklı robot el, insan eli ile neredeyse aynı serbestlik derecesindedir. Robot el, ultrasonik motorlar ve elastik elemanlar kullanılarak benzersiz bir yöntemle tahrik edilir. Sonuç olarak 20 serbestlik derecesine sahip olan bu robot eli neredeyse insan eliyle aynıdır. Parmağın uygulayabildiği en büyük güç değeri 6N'dur.[23]



Şekil 17. Geliştirilen Beş Parmaklı Robot Eli

Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansı, uzay istasyonunun yapımında kullanılmak için geliştirilen Robonaut eli (Şekil 18), insan eliyle aynı yetenektedir. NASA'nın son robot kuşağına mensup olan Robonaut'u diğer robotlardan farklı kılan özellik, beş parmaklı olması, yani nesnelere insan gibi kavrayabilmesidir. Diğer robotlar ise nesnelere kısıklı tutabilmektedir. 14 serbestlik derecesine sahiptir ve insan eliyle karşılaştırıldığında eşit boylardadır.[24]



Şekil 18. Robonaut eli

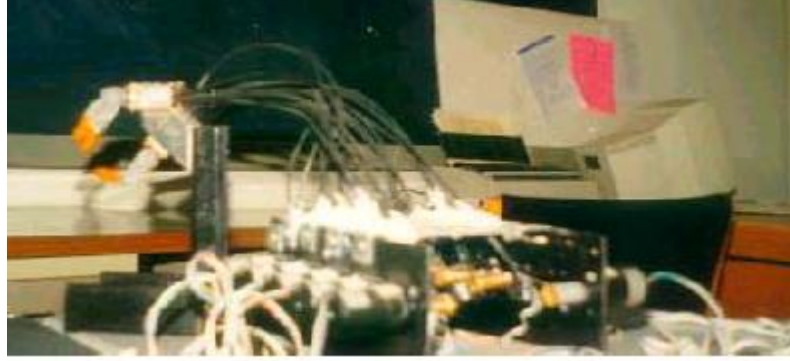
Mat/ODTÜ (Şekil 19), pnömomatik hareketlendirici tipine sahip bir robot eldir. Parmaklarda hareket iletimi makara-ıpe sistemi ile yapılmaktadır. Biri başparmak olmak üzere toplam 4 tane

parmak sayısına sahiptir. Başparmağında iki eklem bulunmaktadır. Toplam 4 serbestlik derecesi vardır.[25]



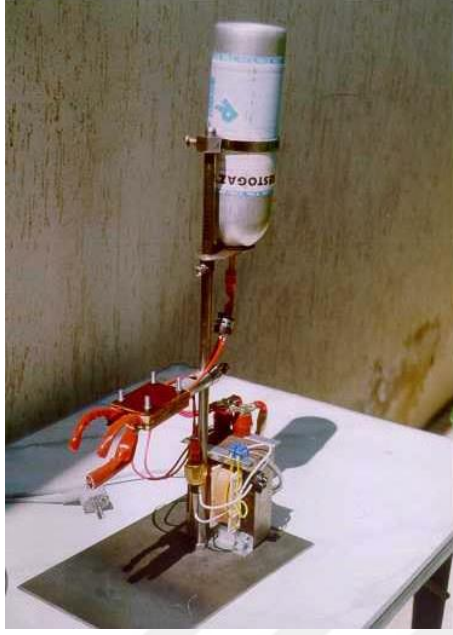
Şekil 19. Mat/ODTÜ Dört Parmaklı Eli

Metu-hand (Şekil 20) ise her biri 3 serbestlik derecesine sahip üç parmaklı, dokuz adım motorlu bir robot eldir. Elde hafif metal olarak alüminyum kullanılmaktadır. Tendon olarak plastik kaplanmış 18 adet çelik kablo kullanılmaktadır. Hareketlendirici olarak elektrik sistemi, hareket iletimi olarak makara-ip kullanılmaktadır.[26]



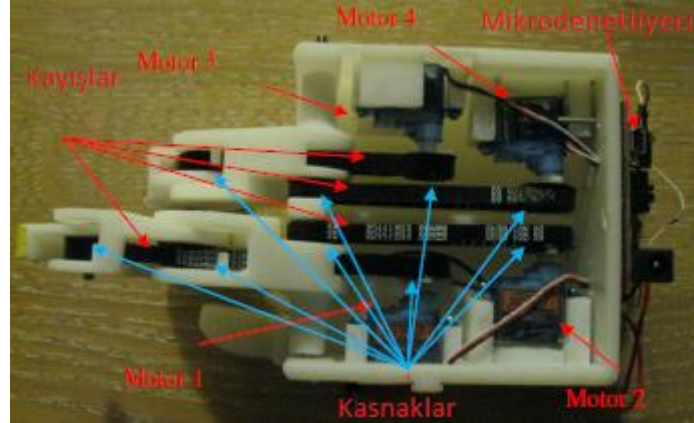
Şekil 20. Metu-hand

Bir başka elektrikli sistem de Dilibal ve Günerin çalıştığı üç parmaklı şekil bellek alaşımli robot elidir. Bu sistemde hareket iletimi ısıtma-soğutmayla gerçekleştirilmektedir. SMA Robot Elde el (Şekil 21) ayası olarak ısıya ve darbeye dayanıklı ve yalıtkanlık özelliğinden dolayı fiber levha kullanılmıştır. Uygun kavrama hareketlerini sağlayacak çift yönlü şekil belleği kullanılan Ni-Ti alaşımı parmaklar fiber levha üzerine monte edilmektedir.[27]



Şekil 21. SMA Üç Parmaklı Robot Eli

Şekil 22'de görülen Ontario üniversitesinde Nasim Jafargholibeik tarafından geliştirilen üç parmaklı eldir. Güç iletimi için kayış kasnak sistemi kullanılmıştır. Her parmak için iki motor kullanılmıştır. Başparmağın hareketi, eklem doğrudan motora bağlanarak gerçekleştirilmektedir. Elin parçaları 3d yazıcıda imal edilmiştir.[28]

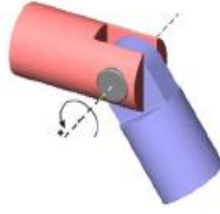


Şekil 22. Üç Parmaklı Robot Eli

2. GENEL DÜŞÜNCE VE ANALİZ

2.1. Tasarım

Tasarlanacak robot ele piyona çaldırma hedeflenmektedir. Beş parmaklı olup x ekseninde hareket edebilmektedir. Şekil 23’de görüldüğü gibi seri manipülatör yapısı izlenmektedir. Her parmak için üç eklem ve başparmak için bir eklem olarak tasarlandı.



Şekil 23. X Ekseninde Döner Eklem

Her parmak için bir servo motor kullanılacak, hareketin daha hassas olması için kayış kasnak sistemiyle güç iletimi sağlanacaktır.

2.2. Serbestlik Derecesi

Mekanizmanın serbestlik derecesi şu parametreler bağlıdır;

$$F = \lambda(l-j-1) + \sum_i^j f_i$$

F=Mekanizma serbestlik derecesi

λ =Düzlemsel mekanizmalar için 3

l =Mekanizmadaki uzuv sayısı (sabit uzuv dahil)

j =Mekanizmadaki mafsalsayısı

f_i =Mafsalsın serbestlik derecesi

$\lambda(l-1)$ =Serbest uzuvların serbestlik derecesi

Bir mafsals ($\lambda-f_i$) kadar hareket serbestliğini önler.

j mafsals ile toplam sınırlama

$$\sum_{i=1}^j (\lambda - f_i) = \lambda - \sum_{i=1}^j f_i \quad (2.1)$$

F =Serbest uzuvların serbestlik derecesi – Mafsalların getirdiği sınırlamalar

$$F = \lambda(l-1) - (\lambda_j - \sum_{i=1}^j f_i) = \lambda(l-j-1) + \sum_{i=1}^j f_i \quad (2.2)$$

Başparmakla diğer parmakların eklem sayısı farklı olduğu için serbestlik derecesi ayrı hesaplanır

Parmak için;

$$\lambda=3, l=4, j=3 \text{ } f_i \text{ için } i=1, 2, 3$$

Buradan,

$$F = 3 \times (4 - 3 - 1) + 3 = 3 \quad (2.4)$$

Başparmak için;

$$\lambda=3, l=3, j=2 \text{ } f_i \text{ için } i=1$$

$$F = 3 \times (4 - 3 - 1) + 1 = 1 \quad (2.5)$$

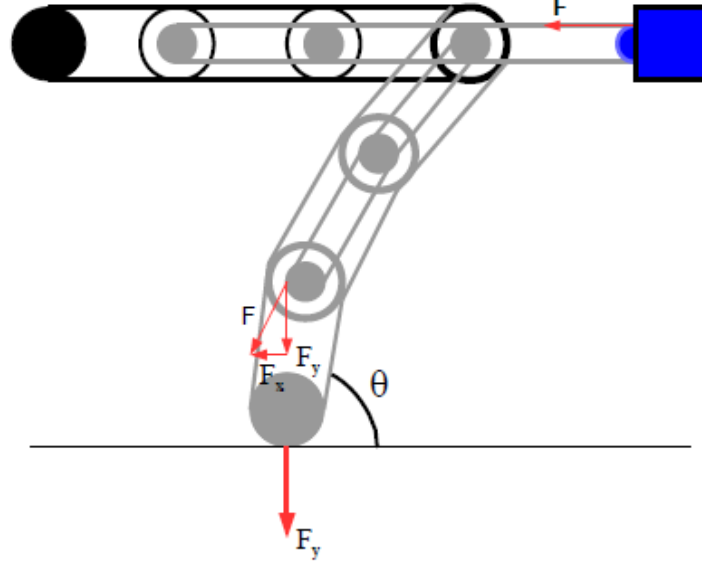
2.3. Tahrik Mekanizması

Her tahrik iletim mekanizmasında, motor sayısı, mekanizmanın serbestlik derecesine eşit veya daha fazla olması gerekir. F veya $F+1$ kadar güç iletimi sağlayacak motor kullanılması gerekir. Fakat tasarımda yer kısıtlılığı nedeniyle bir motor kullanılmaktadır. Bu sistemler eksik hareketli sistem olarak adlandırılmaktadır. Bir motorla üç eklem beraber ve aynı açıda döndürülmektedir.[29]

2.4. Parmak Tasarımı

2.4.1. Sistemin Gereksinimleri

Robot elin sorunsuz ve verimli çalışması için fiziksel şartların yanı sıra robot elin amacına uygun tasarım ve ona göre gerekli hesapların yapılması gereklidir. Tasarlayacağımız elin asıl amacı piyona çaldırmak olduğu için parmaklar piyona tuşlarına yeterli kuvvet uygulamalıdır. Piyano tuşunun yer değiştirmesi için 1N değerinde kuvvet gerekmektedir.[28]



Şekil 24. Kuvvet İletimi

Bağlantılar arasında sürtünmeden dolayı motor tam verimli çalışmayacaktır. Bu yüzden motorun ürettiği gücü hesaplarken eklemlerde ve diğer faktörlerden dolayı yaklaşık %20 kayıp değerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Parmak y doğrultusunda 1N kuvvet uygulayabilmeli ve piyona tuşlarını deforme uğratmayacak değerlerde olmalıdır; seçtiğimiz motorun ürettiği güç yeterli olmaktadır. Şekil 24’de görüldüğü gibi θ açısı 60° olduğunda KTÜ robot parmak piyano tuşuna basabilmektedir.

2.4.2. Donanım Seçimi

2.4.2.1. Motor

Motor seçimi yaparken dikkat edilmesi gereken en önemli özellik motorun uygulayacağı tork değeridir. Tasarlanan el için mikro servo motor (SG90) seçildi. Bu motorun zorlanma (Stall) torku 6V’da 1.3 kg-cm olarak verilmektedir. Bu değer 127 N.mm karşılık gelmektedir. Motorun şaftına bağlı kasnağın yarıçapı 7mm, motordan elde ettiğimiz kuvvet, torkun, kasnağın yarıçapına bölünmesinden elde edilir. Buna göre:

$$F=T/r_k=127 \text{ Nmm}/7\text{mm}=18.14 \text{ N}$$

olmaktadır.



Şekil 25. Micro Servo Motor (SG90)

Motor sürtünmelerden ve diğer faktörlerden dolayı tam verimli çalışamayacaktır, literatürde genel yaklaşım %20 kayıp olduğu kabulüdür.

Bu durumda;

$$F_{net}=18.14 \times 0.80=14.5 \text{ N} \quad (2.6)$$

olmaktadır.

Parmağın konumu dolayısıyla maksimum 60 derece açıyla piyanoya basması gerekmektedir. Y eksenindeki kuvveti hesaplayarak piyano tuşuna uygulayacağı net kuvvet aşağıda verilmektedir.

$$F_y=F \times \cos 60=14.5 \text{ N} \times \cos 60=7.25 \text{ N} \quad (2.7)$$

Elde ettiğimiz kuvvet piyano tuşuna basmak için yeterli olacaktır.

2.4.2.1.1. Adım Motoru

Açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen motorlara adım motorları denilmektedir. Adım motorları belirli adımlarla hareket etmektedirler. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilmektedir. Herhangi bir uyarımda, motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı motorun yapısına bağlı olarak 90° , 45° , 18° , 7.5° , 1.8° veya daha değişik açılarda olabilmektedir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı kontrol edilebilmektedir. Adım motorlarının dönüş yönü uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek saat ibresi yönü (CW) veya saat ibresinin tersi yönünde (CCW) olabilmektedir. Adım motorlarının hangi yöne doğru döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler mikroişlemci veya bilgisayar yardımı ile kontrol edilebilmektedir. Sonuç olarak adım motorlarının hızı, dönüş yönü ve konumu her zaman bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı adım motorları

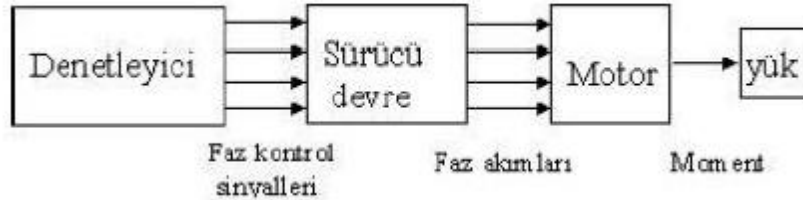
çok hassas konum kontrolü istenen yerlerde kullanılmaktadır. Şekil 26’da bir adım motoru örneği görülmektedir.[30]



Şekil 26. Servo Adım Motoru

2.4.2.1.2. Adım Motorlarının Denetimi

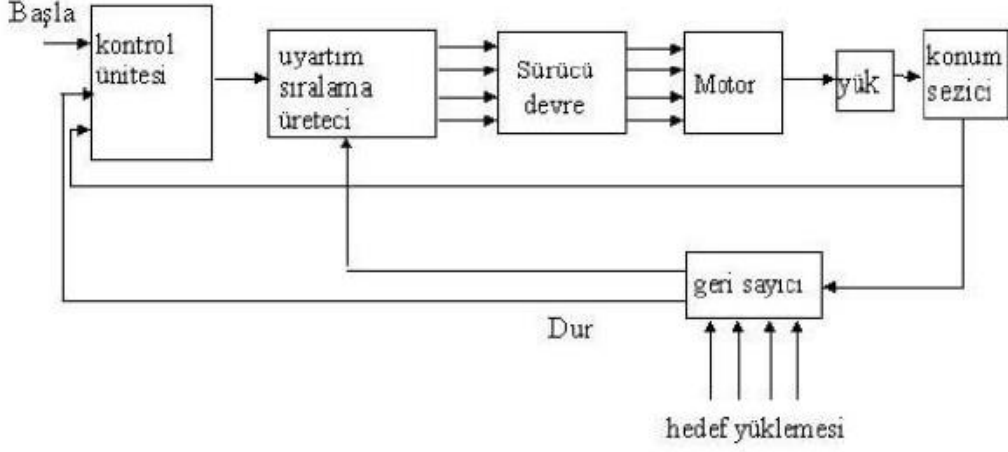
Adım motorları; açık döngülü denetim ve kapalı döngülü denetim olmak üzere iki şekilde denetlenmektedirler. Açık döngülü denetimde sayısal kontrol sinyalleri denetleyici tarafından üretilir ve sürücü devre tarafından yükseltip adım motorunun sargılarına uygulanır. Eğer denetleyici olarak mikroişlemci veya bilgisayar kullanılırsa bu elemanların getirdiği esnekliklerden dolayı aynı denetleyici ile farklı adım motorları kontrol edilebilir. Kontrol edilecek adım motorları 3, 4 veya daha farklı faz sayısına sahip olabilir. Şekil 27’de açık döngülü denetim için blok diyagramı görülmektedir. Denetleyici tasarlanırken motorun cinsi ve yükün durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Açık döngülü denetimde motorun konumu bilinmediğinden dolayı motorun gönderilen bütün adım komutlarını yerine getirdiği varsayılmaktadır.[31]



Şekil 27. Açık Döngülü Denetim İçin Blok Diyagramı

Kapalı döngülü denetim sistemlerinde ani rotor konumu sezilerek denetim birimine iletilir. Her adım komutu için bir önceki komutun gerçekleştirildiği adım bilgisi alınarak

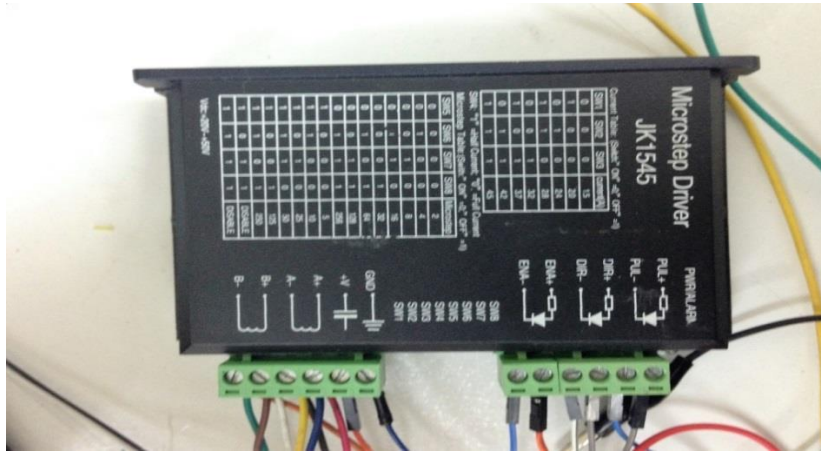
uygulanır. Bu nedenle motor ile denetleyici arasında herhangi bir adım kaybı olmamaktadır. Kapalı döngü denetimin blok diyagramı Şekil 28’de görülmektedir.[31]



Şekil 28. Kapalı Döngü Denetimin Blok Diyagramı

2.4.2.1.3. Adım Motoru Sürücüsü

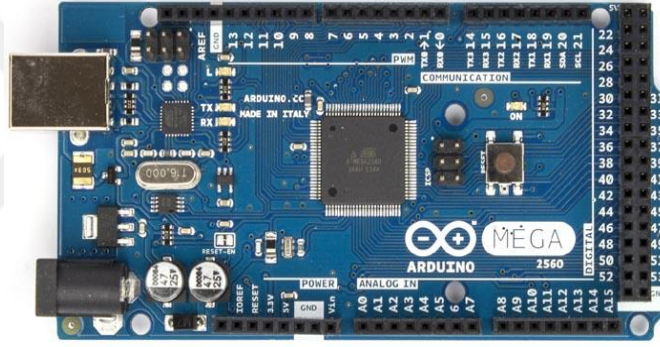
Adım motorun dönmesi için statordaki sargılara, besleme kaynağının gerilimi, gerekli olan sıra ile uygulanmalıdır. Bu uygulama, faz işaretlerinin sıralanması olarak da bilinir. Motor için gerekli olan faz işaretlerinin sırası, bir kontrol devresi veya programı ile sağlanır. Motor ile kontrol birimi arasında uyarlayıcı devrenin olması gerekir. Bir adım motoru kontrol sisteminin sürücü kısmı en az motor kadar önemlidir. Günümüzde adım motorlarının fazlarına istenilen sırada ve hızla sinyal gönderme işlemi elektronik devrelerde rahatça yapılabilmektedir. Bu devrelere adım motoru sürücü devresi adı verilmektedir.(Şekil 29)[31]



Şekil 29. Servo Motor Sürücü

2.4.2.2. Kontrol Sistemi

Parmakların hareketlendirilmesinde ve kontrolünde PWM (Sinyal Genişlik Modülasyonu) tekniği, Arduino Mega ve C++ programı kullanılacaktır. Arduino programlama dili C/C++ benzer ve öğrenmesi kolay mikro kontrol sistemidir. Arduino kartlarının donanımında bir adet Atmel AVR mikro denetleyici (ATmega2560) ve programlama ve diğer devrelere bağlantı için gerekli yan elemanlar bulunur. Her Arduino kartında en azından bir 5 voltluk regüle entegresi ve bir 16MHz kristal osilatör (bazılarında seramik rezonatör) vardır. Arduino kartlarında programlama için harici bir programlayıcıya ihtiyaç duyulmaz, çünkü karttaki mikro denetleyiciye önceden bir bootloader programı yazılmıştır. 14 Dijital G/Ç Pini, 6 PWM Çıkışı, 6 ADC Girişi vardır. 32 KB Flash hafızaya sahiptir.[32]



Şekil 30. Arduino Mega

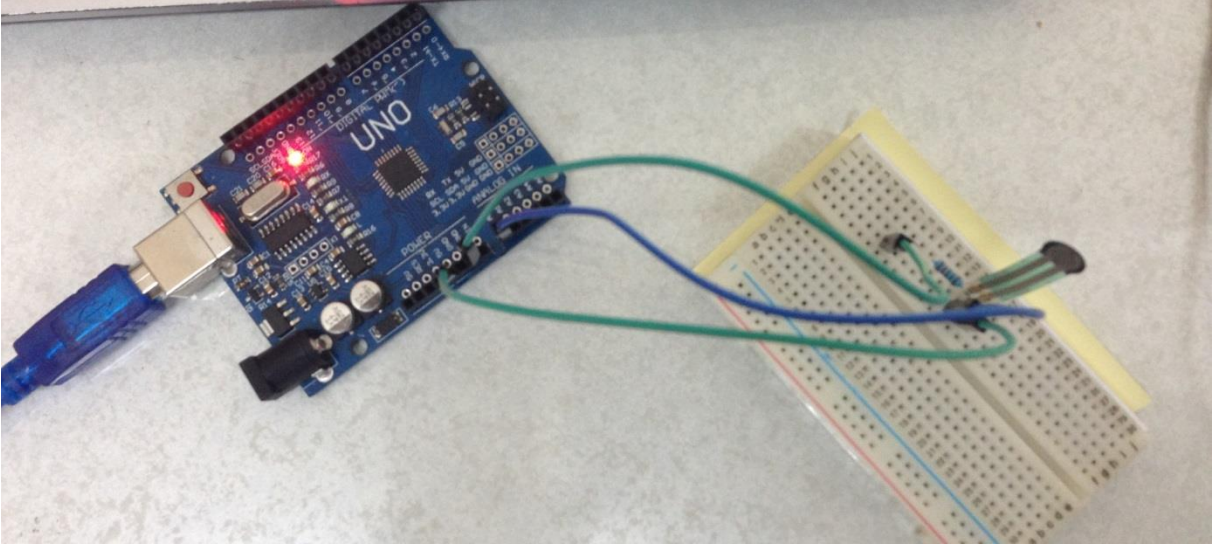
Arduino, açık kaynak kodlu basit bir mikro denetleyici devresi ve bu devreyi programlayabilmeyi sağlayan bir IDE (Integrated Development Environment)'den oluşmaktadır. Arduino ile yapılan projeler, hem bilgisayara bağlı olarak hem de kendi başlarına çalışabilmektedir. Bilgisayara bağlı iken çeşitli sensörlerden veri toplayıp bunlar programa aktarılabilir. Kısaca Şekil 29'da görülen Arduino bilgisayara USB ara yüzü ile bağlanan basit bir mikro denetleyici devresidir. Kendi başına otonom bir şekilde çalışabileceği gibi bilgisayara bağlanıp bilgisayarınızın fiziksel dünya ile iletişim kurmasını da sağlayabilen bir alettir. Birçok mikro denetleyici çeşidi için hazır geliştirme platformları bulunmaktadır. Bunlardan bir kaçını örnek verecek olursak; Parallax Basic Stamp, Netmedia, CStamp, Phidgets, MIT HandyBoard gibi yapıları görmek mümkündür. Bu yapıların hepsinin özelliği kolay kullanım ve programlanabilirlik olmuştur. Bilgisayar dünyasından çıkıp gerçek

yaşama adım atmamıza yarayan bu kartlar ile birçok sensör uygulaması analog ve dijital uygulamalar kolaylıkla yapılabilmektedir.[33]

2.4.2.3. Algılayıcı

“Interlink Electronics’in ürettiği pasif bir komponent olan kuvvete duyarlı dirençler, 5mm çapındaki aktif dairesel alana uygulanan kuvvetle orantılı olarak direnç değerlerinde düşüş gösterirler. Bu sayede kuvvet ya da basıncın algılanabilmesi sağlanmaktadır. PFT (Polymer Thick Film) aygıt dokunma kontrollü elektronik cihazlarda birkaç gram ile 10 kilogram aralığındaki kuvvetlerin algılanabilmesi için optimize edilmiştir. Ürün dokunma arayüzlü projelerde ve çeşitli robotik uygulamalarda kolaylıkla kullanılabilir.”[34]

Ürün üzerinde yapılan testlerde, ürün üzerine kuvvet uygulanmadığında $1M\Omega$, $100N$ gibi seviyelere çıktığında ise $100k\Omega$ direnç değerlerine erişmiştir. Uygulanan kuvvet karşısında oluşan değerler yüksek tutarlılığa sahiptir. Tekrarlanan sabit kuvvet uygulamalarında ürünün sabit değerler ürettiği yapılan testlerde görülmüştür. Ürünün direnç değer aralığı AVR ve PIC gibi birçok mikro denetleyicide bulunan dâhili pull-up’lar ile direkt olarak çalışabilmektedir. Ürün hafif hızlı dokunuşları ve küçük titreşim motorlarının titreşimlerini algılayabilecek hassasiyete sahiptir.[34]



Şekil 31. Kuvvet Basınç Sensörü

2.5. Kinematik Analiz

Kinematik problemler, verilen uç nokta konumu ve yönlenmesi için eklem değişkenlerinin değerlerinin hesaplanmasıdır. Yani, robotun takım koordinat sisteminin uzayda istenen noktaya gitmesi ve istenen yönlenmeyi sağlaması için, eklem değişkenlerinin alması gereken açısal konum değerleri kinematik analiz ile belirlenir.

Robotların kinematik modelinin çıkarılması robot çalışmalarının en önemli aşamalarından birini oluşturmaktadır. Robotların kinematik modelini çıkarmak amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Kinematik problemlerin analizi üç boyutlu Kartezyen ve dört boyutlu Kartonyum olmak üzere iki farklı uzayda gerçekleştirilmektedir. Kartezyen Uzay’ında, matris veya vektörler dönüşüm operatörleri kullanılarak kinematik model belirlendiğinden bu yönteme nokta dönüşüm, Kartonyum Uzay’ında ise doğrusal vektörler ve dönüşüm operatörleri (quaternion) kullanıldığından, bu yönteme ise doğrusal dönüşüm yöntemi denir. Maxwell nokta vektörlerin Kartezyen Uzayındaki dönüşümlerini kullanarak 4x4 homojen dönüşüm matrisini tanımladı. Denavit-Hartenberg bu homojen dönüşüm matrisini kullanarak bir koordinat sisteminin oryantasyonunu ve konumunu başka bir koordinat sistemine göre tanımladı.[35]

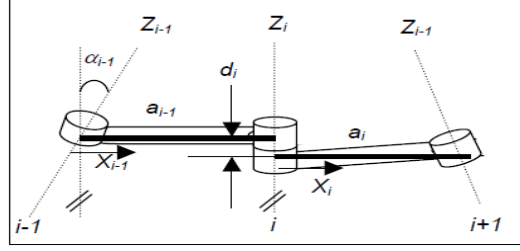
Parmağı İstenilen pozisyona getirebilmek için, tüm eklem değişkenleri kinematik yoluyla belirlenmelidir. Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü parmakların işlevselliği ve yapısı itibarıyla aynıdır. Kinematik hesaplamaları sadece bir parmak ve başparmak için yapılması yeterlidir.

2.5.1. Denavit-Hartenberg Gösterimi

Robotların kinematik modelini belirlemek için yaygın olarak Denavit-Hartenberg homojen dönüşüm yöntemi kullanılmaktadır. Denavit-Hartenberg yönteminde dört değişken kullanılarak robot kinematiği belirlenmektedir.

Bu değişkenler, iki eksen arasındaki bağ uzunluğu (link length) a_{i-1} , $i-1$ ile i . eksenleri arasındaki bağ açısı (link twist) α_{i-1} , üst üste çakışan bağlar arasındaki bağ kayması (link offset) d_i , ve iki bağ arasında oluşan eklem açısı (joint angle) θ_i ’dir. Bu dört değişkene Denavit-Hartenberg değişkenleri (D-H değişkenleri) denir. Bu değişkenleri belirlemek için öncelikle robotun dönme eksenleri belirlenir ve dönme eksenleri bağlardan bir fazla olacak şekilde numaralandırılır. Daha sonra bu eksenlerin her birine koordinat çerçevesi yerleştirilir

ve bağ dönme eksenini Şekil 32’de görüldüğü gibi koordinat çerçevesinin Z eksenini kabul edilir. Robotun bir eklemine ait dönüşüm matrisi bu dört değişkenden kullanılarak belirlenir.[5]



Şekil 32. Denavit-Hartenberg Çerçeve Ataması

Tablo 1. Üç uzumlu düzlemsel manipülatör için Denavit ve Hartenberg tablosu

Uzuv	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	a_1	0	0	θ_1
2	a_2	0	0	θ_2
3	a_3	0	0	θ_3

Denavit-Hartenberg gösteriminde mafsallardaki koordinat eksenleri öyle yerleştirilir ki, her bir homojen dönüşüm matrisi A_i , cos, ‘c’, sin, ‘s’, şeklinde kısaltılarak 4 temel transformasyon çarpımı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.[5]

$$A_i = Rot_{z,\theta_i} Trans_{z,d_i} Trans_{x,a_i} Rot_{x,\alpha_i} = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i c\alpha_i & s\theta_i s\alpha_i & a_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i c\alpha_i & -c\theta_i s\alpha_i & a_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

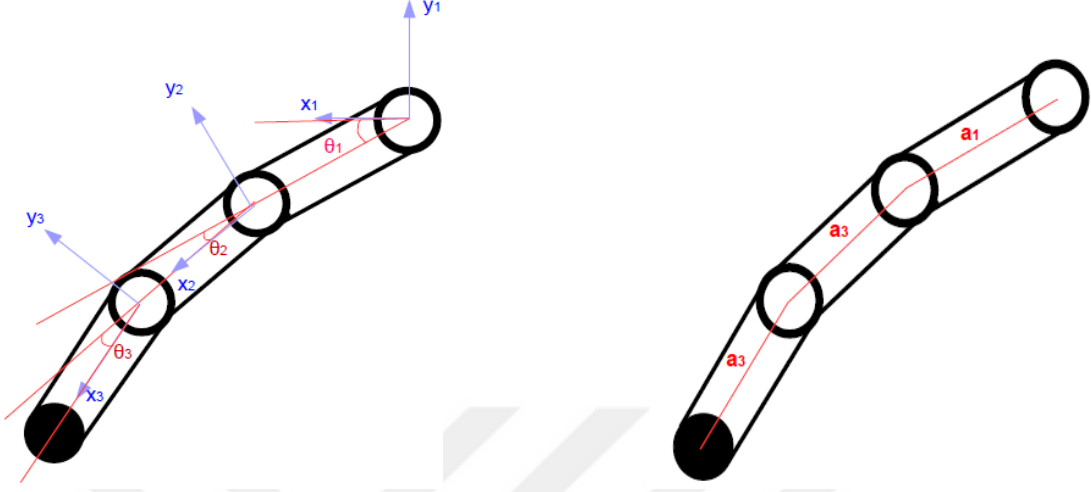
Burada a_i , α_i , d_i , θ_i i nolu uzvun ve i nolu mafsalin parametreleridir. Bu parametrelerden ilk ikisi sabittir ve son ikisinden sadece biri değişkendir.[5]

a_i , uzunluk (length), (uzuv uzunluğu)

α_i , çevrilme açısı (twist), (uzuv bükümü)

d_i , açıklık, kayma (offset) , (uzuv açıklığı)

θ_i , dönme açısı (angle) , (uzvun dönme miktarı)



Şekil 33. Parmak Eklem Değişkenleri

Tasarımı yapılan KTÜ Robot Parmağın her eklemi için Denavit-Hartenberg parametrelerini yazarak, transformasyon matrislerini hesaplanır;

$$A_1 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & a_1c\theta_1 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & a_1s\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & a_2c\theta_2 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 & a_2s\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & a_3c\theta_3 \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & a_3s\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

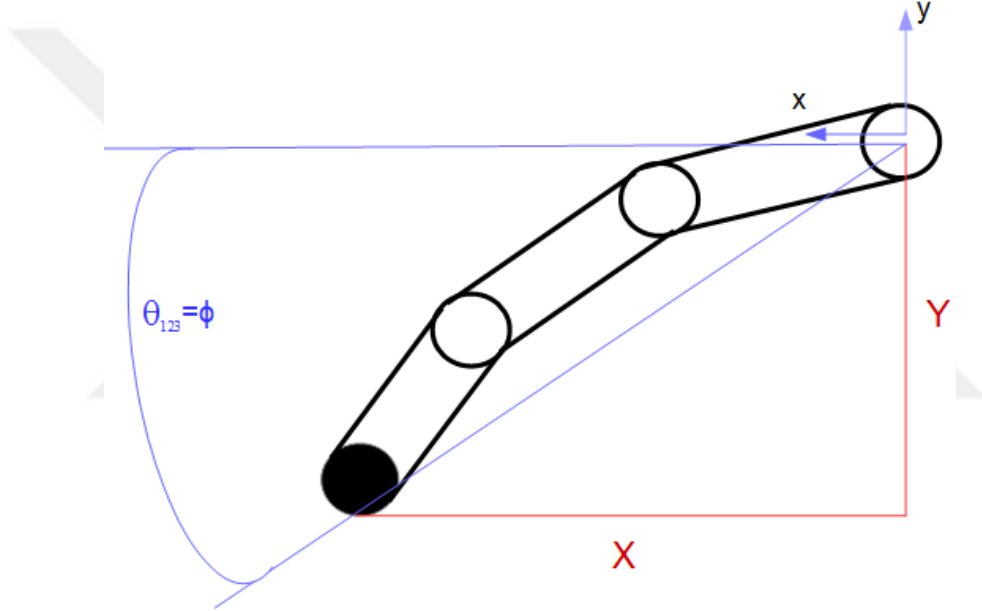
Genel Dönüşüm Matrisi;

$$T_0^3 = A_1 A_2 A_3 = \begin{bmatrix} c\theta_{123} & -s\theta_{123} & 0 & a_1 c\theta_1 + a_2 c\theta_{12} + a_3 c\theta_{123} \\ s\theta_{123} & c\theta_{123} & 0 & a_1 s\theta_1 + a_2 s\theta_{12} + a_3 s\theta_{123} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

olarak belirlenir.

2.5.2. Parmak İçin Kinematik Çözümü

Parmağın piyanoya bastığı açı ϕ olursa ve pozisyonu da X ve Y olur.(Şekil 34)



Şekil 34. Parmağın Son Hali ve Pozisyon Açısı

Genel transformasyon matrisinde kısaltmalar yapılırsa,

$$T_0^3 = \begin{bmatrix} c\phi & -s\phi & 0 & X \\ s\phi & c\phi & 0 & Y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

matrisi belirlenir.

$$s\theta_{123} = s\phi, \quad c\theta_{123} = c\phi \quad (2.14)$$

$$\theta_{123} = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = \phi \quad (2.15)$$

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta$$

KTÜ parmağın θ açısına bağlı olarak x ve y pozisyon mesafeleri,

$$X = a_1 c\theta + a_2 c(2 \times \theta) + a_3 c(3 \times \theta) \quad (2.16a)$$

$$Y = a_1 s\theta + a_2 s(2 \times \theta) + a_3 s(3 \times \theta) \quad (2.16b)$$

denklemlerinden belirlenir.

Eklemlerinin uzunlukları;

$$a_1 = 25\text{mm}, a_2 = 25\text{mm}, a_3 = 20\text{mm}$$

x ve y pozisyon mesafesi aşağıdaki denklemden belirlenir;

$$X = 25c\theta + 25c(2 \times \theta) + 20c(3 \times \theta) \quad (2.17a)$$

$$Y = 25s\theta + 25s(2 \times \theta) + 20s(3 \times \theta) \quad (2.17b)$$

2.5.3. Başparmak İçin Kinematik Çözümü

Başparmak tek mafsalla hareket etmektedir.

$$X = ac\theta$$

$$Y = as\theta$$

$$a = 40\text{mm}$$

$$X = 40 \times \cos(\theta), Y = 40 \times \sin(\theta) \quad (2.18)$$

2.6. Hız Kinematikleri

Hız kinematiklerini (sonlandırıcının doğrusal ve açısal hızları) bu işlevin Jakobiyen matrisi belirlenerek elde edebilmektedir.

2.6.1. Jakobiyen

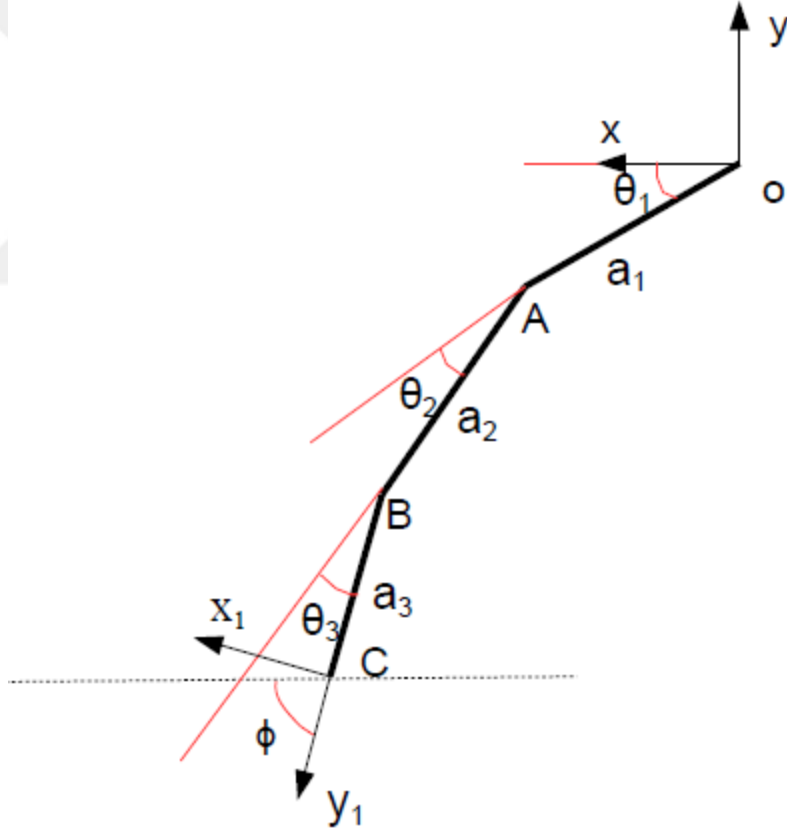
Jakobiyen matris değerli bir işlevdir ve skaler bir işlevin türevinin vektörel hali olarak düşünülebilir. Bu Jakobiyen matrisi robotikte aşağıdaki alanlarda büyük önem taşır.

1. Düzgün yörünge (smooth trajectory) türetilmesi,
2. Tekil (Singular) konfigürasyonların bulunması,
3. Hareket denklemlerinin türetilmesi,
4. Sonlandırıcı kuvvet ve momentlerinin diğer manipülatör eklemlerine taşınması,

Jakobiyen her bir eklemin uç işlevcisinin hızına katkısını belirler. Başka bir ifadeyle Jakobiyen matrisi eklem hızlarıyla uç işlevcisinin hızı arasında bir ilişki kurar.

n eklemli bir manipülatör için Jakobiyen, eklem hızlarının n vektörü ile sonlandırıcının 6 vektörden oluşan doğrusal ve açısal hızları arasındaki ilişkiyi verir. Buna göre n eklemli bir manipülatör için Jakobiyen $6 \times n$ boyutunda bir matristir.[36]

Jakobiyen matrisini oluşturmak için öncelikle tasarladığımız robot elin parmaklarının x,y,z koordinatları hesaplanacaktır. Modelin koordinatlarının hesaplanması için Şekil 35’de ki şematik resmi çizilmiştir.



Şekil 35. Referans Noktaları

A,B,C eklemlerin koordinatları;

$$A = \begin{bmatrix} a_1 \cos \theta_1 \\ a_1 \sin \theta_1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

$$B = \begin{bmatrix} a_1 \cos \theta_1 + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

$$C = \begin{bmatrix} a_1 \cos \theta_1 + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + a_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + a_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

$\cos(\theta_1 + \theta_2)$, $\sin(\theta_1 + \theta_2)$ ifadelerini c_{12} ve s_{12} olarak kısaltalım;

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 c_1 + a_2 c_{12} + a_3 c_{123} & a_2 c_{12} + a_3 c_{123} & a_3 c_{123} \\ a_1 s_1 + a_2 s_{12} + a_3 s_{123} & a_2 s_{12} + a_3 s_{123} & a_3 s_{123} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Pozisyon vektörlerinin türevi alınırsa;

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\delta(a_1 c_1 + a_2 c_{12} + a_3 c_{123})}{\theta_1} & \frac{\delta(a_2 c_{12} + a_3 c_{123})}{\theta_2} & \frac{\delta(a_3 c_{123})}{\theta_3} \\ \frac{\delta(a_1 s_1 + a_2 s_{12} + a_3 s_{123})}{\theta_1} & \frac{\delta(a_2 s_{12} + a_3 s_{123})}{\theta_2} & \frac{\delta(a_3 s_{123})}{\theta_3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

$$J = \begin{bmatrix} -a_1 s_1 - a_2 s_{12} - a_3 s_{123} & -a_2 s_{12} - a_3 s_{123} & -a_3 s_{123} \\ a_1 c_1 + a_2 c_{12} + a_3 c_{123} & a_2 c_{12} + a_3 c_{123} & a_3 c_{123} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

olarak belirlenir.

x ve y doğrultularındaki hızlarını bulmak için Jakobiyen matrisi eklemlerin hızlarıyla çarpılır;

$$V_x = -a_1 \sin \theta_1 \dot{\theta}_1 - a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) - a_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \quad (2.25a)$$

$$V_y = a_1 \cos \theta_1 \dot{\theta}_1 + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) + a_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \quad (2.25b)$$

\sin ve \cos ifadelerinin kısaltılmış hali;

$$s_1 = \sin(\theta_1) \quad s_{12} = \sin(\theta_1 + \theta_2), \quad s_{123} = \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$c_1 = \cos(\theta_1) \quad c_{12} = \cos(\theta_1 + \theta_2), \quad c_{123} = \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

2.25 denklemlerinde parmak için x ve y eksenlerinde hız vektörleri;

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_1s_{12} - a_2s_{12} - a_3s_{123} & -a_2s_{12} - a_3s_{123} & -a_3s_{123} \\ a_1c_{12} + a_2c_{12} + a_3c_{123} & a_2c_{12} + a_3c_{123} & a_3c_{123} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Hız vektörleri matris formunda yazıldıktan sonra eklemlerin hızları belirlenir;

$$\dot{\theta}_1 = \frac{v}{r_k} \quad (2.27a)$$

$$\dot{\theta}_2 = f(\dot{\theta}_1) \quad (2.27b)$$

$$\dot{\theta}_3 = f(\dot{\theta}_2) \quad (2.27c)$$

Burada r_k kasnak yarıçapı ve v ise kasnakla eklem arasındaki kayışın hızı;

Her üç ekleminde hareketi tek motor ve tek kayışla sağlandığı için üç eklem içinde açı değerleri eşit olur.

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta$$

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \frac{v}{r_k} \begin{bmatrix} -a_1\sin\theta - a_2\sin2\theta - a_3\sin3\theta & -a_2\sin2\theta - a_3\sin3\theta - a_3\sin3\theta \\ a_1\cos\theta + a_2\cos2\theta + a_3\cos3\theta & a_2\cos2\theta + a_3\cos3\theta + a_3\cos3\theta \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \frac{v}{r_k} \begin{bmatrix} -a_1\sin\theta - 2a_2\sin2\theta - 3a_3\sin3\theta \\ a_1\cos\theta + 2a_2\cos2\theta + 3a_3\cos3\theta \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

a_1 , a_2 ve a_3 eklemlerin uzunlukları, r_k kasnak yarıçapı;

$$a_1=25\text{mm}, a_2=25\text{mm}, a_3=20\text{mm} \text{ ve } r_k=7\text{mm}$$

Hız vektörlerinin matris formu

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \frac{v}{7} \begin{bmatrix} -25_1\sin\theta - 50\sin2\theta - 60\sin3\theta \\ 25\cos\theta + 50\cos2\theta + 60\cos3\theta \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

denklemleri ile belirlenir.

2.6.2. Tekillikler (Singülerlikler)

Jakobiyen matrisinin rankının azaldığı ($\det(J)=0$) manipülatör konfigürasyonları tekillikler veya tekil konfigürasyonlar olarak adlandırılabilir. Ranktaki bu azalma serbestlik derecesinde azalma olarak da kabul edilebilir.

Tekilliklerin belirlenmesi şu sebeplerden önemlidir;

1. Tekillikler yapılamayacak hareketleri veya ulaşılamayacak noktaları belirtebilir.
2. Tekilliklerde küçük sonlandırıcı hızları büyük eklem hızlarına sebep olabilir.
3. Tekilliklerde ters kinematik problemleri için çözüm olmayabilir veya sonsuz sayıda çözüm olabilir.

Tekillikler incelemede kolaylık getirmesi açısından iki kısımda incelenebilir:

1. Kolun hareketi sonucu oluşan kol tekillikleri
2. Bileğin hareketi sonucu oluşan bilek tekillikleri[37]

2.7. Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar metodundaki temel mantık, karmaşık bir problemi basite indirgeyerek paçayı analiz etmektir. Bu metot da çözüm bölgesi, çok sayıda, basit, küçük, birbirine bağlı, sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayrılmaktadır. Yani kısacası birbirine çok sayıda düğüm noktalarıyla bağlanmış parçalara ayrılan problemin çözümü kolay bir şekilde yapılabilmektedir. [38]

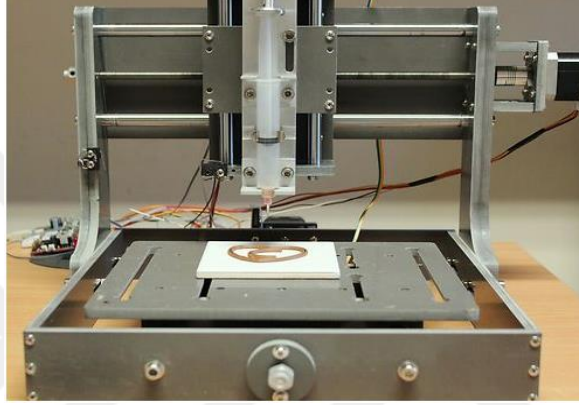
2.8. 3D Yazıcı

3D Günümüz 3 boyutlu yazıcı teknolojisi birçok farklı teknolojiyi kapsamaktadır. Bu teknolojiler, lazer sinterleme, fused deposition (bileşimli yığma), polimer kütleme olarak sıralanabilir. Yaygın kullanıma ve farklı tasarıma sahip olsa da temelde en çok kullanılan teknoloji "fused deposition modeling" tekniği ile çalışan cihazlardır. 3D Yazıcı bilgisayar üzerinde tasarlanmış veya 3 boyutlu olarak taranmış modelleri, bir çok farklı malzeme kullanarak çok hızlı ve ekstra bir kalıp yada fiğstüre ihtiyaç duymadan üreten bir cihazdır.[39]

FDM teknolojisi ile çalışan 3D Yazıcılar genellikle ABS ve PLA gibi termoplastik polimer malzemeler kullanmaktadır. Filaman formundaki malzeme yüksek sıcaklığa sahip bir nozül yardımı ile eritilerek katmanlar halinde inşa edilir.

3D Yazıcılar ile üretim yapabilmek için öncelikle bir 3 boyutlu modele ihtiyaç vardır. Bu alanda kullanılacak yazılımlardan bazıları, AutoCAD, SolidWorks, Google Sketchup, Rhino3D. Bu yazılımlar ile tasarlanan modeller STL dosyası olarak export edilerek 3D yazıcılar ile üretilmektedir.[39]

Termoplastik malzemenin düzgün bir şekilde yığılabilmesi için erime sıcaklığına ısıtılmış bir nozuldan ekstrude edilmesi gerekmektedir. Bu nozul bilgisayar tarafından kontrol edilerek parça geometrisini simule edecek şekilde hareket ettirilir ve termoplastik malzemenin yığılması ile beraber parça 2 boyutlu katmanlar halinde tablaya yığılır ve üretilmiş olur.[39]

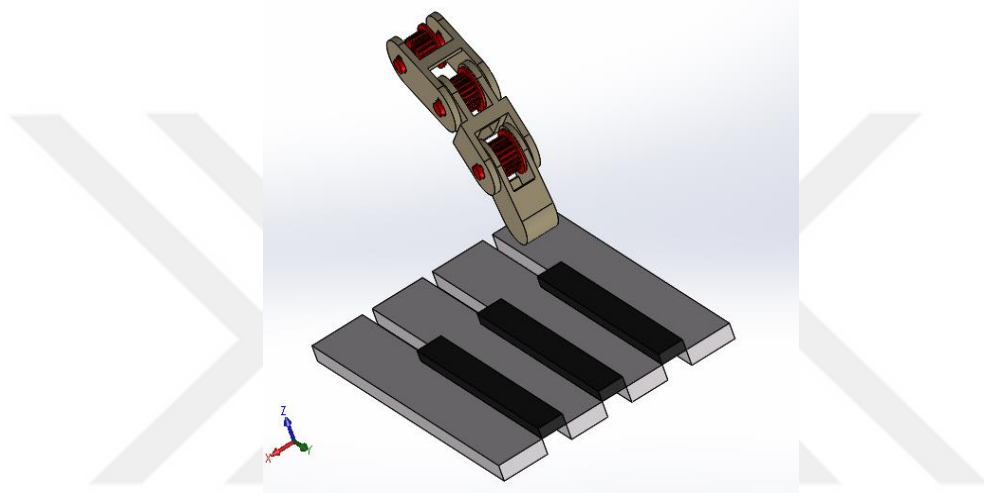


Şekil 36. FDM 3D Yazıcı

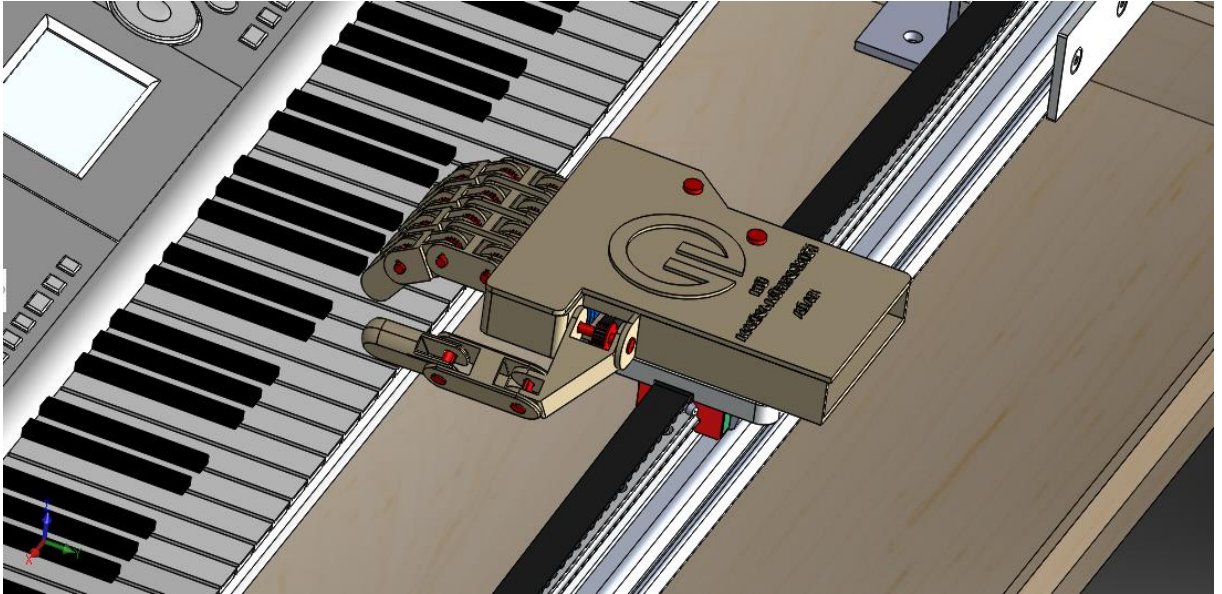
3. TASARIM VE UYGULAMA

3.1 Tasarım

Her parmak üç eklem ve üç mafsaldan oluşmaktadır. Eklemler birbirlerine Şekil 37’de görüldüğü gibi kamalı mille montaj edilmektedir. Eklemleri hassasiyetle hareket ettirmek için dişli kasaclar tarafından sürülen dişli kayışlar kullanılmaktadır.



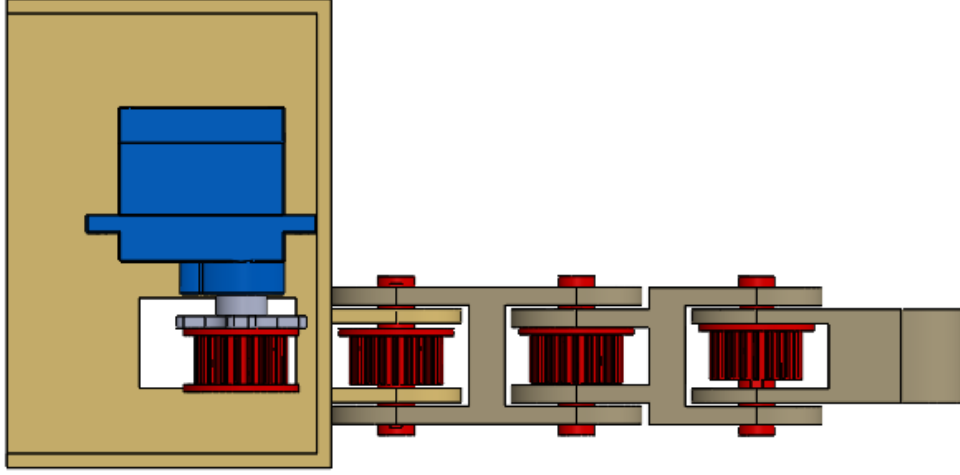
Şekil 37. KTÜ Parmak ve Piyano Tuşu Tasarımı



Şekil 38. KTÜ Eli ve Piyano Tasarımı

3.2 Tahrik Sistemi

Tasarımın diğer projelerden en önemli ayırt edici özelliği güç iletimini Şekil 39 ve Şekil 40'da görüldüğü gibi triger kayışı ve dişli kasnak tarafından sağlanmasıdır. Bu sayede açı değerini daha hassas bir şekilde ayarlayarak piyano tuşuyla daha uyumlu çalışması sağlanmaktadır. Üç eklem için tek motor ve tek kayış kullanılmaktadır. Kasnaklar 3d yazıcıda üretilmiştir.



Şekil 39. Güç İletim Mekanizması



Şekil 40. Dişli Kasnak ve Triger Kayışı Tasarımı

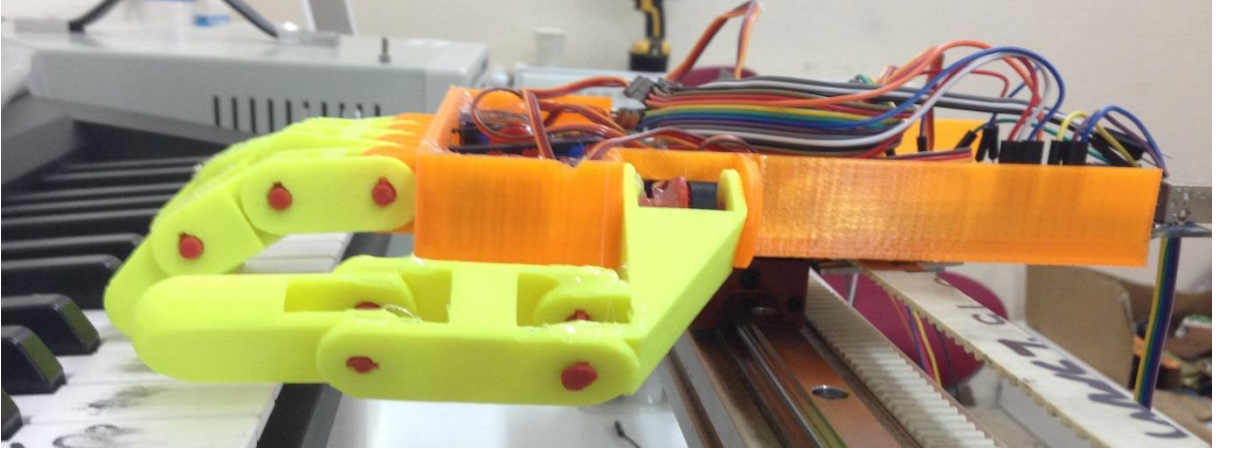
3.3. Uygulama

3d Yazıcıda ürettiğimiz KTÜ elin parçaların montajını gerçekleştirdikten sonra her parmak için piyano tuşlarına sorunsuz bir şekilde bastığını test ettik. Robot elini sigma profil kullanılarak servo motor sürücü tarafından tahrik edilerek sabit eksen üzerinde hareketi

sağlanmaktadır. Şekil 41’de ki AATech markanın ürettiği Atp-3306D serisi yüksek hassasiyetli ayarlanabilir dc güç kaynağı kullanılmaktadır.

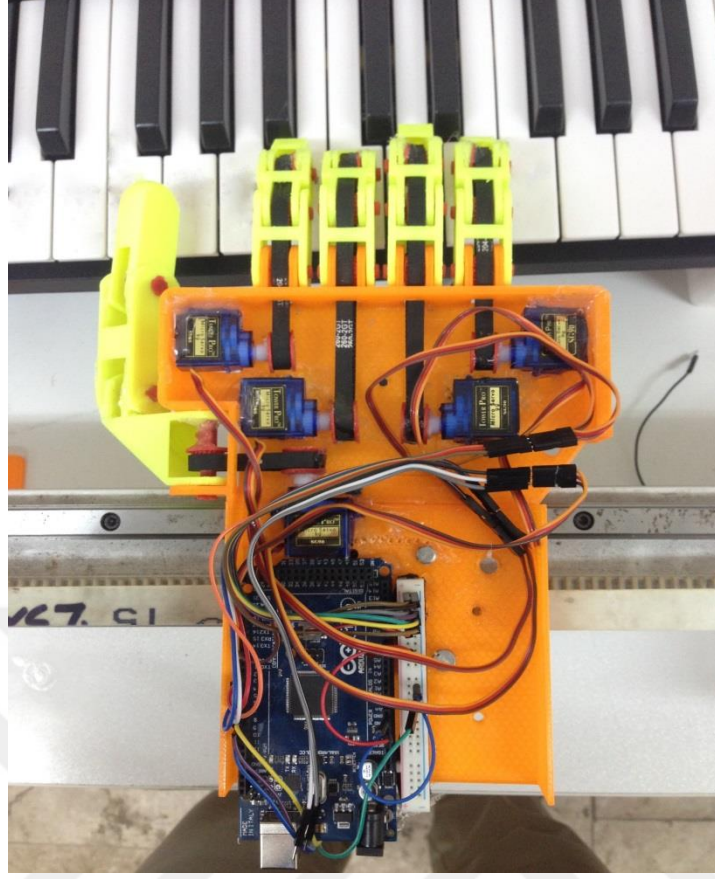


Şekil 41. Atp Serisi Yüksek Hassasiyetli Ayarlanabilir DC Güç Kaynağı



Şekil 42. KTÜ El ve Ray Sistemi

KTÜ elin piyano paralel hareketini sağlayan düzenek sigma profil kullanılarak imal edilmiştir. KTÜ elin bilek kısmı bu sigma profil üzerine yataklanmıştır. Servo adım motor tarafından tahrik edilen kayış kasnak yardımıyla doğrusal hareketi verilmektedir. Elin parmakları piyana üzerindeki istenilen tuşa basacak şekilde konumlandırılabilir.

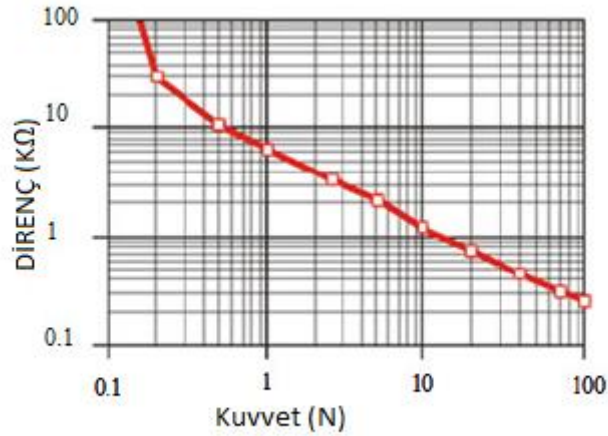


Şekil 43. KTÜ El Montaj

4. BULGULAR

4.1. Kuvvet Basınç Sensörü Ölçüm Değerleri

Robot elin parmakları piyano tuşuna basarken uyguladığı kuvvet değerleri kuvvete duyarlı dairesel sensörlerle (0.2") her parmak için değerler ölçülmüştür. Ölçülen değerler 1.10 N ve 1.20N değerleri arasındadır. Adunio kontrol sistemi kullanılarak değerler analog olarak ölçülmüştür. Ayrıntılı kod ek 2 verilmiştir.



Şekil 44. Kuvvet Basınç Sensörü Kuvvet Direnç Değişimi

Tablo 2. Kuvvet Basınç sensörüyle ölçülen değerler

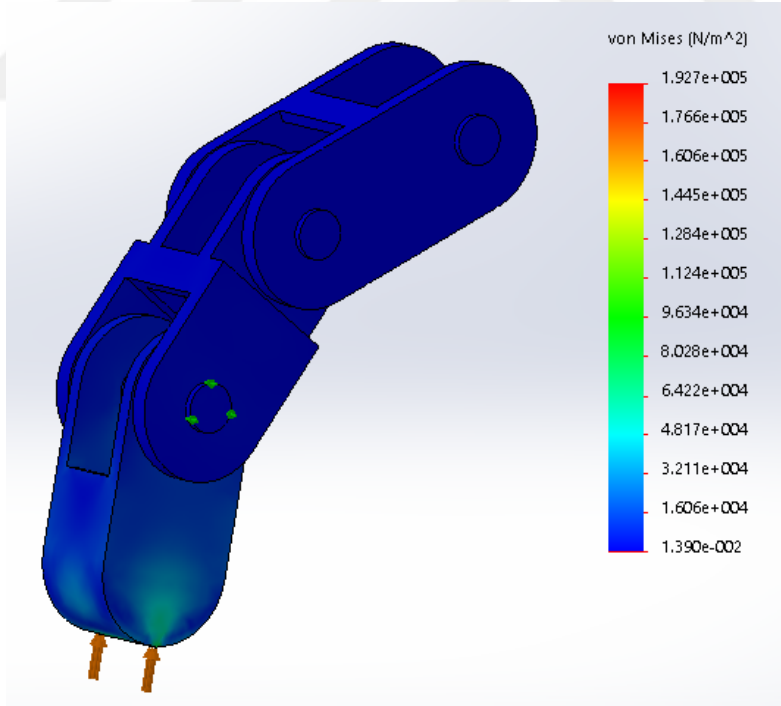
Parmak Sırası	Kuvvet(N)	Direnç(ohms)	Okunan mV değeri
1. Parmak	1.10	10627	2424
2. Parmak	1.10	10584	2429
3. Parmak	1.20	10383	2453
4. Parmak	1.10	10424	2448

KTÜ elin y doğrultusunda uyguladığı maksimum kuvvet 7.25N olduğu için piyano tuşlarını sorunsuz bir şekilde hareket ettirebilmektedir.

4.2. Gerilme Analizi

Çalışmamızda robot parmağının piyona tuşunu hareket ettirebilmesi için en az 1N kuvvetin gerekli olduğu deneysel olarak hesaplanmıştır. Bu kuvvete karşı malzemenin nasıl bir deformasyona maruz kalacağını anlamak için sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapıldı. Kullanılan malzeme Akrilonitril bütadien stiren veya kısaltılmış ismi ile ABS, kalıp yolu ile üretilen ürünlerde çok yaygın olarak kullanılan hafif ve sert bir polimerdir.

Bu malzeme polibütadien içinde stiren ve akrilonitrilin polimerizasyonu ile elde edilen bir kopolimerdir. İçerdiği madde oranları 15% - 35% arası akrilonitril, 5% - 30% arası butadien ve 40% - 60% arası stiren olarak değişiklik gösterebilir. Sonuç olarak, Poli(stiren ve akrilonitrilin) kısa zincirleri ile polibütadienin uzun zincirlerinin çapraz bağlanmasıdır. Komşu zincirlerden nitril grupları, kutupsal olarak diğer zincirleri çekip bağlayarak, saf polistirenden daha dayanıklı olan, ABS oluşturular. Stiren plastiğe parlaklık ve iyi yüzey verir. Bütadien, kauçuk özelliklerini, düşük sıcaklıkta esnek olabilmeyi sağlar. ABS, $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında kullanılabilir.



Şekil 45. Gerilme Analizi

Parmağın gerilme analizi 2016 Solidworks Simulation programı kullanılarak gerçekleştirildi. Kullandığımız mesh yapısı ve analiz sonuçları ek 5'de verilmiştir.

Parmak tuşa bastığında 1N kuvvete karşı malzemenin gerilme analizi Şekil 45’de görülmektedir. Bu değerlerden malzemenin maruz kaldığı yük karşısında yeterli mukavemete sahip olduğu görülmektedir.

4.3. KTÜ Elin Özellikleri

İkinci bölümde hesaplanan değerler ve KTÜ robot elin özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3. KTÜ elin özellikleri

Özellikler	
Tahrik Sistemi	Elektrik
Kontrol Sistemi	Arduino Mega
Tahrik Mekanizması	Kayış-Kasnak
Motor Sayısı	5
Parmak Sayısı	4
Parmak Eklem Sayısı	3
Başparmak Sayısı	1
Başparmak Eklem Sayısı	1
Toplam Serbestlik Derecesi	13
Piyanoya uygulanan maksimum kuvvet	7.25 N
Piyano tuşuna basması için gerekli kuvvet	1N

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mekanik el sistemleri, gelişmeye devam eden teknolojilerdir. Bu gelişmeler enerji, esneklik, hız gibi değişkenlerin iyileştirilmesi ya da tutucunun (End-effector) yeniden tasarlanarak geliştirilmesi şeklinde olabilmektedir.

Robotlarda kullanılan birçok tutucu çeşidi vardır. Bazı durumlarda bu tutucular yeterli olamamaktadır. Bu durumlar, yeni tutucuların geliştirilmesine neden olur. İleri teknolojiye sahip olması istenen yeni tutucular geliştirilirken yapılacak değişikliklerde yeterli hareket, esneklik ve iş yapabilme yeteneklerine sahip olan canlılar örnek olarak alınmaktadır.

Bu çalışmada piyano çaldırma için beş parmaklı, dört parmak üç ekleme ve başparmak iki ekleme sahip, insansı KTÜ el, Solidwork çizim programında tasarlandı; sonlu elemanlar yöntemi ile kuvvet analizleri yapıldı. KTÜ elin uzayda istenen noktaya gitmesi ve istenen yönlenebilirliği sağlamak için, eklem değişkenlerinin alması gereken açısal konum değerleri kinematik analiz ile belirlendi. Piyano tuşlarını hareket ettirebilmek için yeterli torka sahip mikro servo motorlar seçildi. Gerekli mühendislik hesapları yapıldıktan sonra 3d yazıcıda KTÜ el imal edildi. Her bir parmaktaki üç eklem bir mikro servo motorla tahrik edilmektedir. Parmakların ve step adım motorunun kontrolü arduino mega kullanılarak yapılmaktadır. Parmaklara güç iletimi dişli kasnak ve triger kayışı ile sağlanmaktadır. Robot el step adım motor kullanılarak sigma profil üzerinde kayış kasnak mekanizmasıyla lineer hareket ettirilmekte ve bu sayede piyanoda istediğimiz tuşlara bastırabilme imkanı sağlanmaktadır. Kuvvet basınç sensörleri kullanarak piyano tuşuna basmak için gerekli kuvvet değerleri ölçüldü. Parmak hareketinin hassasiyetini arttırmak için dişli kasnak ve dişli kayış kullanılmakta ancak elin büyüklüğünü insan eline yakın olması istendiği için kullanılan kayış ve kasnak standart ölçüler yerine özel imal edildi. Kasnak hem hızlı hem de ekonomik olması istendiğinden 3d yazıcıda imal edilmiştir.

Robot elin parmak hareketlerinin denetiminde açık çevrimli kontrol algoritması kullanılmıştır. Bilinen bir melodinin notaları program içinde kodlanmıştır. Program parmakları ilgili piyano tuşun üzerine konumlandırarak tuşun basma hareketini sağlayacak parmağa gerekli komutu iletmiştir. Programın açık kodu ek 1 de verilmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarımızda tasarladığımız eli geliştirerek insan eline her yönüyle benzer ve hareket kabiliyetini artırarak robot protez el tasarlanmak amaçlanmaktadır. Engelli insanlar için üretilen protez el sadece görüntü amaçlı olup gerçek insan elinin sağladığı fonksiyonlara kıyasla çok düşük seviyededir. Ancak 3d yazıcıyla, hem daha hızlı

hem de ekonomik bir ele sahip olunabilecek hem de hareket kabiliyeti çok daha iyi olan el
üretilmiş olunacak.



6. KAYNAKLAR

1. Arkan, S., Endüstriyel Robotlar ve Üretimde Uygulama Alanları, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10948.pdf>, 8 Ocak 2016.
2. Albayrak M. ve Albayrak Ü. , PIC16f84 Mikrodenetleyici Kontrollü İki Ayaklı Yürüyen Robot Prototipi Geliştirilmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3,3 (2006) 39-44.
3. İşgüzar S. , Sanal Robotik Laboratuvarı İçin Scrobot-Er Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2010.
4. Yüksel T., Robotikte MATLAB kullanımı, Yüksek Lisans Semineri, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 2004.
5. Gümüsel, L., Robot ve Kinematığı Ders Notları, K.T.Ü. , Trabzon, 2016.
6. Wolf, A., Steinmann, R. ve Schunk, H., Grippers in Motion, 28-31, Springer-Verlag, İtalya, 2005.
7. Industrial Robotics., http://www.nuigalway.ie/staffsites/david_osullivan/documents/06._industrial_robotics.ppt, 12 Şubat 2016.
8. Çetinkaya Ö., Bir Kolun Hareketlerini Takip Eden Dört Dönel Mafsallı Robot Kolu Tasarımı ve Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2009.
9. <http://www.robotpark.com.tr/blog/tum-robot-tipleri/sabitrobotlar/paralel-robotlar>, 18 Mart 2016.
10. Yılmaz A. ve Söylemez E., Esnek Uzunlu, Adaptif Endüstriyel Robot Tutucu, 16. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, Eylül 2013, Erzurum, Bildiriler Kitabı, 134-142.
11. Özyer, B., Erkmen, I. ve Erkmen, A. M., Grasping an object by approaching with optimal hand preshaping, Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Nisan 2012, 1-4.
12. Mohd Khairul Ikhwan Bin Ahmad, Multifingered Robot Hand Robot Operates Using Teleoperatio, Yüksek Lisans Tezi, Universiti Tun Hussein, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malaysia, 2011.
13. Hesse, S., Steinmann, R., Schunk, H. and Monkman, G. J., Robot Grippers, Sh:138 157, Wiley- VCH Verlag GmbH , Almanya, 2007.
14. Doğan B., Development Of A Two-Fingered And A Four-Fingered Robotic Gripper, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
15. Okada, T., On a Vesalite Finger System, 4th International Symposium on Industrial Robotics, 1977, Tokyo.
16. Erkmen A., Robot Elle Kavrama Planlaması, ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, 393, 25-30.
17. Jacobsen, S.C., Wood, J.E. and Knutti, D.F., Diggers, K.B., The Utah/MIT Dexterous Hand: Work in Progress, The International Journal of Robotics, 3 (1984) 21-50.

18. Pollard N. , Design and Control for Dexterous Manipulation, Course Introduction, <http://graphics.cs.cmu.edu/nsp/course/16899-s16>, 26 Nisan 2016.
19. H. Liu., The Modular Multisensory DLR-HIT-Hand, Mechanism and Machine Theory,42,5 (2007) 612-625.
20. Fukaya, N., Toyama, S., Asfour, T. and Dillmann R., Design of the tuat/karlsruhe humanoid hand. Intelligent Robotic Systems, 3 (2000) 1754–1759.
21. Carroza, C. M., The Spring Hand: Development Of A Self-Adaptive Prosthesis For Restoring Natural Grasping, Autonomous Robots, 16, (2004), 125–141.
22. J.L. Pons, E. Rocon and R. Ceres, The MANUS-HAND Dextrous Robotics Upper Limb Prosthesis: Mechanical And Manipulation Aspects, Autonomous Robots, 16, (2004), 143–163.
23. I. Yamano, K. Takemuraand, and T. Maeno, Development of a Robot Finger for Five-fingered Hand using Ultrasonic Motors, Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems, Ocak 2003, Bildirim Kitabı, 2648-2653.
24. Wolf, A., Steinmann, R., Schunk, and H., Grippers in Motion, 42, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Italy, 2005.
25. Tüz, M.A., Design and Construction of Multipurpose Robot gripper, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1994.
26. Zergeroğlu, E., Implementation And Control Of A Three Fingere Robot Hand METUHAND, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1996.
27. Dilibal Ş. ve Güner E., Üç Parmaklı Şekil Bellek Alaşım (Sma) Robot Elin Yapımı ve Uygulama Analizi, DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi,2, 1, (2000), 159-173.
28. Jafargholibeik N., Design and Optimization of a Three-Fingere Robot Hand, Yüksek Lisans Tezi, University of Ontario Institute of Technology, Fen Bilimleri Enstitüsü, Canada, 2011.
29. Balasubramanian R., and Dollar M. A., Performance of Seial Underactuated Mechanisms: Number of Degrees of Freedom and Actuators , International Conference on Intelligent Robots and Systems, Eylül 2011, 2153-0858, San Francisco, CA.
30. Beller S., Cam Silme Robotu ve Maket Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2012.
31. İnal, E. P., Robot ile mozaik dizme otomasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2006.
32. <http://arduinoturkiye.com/arduino-mega-2560-nedir>, 16 Nisan 2016.
33. Onaran E., Yılmaz E., Bakan Y., ve Vatansver F., Arduino Tabanlı Prototip Akıllı Ev Sistemi Tasarımı, Akademik Platform, 2014, Karabük, Bildiriler Kitabı, 233-236.
34. <http://www.robotistan.com/02-kuvvete-duyarli-dairesel-sensor-force-sensing-resistor-02-circ>, 18 Nisan 2016.
35. Küçük, S. ve Bingül, Z., Robot Sistemlerinde Kinematik Yöntemlerin Karşılaştırılması,, Politeknik Dergisi, 7,2 (2004) 107-117.

36. Hollerback J. M. and Gideon S. , Wrist-Partitioned inverse kinematic accelations and manipulator dynamics . Int. J. Rrobotics Res., (1983) 61-76.
37. Danışmaz M., İki Eklemlı Robot Kolunun Dinamik Analizinin Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 2008.
38. Alkan H., [http://www.elektrikport.com/makale-detay/sonlu-elemanlar metodu](http://www.elektrikport.com/makale-detay/sonlu-elemanlar-metodu), 15 Nisan 2016.
39. <http://www.3byazici.com/2012/05/3-boyutlu-yazicilar>, 20 Nisan 2016.



7. EKLER

Ek 1.

Mikro Servo Motor Ve Servo Adım Motorun Kontrolü ;

```
#include <Servo.h>
int Index;

Servo myservo1; // create servo object to control a servo
Servo myservo2;
Servo myservo3;
Servo myservo4;
Servo myservo5;
int sol = 1;
int sag = 2;
int pos1=0; // variable to store the servo position
int pos2=0;
int pos3=0;
int pos4=0;
int pos5=0;
void setup() {
    // attaches the servo on pin 9 to the servo object
    myservo1.attach(2);
    myservo2.attach(3);
    myservo3.attach(4);
    myservo4.attach(5);
    myservo5.attach(6);
    // servo ilk konumlar
    myservo1.write(100);
    myservo2.write(150);
    myservo3.write(10);
    myservo4.write(10);
```

```
myservo5.write(180);

pinMode(7, OUTPUT); //Enable
pinMode(8, OUTPUT); //Step
pinMode(9, OUTPUT); //Direction
digitalWrite(7,LOW);
delay(1000);
}
void loop() {
  delay(1000);
  servo3(0);//mi
  servo3(0);
  servo3(0);
  servo3(0);

  servo4(300);//fa
  servo3(300);//mi
  delay(400);

  servo3(0);//mi
  servo3(0);
  servo3(0);

  servo4(300);//fa
  servo3(300);//mi
  delay(300);
  //////////////////////////////////////
  servo2(150);//mi
  servo2(150);
  servo2(150);
  servo2(150);
  servo3(300);//fa
  servo2(450);//mi
  delay(400);
```

```
servo2(150);//mi  
servo2(150);  
servo2(150);  
  servo3(300);//fa  
servo2(450);//mi  
delay(300);
```

```
////////////////////////////////////
```

```
servo1(0);//mi  
servo1(0);  
servo1(0);  
servo1(0);
```

```
servo2(300);//fa  
servo1(300);//mi  
delay(400);
```

```
servo1(0);//mi  
servo1(0);  
servo1(0);
```

```
servo2(300);//fa  
servo1(300);//mi  
delay(300);
```

```
////////////////////////////////////
```

```
stepKontrol(3,sol);  
  servo3(0);//mi  
servo3(0);  
servo3(0);  
servo3(0);
```

```
servo4(300);//fa  
servo3(300);//mi
```

```
delay(400);
```

```
servo3(0);//mi
```

```
servo3(0);
```

```
servo3(0);
```

```
servo4(300);//fa
```

```
servo3(300);//mi
```

```
servo2(800);
```

```
delay(300);
```

```
stepKontrol(3,sag);
```

```
/*servo1();
```

```
servo2();
```

```
servo3();
```

```
servo4();
```

```
delay(100);
```

```
stepKontrol(4,sag);
```

```
servo1();
```

```
servo2();
```

```
servo3();
```

```
servo4();
```

```
delay(500);
```

```
servo4();
```

```
servo3();
```

```
servo2();
```

```
servo1();
```

```
stepKontrol(4,sol);
```

```
servo4();
```

```
servo3();
```

```
servo2();
```

```
servo1();
```

```
delay(10);
```

```

servo3();
servo2();
servo1();
stepKontrol(3,sol);
servo3();
servo2();
servo1();
stepKontrol(1,sol);*/
}
void stepKontrol(int adim,int yon)
{
  if(yon == sag)
  {
    digitalWrite(9,HIGH);
    for(int i = 0; i < adim; i++)
    {
      for(Index = 0; Index < 103; Index++)
      {
        digitalWrite(8,HIGH);
        delayMicroseconds(700);
        digitalWrite(8,LOW);
        delayMicroseconds(700);
      }
    }
  }

  if(yon == sol)
  {
    digitalWrite(9,LOW);
    for(int i = 0; i < adim; i++)
    {
      for(Index = 0; Index < 103; Index++)
      {
        digitalWrite(8,HIGH);

```

```
    delayMicroseconds(400);
    digitalWrite(8,LOW);
    delayMicroseconds(400);
  }
}
}
}
void servo1(int bekle){

    for (pos1 = 115; pos1 >= 10; pos1 -= 1) { // goes from 180 degrees to 0 degrees
aşğaııııııııııı
        myservo1.write(pos1);          // tell servo to go to position in variable 'pos'
        delay(3);                       // waits 15ms for the servo to reach the position
    }

    delay(bekle);
    for (pos1 = 10; pos1 <= 115; pos1 += 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees
yukaıııııııııııııııı
        // in steps of 1 degree
        myservo1.write(pos1);          // tell servo to go to position in variable 'pos'
        // delay(3);                   // waits 15ms for the servo to reach the position
    }

}

void servo2(int bekle){

    for (pos2 = 120; pos2 >= 50; pos2 -= 1) { // goes from 180 degrees to 0 degrees
        myservo2.write(pos2);          // tell servo to go to position in variable 'pos'
        delay(3);                       // waits 15ms for the servo to reach the position
    }

}

delay(bekle);
    for (pos2 =50; pos2 <= 120; pos2 += 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees
```

```

// in steps of 1 degree
myservo2.write(pos2);      // tell servo to go to position in variable 'pos'
// delay(5);              // waits 15ms for the servo to reach the position
}
}

```

```

void servo3(int bekle){

    for (pos3 = 60; pos3 <= 170; pos3 += 1) { // goes from 180 degrees to 0
degrees
myservo3.write(pos3);      // tell servo to go to position in variable 'pos'
delay(3);                  // waits 15ms for the servo to reach the position
}
delay(bekle);
    for (pos3 = 170; pos3 >= 60; pos3 -= 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees
// in steps of 1 degree
myservo3.write(pos3);      // tell servo to go to position in variable 'pos'
// delay(5);              // waits 15ms for the servo to reach the position
}

}
}

```

```

void servo4(int bekle){

    for (pos3 = 20; pos3 <= 105; pos3 += 1) { // goes from 180 degrees to 0
degrees
myservo4.write(pos3);      // tell servo to go to position in variable 'pos'
delay(3);                  // waits 15ms for the servo to reach the position
}
delay(bekle);
    for (pos3 = 105; pos3 >=20; pos3 -= 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees
// in steps of 1 degree
myservo4.write(pos3);      // tell servo to go to position in variable 'pos'

```



```

    // delay(5);           // waits 15ms for the servo to reach the position
}

}

/*
void servo4(){

    for (pos4 = 100; pos4 >= 0; pos4 -= 1) { // goes from 180 degrees to 0 degrees
        myservo4.write(pos4);           // tell servo to go to position in variable 'pos'
        delay(15);                       // waits 15ms for the servo to reach the position
    }
    for (pos4 = 0; pos4 <= 100; pos4 += 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees
        // in steps of 1 degree
        myservo4.write(pos4);           // tell servo to go to position in variable 'pos'
        delay(15);                       // waits 15ms for the servo to reach the position
    }
}

void servo5(){

    for (pos5 = 180; pos5 >= 0; pos5 -= 1) { // goes from 180 degrees to 0 degrees
        myservo5.write(pos5);           // tell servo to go to position in variable 'pos'
        delay(15);                       // waits 15ms for the servo to reach the position
    }
    for (pos5 = 0; pos5 <= 180; pos5 += 1) { // goes from 0 degrees to 180 degrees
        // in steps of 1 degree
        myservo5.write(pos5);           // tell servo to go to position in variable 'pos'
        delay(15);                       // waits 15ms for the servo to reach the position
    }
}

}*/

```

Ek 2.**Kuvvet Basınç Sensör Ölçüm Arduino kod;**

```
/* FSR testing sketch.
```

Connect one end of FSR to power, the other end to Analog 0.

Then connect one end of a 10K resistor from Analog 0 to ground

For more information see www.ladyada.net/learn/sensors/fsr.html */

```
int fsrPin = 0; // the FSR and 10K pulldown are connected to a0
int fsrReading; // the analog reading from the FSR resistor divider
double fsrVoltage; // the analog reading converted to voltage
unsigned long fsrResistance; // The voltage converted to resistance, can be very big so
make "long"
unsigned long fsrConductance;
double fsrForce; // Finally, the resistance converted to force

void setup(void) {
  Serial.begin(9600); // We'll send debugging information via the Serial monitor
}

void loop(void) {
  fsrReading = analogRead(fsrPin);
  Serial.print("Okunan Analog Deger = ");
  Serial.println(fsrReading);

  // analog voltage reading ranges from about 0 to 1023 which maps to 0V to 5V (=
  5000mV)
  fsrVoltage = map(fsrReading, 0, 1023, 0, 5000);
  Serial.print("Okunan mV Degeri = ");
  Serial.println(fsrVoltage);
```

```

if (fsrVoltage == 0) {
  Serial.println("Basinc Yok");
} else {
  // The voltage = Vcc * R / (R + FSR) where R = 10K and Vcc = 5V
  // so FSR = ((Vcc - V) * R) / V    yay math!
  fsrResistance = 5000 - fsrVoltage; // fsrVoltage is in millivolts so 5V = 5000mV
  fsrResistance *= 10000;           // 10K resistor
  fsrResistance /= fsrVoltage;
  Serial.print("Basinc Sensorunun Direnci = ");
  Serial.println(fsrResistance);

  fsrConductance = 1000000; // we measure in micromhos so
  fsrConductance /= fsrResistance;
  Serial.print("İletkenlik : ");
  Serial.println(fsrConductance);

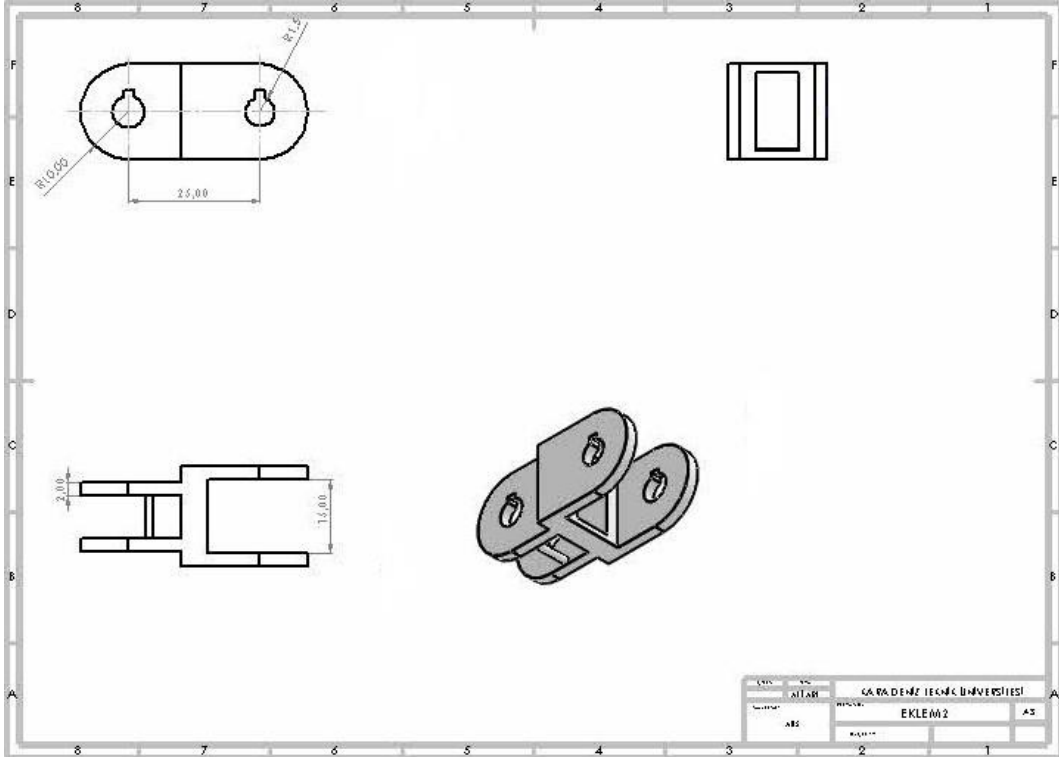
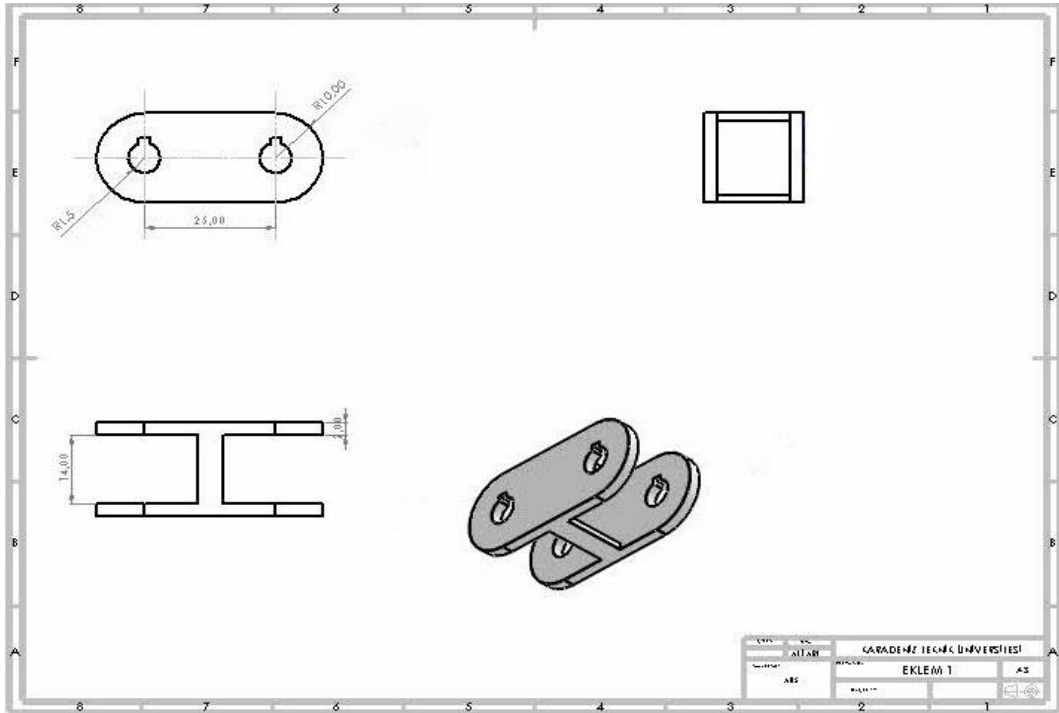
  // Use the two FSR guide graphs to approximate the force
  if (fsrConductance <= 1000) {
    fsrForce = fsrConductance / 8;
    Serial.print("Basinc (Newton): ");
    Serial.println(fsrForce/10);
  } else {
    fsrForce = fsrConductance - 1000;
    fsrForce /= 3;

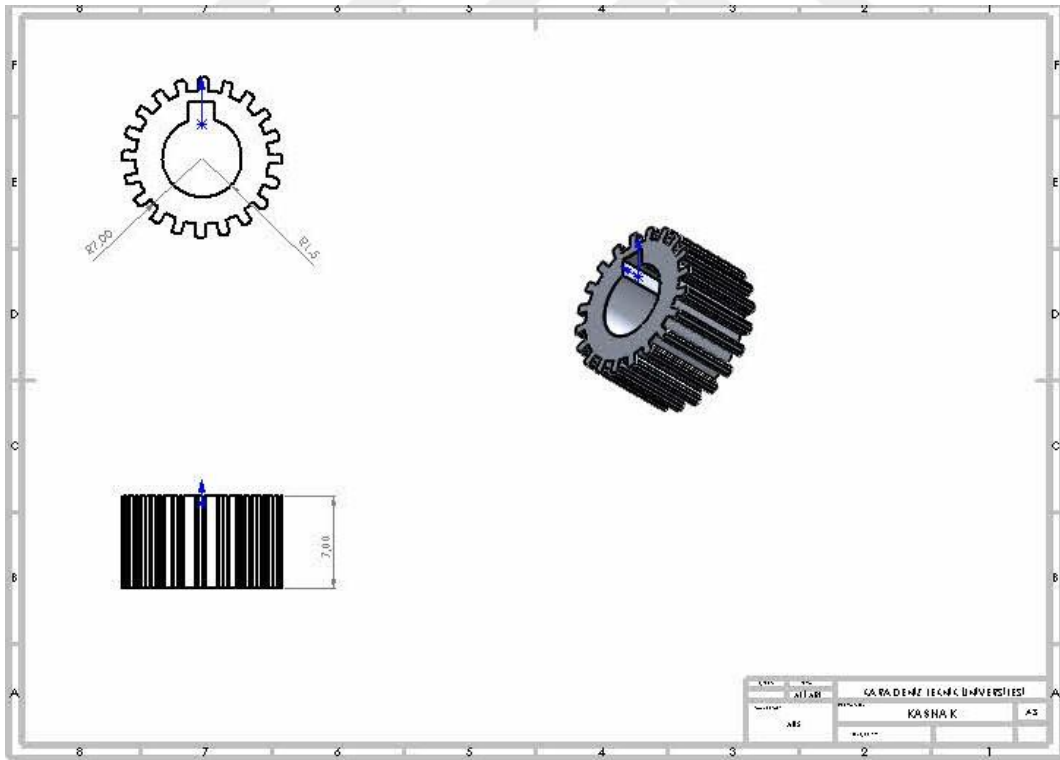
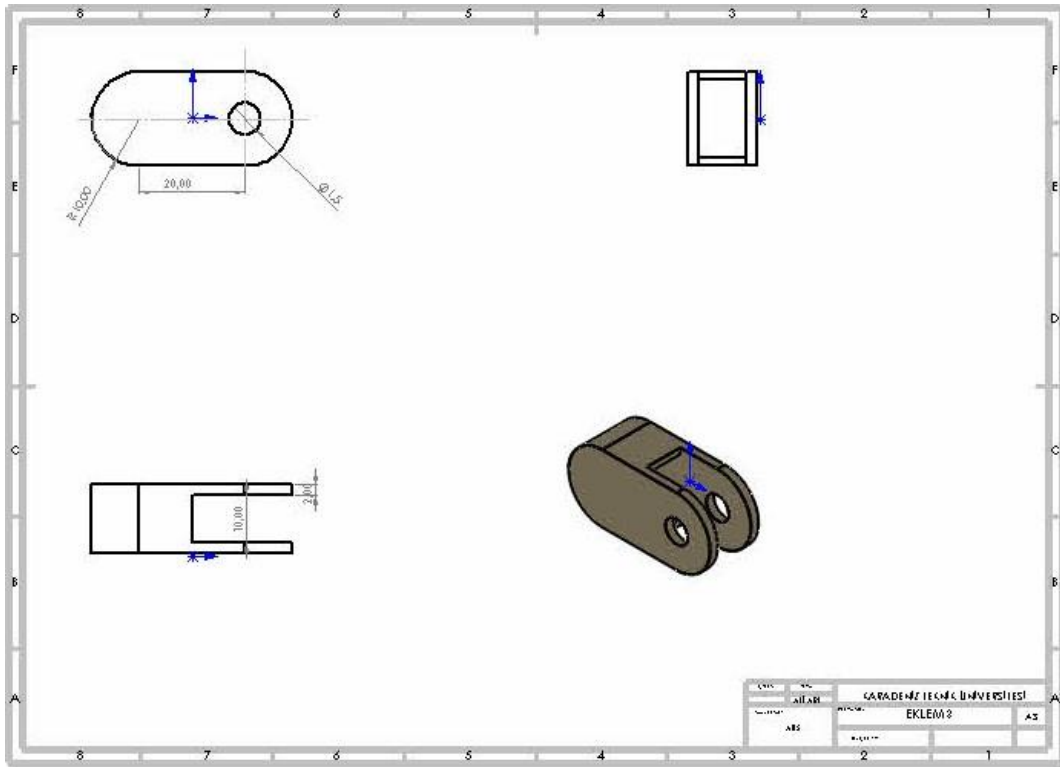
    Serial.print("Basinc (Newton): ");
    Serial.println(fsrForce/10);
  }
}
Serial.println("-----");
delay(1000);
}

```

Ek 3.

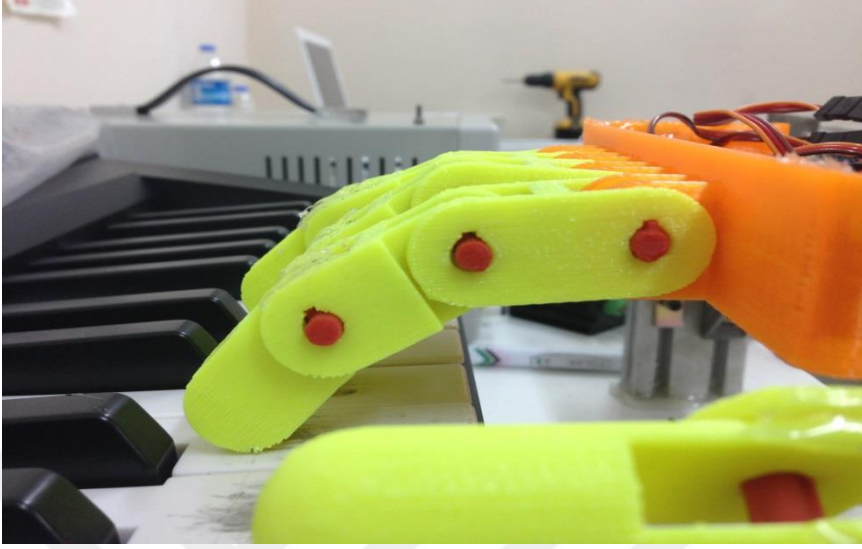
KTÜ El Solidwork çizimleri



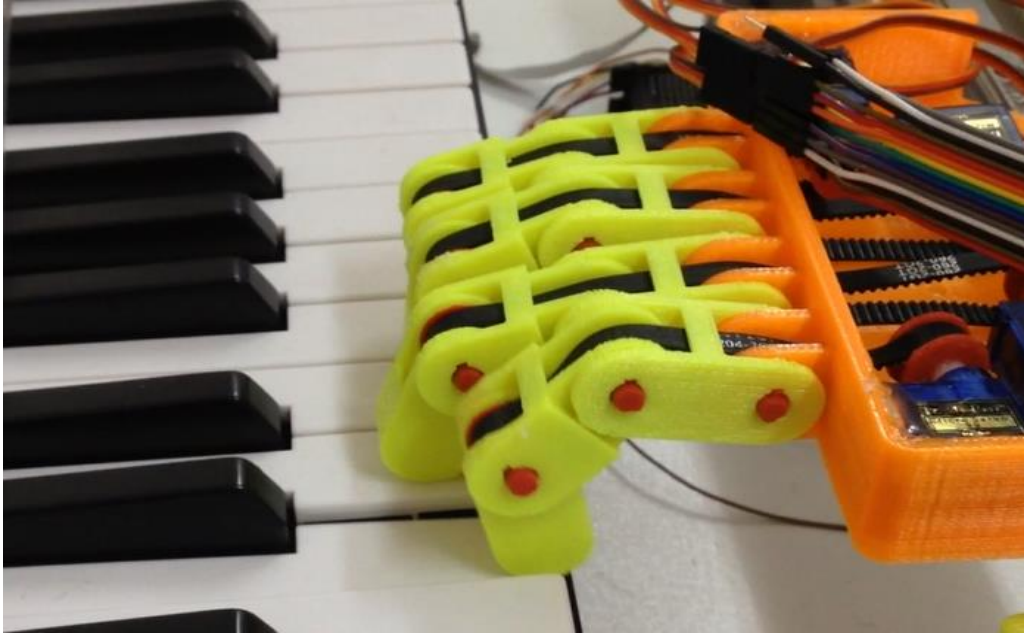


Ek 4.

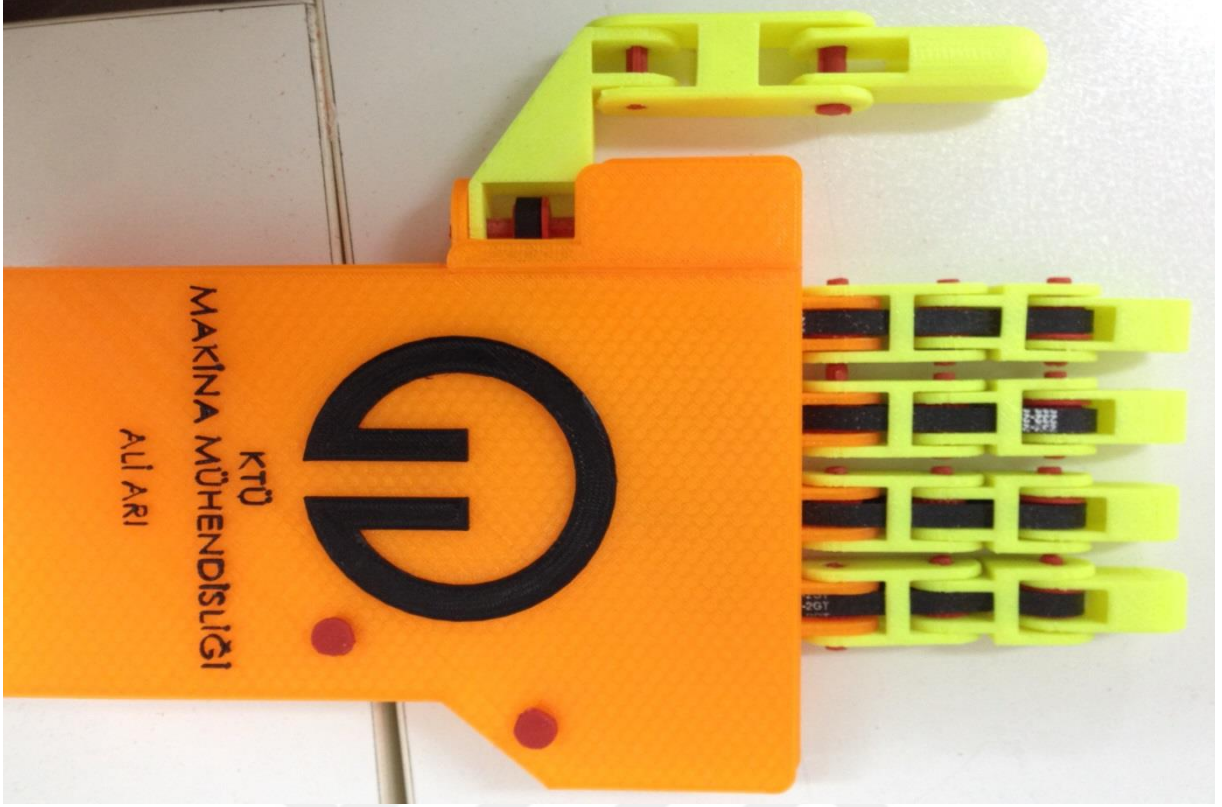
KTÜ El Resimleri



Ek Şekil 1. KTÜ Parmak Ve Piyano



Ek Şekil 2. KTÜ Parmak Piyanoya Basma Pozisyonu



Ek Şekil 3. KTÜ El



Ek Şekil 4. KTÜ El 3D Yazıcıda İmal Edilen Parçalar

Ek 5.

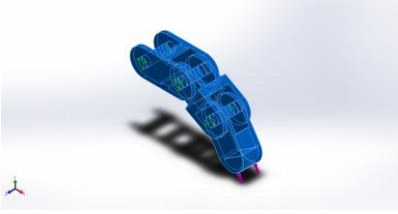
Ek Tablo 1. Model Bilgisi

Belge Adı ve Referansı	Şöyle Davran	Hacimsel Özellikler
Yükseklik-Ekstrüzyon1 	Katı Gövde	Kütle:0.000576796 kg Hacim:5.65487e-007 m³ Yoğunluk:1020 kg/m³ Ağırlık:0.0056526 N
Yükseklik-Ekstrüzyon1 	Katı Gövde	Kütle:0.000576796 kg Hacim:5.65487e-007 m³ Yoğunluk:1020 kg/m³ Ağırlık:0.0056526 N
Yükseklik-Ekstrüzyon1 	Katı Gövde	Kütle:0.000576796 kg Hacim:5.65487e-007 m³ Yoğunluk:1020 kg/m³ Ağırlık:0.0056526 N
Kes-Ekstrüzyon8 	Katı Gövde	Kütle:0.00351873 kg Hacim:3.44974e-006 m³ Yoğunluk:1020 kg/m³ Ağırlık:0.0344836 N
Kes-Ekstrüzyon16 	Katı Gövde	Kütle:0.00397767 kg Hacim:3.89968e-006 m³ Yoğunluk:1020 kg/m³ Ağırlık:0.0389812 N
Yükseklik-Ekstrüzyon5 	Katı Gövde	Kütle:0.00287485 kg Hacim:2.81848e-006 m³ Yoğunluk:1020 kg/m³ Ağırlık:0.0281735 N

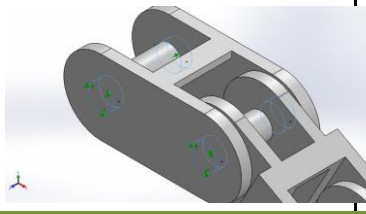
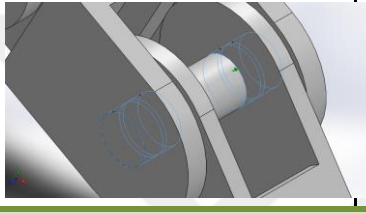
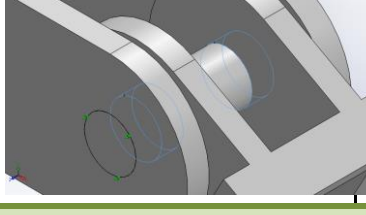
Ek Tablo 2. Etüt Özellikleri

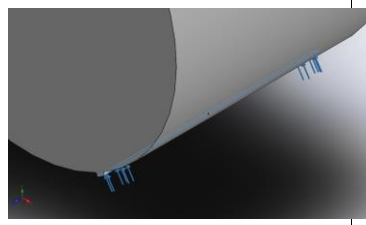
Etüt adı	KTÜ Paramk
Analiz tipi	Static
Mesh tipi	Katı Mesh
Termal Etki:	Açık
Termal seçenek	Sıcaklık yüklerini ekle
Sıfır gerilim sıcaklığı	298 Kelvin
Çözümleyici tipi	FFEPlus
Düzlemde Etkisi:	Kapalı
Yumuşak Yay:	Kapalı
Atalet Kabartması:	Kapalı
Uyumsuz bağlama seçenekleri	Otomatik
Büyük yer değiştirme	Açık
Serbest gövde kuvvetlerini hesapla	Açık
Sürtünme	Kapalı
Uyumlu Yöntemi Kullan:	Kapalı

Ek Tablo 3. Malzeme Özellikleri

Model Referansı	Özellikler
	<p>Ad: ABS</p> <p>Model tipi: İzotropik Doğrusal Elastik Analizi</p> <p>Varsayılan hata kriteri: Bilinmeyen</p> <p>Gerilme mukavemeti: 3e+007 N/m²</p> <p>Elastik modül: 2e+009 N/m²</p> <p>Poisson oranı: 0.394</p> <p>Kütle yoğunluğu: 1020 kg/m³</p> <p>Yırtılma modülü: 3.189e+008 N/m²</p>

Ek Tablo 4. Yükle ve Fikstürler

Fikstür adı	Fikstür Resmi	Fikstür Detayları		
Ankaste Menteş e-1		Objeler: 4 yüzler Tip: Ankastre Menteşe		
Sonuç Kuvvetleri				
Bileşenler	X	Y	Z	Sonuç
Tepki kuvveti(N)	-0.000721575	-0.00144319	4.26795e-005	0.00161409
Tepki Momenti(N.m)	0	0	0	0
Ankaste Menteş e-2		Objeler: 4 yüzler Tip: Ankastre Menteşe		
Sonuç Kuvvetleri				
Bileşenler	X	Y	Z	Sonuç
Tepki kuvveti(N)	0.559771	-0.810111	2.8925e-005	0.984695
Tepki Momenti(N.m)	0	0	0	0
Ankaste Menteş e-3		Objeler: 2 yüzler Tip: Ankastre Menteşe		
Sonuç Kuvvetleri				
Bileşenler	X	Y	Z	Sonuç
Tepki kuvveti(N)	-0.0106073	-0.0246338	-7.16048e-005	0.0268206
Tepki Momenti(N.m)	0	0	0	0

Yük adı	Resim Yükle	Yük Detayları
Kuvvet-1		Objeler: 1 yüzler Tip: Normal kuvvet uygula Değer: 1 N

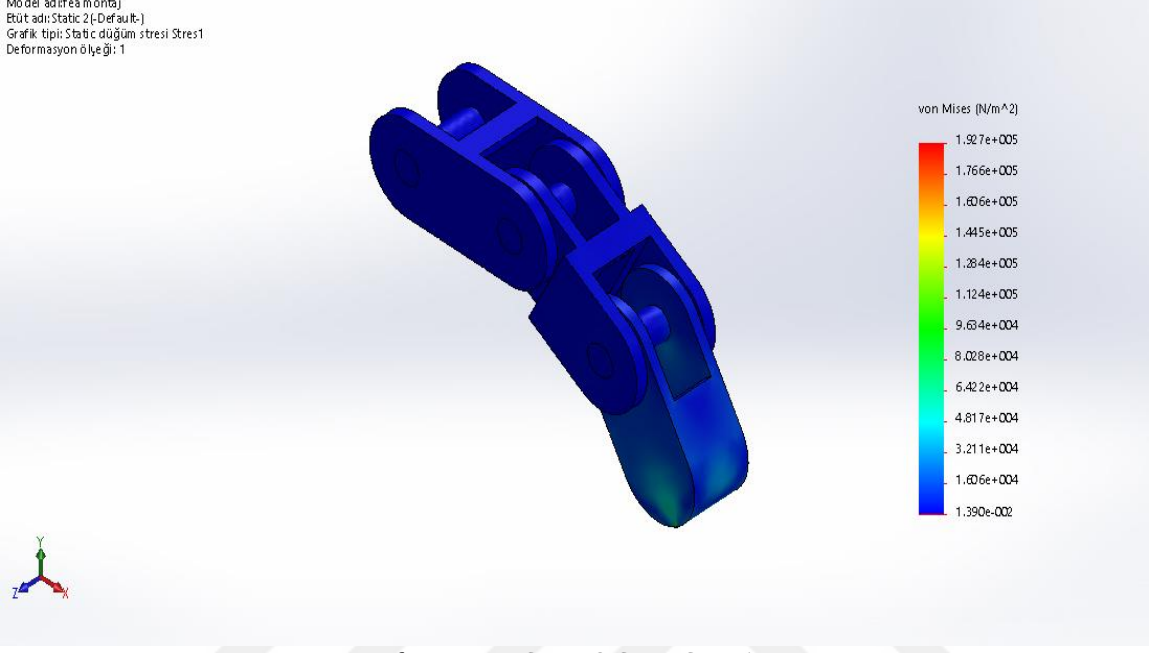
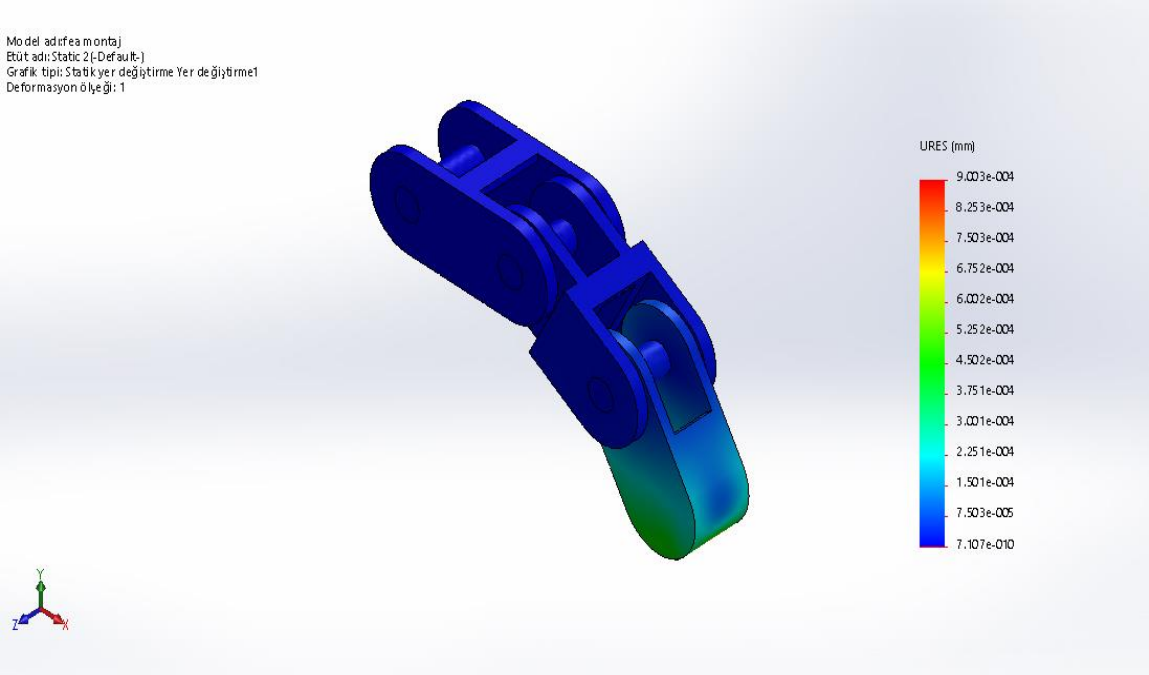
Ek Tablo 5. Mesh Bilgileri

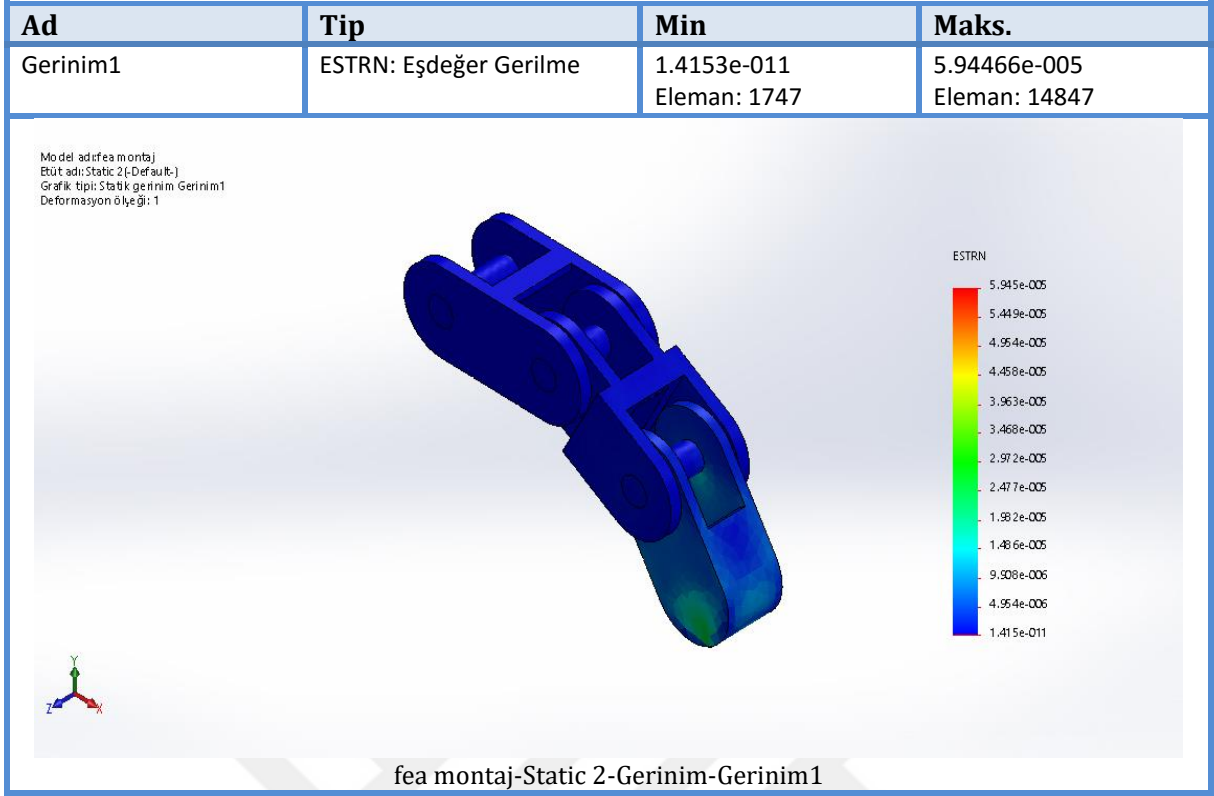
Mesh tipi	Katı Mesh
Kullanılan Meshleyici:	Eğrilik tabanlı mesh
Jakoben noktalar	4 Noktalar
Maksimum eleman boyutu	2.02495 mm
Minimum eleman boyutu	2.02495 mm
Mesh Kalitesi	Yüksek

Toplam Düğüm	29300
Toplam Elemanlar	16351
Maksimum En Boy Oranı	49.441
En-Boy oranı < 3 olan elemanların % oranı	98.1
En-Boy oranı > 10 olan elemanların % oranı	0.41



Ek Tablo 6. Etüt Sonuçları

Ad	Tip	Min	Maks.
Stres1	VON: von Mises Stresi	0.0139003 N/m ² Düğüm: 2755	192673 N/m ² Düğüm: 26608
<p>Model adı: fea montaj Etüt adı: Static 2 (-Default-) Grafik tipi: Statik düğüm stresi Stres1 Deformasyon ölçeği: 1</p>  <p style="text-align: center;">fea montaj-Static 2-Stres-Stres1</p>			
Ad	Tip	Min	Maks.
Yer değiştirme1	URES: Sonuç Yer Değiştirmesi	7.1074e-010 mm Düğüm: 3259	0.000900302 mm Düğüm: 22396
<p>Model adı: fea montaj Etüt adı: Static 2 (-Default-) Grafik tipi: Statik yer değiştirme Yer değiştirme1 Deformasyon ölçeği: 1</p>  <p style="text-align: center;">fea montaj-Static 2-Yer değiştirme-Yer değiştirme1</p>			



Ek 6.

Ek Tablo 7. Maliyet Tablosu

	Parça Adı	Miktar	Birim Fiyat[TL]	Maliyet[TL]
1	3D yazıcı robot el imalatı	1 adet	300	300
2	Triger Kayışı	5 adet	20	100
3	Micro servo motor (SG90)	5 adet	20	100
4	Arduino Mega	1 adet	60	60
5	0.2" Kuvvet Basınç Sensör	1 adet	30	30
6	Step Motor	1 adet	150	150
7	Step Motor Sürücü	1 adet	75	75
8	Lineer ray	1 adet	200	200
9	Lineer rulman	1 adet	150	150
10	Rulmanlı yataklar	2 adet	50	100
11	Sigma Profil 60 x 60	2 metre	80	160
			Toplam Maliyet:	1425 TL

7. ÖZGEÇMİŞ

Ali ARI 1988’de Mersin’de doğdu. İlk Öğrenimini Canaydın İlköğretim Okulunda, orta öğrenimini ise Turhan Tayan Anadolu Lisesin de tamamladı. 2007’de başlamış olduğu Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü’nden 2012’de mezun oldu. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı, yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

