

**YÜRÜME ENGELLİLER İÇİN DESTEKLEYİCİ
BİR CİHAZIN TASARIMI VE İMALATI**

Mohammad RAFIGHI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2013

ANKARA

**YÜRÜME ENGELLİLER İÇİN DESTEKLEYİCİ
BİR CİHAZIN TASARIMI VE İMALATI**

Mohammad RAFIGHI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA EĞİTİMİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2013

ANKARA

Mohammad RAFIGHI tarafından hazırlanan “YÜRÜME ENGELLİLER İÇİN DESTEKLEYİCİ BİR CİHAZIN TASARIMI VE İMALATI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

.....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

.....

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

.....

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Ali SAYGIN

.....

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tez Savunma Tarihi: 24/12/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mohammad RAFIGHI

**YÜRÜME ENGELLİLER İÇİN DESTEKLEYİCİ
BİR CİHAZIN TASARIMI VE İMALATI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mohammad RAFIGHI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Aralık 2013

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, yürüme engelliler için destekleyici bir cihazın tasarımı ve üretimidir. Dünyada birçok insan felç ya da başka hastalıklardan dolayı yürüme engellidir. Yürüme engelliler için dünyada birçok destekleyici cihaz üretilmiştir ve her bir cihaz birbirinden farklıdır. Cihazlar içerisinde en yaygın olarak tekerlekli sandalyeler kullanılmaktadır. Bu projenin diğer projelerden en önemli farkı tekerleksiz olmasıdır. Bu nedenle bu cihaz engelliler için daha yararlı olacaktır. Projenin yapım aşamasında yürüme engelli bir vatandaşın yararlanıp ve onun hareket sırasında hangi tür sorunlarla karşılaştığı belirlenmiş ve çalışma ona göre şekillendirilmiştir. Cihazın en önemli kısmı bir insanın yürümesini simüle yapan kısmıdır. Örneğin: Kalça, bacak, diz, topuk gibi kısımların hareketleri simüle edilmiştir. Bu cihaz bel kısmından engelliye bağlanmış ve insanın yere tutunmasını sağlayan iskelet görevini görmüştür. Cihaz yürüme engellinin ayaklarına paralel olarak dış taraftan kemerler yardımıyla bağlanmıştır. Yani dizle bel arası bir kısım, dizden topuğa kadar olan mesafe diğer bir kısım olmuştur. Sistemi oluşturan parçalar mafsallar yardımıyla birbirine bağlanmıştır. Bu mekanizmayı yürütmek için mafsallar arası motorlar kullanılmış ve sensör ile mekanizmayı dengede tutmak için PLC yazılımı ile özel programlar hazırlanmıştır. Bu parçalar birbiriyle montaj edildikten sonra motorlar ve sensörler bir PLC panosu yardımıyla yönetilerek sistem robot haline dönüştürülmüştür. Bu robot yürüme engelli bir kişiye bağlı

olarak, onun dengede durmasına, adım atmasına, istediği zaman durmasına ve sandalye üzerine oturup kalkmasına destek olmaktadır. Tez kapsamında cihaz imal edilmiş ve bir engelli üzerinde denenmiş ve başarı elde edilmiştir.

Bilim Kodu	: 708. 3.029
Anahtar Kelimeler	: Robot, Yürüme Engelli, Tasarım, İmalat, CAD, DC motor, PLC.
Sayfa Adedi	: 103
Tez Yöneticisi	: Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

**THE DESIGN AND MANUFACTURING A SUPPORTIVE
DEVICE TO WALKING OF DISABLED PEOPLE**

(M.Sc. Thesis)

Mohammad RAFIGHI

**GAZI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE**

December 2013

ABSTRACT

Our goal in this project is design and manufacturing a supportive device for disabled people that are not either completely or partially able to walk. Studying projects over the world that has been conducted for these groups of people we concluded that all the project in this category although are different in form and design but majority benefit from wheels to move disabled people like wheelchair. The system's wheel-Lessing is the main difference between this project and others that makes this device much more beneficially for disables. We started by observing and studying a disabled person and his disabilities in motion and being inspired by this person our very first ideas emerged. The device that will be presented is a simulator of a human body motion in lower limb like leg, knee, hip, thigh and ankle. The primary idea is that supportive device will be installed to person's waist and moving gesture mechanisms consisting leg and joints that will be fastened parallel to his legs. For this mechanism; PLC motors and corresponding programming to simulate; motion mechanism are needed. After assembling parts and motors this mechanism will be like a robot. This robot will move and walk simultaneously to the movement of disabled person. This robot will be fastened on disabled person and will support him to balance oneself, walking, waiting, and sit or standing on a chair.

Science code : 708. 3.028
Key words : Robot, Disabled People, Design, Manufacturing, CAD,
DC motor, PLC
Page number : 103
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

TEŞEKKÜR

Çalışma sırasında bilimsel katkılarıyla bana yardımcı olan, eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen ve her zaman yanımda bulunan ve beni motive eden değerli hocam Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ' ye ve yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Yrd. Doç. Dr. Ali SAYGIN' a teşekkürü bir borç biliyorum.

Hiçbir zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve beni yalnız bırakmayan çok değerli aileme, özellikle hayırlı dualarını üzerimden eksik etmeyen canım anneme ve her zaman beni destekleyen ve her konuda bana yardımcı olan babama teşekkür ederim. Her zaman bana moral veren Elham ve Robab ablalarım canı gönülden teşekkür ediyorum. Beni destekleyen arkadaşlarıma özellikle Minoo ve Nader' e teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca çalışmaya maddi olarak destek sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER ve KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	5
2.1. İki Ayaklı Robotlar.....	6
2.2. Yürüme Engelliler ve Yaşlılar.....	17
2.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi	24
3. TASARIM ve MONTAJ.....	26
3.1. Tasarımın Kuramsal Temeli.....	26
3.1.1. Üretim yöntemi tasarım kuralları	26
3.1.2. Bilimsel tasarım metodu	27
3.1.3. Bilgisayar destekli tasarım	27
3.1.4. Üretime uygun tasarım.....	28
3.2. Montaj Teknolojisine Genel Bakış.....	28
3.2.1. Demontaj ve geri dönüşüme uygun tasarım.....	29
3.2.2. Montaja uygun tasarım.....	29
3.3. Mekanizmanın Tasarımı.....	30

	Sayfa
3.3.1. Tasarım kriterleri.....	32
3.3.2. Tasarım metodolojisi.....	32
3.4. SolidWorks ile Tasarım.....	33
3.4.1. Bel	33
3.4.2. Kalça	34
3.4.3. Bel bağlayıcı.....	35
3.4.4. Baldır.....	37
3.4.5. Diz bağlayıcı	38
3.4.6. Bağlantı elemanları	40
3.5. SolidWorks ile Montaj	44
4. SİMÜLASYON ve ANALİZ.....	47
4.1. Simülasyona Giriş	47
4.2. Statik Analizin Aşamaları	47
4.3. Parçaların Simülasyon Analizleri	48
4.3.1. Bel	48
4.3.2. Kalça	53
4.3.3. Baldır.....	55
5. PARÇALARIN CNC ile İMALATI.....	56
5.1. CNC' ye Giriş.....	56
5.2. CNC Kodları.....	57
5.2.1. Programlama	57
5.3. Parçaların İmalatı	60
5.3.1. İmalat ve montaj aşamalarının görsel hali	63
6. YÜRÜYÜŞ YÖRÜNGELERİ ve KONTROL	71
6.1. İnsan Hareketi Benzetimi	71

	Sayfa
6.1.1. Kalça yörüngeleri	71
6.1.2. Yürüyüş yörüngelerinin tasarımı.....	72
6.1.3. Mekanizmanın yürüme desenleri	73
6.1.4. Hareket için kısıtlamalar	74
6.2. Kontrol.....	75
6.2.1. Kontrolün genel şeması.....	75
6.3. Mekanizmada kullanılan kontrol cihazları	75
6.3.1. Redüktörlü DC motor.....	75
6.3.2. Motor sürücüler.....	76
6.3.3. Batarya grupları.....	76
6.3.4. Kontrolör	77
6.3.5. Sensör	77
6.4. Donanım Tasarımı	77
6.4.1. Mikroişlemciler	78
6.4.2. İletişim devreleri	79
6.4.3. Yazılım tasarımı	79
6.4.4. İletişim programı	79
6.5. Kontrol Modülleri.....	79
6.5.1. Başlatma modülü.....	79
6.5.2. Sayaç modülü	80
6.5.3. Veri işleme modülü	80
6.5.4. İletişim ve PWM modülü	80
6.6. Kontrol Programı.....	80
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	85

	Sayfa
EKLER.....	89
EK-1. CNC tezgâhı içinde harfler, semboller ve kodlar	90
Ek-2. Simülasyon analiz sonuçları	93
EK-3. Parçaların teknik (CAD) çizimleri.....	97
ÖZGEÇMİŞ	103

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. HRP robotlarının teknik bilgileri	11
Çizelge 3.1. Bel parçasının ölçüleri	33
Çizelge 3.2. Kalça parçasının ölçüleri.....	34
Çizelge 3.3. Bel bağlayıcı parçasının ölçüleri.....	36
Çizelge 3.4. Baldır parçasının ölçüleri.....	37
Çizelge 3.5. Diz bağlayıcı parçasının ölçüleri	39
Çizelge 3.6. Kalça bağlantı elemanı ölçüleri	40
Çizelge 3.7. Baldır-1 bağlantısı ölçüleri	41
Çizelge 3.8. Baldır-2 bağlantısı ölçüleri	42
Çizelge 4.1. Bel parçası özellikleri	48
Çizelge 4.2. (6061) Alüminyum malzemesinin özellikleri	49
Çizelge 4.3. Bele uygulanan kuvvetler	49
Çizelge 4.4. Örgü özellikleri	50
Çizelge 4.5. Gerilim analizi	51
Çizelge 4.6. Yer değiştirme analizi	52
Çizelge 4.7. Emniyet faktörü	53
Çizelge 4.8. Kalça parçası özellikleri.....	54
Çizelge 4.9. Baldır parçası özellikleri.....	55
Çizelge 5.1. Kalça ve baldırda kullanılan CNC kodları.....	58
Çizelge 5.2. Bağlayıcılarda kullanılan CNC kodları.....	58
Çizelge 5.3. Belde kullanılan CNC kodları.....	59
Çizelge 6.1. Robotun parametreleri	74

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Oturma yardımcı cihazı.....	18
Şekil 2.2. Klozette oturma cihazı	19
Şekil 2.3. Hasta kaldırma cihazı.....	20
Şekil 3.1. Mekanizmanın genel şeması	31
Şekil 5.1. CNC kodlarının okuma şekli	59
Şekil 5.2. Alt program çağırma	60
Şekil 6.1. Kalça yörüngeleri.....	72
Şekil 6.2. Donanım tasarımı.....	78
Şekil 6.3. Mikroişlemciler.....	78
Şekil 6.4. Kontrol programı akış şeması	82

RESİMLERİN LİSTESİ

	Sayfa
Resim 2.1. Honda'nın yürüme destek cihazı	6
Resim 2.2. WABIAN-2R insansı robot	8
Resim 2.3. Honda ASIMO	10
Resim 2.4. HRP robotları	11
Resim 2.5. BHR-1 robotu	13
Resim 2.6. KHR-3 robotu	14
Resim 2.7. Walk-Mate cihazı.....	21
Resim 2.8. Re-Walk cihazı.....	23
Resim 3.1. Bel parçasının 3 boyutlu görünüşü	34
Resim 3.2. Kalça parçasının 3 boyutlu görünüşü.....	35
Resim 3.3. Tek taraflı bel bağlayıcı parçasının 3 boyutlu görünüşü.....	36
Resim 3.4. Çift taraflı bel bağlayıcı parçasının 3 boyutlu görünüşü.....	37
Resim 3.5. Baldır parçasının 3 boyutlu görünüşü	38
Resim 3.6. Tek taraflı diz bağlayıcı parçasının 3 boyutlu görünüşü.....	39
Resim 3.7. Çift taraflı bel bağlayıcı parçasının 3 boyutlu görünüşü.....	40
Resim 3.8. Kalça bağlantı elemanı.....	41
Resim 3.9. Baldır-1 bağlantı elemanı.....	42
Resim 3.10. Baldır-2 bağlantı elemanı.....	43
Resim 3.11. Sanal ayakkabı	43
Resim 3.12. İki ayaklı mekanizmanın 3 boyutlu görünüşü.....	45
Resim 3.13. İki ayaklı mekanizmanın yan taraftan görünüşü	46
Resim 3.14. İki ayaklı mekanizmanın arka taraftan görünüşü	46

Sayfa

Resim 5.1. CNC tezgâhı.....	61
Resim 5.2. Montajda kullanılan pres makinesi	62
Resim 5.3. Parçaların işlenmemiş hali	63
Resim 5.4. Parçaların testere ile kesilmeleri	63
Resim 5.5. Noktalama cihazı	64
Resim 5.6. CNC masası üstünde mengene.....	65
Resim 5.7. CNC ile parçaların yüzeylerin temizleme.....	65
Resim 5.8. Cep açma işlemi.....	66
Resim 5.9. Kesicinin kavis işlemi.....	66
Resim 5.10. Küçük cep açma işlemi	67
Resim 5.11. Eğeleme işlemi.....	67
Resim 5.12. Matkap ile delik delme işlemi.....	68
Resim 5.13. Rulmanlar ve bağlantı elemanları	68
Resim 5.14. Kılavuzla vida açma işlemi.....	69
Resim 5.15. Mekanizmanın montajlanmış hali.....	69
Resim 5.16. İki ayaklı cihazın motorlar takılmadan önce montajı	70
Resim 6.1. Redüktörlü DC motor	75
Resim 6.2. Motor Sürücüsü.....	76

SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada, kullanılmış bazı kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
BDM	Bilgisayar Destekli Mühendislik
BDT	Bilgisayar Destekli Tasarım
BDÜ	Bilgisayar Destekli Üretim
BTM	Bilimsel Tasarım Metodu
CNC	Computer Numerical Control
CPU	Central Process Unit
DOF	Degree Of Freedom
FOS	Factor of Safety
MUT	Montaja Uygun Tasarım
NC	Numerical Control
PID	Proportional Integral Derivative
PLC	Programmable Logic Controller
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Access Memory
ROM	Read Only Memory
SMN	Sıfır Moment Noktası
ÜÜT	Üretime Uygun Tasarım

1. GİRİŞ

Bu çalışmada yürüme engelliler için ve 4 serbestlik dereceli destekleyici iki ayaklı robot inşa edilmiştir. Bu robotta diz eklemi ve her kalça-bacak eklemi için 1 serbestlik derecesi vardır. İki ayaklı robot prototipi SolidWorks programı kullanılarak tasarlanmıştır. Tüm eklemler DC motorlar tarafından tahrik edilmektedir. Potansiyometre pozisyon geri beslemek için ve iki geliştirmiş kart iki ayaklı robotu kontrol etmek için kullanılmıştır. Elektrik devre kartları tasarlanmış ve iki ayaklı robot için monte edilmiştir. Denetleyicileri her bir eklem için uygulanmıştır.

Robotların yardımıyla daha rahat bir dünyada yaşadığımıza hiç şüphe yok. Yapması tehlikeli ya da güç işler için kullandığımız bu mekanik yardımcılar, sağlık alanında da büyük rol üstleniyor. Doğru malzeme seçimi ve kullanımı bir imalat sürecinde dikkat edilmesi en önemli hususların başında gelir. Yanlış malzeme kullanımı, imalat sürecini olumsuz etkileyebileceği gibi; maliyetlerin artmasına, nihai ürün kullanım ömrünün azalmasına ve kullanım giderlerinde artışa neden olabilir.

Doğru malzeme seçiminde nihai ürünün kullanım şartlarının çok iyi tanımlanması, malzemenin imalat özelliklerinin iyi değerlendirilmesi lazımdır. Duraluminler çok değişik kalitelere üretilen malzemelerdir. Bu nedenle malzeme seçiminde sadece mekanik ve kimyasal değerler göz önünde bulundurulmaktadır. Bunun yanında malzemenin boyutları ve yüzey özellikleri gibi unsurlar da dikkate alınmalıdır. Temin fiyatı ucuz olduğu için tercih edilen bir malzeme ileriki kullanımda ciddi boyutta olumsuz sonuçlar doğurabilir.

Örneğin 316 kalite duralumin kullanılması gereken bir yerde tasarrufa yönelerek 304 kalite duralumin kullanımı, maliyet açısından bir avantaj sağlıyor gibi görünse de; ürünün kullanım ömrüne olumsuz etki yapması yanında kullanım şartlarına bağlı olarak personel üzerinde yaralanma ve ölümlere neden olabilecek kazalara da yol açabilir. Robotun, amacı doğrultusunda karar verebilmesi için çevreyle iletişim

halinde olmasını sağlayan sensörleri olmalıdır. Robotun amacı belirlendiğinde, çevredeki hangi değişimleri algılaması gerektiği de belirlenmiş olur. Bu verilerin her biri farklı bir sensör gerektirir. Kullanılan sensörü belirlemek için araştırma yapıp ve hangi sensörün nasıl kullanılacağı öğrenildiğinde sonraki adıma geçilmiştir.

Algoritma kısaca yapılacak işlemlerin mantıklı bir sıraya sokulmasıdır. Algoritma robot tasarımı aşamasındaki en önemli adımlardan biri hatta belki de en önemlisidir. Robotta nelerin algılaması gerektiği, hangi sensörlerin kullanılacağı ve hangi işlemin daha önemli olduğuna karar verilmelidir. Robotun algılaması gereken birden fazla veri varsa ve/veya birden fazla farklı sensör kullanılacaksa hangi verinin daha öncelikli olduğunu belirlemek önemlidir. Eğer bu konuda hata yapılırsa robotun çalışması da düzgün olmayacaktır. Çünkü öncelikle yapılması gereken görev algoritmada geride kalacak ve bu durum aksaklıklara neden olacaktır. Bu sebeple algoritma düzenlenirken robotun amacına göre, mantıksal bir öncelik sıralaması yapılmalıdır.

Robot, amacını gerçekleştirebileceği en basit bir mekanik yapıda tasarlanmalıdır. Robotun uyması gereken belli kıstaslar (boyut, ağırlık vb.) varsa, bunlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar belli olduktan sonra mekanik düzeneği doğru tasarlamak için önce robot motorları belirlenmelidir. Robot motorunu seçerken motorun devir sayısı, motorun çalışma voltajı, motorun çektiği akım ve motorun büyüklüğü gibi etkenler önemlidir. Amaca uygun robot motorunu seçtikten sonra bu motorların nasıl yerleştireceği belirlenir ve robot gövdesi tasarlanır.

Bu adıma gelindiğinde artık kullanılacak sensörler, hangi işlemlerin öncelikli olduğu ve motorların özellikleri bilinmiştir. Elektronik devre tüm bunları işletmelidir. Yani sensörlerden gelen verileri toplamalı, mikrodenetleyiciye aktarmalı ve mikrodenetleyicide alınan kararların uygulanması için motorları düzgün sürebilmelidir. Sonuç olarak; bir robot için elektronik devrede sensör devresi, mikro denetleyici devresi, motor sürücü devre ve voltaj regüle devresi olmalıdır. Bu devreleri hazırlamak için seçilen sensör ve motorların özellikleri (çalışma voltajı, giriş çıkış pinleri, çektiği akım değeri vb.) dikkate alınmalıdır.

Robot programı yazılırken dikkate alınması gerekenler; düzenlenmiş olan algoritma ve elektronik devredeki mikro denetleyicinin giriş çıkış pimleridir. Kullanılan programlama dili ve mikro denetleyiciler ön araştırmalar ile belirlenmiştir. Her programlama dili ve her mikro denetleyici kendi özellikleri ile farklı komutlar gerektirebilir. Bu konuda bilgi sahibi olunması işi kolaylaştıracaktır. Eğer komutlar biliniyorsa, düzenlenecek algoritma iyi bir program yazımına vesile olacaktır. Yazılan program, bir derleyici vasıtasıyla makine diline çevrilmiş ve programlayıcı ile mikrodenetleyiciye aktarılmış ve bir sonraki adıma geçilmiştir.

Artık bu aşamada bir robot için gereken üç kısım da bulunmaktadır. Hazırlanan mekanik düzeneğin uygun yerlerine motorlar, dişliler ve sensörler yerleştirilmiştir. Daha sonra sensörler ve motorlar giriş - çıkış pimlerine bağlanıp ve devrenin voltaj beslemesi için kullanacak batarya ya da pili yerleştirip bağlantısı yapılmıştır. Son olarak mikro denetleyiciyi elektronik devreye yerleştirilerek robot ilk denemelere hazır vaziyete getirilmiştir. Robot ilk denemede düzgün çalışmayabilir. Burada önemli olan, hataların kaynağını tespit edebilmek ve gerekli değişiklikleri yapabilmektir.

Tasarlanıp imal edilen yürüme destek cihazı prototipi Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesinde seçilecek hasta/hastalar üzerinde deneysel çalışmaları yapılmaktadır. Tıp Fakültesindeki ilgili birimlerle koordinasyon içerisinde bu akademik ve özgün çalışma tamamlanmıştır. Hasta literatürü incelenerek ilk aşamada yetişkinler için prototip boyutlandırması yapılmıştır. Çalışma tamamlandıktan ve gerekli denemeler yapıldıktan sonra genç ve çocuklar için de çalışmanın genişletilmesi düşünülmektedir. Yürüme engellilerin ihtiyacı olan yürüme destek cihazı ithal edilmekte olup, bu çalışmanın başarıya ulaşmasından sonra yerli üretim imkânı da sağlanmış olacaktır.

Yürüme engelliler ile ilgili şimdiye kadar birçok cihaz üretilmiştir. Tekerlekli sandalye bu cihazlardan biridir. Her engellinin durumu birbirinden farklı olmaktadır. Bu çalışmanın amacı; dengesini tam sağlayamayan engelli vatandaşların ayakları üstünde dengelerini sağlayabilecekleri ve adım atmalarını destekleyici bir cihaz

tasarlamak ve imal etmektir. Yapılan çalışmada; yürüme engellilere belli ölçüde destek olmak ve onların dengeli bir şekilde yürüme zevkini yaşamalarına katkı sağlamak hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada mevcutların eksikliklerini telafi edici ve iyileştirici bir tasarım ve üretim düşünülmüştür.

2. LİTERATÜR

İki ayaklı robotlar tekerlekli robotlar ile karşılaştırıldığında avantajları vardır. Örneğin iki ayaklı robotlarda daha iyi hareketlilik vardır. Bu robotlar zor arazide ve gerçek ortamlarda yürüyüş yapabilirler ve aynı zamanda merdiven tırmanabilirler. İki ayaklı robotlar, küçük bir alanda dönebilir. Ancak, tekerlekli robotlara göre dengelemeleri ve kontrol etmeleri daha zordur.

Robotların yürüyüşü için, bir yürüme döngüsü, evden başlanmak üzere, aşağıdaki bölümlere ayrılır: ağırlığı sol bacak yönünde kaldırması, sağ bacağın adım atması, kilo geri kaydırması, mevcut konumunu koruması, ağırlığı sağ bacak yönünde kaldırması, sol bacağın adım atması, kilo geri kaydırması, mevcut konumunu koruması. Simülasyon sonuçları her zaman Sıfır Moment Noktası (SMN) iki ayaklı robot, ayak ve zemin arasındaki temas alanı içinde olduğunu göstermektedir. Bu konu iki ayaklı robotun istikrarlı yürüyüşünün mümkün olduğu anlamına gelir. Robot planlanmış yörüngeleri takip ederek düz bir yüzey üzerinde normal bir hızla yürüyebilmektedir.

İki ayaklı robot istikrarlı bir şekilde yürüyüş yapabilmek için her eklemde istenilen yörüngeler uygun şekilde tasarlanmalıdır aksi takdirde mekanizma düzgün çalışmayabilir. Mevcut araştırma sonuçlarına göre iki ayaklı robotun istikrarlı bir şekilde yürüyebilmesi için, SMN ayak ve zemin arasındaki temas alanı içinde olmalıdır. Literatürde, yürüyüş modelinin planlaması için iki ana yöntem vardır. Bunlardan biri ilk istenen bir SMN yörüngesi tasarlamaktır. Daha sonra istenen SMN yörüngesi elde etmek için eklem yörüngeleri oluşturmaktır. Başka bir yöntemde ilk istenen eklem yörüngeleri tasarlamak ve sonra test etmektir.

Ayrıca robotlar insanların yaşamlarını kolaylaştırmak için geliştirilmiştir. Onlar kendi insan meslektaşlarına çok tekrarlanan çok tehlikeli ya da çok zor olan işleri gerçekleştirmektedirler. Robotlar bu görevleri daha verimli yaparlar. Ayrıca arazide dolaşmak için tekerlekler, izler (yollar) ya da bacaklar kullanmaktadırlar.

2.1. İki Ayaklı Robotlar

Robot otomatik bir makine olarak belirli görevleri yerine getirir. Robotlar endüstrilerde kullanılan sabit robotlar, bağımsız sualtı araçları, hareketli robotlar insansız hava araçlar, tekerlekli robotlar, ayaklı robotlar gibi sınıflandırılabilir. Sabit robotlar tek bir yerde sabitlenmişler ve bir bilgisayara bağlıdırlar, bundan dolayı hiç bir yere hareket edemezler, hâlbuki hareketli robotlar bir yere bağlı değiller ve kendi ortamlarında hareket yeteneğine sahiptirler. Ayrıca iki ayaklı robotlara insansı robotlar denir. Genel olarak, iki ayaklı robotlarda, kafa, iki kol ile bir gövde ve iki bacak vardır. Bazı iki ayaklı robotlarda göz, ağız ve bir yüz de olabilir.

Son yıllarda, dünyada ve ülkemizde yaşlılar ve yürüme engellilerin sayısı artmıştır. Bu insanların birçoğu günlük yaşamlarında kendi yürüyüşünü desteklemek için bir baston veya tekerlekli sandalye kullanmaktadırlar. Baston oldukça sık ve yaygın olarak kullanılıyor olsa da, kol ve gövde üzerine büyük bir yük koymak gibi dezavantajı vardır. Bu yüzden, yürüyüşü desteklemek için Shimizu ve Suzuki tarafından HONDA robotu çalışması yapılmıştır [1, 2].



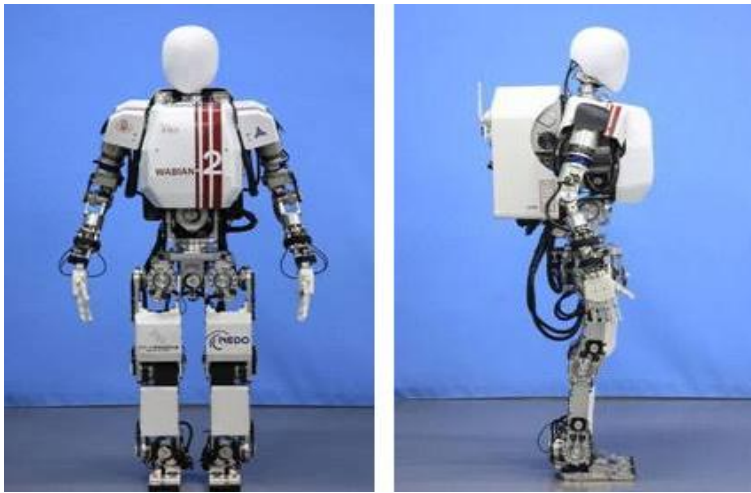
Resim 2.1. Honda'nın yürüme destek cihazı

Japonya’da ve diğer gelişmiş ülkelerde, gelişen teknolojiyle birlikte, yaşlı insanların sayısı da hızla artmaktadır. Bu nedenle, yakın gelecekte pek çok insan yürüme zorluğu ile karşılaşacaktır. Yaşlılıkta kas zayıflaması nedeniyle insanlar adeta bir özürllü gibi yürüme zorluğu çekecektir. Bu yüzden onlar için, mühendislik desteği ile yeni bir hareket kontrol yöntemi ve bir bacak destek mekanizması önerilmiştir. Güç desteği olarak, itme temel fonksiyonunu yerine getirmede, insan vücudunun hareketini ve taşınmasını desteklemede elektrik motorları, tahrik edici olarak kullanılmıştır. Ancak, bacak gücü için genel kontrol yöntemi oluşturulamamıştır. Ayrıca, sadece motorları kullanarak mekanizmanın yürütülmesi, büyük miktarda enerji maliyeti getirmekte bu da ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Yapılan bir çalışmada, önceki araştırmalarda yapılmış olan yapay bacakla birlikte güç organı ve onların sorunları da gözden geçirilmiş ve güç organı kontrolü için yeni bir yöntem önerilmiştir. İlk olarak, etkin bir yürüyüş gerçekleştirmek ve yürüme parametrelerinin belirlenmesi için yeni bir yöntem tanımlanmıştır. Daha sonra, diz eklemine enerji tüketimini azaltmak için değişken elastik modül kullanılarak yeni bir tasarım yöntemi açıklanmıştır. Simülasyon sonuçları önerilen yöntemin etkinliğini göstermiştir [3, 4].

Spider Bot-11, iki tele operasyon kullanarak çok amaçlı bir robot için önerilmiştir. Özellikle zamanının çoğunu evde geçiren yaşlılar veya engelliler için, yürüme gibi günlük yaşam yardımı da dâhil olmak üzere, çeşitli uygulamalar yapmak amacıyla rehabilitasyon eğitimi için tasarlanmıştır. Bu amaçla, Spider Bot-11 internet üzerinden tele operasyon sayesinde, fiziksel olarak doğrudan robot manipülesiyle uzak bir sitede bir terapist ya da bir görevli gibi yardım verebilmektedir. Engelin kolay tanınması için, önceden sisteme tanıtılmış ve tanımlanmış işaretler çalışma alanındaki her engelle irtibatlanır ve gerekli desteği sağlamış olur [5, 6].

Kondo ile arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, bir insan hareketini taklit eden iki ayaklı ve insana benzeyen bir robot yapmışlar. Bu çalışmada, insan gibi yürüyen bu robotun, WABIAN-2R, aynı zamanda özürllü yürüme taklidi yapması da önerilmiştir. Bu robotun; iki adet 6 serbestlik derecesi olan bacağı (6 DOF), iki adet 1 serbestlik derecesi olan ayağı (1 DOF), bir adet 2 serbestlik derecesi olan leğen kemiği (2

DOF), bir adet 2 serbestlik derecesi olan gövdesi (2 DOF), iki adet 7 serbestlik derecesi olan eli (7 DOF) ve bir adet 3 serbestlik derecesi olan boynu (3 DOF) vardır. Buna ek olarak, SMN kriterlerine dayalı, her yürüme engellinin yürüyüş desenlerini üretmek için bir algoritma açıklanmıştır. Ayrıca, kısmi felçlilerin yürüyüşü için bir deney deseni oluşturma yöntemi ve insani bir hareket simülatörü olarak WABIAN-2R mekanizması çalışılmıştır [7].

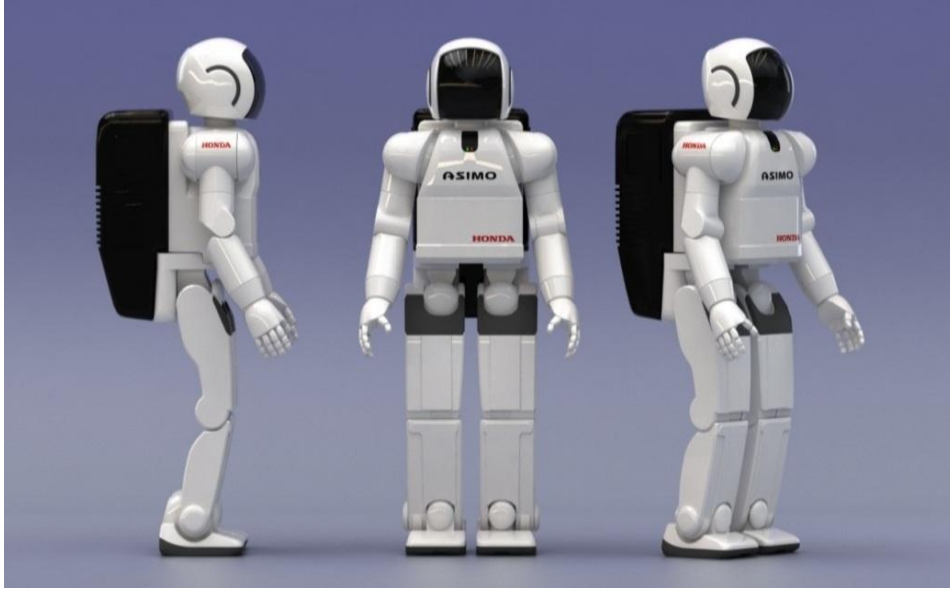


Resim 2.2. WABIAN-2R insansı robot

Ters Sarkaç Modeli iki ayaklı yürüyüş için, gerekli itici faktörleri belirtmektedir. İstikrarlı bir yürüyüş için, belirli bir adım uzunluğu ve eğim açıları aralığı gerekiyor. Diğer durumlarda kararsız yürüyüşler kararlı yürüyüşlere benzer bir hareket yapmak için çaba gösterir. Buna ek olarak pasif yürüteçler kısıtlıdırlar çünkü onlar sadece düşük açılı yüzeylerde, istikrarsız hale gelmeden ve yere düşmeden çalışabilirler. İki ayaklı ISAL robotun hedefi dengesiz arazide çapraz geçiş ve eğimli yüzeyler üzerinde işlem yapmaktır. Bu amaca varmak için aktif bir kalçayı birleştirmek gereklidir. Pasif kalça parçaları teknolojisi gelecekte daha düşük enerji tüketimi ve daha iyi insan yürüyüşünü taklit etmek için kullanılabilir [8].

1989'dan şimdiye kadar Honda tarafından 11 adet iki ayaklı prototip robot geliştirilmiştir. ASIMO, Honda'nın en son prototipi, 34 serbestlik derecesi, 1,3 metre yükseklik ve 54 kg ağırlığa sahiptir. ASIMO gerçek bir insanın yaşam ortamında görev yapmak için düşünülmüştür. İnsan yaşam ortamında serbestçe hareket

edebiliyor. Honda ASIMO gibi robotlar yürüyüşlerini istikrarlı yapmak için aktif kalça kontrolü ve sensörler kullanırlar. ASIMO istikrarlı yürüyüşü gerçekleştirebilmek için sıfır moment noktasının (SMN) konumunu ve yerle temasta olan ayakların reaksiyon kuvvetini izlemektedir. SMN yürüme yüzeyin ve robotun atalet kuvvetinin kütle merkezinden uzayan eksenin kesişme noktası olarak tanımlanır. Toplam atalet kuvveti; yürüyüşün hızlanma/yavaşlama ve kuvvetin robotun kütle merkezine yer çekiminden dolayı uygulandığı kombinasyonudur. Ne zaman reaksiyon kuvvetinin uzayan eksen, robotun ayağı yere temas ettiği hızda olsa toplam atalet istikrarlı yürüyüşü sağlar madem hiç genel atalet kuvvet momenti oluşmuyor. Reaksiyon kuvveti SMN ile kesişmezse genel bir moment oluşturur. Robotun istikrarsız hale gelmesine ve ileri geri dönmesine neden olur. ASIMO yazılım monitörleri SMN yerini ve reaksiyon kuvvetlerini ve kendi sensörlerini kullanarak eklem momentlerini dizde ve ayakta atalet kuvveti ve SMN ile yeniden hizalamak için çalışırlar. SMN'nın yeri robotun atalet kuvvetlerine bağlıdır. Daha küçük bir kalça kütlesi robotun ağırlık merkezine uygulanan gücü yerçekiminden dolayı azaltır ve toplam atalet kuvvetinin büyüklüğünü düşürür. Kalça kütlelerinin azaltılması ağırlık merkezinin yüksekliğini azaltır, diz ve ayak bileğinde gerekli olan momentleri toplam atalet kuvvetinin yeniden hizalanmasını ve temasta olan ayakta reaksiyon kuvvetini düşürür, böylece robot istikrarsız hale gelir. Moment kolu diz ve ayak bileği motorları arasında ve ağırlık merkezinde azalır. Yeni bağımsız kalça sürücüsünün kütlelerini azaltmak için yeni çalışmalar dikkate alınmıştır [9].



Resim 2.3. Honda ASIMO

Bu projenin amacı, Kansas Üniversitesinin akıllı sistemler ve otomasyon laboratuvarında (ISAL) dengesiz arazide geçiş yapma yeteneğine sahip iki ayaklı robotun küçük düzensizliklerin nasıl tepki vereceğini inceleyerek test edilmesi ve geliştirilmesidir. Robotun kontrol sistemi, sensörler ve esnekliği birleştirerek düzensizlik reaksiyonuna ve kendisini düşürmeden önce yeniden dengelemeye izin vermeyi sağlamıştır. Bir sonraki hedef, aktif kalça için pasif teknolojileri birleştirmektir. Bu durum robotun daha iyi insan yürüme taklit yapmasına ve enerji tüketimini azaltarak daha fazla yol kat etmesine izin vermektedir [10].

1997'den beri yedi adet HRP robotu yapılmıştır. Bunlardan en önemlisi 43 serbestlik dereceli HRP4-C'dir. Bu robot gerçek insana benzemekte ve suratında insanın mimiklerin taklit etmekte ve ayrıca insanın sesini algılamaktadır. HRP4-C insan gibi yürümektedir. ve onun hareketlerini yerine getirebiliyor. Bir sonraki yıl HRP-4 küçük kardeşinin yolunu izledi ve ona göre daha hafif ve ince tasarlandı ve ağırlığı sadece 39 kg oldu [11].



Resim 2.4. HRP robotları

1997 yılından beri dört çeşit HRP robotu üretilmiştir. Robotların bazı teknik bilgileri çizelgede mevcuttur.

Çizelge 2.1. HRP robotlarının teknik bilgileri

	HRP-1 1997	HRP-2 2002	HRP-4C 2009	HRP-4 2012
Ağırlığı	130 Kg	58 Kg	43 Kg	39 Kg
DOF	28	30	42	34
Maksimum hız	2 km/h.	2 km/h.	1.8 km/h.	1.6 km/h.

İki ayaklı robotlar, insan gibi davranmak için tasarlanmışlardır. İki ayaklı robotlar birçok tekerlekli robotların yapamayacağı, görevleri yerine getirebilmektedirler. Örneğin: merdiven tırmanmak veya zor arazi üzerinde hareket etmektir. İki ayaklı robotlar tekerlekli robotlarla karşılaştırıldığında, yapısı daha karmaşık ve kontrolü daha zordur. İki ayaklı robot yapmak bir tekerlekli robot oluşturmak gibi basit değildir. Pek çok konu, denge, doğru yürüme gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle, iki ayaklı robotların çalışması çeşitli sosyal çevreler ve

ticari alanlar tarafından motive edilmiştir. Buna örnek olarak engellilerin yeniden yürümesinde, bacakları olmayan engelliler sayılabilir. İki ayaklı robotları da muhtemelen sanayi uygulamalarında, hastanelerde, evde ve uzay araştırmalarında bulabiliriz. Onlar, doktor, mühendis ve birçok sektörün ilgisini çekmiştir [12].

İki ayaklı robotların yoğun bir çalışması 60'ların sonunda Japonya'da başladı. WAP-1 ilk iki ayaklı robot olarak tanınıyor ki 1969 yılında Japonya'nın Tokyo şehrinin, Waseda Üniversitesinde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kauçuktan yapılmış olan WAP-1 yapay kaslar ile hareket etme yeteneğine sahiptir. 1971 yılında, WAP-3 DC motorlarla (Tahrik ediciler olarak) inşa edilmiştir. İlk iki ayaklı robot yapımını üstelenen WAP-3, düz bir yüzey üzerinde yürüyüşü, bir yamaç veya merdivenden tırmanmayı ve bir dönüşü otomatik ve bağımsız olarak gerçekleştirmesi başarmıştır. 1984 yılında, ilk dinamik yürüyüşlü robot, WL-10R, Waseda Üniversitesi'nde geliştirildi. Moment sensörleri, değiştirme fazının kontrolünü esnek bir şekilde sağlamak için ayak bileği ve kalça eklemleri üzerine eklenmiştir. 1986 yılında, Japonya'nın, Honda Motor Şirketi, iki ayaklı robotlar üzerinde geniş araştırmalar başlattı [13].

2005 yılında, Çin'in Beijing Üniversitesi, BHR-1 robotu ortaya çıkardı. BHR-1 yüksekliği 1,58 m ve ağırlığı 76 kg'dır ve 32 serbestlik derecesi var ve insanlarla konuşma yeteneğine sahiptir [14].



Resim 2.5. BHR-1 robotu

Kore'nin fen bilimleri enstitüsü 2005 yılında KHR-3 insansı robotu geliştirdi. Bu enstitü ilk olarak 2000'li yıllarda iki ayaklı robotlar üzerinde araştırma başlattı ve ilk prototip, 2003 yılında KHR-1 olarak adlandırıldı. Bu robotun kafası ve kolları yoktur. KHR-2, 2004 yılında ortaya çıktı. Daha sonra 1,2 m yüksekliği ve 55 Kg ağırlığında KHR-3 imal edildi. Bu robot ses tanıma özelliğine ve görme sistemine sahiptir. 41 serbestlik derecesine sahip olan KHR-3 kuvvet momenti sensörü ve atalet sensörleri ve servo sürücüler ile donatılmıştır. Endüstriyel manipülatörlere benzer şekilde, iki ayaklı robot sensörler, tahrik ediciler ve denetleyiciler kullanmaktadır. Bu robotta elektrik parçaları (kuvvetlendiriciler, sinyal şartlandırma, devreleri, bilgisayar vb.) mekanik parçaları (bağlantıları, miller, yataklar, vb.) ile birbirlerine ilişkilendirilmiştir. İki ayaklı robotta kullanılan sensörler; pozisyon sensörleri, moment ve kuvvet sensörleri, hız sensörleri, vb. Tahrik ediciler, elektrik, pnömatik veya hidrolik olabilir. İki ayaklı robotlarının çoğu DC motorlar gibi elektrik tahrik edici ile tahrik edilirler [15].



Resim 2.6. KHR-3 robotu

Sabit robotlar ve tekerlekli robotların aksine, iki ayaklı robotlarda yürüyüş sırasında dinamik dengenin korunması önemlidir. Bu sorunun çözümü önemli bir kavrama “Sıfır Moment Noktası (SMN)” dayanır. Bu kavram ilk olarak 1973 yılında, Vukobratovic tarafından tanıtıldı. SMN aktif güçlerin tüm momentlerinin toplamı yer üzerinde bir noktada sıfıra eşit olarak tanımlanır. Mekanik bakış açısından SMN için ayak ve zemin arasındaki temas alanı bilinmektedir. İki ayaklı robot yürüyüş sırasında dinamik dengesini korumaktadır. SMN iki ayaklı robotların hareketi için çok önemli bir kavramdır. İki ayaklı robotlar yürüyüş sırasında ters bir sarkaç gibi davrandığından onların bütün vücutlarının dinamik dengeleri, uygun şekilde, hareket planı tarafından muhafaza edilmelidir [16,17].

1984 yılında, ilk SMN pratik gösterisi WL-10R dinamik dengeli robot “WABOT aile robotları” üzerinde Japonya’nın Waseda Üniversitesinin Ichiro Kato laboratuvarında gerçekleşti. O zamandan beri, SMN yaygın olarak iki ayaklı robotların yürüyüşü için kullanılmıştır. İşaret etmeliyiz ki insanın yürüyüşü esnasında SMN sabit kalmaz ama destek ayakta ilerler. Yürüyüş doğallığını elde etmek için SMN referans yörüngeleri Fourier serisi teknikleri kullanarak tasarlanmıştır. Desen planlaması iki ayaklı robotların yürüyüşü için çok önemlidir. Yürüyüşün desen planlamasında iki ana yöntemi vardır. Bunlardan biri istenilen SMN yörüngesi tasarlamaktır sonra istenilen yörüngeleri elde etmektir. Diğer yöntem ise istenilen eklemi yörüngelerini tasarlamaktır sonra SMN ayak ve zemin arasındaki temas alanı içinde olup olmadığını kontrol etmektir. Her iki yöntem de yürüme model planlamasında kullanılmaktadır [18,19].

Bu çalışmada ayak bileği hareketi ve kalça hareketi farklı zemin koşullarına uyum sağlayabilecek ve ayarlanabilecek bir şekilde bazı parametreleri göz önünde bulundurarak modellenmiştir. Bundan sonra, üçüncü dereceden eğri interpolasyon yöntemi ayak bileği ve kalça yörüngeleri belirlemek için kullanılmıştır. Ortak yörüngeleri ters kinematik yöntemi kullanılarak ve SMN iki ayaklı robotun dinamik dengesini kontrol etmek için hesaplanmıştır [20].

Aoki’nin çalışmasında üçüncü dereceden eğri interpolasyona dayalı bir yörünge planlama yöntemi sunulmuştur. Bir düzgün hareketi elde etmek amacıyla anlık hız değişimi azaltılmıştır. SMN önceden belirlenmiş yörüngelere göre hesaplanır ve bu iki ayaklı robotun yürümesini garantiler. İstenen yörüngeleri takip ederek, iki ayaklı robotun statik yürüyüşü mümkün olabilir. Statik yürümede çekim merkezinin projeksiyonu yatay düzlemde, destek çokgeni içinde olmalıdır. Destek çokgeni, minimal yatay plaka üzerinde tabanı kapsayan bir çokgendir. Öte yandan, dinamik bir yürümede çekim merkezinin projeksiyonu yatay düzlemde destek poligon dışında olabilir. Bir iki ayaklı robotun yürüyüşünü çeşitli ortamlarda (zor arazi, yamaçlar, merdiven) istikrarlı yapmak için iki ayaklı robot dinamik yürüyüş yapmak zorundadır. Dinamik denge kontrolünü sağlamak için araştırmalar SMN üzerinde yoğunlaşmaktadır [21,22].

Bu çalışmada kuvvet sensörleri her ayağın dört köşesinde kullanılmıştır. Gerçek zamanlı SMN kuvvet sensörleri gelen ölçümlere göre hesaplanır. Daha sonra, telafi edici moment hesaplanır ve robotun ayak bileği eklemine dinamik kararlılığını artırmak için enjekte edilir. SMN etkinliği insansı robotlar üzerinde doğrulandı Kondo KHR-1, MANUS-I. Dengeleme tekniği ile KHR-1 sıkıca zemin üzerinde büyük bir güç, 700 g sarkaç, uygulandığında bile durabiliyor. MANUS-1 robotu 390 g ek bir ağırlığı yürüdüğünde taşıyabiliyor ve buna ek olarak, 10 derece bir yamacı yukarı çıkabiliyor ve 3 derece yamacı aşağı inebiliyor. Bilinmeyen ortamlarda iki ayaklı robotun dengesini kontrol etmek için bir kontrol yöntemi önerilmektedir. Bu yöntem bilinmeyen bir periyodiğe yönelik ayak bileği eklemine bilinen bir dış kuvvete uygulanır. Dış kuvvet ölçüsü Fourier serisi ile genişletilebilir. Bilinmeyen ortamlarda dengeyi kontrol etmek için zemin reaksiyon güçlerinin geribildirimini kullanılır. İki ayaklı robotun yürümesi iki aşamadan oluşur: çift destek faz ve tek destek faz. Çift destek aşamasında, her iki ayak yere temas içindedir. Tek destek aşamasında, bir ayak yerde dururken, diğer ayak arkadan öne salınmaktadır. Tek destek aşamasında bir iki ayaklı robot, uyumlu bir eklem ile basit ters sarkaç modelini temsil edebilir [23,24].

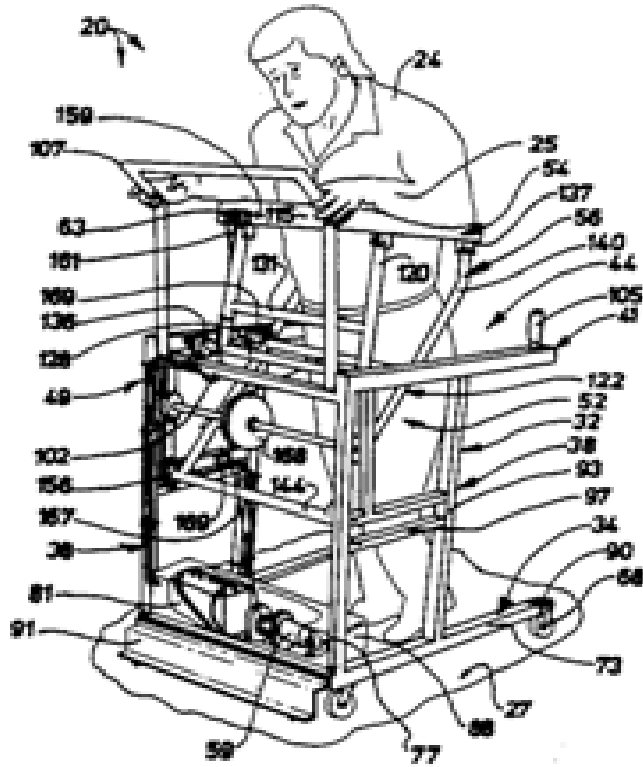
Bu model, tek destek fazın denge kontrolü için tasarlanmıştır. Süspansiyon denetleyici sistemi süspansiyonunu artırır ve titreşim azaltan bir denge kontrol olarak kullanılır. İniş kontrolör, bir ayak bileği eklemine hızlı ve istikrarlı iniş elde etmek için kullanılır. Bir iniş pozisyonunun kontrolü, salıncak ayakta öngörülen yörüngeyi değiştirmek ve beklenmedik iniş sırasında iniş etkisini azaltmak için uygulanır [25].

Çift destek fazı için ileri kontrol sistemli, 12 serbestlik dereceli iki ayaklı bir robot geliştirdi. Robot için bir kısıtlı dinamik model formüle edilmiştir. Kontrol stratejileri ileri tazminat dayanmaktadır ve lineer geribildirim durumu ortak yörüngeleri izlemek için tasarlanmıştır. Özet olarak, iki ayaklı robotlar ile ilgili yoğun araştırmalar ve çok sayıda prototip deneysel çalışmalar yapılmıştır [26].

2.2. Yürüme Engelliler ve Yaşlılar

Bugünlerde fiziksel yardımcı cihazlar için büyük bir talep vardır. Birçok kişi fiziksel durumundan dolayı hatta basit hareketler söz konusu olduğunda bile zorluklarla karşılaşır. Bu mekanik aletin amacı engelli kişilerin oturup kalkmasına hem de yürümesine yardımcı olmaktır. Bu mekanizma biraz destekle yürüyebilecek herkesin ihtiyaçlarına uygun bir şekilde tasarlanmış olup, onları oturmuş halden ayakta durma pozisyonuna getirmek için de üretilmiştir. Bu tasarım, mekanik bağlantılar ve taşınabilir bir güç sistemi yoluyla elde edilmiştir. Bu cihaz, normal bir yürüteç olarak hareket etmektedir. Kullanıcı etrafta onunla yürür ve oturmaya hazır olur, cihaz geri ve aşağıya uzanır, engellinin alt kısmı cihazın arkasındaki koltuğun içinde yerleşir. Kalkmaya hazır olduğu zamanın ardından cihaz geri harekete başlar ve kullanıcı kolları kavradığında, cihaz güvenle onu yukarı kaldırır. Cihazda bir askı var, kullanıcıların üst beden gücü yeterli olmadığı takdirde daha da yardımcı olur. Güvenli bir şekilde bu göreve ulaşmak için kullanıcının ağırlık merkezi cihazın ayak izi içinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece onun devrilmeden olmaksızın yukarı ve aşağı hareket etmesine izin verir [27].

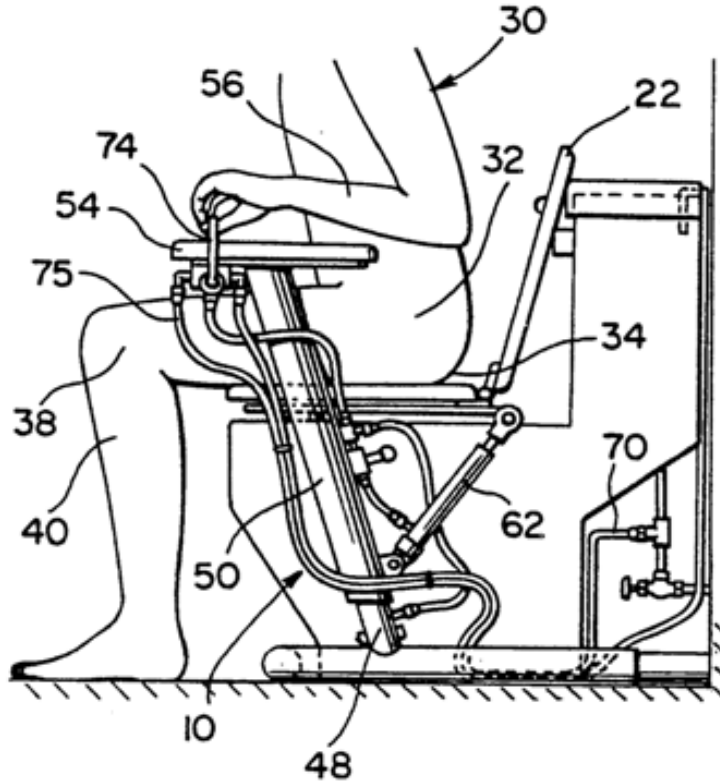
Patent oturma yardımcı cihazı olarak adlandırılır. Bu cihaz sıvı dolu pistonlar ile sıkıştırılmıştır. Aslında bir kişiyi istenilen yüksekliğe dikey halde kaldırıyor ve sonra kişiyi ileri taşımak için eğilebilir dolayısıyla ayaktaiken ona yardımcı olur. Aynı cihaz oturma hareketi sırasında bir ters döngüsü yapar. Ayrıca, cihaz, hareket için tekerlekler ile donatılmış değildir. Cihazın dezavantajı, kullanıcıya ayak pozisyonunda herhangi bir şekilde yürümek için yardımcı olmamasıdır [28].



Şekil 2.1. Oturma yardımcı cihazı

Patent Hasta yardımcısı cihazı olarak adlandırılır. Cihaz bir kişiyi oturma pozisyonundan kaldırmak için bir elektrikli vinç kullanır. Cihaz dış çerçeve içinde hareket eden bir mekanizma kullanır. Engellini kaldırmak için dikey bir yönde yükselir. Cihaz tekerlekler ile donatılmış olsa da, bir yürüteç olarak kullanılmak üzere tasarlanmamıştır. Tekerlekler cihazı doğru bir konumda hareket ettirmek için temin edilmektedirler. Cihazda kullanıcı için herhangi bir bağlama mekanizması bulunmamaktadır [29].

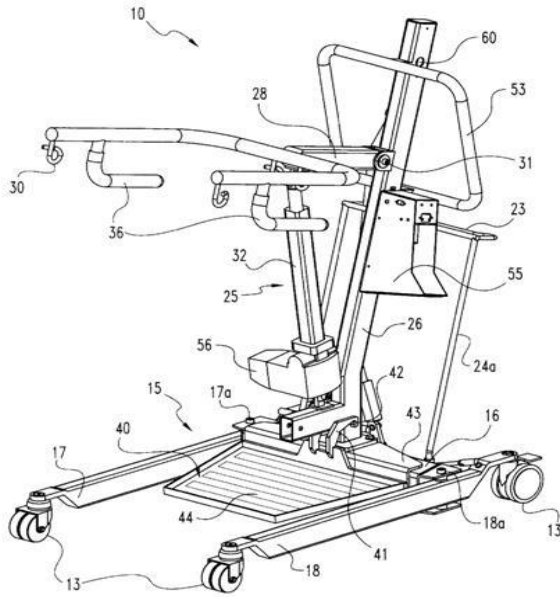
Patent, Klozete oturup kalkmak cihazı olarak adlandırılır. Cihaz kullanıcının oturma pozisyonunda durmasına yardımcı olur. Cihaz, bir klozet üzerine monte edilmiştir ve bundan dolayı hareket edemez. Cihaz kişiyi kaldırmak için akışkan gücü tahrik ediciler kullanır. Cihaz taşınabilir değildir ve ayakta durduktan sonra bir yürüyüş yardımcısı olarak kullanılamaz. Bu cihaz kullanıcı için herhangi bir kilitleme özelliği sağlamaz [30].



Şekil 2.2. Klozette oturma cihazı

Patent, Tekerlekli sandalye kullananlar için destek olarak adlandırılır. Tekerlekli sandalye için bir ek cihazdır. Bir tekerlekli sandalye bağlı olan kişiye durma imkânı sağlar. Bu cihaz sadece tek bir fonksiyonu kapsar o da ayakta durma ve oturma geçişleridir. O kullanıcıya ayaktayken yürümesine yardımcı olmaz. Ayrıca, bu, bağımsız bir cihaz olarak kullanılamaz. Tekerlekli sandalye ile birlikte kullanılmalıdır. Bir tekerlekli sandalyeye monte olduğundan dolayı cihaz taşınabilir [31].

Patent, Hasta Kaldırma olarak adlandırılır. Cihaz kullanıcıyı oturma pozisyonundan ayakta durma konumuna kaldırır ve onun ağırlığını kontrol etmek için bir tartı üzerinde yerleştirir. Cihaz elektrikli motorlar kullanır ve başka bir kişi tarafından çalıştırılmalıdır. Cihazın iki kolu vardır ve kullanıcıyı kaldırmak için askı kullanmaktadır. Mekanizma kullanıcının yürümesi için yardımcı değildir. Ayrıca çok büyüktür, dolayısıyla taşınması zordur [32,33].



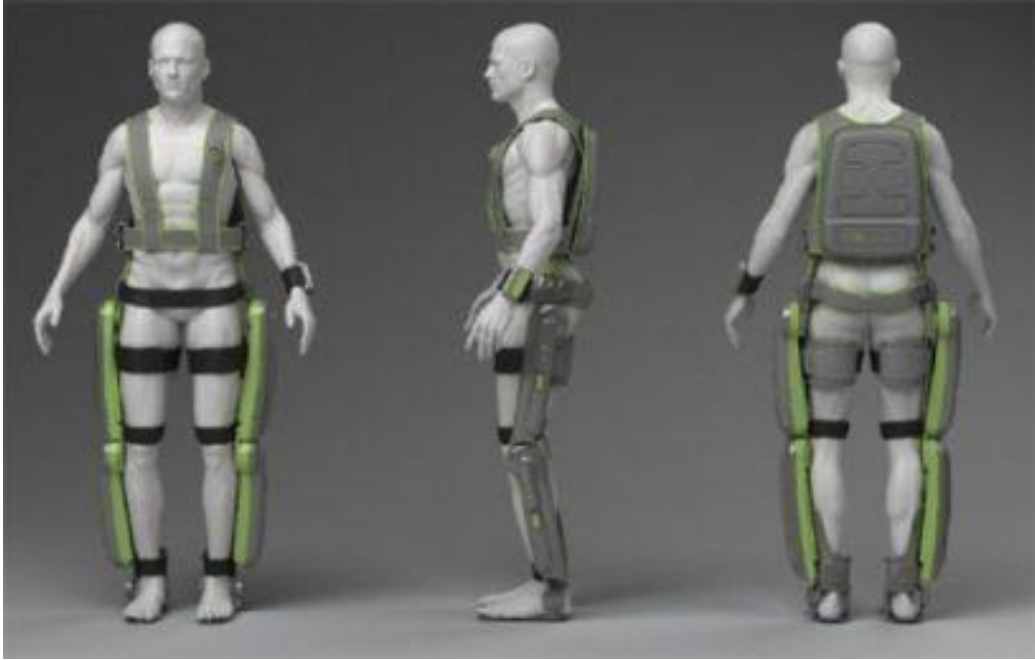
Şekil 2.3. Hasta kaldırma cihazı

Yürüme özürllüer için bir mekatronik sistem tasarımı, yürüyüş karmaşıklığı nedeniyle, çok zor bir görevdir. Gerçeğe yakın bir ayak hareketini mekanik olarak elde etmek için dikkate alınması gereken birçok parametre vardır. Bu konuda, ayak sürüş mekanizması en önemli mekanizmadır. Seiciu ile arkadaşları yaptıkları çalışmada basit bir pedal tasarımı gerçekleştirmişlerdir [34,35].

Zihinsel engelli yaşlı insanlar da genellikle günlük yaşamlarını sürdürebilmek için yardımcı teknolojik aletler ve cihazlar kullanırlar. Burada amaç; zihinsel engelli yaşlı kişilerin, yardımcı teknoloji ve koltuk değnekleri kullanım derecesini belirlemektir. İsrail’de iki farklı yaşlı bakım merkezinde yaşayan 50 yaş üstü insanlardan bazıları üzerinde araştırma yapılmış ve toplanan verilerin yardımıyla onların kullanacakları yardımcı cihazların (örneğin, tekerlekli sandalye, baston, ortopedik ayakkabı, korse, yapay dişler) tipi, modeli ve kullanım nedenleri incelenmiştir. Katılımcıların çoğunun (%70) ortopedik ayakkabı ve (%53) yürüyüş için çift el bastonu ve ya tatmin edici bir yürüyüş yardımcısı (baston) kullandığı tespit edilmiştir. Yardımcı cihaz kullanmanın: ayakta dengeli durmaya, istikrarlı yürümeye ve günlük aktiviteleri iyileştirmeye neden olduğu ortaya çıkarılmıştır. Oradaki insanların hiçbirinin sahip oldukları gözlük, protez diş ve işitme cihazının uygunluk derecesinden memnun olmadıkları ve sadece (%20-%35) kısmın bu aletleri

kullandıkları tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda; bakıcıların, yaşlı ve hastalar için sadece yardımcı cihaz ihtiyaçlarını sağlamasının yeterli olmadığı, aynı zamanda zihinsel engelli insanların kişiliklerine ve günlük yaşamlarında bağımsızlıklarına uygun ve yaşam kalitelerini yükseltecek nitelikte bir ekipmana erişmelerini ve kullanmalarını da sağlamaları gerektiği sonucuna varılmıştır [36].

Muto ile arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, kısmi felçli hastalarda rehabilitasyon öncesinde, esnasında ve sonrasında, hareket yeteneğinin iyileşmesini analiz etmişler. Yürüyüş düzeltme aygıtı olarak kullanılan Walk-Mate cihazının etkinliği değerlendirmişler ve bir önceki yürüyüş eğitim yöntemi ile karşılaştırmışlar. Walk-Mate, bir kullanıcının gerçek zamanlı yürüme yeteneğine cevap olarak bir yürüyüş ritmi modeli oluşturur ve bu ritmi gösteren işitsel uyarıcılar kullanarak, ayak temas ritminde asimetrisi ve dalgalanmaları azaltan yürümeyi destekleyen bir teknolojiyi de sağlar. Elde edilen sonuçlara göre Walk-Mate'in yürüyüş ritmi; kısmi felçli hastaların yürüme yetenekleri için, hem eğitim sırasında hem de sonrasında yürüyüş ritmini iyileştiren lokomotif fonksiyonu geliştirilerek yeniden düzenlenmiştir [37,38].



Resim 2.7. Walk-Mate cihazı

Zayıf, yaşlı veya özürlü insanların genellikle yardım almaya ihtiyaçları vardır. Ancak, kendi yetenekleri çerçevesinde maksimum özgürlük ve kontrolün yanı sıra güvenlik paketi de arzu ederler. Yapılan bir çalışma ile kullanıcının ihtiyaç duyduğu rahatlık ve esnekliği temin etmek için tekerlekli sandalye ve çift eli bir bastonun avantajlarını bir araya getiren sensörlü bir robot teknolojisi bir mekanizmaya uygulanarak güvenlik ve özgürlüğü sağlayan yeni bir aparat yapılmıştır [39,40].

Akıllı yürüme destek robot sistemi, yaşlı ya da rehabilitasyon programı kapsamında engellilerin kullanımı için geliştirilmiştir. Tasarım yapılırken, çeşitli mekanizmalar; insanların ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla robot kavramı, bir insan dostu olarak göz önüne alınmış ve incelenmiştir. Lee ile arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, bir elektromekanik doğrusal mekanizmaya, kuvvet kontrolü, uygulamışlardır. İki tekerlekli seyyar mekanizma, hastanın yürüme yörüngesini izleyen hareketleri sağlamak ve kullanıcı eğitim yörüngesini vermek için geliştirilmiştir. Boşaltma kontrolü için, hareket denklemleri elde edilmiş ve kuvvetin kontrol algoritması geliştirilmiştir. Hareketin kontrolü için, sanal yörünge planlama ve PID kontrolü kullanılmıştır [41,42].

Son yıllarda, yaşamla ilgili birçok destekleyici cihaz geliştirilmiştir. LYE yürüyen robotu, robotik araştırmalarda büyük bir gelişme göstermiştir. Bir çalışmada, yaşlı ve özürlü insanlar için kullanılan iki ayaklı ve yürüyen bir robot yapılmıştır. Robot iyi bir kararlılığa ve yüksek güvenlik özelliklerine sahiptir. Yapılan bu robot hem yürüyebilmekte, hem de merdivenlerden aşağı yukarı inip çıkabilmektedir. Ayrıca, iki ayaklı bir robotu sürme sırasında da kullanıcının korku hissi ortadan kaldırılmaktadır [43].

Kondak ve Dasgupta yaptıkları bir çalışmada, insan organlarının hareketlerini birbiriyle bağlamak için temel yapı olarak, bir dış iskeletin tam bir paralel mekanizma gibi olmasını önermişlerdir. Uyluk için böyle bir yapının en uygun tasarımı sunulmuştur. Tasarım parametreleri olarak, hareketli platform doğrusal tahrik edici bağlantı noktalarının pozisyonları seçilmiştir. Bu tasarım parametrelerinin hesaplanmasında sayısal metot tercih edilmiştir. Çalışma sonuçları;

tasarlanmış paralel mekanizma, yürümek için sadece yeterince büyük değil aynı zamanda bir sandalye üzerinde oturup kalkma gibi çok daha karmaşık hareketleri de yapan bu mekanizma, çalışma uzayında kalçanın rastgele hareketlerine de izin vermesi gerekliliğini de göstermiştir [44].



Resim 2.8. Re-Walk cihazı

Diz osteoartrit'nin sebep olduğu yürüyüş adaptasyonu ile ilgili az sayıda çalışma vardır. Sadece diz eklemine kinematik ve kinetik adaptasyonun benzeri olan bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmayı yapanlar “diz osteoartrit” hastalarda bileğin, dizin, kalçanın ve belin mekanik enerji tüketimini ve yürüyüş sırasında bunun dengelenmesini karakterize etmişlerdir. On üç yaşlı tek taraflı diz hastası ile hızlı tempolu yürüyüşü tercih eden 10 eşleştirilmiş sağlıklı yaşlı insanın kontrolleri

incelenmiştir. İnceleme sonucunda yürüme hızı, adım uzunluğu, alt gövde ve bel eklemi MEE ve MEC gruplar arasında karşılaştırılmıştır. Diz hastalarında yürüme hızı ve adım uzunluğu kontrolleri bakımından kıyaslandığında daha düşük olmuş, ancak fark çok anlamlı olmamış ve eklem hareket profilleri farklı olmuştur. Hastalarda ayak bileği gücü, bağlantı yerlerinde azalırken, kalçadaki güç emmesinde artma meydana gelmiştir. Anormal diz kinematiği tempolu bir hızda yürürken abartılmış, ancak kalça kinetiği diz hastaları arasında normalize edilmiştir. Diz hastalarında, ayak bileği plantar fleksiyon gücü azalması muhtemelen, diz aracılığıyla enerji transferindeki bozulma nedeniyle olmuştur. Önceki çalışmaların sonuçları, muhtemelen, eklem yüklerini azaltmak ve dizi dengelemek için kuadriseps'ini kullanmaktan kaçınan diz hastalarının konsantrik diz gücü eksikliğini desteklemektedir. Diz hastalarında anormal diz kinematiği ve kalça eklem potansiyel kuvvetlerindeki artış sebebiyle ve kalça uzamasındaki artmadan dolayı eksantrik kalça gücü de artmıştır. Ancak, bu pasif mekanizma, salınım fazı içinde bacağın ilerlemesine yardımcı olabilmektedir [45,46].

2.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Yapılan PLC kontrollü yürüme cihazı ile ilgili olarak literatürde çok çeşitli çalışmalarla karşılaşılmıştır. Bunların bir kısmı mekanik olarak benzer mantıklara oturmuş, bir kısmı da benzer programlama tekniklerini kullanmıştır. Bu projede yapılan tasarım ve programlamada mekanik ve programlama teknikleri karşılaştırılmış, ekonomik olarak en ucuz ve fonksiyonel bir çalışma ortaya konulmuştur. Tasarlanan robotun mekanik sistemine özel olarak hazırlanmış bir PLC yazılımı entegre edilmiştir. Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiş bu yürüme destek robotu, gerçek bir yürüme engelli kişi üzerinde denenmiştir. Yapılan işlemlerin sırası aşağıda verilmiştir:

- Ön araştırmaya ek olarak, ilave literatür araştırması yapılmış ve daha sonra yapılan projeler ve cihazlar incelenip nihai karar verilmiştir.
- Daha sonra SolidWorks programı yardımıyla parçalar tasarlanmıştır.

- Ayrı ayrı tasarlanan parçalar SolidWorks programının montaj modülünde birleştirilmiştir.
- Uygun yerlere motor konulup mekanizmaya hareket verilmiştir. Mekanizma hareket ederken her bir parçanın statik analizler yapılmıştır. Böylece her bir parça için ayrı ayrı gerilim, deformasyon ve emniyet faktörü analiz edilmiştir.
- Bu mekanizma yapılırken dayanım ve korozyon direnci yüksek olan alüminyum kullanılmıştır. Ayrıca bilgisayar yardımıyla tasarlanan parçalar Makine atölyesinde üretilmiş ve son olarak montajı gerçekleştirilmiştir.
- Motorlar ve sensörler uygun yerlere montajlanıp, PLC panosu ve bu robota özel program uygulanmıştır. Bütün adımlar bittikten sonra yürüme engelli biri üzerinde robotun test kullanımları gerçekleştirip ve son kontrolleri yapılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Bu proje Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesindeki laboratuvarlarda yapılmıştır. Birimde var olan Donanım: Araştırmanın yapılacağı yer olarak planlanan Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Anabilim Dalı ve Kalıp Anabilim Dalında CNC torna, CNC freze, klasik torna, freze, taşlama, vargel, Akış indeks cihazı, gibi tezgâhlardan oluşan 120'ye yakın takım tezgâhı bulunmaktadır.

- Tornalama uygulamaları laboratuvarı
- Frezeleme uygulamaları laboratuvarı
- Taşlama uygulamaları laboratuvarı
- Temel işlemler laboratuvarı
- Proje Uygulama laboratuvarı
- Sanayi CNC Torna ve Freze tezgâhları
- CAD-CAM laboratuvarı
- PLC laboratuvarı

3. TASARIM ve MONTAJ

3.1. Tasarımın Kuramsal Temeli

Mekanizmanın tasarımında birçok yöntemler kullanılabilir. Öncelikle geçmişte yapılan çalışmalar incelenmelidir. Bu incelemeler sonucunda pratik, basit, estetik ama bir o kadar da işlevsel bir mekanizma hedef alınmalıdır. Bilgisayar ortamında farklı katı modelleme programları mevcuttur, bunlardan üç boyutlu katı modelleme programı kullanılarak uzun süreli çalışmalar yapılmalıdır. Daha sonra simülasyon yöntemiyle analizler gerçekleştirilmelidir. En iyi sonuç alınıncaya kadar birçok mekanizma denenmiş olup, eklemler arasındaki hareket aktarımı istenen düzeye varmalıdır.

Geride bıraktığımız yirmi beş-otuz yıl, tasarım ve üretim süreçlerinin birleştirilmesi için önemli çabaların sarf edildiği, dikkate değer çalışmaların yapıldığı, çeşitli yöntem ve prosedürlerin geliştirildiği bir süreç olmuştur. Bu süreçte ortaya çıkan yöntemler, tasarım faaliyetini üretimin ilk basamağı olarak kabul etmekte olup bu konuda eşzamanlı mühendislik uygulamalarından yararlanmaktadır.

3.1.1. Üretim yöntemi tasarım kuralları

Üreticilerin amacı, tasarımın kâğıt üzerinde değişmeyecek hale gelmeden önce tasarım yöntemiyle ilgili sınırlamaların tasarım koordinatörleri tarafından fark edilmesini sağlamaktır. Üretim yöntemi tasarım kuralları, belirli endüstrilere özgü tasarım yönteminin kurallarıdır veya önerileridir. Örnek olarak otomotiv endüstrisi araba şasisini üretirken saç şekillendirmede bu tasarım kurallarını kullanmaktadırlar. Minimum eğrilik yarıçapı, kalıptaki maksimum bükme açısı, şekillendirme ve yüzey işleme arasındaki ilişki kurallarla belirlenmelidir. Tasarım koordinatörü, çok geç olmadan veya değişikliklerin yapılması çok pahalı olduğundan tasarım yöntemi esnasında bu kuralları göz önünde bulundurmalıdır.

3.1.2. Bilimsel tasarım metodu

Tasarımda en ilginç alternatif bilimsel tasarımdır. Bilimsel tasarıma göre tasarım örneklerle geliştirilmektedir. Kabul edilen tasarımları içeren bir katalog, tasarım koordinatörüne verilerek yaratıcılığı kullanılabilir. Örnek olarak bir tasarımın gerçekleştirilmesi düşünüldüğünde ilk önce ihtiyaçlar belirlenmektedir. Belirlenen fonksiyonlar tasarım koordinatörünün elinde bulunan kataloglardan seçilerek ihtiyaçlara göre kullanılmaktadır. Kataloglar şekle, enerjiye veya mekanik tiplere göre sınıflandırılmıştır. Ürünler sadece fonksiyonlar için tasarlanmaktadır; üretilebilirliği düşünülmemektedir. Bu nedenle bu teknik eşzamanlı mühendisliğe pek uygun değildir. Bilimsel tasarım genellikle Avrupa’da kullanılmakta ve özellikle Almanya’da bu teknikle tasarımlar gerçekleştirilmektedir.

3.1.3. Bilgisayar destekli tasarım

Taguchi tekniği olsun montaja uygun tasarım tekniği olsun ya da diğerleri olsun tasarım koordinatörü için bilgisayarda uygulanabilir. Bunlar genellikle üretimin bir aşamasında bile tasarım koordinatörünün gereksinimi olan tavsiyeleri içeren özel üretim yöntemleridir. Örnek olarak metal döküm işlemiyle yapılan parçaların tasarımı verilebilir. Tasarım koordinatörü tüm parçaları metal döküm yöntemini kullanarak bilgisayar ortamında tasarlamaktadır. Böyle bir sistem belirlenmekte ve geliştirilmektedir. Bu program, geometriyi tanımlamak için girdi taslaklarına izin veren, malzeme tipi hakkındaki sorulara kullanıcının cevap vermesini sağlayan parçanın özellikleri hakkında bilgi içeren bir programdır. Ürünün fonksiyonelliği, üretilebilirliği ve tasarımın ihtiyaçları arasında hesaplamalar yapıp bilgisayar ortamında detaylandırılmaktadır.

3.1.4. Üretime uygun tasarım

Belirli bir parçanın üretiminde uygun süreçlerin seçimi, parçada aranan özelliklerle çeşitli süreç kabiliyet ve kapasitelerinin karşılaştırılması sayesinde yapılır. Belirli bir malzemede tasarımcının seçimini etkileyen faktörler hammadde seçimi, süreç seçimi, standart parça kullanımı çok amaçlı parça geliştirilmesi, ayrılabilir bağlantı elemanlarının kullanımından kaçınılması ve montaj yönünün azaltılması gibi sıralanabilir. Bütün parçaların mümkün olduğunca tek bir yönden montaj edilmesine çalışılmalıdır. Fazla yön olması zaman kaybı, gereğinden fazla transfer hareketi, gereğinden fazla kontrol noktalarının olması demektir. Olabilecek en iyi montaj, bütün parçaların yukarıdan aşağıya doğru birbirine eklenebildiği ve istiflemenin Z-ekseninde olduğu montajdır.

Bünyesinde maliyet tahmini yapacak fonksiyonu bulunan BDT / BDÜ sistemlerinin varlığı sayesinde ÜUT örnekleri büyük bir verimlilikle uygulanabilir hale gelmiştir. Tasarımcılar, BDT modellerini kullanarak tasarımlarının görsel tanımlamalarını geliştirebilirler. BDT modellerinden alınan parça verilerinin geliştirilmesiyle ürünlerin maliyetlerinin tahmini yapılabilir. Bu bilgiler tasarımcı tarafından hemen alınıp incelenir. ÜUT yönteminin ana hatlarını kullanarak BDT modelleri değiştirilerek tasarımcıya alternatif tasarımlar içinden maliyet verilerine göre en uygun tasarımı seçme şansı verilir.

3.2. Montaj Teknolojisine Genel Bakış

Herhangi bir tasarım ya da tasarım aktivitesinde iki temel hedef vardır. Bunlar gerekli ve beklenen fonksiyonelliğin sağlanması ve maliyetin azaltılmasıdır. Bu iki hedef, montaj yöntemi ve montaj maliyetlerini göz önüne almadan başarılamaz. İşte bu yüzden montaj işlemi, ürün tasarım ve üretim yöntemlerinde karar verme pozisyonundaki sorumluların dikkate alması gereken önemli ve vazgeçilemeyecek bir unsurdur. Günümüz montaj teknolojisi, seçilen montaj süreci ve montaj yöntemine göre ikiye ayrılır. Montaj sürece göre ise el ve otomasyon montaj sistemlerinden söz edilebilir. El montajı ister tek istasyonlu ister bir hat isterse hibrit

yöntemlerle yapılsın, araştırılması ve kurulması detaylı çalışma gerektiren bir yöntemdir. Bu yöntemde farklılık yaratacak teknolojik gelişmeler kolay kolay olmaz.

3.2.1. Demontaj ve geri dönüşüme uygun tasarım

Kullanılıp ıskartaya çıkartılmış ürünlerin miktarındaki dramatik artış, özellikle endüstriyelleşmiş ülkelerde geri dönüşüm işleminin vurgulanmaya başlanmasına sebep olmuştur. Ayrıca geri dönüşümün bir diğer önemli yararı da “yeşil” kavramına yaptığı vurgudur. Özellikle çevresel kaygılardan dolayı birçok kullanıcı artık çevre dostu, doğaya daha az zarar veren geri dönüşüme uygun ya da geri dönüştürülmüş ürün kullanmayı tercih etmektedir. Bunlarla beraber geri dönüşüme uygun tasarımda hala tam olarak çözülemeyen iki sorun vardır. Bunlar en uygun söküp parçalama tekniğinin seçimi ve geri dönüşüm maliyetleridir. Diğer taraftan kullanılmış parçaların yeniden işleme teknolojisi kullanılarak ekonomik anlamda geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanılabilmesi arzusundan dolayı demontaj kavramı da geri dönüşümle beraber dikkatleri üzerine çeken diğer bir faktör olmuştur.

Demontaj kavramı, bir montajdan istenilen parçaların sistematik bir yolla ayrılıp alınması işlemi olarak tanımlanabilir. Ana hatlarıyla bakıldığında iki tip demontaj yönteminden bahsedilebilir. Bunlardan birincisi birbirine sökülebilir bağlantılarla montaj edilmiş sistemler için uygulanabilen ters montaj yöntemi, ikincisi ise demontaj işleminin kaba kuvvet uygulanarak yapılması yöntemidir. Kaba kuvvet uygulanarak yapılan demontajda iki ayrı zorluktan söz edilebilir. Birincisi demontaj için planlanmış sağlıklı bilgiye ulaşamamak ya da ürünlerin üretilirken kolay demontajı düşünmeden üretilmeleri, ikincisi ise demontaj sırasına karar verilmesidir.

3.2.2. Montaja uygun tasarım

MUT araştırmaları ilk kez Boothroyd ve Dewhurst tarafından yapılmış ve bu araştırmaları, düşük maliyetli montajın ekonomik olarak montaj edilebilecek parça tasarımı ve uygun montaj sisteminin seçilmesiyle başarılabileceği önermesi üzerine kurulmuştur. İlerleyen zamanda Boothroyd ve Dewhurst 1986 çıkarttıkları başvuru

kitabında da temeli her bir parçanın montaj konumuna taşınması ve birbirine eklenmesine dayanan teknikleri ortaya koymuşlardır. Kitapta vurgulanan nokta, montaj maliyetlerini en aza indirmeye çabasıydı. Boothroyd ve Dewhurst'ın 1987'de ortaya koydukları MUT yönteminin ilkeleri:

- Tasarımcının her bir parça için bu parçanın neden elenemeyeceğini veya diğer parçalarla neden birleştirilip tek parça olarak kullanılamayacağını sorgulaması,
- Özel olarak bu amaç için geliştirilmiş belli işlemlerin standart zamanlarını içeren veri tabanlarını kullanarak gerçek montaj zamanının bulunması,
- Tasarımın verimlilik indeksinin elde edilmesi,
- Üretim ve kalite problemlerine neden olabilecek montaj zorluklarının tanımlanmasıdır.

1970'lerden günümüze kadarki geçen sürede birçok MUT yöntemi geliştirilmiştir. Boothroyd ve Dewhurst yönteminin dışında ileride ayrıntı olarak anlatılacak olan Lucas yöntemi de önemli bir yöntemdir. Ayrıca endüstriyel kuruluşların kendileri için geliştirdikleri MUT değerlendirme yöntemleri vardır. Bunlardan biri Hitachi şirketinin geliştirdiği, montaj edilebilirlik değerlendirme yöntemi ismini verdikleri sistem, bir diğeri Sony şirketinin geliştirdiği, montaja uygun tasarımda maliyet verimliliği yöntemi ya da yine General Electric şirketinin mühendislik ve üretim departmanlarının geliştirdiği, elle ve otomasyon sistemi montajlar için parçaların yeniden tasarlanmasını değerlendiren yöntem örnek olarak verilebilir.

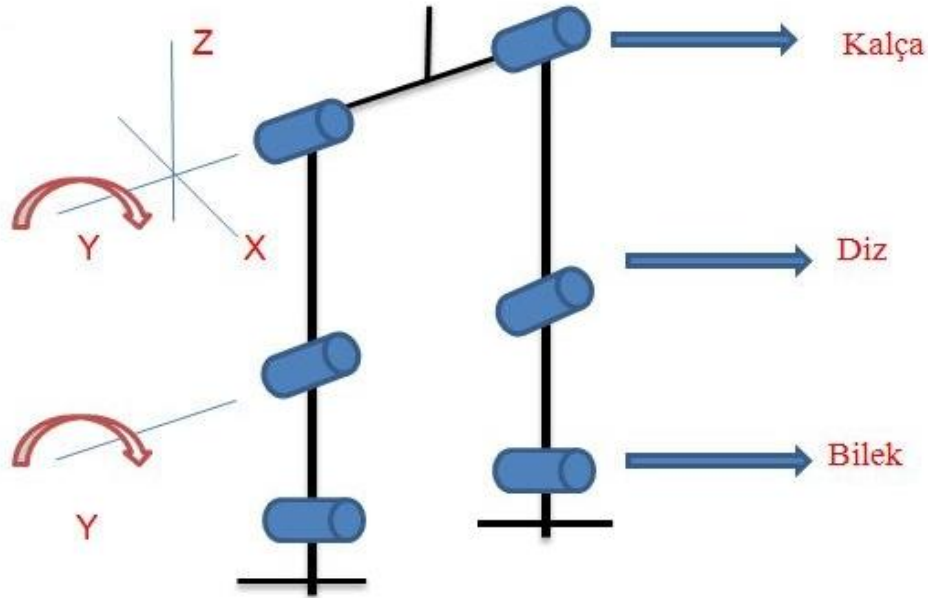
3.3. Mekanizmanın Tasarımı

Projeyi yerine getirmek ve istenilen sonuca ulaşabilmek için, projenin tanımı eksiksiz olarak yapılmalıdır. Tasarım ve gerekli analizlerin nasıl yapıldığı, imalat aşamasında nelere dikkat edildiği ve sonunda kontrol kısmının düzgün bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada iki ayaklı destekleyici bir cihazın tasarımında gerçek bir yürüme engelinin yürüyüşteki zorlukları incelenmiş olup ve ona göre tasarlanmıştır. Bu cihazda, İki kalçada ve ikisi dizde olmak üzere toplam 4

serbestlik derecesi bulunmaktadır. Bu projede maliyeti düşürmek için parçaların üretimi için alüminyum kullanılmıştır. Mekanizmanın çubuk modeli hazırlanmış olup bu modelin kütlesi 9,750 kg'dır Şekilde gösterildiği gibi mekanizma gövde, kalça, diz ve ayak bileğinden oluşmaktadır.

İki ayaklı robot istenilen parametrelere göre tasarlanmıştır. Robotun yapısı, basit, hafif, kolay işlenebilen ve kolay montajlanabilen olmalıdır. Alüminyum robot yapısı için malzeme seçilmiştir çünkü hafiftir ve kolay işlenebilir. Cıvatalar ve somunlar robotun montajı için kullanılmıştır. Robotun gövdesinin büyüklüğü bir engelinin ölçüleri alınarak tasarlanmıştır. SolidWorks programı iki ayaklı robotun mekanik tasarım için kullanılmıştır. Robot parçaları üniversitenin makine atölyesinde imal edilmiştir. Bazı parçaların imalatında da tezgâh kiralama yoluyla sanayiden yararlanılmıştır. Robot prototipin yüksekliği 1100 mm, genişlik 400 mm ve derinliği 300 mm'dir. Robot prototip yapısının teknik çizimleri Ek-3'te mevcuttur.

İki ayaklı robot iki ayak ve bir gövdeye sahiptir. Her ayakta bir diz ve bir kalça eklemleri vardır. İki ayaklı robotun genel yapısı için Şek 3.1'te mevcuttur.



Şekil 3.1. Mekanizmanın genel şeması

3.3.1. Tasarım kriterleri

Bu çalışmanın amacı, basit bir prototip inşa etmektir ve bu prototip gelecekteki araştırmalar için bir platform olarak yürüme mekanizmalarına hizmet verecektir. Bu robotun tasarım kriterlerinden biri, simülasyon modeli ve prototip geliştirmektir. Kâğıt üzerine çizilmiş iki boyutlu bir tasarım geometrisi temelinde hesaplanmıştır.

İki boyutlu bir modelin geliştirilmesi aslında sistemin hareket düzlemine dik yönde hiçbir güç ve ivme olmaması anlamına gelir. Yürüme mekanizmasının basit hareket yapılandırması, bağlantı geometrisi esas olarak sadece tek bir düzlem boyunca hareket etmesi dikkate alınarak hesaplanır. Bu hesaplama, hareket düzlemine dik bir yönde hiç bir hareket olmadığında varsayılmıştır. Bu nedenle, hareket verisi uygulanması için, Prototip hareket düzlemine dik bir yönde herhangi önemli bir sapmadan özgür olması gerekmektedir, böylece herhangi bir aşamada iki boyutlu bir model gibi hareket edecektir.

3.3.2. Tasarım metodolojisi

Geleneksel yaklaşımda iki ayaklı bir tasarım ve optimizasyon için, tasarımcılar genellikle ön morfolojisi seçmişlerdir. Daha sonra önceden seçilmiş mekanik tasarım için bir denetleyici tasarlamışlardır. İki ayaklı ve denetleyici simülasyonda istenen performansa uygulanmıştır. Daha sonra prototip gerçek ortamda inşa edilmiş ve kontrolör parametreleri ayarlanmıştır. Bu yöntemin başarısı robot tasarımcılarını ilk morfolojileri ve sonra performansı daha fazla iyileştirmek için kontrol geliştirmelerini teşvik etmiştir. Tasarım için benzer bir yöntem uygulanarak ilk önce, robot CAD modeli olarak tasarlanmıştır ve sonra dinamik analizi yapılmıştır. Prototip imalatına sistemin başarılı ve istikrarlı bir şekilde yürüyüş içinde uygulanmasından sonra başladı.

3.4. SolidWorks ile Tasarım

3.4.1. Bel

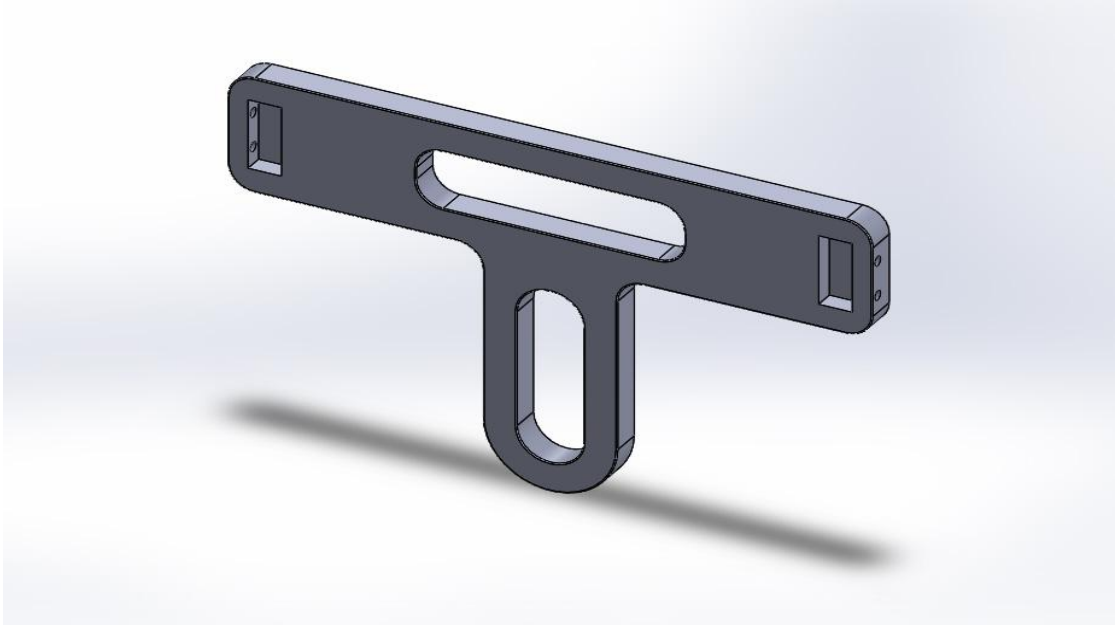
İlk olarak yapılacak cihazın taslağı kâğıt üzerinde çizilmiştir. Bu çizimler birçok kez değiştirildikten sonra son haline gelmiştir. Bu cihazın gerçek ortamda yapılması için bir yürüme engelli vatandaşın boyut ölçüleri alınmıştır. SolidWorks programı yardımı ile uzuvlar teker teker çizilmiş ve ölçülendirilmiştir. Bu uzuvlar; bel, kalça, baldır, diz, ayak bileği ve mafsallardan ibarettir.

İlk olarak bel tasarlanmıştır. Bel için kullanılmış parça insanın beline bağlı olduğundan dolayı sabit kalacak şekilde düşünülmüştür. Bel tasarımında kullanılan ölçüler çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bel parçasının ölçüleri

Bel	Uzunluk	Genişlik	Derinlik
Boyut(mm)	480	280	170

Bel parçası simetrik bir şekilde tasarlanmıştır. Bu cihazı kullanacak yürüme engellinin rahat olması için bel kısmının içi kumaştan bir döşemeyle kaplanmıştır. Bel parçasının CAD çizimi Ek-3'te verilmiştir. Uzuvlar tasarlandıktan sonra mekanizmanın ağırlığı çok önemli parametrelerden biri olacaktır. Ancak, ağırlığı düşürmenin bel uzvunun diğer mekanik özelliklerini olumsuz etkilememesine dikkat edilmiştir. Çizimde görüldüğü gibi bel kısmı tek bir parçadan oluşmaktadır. Bu parçada gerekli olmayan yerlere delik açılmıştır. Bunun nedeni bel kısmının ağırlığın düşürmektir. Bu delikler MOTION ANALYSIS yaptıktan sonra uygun yerlere açılmıştır. Yapılan ağırlık azaltma ve tasarım değişikliği işlemlerinden sonra bel için tasarlanan parçanın kütlesi %50 azaltılmıştır. Bu nedenle çizim bittikten sonra analiz işlemi yapılmıştır. Analiz yapımında pek çok faktör önemlidir ancak en önemli olanlar; deformasyon, gerilme, emniyet faktörü ve yer değiştirme analizleridir. Yapılan analizler dördüncü bölüm verilmiştir ve bir analizin detaylı açıklaması Ek-2'de mevcuttur. Yapılan analizde uzvun kütlesi 3251 g olarak belirlenmiştir.



Resim 3.1. Bel parçasının 3 boyutlu görünüşü

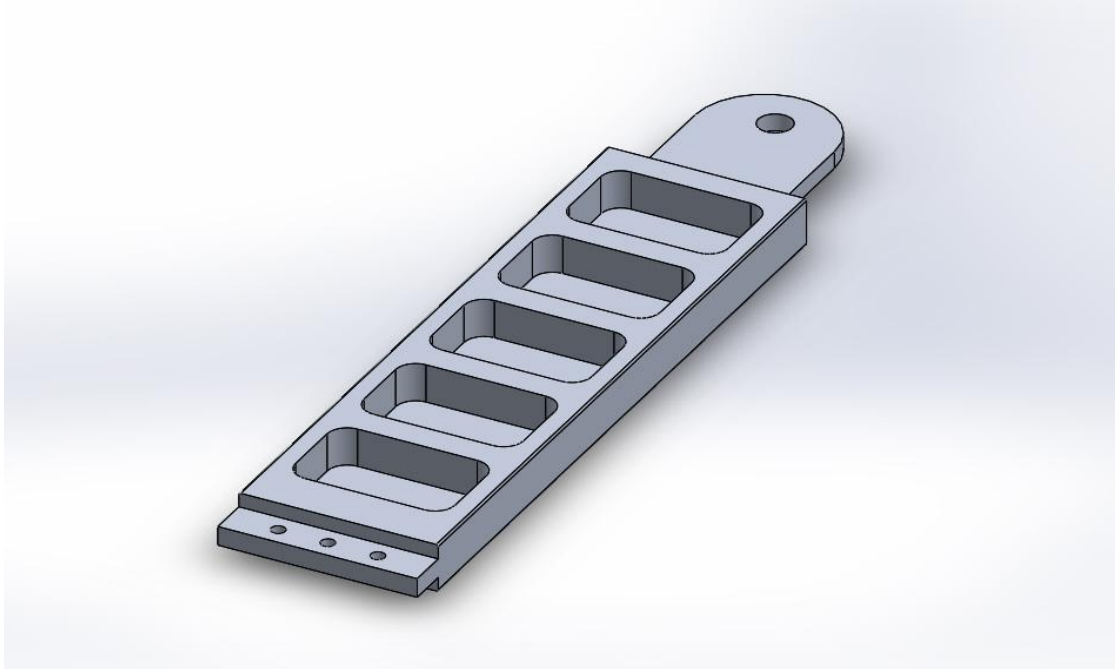
3.4.2. Kalça

İkinci tasarlanan parça kalça kısmıdır, kalça kısmı bel kısmına bağlıdır. Yani bel parçası, kalça parçasına bağlanmak için bir ara bağlantıdan yardım alacağı için bu parçaların eş merkezli olmaları gerekmektedir. Kalça tasarımında kullanılan ölçüler çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kalça parçasının ölçüleri

Kalça	Uzunluk	Genişlik	Kalınlık
Boyut (mm)	460	100	25

Kalça kısmı da bel gibi simetrik bir şekilde tasarlanmıştır. Bu cihazı kullanıldığında ağırlığının hafif olması için kalça kısmı da alüminyumdan üretilmiştir. Kalça kısmının 3 boyutlu görünüşü Resim 3.2’de ve teknik çizimi Ek-3’te verilmiştir.



Resim 3.2. Kalça parçasının 3 boyutlu görünüşü

Kalça parçası da bel parçası gibi tek bir parçadan oluşmuş ve bu parçada da gerekli olmayan yerlere delik açılmıştır. Bunun nedeni kalça kısmının ağırlığını düşürmektir. Bu delikler yine analiz programı kullanarak uygun yerlere açılmıştır. Yapılan işlemlerden sonra kalça kısmının kütlesi %40 azaltılmıştır. Kalça kısmının kütlesi 1484 g olarak belirlenmiştir. Kalça parçasından mekanizmada iki tane mevcuttur. Ayrıca simetrik olduğundan dolayı sadece bir kez tasarlanmış ama iki kez imal edilmiştir.

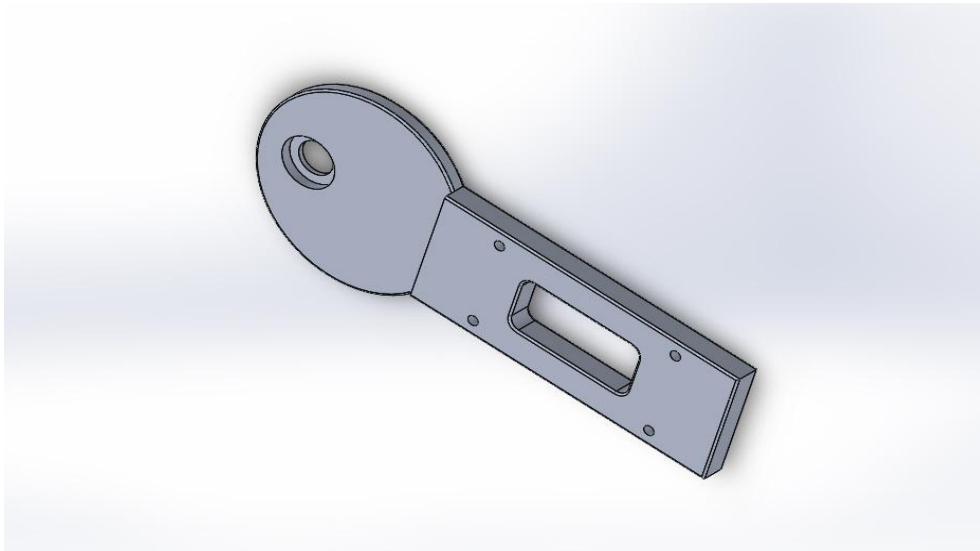
3.4.3. Bel bağlayıcı

Bel parçasını, kalça parçasına bağlamak için bir ara bağlantı parçası kullanılmıştır. Bağlayıcı parça her ayak için iki tane tasarlanmıştır. Parçalar yüz yüze gelip ve bir birilerine vidalanırlar daha sonra parçanın düz tarafı bel kısmının içine girip vidalar yardımıyla bele bağlanmaktadır. Diğer tarafı ise daire şeklinde tasarlanmıştır, bunun amacı hem güzel görünmek hem de hastaya zarar vermemektir. Bu kısım da rulmanlar ve pimler yardımıyla kalça kısmına bağlanmaktadır. Bu bağlantıları sağlamak için parçaların eş merkezli olmaları gerekmektedir. Bağlayıcı tasarımında kullanılan ölçüler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Bel bağlayıcı parçasının ölçüleri

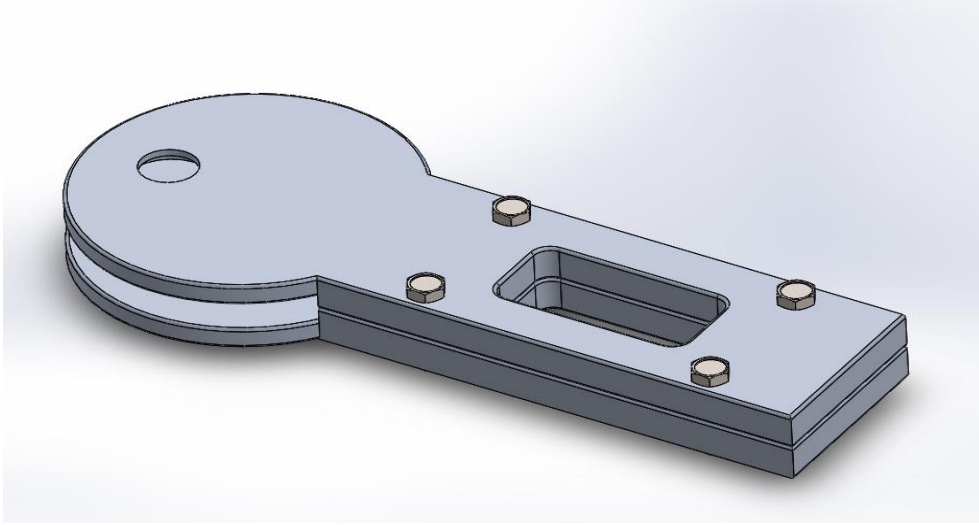
Bel bağlayıcı	Uzunluk	Genişlik	Derinlik
Boyut (mm)	240	60	125

Aynı kavramda bağlayıcı kısmı da diğer parçalar gibi simetrik bir şekilde tasarlanmıştır. Bağlayıcı parçası da alüminyumdan üretilmiştir. Kalça kısmının teknik çizimi Ek-3'te verilmiştir.



Resim 3.3. Tek taraflı bel bağlayıcı parçasının 3 boyutlu görünüşü

Bağlayıcı parçası iki taraflıdır, yani iki tarafı tek bir parça olarak vidalarla bağlanır ve her iki ayak için de kullanılır. Ayrıca bu parçada da gerekli olmayan yerlere delik açılmıştır. Bu delikler aynı şekilde analiz programı kullanarak uygun yerlere açılmıştır. Yapılan işlemlerden sonra bağlayıcı kısmının kütlesi %45 azaltılmıştır. Bağlayıcı kısmının kütlesi 386 gram olarak belirlenmiştir. Ancak iki taraf birbirine vidalar yardımıyla bağlandıktan sonra, kütlesi 800 g olmuştur. Bu parçadan mekanizmada toplam dört tane mevcuttur. Parçaların bir birine eşleşmeleri için simetrik olmaları gerekmektedir.



Resim 3.4. Çift taraflı bel bağlayıcı parçasının 3 boyutlu görünüşü

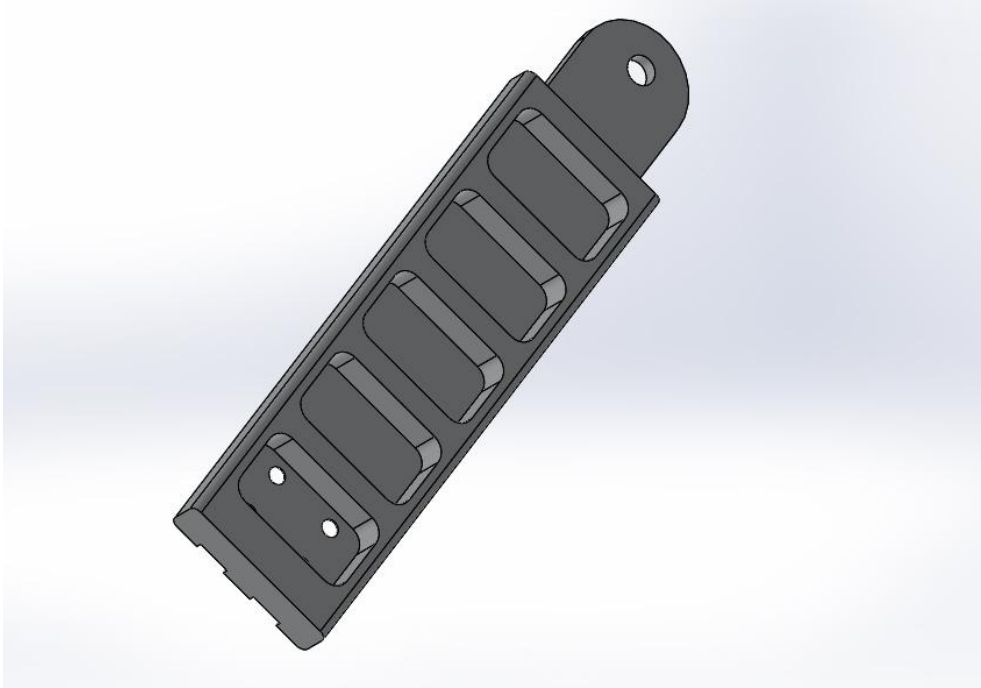
3.4.4. Baldır

Baldır parçasının tasarımı kalça kısmına yakındır ancak baldırla kalçayı bir birine bağlamak için bir bağlantı parçası kullanılmaktadır. Baldır tasarımında kullanılan ölçüler Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Baldır parçasının ölçüleri

Baldır	Uzunluk	Genişlik	Derinlik
Boyut (mm)	430	100	25

Baldır kısmı simetrik bir şekilde tasarlanmıştır. Baldır parçası Resim 3.5’te verilmiştir.



Resim 3.5. Baldır parçasının 3 boyutlu görünüşü

Baldır parçasında da yapılan işlemlerden sonra kütle %60 azalmıştır. Yapılan analiz sonrasında uzvun kütlesi 1355 g olarak belirlenmiştir. Teknik çizim Ek 3' te mevcuttur.

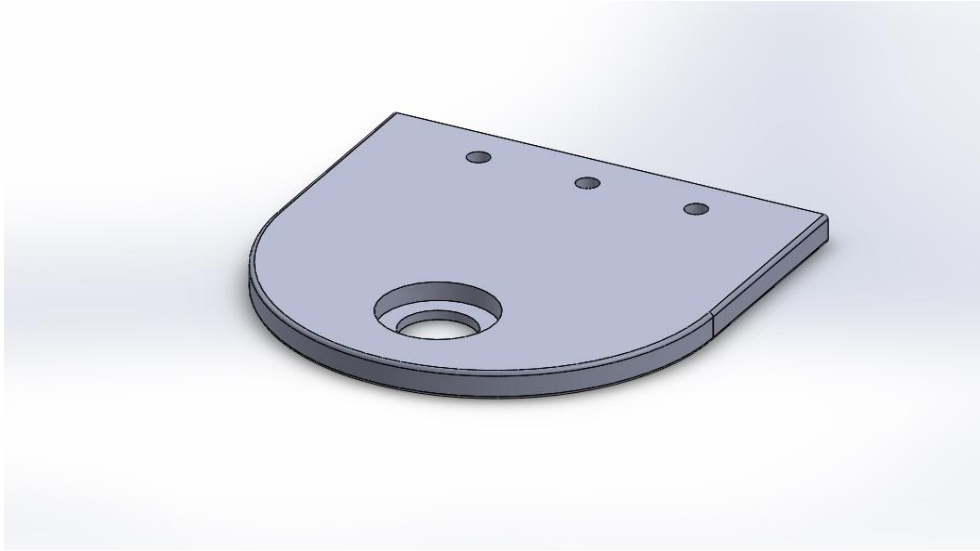
3.4.5. Diz bağlayıcı

Baldır ile kalçayı bir birine bağlamak için bir ara bağlantı parçası kullanılmıştır. Bağlayıcıdan 1 tanesi tasarlanmıştır ve her iki ayakta da simetrik olduğundan dolayı 4 tane imal edilmiştir. Her ayakta iki tane diz bağlayıcı bir birilerine vidalanırlar daha sonra parçanın alt tarafı kalça kısmına vidalanır. Diğer tarafı ise bel bağlayıcısı gibi daire şeklinde tasarlanmıştır. Bel bağlayıcısında olan sistem diz bağlayıcısında da aynen vardır. Yani rulmanlar ve pimler yardımıyla baldır kısmına bağlanmaktadır. Bu bağlantıları sağlamak için parçaların eş merkezli olmaları gerekmektedir.

Çizelge 3.5. Diz bağlayıcı parçasının ölçüleri

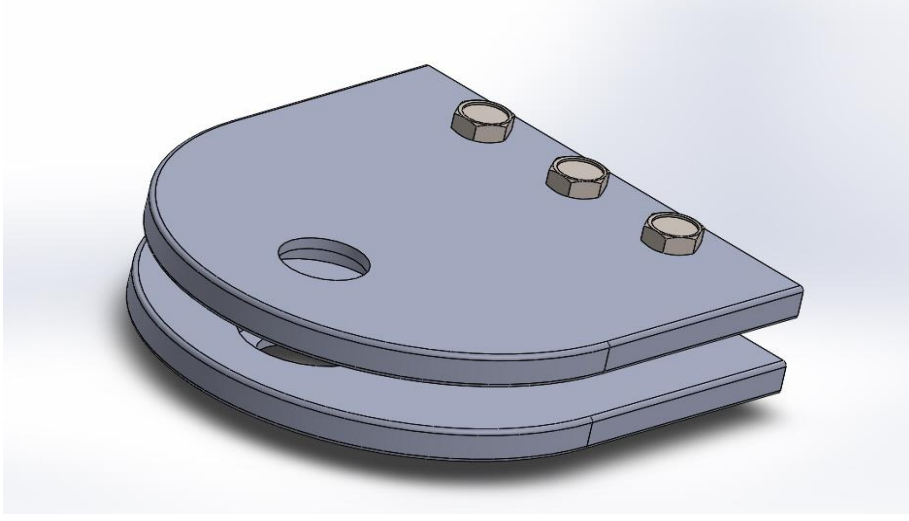
Diz bağlayıcı	Uzunluk	Genişlik	Derinlik
Boyut (mm)	100	100	75

Diz bağlayıcısı diğer parçalar gibi simetrik bir şekilde tasarlanmıştır. Diz bağlayıcı kısmının resmi Resim 3.6’da verilmiştir.



Resim 3.6. Tek taraflı diz bağlayıcı parçasının 3 boyutlu görünüşü

Bel bağlayıcısı gibi diz bağlayıcısı da iki taraflıdır. Bunun nedeni hem imalatı hem de montajı kolaylaştırmaktır. Bağlayıcı kısmının kütlesi 64 g olarak belirlenmiştir ancak iki taraf birbirine vidalar yardımıyla bağlandıktan sonra, kütlesi 140 gram olmaktadır. Bu parçadan da mekanizmada toplam dört tane mevcuttur. Parçaların bir birine eşleşmeleri için simetrik olmaları gerekmektedir.



Resim 3.7. Çift taraflı bel bağlayıcı parçasının 3 boyutlu görünüşü

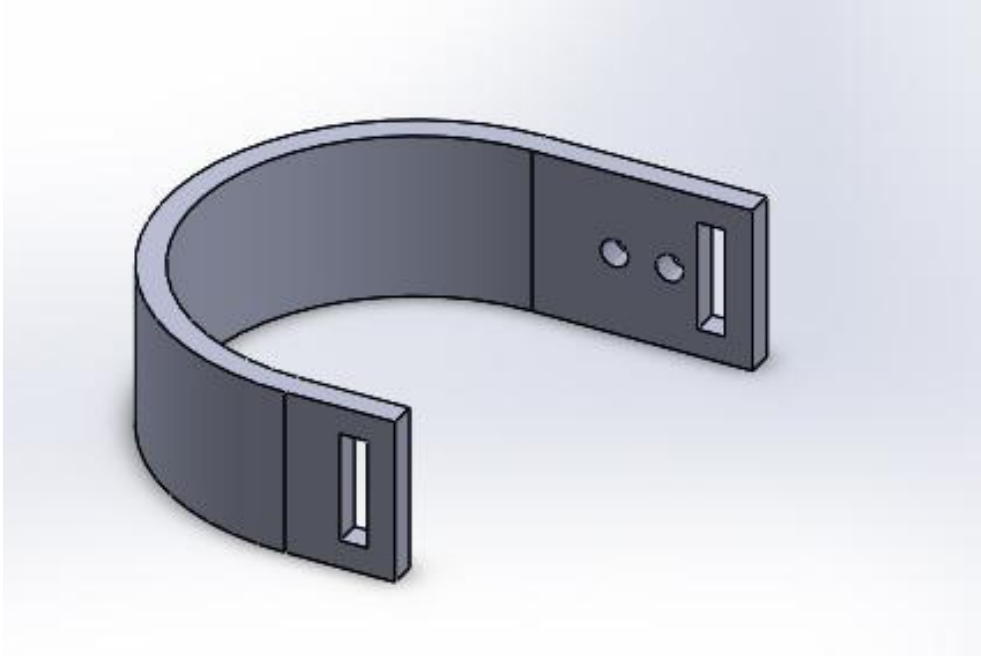
3.4.6. Bağlantı elemanları

Tasarım ihtiyaçları doğrultusunda sistemde; cıvatalar, somunlar ve çeşitleri rulmanlar kullanılmıştır. Tasarımın birçok bölümünde standart dışı uzunluklarda sökülebilir bağlantı elemanlarına ihtiyaç duyulmuş olup bu durumda özel imalatlar söz konusu olmuştur.

Bu bölümde bağlantı elemanları tasarlanmıştır. Bağlantı elemanları mekanizmayı insana bağlı tutacak bir şekilde SolidWorks ortamında tasarlanmıştır. Bu elemanlar plastikten üretilmiştir. Kalça bağlantı elemanının ölçüleri Çizelge 3.6’da verilmiştir. Bu bağlantı elemanı insanın kalçasını yapay kalçaya kemerler yardımı ile bağlamıştır. Bu sayede mekanizma harekete başlayınca insan da mekanizmaya bağlı olduğundan dolayı robotla beraber yürümeye başlamıştır. Bağlantı elemanlarının teknik çizimleri Ek-3’te verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kalça bağlantı elemanı ölçüleri

Kalça bağlantısı	Çap	Yükseklik	Kalınlık
Boyut (mm)	170	60	10

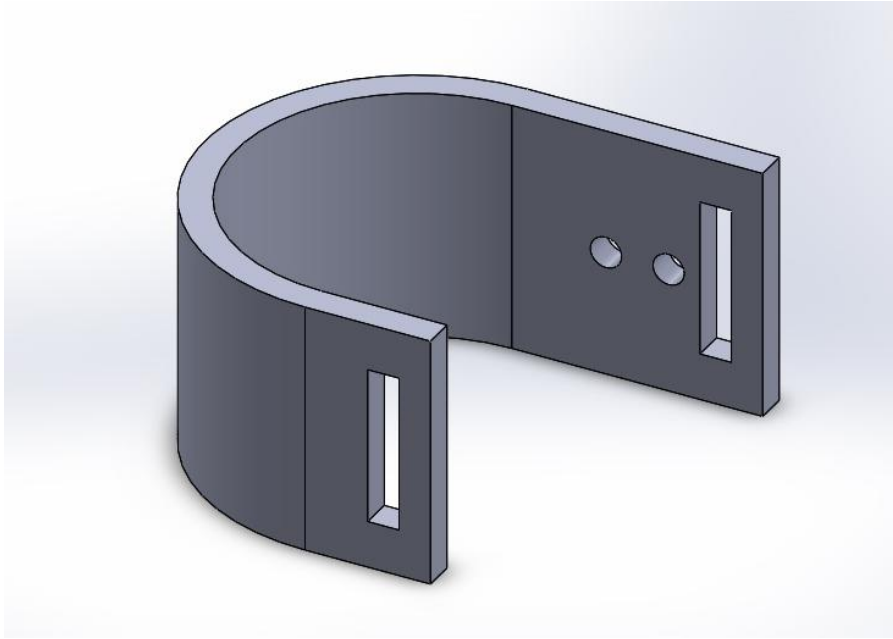


Resim 3.8. Kalça bağlantı elemanı

Baldır kısmında iki tane bağlantı elemanı bulunmaktadır. Dize yakın olan eleman aynen kalçada bulunan elemanın rolünü oynamaktadır. Yani insanın baldırını yapay baldıra kemerler yardımıyla bağlamaktadır. Bu elemanın ölçüleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Baldır-1 bağlantısı ölçüleri

Baldır bağlantısı	Çap	Yükseklik	Kalınlık
Boyut (mm)	130	80	10



Resim 3.9. Baldır-1 bağlantı elemanı

Baldır kısmında ikinci bağlantı elemanı ayak bileğine yakın olan elemandır. Bu eleman aynı zamanda iki rol oynamaktadır. Birincisi, insanın baldırını yapay baldıra kemerler yardımıyla bağlamaktadır. İkinci ise insanın ayakkabısına vidalanmakta ve mekanizma harekete başlayınca insanın da onunla beraber yürümesine kolaylık sağlamaktadır. Baldırda bulunan ikinci bağlantı eleman Resim 3.10’da verilmiştir. Baldır-2 ölçüleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

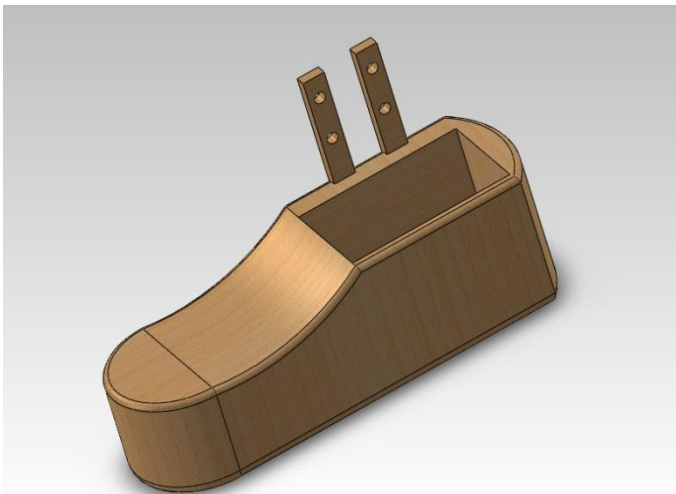
Çizelge 3.8. Baldır-2 bağlantısı ölçüleri

Baldır bağlantısı	Çap	Yükseklik	Kalınlık
Boyut (mm)	100	80	10



Resim 3.10. Baldır-2 bağlantı elemanı

Son olarak montaj kısmında eksik parça olmamak için insanın ayakkabısı bu mekanizmada tasarlanmıştır ama gerçek ortamda mekanizmaya uygun bir ayakkabı kullanılacaktır. Yani ayakkabı esnek bir şekilde baldıra bağlı olacaktır. Esnek olmasının nedeni, insanın ayağını yere basınca devrilme ve düşme ihtimalini azaltmaktır. Ayakkabı baldıra bir çubuk ve vida ile bağlanmıştır. Çubuklarda dönme imkânı vardır. Ayakkabının diğer tarafı da baldırda bulunan bağlantı elemanına bağlanmış ve böylece yürüme engellinin yürüyüşünü kolaylaştırmıştır. Ayakkabının görünüşü Resmi 3.11’de verilmiştir. Son olarak bağlantı elemanları uygun bir vida ile önceden tasarımda belirlenen yerlere vidalamamıştır.



Resim 3.11. Sanal ayakkabı

3.5. SolidWorks ile Montaj

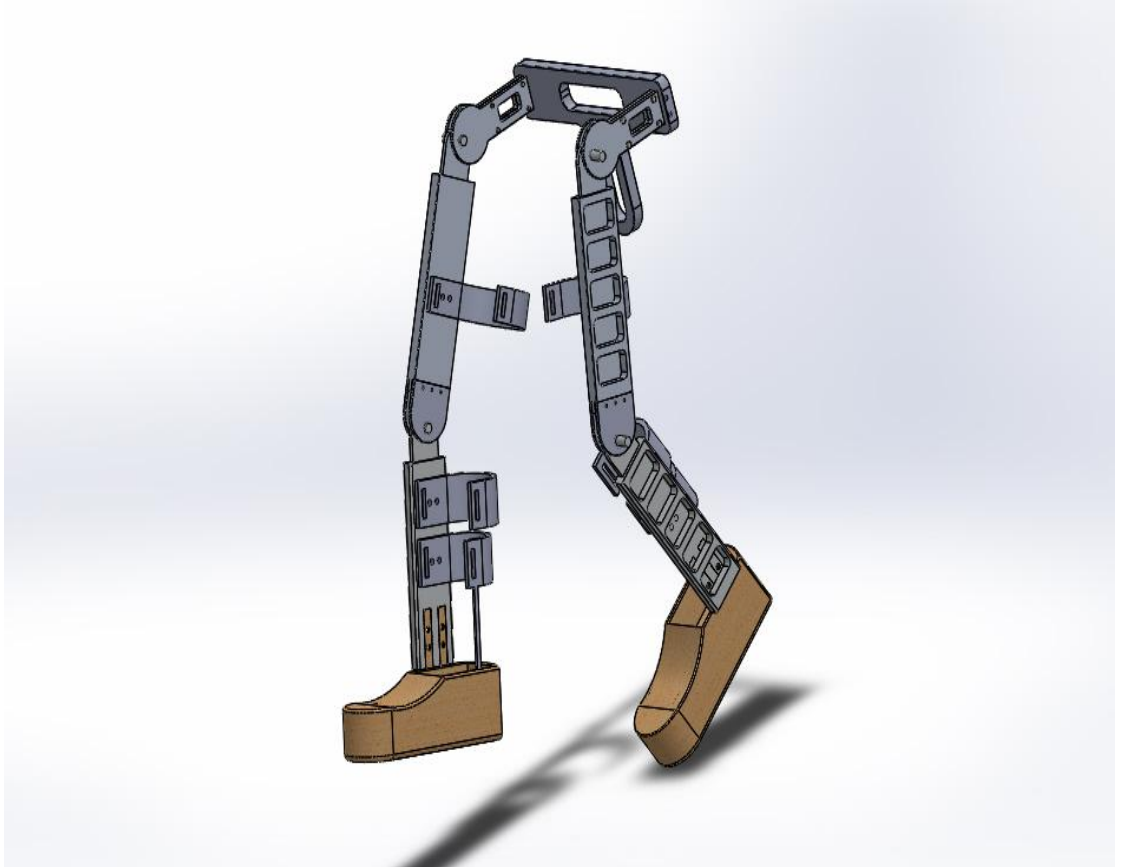
Modelin parçalarına gerçek malzeme özellikleri SolidWorks ortamında uygulanmış olup ve parçaların kütlesi, geometrisi ve sertliği ortaya çıkmıştır. Modelin önce, statik kararlılığı için test edilmiş daha sonra montaj ortamında dinamik olarak da test edilmiştir. Daha fazla moment ihtiyacını azaltmak amacıyla, uygun noktalarda kütle azaltılmıştır. Bu tasarımda geliştirilmiş özelliklerinden biri bataryaları bel etrafında eşit dağıtmaktadır, diğeri ise gerçek ayakkabı kullanmaktır bu iki özellik robotun dengesini sağlamakta yardımcı olmaktadır. Bu nedenle sistemin, statik ve dinamik denge bölgesi arasındaki çalışmasına izin verilir. Mafsallar arası mesafe ayarlanabilir yapılmamıştır, bundan dolayı bu robot sadece belli ölçüde olan insanlar için kullanılabilir. İlk olarak sistem, statik bir yük ile yüklenmek için imal edilmiştir. Ayrıca tahrik edici doğrudan bağlı olan parçayı sürebilmektedir.

İki ayaklı robotun tasarım felsefesi, mümkün olduğu kadar basit olmasıdır, bundan dolayı engelli vatandaş onu kolayca kullanabilir, ancak tasarımın basit olması, insanın yürüyüşünü sergiletemeyecek anlama gelmez. Bu amaçla robot 4 serbestlik dereceli ve iki ayaklı imal edilmiştir. Bu robotun bir beli, iki bacağı, iki ayağı, iki ayakkabısı ve bir gövdesi vardır. Ayrıca 6 mafsallı vardır. Bunlardan 4'ü DC motorlar yardımıyla dönmektedir ve geriye kalan iki mafsallı ayak bileğine aittir. Robotun kütlesini düşürmek için parçalar alüminyumdan üretilmiştir. Buna ek olarak, gerekli analizler yapıldıktan sonra parçalarda delikler açılmıştır ve mekanizmanın toplam ağırlığı %50 daha azaltılmıştır. Kontrol devreleri gövde üzerine ve bataryalar özel tasarlanan kemer içine yerleştirilmiştir. Bu mekanizmada dengeyi daha iyi sağlamak amacıyla gerçek ayakkabı kullanılmıştır. Ayrıca mekanizma plastik bağlantılar ve kemerler yardımıyla engellinin ayaklarına bağlanmıştır.

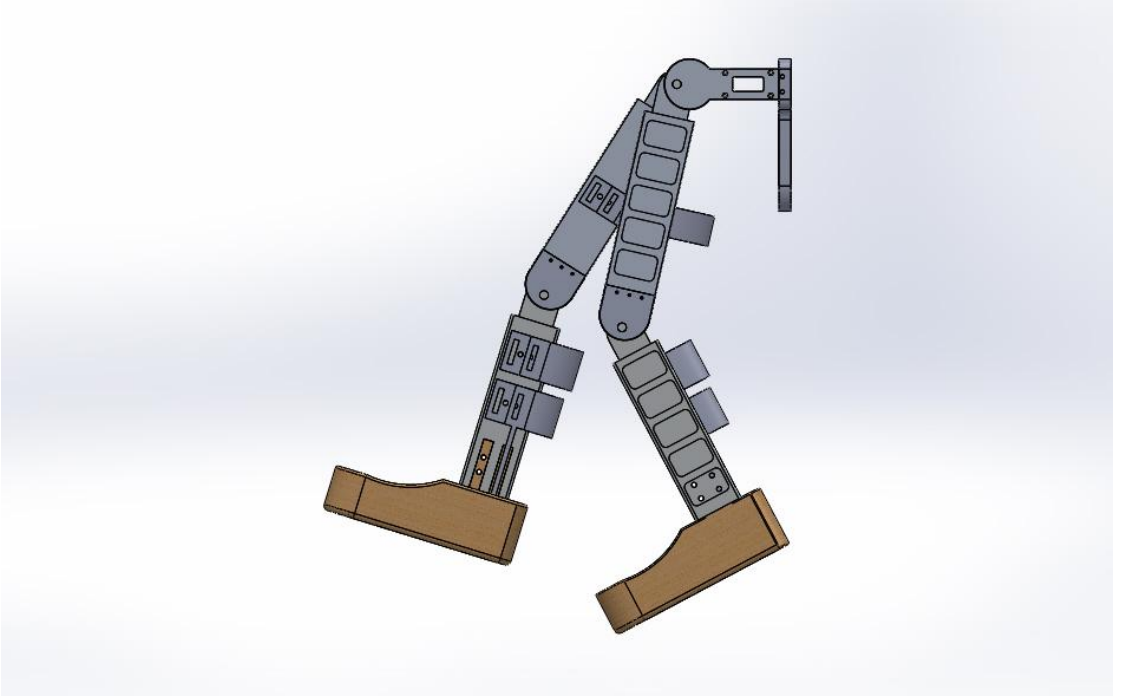
Tüm tasarımlar bittikten sonra montaj kısmına geçilmiştir. Montaj kısmı projenin en önemli kısımlarındandır. Bu nedenle montaj kısmında pek çok faktöre dikkat edilmelidir. Tüm uzuvlar SolidWorks programında montaj sayfasına getirildikten sonra uygun yerlerde birbirlerine eşleştirilmiştir. İlk olarak da bel kısmı montaj sayfasına getirilmiştir. Bel kısmı sabit olarak düşünülmektedir. Daha sonra kalça

kısmı bel bağlayıcı yardımıyla bele bağlanmıştır. Kalça kısmının bele göre açısal hareketi vardır. Bu hareket $(-30,+30)$ dereceler arasında sınırlıdır. Motor kalçanın mafsalında yerleştirildikten sonra belirlenen mesafeler arasında ve belirli bir hızla çalışmaktadır ve bu kalçanın dönmesini sağlamaktadır.

Son olarak baldır SolidWorks programında montaj sayfasına getirilmiştir. Baldır da aynı şekilde kalçada bulunan mafsallara bağlanmıştır ve belirli bir açılar arasında dönmektedir $(-45,0)$. Baldırda bulunan mafsala motor konulmuştur ve bu motor baldırın dönmesine yardımcı olmuştur. Bağlantı elemanları ve özel ayakkabı uygun yerlere yerleştirildikten sonra mekanizmanın montajdan sonraki görünüşleri Resim 3.12-14'te görülmektedir.



Resim 3.12. İki ayaklı mekanizmanın 3 boyutlu görünüşü



Resim 3.13. İki ayaklı mekanizmanın yan taraftan görünüşü



Resim 3.14. İki ayaklı mekanizmanın arka taraftan görünüşü

4. SİMÜLASYON ve ANALİZ

4.1. Simülasyona Giriş

Bu bölümde parçaların gerçek ortamda nasıl bir yük altında olacakları ve ne türlü tepki gösterecekleri SolidWorks 'un simülasyonu yardımıyla analiz yapılmıştır. Yapılan mühendislik hatalarından doğan zararları ve zaman israfını önlemek ve güvenilir bilgiye erişmek için bilgisayar destekli mühendislik programları geliştirilmiştir. SolidWorks'un simülasyonu programı en pratik sunulan çözümlerdendir. Tasarımı yapılan modelin gerekli mühendislik hesapları bu yöntem ile hesaplatılabilmektedir. Yapılan hesapların sonucu görsel olarak model üzerinde gerçekçi bir şekilde gösterilmiştir. Bu sayede yapılan tasarımların mühendislik özellikleri bilinmekte ve imalatı en optimum şartlarda yapılmaktadır. Böylelikle hem zaman hem de malzeme israfı önlenmiş olmaktadır.

4.2. Statik Analizin Aşamaları

- Bir statik analiz çalışmasının oluşturulması
- Parçaya malzeme atanması
- Kuvvet ve basınç yükünün uygulanması
- Örgü seçeneklerinin ayarlanması
- Modülün çalıştırılması
- Statik analizlerin sonuçlarının gözlenmesi
- Gerekli olan yerlerde revize işlemi

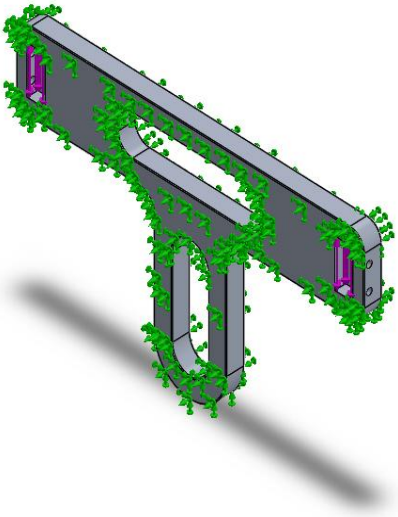
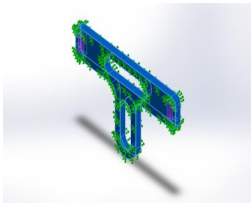
Yapılmış olan analizde insan kütlesi 100 kg yani yaklaşık 1000 N olarak belirlenmiştir. Böylece her ayak ve her mafsala hangi güçler altında olduğu netleşmiştir.

4.3. Parçaların Simülasyon Analizleri

4.3.1. Bel

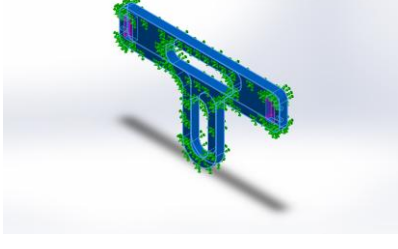
Bel parçasının kütlesi 3251 gram olarak belirlenmiştir. Bel parçası arkasından sabitlenmiştir. Belirlenen noktalarından toplam 1000 N aşağıya (yere dik doğrultuda) kuvvet uygulanmıştır. Bu kuvvet insanın kütlesi ile birlikte kullanılacak batarya, motor vb. ağırlığından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.1. Bel parçası özellikleri

 Model name: waist		
Solid Bodies		
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties
Fillet6 	Solid Body	Mass:3,25183 kg Volume:0,00120438 m³ Density:2 700 kg/m³ Weight:31,8679 N

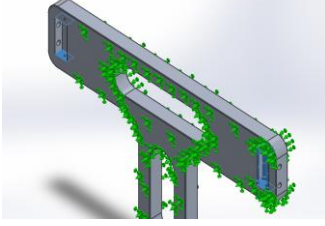
Bel ve diğer parçaların tasarımında malzeme olarak (6061) alüminyum kullanılmıştır. Bunun nedeni belin ağırlığını azaltmaktır. Bu malzemenin özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. (6061) Alüminyum malzemesinin özellikleri

Model Reference	Properties
	Name: 6061 Alloy Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength(Akma): 55,1485 N/mm² Tensile strength(Gerilme): 124,084 N/mm²

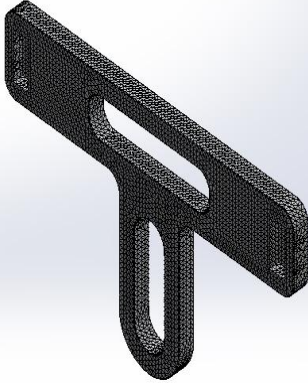
Bu bölümde bel parçasında belirlediğimiz yerlerde toplam 500 N kuvvet uygulanmaktadır.

Çizelge 4.3. Bele uygulanan kuvvetler

Load name	Load Image	Load Detail
Force-1		Entities: 4 face(s) Type: Apply normal force Value: 500 N

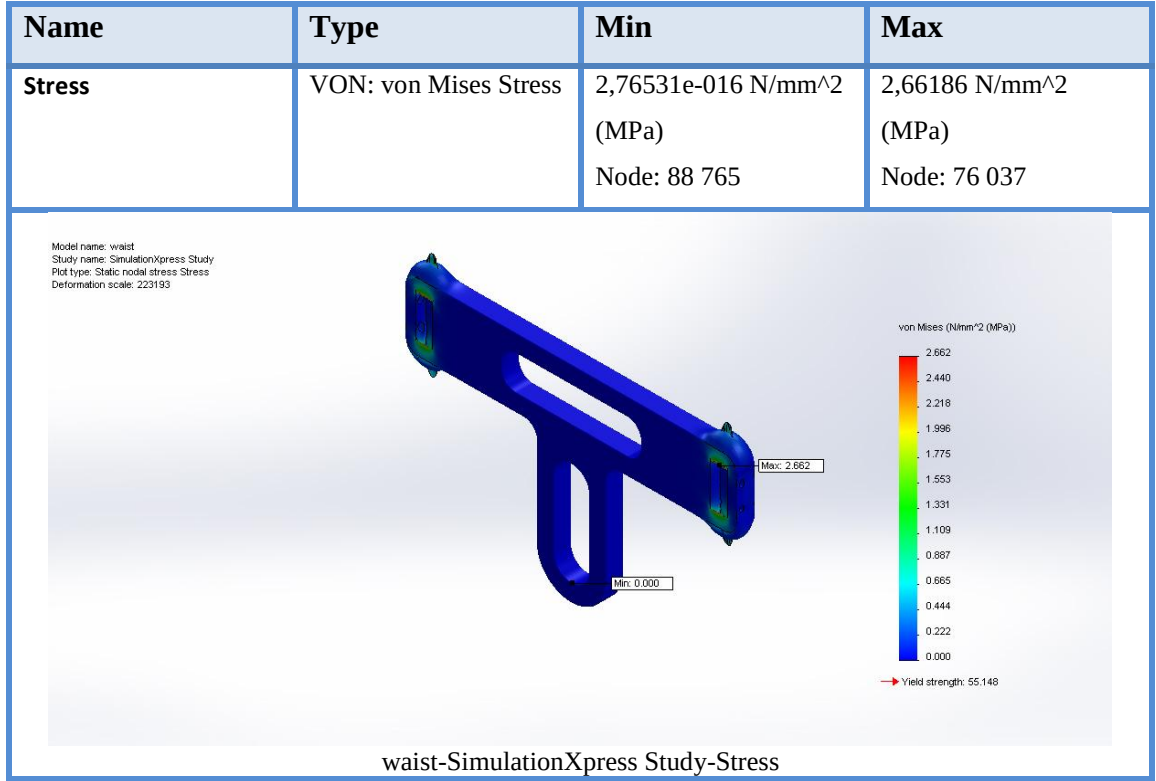
Örgüde kullanılan yöntem eğrilik tabanlı örgüdür, iyi sonuçlar elde etmek için yukarı kalitede örgü tipi kullanılmıştır. Toplam düğümler 89 220’dir ve toplam elemanlar 57 163 adettir ve maksimum boy oranı 15,295’dir. Bu örgü 4 saniyede sonuçlanmıştır.

Çizelge 4.4. Örgü özellikleri

Total Nodes	89 220
Total Elements	57 163
Maximum Aspect Ratio	15,295
% of elements with Aspect Ratio < 3	95
% of elements with Aspect Ratio > 10	0,035
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:04
Computer name:	MOHAMMAD-PC
Model name: waist Study name: Simulation/press Study Mesh type: Solid mesh 	

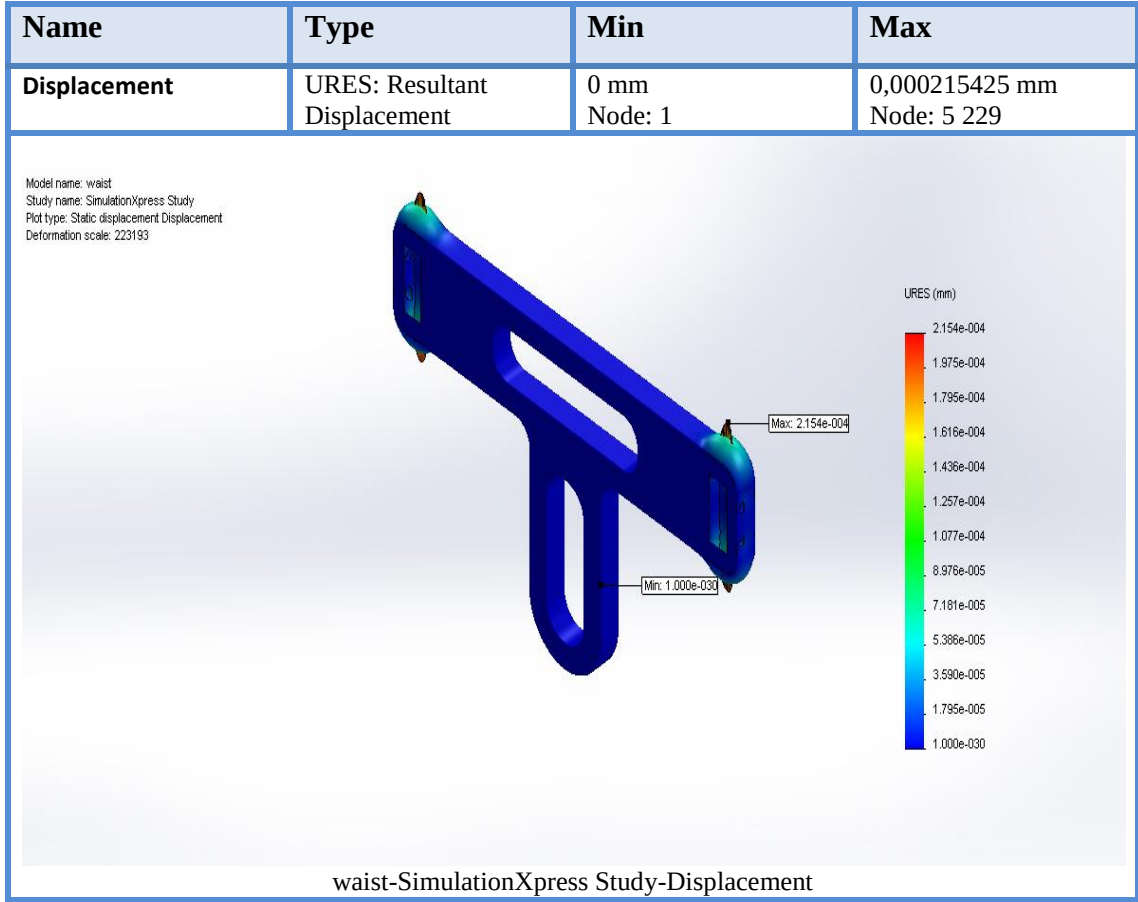
Daha sonra bel kısmının maksimum ve minimum gerilme miktarları analiz edilmiştir. Minimum gerilme miktarı $2,76531e-016$ (MPa)'dır ve bu gerilim çok düşük bir miktardır. Bu gerilim sabit tutulan yerde oluşmuştur. Sabit olan yerlerde kuvvetin etkisi az olmaktadır, bu analiz de onu göstermektedir. Maksimum gerilim miktarı $2,66186$ (MPa)'dır. Bu gerilim kuvvetin uygulandığı yerlerde meydana gelmiştir. Yani o kısımlarda $2,66$ (MPa) bir gerilim var, bu gerilim alüminyumun gerilim noktasının altındadır ve o kısımlarda bir sorun oluşturmamaktadır. Gerilim miktarı $55,1485$ (N/mm²)'den fazla olsaydı bel parçasının belirli kısımlarda kırılma ihtimali olacaktı. Bu nedenle uzvun tasarımı ve ölçüleri önemli rol oynamaktadır.

Çizelge 4.5. Gerilim analizi



Bu bölümde bel parçasının ne kadar yer değiştireceği analizin söz konusudur. Sabit olan yerlerde kaydırma çok çok azdır, yani hemen hemen sıfırdır. Parçada kırmızı olan yerlerde maksimum 0,000215425 mm yer değiştirme vardır çünkü bu noktalarda kuvvet uygulanmıştır. Bel parçasının deformasyonu ve yer değiştirme miktarları aşağıda verilmiştir. Mavi renkli olan yerlerde deformasyon çok düşüktür yani sıfır düşünülebilir, yeşil ve sarı bölgelerde çok küçük deformasyon söz konusudur. Ancak Kırmızı bölgelerde deformasyonun maksimum olduğu gözükmemektedir.

Çizelge 4.6. Yer değıştirme analizi



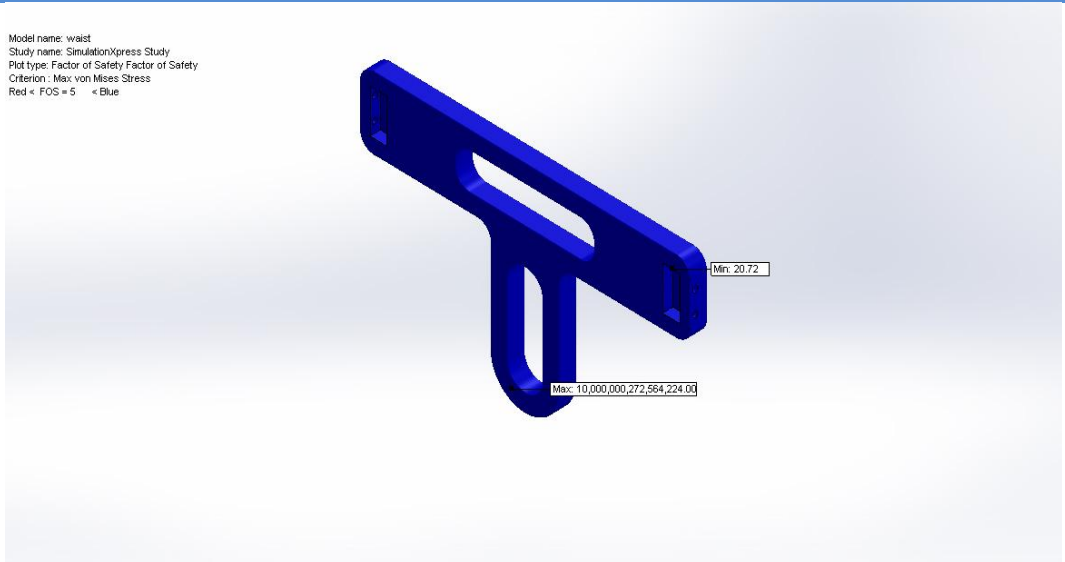
Son olarak emniyet faktörünün analizi yapılmıştır. Emniyet faktörünün değeri ne kadar büyük olursa uzvumuz o kadar güvenilir hale gelir. Yapılan mekanizmada insanın hayatını tehlikeye atmamak için minimum emniyet faktörü (FOS=5) düşünülmektedir. Bu değeri (FOS=5) mekanizma için oldukça uygun bir değeriştir. Mekanizmanın minimum FOS=20,71'dir. Bu mekanizmada engelli vatandaş dengesini daha iyi kontrol etmek için baston kullanmaktadır. Böylece emniyet faktörü, uzuvlara çok kuvvet yüklenmemesinden dolayı yüksek olmaktadır. Emniyet faktörünün miktarı aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$(FOS = \text{Akma mukavemeti} / \text{maksimum Von Mises gerilimi} = 20,71)$$

Çizelge 4.7. Emniyet faktörü

Name	Type	Min	Max
Factor of Safety	Max von Mises Stress	20,718 Node: 76 037	1e+016 Node: 11

Model name: waist
Study name: SimulationXpress Study
Plot type: Factor of Safety Factor of Safety
Criterion: Max von Mises Stress
Red < FOS = 5 < Blue

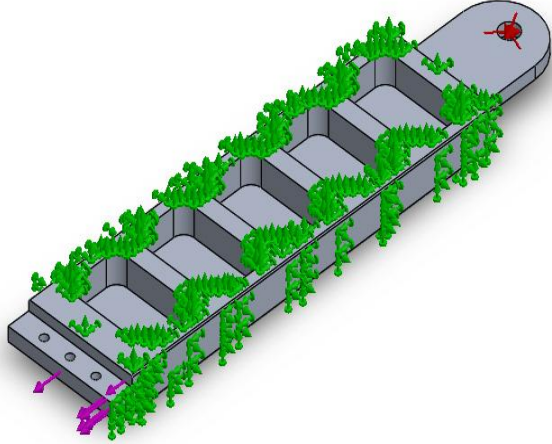
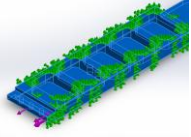


waist-SimulationXpress Study-Factor of Safety

4.3.2. Kalça

Kalça parçasında uzvun kütlesi analizlere göre 1484 g olarak belirlenmiştir. Kalça bağlayıcı parçasıyla bel parçasına bağlanmıştır. Belirlenen noktalarından kuvvet uygulanmıştır ve bu kuvvetlerin etkisi analizlerde gösterilmiştir. Analiz yöntemi bel ile aynı olduğundan dolayı analiz sonuçları Ek-2’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kalça parçası özellikleri

 Model name: Thigh		
Solid Bodies		
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties
Fillet9 	Solid Body	Mass:1,48418 kg Volume:0,000549698 m ³ Density:2 700 kg/m ³ Weight:14 545 N

Kalçadaki maksimum ve minimum gerilme miktarları sırasıyla 0,999595 (MPa) ve 1,45886e-014 (MPa)'dır. Bu sefer de gerilim miktarı alüminyumun gerilim noktasının altındadır ve o kısımlarda bir sorun oluşturamamaktadır.

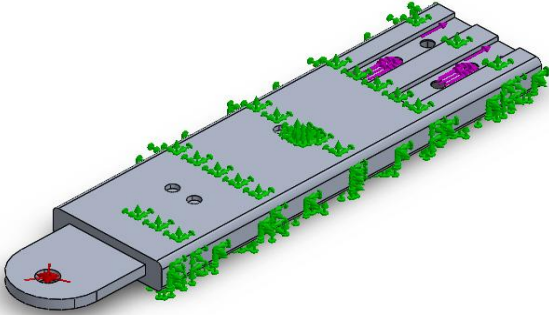
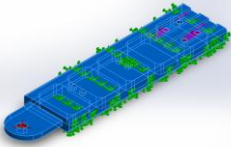
Daha sonra yer değiştirme analizi yapılmıştır. Yine de Sabit olan yerlerde kaydırma çok çok azdır, yani hemen hemen sıfırdır. Maksimum yer değiştirme miktarı 0,000181455 mm'dir. Son olarak emniyet faktörünün analizi yapılmıştır. Emniyet faktörünün değeri ne kadar büyük olursa uzvumuz o kadar güvenilir hale gelir.

Kalçanın emniyet faktörü 55,17 olarak tespit edilmiştir. Bu değer, kalçaya fazla kuvvet uygulanmadığından yüksektir.

4.3.3. Baldır

Baldır parçasında uzun kütlesi 1355 gram olarak belirlenmiştir. Kalça da bağlayıcı bir parçayla baldıra bağlanmıştır.

Çizelge 4.9. Baldır parçası özellikleri

 Model name: Shank		
Solid Bodies		
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties
Fillet8 	Solid Body	Mass:1,35574 kg Volume:0,000502127 m³ Density:2 700 kg/m³ Weight:132 863 N

Kalçadaki maksimum ve minimum gerilme miktarları sırasıyla 1,54512 (MPa) ve 2,225e-010 (MPa)'dır. Daha sonra yer değiştirme analizi yapılmıştır. Maksimum yer değiştirme miktarı 0,000288542 mm'dir. Baldırın emniyet faktörü 35,69'dur.

5. PARÇALARIN CNC ile İMALATI

5.1. CNC' ye Giriş

Günümüzde insan iş gücü gereksinimini azaltmak ve seri imalata yani fabrikasyona geçebilmek için makineler ve takım tezgâhları tasarlanmıştır. Uzun yıllar bu tezgâhlarda köklü değişiklikler olmamıştır. Ama sürekli bir gelişme kaydedilmiştir. Çağımız bilgisayar teknolojisine bürünmesi, metal kesme işlerinde bir çağ açmış olmaktadır. Bu olay genellikle "Bilgisayar Destekli Nümerik Kontrol" olarak isimlendirilir. Kısa adlandırılması ise CNC'dir. CNC tezgâhları metal ve diğer tür malzemelerin talaş kaldırmak suretiyle işlenmesinde kullanılan her türlü takım tezgâhında yaygın olarak uygulanmaktadır. Mekanizmanın parçalarının imalatında alttaki tezgâhlar kullanılmıştır:

- CNC freze tezgâhı
- Torna tezgâhı
- Matkap tezgâhı
- Pres tezgâhı
- Elektrikli testere

Parça programlarını oluşturan komut ve parametrelerin standart nümerik (sayısal) ve alfa nümerik (alfa sayısal) değer ve anlamları vardır. CNC takım tezgâhlarının fiziksel tasarım ve konstrüksiyonları kendine özgüdür. Teknolojik gelişmeyle birlikte birçok fonksiyonel özellik bu tür tezgâhlara ilave edilmiştir.

CNC tezgâhının bazı özellikleri:

Tezgâha yüklenmiş olan parça programları kontrol ünitesi hafızasında saklanabilir, buradan çağrılarak defalarca işletilir. Tezgâh kontrol ünitesini besleyen özel bir güç kaynağı mevcuttur. Tezgâhın enerjisi kesilse bile program vb. veriler muhafaza edilir. Parça programı üzerinde yapılması düşünülen değişiklikler istenildiği anda ve kolaylıkla yapılır. Değiştirilmiş olan program son şekliyle hem işletilir hem de

hafızada saklanır. Bazı rutin operasyonlar program içerisinde döngüler şeklinde tanımlanır ve gerekli yerlerde kullanılır. Programlama esnasında iş parçasının boyu dikkate alınarak orijin kaydırmaları yapılması gerekebilir. Ayrıca kesici telafisi kolaylığı ile kesici uçlarındaki farklı yarıçaplar, CNC kontrol ünitesi tarafından programın işletimi esnasında yapılır. Kullanılan kesici kırıldığında ve aynı çapta başka bir kesici bulunamadığı durumlarda farklı çaptaki kesici ile programa kalınan yerden devam edebilme kolaylığı sağlar. Kontrol ünitesi yeni kesicinin çapına göre gerekli ölçü kaydırmaları yapar. Alın tornalama, konik ve kavis işleminde iş parçasının çapı sürekli olarak değiştiğinden buna bağlı olarak devir sayısının da değişmesi gerekir. Bunun sonucu olarak CNC takım tezgâhlarında ideal çalışma koşulları sağlanmış olur.

5.2. CNC Kodları

Makine sıfır noktası G53 üretici firma tarafından belirlenen noktadır. Daha sonra G54 programcı tarafından seçilen başlangıç noktasıdır. Tezgâh tüm hareketlerini bu noktaya göre yapar. Bu noktanın görevi kesiciler için tanıtım noktasıdır. Ölçülendirme bu nokta dikkate alınarak yapılır.

5.2.1. Programlama

6061 alaşımlı alüminyum istediğimiz boyutlarda yetkili firma tarafından kesildi bel parçası için 500*300*30 (mm), kalça için ikişer tane 450*120*30 (mm), baldırlar için 470*120*35 (mm) ve rulman parçaları için 200*100*15 (mm) olarak 8 tane kesildi, daha sonra CNC atölyesinde bu mekanizmanın parçaların üretmek için temel seviyede programlar yapılmıştır; parçalar tezgâh üzerine ya da tezgâhın üzerinde bulunan mengeneye bağlanmışlar. Programlamada doğrusal, açısal hareketler, her tür dikdörtgen ve dairesel cep boşaltma işlemleri yapılmıştır.

Çizelge 5.1. Kalça ve baldırda kullanılan CNC kodları

Program 1:	Alt Program:	Program2:	Alt Program:
O0088 ;	O00200 ;	O0040 ;	O0041 ;
G54 ;	G91 ;	G54 ;	G91 G01 Z-1 F75.
G90 ;	G01 Z-0.5 F50. ;	G90 ;	;
S3000 M03 ;	G90 X8. F200. ;	S3500 M03 ;	G90 G02 X32.5
G00 Z10. ;	X110. F400. ;	G00 Z100 ;	Y32.5 R32.5
G0 X110. Y8. ;	M99 ;	G0 X0. Y0. ;	F200. ;
G01 Z-2.5 F300. ;	%	G01 Z-1.5 F300. ;	G91 G01 Z-1 F75
M98 P10200 ;		M98 P90041 ;	;
G0 Z100. ;		G0 Z100. ;	G90 G03 X0. Y0.
M30 ;		M30 ;	R32.5 F200. ;
%		%	M99 ;
			%

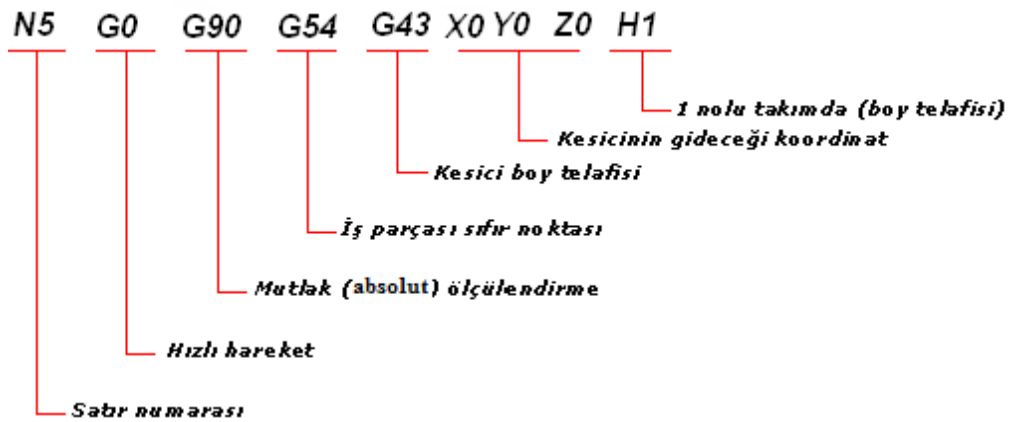
Çizelge 5.2. Bağlayıcılarda kullanılan CNC kodları

Program3:	Alt Program:	Program4:	Alt Program:
O0050 ;	O00100 ;	O0070 ;	O0071 ;
G54 ;	G91 ;	G54 ;	G91 G01 Z-1.
G90 ;	G01 Z-1 F100. ;	G90 ;	F75. ;
S3500 M03 ;	G90 Y9. F200. ;	S3500 M03 ;	G90 X0. Y0.
G00 Z30. ;	Y40. F400. ;	G00 Z50. ;	F200. ;
G0 X0 Y0. ;	M99 ;	X0. Y-40. ;	X30. ;
G01 Z-6 F500 ;	%	G01 Z-9 F500. ;	G91 Z-1. ;
M98 P50100 ;		M98 P90071 ;	G90 X0. ;
G0 Z100 ;		G00 Z50. ;	Y-40. ;
M30 ;		M30 ;	M99 ;
%		%	%

Çizelge 5.3. Belde kullanılan CNC kodları

Program5:	Alt Program:	Program6:	
O0080 ;	O0081 ;	O0011 ;	X25. ;
G54 ;	G91 G01 Z-0.75	G54 ;	Y10. ;
G90 ;	F75. ;	G90 ;	X40. ;
S3500 M03 ;	G90 Y44.5	G90 ;	Y70. ;
G00 Z50. ;	F150. ;	S3500 M03 ;	X10. F500. ;
X-9.5 Y35. ;	X9.5 ;	G00 Z150. ;	Y10. ;
G01 Z-17.5	Y35. ;	G0 X10. Y10. ;	X40. ;
F500. ;	G91 Z-0.75	G00 Z10. ;	Y70. ;
M98 P90081 ;	F75. ;	G01 Z-2. F75. ;	G0 Z250. ;
G00 Z100. ;	G90 Y44.5	Y70. F150. ;	M30 ;
M30 ;	F150. ;	G01 Z-2.5 F75. ;	%
%	X-9.5 ;	;	
	Y35. ;	Y70. F150. ;	
	M99 ;		
	%		

Bu kodların okuma şekli alttaki gibidir.



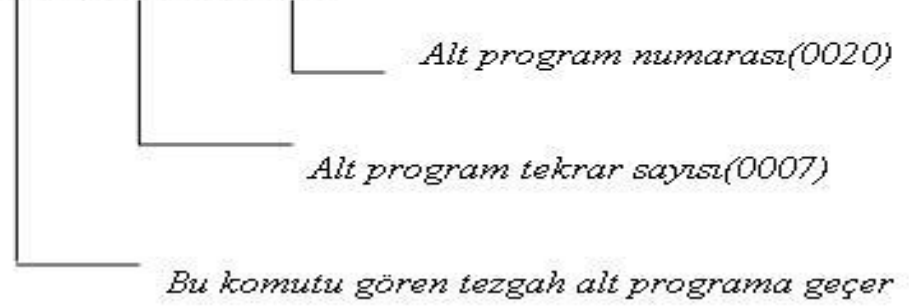
Şekil 5.1. CNC kodlarının okuma şekli

İş parçasının değişik bölgelerinde tamamı aynı olan işlemler yapılacaksa, bu işlemlerden bir tanesi için bir alt program yazılır ve kesici işlemin başlangıç noktasına gönderilerek alt program çağırılır. Böylelikle daha kısa bir programla işlem gerçekleştirilmiş olur.

M98= Alt program çağırma.

M99= Alt program sonu, ana programa dönüş.

Format= M98 P00070020



Şekil 5.2. Alt program çağırma

5.3. Parçaların İmalatı

4 serbestlik dereceli bu insansı robot alüminyum levhalar ve plastik malzemeler ile inşa edilmiştir. Bu robotun iki bacağı, iki ayağı, iki ayakkabısı ve bir gövdesi vardır. Her bacakta diz ve ayak bileği mafsalları vardır. Ayak bileği eklemi hariç, tüm eklemler DC motorlar ve dâhili enkoderler ile harekete geçirilir. Bu çalışmada tasarlanan iki ayaklı sistemin mekanik yönlerini daha fazla odaklanılmıştır. Bu sistemin temel yapı tasarımı yedi bağlantı ve dört motorlu mafsaldan ve iki motorsuz mafsal oluşmaktadır. Bu parçalar 6061 alaşım alüminyumdan üretilmiştir. Mümkün olan yerlerde gerekli analizler yapılarak parçaların ağırlığını düşürmek için delikler açılmıştır. CNC tezgâhı, parçaları istenilen şekillere getirmek için kullanılmış. Ayrıca bu tezgâha ait olan G ve M kodları EK-1’de verilmiştir. Matkap tezgâhı delik delme işlemi için, torna mafsallarda kullanılacak pimleri istenilen çapa tornalamak için ve son olarak pres makinesi de montajlama sırasında kullanmıştır. İmalatta kullanılan CNC tezgâhı Resim 5.1’de ve montajda kullanılan pres makinesi de Resim 5.2’de görülmektedir.



Resim 5.1. CNC tezgâhı



Resim 5.2. Montajda kullanılan pres makinesi

5.3.1. İmalat ve montaj aşamalarının görsel hali



Resim 5.3. Parçaların işlenmemiş hali



Resim 5.4. Parçaların testere ile kesilmeleri

Parçalar testere ile kesildikten sonra istenilen boyutlara getirildiler. Daha sonra uygun yerlere delik delmek için noktalama cihazıyla delinecek yerler noktalıdır.



Resim 5.5. Noktalama cihazı



Resim 5.6. CNC masası üstünde mengene



Resim 5.7. CNC ile parçaların yüzeylerin temizleme

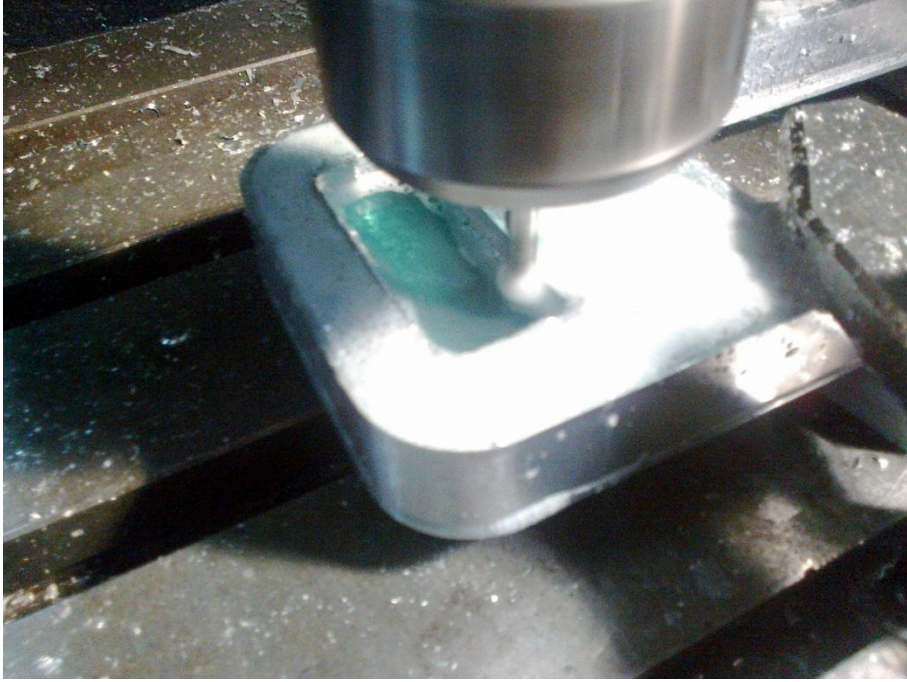
Parçalar mengene yardımıyla CNC masası üstüne sabitlenirler. Böylece yüzey temizleme ve cep açma işlemleri ve kavisli olan yerlerde özel programlar yazılarak kavis işlemi yapılmıştır.



Resim 5.8. Cep açma işlemi



Resim 5.9. Kesicinin kavis işlemi



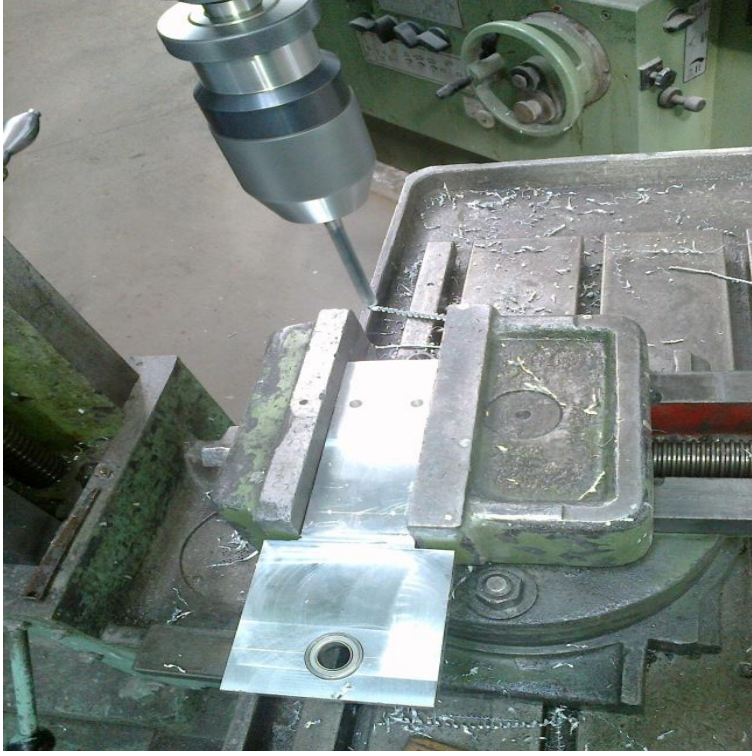
Resim 5.10. Küçük cep açma işlemi



Resim 5.11. Eğeleme işlemi

Farklı ceplerde farklı kesiciler kullanılmıştır. Kesiciler bazen yüksek sıcaklıktan dolayı kırılmışlardır. Bu sorunu önlemek için soğutma sıvısı kullanılmıştır.

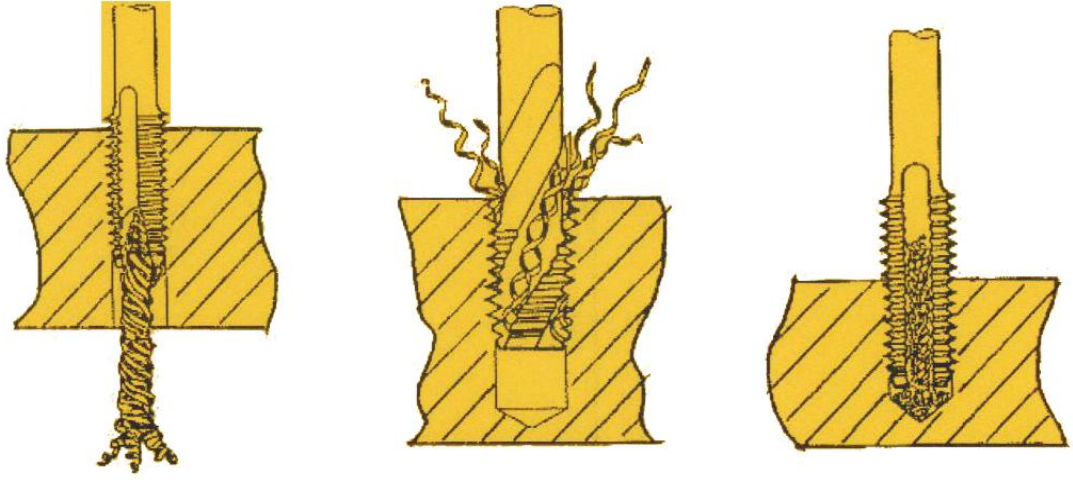
Parçaların imalatı bittikten sonra parçaların köşeleri keskin olduğundan ve engelliye zarar verdiğinden eğelenerek çapları düzeltilmiştir.



Resim 5.12. Matkap ile delik delme işlemi



Resim 5.13. Rulmanlar ve bağlantı elemanları



Resim 5.14. Kılavuzla vida açma işlemi

Matkap tezgâhı ile cıvatalar için delik delinmiş, daha sonra kılavuz kullanılarak vidalar açılmıştır. Son olarak parçalar bir araya getirilmişler ve pres makinesi ve bağlantı elemanları yardımıyla son montaj yapılmıştır. Montajdan sonraki hali Resim 5.15’de görülmektedir.



Resim 5.15. Mekanizmanın montajlanmış hali



Resim 5.16. İki ayaklı cihazın motorlar takılmadan önce montajı

6. YÜRÜYÜŞ YÖRÜNGELERİ ve KONTROL

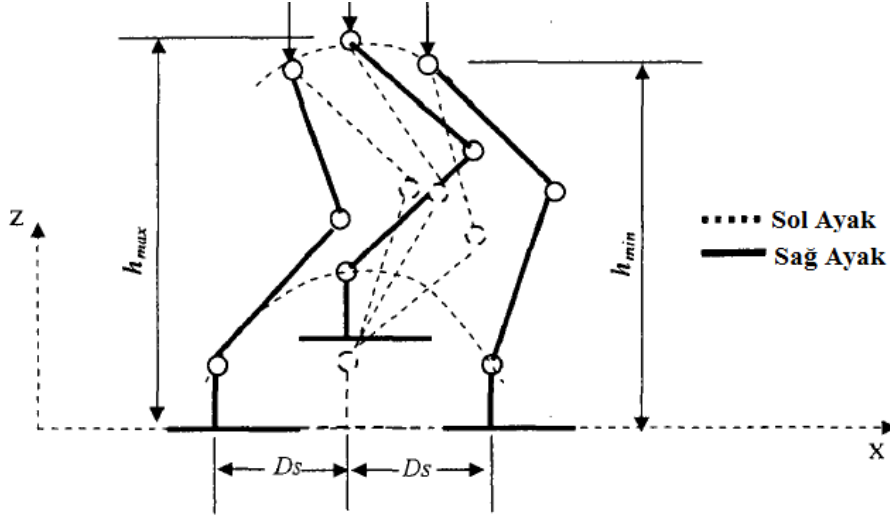
6.1. İnsan Hareketi Benzetimi

İnsan yürüyüşüne benzer bir şekilde, iki ayaklı robot yürüyüşünün periyodik hareketleri vardır. Tam bir yürüyüş döngüsü iki aşamadan oluşmaktadır: Çift fazlı destek ve tek fazlı destek. Çift fazlı destekte iki ayak da yerle temastadır. Hâlbuki tek fazlı destekte bir ayak yerle temastadır ve diğer ayak arkadan öne sallama hareketi yapmaktadır. Sistemin istikrarlı halinde ve hiçbir hareket olmadan kendi ayağı üzerinde durması zordur. Denge için SMN ve diğer parametreler gereklidir. Bunun için engelli baston kullanarak mekanizmanın ve kendisinin dengesini sağlayabilmektedir. Analizi basitleştirmek için, ayağın her zaman zemin ile aynı seviyede olduğu ve ayak tabanının yere her zaman paralel olduğu varsayılmaktadır. Üst vücut her zaman dik konumda tutulur ve yürüme döngüsü oturma konumundan itibaren başlar. İki ayaklı robot yedi rijit bağlantı ile birleştirilir. Bunlar; bir bel, iki bel ile diz bağlantısı, iki kalça ve iki baldırdır. Bu bağlantılar altı tamamen döner eklemler ile birbirine bağlanmışlar. İki mafsalsal kalçada, iki mafsalsal dizde ve iki mafsalsal ayak bileğindedir. Ayrıca kalça ve dizdeki döner eklemler bağımsız motor tarafından tahrik edilir ama ayak bileği bağımsız dönmemektedir ve motor mevcut değildir. Daha kolay analiz yapmak için tüm eklemler sürtünmesiz düşünülmüştür.

6.1.1. Kalça yörüngeleri

Kolaylık olması açısından, kalçanın sadece X ve Z koordinatları, yörünge için dikkate alınır. Y koordinatının sabit olduğu kabul edilmiştir. Şek. 6.1. kalça yörüngesi için yürüyüş parametrelerini gösterir. Kalça tek destek fazlı aşamasında en yüksek konumuna (konum-2) ulaşır ve bu noktada yükseklik h_{max} olarak işaretlenir. Bu noktada, ayak bileği ve kalça eklemleri aynı dikey çizgi üzerinde olduğu düşünülmektedir. Kalça tek destek fazlı aşamasının başlangıcında (konum-1) ve bitişinde (konum-3) en düşük konumuna ulaşır ve bu noktada yükseklik h_{min} olarak işaretlenir. Ayrıca h_{max} ve h_{min} arasındaki mesafe çok küçük olduğundan dolayı bu

projede h_{max} ile h_{min} eşit düşünülmüştür. Kalçanın kat ettiği mesafe D_s ile gösterilmiştir ve bu mesafe sol ayağın arkasında ve önünde eşittir.



Şekil 6.1. Kalça yörüngeleri

6.1.2. Yürüyüş yörüngelerinin tasarımı

Yörünge planlaması yürüyen iki ayaklı robotlar için çok önemlidir. Böylece eklem açısı aralığı kısıtlamalarının tüm yürüme döngüsü boyunca yerine getirilmesi gerekir. Yürüme yörüngeleri için temel bir gereklilik, düzgün yürüyüş deseni elde etmektir. Ayak ve kalça yörüngeleri biliniyorsa, iki ayaklı robotun bütün eklem yörüngeleri ile tespit edilebilir. Bu nedenle, yürüme şekli iki ayak ve kalça yörüngeleri tarafından tanımlanır.

Yürüyüş yörüngeleri, tasarımı kolaylaştırmak için aşağıdaki hareketlere ayrılmıştır:

1. Başlangıç

İlk 10 saniye başlangıç için kullanılır. Robot ilk 5 saniyede çalışmaya başlar ve ikinci 5 saniyede ana konumuna gelir.

2. Ağırlığın sola kayması

Yürüme döngüsü bu adımdan başlar. 10. ve 17. saniyeler arasında robot ağırlığını 5 saniyede sol bacağına doğru kaydırır ve 2 saniye bu pozisyonda kalır.

3. **Sağ ayak salınımı**

17. ve 25. saniyeler arasında robot sağ ayağını kaldırır ve arkadan öne doğru hareket verir daha sonra yere indirir.

4. **Ağırlığın arkaya kayması**

Robot sağ ayağını yere bastıktan sonra 2 saniye bekler ve daha sonra 27. ve 35. saniyeler arasında ağırlığını arkaya doğru kaydırır.

5. **Mevcut konumu tutmak**

Robot 35. ve 40. saniyeler arasında aynı konuma yeniden gelir. Böylece, robotun tam yürüme döngüsünün ilk yarısı tamamlanmış olur.

6. **Ağırlığın sağa kayması**

Robotun yürüme döngüsünün ikinci yarısı, robotun ağırlığını 40. ve 47. saniyeler arasında sağa kaymasıyla başlar ve o konumda 2 saniye bekler.

7. **Sol ayak salınımı**

47. ve 55. saniyeler arasında robot sol ayağını kaldırır ve arkadan öne doğru hareket verir, daha sonra yere indirir.

8. **Ağırlığın arkaya kayması**

Robot sol ayağını yere bastıktan sonra 2 saniye bekler ve daha sonra 55. ve 60. saniyeler arasında ağırlığını arkaya doğru kaydırır.

9. **Mevcut konumu tutmak**

Robot 60. ve 65. saniyeler arasında aynı konuma tekrar gelmiş olur ve bir sonraki yürüme adımları 2. aşamadan başlar ve 2. ve 9. aşamalar arasında tekrarlanır.

6.1.3. Mekanizmanın yürüme desenleri

Bu mekanizmanın yürüyüşü periyodik bir olgudur. Sistem dinlenme durumundan başlarken, yüksek derecede bir bozukluk göstermedi ve bu nedenle başlangıç

kararlılığını kordu. Bu robotu yürütmek ve mafsalları açısall yer değıştirme için bir dizi komut verildi. İki ayak robotun ayağı yerle temas ettiğinde, tüm vücut harekete başlamadan geçici olarak dinlenme durumuna gelir. Bu aşama çift destek fazı olarak adlandırılmıştır. Tam yürüme döngüsü iki aşamadan oluşmaktadır: tek destek fazı ve çift destek fazı. Tek destek fazında, bir ayak yere sabitken, öteki havada arkadan öne doğru sallanmaktadır. Çift destek aşamasında, iki ayak yer ile temas halindedir. Tek adımları, sağ ayağın topuğu yerden ayrıldığına başladığı ve daha sonra zemin ile ilk temasta sona erdiği varsayılmıştır. Hâlbuki çift adımlar, sol ayağın topuğu yerden ayrıldığına başlar ve yer ile ilk temasında sona erer.

6.1.4. Hareket için kısıtlamalar

Sistemin kinematik özgürlüğü ayak yörüngesi için büyük miktarda kısıtlamalar getirmektedir. Bu durum kalça ve baldırın açısall hareketlerini ve kat edilecek mesafeyi sınırlamaktadır. Ayrıca aşırı derece kısıtlamalar sistem ve parçaların hareketi için zorluklar yaşatabilir. Bu mekanizmada kalça en fazla -30 ile +30 derece arasında dönebilir. Baldır ise -45 ile 0 derece arasında dönmektedir. Düzleme dik yönde sistemin statik istikrarını desteklemek amacıyla ayak bileği kısmında gerçek ayakkabı kullanmıştır ve buna ek olarak hareketler insanın doğal hareketleri gibi yapılmaktadır. İki ayaklı robotun parametreler listesi Çizelge 6.1’de verilmiştir:

Çizelge 6.1. Robotun parametreleri

		Uzunluk	Genişlik	Derinlik
Ölçüler (mm)	Bel	480	280	170
	Kalça	460	100	25
	Baldır	430	100	25
Ağırlık (g)	Bel	3251		
	Kalça	1484		
	Baldır	1355		
Serbestlik Derecesi	Kalça	1*2	Toplam 4	
	Baldır	1*2		

6.2. Kontrol

6.2.1. Kontrolün genel şeması

Kontrol sistemi, tahrik ediciler, sensörler, kontrolörler ve bir bilgisayardan oluşur. Sürücü olarak tahrik ediciler dişli kafalı DC motorlar, algılayıcı olarak enkoderler ve her ayak için bir mikro kontrolör kullanmaktadır. Mikroişlemciler enkoderlerden eklem açılarının ölçümelerini okuyup ve analiz edip ve daha sonra bilgisayara gönderiyorlar. Eşzamanlı olarak mikro kontrolör, kontrol sinyallerini bilgisayar tarafından alır ve robotu kontrol etmek için devrelere gönderirler. Mikro işlemciler ve bilgisayar arasında transfer olan veriler haberleşme kanalları tarafından uygulanmaktadır. Bir kontrol algoritması ve yürüme desen planlanması ayak ve kalça yörüngeleri bilgisayar üzerinde yürütülmektedir. PLC kontrolörler, tasarlanan yürüme desenine göre iki ayaklı robotun hareketini kontrol etmek için tasarlanmıştır.

6.3. Mekanizmada kullanılan kontrol cihazları

6.3.1. Redüktörlü DC motor

DC Motorlar robotik uygulamalarında ve endüstriyel alanda sıklıkla kullanılmakta olup ucuz ve küçüktürler. Genel olarak 1.5V ile 100V arasında çalışabilmekle beraber 6V, 12V ve 24V motorlar çok yaygın olarak bulunmaktadır. Birkaç bin (dev/dk)'dan, on binlerce (dev/dk)'ya kadar çalıştırılabilirler.



Resim 6.1. Redüktörlü DC motor

6.3.2. Motor sürücüleri

İki ayaklı robotta dört benzer motor sürücüsü vardır. Her motora bir sürücü uygulanmaktadır. Sürücüler 12V güç kaynağı ile çalışır ve sürekli bir 3A akım sağlar. Çıkış 1 ve Çıkış 2 gelen çıkış voltajı yön girişine uygulanan bir PWM sinyali ve girişten gelen 5V ile kontrol edilir. Çıkış voltajı %50 görev döngüsü bir PWM sinyali için 0V'dır. %50 az olan PWM sinyalinin görev döngüsü motorun bir yönde dönmesini, düşük görev döngüsünü ve yüksek çıkış voltajını sağlamaktadır. %50 fazla görev döngüsü motorun ters yönde dönmesini, yüksek görev döngüsünü, yüksek çıkış voltajını ve yüksek motor hızını sağlamaktadır.



Resim 6.2. Motor Sürücüsü

6.3.3. Batarya grupları

Lityum iyon pil bir çeşit yeniden doldurulabilir pildir. Çoğunlukla elektronik araçlarda kullanılır. Ağırlıklarına, büyüklüklerine oranla verebildikleri yüksek enerji ile en iyi pil çeşitlerinden biridir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu pillerde hafıza etkisi yoktur ve kullanılmadıkları zamanlardaki enerji kayıpları azdır. Uygunsuz kullanılmaları halinde tehlikeli olabilirler. Gerekli önlemler alınmaz ise diğer pil türlerine göre ömürleri daha kısa olabilir. Yapılan proje çalışmasında şarj kapasitesi yüksek pil hücreleri kullanılmıştır.

6.3.4. Kontrolör

Mikrodenetleyici; verileri bir program içerisinde depolama özelliğine sahip olan tek bir bilgisayardır. Mikrodenetleyicilerin bu özelliği onları mikroişlemcilerden ayırır. Mikrodenetleyicilerde bir CPU (Central Process Unit), RAM (Random Access Memory), ROM (Read Only Memory), input - output (giriş - çıkış I/O) uçları, seri ve paralel portlar, sayıcılar (counter) ve bazı mikrodenetleyicilerde de analog'dan dijital'a (A/D) ya da dijital'dan analog'a (D/A) çeviriciler (konvertör) bulunur. Projede tasarım sürecine bağlı olarak ihtiyaç duyulan denetleyici alınmıştır. Hareketler, konum bilgileri, sensörler, sürücüler ve motor hareketlerine bağlı olarak tasarım oluşturulmuştur. Ayrıca ayak hareketlerinin matematiksel modeline uygun çevresel birimleri olan ve hızlı işlem yapabilme kapasitesine sahip yeni model mikrodenetleyici seçilmiştir.

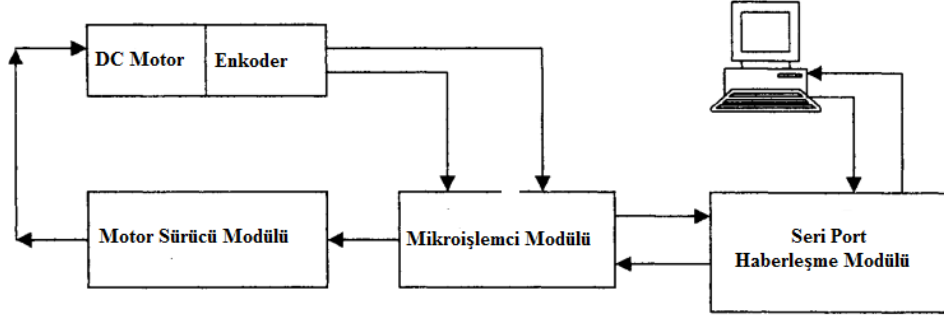
6.3.5. Sensör

Yürüme destek cihazında konum hareketleri enkoderler ile okunmuştur. Enkoder, bağlı olduğu şaftın hareketine karşılık, sayısal (dijital) bir elektrik sinyali üreten elektromekanik bir cihazdır. Döner harekette kullanılan değişik enkoder çeşitleri mevcuttur. Artımlı ve mutlak enkoder en yaygın kullanılan çeşitleridir. Artımlı enkoderde enerji gittiğinde konum bilgisi kaybolur. Mutlak enkoder de ise enerji gittiğinde bile konum bilgisi muhafaza edilir. Mafsalda oluşan hareket değişimini 10-12 bit mutlak enkoder ile okunması planlanmıştır. Bu sayede eklem yerinin hareket açısı net okunabilmiştir. Ayrıca yük hücreleri kullanılarak yürüme destek cihazının yüzey temasları tespit edilmiştir.

6.4. Donanım Tasarımı

İki ayaklı robot kontrol sistemi tahrik ediciler, sensörler ve kontrolörlerden oluşmaktadır. İki ayaklı robot kullanılan tahrik ediciler DC motorlardır. Kalçalar ve baldırlar 15:1 iletim oranı ile MG 2025 dişli kafa motorları tarafından tahrik edilir. Bu robotta kullanılan sensörler, dişli kafalı DC motorlarda inşa edilmiş artımlı

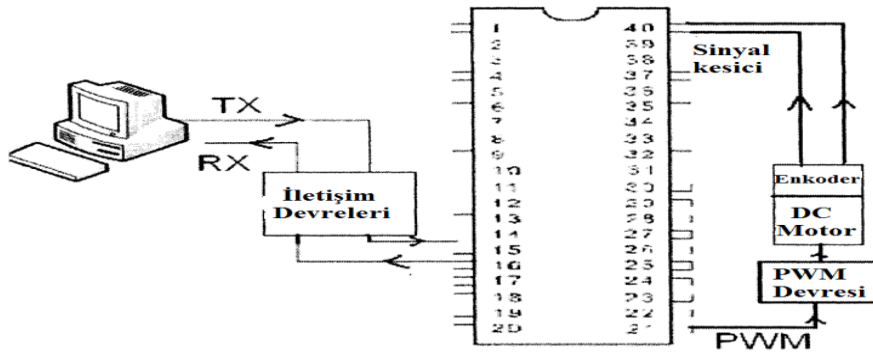
enkoderleridir. Kodlayıcılara 5V güç kaynağı gerekir ve onların çözünürlüğü devrimin başına 500 darbedir. Kontrolör dört motor sürücüsü, iki mikroişlemci, iki iletişim devresi ve bir bilgisayardan oluşur.



Şekil 6.2. Donanım tasarımı

6.4.1. Mikroişlemciler

İki mikroişlemcisi, mekanizmanın kontrol sisteminde kullanılmaktadır. Her bir bacak bir tarafından kontrol edilir. İki sinyal kesici, enkoderlerin A kanalının darbelerini sayar, dolayısıyla pozisyon ölçümlerini kaydedebilir. Enkoderlerin B kanalı sinyaller üreterek motorların dönme yönünü test etmek için kullanılır. Mikroişlemcide INT1 ve INT2 sırasıyla, birinci ve ikinci motordaki enkoderin A kanalına bağlanır. PB1 ve PB2 sırasıyla, birinci ve ikinci motordaki enkoderin B kanalına bağlanır. İki PWM kanalı iki motorda PWM sinyallerini üretmek için kullanılır.



Şekil 6.3. Mikroişlemciler

Robotlar için kullanılan yaygın üç türlü tahrik ediciler vardır: Hidrolik ve pnömatik tahrik ediciler ve elektrik motorları. Elektrik motorlar tahrik edici olarak seçilir, çünkü onlar daha hafif ve kontrolleri diğer tahrik edicilere göre daha kolaydır. Dört eklem için kullanılan elektrik motoru da aynıdır.

6.4.2. İletişim devreleri

İki benzer iletişim devresi bilgisayar ve mikroişlemciler arasında veri aktarmak için kullanılır. Veri iletişimi iki MAX232'in seri kanallar tarafından uygulanmaktadır. Seri transfer seçilir çünkü kablolamayı kolaylaştırır ve geniş bir ticari yelpazede desteklenir. Seri haberleşme yüksek hızda önerilmemektedir.

6.4.3. Yazılım tasarımı

İki program iki ayaklı robot için tasarlanmıştır. İlk program, haberleşme programı, mikro denetleyicinin robot ve bilgisayar arasında veri işlemek için kullanılır. İkinci program, kontrol programı, PC bilgisayar tarafından yürüme şekli planlamasını elde etmek ve kontrol algoritmasını uygulamak için tasarlanmıştır.

6.4.4. İletişim programı

İletişim programı kodlayıcı sinyallerini okumak, mikro kontrolör ve bilgisayar arasındaki verileri aktarmak ve motor sürücülerine PWM sinyalleri göndermek için tasarlanmıştır. Ayrıca o Visual Basic dilinde yazılmıştır. İletişim programı aşağıdaki modüllerden oluşmaktadır.

6.5. Kontrol Modülleri

6.5.1. Başlatma modülü

Başlatma modülü aşağıdaki bölümleri içerir:

- Portları başlatma
- USART başlatma
- PWM başlatma
- Kayıt başlatma

6.5.2. Sayaç modülü

Sayaç modülü enkoderlerden örnek verileri saymadan sorumludur. Aşağıdaki gibi üç bölümden oluşur:

- Sinyal kesiciden gelen darbeleri saymaya, INT0
- Sinyal kesiciden gelen darbeleri saymaya, INT1
- Sinyal kesiciden gelen darbeleri saymaya, INT2

6.5.3. Veri işleme modülü

Veri işleme modülü, enkoderler ve bilgisayar arasında veri işleme için sorumludur. Bu modülün içeriği aşağıdaki gibidir:

- Sayaç modülünde veri işleme ve iletişim modülüne göndermek.
- İletişim modülünden PWM veri işlemleri ve PWM modülüne göndermek.

6.5.4. İletişim ve PWM modülü

İletişim modülü iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm veri işleme modülünden veri alır ve bilgisayara gönderir. İkinci bölüm ise PWM verilerini bilgisayardan okur ve veri işleme modülüne gönderir. Bu modül motor sürücü devreleri için PWM sinyallerini üretmekten sorumludur.

6.6. Kontrol Programı

Kontrol programı iki ayaklı robotun hızını ve pozisyonunu kontrol etmek üzere tasarlanmıştır. Kontrol programı için özel program yazılmış. Kontrol programının fonksiyonları aşağıdaki gibi verilmiştir:

- İki ayaklı robot için istenen yörüngeleri üretmek ve düzeltmek.
- PWM sinyalleri için görev döngülerini oluşturmak.
- Verileri kaydetmek.
- İki ayaklı robot için yürüyüş desen kontrol etmek.

Kontrol programı aşağıdaki modüllerden oluşur:

- Başlatma modülü
- Kesme modülü

Kesme modülü mikro denetleyicinin kesme sinyallerinin kontrolünden sorumludur. Bir kesme sinyali varsa, veriler alınır. Bu arada, PWM veriler mikro denetleyiciden alındıktan sonra mikro denetleyiciye gönderilir.

İstenilen yörünge tasarım modülü:

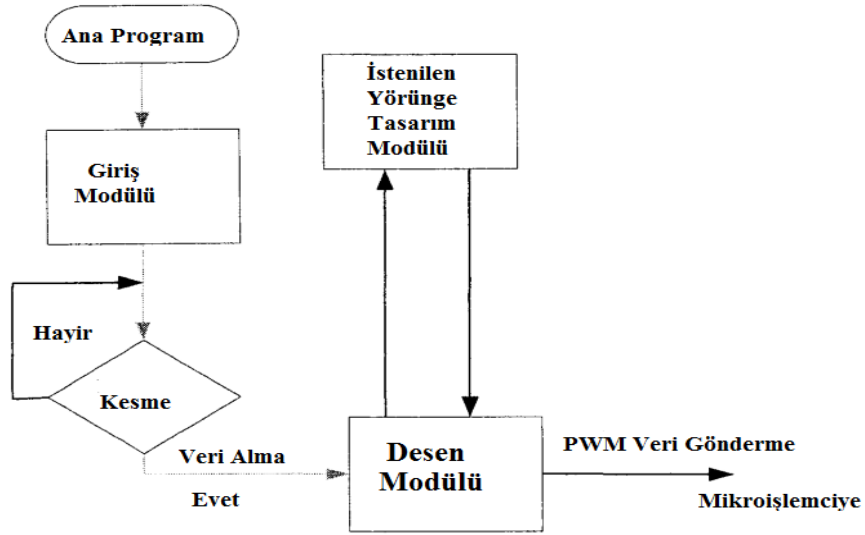
Bu modülde, yürüme tarzı iki ayaklı robotun istenilen tüm eklem açılarını üretmek için tasarlanmıştır. Ayrıca, modül iki ayaklı robot için istenen yörüngeleri üretmekten sorumludur.

Desen modülü:

Desen modülü yürüme döngüsü sırasında robotun kararlılığını sağlar. Bu bölüm, aşağıdaki üç kısımdan oluşur:

- PD kontrolör uygulaması
- PID kontrolör uygulama
- PWM veri üretimi
-

Kontrol programının akış şeması Şekil X 'de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Kontrol programı akış şeması

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tasarım aşamasında boyut, ağırlık vb. pek çok faktör tasarımcı için önemli rol oynamaktadır. Mekanizmayı tasarlamak için ilk olarak temel fikir gerekiyor. Bu fikir insanların yararına olunca daha güzel sonuçlar ve çalışmalar yapılabilir. Engelli vatandaşlarla ilgili tekerlekli sandalye, baston, vb. gibi pek çok yardımcı cihaz üretilmiştir. Bu çalışmanın amacı; dengesini tam sağlayamayan engelli vatandaşların ayakları üstünde dengelerini sağlayabilmelerine ve adım atmalarına yardımcı olabilmektir. Mekanizmanın en önemli farkı tekerleksiz olmasıdır.

Bilgisayar benzetimi modeli yardımıyla elde edilen tasarım kriterleri doğrultusunda robota ait kavram CAD model oluşturulmuştur. Mekanizmaların ve boyutların ortaya çıkmasından sonra detaylı tasarım sürecine geçilmiştir. Oluşturulan CAD modelin benzetimi oluşturularak tasarımda optimizasyona gidilmiş, hazır elemanların seçimi yapılmıştır. Robot modeline son hali verildikten sonra prototip imalatı için gerekli çalışmalar yapılmış, imalat ve montaj süreci tamamlanmıştır.

Bu mekanizmanın tasarımı SolidWorks programı yardımıyla yapılmıştır. Bel ve diğer parçalar için alüminyum tercih edilmiştir. Bu tercihte, mekanizmanın kütlesini düşürmek ve engellinin bel kısmının rahat olması için o kısım da kumaştan bir parça konulmuştur. Tasarım bittikten sonra analiz kısmına geçilmiştir ve bu mekanizmada en önemli kısımlardan biri analiz kısmıdır. Her uzvun, uygulanan kuvvetler altında direnci, deformasyonu ve en önemlisi emniyet faktörü analiz edilmiştir.

Dünyada yürüme engellilere destek amacıyla birçok iki ayaklı robot yapılmıştır. Bu robotlar çok kaba ve pahalıdır. Yapılan çalışmada kısıtlı bir bütçeyle yürüme engelliler için destekleyici bir cihaz tasarlanmış, analiz edilmiş ve imalatı yapılmıştır. Bu mekanizmanın en önemli farkı diğer mekanizmalardan ucuz ve fonksiyonel olmasıdır. Ayrıca bu çalışmada tasarımı iyileştirmek de hedeflenmiştir. Bundan dolayı batarya grupları engellinin kemeri etrafında özel bir kemere yerleştirilmiş bazı elektrikli parçalar da mekanizmanın sağ ve sol ayakları üzerine monte edilmiştir. Çeşitli parçalar mekanizmanın üzerine eşit bir şekilde dağıtılarak mekanizmanın

dengede durmasına yardımcı olmuştur. Ayrıca bu mekanizma için özel bir kontrol programı tasarlanmıştır. Bu program mekanizmayı düz bir zemin üzerinde belirli bir hızla çalıştırmaktadır. Bu türlü mekanizmaların yurtdışında yaklaşık 150-180 bin dolar fiyatı vardır. Bu çalışma 5 bin dolarlık bir bütçeyle gerçekleştirilmiştir. Mekanizma orijinal bir çalışma olup, bu mekanizmaya benzer bir çalışmaya Türkiye’de rastlanmamıştır. Dolayısıyla ithal gerekliliği duyulan robot yerel olarak imal edilmiştir. Bu proje sadece bir prototiptir gelecekte daha iyi mekanizmalar daha yapılarak ticarileştirebilir.

Projeyi etkileyen en önemli faktör bütçenin kısıtlı olmasıdır. Gelecekte yapılacak yüksek bütçeli çalışmalarda daha güçlü DC motorlar veya yeni çıkan elektrikli motorlar kullanabilecektir. Motor sürücüleri, kontrolör ve sensörler mekanizmayı etkileyen diğer özelliklerdendir. Bundan dolayı gelecekteki projelerde bu malzemelerin en iyilerini temin etmek mekanizmada önemli olacaktır. Batarya grupları mekanizmayı 1 saat çalıştırmaktadır. Güçlü bataryalar mekanizmanın daha fazla süre ile çalışmasını sağlayabilecektir. Malzeme olarak mekanizmada alüminyum kullanılmış olup mekanizmanın ağırlığı fazla olmuştur. Gelecekte yapılan revizyonlarda magnezyum gibi daha dirençli ama hafif malzemeler ve daha iyi elemanlar kullanılabilir. Robotun kütlelerinin azlığı yürüme engellinin, mekanizmayı kolayca taşıyabilmesini, daha alternatifli motorlar ve sürücüler kullanmasını ve özellikle engellinin vücuduna fazla yük binmemesini sağlayacaktır. Alüminyum yerine magnezyum kullanılırsa robot daha hafif olacaktır. Yapılan mekanizma sadece düz bir yer üzerinde yürüme kapasitesine sahiptir. Yapılacak projelerde robotlara yamaç çıkma ve inme imkânı ve merdivenden aşağı yukarı çıkma ve inme yetenekleri konulacaktır. Ayrıca bu mekanizmada 4 serbestlik derecesi kullanılmıştır. Ayak bileğinde motor kullanılmamıştır ama gelecekte yapılan bu türlü robotlarda 6 ve daha yüksek serbestlik dereceli projeler yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Shimizu, S., ve Suzuki, K., "A Force Retention Mechanism by MR Spring for Walking Support", **2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (Robio 2009)**, 1-4:1148-1153, (2009).
2. Shimizu, Y., Suzuki, T., Saitoh, E., Muraoka, Y., Tanabe, S., Takemitsu, T., Uno, A., Katoh, M. ve Ozeki, M., "Report about a new Robot WPAL (Wearable Power-Assist Loco motor) for Paraplegic Gait Reconstruction", **Journal of Rehabilitation Medicine a Preliminary**, 46:527-533, (2009).
3. Hata, N. ve Hori, Y., "Basic research on power limb using variable stiffness mechanism", **Proceedings of the Power Conversion Conference-Osaka**, 1-3:917-920, (2002).
4. Ikehara, T., Tanaka, E., Nagamura, K., Tamiya, T. ve Fukaya, N., "Development of close-fitting-type walking assist machine for lower limbs", **Journal of Japan Society for Design Engineering**, 44-8:458-464, (2009).
5. Chen, G. ve Patten, C., "Joint moment work during the stance-to-swing transition in hemi paretic subjects", **Journal of Biomechanics**, 41:4-877-883, (2007).
6. Park, H., Lim, Y., Pervez, A., Lee, B., Lee, S. ve Ryu, J., "Teleoperation of a multi-purpose robot over the internet using augmented reality", **2007 INTERNATIONAL Conference on Control, Automation and Systems**, 1-6:1295-1300, (2007).
7. Kondo, H., Morishima, A., Ogura, Y., Momoki, S., Shimizu, J., Lim, H. ve Takanishi, A., "Algorithm of Pattern Generation for Mimicking Disabled Person's Gait", **2nd IEEE Ras & Embs International Conference On Biomedical Robotics And Biomechatronics**, 1-2:812-817, (2008).
8. Mc Geer, T., "Passive dynamic walking", **International Journal of Robotics Research**, 9(2):28 , (1990).
9. Chuo, W., Saitama, S., Yoshiaki, S., Ryujin, W., Chiaki, A., Shinichi, M., Nobuo, H. ve Kikuo, F., "The intelligent ASIMO: System overview and integration" , **Honda R&D Co.Ltd.1-4-1, Japan**, (2002).
10. Baker, B., "Development of a hybrid powered 2D biped walking machine designed for rough terrain locomotion" , Ph.D. thesis , **the University of Kansas, Lawrence, KS**, 12-14, (2010).
11. Kaneko, K., Kanehiro, F. ve Morisawa, M., "Hardware Improvement of Cybernetic Human HRP-4C for Entertainment Use", **IEEE/RSJ International Conference on Robots & Systems**, San Francisco, CA, USA, 25-30, (2011).
12. İnternet: HONDA CO, "Aiming for Function in the Human Living Space" <http://www.world.honda.com/ASIMO/history/> , (2010).

13. Internet: Waseda University, "Humanoid Robot help in our Daily works"
<http://www.humanoid.waseda.ac.jp/booklet/kato4.html> , (2009).
14. Internet: Beijing University, "BHR-1 Robot"
<http://www.comunistrobot.com/robots/6> , (2005).
15. Vukobratovic, M. ve Stepanenko, J., "Mathematical models of general anthropomorphic systems", *Mathematical Biosciences*, 17(3):191-242, (1973).
16. Sardain, P. ve Bessonnet, G., "Zero Moment Point-Measurements From a Human Walker Wearing Robot Feet as Shoes", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 34(5):638-648, (2004).
17. Vukobratovic. M. ve Borovac, B., "Zero-Moment Point - Thirty Five Years of its Life" *International Journal of Humanoid Robotics*, 1(1):157-173, (2004).
18. Kajita, S., Kahehiro, F., Kaneko, K., Fujiwara, K., Harada, K., Yokoi, K. ve Hirukawa, H., "Biped Walking Pattern Generation using Preview Control of the Zero-Moment-Point" *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Taipei, Taiwan, 2:1620-1626, (2003).
19. Huang, Q., Yokoi, K., Kajita, S., Kaneko, K., Arai, H., Koyachi, N. ve Taine, K., "Planning Walking Patterns for a Biped Robot", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 17(3):280-289, (2001).
20. Tang, Z., Zhou, C. ve Sun, Z., "Trajectory Planning for Smooth Transition of a Biped Robot" *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Taipei, Taiwan 11: 2455-2460, (2003).
21. Aoki, J. ve Watanabe, K., "Control for Robust Standing of a Bipedal Robot by Sole Pressure", *SICE Annual Conference Kagawa University*, Japan, 8:627-630, (2007).
22. Prahlad, V., Dip, G. ve Meng-Hwee, C., "Disturbance Rejection by Online ZMP Compensation", *Robotica, Cambridge University Press*, 26:9-17, (2007).
23. Ito, S., Kawasaki, H., Morikiand, K. ve Sasaki, M., "Robot Experiment of Torque Learning for Biped Balance with respect to Periodic External Force" , *Proceedings of 12th International Conference on Advanced Robotics*, 13:418-423, (2005).
24. Kim, J. ve Oh, J., "Realization of Dynamic Walking for the Humanoid Robot Platform KHR-1", *Advanced Robotics*, 18(7):749-768, (2004).
25. Shih, C. ve Gruver, A., "Control of a Biped Robot in the Double-Support Phase" , *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22(4), (1992).
26. Azevedo, C., Espiau, B., Amblard, B. ve Assaiante, C., "Bipedal locomotion: toward unified concepts in robotics and neuroscience" , *Biological Cybernetics*, (2006).
27. Shimansky, D., "Mobility aid for physically disabled people", *Canada-US patent*, (1990).

28. Landers, A. ve Honesdale, P., "Device for assisting a people to sit or stand", **US patent**, (1988).
29. Renteria, W., "Walking assistance device", **US patent**, (1994).
30. Miller, I., "Foldable walking stabilizer device for physically disabled persons", **US patent**, (1992).
31. Raleigh, H., "Combined wheelchair and walker", **US patent**, (1995).
32. Sung Chung, C., "Walking frame for disabled people", **US patent**, (1993).
33. Arrecis, M., "Walking aid" Houston - **US patent**, (1991).
34. Seiciu, P., Laurian, T., Filipoiu, I. ve Parvu, F., "New Design Aspects Of A Locomotory Rehabilitation Mechatronic System" , **For Proceedings Of The 19th International Daam Symposium - Intelligent Manufacturing & Automation**, 1241-1242, (2008).
35. Akazawa, Y., Nakagawa, A., Matsubara, H., Nakamura, T. ve Nomura, T., "Introducing Mechatronic Technology into Ankle-Foot Orthosis Joint-Experimental gait wearing an AFO with Variable Joint Viscosity", **TANAKA The Hyogo Assistive Technology Research and Design Institute**, 199-202, (2003).
36. Carmeli, E., Levy, R., Barchard, S., Cahana, C. and Merrick, J., "Assistive technology ve walking aid use by intellectually disabled older people in a residential care center", **International Journal on Disability and Human Development**, 6(1):71-74, (2007).
37. Muto, T., Herzberger, B., Hermsdorfer, J., Miyake, Y. ve Poppel, E., "Interactive gait training device "Walk-Mate" for hemiparetic stroke rehabilitation", **IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems**, 1-9:2274-2280, (2007).
38. Der Loos, M. ve Reinkensmeyer, Ds., "Health Care and Rehabilitation Robotics", **Handbook of robotics**, Berlin, 1223–1251, (2007).
39. Jarvis, R., "Semi-Autonomous Robotic Walk-Chair", **Proceedings of the Fourth International Conference on Autonomous Robots and Agents**, 174-178, (2009).
40. Hillman, M., Hagan, K., Hagan, S., Jepson, J. ve Orpwood, R., "Weston wheelchair mounted assistive robot", **Robotica**, 20(2):125-132, (2002).
41. Lee, J. ve Lee, C., "Newly developed intelligent walking-training robot system for rehabilitation program", **Proceedings Of the 4th Asia-Pacific Conference on Control and Measurement**, 236-240, (2000).
42. Challa, k., "Prathima Development of an adaptive human-robot interaction system", **Tennessee State University**, 119-123, (2008).

43. Qi, Z., Wang, H., Huang, Z. ve Zhang, L., “Kinematics of a Quadruped/Biped Reconfigurable Walking Robot with Parallel Leg Mechanisms”, ***Reconfigurable Mechanisms And Robots***, 573-579, (2009).
44. Kondak, K., Dasgupta, B. ve Hommel, G., “Design and optimization of the thigh for an exoskeleton based on parallel mechanism”, ***Climbing and Walking Robots***, 571-578, (2002).
45. McGibbon, C. ve Krebs, D., “Compensatory gait mechanics in patients with unilateral knee arthritis”, ***Journal of Rheumatology***, 29(11):2410-2419, (2002).
46. Caldwell, G., Medrano-Cerda, G. ve Bowler, C., “Investigation of Bipedal Robot Locomotion using Pneumatic Muscle Actuators”, ***IEEE International Conference on Robotics and Automation***, (1997).

EKLER

EK-1. CNC tezgâhı içinde harfler, semboller ve kodlar

Harf ve Semboller

O	Program başlangıç harfi. O Ø Ø Ø 5 gibi
N	Program satır numarası. N5 N10 gibi.
G	Yol koşulları. G0 (hızlı ilerleme) gibi.
X	Koordinat. G04 ile yazılırsa bekleme zamanı(sn). G16 ile yazılırsa yarıçapı ifade eder.
Y	Koordinat. G16 ile yazılırsa açığı ifade eder.
Z	Düşey eksen koordinatı.
R	Radyüs. G02 ve G03 radyüsü. G81 ve G89 ile yazıldığı zaman emniyetli durma mesafesi
H	Takım boyu
D	Takım yarı çapı (Bizim tezgahımızda H21...)
M	Makina fonksiyonlarını harekete geçirme (M06 Takım değiştir.)
S	Devir sayısı. S1000 gibi.
T	Takım cep numarası. T1 (bir nolu takım)
I	X ekseninde başlayıp biten tam dairesel hareket.
J	Y ekseninde başlayıp biten tam dairesel hareket.
K	Z ekseninde başlayıp biten tam dairesel hareket.
Q	G83te (derin delik delme) her defada delme miktarı.
P	Alt program tekrar sayısı.
F	İlerleme miktarı.
/	Satır atlama işareti.
;	Satır sonu işareti.
#	MACRO program işareti.

EK-1 (Devamı). CNC tezgâhı içinde harfler, semboller ve kodlar

M kodları

M00	Programı şartsız durdurma. Tezgâh tam otomatikte olsa bile M00'ı görünce durur. Programın başlaması için CYCLE START tuşunun basılır.
M01	İsteğe bağlı durdurma. (Tezgâhta OPTIONS STOP tuşunun açık olması gerekir.)
M02	Program sonu komutu. Program başına dönmek için RESET tuşuna basılması gerekir.
M03	İş milinin saat yönünde dönmesi
M04	İş milinin saat yönü tersinde dönmesi
M05	İş mili stop
M06	Takım değiştirme komutu
M08	Soğutma sıvılarını program dâhilinde açma komutu
M09	Soğutma sıvılarını program dâhilinde kapatma komutu
M23	ATC yukarı çıkar. (bakım-onarım amaçlı)
M24	ATC (magazin) aşağı iner. (bakım-onarım amaçlı)
M26	İş mili içinde hava üfleme açma (bakım-onarım amaçlı)
M30	Ana program sonu talaş temizleyiciler 30sn çalışır.
M50	Soğutma suyu kısa takımlar için açık
M51	Soğutma suyu uzun takımlar için açık
M52	Talaş temizleyiciler açık
M98	Alt programı çağırma
M99	Alt program sonu, ana program sonu

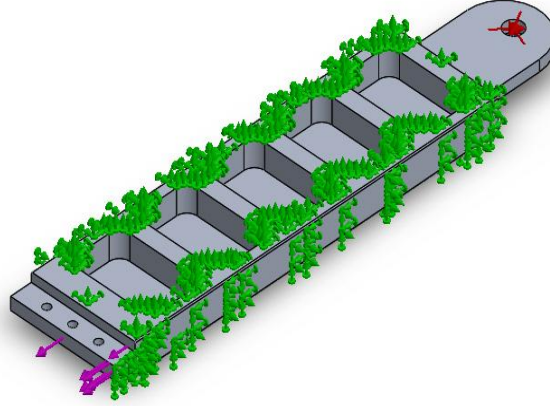
EK-1 (Devamı). CNC tezgâhı içinde harfler, semboller ve kodlar

G kodları

G00	Pozisyona hızlı hareket
G01	Doğrusal yavaş hareket (düz ve konik işleme).F kesme hızı ile,
G02	Saat yönünde dairesel hareket
G03	Saat yönü tersinde dairesel hareket
G04	Bekleme
G17	X-Y çalışma yüzeyi
G18	X-Z çalışma yüzeyi
G19	Y-Z çalışma yüzeyi
G20	İnch(parmak) ölçü sistemi
G21	Metrik ölçü sistemi
G28	Tezgah referans noktasına dönüş
G33	Vida (diş) çekme fonksiyonu
G40	Takım çap telafisi iptali
G41	Takım işin solunda (izleyeceği yolun(konturun)solunda)
G42	Takım izleyeceği yolun sağında
G43	Takım boyu telafisi
G54	İş parçası sıfır noktası(birden fazla sıfır noktası için 55,56,57,58,59)
G73	Derin delik delme çevrimi
G80	Delik delme çevrimlerinin iptali
G81	Punta açma ve delik delme çevrimi
G82	Bekleme zamanlı delik delme
G83	Derin delik delme(Kademeli delik delme)
G84	Diş çekme çevrimi
G85	Delme.Yavaş girip , yavaş çıkar.Raybalama.
G86	Delme.Yavaş girip , deliğin sonunda durur.
G87	Delik dibi genişletme.Yavaş girip delik dibinde çalışmaya başlar.
G88	Deliğe yavaş girip delik sonunda bekler.İş mili durur.Takım elle çıkarılır.
G89	Deliğe yavaş girip delik sonunda bekler.Geriye yavaş çıkar.
G90	Mutlak (absolit) ölçülendirme
G91	Artımsal ölçülendirme
G92	İş parçası koordinatını kaydırma
G94	İlerleme mm/dk
G95	İlerleme mm/dev
G98	Delme öncesi ve sonrası emniyet mesafesini aktif eder.
G99	G98'in iptali

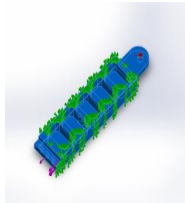
EK-2. Simülasyon analiz sonuçları

Kalça

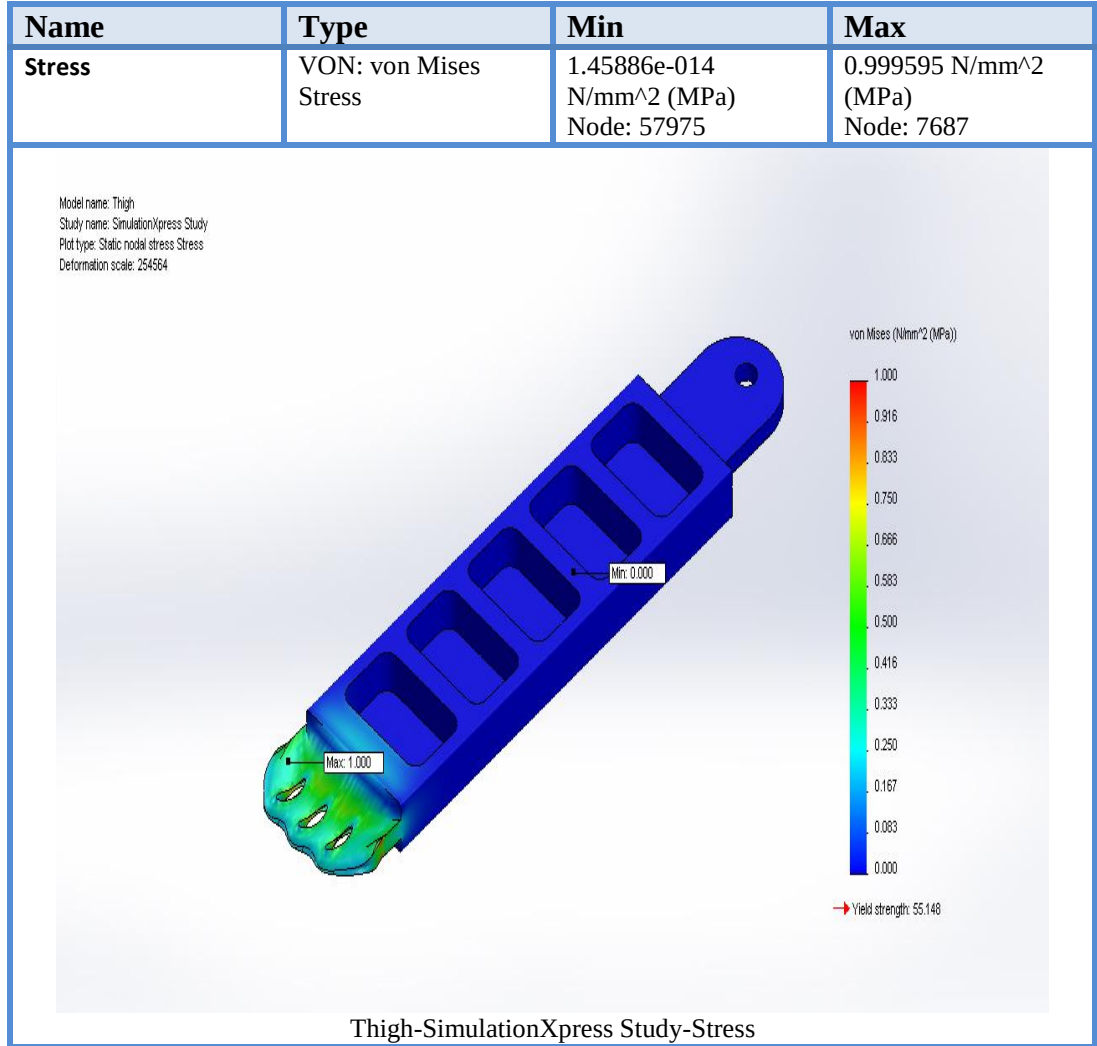


Model name: Thigh

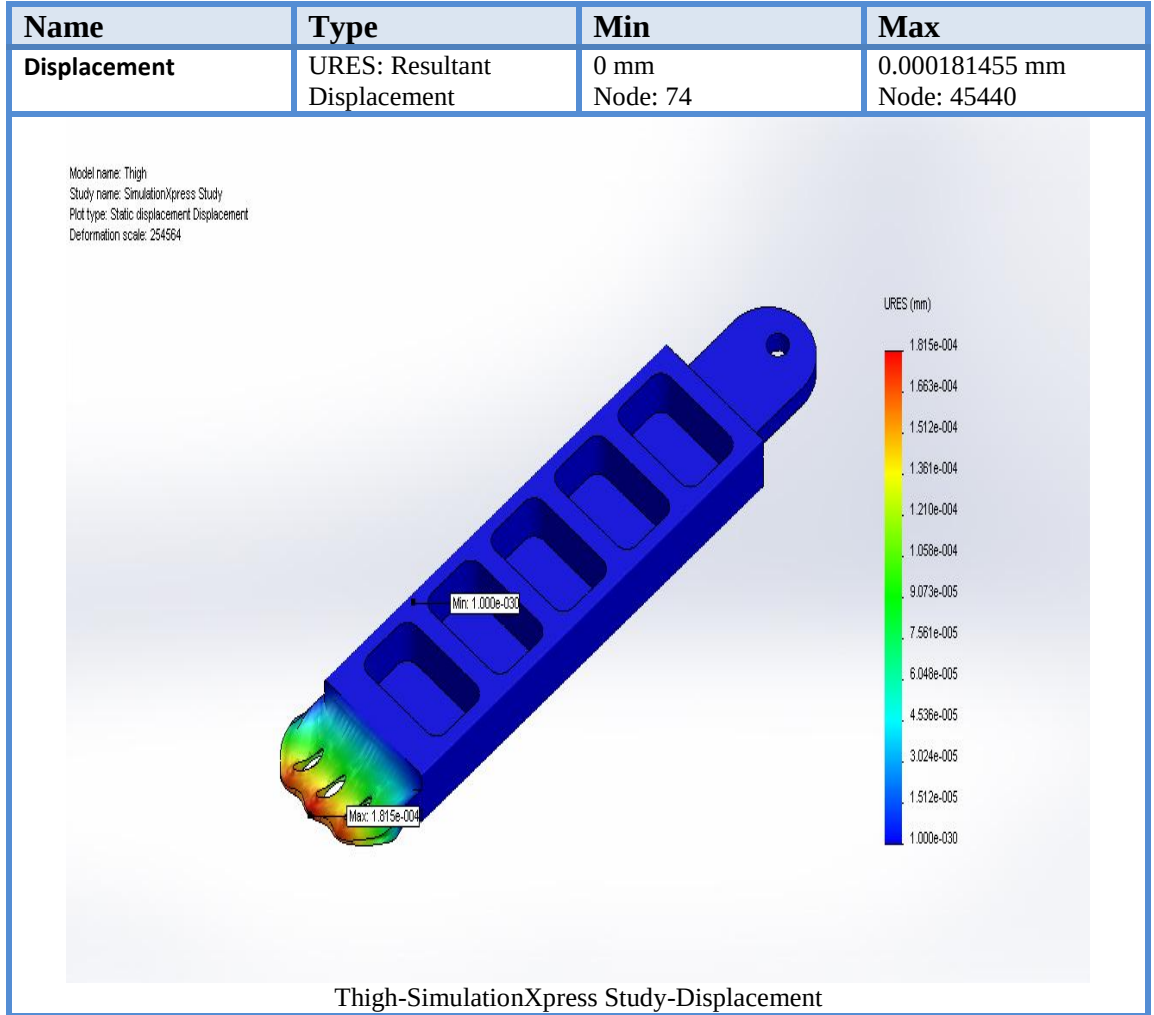
Solid Bodies

Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties
Fillet9 	Solid Body	Mass:1.48418 kg Volume:0.000549698 m ³ Density:2700 kg/m ³ Weight:14.545 N

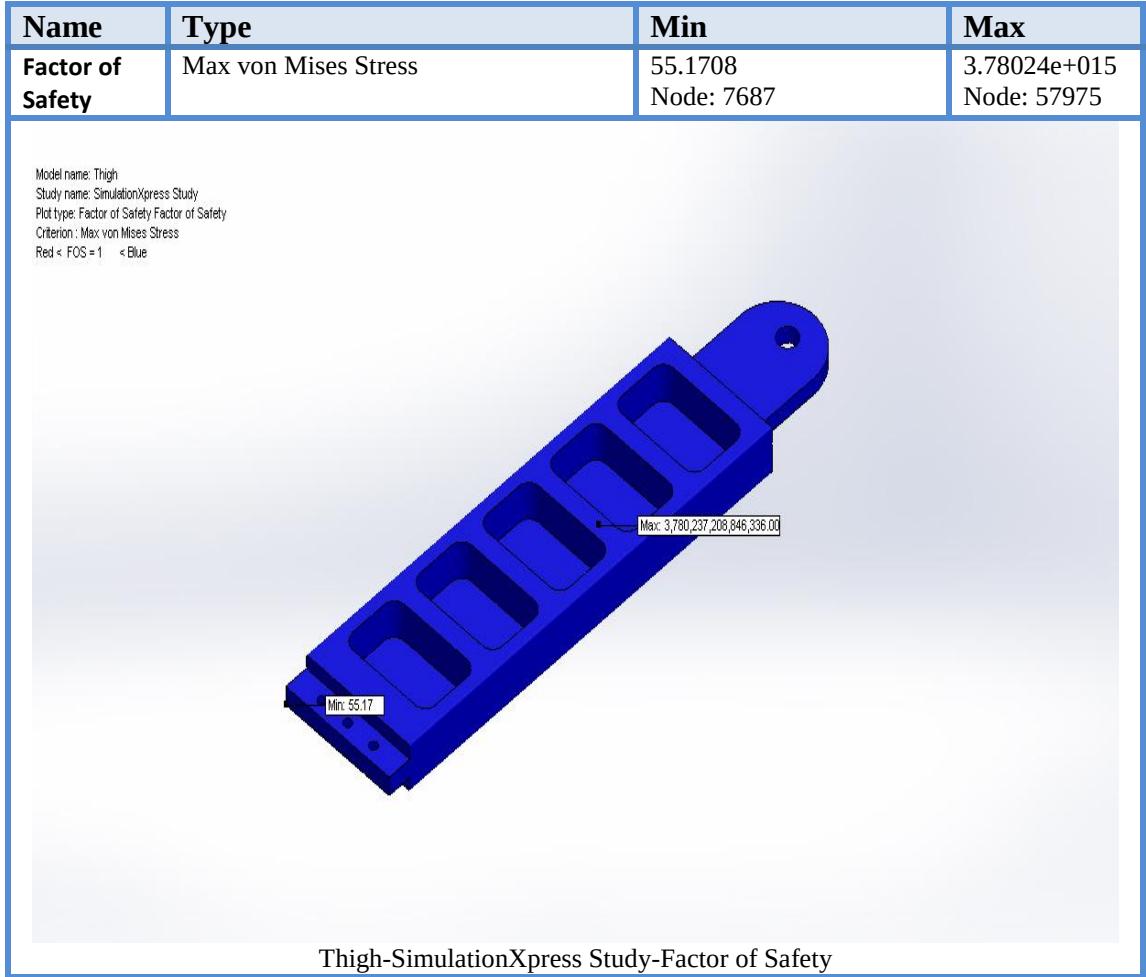
EK-2 (Devamı). Simülasyon analiz sonuçları



EK-2 (Devamı). Simülasyon analiz sonuçları

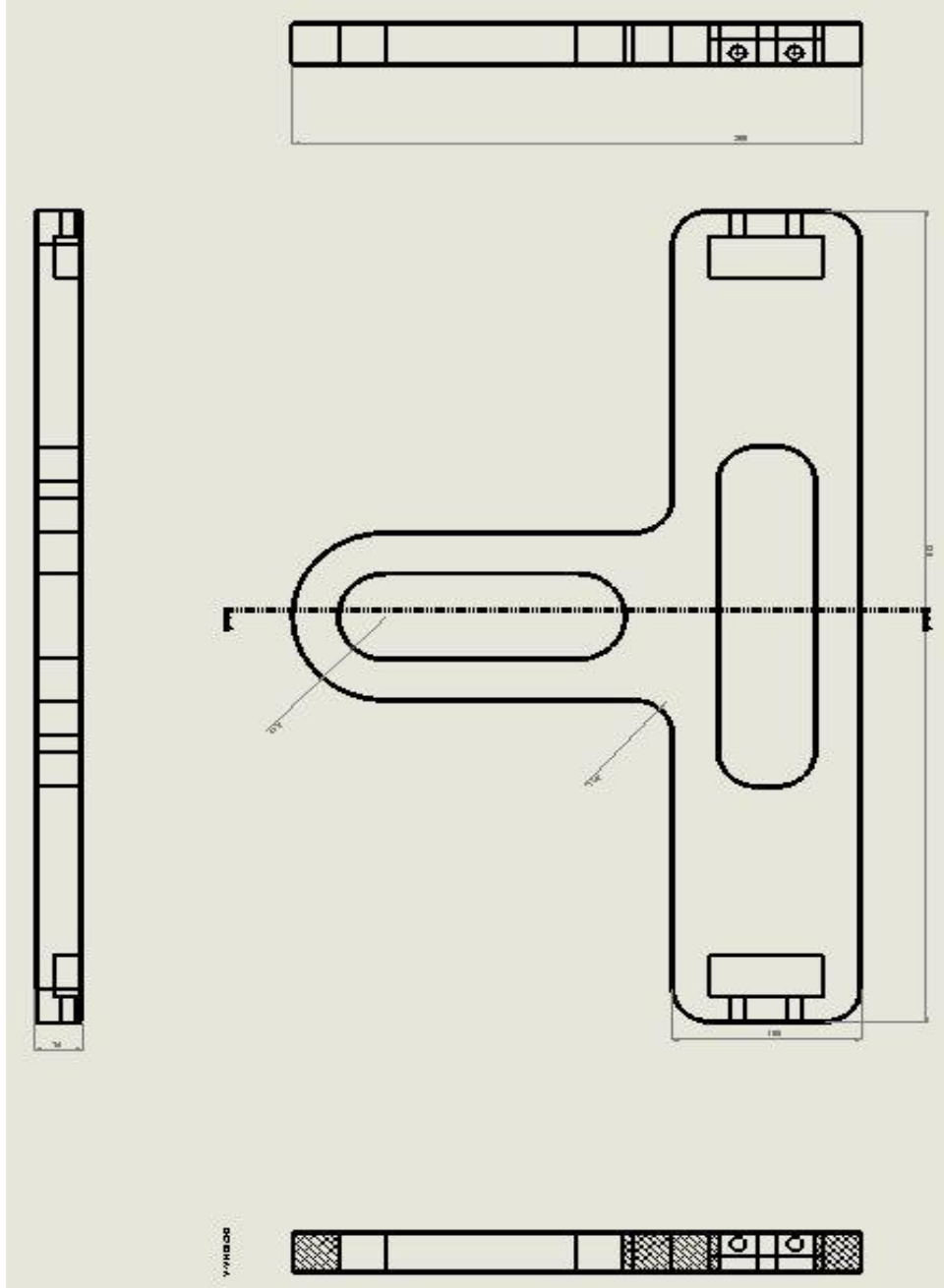


EK-2 (Devamı). Simülasyon analiz sonuçları



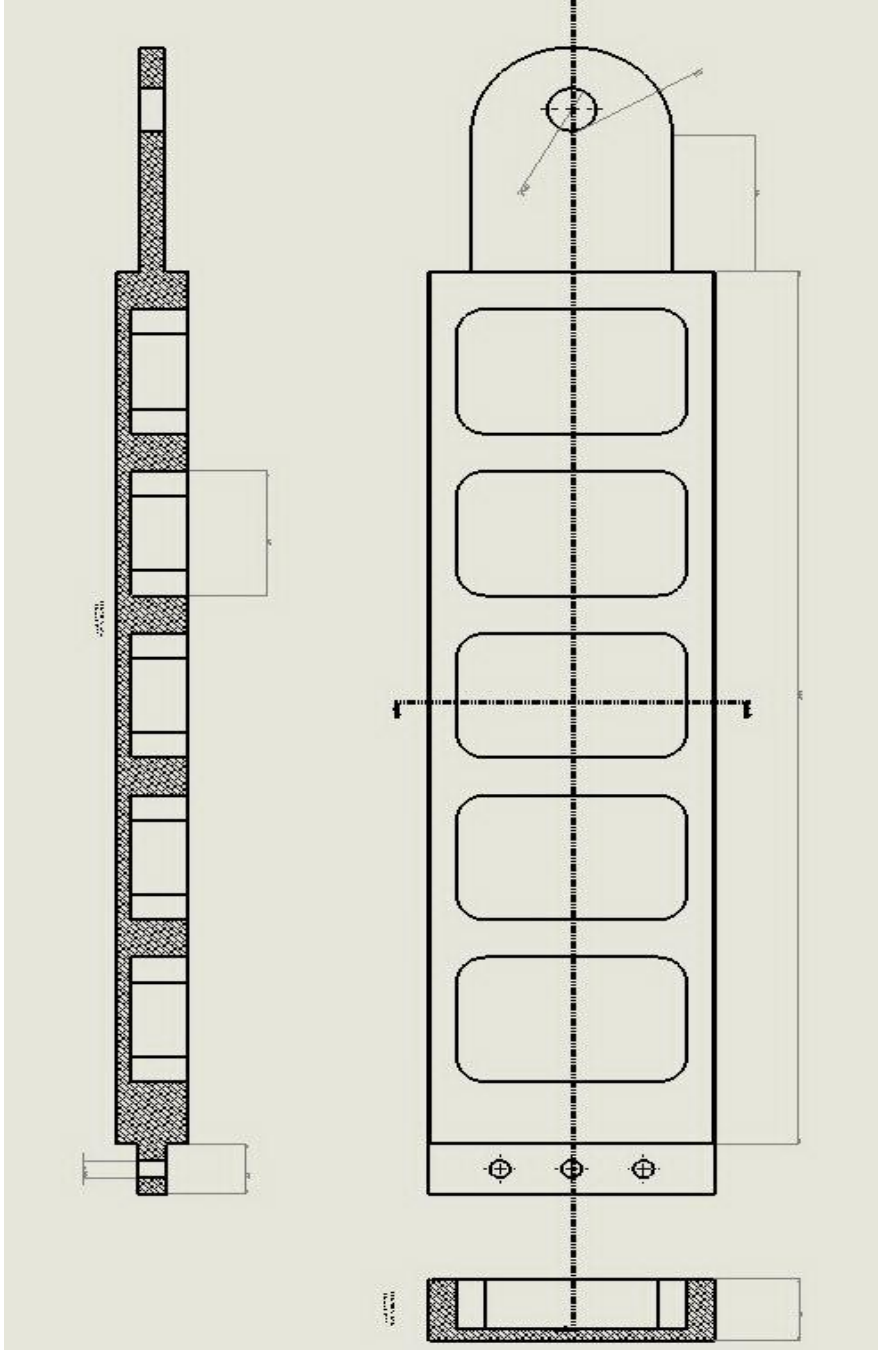
EK-3. Parçaların teknik (CAD) çizimleri

Bel



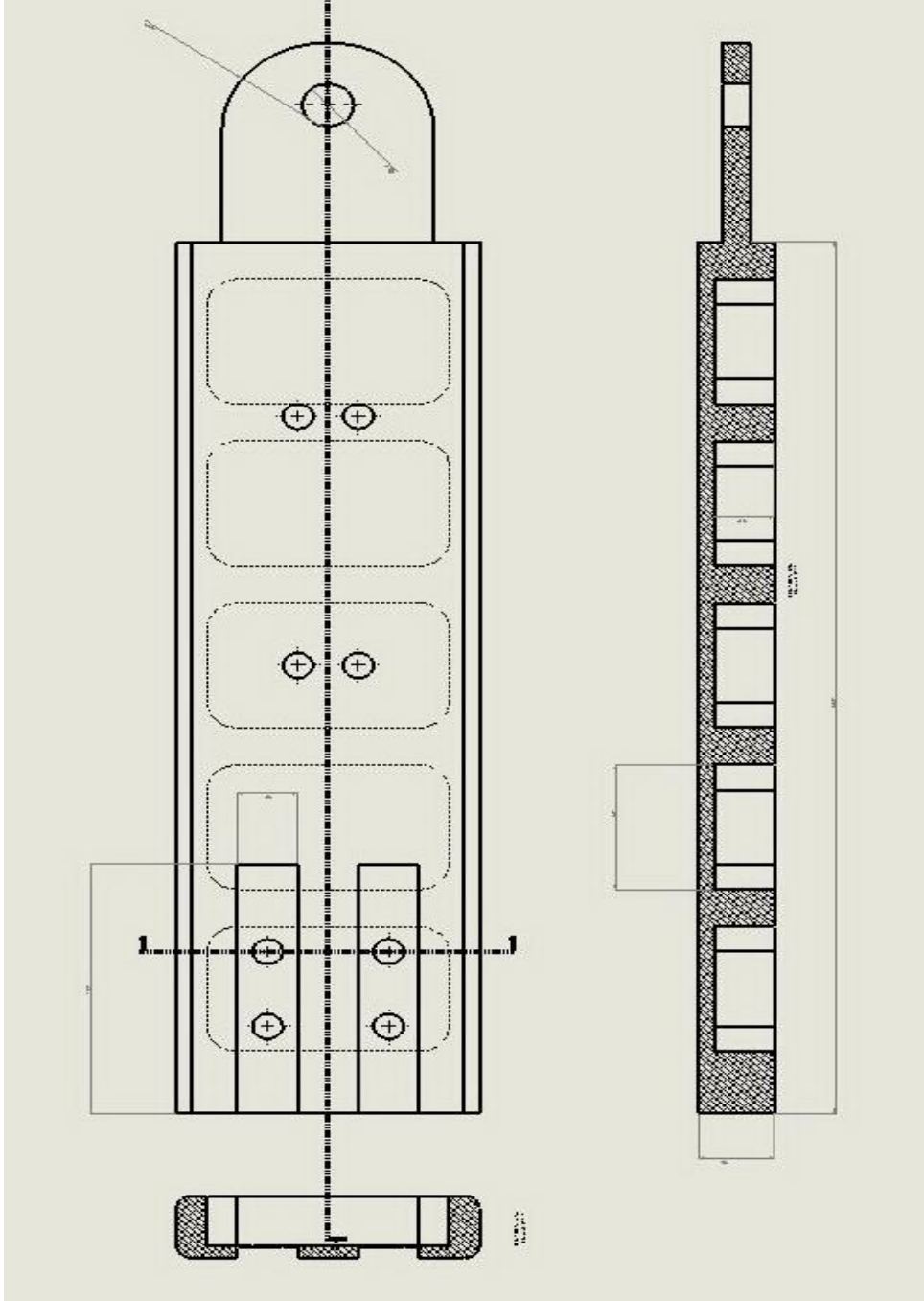
EK-3 (Devamı). Parçaların teknik (CAD) çizimleri

Kalça



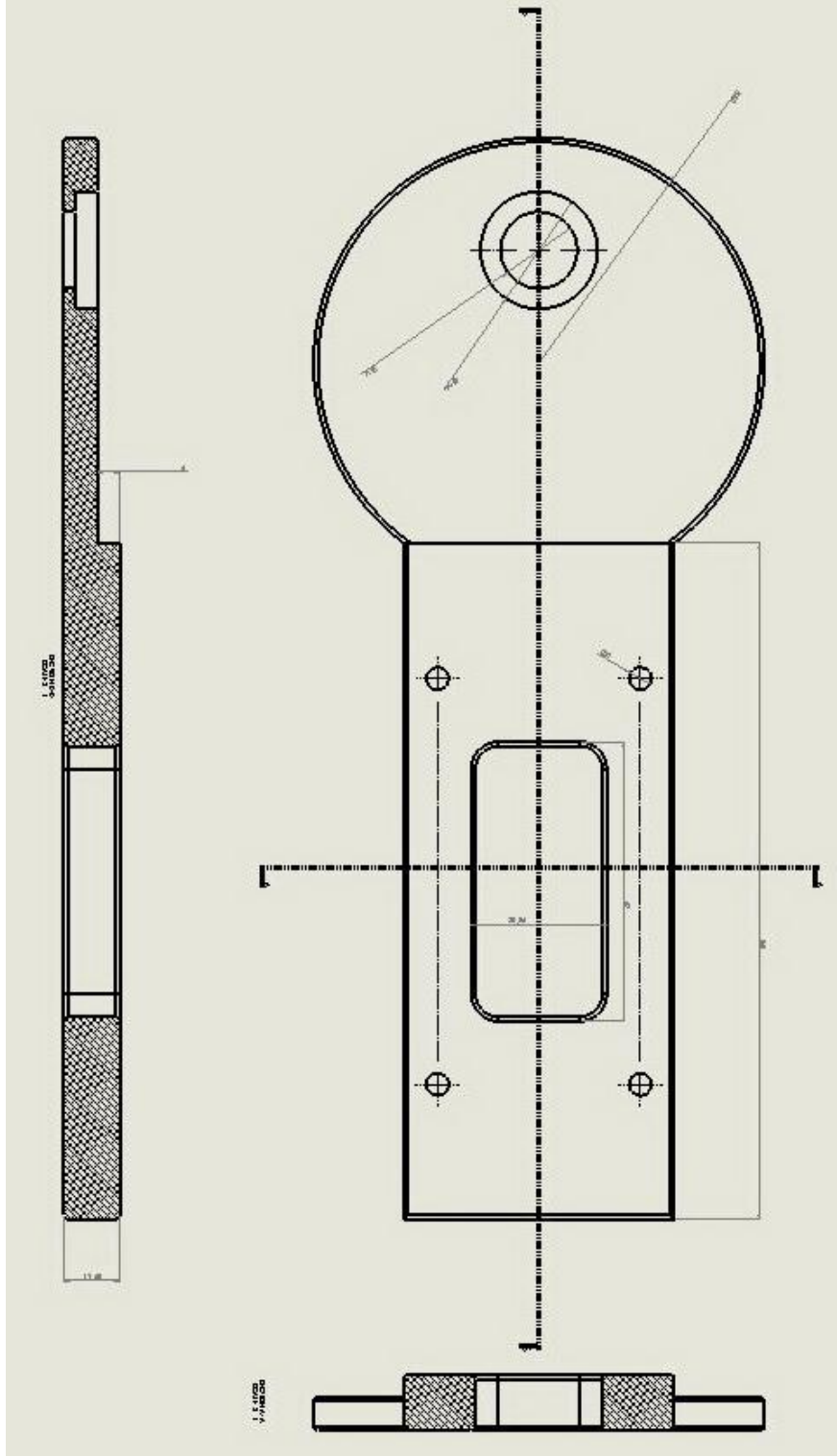
EK-3 (Devamı). Parçaların teknik (CAD) çizimleri

Baldır



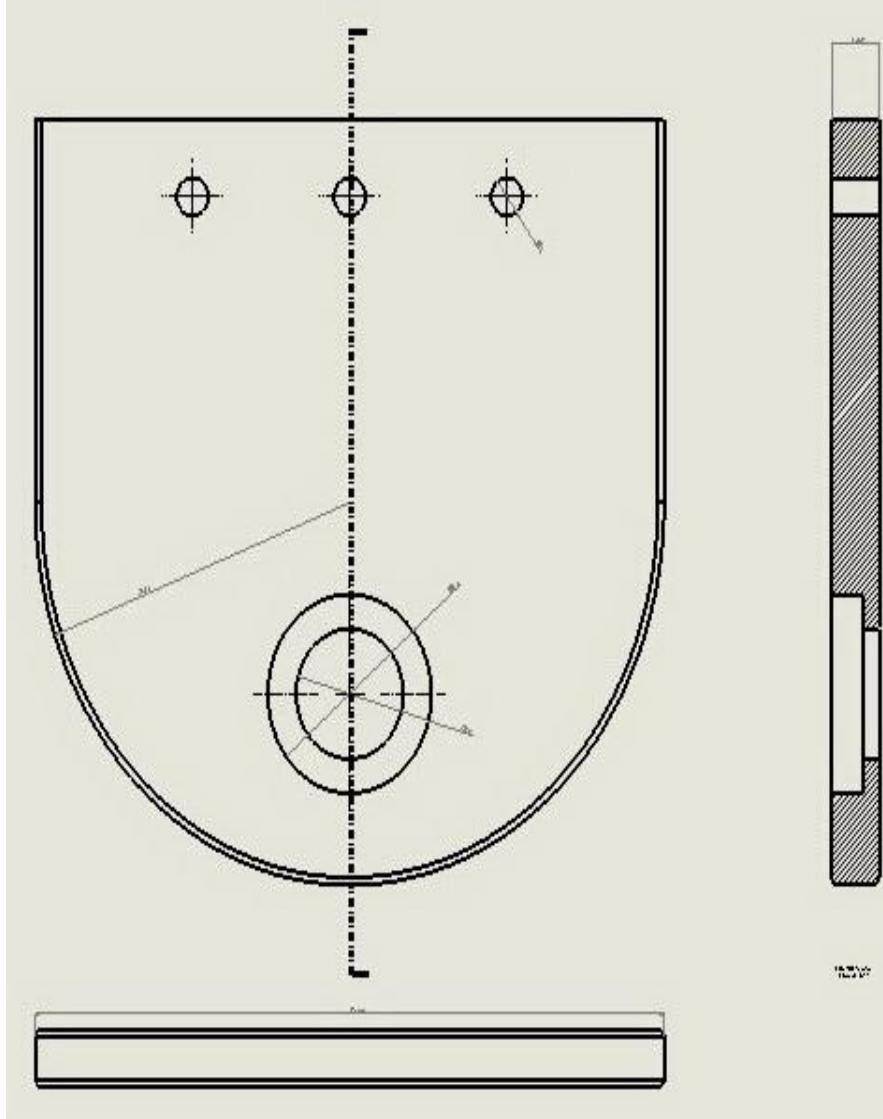
EK-3 (Devamı). Parçaların teknik (CAD) çizimleri

Bel bağlayıcı



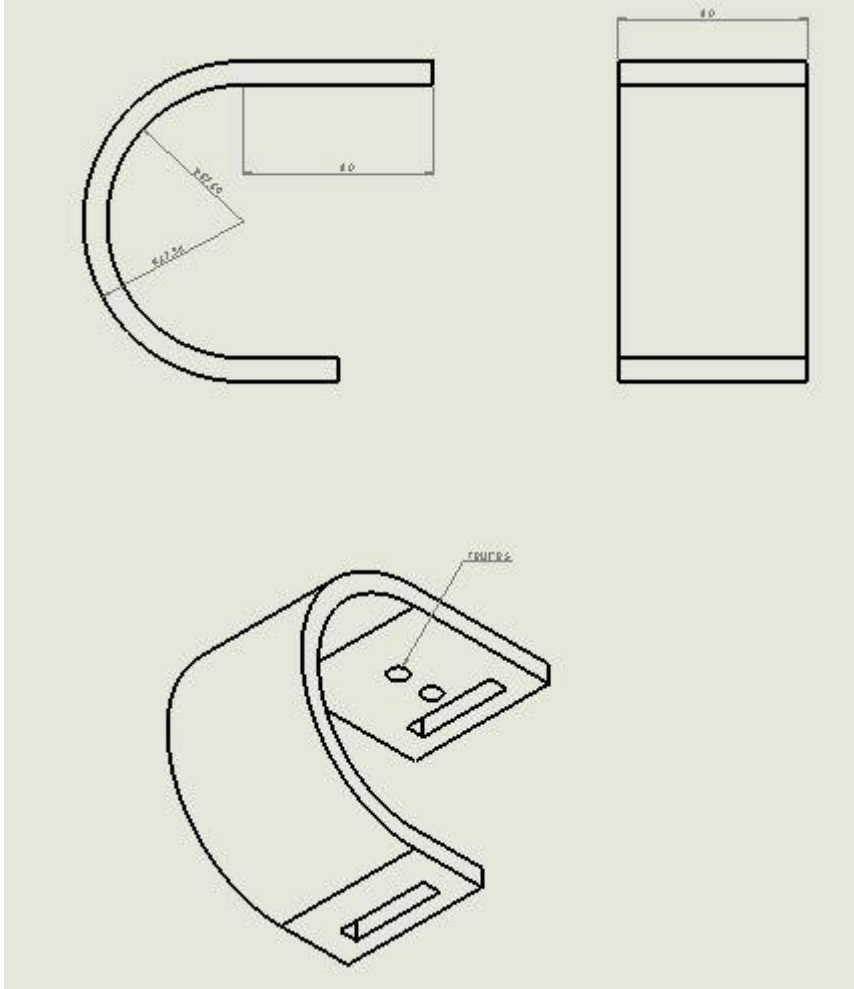
EK-3 (Devamı). Parçaların teknik (CAD) çizimleri

Diz bağlayıcı



EK-3 (Devamı). Parçaların teknik (CAD) çizimleri

Plastik bağlantı elemanı



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : RAFIGHI, Mohammad
 Uyuğu : İran
 Doğum tarihi ve yeri : 16.09.1988 Tebriz
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 543 424 86 49
 E-mail : m.rafighi@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Makina Eğitimi	2011-...
Lisans	IAUT, Makina Mühendisliği	2006-2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2009	Tebriz Traktör fabrikası	Tasarımcı

Yabancı Dil

İngilizce, Farsça, Azerice, Arapça

Yayınlar

1. Rafighi, M. and Güllü, A., “The design and manufacturing a dual axis supportive device to walking for adult disabled people”, *3rd international Scientific Conference of Iranian Academics in Turkey*, Ankara, 15, (2013).

Hobiler

Futbol, PlayStation, Müzik, Yürüyüş, Yüzme