

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KULLANICIYA GÖRE YÜKSEKLİK AYARI YAPABİLEN MEKATRONİK
TASARIMLAR VE BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kemal ALGAÇ

Balıkesir, Haziran-2010

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KULLANICIYA GÖRE YÜKSEKLİK AYARI YAPABİLEN MEKATRONİK
TASARIMLAR VE BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kemal ALGAÇ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. M.Nedim GERGER

Sınav Tarihi : 24.06.2010

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Kadir ÇAVDAR (UÜ)

Yrd. Doç. Dr. M.Nedim GERGER (Danışman-BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Ali ORAL (BAÜ)

Enstitü Yönetim Kurulunun tarih sayılı oturumunun
..... nolu kararı ile Mezun olmuştur.

Balıkesir, Haziran-2010

ÖZET

KULLANICIYA GÖRE YÜKSEKLİK AYARI YAPABİLEN MEKATRONİK TASARIMLAR VE BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

Kemal ALGAÇ

**Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. M.Nedim GERGER)

Balıkesir, 2010

Mekatronik sistemler günümüzde gittikçe artan bir öneme sahiptir. Günlük hayatın her alanında mekatronik tasarım ürünleri ile karşılaşmak mümkündür. Bu çalışmada kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapan mekatronik sistemler hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Birinci bölümde mekatronik sistemlerin özellikleri, kullanım alanları ve mekatronik sistem elemanları hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapan mekatronik sistemlerin kullanım alanları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca bu tür sistemlerin konumlama sistemi için üç çözüm seçeneği ortaya konmuştur. Bunlar hidrolik, pnömatik ve mekanik çözümlerdir. Bu seçenekler karşılaştırılarak avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur. Bu üç çözüm seçeneği için birer tasarım örneği verilmiştir.

Üçüncü bölümde kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapan hidrolik konumlama sistemine sahip mekatronik bir koltuk tasarımı ve imalatı hakkında bilgi verilmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER : mekatronik / mekatronik sistemler / hidrolik / pnömatik / mekanik sistemler / konumlama

ABSTRACT

USER CONTROLLED LEVEL ADJUSTABLE MECHATRONIC SYSTEMS AND A SAMPLE APPLICATION

Kemal ALGAÇ
Balıkesir University, Institute of Science,
Department of Mechanical Engineering

(M. Sc. Thesis / Supervisor : Assist. Prof. Dr. M.Nedim GERGER)

Balıkesir-Turkey, 2010

The importance of mechatronic systems rapidly increase in recent years. It's possible to encounter mechatronic design products in the all part of the daily life. In this study, detail information about user controlled level adjustable mechatronic systems was given.

In the first chapter, some information was given about mechatronic systems properties, usage areas and mechatronic system components.

In the second chapter, some information was given about usage areas of user controlled level adjustable mechatronic systems. Also three solutions were given for positioning of such systems. These are mechanical, pneumatic and hydraulic solutions. These solutions were compared according to their advantages and disadvantages. Three sample designs were given for each solution.

In the third chapter, information about designing and manufacturing of a user controlled level adjustable mechatronic seat which have hydraulic positioning system were given.

KEY WORDS : mechatronics / mechatronic systems / hydraulic / pneumatic / mechanical systems / positioning

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	2
1.2 Mekatroniğin Tanımı ve Tarihi Gelişimi	4
1.3 Mekatroniğin Uygulama Alanları	6
1.4 Mekatronik Sistem Elemanları	9
1.4.1 Algılayıcılar (Sensörler).....	9
1.4.1.1 Yer Değiştirme, Hız ve İvme Sensörleri	10
1.4.1.2 Kuvvet ve Gerilme Sensörleri.....	10
1.4.1.3 Sıcaklık Sensörleri	11
1.4.1.4 Basınç Sensörleri.....	11
1.4.1.5 Akış Sensörleri.....	11
1.4.2 Aktuatörler (Eyleyiciler)	12
1.4.2.1 Elektriksel Aktuatörler	12
1.4.2.2 Hidrolik ve Pnömatik Aktuatörler	13
1.4.2.3 Mekanik Aktuatörler (Hareket Sistemleri).....	14
1.4.3 Kontrol Sistemleri.....	14
1.4.3.1 Açık Çevrimli Kontrol Sistemleri	15
1.4.3.2 Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemleri	16
1.4.3.3 Adaptiv Kontrol Sistemleri	17
1.4.4 Kontrol Teknikleri ve Kontrol Organları	17
1.4.4.1 Uygulama Şekline Göre Kontrol Teknikleri.....	17
1.4.4.1.1 Servo Mekanizma	18
1.4.4.1.2 Sıralı Kontrol	18
1.4.4.1.3 Sayısal Kontrol	18
1.4.4.1.4 Bilgisayarlı Kontrol	18
1.4.4.2 Kullandıkları Enerji Türüne Göre Kontrol Organları.....	19
1.4.4.2.1 Pnömatik Kontrol Organları	19
1.4.4.2.2 Elektronik Kontrol Organları	19
1.4.4.2.3 Analog kontrol organları	19
1.4.4.2.4 Sayısal kontrol organları	20
1.4.4.2.4.1 Mikroişlemciler	20
1.4.4.2.4.2 Mikrodenetleyiciler	21
1.4.4.2.4.3 Programlanabilir Lojik Kontrol Organları (PLC)	21

2. KULLANICIYA GÖRE YÜKSEKLİK AYARI YAPAN MEKATRONİK SİSTEMLER.....	23
2.1 Kullanıcıya Göre Yükseklik Ayarı Yapan Mekatronik Sistemler Hakkında Genel Bilgi ve Kullanım Alanları.....	23
2.2 Kullanıcıya Göre Yükseklik Ayarı Yapan Mekatronik Sistemlerde Alt Sistem Elemanları.....	29
2.3 Kullanıcıya Göre Yükseklik Ayarı Yapan Mekatronik Sistemlerde Konumlama Sistemi İçin Çözüm Seçenekleri	29
2.3.1 Mekanik Konumlama Sistemi	30
2.3.1.1 Örnek Bir Mekanik Konumlama Sistemi Tasarımı.....	30
2.3.2 Hidrolik Konumlama Sistemi	35
2.3.2.1 Hidrolik Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları:.....	36
2.3.2.2 Örnek Bir Hidrolik Konumlama Sistemi Tasarımı	39
2.3.3 Pnömatik Konumlama Sistemi	40
2.3.3.1 Pnömatik Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları.....	45
2.3.3.2 Örnek Bir Pnömatik Konumlama Sistemi Tasarımı	46
2.4 Çözüm Seçeneklerinin Karşılaştırılması	49
3. ÖRNEK UYGULAMA (KULLANICIYA GÖRE YÜKSEKLİK AYARI YAPAN MEKATRONİK KOLTUK TASARIMI).....	53
3.1 Sistem Hakkında Genel Bilgi.....	53
3.2 Hidrolik Konumlama Sistemi	56
3.2.1 Kullanılan Hidrolik Devre Elemanlarının Tanıtılması.....	56
3.2.1.1 Hidrolik Pompa.....	56
3.2.1.2 Hidrolik silindir	58
3.2.1.3 Selenoid Valf	59
3.2.2 Hidrolik Devre Tasarımı ve Hesabı	60
3.3 Elektronik Kontrol Sistemi	62
3.3.1 Elektronik Devre Tasarımı.....	63
3.3.2 Kullanılan Devre Elemanları.....	63
3.4 Kontrol Ünitesi.....	64
3.5 Montajı Tamamlanmış Sistem.....	71
4. SONUÇ	74
5. ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	76

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Birimi</u>
μ	Sürtünme Katsayısı	-
M_d	Döndürme Momenti	Nmm
i	Çevrim Oranı	-
S	Emniyet Katsayısı	-
V	Hız	m/s
d_k	Piston Kolu Çapı	mm
p	Sistem Basıncı	Bar
Q	Debi	lt/dak
l_p	Serbest Burkulma Uzunluğu	mm
F_{Bkem}	Emniyetli Burkulma Kuvveti	N
I	Atalet Momenti	mm ⁴
E	Elastiklik Modülü	N/mm ²
n	Devir Sayısı	dev/dk
Q	Yük	N
F_s	Sürtünme Kuvveti	N
P	Tahrik Gücü	watt
d	Nominal Çap	mm
d_2	Ortalama Çap	mm
d_3	Diş Dibi Çapı	mm

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil Numarası	Adı	Sayfa
Şekil 1.1	Sürücü Bir İnsan ve Mekatronik Sistem Benzetimi	5
Şekil 1.2	İki Araç Arasındaki Mesafenin Otomatik Olarak Ayarlanması İçin Mesafe ve Hız Ölçümü Yapan Radar Sistemi	8
Şekil 1.3	Açık Çevrimli Kontrol Sistemi	16
Şekil 1.4	Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemi	16
Şekil 2.1	Bir işyerindeki farklı çalışma pozisyonları	24
Şekil 2.2	Kullanıcıya Göre Yükseklik Ayarı Yapan Bir Çalışma Masası	25
Şekil 2.3	Kontrol Panelleri	25
Şekil 2.4	Yükseklik Ayarı Yapan Bir Çalışma Masası	26
Şekil 2.5	Yükseklik Ayarı Yapan Çalışma Masası Kontrol Panelleri	26
Şekil 2.6	Yürüyüş Platformlu Çalışma Masası	27
Şekil 2.7	Yürüyüş Platformlu Çalışma Masası Kontrol Paneli	27
Şekil 2.8	Çok Fonksiyonlu Otomobil Koltuğu	28
Şekil 2.9	Yükseklik Ayarı Yapılabilen Engelli Koltuğu	28
Şekil 2.10	Tasarlanan Mekanik Konumlama Sistemi	31
Şekil 2.11	Hidrolik Konumlama Sistemi Devre Şeması	40
Şekil 2.12	Pnömatik Valfler	43
Şekil 2.13	Pnömatik valf çeşitleri.....	43
Şekil 2.14	Pnömatik Konumlama Sistemi Devre Şeması	47
Şekil 3.1	Pompa-Motor Bağlantı Aparatı	54
Şekil 3.2	Üretilen Hidrolik Silindirik Yataklama Aparatı ve Montajı	54
Şekil 3.3	Üretilen Bağlantı Rakorları	54

Şekil 3.4 Üretilen Koltuk Üst ve Alt Kısmı	55
Şekil 3.5 Üretimi Yapılan Yağ Tankı	55
Şekil 3.6 Mekanik Sistem Genel Montajı.....	55
Şekil 3.7 Sistemde Kullanılan Hidrolik Pompa ve Elektrik Motoru.....	57
Şekil 3.8 Hidrolik Pompa ve Elektrik Motoru Montajı.....	58
Şekil 3.9 Sistemde Kullanılan Çift Etkili Hidrolik Silindir	59
Şekil 3.10 Selenoid Valf	59
Şekil 3.11 Kullanıcıya Göre Yükseklik Ayarı Yapabilen Mekatronik Koltuk Hidrolik Devre Şeması	60
Şekil 3.12 Tasarlanan Elektronik Devre Şeması	63
Şekil 3.13 Sistemde Kullanılan PIC16F877 İşlemci	64
Şekil 3.14 Sistem Açılış Ekranı	64
Şekil 3.15 Ayarlar Ekranı	65
Şekil 3.16 Kullanıcı Seçim Ekranı	65
Şekil 3.17 Yükseklik Ayarları Ekranı	65
Şekil 3.18 Referans Seviye Konumlanma Bilgi Ekranı	66
Şekil 3.19 Kullanıcı Yönlendirme Ekranı	66
Şekil 3.20 Yükseklik Bilgi Ekranı	66
Şekil 3.21 Bilgi Ekranı	67
Şekil 3.22 Sistem Açılış Ekranı	67
Şekil 3.23 Kaydedilmiş Ayarlar Seçim Ekranı	67
Şekil 3.24 Konumlanma Bilgi Ekranı	68
Şekil 3.25 Sonuç Bilgi Ekranı	68
Şekil 3.26 Ayarlar Ekranı	68

Şekil 3.27 Kullanıcı Seçim Ekranı	69
Şekil 3.28 Yükseklik Ayarları Ekranı	69
Şekil 3.29 Kaydedilmiş Ayarlar Seçim Ekranı	69
Şekil 3.30 Program Akış Diyagramı	70
Şekil 3.31 Sistemin Montajı Yapılmış Hali.....	71
Şekil 3.32 Sistem Alt Bölümü.....	71
Şekil 3.33 Sistem Montajı Önden Görünüş	72
Şekil 3.34 Sistem Montajı Arkadan Görünüş	72
Şekil 3.35 Sistem Güç Ünitesi ve Selenoid Valf	73
Şekil 3.36 Sistem Elektronik Ünitesi.....	73
Şekil 3.37 Çalışma Esnasında Sistem Kontrol Ünitesi	73

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge Numarası	Adı	Sayfa
Çizelge 2.1	Hidrolik, Pnömatik ve Mekanik Sistemlerin Karşılaştırılması	50
Çizelge 2.2	Çözüm Seçeneklerinin Karşılaştırılması.....	52

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince değerli fikir, eleştiri ve yönlendirmeleri ile araştırmama katkıda bulunan, ilgi ve hoşgörüsünü esirgemeyen danışman hocam, Yrd. Doç. Dr. M. Nedim GERGER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez hazırlanması sırasında bana yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Hakan DEMİR, Recep ÇAKIR, Adnan TÜRKER, M.Tuncay KAYA, Mustafa BAYAR, Ender AĞCA ve Kadir AZTEKİN'e teşekkür ederim.

Balıkesir, 2010

Kemal ALGAÇ

1. GİRİŞ

Gelişen ve değişen dünya pazarları ve ilerleyen teknoloji düzeyi sonucu endüstriyel ürünlerde nitelik ve işlev olarak önemli değişimler olmuştur. Hızla gelişen teknoloji ve sürekli değişen pazar koşulları, daha ekonomik ve kaliteli ürünler isterken, müşteri beklentileri ise daha esnek ve çok işlevli ürünler yönünde olmaktadır. Müşterilerin hızla değişen istekleri ve yoğun rekabet sonucu ürün ömürleri çok kısalmıştır. Böylesine çetin koşullar karşısında alışılmış tasarım ve imalat teknolojileri yetersiz kalmış, bu ihtiyacı gidermek üzere yeni kavram ve yöntemler doğmuştur. Bunlardan birisi de mekatronik kavramıdır [1].

Farklı alanlarda uzmanlaşan kişiler birlikte çalışarak hedeflere daha etkili bir biçimde ulaşabilmektedir. Bu nedenle birçok mühendislik dalları birbirlerinden etkilenmiş ve kaynaşmıştır. Bunun sonucunda ise, günümüzde yepyeni disiplinler arası bilim dalları ortaya çıkmıştır. Elektrik-elektronik, bilgisayar teknolojisi ve kontrol mühendisliği ile makine mühendisliğinin entegrasyonu; mühendislik ürünleri ile süreçlerinin geniş bir kesiminde tasarım, üretim ve bakım yönünden çok önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Bu durum yeni mühendislik yaklaşımı ihtiyacının artmasına neden olmuş ve dünya endüstrisinde mekatronik olarak bilinen yeni bir mühendislik felsefesi gelişmiştir. Mekatronik, çok disiplinli ve disiplinler arası konuları kapsayan bir mühendislik felsefesidir.

Günümüzde sadece mekanik olarak çalışan sistemler yok denecek kadar azdır. Bütün alanlarda bilgisayar kontrollü sistemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Tasarımda, üretimde, bakım ve onarımda yapay zeka tekniklerinin uygulamasına geçilmiştir [2].

Mekatronik tasarım ürünleri, genellikle akıllı makine, alet ve cihazları, akıllı sistemleri ve akıllı süreçleri içermektedir. Mekatronik teknolojisi ürünleri günümüzde insan konforunu, güvenliğini ve sağlık koşullarını arttıran önemli bir düzeye ulaşmıştır. Algılayabilen, karar verebilen ve bu karar doğrultusunda hareket edebilen mekatronik sistemler modern dünyanın temel araçları olmuşturlardır.

Mekatronik sistemler içinde yer alan kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapan mekatronik sistemler de, günlük hayatta önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada, bu tür sistemlerin özellikleri, kullanım alanları, tasarım seçenekleri incelenmiştir. Ayrıca örnek uygulama bölümünde kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapan mekatronik bir koltuk tasarımı ve imalatı hakkında bilgi verilmiştir.

1.1 Literatür Araştırması

KOMOTO ve ç.a., Mekatronik sistemlerin özelliklerini, tasarımını ve yapısını incelemiş, sistem tasarım ve modellemesi için bilgisayar tabanlı bir yapım modeli ortaya koymuşlardır. Bu modelle birden fazla tasarımcının ortak çalışmasına olanak sağlanmıştır [3].

ERDEN, Mekatronik sistemlerin yapısını, özelliklerini, mekatronik sistem elemanlarındaki gelişmeleri ve mekatroniğin günlük hayatta uygulama alanlarını incelemiş, mekatronik teknolojinin giderek daha çok yaygınlaşacağını ortaya koymuştur [4].

KORONDI ve ç.a., Pnömatik silindirlerin konum kontrolü, kontrol yöntemlerini ve servo pnömatik olarak bir silindirin konum kontrolü için bir model oluşturmuşlar, deneysel sonuçlarla modelin kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır [5].

ADAM ve ç.a., Mekatronik bir hidrolik pres tasarımını ve kontrolünü incelemiş, böyle bir sistemde bulunması gereken mekatronik sistem elemanları

hakkında bilgi vermişlerdir. Ayrıca sistemde oluşabilecek arızaları azaltmak amacıyla bir kontrol sistemi ortaya koymuşlardır [6].

THOMAS ve ç.a., Düşük maliyetli pnömatik bir konum kontrolü sistemi araştırması yapmışlardır. Bu amaçla pnömatik bir çift etkili silindirin, selenoid valfle konum kontrolünü araştırmış ve konumlama sistemi için örnek bir tasarım modeli ile ilgili bilgi vermişlerdir [7].

GROF ve ç.a., Pnömatik bir konum kontrol sisteminin özelliklerini incelemiş ve oransal valfle kontrol edilen pnömatik bir silindirin hareketi ile ilgili matematiksel bir model ortaya koymuşlardır [8].

CAMPANİLE ve ç.a., Mekatronik sistemlerin optimizasyonu için lineer hidrolik aktüatörlerin modellemesini incelemişler ve bununla ilgili bir matematiksel model ortaya koymuşlardır [9].

TAŞKAN, Hidrolik sistemlerin özelliklerini, avantajlarını, kullanım alanlarını, hidrolik motorları ve hidrolik motor sisteminin konum kontrolünü incelemiş, oransal valf kullanarak hidrolik motor sisteminin konum kontrolünü PD ve PID kontrol yöntemlerini uygulayarak gerçekleştirmiştir [10].

RZEVSKI, Mekatronik sistemlerin yapısını, özelliklerini ve mekatronik sistemlerin kavramsal tasarım prensiplerini incelemiş, kavramsal tasarım örnekleri ortaya koymuştur [11].

SCHAFER ve ç.a., İleri mekatronik sistemlerin günümüzdeki ve gelecekteki gelişme trendini yazılım teknolojisi açısından incelemiş, bu sistemlerin geliştirilmesinde karşılaşılabilecek güçlükleri ve bu konuyla ilgili çözümleri ortaya koymuşlardır [12].

PINAR ve ç.a., Bir hidrolik pozisyonlama sisteminde piston çapı, ilerleme oranı, yön ve eksen parametrelerinin optimum seviyelerinin belirlenmesini

incelemişler, bu parametrelerin pozisyonlama hatası üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir [13].

AMERONGEN ve ç.a., Bilgisayar destekli mekatronik sistem tasarımını incelemiş, mekatronik sistemlerin kavramsal tasarımı için bilgisayar tabanlı örnek bir interaktif tasarım aracı ortaya koymuşlardır [14].

CHOI ve ç.a., Piezo aktüatör kontrollü hidrolik pompa kullanılan bir hidrolik sistemde, silindirin konum kontrolünü incelemiş, böyle bir sistemin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuşlardır [15].

1.2 Mekatroniğin Tanımı ve Tarihi Gelişimi

Günümüzde özellikle elektro-mekanik sistemler, makineler, taşıtlar ve hassas cihazlar için mekatronik tasarım artan bir öneme sahiptir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, mekatroniğin farklı tanımlamalarıyla karşılaşılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir [16].

Mekatronik;

Mekanik, elektronik ve bilgisayar teknolojilerini kullanarak ürünlerin, sistemlerin ve proseslerin performansını zenginleştiren, bütünleştirici bir disiplindir.

Ürünlerin tasarımında ve üretim süreçlerinde makine mühendisliğinin, elektronik kontrolün ve akıllı sistemlerin sinerjik olarak bütünleştirilmesidir.

Gelişmiş ürün ve süreç tasarımı için mühendislik, kontrol teorisi, bilgisayar bilimi, algılayıcı ve eyleyici teknolojisinin sinerjik olarak kullanılmasıdır.

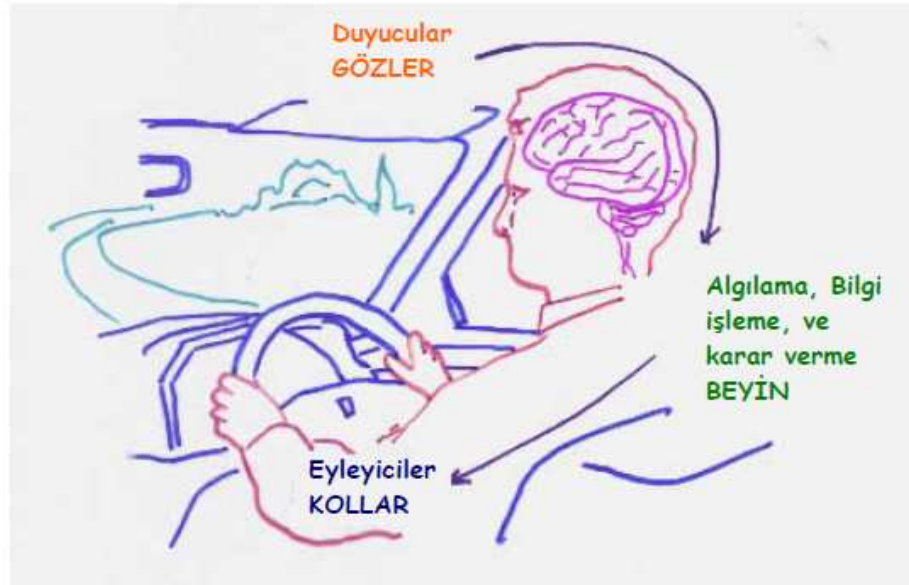
Makine Mühendisliğinin tasarım, üretim ve süreç aşamalarında, elektronik ve bilgisayar kontrolü ile yapay zekanın integrasyonudur.

Makine, elektronik ve informatik (programlama) alanlarını içeren bir "Disiplinler arası" mühendislik bilimi uygulamasıdır.

En geniş anlamda mekatroniğin bir tanımını yapacak olursak: mekatronik aşağıda sayılan çalışma alanlarını kapsayan Disiplinler arası bir bilim dalıdır;

- Mekanik sistemler (Makine mühendisliği, hassas cihazlar, aparat imalatı)
- Elektronik sistemler (Mikro elektronik, güç elektroniği, ölçme tekniği)
- İnfomasyon tekniği (Sistem teorisi, otomasyon tekniği, yapay zeka)

Şekil 1.1' de sürücü bir insan ve mekatronik sistem benzetimi görülmektedir.



Şekil 1.1 Sürücü Bir İnsan ve Mekatronik Sistem Benzetimi [1]

Mekatronik kelimesi ilk kez 1970'li yıllarda Japonya'da kullanılmaya başlanmış, daha sonra Avrupa'da yaygınlaşmıştır. Mekatronik kelimesi Mekanik ve Elektronik kelimelerinin birleşiminden türetilmiştir. Tarihsel süreç içinde, mekanik teknolojinin gelişimi sonucu önce mekanizasyon sağlanmıştır . Ancak gelişen teknolojik gereksinmelerin sadece mekanizasyon ile gerçekleştirilememesi nedeniyle, gelişmekte olan elektronik teknolojilerinden yararlanılmış ve elektromekanik sistemler oluşmuştur.

Ancak ileri teknoloji düzeyi ve ekonomik koşulların yeterli olmaması sonucu yeni yardımcı teknolojiler aranmış ve gelişmekte olan bilişim teknolojisi hızla elektromekanik sistemlere uygulanmıştır. Bunun sonucu olarak, mekanik, elektronik ve bilgisayar yazılım sistemlerinin yapısal ve işlevsel tümleşmesinden oluşan makine, cihaz, araç vb., ürünler, alışılmış teknoloji düzeyindeki ürünlere göre önemli üstünlükler sağlamıştır [1].

1.3 Mekatroniğin Uygulama Alanları

Mekatronik genel olarak, bilgisayar kontrollü sistemlerin veya elektromekanik sistemlerin, ürün tasarım ve üretiminde görev alan mühendisler tarafından kullanılmasıyla uygulanır.

Birden fazla mühendislik branşının ortak kullanımıyla birlikte gelişmesi, içinde yer aldığı mühendislik branşlarının da ilerlemesini sağlamaktadır. Mekatronik, aslında yeni bir kavram değildir. En son teknolojilerin, daha çok işleve sahip ve uygulaması kolay olan ürünlerin proseslerini dizayn etmek için, basit olarak makine mühendisliğine, kontrol teorisine, bilgisayar bilimine ve elektroniğe uygulanmasıdır.

Buradan da anlaşılacağı gibi teknoloji geliştikçe mekatronik ilerler, böylece teknoloji daha da gelişir. Yani arada sürekli bir çevrim vardır ve bu

çevrim dışarıya açık olup, çeşitli mühendislik ve bilimlerle de etkileşim halindedir ve bunların gelişmesine katkıda bulunur.

Mekatroniğin kullanımıyla ilgili en güzel örneklerden biri bilgisayar disk sürücüsüdür. Hızlı cevaplama, doğruluk ve sağlamlık gibi özelliklerle mekatroniğin kullanım amaçlarına uygun niteliklere sahiptir.

Bilgisayar disk sürücüleri, mekatronik uygulamalarının ilk örneklerindedir. Bu makineler, çok hızlı bilgi aktarımına ve hassas pozisyonlamaya sahip olup, değişken sistem etkilerine de dayanıklıdır.

Mekatroniğin uygulama alanları detaylı olarak aşağıda sunulmuştur [4].

- Taşıtlarda hava yastığı güvenlik sistemleri, ABS fren sistemleri, uzaktan kumandalı kapı kilitleri, sürüş ve seyir denetimi, motor ve güç sistemleri denetimi, yolcu güvenlik sistemleri ve taşıt araçlarındaki benzer sistemler.

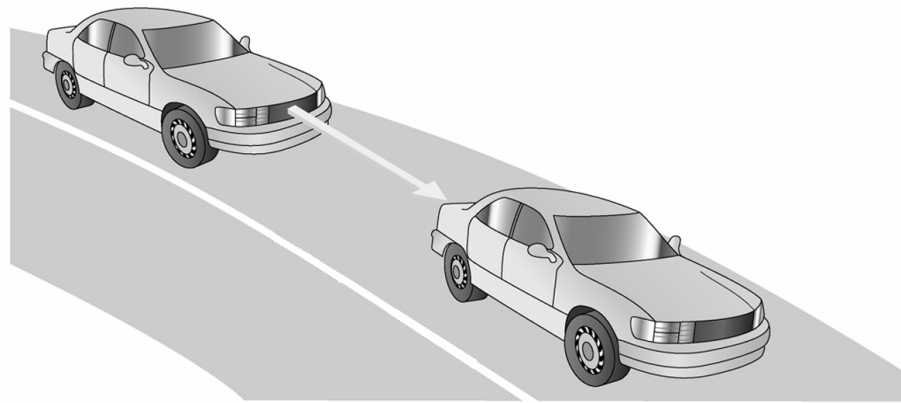
- NC, CNC v.b. tezgahlar, hızlı prototip üretim tezgahları ve benzeri otomatik üretim tezgahları.

- Fotokopi makineleri, faks makineleri, elektronik daktilolar, ve benzeri büro makineleri.

- MR cihazları, atroskopik cihazlar, ultrasonik problemler vb. diğer tıbbi cihazlar.

- Otomatik odaklamalı fotoğraf makineleri, video kameralar, VCD ve DVD göstericileri, CD kayıt ve benzeri kişisel kullanım amaçlı elektronik cihazlar, lazer yazıcılar, sabit disk kafa konumlayıcıları, teyp sürücü ve yükleyicileri, CD okuyucu ve yazıcıları ve benzeri bilgisayar aksesuarları.

- Kaynak robotları, fabrika içi kendinden yönlenebilir araçlar (AGV), uzay araştırmalarında kullanılan robotlar, askeri amaçlı mayın imha robotları, bomba taşıyıcıları ve benzeri gezer robotlar.
- Uçuş denetim eyleyicileri, iniş sistemleri, kokpit kumanda ve cihazları ve benzeri hava araçları sistemleri.
- Garaj kapısı otomatik açma sistemleri, güvenlik sistemleri, iklimlendirme denetim sistemleri ve benzeri ev ve büro uygulamaları, çamaşır makineleri, bulaşık makineleri, otomatik buz makineleri ve benzeri ev uygulamaları.
- Değişken hızlı matkaplar, sayısal tork anahtarları ve benzeri takımlar, malzeme test cihazları ve benzeri laboratuvar cihazları,
- Bar kodlu sistemler, konveyör sistemleri ve benzeri fabrika otomasyon sistemleri,
- El ve otomatik kumandalı hidrolik krenler ve benzeri malzeme taşıma ve inşaat makineleri, otomatik etiketleme, kalite denetiminde kamera ve benzeri kalite denetimi ve paketleme uygulamaları.



Şekil 1.2 İki Araç Arasındaki Mesafenin Otomatik Olarak Ayarlanması İçin Mesafe ve Hız Ölçümü Yapan Radar Sistemi [17]

Şekil 1.2'de mekatronik sistemlerin günlük hayattaki bir uygulaması olarak, iki araç arasındaki mesafenin otomatik olarak ayarlanması için mesafe ve hız ölçümü yapan radar sistemi görülmektedir.

1.4 Mekatronik Sistem Elemanları

1.4.1 Algılayıcılar (Sensörler)

Mekatronik sistemler, ortamda meydana gelen olayları sensörleri kullanarak fark ederler. Mekatronik sistemdeki; mekanik, magnetik, ısı, optik ve kimyasal değişimler elektrik voltajına veya akımına sensörler vasıtasıyla dönüştürülür. Sensörler, insanoğlunun gözleri, kulakları, burnu ve dili gibi duyu organlarının yaptığı fonksiyonlara benzer işlem görürler. Yani algılayıcı olarak çalışırlar. Duyu organları aldıkları bilgileri beyne iletirler. Sensörlerse topladıkları bilgileri endüstriyel otomasyonda beyne karşılık gelen mikro işlemciye iletir [2].

İnsan duyuları çevreden gelen uyarıları algılayabilirler, ancak ölçüm yoktur. İnsan fizyolojisi sıcaklık ve soğukluk derecelerini ayırt edebilir ama bir termometre gibi hassas bir ölçüm veremez. Bir imalat hattında kalite denetimi sisteminin bir parçası olarak ölçüm yapılabilir ama bu ürünün kalitesi hakkında da algılayıcılar bilgi veremezler [4].

Sensörler endüstriyel otomasyonda kapalı devre sistemin çıkış büyüklüğünü sürekli algılayarak girişe müdahale ederler. Daha genel bir ifadeyle, ortamdaki aldıkları bilgileri değerlendirirler, sonucu aktüatöre gönderirler ve aktüatör ortamı düzeltmek üzere müdahale eder.

Sensör ve transduser terimi yaklaşık aynı anlamdadır ve çoğu zaman birbirinin yerine kullanılmaktadır. Ancak, transduserler ölçülen büyüklüğü bir fiziksel değişime uğratar. Sensörler ve transduserler genellikle ölçümünde kullandıkları fiziksel büyüklüklere göre sınıflandırılırlar. Mekatronik sistemlerde

karşılaşılan başlıca ölçümler, yerdeğiştirme, hız, ivme,, mesafe, kuvvet, gerilme, sıcaklık, basınç ve akımdır. Sensör ve transduserler de bu büyüklüklere göre isimlendirilmektedir [2]. Aşağıda bu sensörlerle ilgili açıklayıcı bilgiler verilmiştir.

1.4.1.1 Yer Değiştirme, Hız ve İvme Sensörleri

Yer değiştirme, hız ve ivme sensörleri; takım tezgahları, kalite kontrol cihazları ve paketleme makineleri gibi bir çok mekatronik sistemde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yer değiştirme; doğrusal ve açısal olmak üzere iki türlü yapılmaktadır. Doğrusal yer değiştirme sensörleri; bir saç malzemenin kalınlığını, bir parçanın bir yerde olup olmadığını yada boyutlarını belirlemek gibi işlemlerde kullanılmaktadır. Açısal yer değiştirme sensörleri ise millerin açısal yer değiştirmelerini izlemek üzere kullanılmaktadır. Yer değiştirme sensörleri temaslı yada temassız olabilir. Yer değiştirme sensörü olarak; potansiyometreler, strain–gaugeler, optik ve mutlak enkoderler, pnomatik sensörler ve diferansiyel transformatörler kullanılmaktadır [2].

1.4.1.2 Kuvvet ve Gerilme Sensörleri

Mekatronik sistemlerde ağırlık ölçümü özellikle proses kontrolünde önemli bir yer tutar. Ayrıca bir çok fiziksel büyüklükteki değişim, şekil değiştirme ve gerilmeyle orantılı ifade edilebilmektedir. Bu açıdan şekil değiştirme ve buna bağlı olarak gerilmelerin ölçümü çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Kuvvet sensörleri yapı olarak iki prensipten birini esas almaktadır. Bunlardan biri, uygulanan ağırlığı dengelemek üzere sisteme karşı yönden bir kuvvet uygulanması ve bu dengeleyici kuvvetin başka bir transdüserle ölçülmesidir. Bilinen klasik terazilerin hemen hemen hepsi bu prensibe göre çalışmaktadır.

Diğer prensipte ise uygulanan ağırlığın cismin yapısında meydana getirdiği şekil değişiminin başka bir transdüserle ölçülmesidir. Bu yöntemde, ağırlık miktarı kuvvetin uygulandığı cismin mekanik özelliklerinden yararlanılarak elde edilir [2].

1.4.1.3 Sıcaklık Sensörleri

Ortamdaki ısı değişimini algılamamıza yarayan cihazlara ısı veya sıcaklık sensörleri diyoruz. Birçok maddenin elektriksel direnci sıcaklıkla değişmektedir. Sıcaklığa karşı hassas olan maddeler kullanılarak sıcaklık kontrolü ve sıcaklık ölçümü yapılır. Sıcaklık ile direnci değişen elektronik malzemelere; term (sıcaklık) ve rezistör (direnç), kelimelerinin birleşimi olan termistör denir. Termistörler genellikle yarı iletken malzemelerden imal edilmektedir.

1.4.1.4 Basınç Sensörleri

Her türlü fiziki kuvvet ve basınç değişimini algılayan ve bu değişimi elektriksel sinyale çeviren elemanlara basınç sensörü denir. Basınç sensörleri, çalışma prensibine göre dört grupta incelenebilir. Bunlar:

- Kapasitif basınç ölçme sensörleri
- Strain gauge (şekil değişikliği) sensörler
- Load cell (yük hücresi) basınç sensörleri
- Piezoelektrik özellikli basınç ölçme sensörleri

1.4.1.5 Akış Sensörleri

Akış ölçümünde genelde kütleli ve hacimsel debi ölçerler ile hız problemleri kullanılmaktadır. Akışın hızını yada debisini ölçmekte kullanılan hacimsel debi ölçerlere türbinli debi ölçeri örnek olarak verebiliriz. Türbinli debi ölçer, boru içine merkezlenerek, aksel yönde yerleştirilmiş çok kanatlı bir rotordan ibarettir. Rotor akış etkisiyle döner. Akışkanın debisi veya ortalama hızı, türbinin açısal hızıyla doğrudan orantılıdır. Cihaza yerleştirilen daimi bir mıknatıs kanatlar döndükçe sabit gövdedeki elektrik sargısında gerilim darbeleri oluşturur. Bu darbeler ölçülerek akışın hızı ve debisi elektrik sinyali olarak alınabilir [2].

1.4.2 Aktuatörler (Eyleyiciler)

Mekatronik sistemlerde aktuatörler, sistemin sınıflanmış görevlerinden en son aşamayı yerine getirirler. Sensörler tarafından algılanıp mikroişlemciye gönderilen bilgiler orada değerlendirilerek sistemin davranışı hakkında bir karara varılır. Mekatronik sistemin fonksiyonlarından üçüncüsü ve son aşaması olan bu kararın uygulanması, aktuatörlerin görevidir. Çoğu mekatronik sistem, sonuçta sistemi kontrol edebilmek için ya bir hareketi ya da enerji aktarımını ve dönüşümünü sağlar.

Aktuatörler işte bu hareketi ve dönüşünü gerçekleştiren elemanlardır. Farklı mekatronik sistemler için değişik özelliklerde aktuatörler kullanılmaktadır. Örneğin sürücüsüz araçlarda, doğrusal hareket ve yönlendirme işlemi için elektrik motorları aktuatör olarak kullanılıyorken, ağır yüklerin hassas şekilde kaldırılmasında hidrolik güç ve hidrolik aktuatörler kullanılmaktadır. Birçok farklı fonksiyonu yerine getiren gelişmiş takım tezgahlarında ise, elektrik, hidrolik ve pnömatik aktuatörler tezgahların alt sistemleri için bir arada kullanılmaktadır. Aktuatörler genelde, mikroişlemciden ya da bilgisayardan düşük bir sinyal alırlar ve bunu güçlü bir sinyale dönüştürerek mekanik hareket üretirler [2].

1.4.2.1 Elektriksel Aktuatörler

Elektriksel aktuatörler; elektriksel kumanda sinyalini mekanik harekete dönüştürürler. Bu tür aktuatörlerin başlıca çeşitleri aşağıda verilmiştir [2].

- Dönme hareketi üretmek üzere kullanılan, step motorları gibi tahrik sistemleri
- Hidrolik/pnömatik akışı kontrol etmek üzere kullanılan selenoid valfte olduğu gibi, selenoid tip sistemler
- Bir ısıtıcı ya da bir motor gibi bazı elektrikli cihazların açılıp kapanmasında kullanılan mekanik swiçler, diyotlar, tristörler ve transistörler, röleler gibi açma-kapama sistemleri

Elektrik motorları bütün mekatronik sistemlerde en fazla kullanılan aktüatörlerdendir. Bunlar Doğru Akım Motorları (DC), Alternatif Akım Motorları (AC) ve Step Motorlar şeklinde sınıflandırılmaktadır.

1.4.2.2 Hidrolik ve Pnömatik Aktüatörler

Mekatronik sistemlerde en çok kullanılan aktüatör elektrik motorları olmasına rağmen, hidrolik ve pnömatik sistemler özellikle kırılğan yada yumuşak cisimlerin hareketinde tercihli olarak kullanılmaktadır. Ayrıca hidrolik-pnömatik sistemler takım tezgahları ve robotlar gibi yüksek güç gerektiren mekatronik sistemlerde de fazla yer kaplamaksızın kullanılmaktadır.

Hidrolik ve pnömatik sistemlerde kullanılan akışkanlar basınç altında muhafaza edilebilir, borular vasıtasıyla iletilebilir, gereken yerde kuvvete dönüştürülerek hareket ve iş elde edilebilir. Akışkanın sıvı olması durumunda "hidrolik sistemler", akışkanın gaz olması durumunda "Pnömatik Sistemler" söz konusudur. Hidrolik ve pnömatik aktüatörler olarak, doğrusal hareket için silindirler, açısai hareket (dönme hareketi) için ise hidrolik motorlar kullanılmaktadır. Bir silindir, akışkan gücünü doğrusal mekanik harekete dönüştürür. Hidrolik motor ise, hidrolik akışkan gücünü mekanik dönme hareketi ve momente dönüştürür [2].

Hidrolik ve pnömatik sistemler genelde benzer olmakta birlikte, sistemde kullanılan elemanlar ve çalışma prensibi açısından farklılıklar vardır.

Hidrolik sistemler genellikle ağır yüklerin hareket ettirilmesi gereken uygulamalarda tercih edilir. Hidrolik silindirler kullanılarak doğrusal hareket ve hidrolik motorlar yardımıyla dönme hareketi elde edilmektedir.

Pnömatik sistemler üretimde kullanılan robotlar, takım ve iş parçası aparatları kaldırma ve iletme makineleri gibi sistemlerde; güvenilir, bakımı kolay

ve temiz olması dolayısıyla özellikle tercih edilmektedir. Pnömatik sistemdeki sıkıştırılmış hava basıncı, hidrolik sistemdeki basınçtan daha düşüktür. Bu düşük çalışma basıncı sebebiyle pnömatik sistemler hidrolik sistemlere göre çok daha düşük kuvvetler üretirler.

1.4.2.3 Mekanik Aktüatörler (Hareket Sistemleri)

Mekanik sistemler; mekatronik sistemlerin ana yapısı ve iskeletini oluşturmakla birlikte, güç ve hareket iletimi gibi çok önemli bir fonksiyonu da yerine getirmektedir. Mekatronik sistemin çalışma koşullarına ve özelliklerine bağlı olarak işin yapılabilmesi için çok değişik türde hareketler gerekmektedir. Dolayısıyla güç kaynağı ve işin yapıldığı ünite arasında gücün iletilmesi, hareket şeklinin ve özelliklerinin değiştirilmesi gerekebilir. Mekatronik sistem içinde bu görevi genellikle mekanik sistemler üstlenmektedir. Dairesel bir hareketin doğrusal bir harekete yada doğrusal bir hareketin dairesel harekete dönüştürülmesi gerekebilir. Bir dönme hareketinde, hareketin yönünün devir sayısının veya döndürme momentinin değiştirilmesi gerekebilir. Hatta bir doğrusal harekette hareketin başlangıcı ve bitişi arasında geçen süre içinde farklı hız ve ivmede değişik türde hareketler istenebilir. Bütün bu farklı hareket türlerine cevap vermek üzere mekanik sistemler geliştirilmiştir. Bu mekanik sistemlere "Güç ve Hareket İletim Elemanları" adı verilmektedir. Mekatronikte mekanik aktüatörlere bu güç ve hareket iletim elemanları karşılık gelir [2].

Başlıca mekanik güç ve hareket iletim elemanları olarak; dişli çarklar, kayış-kasnak mekanizmaları, zincir mekanizmaları, kamlar ve krank biyel mekanizmaları sayılabilir.

1.4.3 Kontrol Sistemleri

Kontrol, bir sistemin çalışmalarını amaçlanan değerlere yöneltmek veya önceden belirlenmiş bir koşula uyumunu sağlamak üzere gerçekleştirilen işlemler olarak tanımlanabilir. Kontrol sistemi ise, sistemin bizzat kendisinin yada

diğer bir sistemin, davranışını bozucu değişkenlerin etkisine rağmen kumanda etmek, yönlendirmek veya ayarlamak üzere gerekli kontrol işlemlerini gerçekleştirmek için kurulan sisteme verilen addır.

Günümüzde, mekatronik sistemlerin yaşantımıza yoğun bir şekilde girmesiyle birlikte, kontrol sistemleri her alanda kullanılmaya başlanmıştır. Merdiven ışıklarının yakıldıktan belli bir süre sonra kendi kendine sönmelerini sağlayan merdiven otomatiğinden otomatik çamaşır makinelerine, üretimde kullanılan Bilgisayar Kontrollü Tezgahlardan (C.N.C), uzay taşıtlarına, kontrol sistemleri gittikçe yaygınlaşan geniş bir alanı içine almaktadır [2].

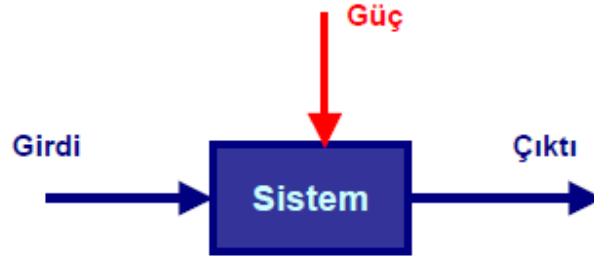
Aşağıda kontrol sistemleri ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

1.4.3.1 Açık Çevrimli Kontrol Sistemleri

Sistemi kontrol eden düzeneğin sistemin çıkışından etkilenmediği, sadece verilen referans değerine göre kontrol işleminin yapıldığı sistemlerdir. Hassasiyet gerektirmeyen sistemlerde kullanılan bir kontrol sistemi mekanizmasıdır. Sisteme etkiyen bozucu faktörlerin algılanması insan faktörüyle olabilmektedir.

Verilen referans işareti kontrol elemanı tarafından alınır ve oransal bir kontrol işareti üretir. Bu işaret, kontrol edilen sisteme verildiğinde sistem giriş değişkenini süreç içine alır ve istenilen çıkış işaretini verir. Açık çevrim denetim, genellikle kumanda edilen sistemin yapısının ve sisteme etkiyen diğer girişlerin önceden çok iyi bilindiği uygulamalarda kullanılır [18].

Şekil 1.3'de açık çevrimli bir kontrol sistemi şeması görülmektedir.

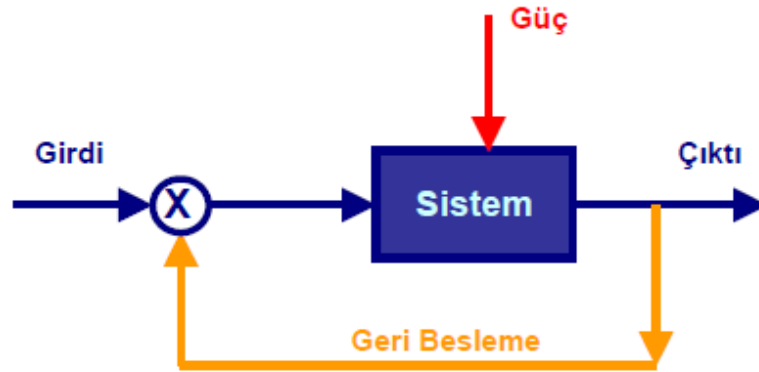


Şekil 1.3 Açık Çevrimli Kontrol Sistemi [4]

1.4.3.2 Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemleri

Bir kapalı çevrim kontrol sisteminde çıkış değişkeni, ölçme elemanı ile ölçülür ve ölçme büyüklüğü girişe geri beslendikten sonra referans bir değer ile karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucunda hata sinyali elde edilir, hata sinyalinin yapısına ve denetlenen çıkış değişkenine uygun bir kontrol sinyali üretilir. Kapalı çevrim kontrol sistemine “geri beslemeli kontrol sistemi” de denilebilir [19].

Şekil 1.4’te kapalı çevrimli bir kontrol sistemi şeması verilmiştir.



Şekil 1.4 Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemi [4]

1.4.3.3 Adaptiv Kontrol Sistemleri

Adaptiv kontrol sistemleri; tanımlama, karar verme ve düzeltme gibi fonksiyonları yerine getirerek, sistemin en iyi çalışma şartlarını elde etmek üzere kendi kendini değişen şartlara göre uyarlayabilen sistemlerdir. Adaptiv kontrol sistemi arzu edilen sistem cevabını elde edecek tarzda sistemin parametreleri üzerinde değişiklikler yapar. Adaptiv kontrol ifadesi; herhangi bir anda sistem davranışının ölçülebilme kabiliyeti ve en uygun sistem cevabını sağlamak üzere kontrol elemanı ayarlarını otomatik bir şekilde yerine getirebilmesi esasına dayanır [2].

1.4.4 Kontrol Teknikleri ve Kontrol Organları

Kontrol sistemi hangi türden olursa olsun, sistemde mutlaka bir kontrol tekniği ve kontrol organı kullanılma zorunluluğu vardır. Kontrol tekniğinin ve kontrol organının seçimi; kontrol edilen sistemin yapısı, çalışma şartları, hassasiyeti, ekonomikliği ile kontrol organının elde edilme kolaylığı, boyutları, emniyet ve güvenilirliği gibi etkenlere bağlıdır. Kontrol organları kullandıkları enerjinin türüne göre elektronik, pnömatik ve hidrolik kontrol organları şeklinde sınıflandırılmaktadır. Ancak kontrol organı hangi tür olursa olsun dinamik davranışına göre; ikili (aç-kapa) kontrol organları ve sürekli çalışan kontrol organları olarak sınıflandırılmaktadır.

1.4.4.1 Uygulama Şekline Göre Kontrol Teknikleri

Uygulama şekline göre kontrol teknikleri;

- Servo Mekanizma
- Sıralı Kontrol
- Sayısal Kontrol
- Bilgisayarlı Kontrol olarak sınıflandırılmaktadır [2].

1.4.4.1.1 Servo Mekanizma

Servo mekanizmalar geri beslemeli bir kontrol sistemi olup, sistemin çıkışı olan konum yada hızı sürekli olarak izlemektedir. Doğru akım motorlu, adım motorlu, elektrohidrolik sistemli ve elektro pnömatik sistemli servo mekanizmalar genel olarak karşılaşılan örneklerdir.

1.4.4.1.2 Sıralı Kontrol

Bu kontrol türünde, kontrol işlemleri belli değerlere ve zamana göre önceden belirlenip işlemler birbiri ardınca adım adım uygulanarak, ikili kontrol (On/Off) şeklinde gerçekleştirilir. Sıralı kontrolde; birinci adım tamamlanır tamamlanmaz ikinci adım başlar. İkinci adım bittiğinde üçüncü adım başlar ve işlem böylece devam eder. Sıralı kontrol için ev tipi bir otomatik çamaşır makinesi örnek verilebilir. Makine bir çok işlemi doğru bir sırayla gerçekleştirmek zorundadır. Bu işlemler temel olarak; ön yıkama, yıkama, sıkma işlemleridir. Bu işlemlerde kendi içinde bir çok adımı gerçekleştirir.

1.4.4.1.3 Sayısal Kontrol

Sayısal bilgileri, sayısal şifreler biçiminde kullanan ve manyetik bant yada manyetik disk ortamlarında saklayabilen sistemlere Sayısal Kontrollü Sistemler denir. Konum, yön, hız ve seviye gibi değişkenleri kontrol etmek için bu sayısal bilgiler kullanılır. Gelişmiş takım tezgahlarında ve imalat sanayindeki otomasyon işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.4.4.1.4 Bilgisayarlı Kontrol

Bilgisayarlı kontrol, sayısal kontrolün gelişmiş bir şeklidir. Bilgisayarın hesaplama yeteneklerinin iyi olması, ileri kontrol yöntemlerinin kullanılmasına imkan verir. Çok karmaşık ve değişik görevler hazırlanan programlar sayesinde kolaylıkla yerine getirilebilir. Sistemin görevi değiştiğinde program değiştirilerek

kontrol sisteminin donanımında herhangi bir değişiklik yapmaksızın yeni duruma çok çabuk uyum sağlanabilir.

1.4.4.2 Kullandıkları Enerji Türüne Göre Kontrol Organları

Kontrol organları, alınan enerjinin türüne göre; Hidrolik Kontrol Organı, Pnömatik Kontrol Organı ve Elektronik Kontrol Organı şeklinde sınıflandırılmaktadır. Günümüzde endüstriyel olarak en yaygın kullanılanlar ise pnömatik ve elektronik kontrol organlarıdır [2].

1.4.4.2.1 Pnömatik Kontrol Organları

Özellikle rafineriler gibi petrokimyasal tesislerle, tekstil fabrikalarında, emniyet, sistem basıtlığı ve nispeten daha ucuz olması dolayısıyla basınçlı hava ile çalışan pnömatik kontrol organları tercih edilmektedir. Bu sistem, kontrol organlarından gelen akım çıkısını, mekatronik sistemdeki aktüatörü çalıştırmak için bir pnömatik basınç sistemine dönüştürür.

1.4.4.2.2 Elektronik Kontrol Organları

Son yıllarda, elektronikte meydana gelen hızlı gelişme sonucu elektronik kontrol organları yaygınlaşmıştır. Elektronik kontrol organları, analog kontrol organları ve sayısal kontrol organları olarak ikiye ayrılmaktadır.

1.4.4.2.3 Analog kontrol organları

Kuvvetlendiriciler, dirençler ve kapasitansların uygun şekilde bağlanmasıyla oluşturulan devrelerdir. Devrede kullanılan elemanlar kontrol organının tipine bağlı olarak değişmektedir. Yani devredeki elemanlar değiştirildiğinde kontrol organının tipi kolaylıkla değiştirilebilmektedir. Ancak, sayısal devreler daha hassas ve değişikliklere karşı daha esnektir. Bu bakımdan gün geçtikçe sayısal devrelerin kullanımı daha da artmaktadır.

1.4.4.2.4 Sayısal kontrol organları

Aslında sayısal kontrol organları, analog kontrol organlarıyla fonksiyon bakımından benzerdir. Sayısal kontrol organları; mantık sistemleri, sayısal elektronik kapılar, A/D ve D/A çeviriciler, kaydediciler ve sayıcılar ile zamanlayıcılar gibi elemanlardan oluşan devrelerden ibarettir. Kontrol sistemleri için geliştirilmiş, entegre devrelerden ibaret olan mikroşlemciler ve mikrokontrolörler sayısal kontrolün günümüzde kullanılan en önemli örnekleridir.

Günümüzde, kamlarla çalışan swiçler ve röle grupları gibi klasik kontrol organlarının yerini mikroşlemci esaslı kontrol organları almaya başlamıştır. Cep telefonlarından CNC takım tezgahlarına, hesap makinesinden çamaşır makinesine kadar bir çok uygulamada mikroşlemcilerin, mikrokontrolörlerin ve programlanabilir lojik kontrol organlarının yaygın olarak kullanıldığını görmekteyiz. Mikro işlemci esaslı kontrol organlarının kullanıma girmesiyle beraber, endüstriyel sistemler değişen çalışma şartlarına kolaylıkla uyum sağlayabilecek tarzda daha esnek ve daha akıllı kontrol fonksiyonlarını yerine getirebilir hale gelmiştir. Mikroşlemci esaslı kontrol sistemleri, donanım ve yazılım olmak üzere iki kısımdan ibarettir. Donanım, sistemin mekanik ekipmanları ve elektronik devrelerinden oluşur. Yazılım ise, donanımın yerine getireceği fonksiyonları ifade eden komutları ve bu komutların işleme konulabilmesini sağlayan programlara karşılık gelmektedir [2].

1.4.4.2.4.1 Mikroşlemciler

Mikro işlemcilerin mimari yapıları modelden modele değişmekle birlikte, genelde benzer özelliklere sahiptir Mikroşlemciler; aritmetik işlemler, iletişim ve kontrol fonksiyonlarını yerine getiren bir çok sayısal devreden oluşur. Mikroşlemciler; merkezi işlem birimi (CPU) yada mikroşlemci birimi (MPU) olarak ta isimlendirilmektedir. Aritmetik mantık birimi (ALU), matematiksel fonksiyonları gerçekleştirir. Mikroşlemci, hafıza ve giriş/çıkış birimi (I/O) entegre

devreleri üç taşıma hattı yardımıyla birbirine bağlanmaktadır. Bunlar; adres taşıma hattı, veri taşıma hattı ve kontrol hattıdır. Mikroişlemci kullanan sistemlerde genelde iki tip hafıza vardır.

Bunlardan biri sadece okunabilen hafıza olan (ROM) olup, daima gerekli olan programlar ve endüstriyel işlemin kontrol programları buraya yüklenir. Diğeri ise, rasgele erişimli hafıza (RAM) olup, manyetik şerit, manyetik disk gibi aygıtlardan verilen uygulama programlarını saklamakta kullanılır ve saklanan bilgiler değiştirilebilir.

Giriş / Çıkış biriminin giriş kısmı, dışardan mikroişlemci tabanlı sisteme veri girişini sağlamak üzere sensör, transduser ve dönüştürücü (A/D) gibi aygıtların bağlanmasını sağlar. Çıkış kısmı ise mikroişlemcinin çıkış sinyallerinin, selenoidler, anahtarlar ve motorlar gibi mekatronik sistemin fonksiyonel elemanları olan aktüatörlere gönderilmesini sağlar [2].

1.4.4.2.4.2 Mikrodenetleyiciler

Bir mikroişlemcili sistemi meydana getiren temel bileşenlerden mikroişlemcinin, bellek ve G/Ç birimlerinin, bazı özellikleri azaltılarak tek bir entegre içerisinde üretilmiş biçimine mikrodenetleyici denir. Kontrol teknolojisi gerektiren uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmış olan mikrodenetleyiciler, mikroişlemcilere göre çok daha basit ve ucuzdur. Endüstrinin her kolunda kullanılan mikrodenetleyiciler; otomobillerde, kameralarda, cep telefonlarında, fotokopi ve çamaşır makinelerinde, televizyonlarda, oyuncak vb cihazlarda sıklıkla kullanılmaktadır [20].

1.4.4.2.4.3 Programlanabilir Lojik Kontrol Organları (PLC)

Programlanabilir Lojik Kontrol Organı (PLC), makineleri ve prosesleri kontrol etmek üzere, mantık, sıralama, sayma, zamanlama gibi fonksiyonları uygulamak ve komutları saklamak için programlanabilen bir hafızayı kullanan

sayısal, elektronik bir aygıt olarak tanımlanabilir. PLC iş akışındaki bütün adımların zamanında ve sırasına göre gerçekleştirilmesini sağlar. Bu bakımdan günümüzde; delme, kesme ,montaj, doldurma, boşaltma, paketleme ve muayene gibi tekrarlı işlemlerin çoğunda PLC kullanılmaktadır. Uygulamanın tipine ve karmaşıklığına göre PLC kullanan sistemler değişiklik gösterebilmektedir [2].

2. KULLANICIYA GÖRE YÜKSEKLİK AYARI YAPAN MEKATRONİK SİSTEMLER

2.1 Kullanıcıya Göre Yükseklik Ayarı Yapan Mekatronik Sistemler Hakkında Genel Bilgi ve Kullanım Alanları

Bir işyerindeki her çalışan farklı bir beden yapısına sahiptir. Ayrıca her çalışanın çalışma pozisyonları da farklı olabilmektedir. Çalışan kişinin çalıştığı pozisyonlar gün içinde değişebilmektedir. Bu nedenle konforlu bir çalışma ortamı için çalışan kişilerin beden yapısına ve çalışma koşullarına uygun yüksekliğe sahip çalışma masası, koltuk gibi malzemelerin seçilmesi önem kazanmaktadır [21].

Çok sayıda çalışanın olduğu bir işyerindeki çalışma masasını örnek verirsek; masanın yüksekliği sabit olduğu için çalışan kişi gün içinde farklı pozisyonlarda çalışması gerektiğinde masanın yüksekliği uygun olmadığı için ilave bir efor sarf etmek zorunda kalacaktır. Yine aynı masayı birden fazla kişi kullanıyorsa bir çalışana uygun yükseklikteki masa bir diğer çalışana uygun olamayabilecektir.

Bu tür durumlarda çalışılan masanın yükseklik ayarı fonksiyonunun olması önem kazanacaktır. Böyle bir masanın elektronik olarak kontrol edilebilmesi kullanıcı açısından daha büyük bir kolaylık sağlayacaktır. Yine sistemin kullanıcının seçtiği yükseklikleri hafızasına kaydederek daha sonra kullanıcı bu yüksekliği seçtiğinde otomatik olarak ayarlayabilme fonksiyonunun olması da önemlidir. Böylece kullanıcı her seferinde yüksekliği ayarlamakla uğraşmayacak, tek bir buton yardımıyla veya menüden istediği yüksekliğe kolayca sistemi kolayca konumlandırabilecektir. İlk ayarlama ergonomik olarak en uygun yüksekliğe sistemi konumlandırır ise bundan sonraki

ayarlamalarda hem iş verimi hem de fiziksel sağlık açısından önemli bir avantaj elde etmiş olacaktır.



Şekil 2.1 Bir işyerindeki farklı çalışma pozisyonları [21]

Piyasadaki kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapan mekatronik sistemler incelendiğinde çok çeşitli ürünlerle karşılaşmak mümkündür. Örnek olarak şekil 2.2’ de görülen çalışma masası özellikle çok sayıda kişinin aynı masayı kullanması gereken iş yerlerinde önem kazanmaktadır. Her kullanıcı rahat çalışabileceği ideal yüksekliği sisteme kayıt ederek daha sonra tekrar tekrar manuel ayar yapmak zorunda kalmamaktadır. Sistem üç konumu hafızasına kaydedebilmektedir. Şekil 2.3’ te sistemin kontrol paneli verilmiştir.



Şekil 2.2 Kullanıcıya Göre Yükseklik Ayarı Yapan Bir Çalışma Masası [21]



Şekil 2.3 Kontrol Panelleri [18]

Kullanıcı tarafından yükseklik ayarı yapılabilen bir çalışma masası şekil 2.4'te verilmiştir. Masa kullanıcı tarafında kontrol panelinden istenilen yüksekliğe ayarlanabilmektedir. İstenilen yükseklikler kullanıcı tarafından kaydedilebilmektedir. Daha sonra kullanıcı kaydettiği yüksekliği seçtiğinde sistem otomatik olarak kaydedilmiş mesafeye kendini konumlayabilmektedir. Bu sistemin kontrol paneli tercihe bağlı olarak iki şekilde yapılabilmektedir. Şekil 2.5'te bu kontrol panelleri görülmektedir.



Şekil 2.4 Yükseklik Ayarı Yapan Bir Çalışma Masası [22]



Şekil 2.5 Yükseklik Ayarı Yapan Çalışma Masası Kontrol Panelleri [22]

İşten fırsat bulup spor yapamayanlar için geliştirilen bir yürüyüş platformlu çalışma masası şekil 2.6 ' da, kontrol paneli şekil 2.7 'de verilmiştir.



Şekil 2.6 Yürüyüş Platformlu Çalışma Masası [23]

Bu sistemin kontrol ünitesinden masanın yüksekliği çoklu kullanıcıya göre ayarlanabilmektedir. Aynı zamanda bu panelden yürüyüş bandının hızı ayarlanabilmekte, yürüyüş süresi, hızı, mesafesi ve yakılan kalori miktarı görülebilmekte ve kaydedilebilmektedir.



Şekil 2.7 Yürüyüş Platformlu Çalışma Masası Kontrol Paneli [23]



Şekil 2.8 Çok Fonksiyonlu Otomobil Koltuğu [24]

Şekil 2.8'de görülen otomobil koltuğu kullanıcının istediği gibi koltuğu kendine göre ayarlayabilmesine ve bu ayarları kaydetmesine olanak sağlamaktadır. Koltukta ayrıca sıcaklık ayarı fonksiyonu bulunmaktadır.

Şekil 2.9 ' da yükseklik ayarı yapılabilen bir engelli koltuğu görülmektedir.



Şekil 2.9 Yükseklik Ayarı Yapılabilen Engelli Koltuğu [25]

Ancak bu koltukta yükseklik ayarı elektronik kontrollü olmasına rağmen, sistemde kayıt özelliği bulunmamaktadır. Böyle bir sistemde, yüksekliklerin kayıt edilerek hafızaya alınma özelliğinin olması kullanıcıya büyük kolaylık sağlayacaktır. Bu düşünce ile, örnek uygulama bölümünde hidrolik konumlama sistemine sahip, istenen konumların kayıt edilerek daha sonra otomatik olarak istenen yüksekliğin ayarlanabildiği bir koltuk tasarımı ve imalatı yapılmıştır.

2.2 Kullanıcıya Göre Yükseklik Ayarı Yapan Mekatronik Sistemlerde Alt Sistem Elemanları

Kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapabilecek bir mekatronik sistem klasik mekatronik sistem mantığı ile tasarlanabilir. Dolayısı ile böyle bir sistemde; karar vermeyi sağlayacak bir kontrol ünitesi, sistemin ortamı algılamasını sağlayacak sensörler ve sistemin iş yapmasını sağlayacak eyleyicilerin olması gerekecektir.

2.3 Kullanıcıya Göre Yükseklik Ayarı Yapan Mekatronik Sistemlerde Konumlama Sistemi İçin Çözüm Seçenekleri

Kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapabilecek bir mekatronik sistemde yükseklik ayar ünitesi için çeşitli çözüm seçenekleri oluşturmak mümkündür. Bu çözüm seçenekleri;

- Mekanik konumlama sistemi
- Hidrolik konumlama sistemi
- Pnömatik konumlama sistemi

Bu çözüm seçeneklerinin belirli alanlarda avantajları ve dezavantajları vardır. Bu nedenle hangi çözüm seçeneğinin en uygun olabileceğini bulabilmek için bu sistemler hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Aşağıda bu çözüm seçenekleri ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

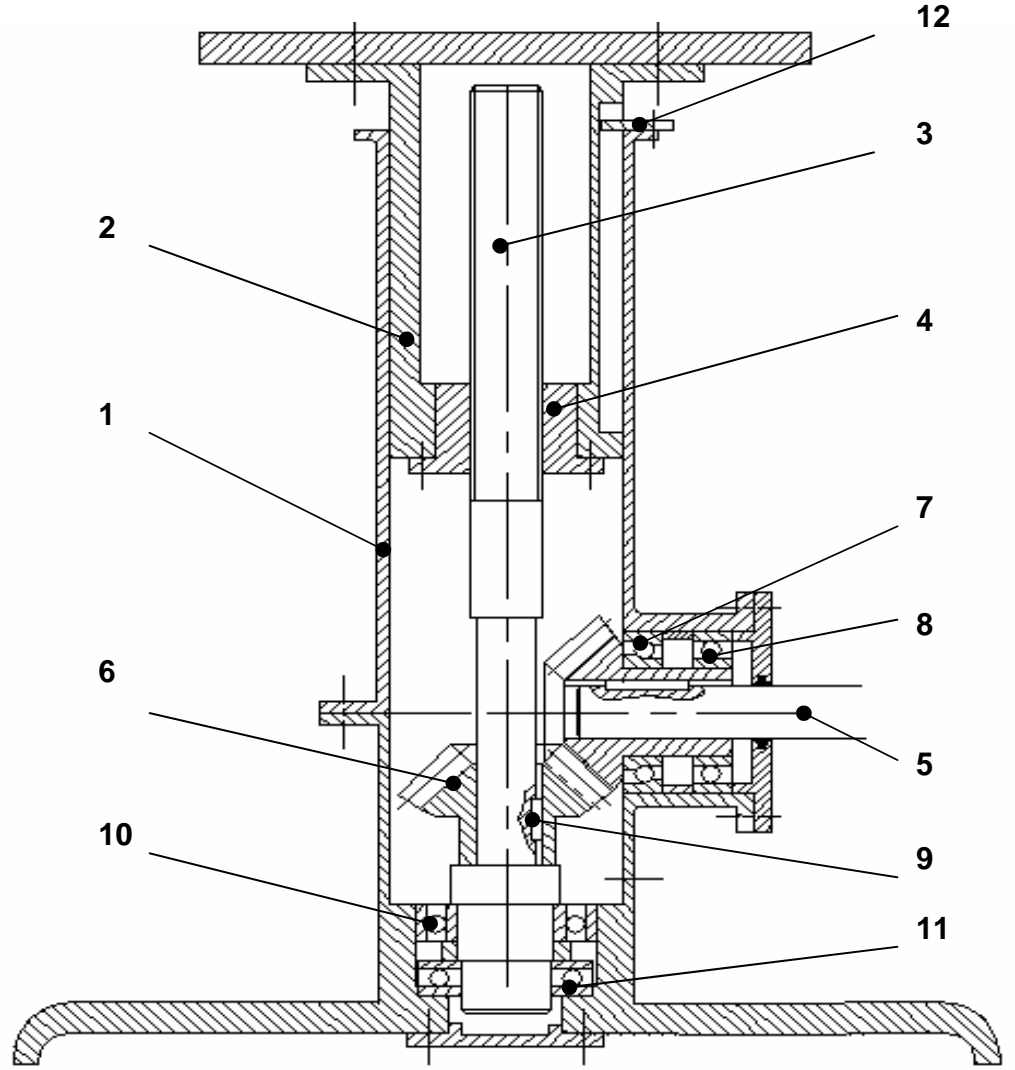
2.3.1 Mekanik Konumlama Sistemi

Bu bölümde, mekanik konumlama sistemi ile ilgili bilgi verilmiş, mekanik konumlama sistemi için örnek bir tasarım oluşturularak boyutlandırma hesapları yapılmıştır.

2.3.1.1 Örnek Bir Mekanik Konumlama Sistemi Tasarımı

Kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapacak bir mekatronik sistemde mekanik konumlama sistemi kullanılabilir. Kullanılacak mekanik sisteme çeşitli çözüm yolları üretmek mümkündür. Ancak bu tür kaldırma sistemlerinde uygulamalarda en çok kullanılan mekanizma, konik dişli veya sonsuz vida mekanizması ile hareketin iletildiği vidalı düzeneklerdir.

Konik dişlilerle hareketin iletildiği vidalı kaldırma sistemine ait bir mekanizmanın tasarım ve hesapları aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.10 Tasarlanan Mekanik Konumlama Sistemi

- | | |
|---------------------|---------------------------|
| 1- Gövde | 7- Eğik Bilyalı Yatak |
| 2- Kızak | 8- Sabit Bilyalı Yatak |
| 3- Vidalı Mil | 9- Düz Kama |
| 4- Vidalı Somun | 10- Sabit Bilyalı Yatak |
| 5- Döndüren Mil | 11- Eksenel Bilyalı Yatak |
| 6- Konik Dişli Çark | 12- Merkezleme Parçası |

Güç Hesabı;

Q=1400 N (Kaldırılan Toplam Yük)

Vida = Tr 24x6 (d₂ = 21,5 mm , d₃ = 18,5) seçildi.

n = 120 d/dak (Dişli Devir Sayısı)

i= 1 (Çevrim Oranı)

$$\tan \alpha = \frac{P}{\pi \cdot d_2} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'e göre değerler yerine konulursa;

$$\tan \alpha = \frac{6}{\pi \cdot d_2} = \frac{6}{\pi \cdot 21,5} = 0,088 \rightarrow \alpha=5,03$$

μ (Vida/Somun Dişleri Arasındaki Sürtünme Katsayısı) = 0,18 ($\beta=30^0$ trapez vida için)

$$\mu' = \frac{\mu}{\cos \frac{\beta}{2}} \quad (2.2)$$

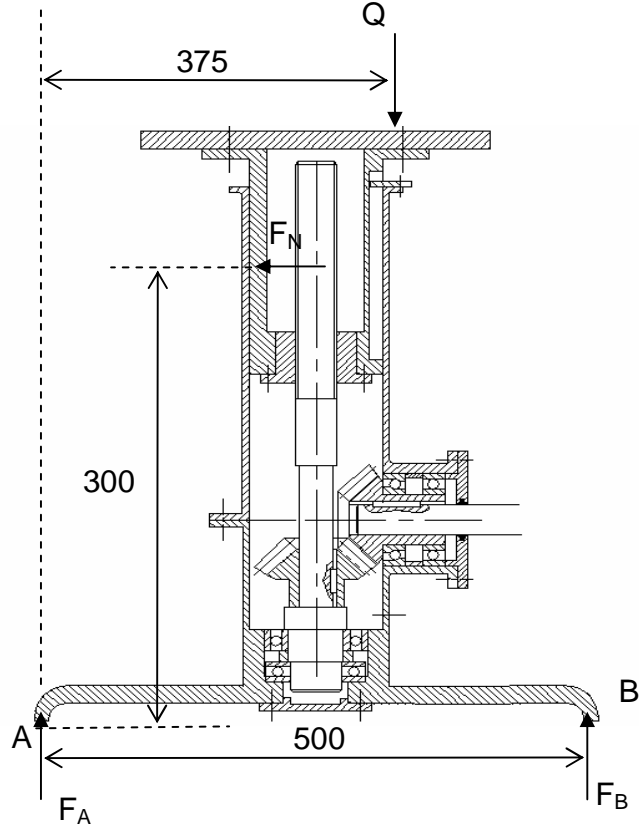
Denklem 2.2'e göre değerler yerine konulursa;

$$\mu' = \frac{0,18}{\cos \frac{30}{2}} = 0,1863$$

$$\rho' = \arctan \mu' \quad (2.3)$$

Denklem 2.3'e göre değerler yerine konulursa;

$$\rho' = \text{arc tan } \mu' = \text{arc tan } 0,1863 = 10,55^\circ$$



$$M_A = 0$$

$$F_B \cdot 500 - Q \cdot 375 + F_N \cdot 300 = 0 \quad (\text{Boyutlar yaklaşık olarak alınmıştır})$$

$$466,6 \cdot 500 - 1400 \cdot 375 + F_N \cdot 300 = 0$$

$$F_N = 972,33 \text{ N}$$

Kızak Yüzeylerinde Oluşan Direnç Kuvveti;

$$F_s = F_N \cdot \mu \quad (2.4)$$

$$\mu = 0,08 \text{ (Çelik malzeme yağlı yüzeyler için) [26]}$$

$$F_s = 972,33 \cdot 0,08 = 77,78 \text{ N}$$

$$Q_T = 1400 + 77,78 = 1477,78 \text{ N}$$

$$\mathbf{Q_T = 1500 \text{ N alındı}}$$

$$F_t = Q_T \cdot \tan(\alpha + \rho) \quad (2.5)$$

Denklem 2.5'e göre değerler yerine konulursa;

$$F_t = 1500 \cdot \tan(5,03 + 10,55) \rightarrow \mathbf{F_t = 418,2 \text{ N}}$$

$$M_d = F_t \cdot \frac{d_2}{2} \quad (2.6)$$

Denklem 2.6'ya göre değerler yerine konulursa;

$$M_d = 418,2 \cdot \frac{21,5}{2} \rightarrow \mathbf{M_d = 4495,6 \text{ Nmm} = 4,496 \text{ Nm}}$$

$$P = M_d \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (2.7)$$

Denklem 2.7'ye göre değerler yerine konulursa;

$$P = 4,496 \cdot \frac{\pi \cdot 120}{30} = 56,47 \text{ watt}$$

Verimlerde dikkate alınarak gerekli tahrik gücü;

$P = 0,2 \text{ kW}$ alınabilir.

2.3.2 Hidrolik Konumlama Sistemi

Hidrolik sistemler günlük yaşamda çok çeşitli kullanım alanına sahiptir. En çok bilinen örnekler arasında otomobillerin fren ve hidrolik direksiyon sistemleri, hidrolik asansörler ve benzin istasyonlarındaki hidrolik kaldırma platformları yer almaktadır. Hidrolik sistemler aynı zamanda damperli kamyonlarda, greyderlerde ve hafriyat ve kazı makinelerinde de kullanılmaktadır.

Hidrolik sistemler bir çok endüstriyel tesiste de kullanılmaktadır. Hidrolik güç özellikle krikolar, asansörler, vinçler, presler, perçin makineleri, tork dönüştürücüleri, kesici takım iletme mekanizmaları ve test sistemleri için uygundur. Bu örneklerden görüleceği gibi hidrolik sistemler çok çeşitlidir. Bununla beraber hepsi aynı temel ilkeleri kullanarak çalışır [10].

Hidrolik Sistemlerin En Önemli Özellikleri:

- Küçük hacimlerde yüksek kuvvetlerin (momentlerin) iletimi,
- Harekete tam yük altında başlayabilmeleri,
- Düzgün ayar (açık devre veya kapalı devre kontrol):
 - Hız
 - Moment
 - Kuvvet
- Akısı yükten koruma basittir,
- Gerek hızlı gerekse çok yavaş hareketlerin sıralı kontrolü için uygundur,
- Basit merkezi tahrik sistemi mümkündür,

- Hidrolik enerjiyi uzak noktalara ileterek buralarda tekrar mekanik enerjiye çevirmek mümkündür [10].

Bir hidrolik sistemin elemanları şunlardır [17]:

- Basınçlı akışkanı sağlayan pompa
- Hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren iş elemanı
- Akışkanı yönlendiren valfler
- Bağlantıyı sağlayan hortumlar
- Filtreler, akümülatörler
- Devre elemanlarına hidrolik enerjiyi transfer eden akışkan
- Sensörler
- Gösterge, ölçme ve kontrol araçları.

2.3.2.1 Hidrolik Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları:

Enerjinin, elde edildiği yerden kullanılacağı yere iletilmesi endüstride karşılaşılan önemli hususlardan biridir. Bunun için düşünülen ilk çözüm zincir-dişli, kayış-kasnak, dişli çark düzenleri gibi mekanik esasa dayalı çözümlerdi. Daha sonraki uygulamalarda elektrik enerjisinin sağladığı avantajlardan, bu enerjiyi elektrik motoru ile mekanik enerjiye çevirme kolaylığından yararlanıldı. İtici Akışkan olarak su buharı ve havanın kullanıldığı sistemler üzerinde duruldu. Fakat bunların hepsi de birtakım dezavantajları olan sistemlerdi. Hidrolik alandaki gelişmelere paralel olarak bu sistemin diğerlerine nazaran sağladığı avantajlar belirginleşmeye başlayınca kullanım alanı da günden güne genişledi.

Hidrolik sistemlerin uygulamada sağladığı avantajlar aşağıda verilmiştir.

Yüksek Güç Yoğunluğu: Birçok uygulamalarda sistem ağırlığının azaltılması önemli bir sınırlamadır. Bu durumda hidrostatik tahrik en avantajlı sistem olarak karşımıza çıkar. Hidrolik pompa ve motorların güç-ağırlık oranları diğerlerine mukayese edildiğinde bu kolaylıkla görülebilir. Bir hidromotorda 1 kW

'lık güç elde etmek için gerekli ağırlık 0.5 daN'dur. Oysa bir elektrik motorunda bu oran 6 daN/kW 'tır. Hidro motorların ağırlık hususundaki bu avantajını su şekilde ifade edebiliriz; manyetik malzemeler doyma etkisine maruz kaldıklarından bir elektrik motorundan elde edilebilir güç talebindeki artış, ancak motorun boyutlarını arttırarak sağlanabilir. Oysa hidrolik sistemde gücün arttırılabilmesi için, çalışma basıncı veya pompa debisinin arttırılması yeterli olur [10].

Emniyetli Çalışma: Akışkan olarak basınç altındaki hava veya su buharının kullanıldığı sistemlerde, patlama tehlikesi her zaman mevcuttur. Hidrolik sistemde böyle bir tehlike hemen hemen yok gibidir. Hidrolik sistemin çalışması sırasında devredeki yağ sönmüleyici bir yastık gibi vazife görerek, sistemi ani yük değişimlerinden korur. Hidrolik sistemin bir özelliği de devreye ilave edilecek basınç denetim valfleri sayesinde, sistemin basıncını önceden belirlenen bir değerin üzerine çıkmasının engellenebilmesidir.

Verim: Gazlar basınç altında sıkışır. Bu nedenle akışkan olarak su buharı, hava gibi gazların kullanıldığı sistemlerde verim düşüktür. Buharlı sistemlerde ısı kaybı nedeniyle güç kaybı meydana gelir. Oysa hidrolik yağın basınç altında sıkışabilirliği gazlara göre azdır. Bu sebeple daha yüksek basınçlarda çalışma olasılığı vardır ve verimde nispeten daha yüksektir. Hidrolik pompa ve motorların genel verimi 0,85 - 0,90 civarındadır [10].

Yağlama: Yağlama işleminin kendiliğinden olması hidrolik sistemin avantajlarından biridir. Uygun bir yağ seçilmesi sonucunda bütün çalışan yüzeyler hiçbir ek düzeneğe gerek kalmadan yağlama işlemi gerçekleştirilir. Korozyona ve aşınmaya karşı korunmuş olur.

Enerji Biriktirme: Devreye ilave edilecek bir biriktirici yardımıyla belli hacimdeki basınçlı yağın saklanması olanağı vardır. Sağlanan yağın gerektiğinde devreye verilmesiyle:

- Kısa süreler için yüksek hız gerektiren devrelerde, pompa gücünden tasarruf edilmesi
- Elektrik kesilmesi durumunda başlanan isin bitirilebilmesi,
- Sızıntıların telafi edilmesi,
- Yağın genişlemesinden dolayı ve valflerin açılıp kapanması sonucunda basınç yükselmesinin önlenmesi,
- Titreşimlerin önlenmesi sağlanmış olur [10].

Denetim: Devreye ilave edilecek basınç ve akış denetim valfleri ile hız, kuvvet, moment değerleri minimumdan maksimuma kadar kademesiz olarak kolayca ayarlanabilir. Çok hızlı ve çok yavaş hareketler duyarlılıkla denetlenebilir. Hidromotorun sükûnet halindeyken maksimum yükte harekete geçmesi mümkündür. Yağın akış yönünü veya motor eğim plakasını düşeyle yaptığı açının yönünü değiştirmek suretiyle motor dönüş yönü değiştirilebilir. Ayrıca hidrolik sistemler uzaktan veya otomatik olarak kumanda edilebilirler.

Hidrolik sistemlerin dezavantajları şunlardır [10]:

- Basınç altındaki yağın boşluklardan sızması için etkili bir sızdırmazlığın sağlanması şarttır. Ancak ne kadar iyi sızdırmazlık uygulansa da bir miktar yağın sızması önlenemez.
- Pompa emiş ağzından oluşan vakum nedeniyle basıncın, yağın buharlaşma basıncının altına düşmesi gürültülü çalışmaya ve pompanın kısa sürede tahrip olmasına neden olur.
- Hidrolik sistemin Çalışma sıcaklığı 50 °C, maksimum yağ sıcaklığı 70 °C olmalıdır. Bunun için, ısınan yağın bir soğutucu ile soğutulması gerekir.
- Yağ içinde bulunabilecek yabancı maddeleri hassas biçimde süzülmesi gerekir. Bunu sağlamak için;

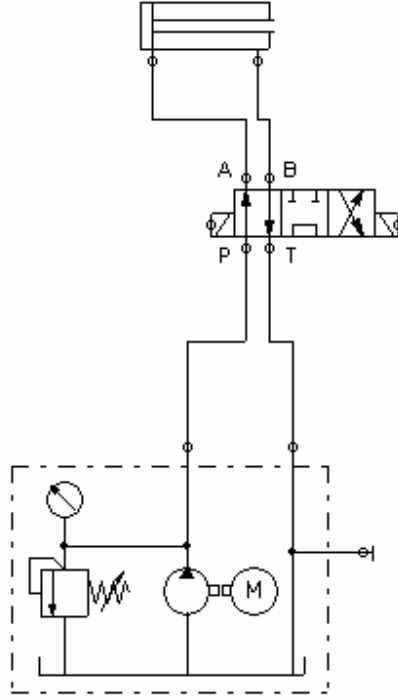
- Depo ile pompa arasına emiş filtresi,
- Pompa ile hidrolik alıcı arasına basınç filtresi,
- Hidrolik alıcı ile depo arasına dönüş fitresi, yerleştirilmesi gerekir.
- Yağın köpürmesi ve hava alması önlenmelidir.

Hidrolik sistemler, küçük hacimlerde büyük kuvvet ve moment verdiği için, hız kuvvet ve moment büyüklüklerinin kademesiz olarak kontrol edilebilirliğinden, hidrolik akışkanın neredeyse sıkıştırılmaz olduğundan ve modülerliğinden, çelik sanayi, madencilik, plastik endüstrisinden ve uzay teknolojisi gibi ileri teknoloji uygulamalarına kadar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Hidrolik konum kontrolü sistemlerinde, yağ haznesi, elektrik motoru ve hidrolik pompadan oluşan bir besleme ünitesi, kontrolün gerçekleştirildiği hidrolik valf, doğrusal hareketi sağlayan silindir veya dönme hareketini sağlayan motor, kontrol organı ve ölçme elemanları mevcuttur. Konum kontrolü, servo veya oransal valfler yada yön denetim valfleriyle gerçekleştirilir. Hidrolik sistemlerin kullanıldığı endüstriyel alanlarda, belli bir referans konumda çalışmayı zorunlu kılan koşulların yanında, sistemin istenen bir hız değerinde çalışmasını gerektiren operasyonlar mevcuttur. CNC tezgâhlar ve robot teknolojisi alanlarındaki uygulamalarda söz konusu işlemlerin örneklerine sıkça rastlanabilir.

2.3.2.2 Örnek Bir Hidrolik Konumlama Sistemi Tasarımı

Kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapacak bir mekatronik sistemde hidrolik konumlama sistemi kullanılabilir. Kullanılacak hidrolik sisteme çeşitli çözüm yolları üretmek mümkündür. Şekil 2.11' de böyle bir sistemde kullanılacak hidrolik devre şeması verilmiştir.



Şekil 2.11 Hidrolik Konumlama Sistemi Devre Şeması

Hidrolik konumlama sistemi için yapılabilecek hesaplamalar örnek uygulama bölümünde verilmiştir.

2.3.3 Pnömatik Konumlama Sistemi

Basıncı, kontrol edilebilen, durumu değiştirilebilen hava ve gazlar ile çalışan sistemlere pnömatik sistemler denir. Bu sistemler sayesinde otomasyon üretimi; kesintisiz, hızlı ve kontrol edilebilir sistemler olarak kullanımı ilerleyen teknoloji içerisinde önem kazanmıştır.

Pnömatik Yunanca bir kelime olan pneuma (hava, rüzgar) kelimesinden türetilmiştir. Önceleri sadece havanın basıncından yararlanılarak çalışan birçok makine, araç ve gereç vardı. Diğer enerji çeşitlerine göre dar ve kısa alanda daha hızlı, kolay elde edilen, ucuz olan hava enerjisi son zamanlarda durumu

değiştirilerek kullanılmaya başlamıştır. Özellikle otomasyon ile üretimde durum değişikliğinden fazlaca yararlanılmaktadır. Hava atmosferde bol miktarda bulunmaktadır. Uygun yöntemlerle alınıp, depolanabilir, basınç kazandırılabilir. Her durumda değişim gösterir. Bu değişimler ne olursa olsun tekrar atmosfere bırakılabilir. Özel gazlarda böyle bir durum söz konusu değildir. Havanın atmosferde bol miktarda bulunması, elde ediliş (hammadde) maliyetinin düşük olmasını sağlar. Havanın depolanması da mümkündür. Depolanması sırasında basınçlı, basınçsız her türlü kapta depolanabilir. İstenildiği an kullanıma hazırdır. Kullanım hızı da çok yüksektir.

Basınçlı havanın bir enerji olarak kullanılması çok eski yıllara rastlar. Madencilikte, otomobillerde ve demiryollarındaki havalı frenlerde uzun zamandan beri basınçlı havadan yararlanılmaktadır. Endüstriyel alanlardaki uygulamaların yaygınlaşması ise 1950 yıllarında başlar. Endüstrinin hemen her alanında iş parçalarının sıkılması, gevşetilmesi, ilerletilmesi, doğrusal ve dairesel hareketlerin üretilmesi gibi çeşitli işlemler için pnömatik sistemlerden yararlanıldığında daha ekonomik ve hızlı çözümler üretilebilmektedir [27].

Pnömatiğin uygulama alanlarını seçerken, pnömatik sistemlerin avantajları göz önünde bulundurulur. Hızlı fakat küçük kuvvetlerin uygulanması istenen yerlerde kullanılabilen pnömatik sistemler, temizlik ve emniyet istenen tasarımlarda da kullanılır. Pnömatik sistemler genel olarak aşağıdaki alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Otomasyon sistemleri
- Robot teknolojileri
- Tarım ve hayvancılık
- Elektronik ve madencilik sanayi
- Gıda, kimya ve ilaç sanayi
- Otomatik dolum üniteleri
- Taşımacılık işlemleri

Pnömatik bir sistemin elemanları hidrolik sistemle benzerlik gösterir. Bunlar:

- **Basınçlı hava üretim sistemi (Kompresör, soğutucu, kurutucu, depolama tankı, giriş ve çıkış filtreleri):** Pnömatik sistemleri çalıştıran havanın atmosferden alınması amacıyla kompresörler kullanılır. Atmosferden emdikleri havayı sıkıştırarak, basınçlı hale getiren devre elemanlarına kompresör adı verilir. Hava ile çalışmasına karar verilmiş tüm ortamlarda kullanılması zorunlu elemanlardır [27].

- **Şartlandırıcı (Filtre, basınç regülatörü, yağlayıcı):** Hava şartlarına bağlı olarak atmosferdeki hava saf değildir. Atmosferdeki havanın içerisinde nem, toz parçacıkları kimyasal atıklar, gazlar bulunur. Bunların hava içerisindeki oranı, havanın alındığı yer ve ortama bağlıdır. Kış aylarında alınan havanın içindeki yabancı maddeler ile bahar aylarında alınan hava içindeki yabancı madde oranları farklıdır Pnömatik sistem elemanları da havanın kirlenmesine sebep olur.

Hava içindeki bu yabancı maddeleri ayrıştıran elemanlara filtre adı verilir. Hava emme girişine konulan filtreler havanın içindeki toz, nem ve diğer zararlı atıkların bir kısmı temizlenir.

Havanın içerisinde ayrıca nem ve su buharı vardır. Sistem içindeki su buharı da yoğunlaşarak suya dönüşür. Bu durum istenilmez çünkü korozyona sebep olur. Korozyon hassas pnömatik elemanlara çok büyük zararlar verir. Atmosferden alınan hava içinde bulunan nemin ortadan alınarak havanın kurutulması önemli bir konudur.

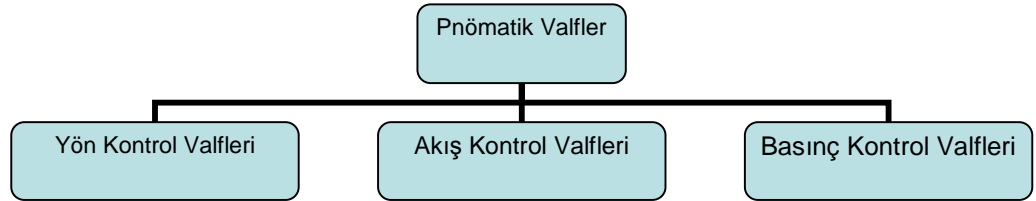
Havanın atmosferden emilmesi ve kurutulması işlemleri sırasında havanın ısı artmış olacaktır. Bunun için ısınan havanın depolanmadan önce ısının düşürülmesi amacıyla soğutucular kullanılmaktadır [27].

• **Pnömatik enerjiyi yönlendiren valfler:** Havanın akışını durduran veya başlatan, akışın yönünü değiştiren, debi ve basınç değerlerini ayarlamaya yarayan devre elemanlarına valf adı verilir. Şekil 2.12' de pnömatik valf örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.12 Pnömatik Valfler [24]

Valfler genel olarak kontrol ettiği yere göre isimlendirilerek 3 grupta incelenebilir. Şekil 2.13' te kontrol ettiği yere göre pnömatik valf çeşitleri verilmiştir.



Şekil 2.13 Pnömatik valf çeşitleri

Mekatronik sistemlerde kullanılan pnömatik valfler arasında selenoid kumandalı valfler önemli bir yer tutar. Selenoid valfler pnömatik ve elektrik enerjisinin avantajlarından faydalanırlar. Bunlar elektro pnömatik çeviriciler olarak adlandırılır ve işaret çıkışı için bir pnömatik valften ve bir elektrikli anahtarlama elemanından (selenoid bobin) meydana gelir.

Selenoid bobine elektrik gerilim uygulanırsa elektromanyetik bir kuvvet oluşur. Bu kuvvet, valf çubuğu ile bağlanmış bobin çekirdeğini hareket ettirir.

Solenoid bobine akım gitmez ise manyetik kuvvet ortadan kalkar. Valf kurucu yayı kuvveti sayesinde başlangıç konumuna gelir [27].

- **Pnömatik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren iş elemanları:**

Pnömatik sistemlerde iş elemanı olarak silindirler ve pnömatik motorlar kullanılır. Silindirler doğrusal hareket elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Basınçlı havanın silindir içerisine etki etmesi sonucu pistonu iten bir kuvvet oluşur. Havanın pistonun diğer tarafına geçmesini önlemek amacıyla silindir üzerinde sızdırmazlık elemanları kullanılır. Basınçlı havanın piston kolu tarafından sızıntı yapmasını önlemek için bu bölgede de sızdırmazlık elemanı vardır. Silindirlerin tanımlanmasında etki ifadesi kullanılır. Etki; o silindire giren hava yolu sayısı gösterir [27].

Tek etkili silindirler basınçlı hava pistonun tek yüzeyinden etki ettiği için tek etkili olarak adlandırılır. Pistonun geri geliş işlemi yay yada ağırlık yardımıyla sağlanır. Çift etkili silindirler, tek etkili silindire benzer şekilde tasarlanmıştır. Bu silindirlerin kurucu yayı yoktur. İki bağlantı sırayla besleme ve atık havası bağlantısı olarak kullanılır. Çift etkili silindirin avantajı her iki hareket yönünde de iş yapabilmesidir. Çift etkili silindirler metrelerce uzunlukta olabilirler. Çok uzun silindirlerde piston kolunun daha sağlam olması gerekir. Böylece piston kolu kırılmaz [28].

Pnömatik motorlar dairesel hareket elde etmek amacıyla kullanılır. Motor içerisinde kullanılan değişik düzenekler yardımıyla basınçlı havanın pnömatik motor içerisine gönderilmesi sonucu dairesel hareket üretilir.

- **Borular**
- **Sensörler**
- **Ölçme, kontrol cihazları ve göstergeler**

Pnömatik devre elemanları konstrüksiyon ve fonksiyon açısından hidrolik devre elemanlarına benzer. Fakat maruz kaldıkları basınç daha az olduğu için biraz daha küçük ve hafif yapıya sahiptirler [17].

Pnömatik devre elemanları hidrolik devre elemanlarına göre daha ucuzdur. Ancak havanın sıkıştırılabilir özelliğe olmasından dolayı hassas konumlandırma yapmak oldukça zordur. Ayrıca pnömatik sistemlerin gürültülü çalıştığı da göz önünde bulundurulmalıdır [27].

Konumlandırma yapacak pnömatik sistemde aşağıdaki elemanların bulunması gerekir:

- Basınçlı hava üretim sistemi
- 4/3 seleneoid yön kontrol valfi
- Akış kontrol valfleri
- Çift etkili silindir
- Bağlantı hortumları

2.3.3.1 Pnömatik Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları

Pnömatik sistemlerin avantajlarını sıralayacak olursak;

• Pnömatik sistemlerde gerekli olan hava kolayca ve her yerde sınırsız ölçüde bulunabilir. Havanın sürtünme kayıpları azdır, uzak mesafelere taşınabilir. Basınçlı hava kullanılan ortamlar temizdir. Sistemde meydana gelebilecek sızıntılar çevreyi kirletmez.

- Pnömatik devre elemanlarının yapıları basit ve ucuzdur.
- Montaj ve bakımları kolaydır.
- Basınçlı havanın yanma ve patlama tehlikesi yoktur.

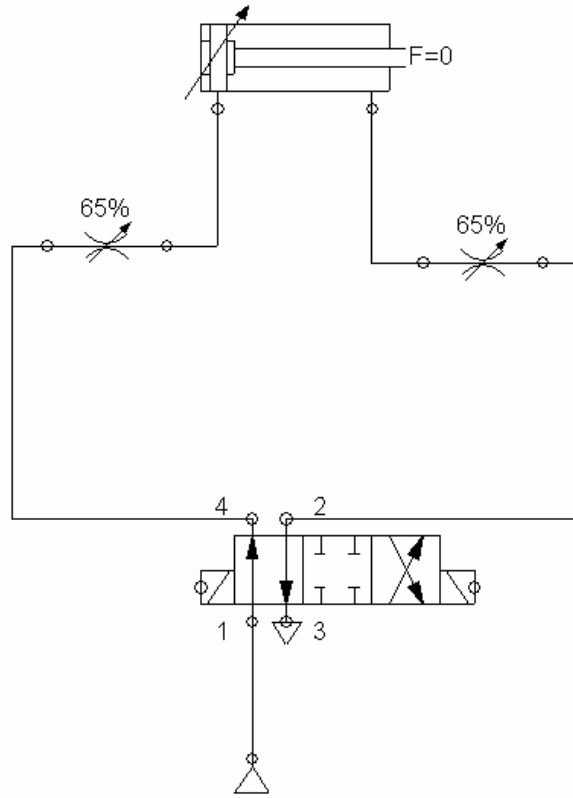
- Havanın sıcaklığa karşı duyarlılığı azdır. Hız ayarları sıcaklıkla değişmez.
- Basınçlı hava gerektiğinde kullanılmak üzere depo edilebilir.
- Yüksek çalışma hızları elde edilebilir. Piston hızı 3 m/sn'ye ulaşabilir[27].

Pnömatik sistemlerin dezavantajlarını sıralayacak olursak;

- Basınçlı havanın devre elemanlarına zarar vermemesi için öncelikle işlenmesi gerekmektedir.
- Çalışma basıncına bağlı olarak maksimum 4-5 tonluk kuvvetler elde edilebilir.
- Sistemde işi biten hava dışarı atılırken gürültü yapar.
- Hava sıkıştırılabilir özellikte olduğundan düzgün bir hız elde etmek zordur.
- Yüksek çalışma basınçları elde edilemez [27].

2.3.3.2 Örnek Bir Pnömatik Konumlama Sistemi Tasarımı

Kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapacak bir Mekatronik sistemde pnömatik konumlama sistemi kullanılabilir. Kullanılacak pnömatik sisteme çeşitli çözüm yolları üretmek mümkündür. Aşağıda böyle bir sistemde kullanılacak pnömatik devre şeması ve hesapları verilmiştir.



Şekil 2.14 Pnömatik Konumlama Sistemi Devre Şeması

Silindir Çapı Hesabı;

$$P = 8 \text{ bar} = 80 \text{ N/cm}^2 = 0,8 \text{ N/mm}^2$$

$$F = 1500 \text{ N}$$

$$E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 \text{ (çelik için)}$$

$$F = P \cdot A \tag{2.8}$$

Sürtünme kaybı %10 olarak alınır ve denklem 2.8' e göre değerler yerine konulursa;

$$1500 = 0,8 \cdot A \cdot 0,9 \rightarrow A = 2083 \text{ mm}^2 \rightarrow d = 51,5 \text{ mm}$$

d= 63 mm ve Piston kolu çapı d_k= 30 mm alındı.

Burkulma Hesabı:

Bu bölümde sistemin emniyetle taşıyabileceği burkulma kuvveti hesabı yapılacaktır. Emniyetli burkulma kuvveti denklem 2.9' a göre hesaplanabilir.

$$F_{Bkem} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_p^2 \cdot S} \quad (2.9)$$

Öncelikle bu denklemde hesaplanması gereken değerler bulunacaktır.

$$I = \frac{\pi \cdot d_k^4}{64} = 0,0491 \cdot d_k^4 \quad (2.10)$$

Denklem 2.10'a göre değerler yerine konulursa;

$$I = 0,0491 \cdot (30)^4 = 39771 \text{ mm}^4$$

$$l_p = 2 \cdot L \text{ (Serbest burkulma uzunluğu - Euler'e göre Durum-1)}$$

$$l_p = 2 \cdot 250 = 500 \text{ mm}$$

S= 2,5-3,5 (Emniyet faktörü - 3,5 seçildi)

Denklem 2.9'a göre değerler yerine konulursa;

$$F_{Bkem} = \frac{\pi^2 \cdot 21 \cdot 10^4 \cdot 39771}{500^2 \cdot 3,5} = 94110 \text{ N}$$

2.4 Çözüm Seçeneklerinin Karşılaştırılması

Hidrolik, pnömatik ve mekanik sistemlerin kullanım alanlarına bağlı olarak birbirlerine göre üstünlükleri ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu bölümde önce genel olarak hidrolik, pnömatik ve mekanik sistemleri karşılaştırarak hangi sistemin nerelerde kullanılması durumunda daha avantajlı olacağı incelenecektir. Arkasından kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapacak bir mekatronik sistemde uygun çözümün hangisi olabileceği değerlendirilecektir.

Hidrolik ve pnömatiği karşılaştıracak olursak; hidrolik yağlar sıkıştırılmaz kabul edilir. Ancak yüksek basınçlarda çok az sıkışma olabilir. Pnömatikte ise hava sıkıştırılabilir. Bu nedenle yüksek basınçlarda hidrolik sistemler tercih edilir.

Pnömatikte sıcaklığın artması, yanma ve patlama tehlikesi oluşturmadığı gibi, sıcaklık değişimleri hızları da etkilemez. Hidrolikte ise, yağın yanıcı olması, yanma tehlikesi oluşturur. Ayrıca sistem ısısının değişmesi hidrolik akışkanı etkiler ve çalışma hızlarını değiştirir. Bu nedenle pnömatik sistemler bu tür ortamlarda daha avantajlıdır.

Hidrolik sistemde kullanılan akışkan, çalışma elemanlarının aynı zamanda yağlanmasını sağlar. Pnömatikte ise ayrıca yağlama işlemi yapmak gerekir. Pnömatikte büyük kuvvetlerin elde edilmesi zor ve ekonomik değilken, hidrolikte büyük kuvvetler rahatlıkla elde edilir. Pnömatik elemanların çalışma hızları yüksektir. Hidrolikte ise çalışma hızları daha düşüktür. Mekanik sistem motor ile beraber düşünülerek bu üç sistem çizelge 2.1' de kıyaslanmıştır.

Çizelge 2.1 Hidrolik, Pnömatik ve Mekanik Sistemlerin Karşılaştırılması [28]

	ELEKTRO-MEKANİK	HİDROLİK	PNÖMATİK
Konumlama Hassasiyeti	$\pm 1 \mu\text{m}$ kadar ve kolayca elde dileyebilir.	$\pm 1 \mu\text{m}$ kadar	Yük değişimi olmaksızın 1/10 mm kadar mümkün
Maliyet	Genel Olarak Düşük Maliyet	Hidrolik Elemanlar Genel Olarak Pahalı	Hidrolik Elemanlara Göre Daha Ucuz
Çevreden Etkilenme ve Emniyet	Sıcaklığa karşı duyarsız. Sistemdeki Titreşimlere Karşı Hassas	Sıcaklık değişimine karşı duyarlı, kaçak varsa yangın tehlikesi	Patlamaya karşı emniyetli, sıcaklığa karşı duyarlı
Kaçaklar	-	Kirlilik	Sadece enerji kaybı
Enerji İletimi	Sınırsız, enerji kaybı ile	100 metreye kadar, akışkan hızı $v=2-6 \text{ m/s}$, sinyal hızı 1000 m/s	1000 metreye kadar, akışkan hızı $v=20-40 \text{ m/s}$, sinyal hızı 20-40 m/s
Enerji Depolama	Zor, pil veya akü ile az miktarda	Sınırlı, gaz yardımıyla	Kolay
Çalışma Hızı		$v=0,5 \text{ m/s}$	$v=1,5 \text{ m/s}$
Doğrusal Hareket	Zor ve pahalı, kuvvetler küçük, hız ayarı oldukça masraflı	Silindire oldukça basit, kuvvetler büyük, hız ayarı kolay	Silindire oldukça basit, kuvvetler sınırlı, hız yüke bağımlı
Döner Hareket	Basit ve güçlü	Basit, yüksek dönme momenti, düşük devir sayısı	Basit, güçlü değil, yüksek devir sayısı
Rijitlik	Mekanik ara elemanlar vasıtası ile çok iyi değerler elde edilebilir.	İyi. Hidrolik sıvının sıkıştırılabilirliği ihmal edilebilecek kadar az ve basınç pnömatiğe göre daha yüksek.	Kötü. Çünkü hava sıkıştırılabilir.
Kuvvetler	Aşırı yüklenemez. Mekanik elemanlarla verim kötüleşir, büyük kuvvetler elde edilebilir.	Aşırı yüke karşı emniyetli. Sistem basıncının yükseltilmesi ile çok büyük kuvvetler elde edilebilir.	Aşırı yüke karşı emniyetli. Hava basıncına ve silindir çapına bağlı olarak kuvvetler sınırlı
Bakım Kolaylığı	Kolay ve ucuz	Belirli bir miktarda masraf gerektirir	Belirli bir miktarda masraf gerektirir
Sessiz Çalışma	Mekanik ara bağlantı elemanları belli oranda gürültüye sebep olur	Sessiz çalışma	Gürültülü çalışma
İmalat ve Montaj	Mekanik bağlantı elemanlarının hassas bir şekilde üretilmesi ve montajı gerekir	Parçalar genellikle hazır olarak alınır. Montaj kolaydır.	Parçalar genellikle hazır olarak alınır. Montaj kolaydır.
Yer Gereksinimi	Mekanik ara elemanların boyutuna bağlı	Nispeten daha az	Yer Gereksinimi Fazla
Yüksek Çalışma Ömrü	Uygun kullanım ve bakım ile uzun ömür	Uygun kullanım ve bakım ile uzun ömür	Uygun kullanım ve bakım ile uzun ömür

Kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapacak bir mekatronik sistemde bu çözüm seçeneklerinin sağlıklı olarak karşılaştırılıp en iyi çözümün elde edilebilmesi için öncelikle bir istek listesi oluşturulmasında fayda vardır. Bu tür bir sistem için örnek bir istek listesi aşağıda verilmiştir.

1. Sistem sessiz çalışmalıdır
2. Sistem hassas konumlama yapabilmelidir.
3. Enerji tüketimi az olmalıdır.
4. Ucuz olmalıdır
5. Sistem emniyetle çalışabilmeli
6. Üretimi kolay olmalı
7. Bakımı kolay olmalı
8. Uzun ömürlü olmalı
9. Sistemdeki titreşimlere karşı hassas olmamalı

Bu istek listesine göre çözüm seçeneklerimizi kıyaslayarak ihtiyaçlarımıza en uygun çözümü elde edebiliriz. Örnek olarak bölüm 2.1'de bahsedilen kullanıcının ihtiyaç duyduğu çeşitli yükseklikleri hafızasına kaydederek daha sonra çağırabilen bir engelli koltuğu tasarlandığını düşünelim. Böyle bir koltukta konumlamamanın sessiz olarak yapılması, hassas olarak konumlama yapılabilmesi ayrıca titreşimli ortamlardan sistemin etkilenmemesi oldukça önemlidir.

Çizelge 2.2' de yukarıdaki istek listesine göre çözüm seçenekleri kıyaslanmıştır. Burada değerlendirme 5 puan üzerinden yapılmıştır.

Çizelge 2.2 Çözüm Seçeneklerinin Karşılaştırılması

	Mekanik Çözüm	Hidrolik Çözüm	Pnömatik Çözüm
Sessiz Çalışma	4	5	3
Hassas Konumlama	5	5	4
Az enerji tüketimi	4	5	5
Maliyet	5	4	5
Emniyetli Çalışma	5	5	5
İmalat Kolaylığı	4	5	5
Bakım Kolaylığı	5	4	4
Uzun Ömür	4	5	5
Sistemdeki Titreşimlere Karşı Hassas Olmama	4	5	5
TOPLAM	40	43	41

Tablodan görüldüğü gibi, hidrolik çözüm ihtiyaçlarımıza en uygun seçenek olacaktır. Bu nedenle örnek uygulama bölümünde, hidrolik konumlama sistemine sahip mekatronik bir koluğun tasarımı ve imalatı ele alınmıştır.

3. ÖRNEK UYGULAMA (KULLANICIYA GÖRE YÜKSEKLİK AYARI YAPAN MEKATRONİK KOLTUK TASARIMI)

3.1 Sistem Hakkında Genel Bilgi

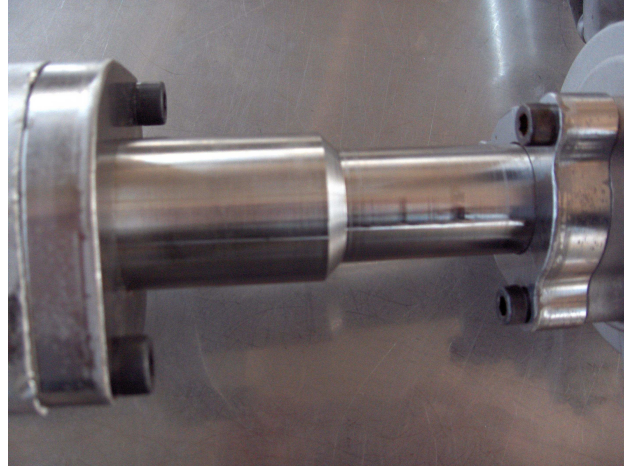
Kullanıcıya göre yükseklik ayarı yapacak bir mekatronik sistem genel mekatronik sistem mantığı ile ele alınabilir. Böyle bir sistemde diğer mekatronik sistemlerde olduğu gibi elektronik, mekanik ve bilgisayar teknolojileri bir sistem mantığı içerisinde kullanılacaktır. Dolayısıyla sistemin bir kontrol ünitesi, kontrol ünitesine bilgi aktaran sensörleri, kontrol ünitesinden çıkan kararları harekete dönüştüren aktüatörleri olacaktır.

Bu tür mekatronik sistemlerde kullanıcı ile etkileşim oldukça önemlidir. Bu nedenle kullanıcı ile etkileşimi sağlayan kullanıcı ara yüzünün basit fakat fonksiyonel olması gerekir. Kullanıcının kendi ihtiyaçlarına göre belirlediği çeşitli yüksekliklerin kayıt edilmesi için sistemin bir kayıt fonksiyonu olması yine dikkate alınması gereken bir konudur.

Sistemde kullanılan malzemeler aşağıda verilmiştir.

- Hidrolik pompa (P=150 bar ve Q=1,6 lt/dak)
- Elektrik motoru (n=120 d/dak ve p=0,2 kw)
- Hidrolik silindir (Piston Çapı=45 mm ve Piston Kolu Çapı=30 mm)
- 4/3 orta konumda tank dönüşlü selenoid valf
- Yağ tankı, bağlantı hortumları ve rakorları
- Elektronik kontrol ünitesi
- Mekanik aksam

Sistemin mekanik aksamı için üretilen parçalar aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.1 Pompa-Motor Bağlantı Aparatı



Şekil 3.2 Üretilen Hidrolik Silindir Yataklama Aparatı ve Montajı



Şekil 3.3 Üretilen Bağlantı Rakorları



Şekil 3.4 Üretilen Koltuk Üst ve Alt Kısmı



Şekil 3.5 Üretimi Yapılan Yağ Tankı



Şekil 3.6 Mekanik Sistem Genel Montajı

3.2 Hidrolik Konumlama Sistemi

Bu bölümde sistemde kullanılan hidrolik devre elemanları, tasarlanan hidrolik devre şeması ve hesaplamaları hakkında bilgi verilecektir.

3.2.1 Kullanılan Hidrolik Devre Elemanlarının Tanıtılması

3.2.1.1 Hidrolik Pompa

Hidrolik pompalar mekanik enerjiyi (moment, hız) hidrolik enerjiye (debi, basınç) çeviren mekanik bir araçtır. Hidrolik pompa seçilirken aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir [10]:

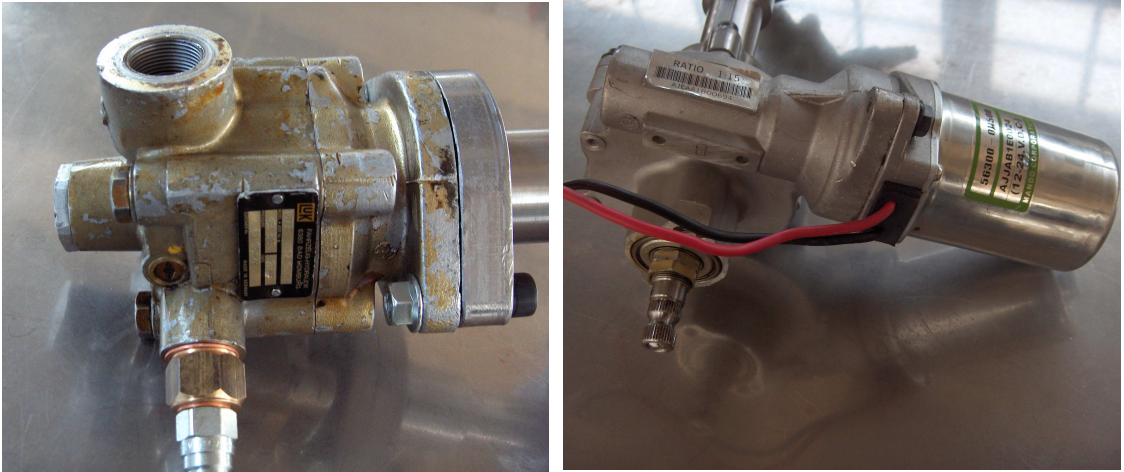
- Kullanılacak akışkan
- İstenilen basınç aralığı
- İstenilen devir sayısı aralığı
- Minimum ve maksimum çalışma sıcaklığı
- Minimum ve maksimum viskozite değerleri
- Montaj
- Tahrik tipi
- Beklenen servis ömrü
- Kolay bakım imkanı
- Maliyet

Endüstriyel hidrolikte kullanılan pompaların diğer tüm pompalardan en önemli ayrıcalığı pozitif iletimli olmalarıdır, yani bu tip pompalarda emilen yağ basılmak zorundadır. Böylece basılan yağın önünde direnç söz konusu olduğunda basınç oluşacaktır. Akışkan dirençle karşılaşmadan basınçtan söz edilemez. Pozitif deplasmanlı pompalar giriş ile çıkışı arasında iç kaçağı ve kaymayı en aza indiren mekanik bir ayırıcıya (dişliler, paletler, vs.) sahip

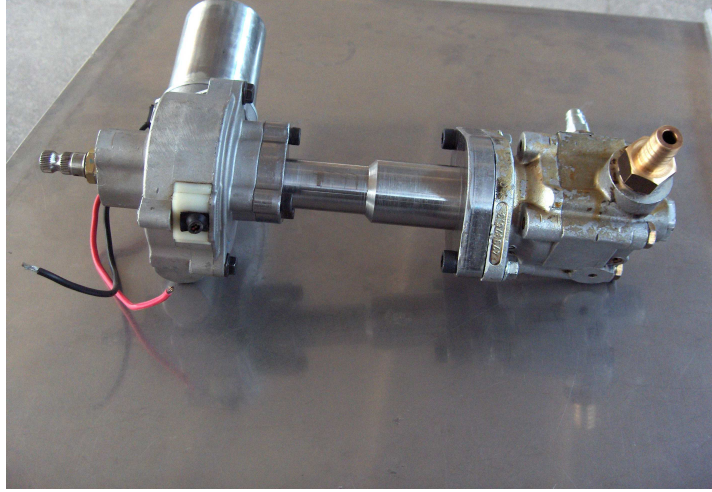
oldukları için çıkış debileri sistem basıncındaki değişimlerden hemen hemen hiç etkilenmezler.

Dişli Pompalar, basit olarak üzerinde giriş çıkış delikleri bulunan gövde ve biri tahrik motoruna bağlı çeviren dişli, diğeri çevrilen dişliden oluşur. Bir dişli pompa şöyle çalışır; Tahrik motoru çeviren dişliyi kavrar ve döndürür. Dişlilerin birbirini kavraması ve ayrılmaları artan ve azalan hacimler yaratır. Emişte dişlilerin birbirinden ayrılmaları ile yağ pompa gövdesine girer. Dişliler ve gövde arasında hapsolan yağ taşınarak basma ağzına iletilir. Bu noktada dişliler birbirini kavrar. Azalan hacim ve yağı sisteme gönderir. Dişli pompalarda sızdırmazlık dişlilerin kendi aralarında ve dişliler ile gövde arasındaki imalat toleranslarına bağlı olarak sağlanmıştır. Emiş ve basınç hatlarındaki negatif ve pozitif basınç arasında oluşan büyük basınç farkları nedeniyle yataklara gelen yüksek basıncı karşılamak amacıyla emiş hattından alınan bir hatla yataklara yağ basmak suretiyle hidrostatik yataklama uygulanır [10].

Sistemde kullanılan dişli pompa ve elektrik motoru şekil 3.7 ve şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.7 Sistemde Kullanılan Hidrolik Pompa ve Elektrik Motoru



Şekil 3.8 Hidrolik Pompa ve Elektrik Motoru Montajı

3.2.1.2 Hidrolik silindir

Silindirler doğrusal hareket elde etmek için kullanılan devre elemanlarıdır. Basınçlı yağın silindir içerisine etki etmesi sonucu pistonu iten bir kuvvet oluşur. Yağın pistonun diğer tarafına geçmesini önlemek amacıyla silindir üzerinde sızdırmazlık elemanları kullanılır. Silindirlerin tanımlanmasında etki ifadesi kullanılır. Etki; o silindire giren basınçlı yağ yolu sayısını gösterir.

Çift etkili silindirler sürekli olarak ileri geri hareket üretmek için kullanılır. Silindirin iki tarafından basınçlı yağ girer ve pistonun iki yüzüne etki eden yağ, ileri geri hareketin üretilmesini sağlar. Pistonun tek kolu vardır. Bu tek taraftaki faydalı alan diğer tarafa göre piston kolunun kesit alanı kadar küçüktür. Bu nedenle ileri-geri harekette üretilen kuvvetler farklıdır. Silindire giren yağın miktarı da farklı olacağı için piston hızı da ileri ve geri hareketlerde farklıdır [29].

Sistemde Kullanılan çift etkili silindir şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 Sistemde Kullanılan Çift Etkili Hidrolik Silindir

3.2.1.3 Selenoid Valf

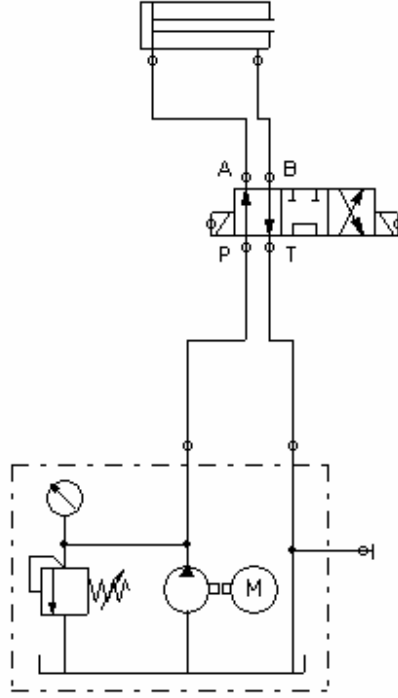
Bir selenoidin yardımıyla, yönlendirme valflerinin anahtarlama konumları değiştirilebilir. Ön görülen gerilimin bobine verilmesiyle bir manyetik alan oluşur. Bu manyetik alandan dolayı kolda meydana gelen kuvvet yönlendirme valfinin pistonunu yay kuvvetinin zıt yönünde iter ve böylelikle anahtarlama konumu değiştirilmiş olur. Gerilimin ortadan kalkmasıyla manyetik alan kaybolur ve hiçbir kuvvet etki etmez. Kurma yayı pistonu eski durumuna getirir. Hidrolik valfler en çok 24 V DC gerilimle kumanda edilir. Bu yüzden işaret kontrol biriminin gerçekleştirilebilmesi için güç kaynağına ihtiyaç duyulur. Şekil 3.10'da örnek bir selenoid valf görülmektedir.



Şekil 3.10 Selenoid Valf

3.2.2 Hidrolik Devre Tasarımı ve Hesabı

Tasarlanan sistemin hidrolik devre şeması ve hesaplamaları aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.11 Kullanıcıya Göre Yükseklik Ayarı Yapabilen Mekatronik Koltuk Hidrolik Devre Şeması

Bölüm 3.1’de seçilen elemanlara göre;

Elde Edilebilecek Sistem Basıncı:

$$Q = 1,6 \text{ dm}^3/\text{dak} = \frac{1,6}{60} \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 0,02666 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$p = \frac{P}{Q} \quad (3.1)$$

$$p = \frac{200}{0.02666 \cdot 10^{-3}} = 75,18 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 75,18 \text{ bar}$$

Kaldırılabilir Maksimum Yük:

$$P = 75,18 \text{ bar} = 75,18 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4,5^2}{4} = 15,8962 \text{ cm}^2 = 0,001589 \text{ m}^2$$

$$F_{\max} = A \cdot P \quad (3.2)$$

$$F_{\max} = 0,001589 \cdot 75,18 \cdot 10^5 = 11946 \text{ N}$$

Borulardaki basınç kaybı 2 bar, valfteki basınç kaybı 2 bar ve karşı direnç 1 bar olarak kabul edilirse;

$$F = 0,001589 \cdot 70,18 \cdot 10^5 = 11151 \text{ N}$$

Piston İleri Hareket Hızı;

$$Q = 1,6 \text{ dm}^3/\text{dak} = 0,0016 \text{ m}^3/\text{dak} = 2,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,045^2}{4} = 1,59 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Q = A \cdot V \quad (3.3)$$

$$2,66 \cdot 10^{-5} = 1,59 \cdot 10^{-3} \cdot V \Rightarrow V = \frac{2,66 \cdot 10^{-5}}{1,59} = 0,0167 \text{ m/s}$$

Piston Kolu Emniyetli Burkulma Kuvveti;

Denklem 2.9' a göre:

$$F_{Bkem} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_p^2 \cdot S}$$

Denklem 2.10' a göre:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 0,0491 \cdot d^4 = 0,0491 \cdot (30)^4 = 39771 \text{ mm}^4$$

$l_p = 2 \cdot L$ (Serbest burkulma uzunluğu - Euler'e göre Durum-1)

$$l_p = 2 \cdot 250 = 500 \text{ mm}$$

$S = 2,5-3,5$ (Emniyet faktörü - 3,5 seçildi)

$E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$ (Çelik için)

Değerler denklem 2.9' a göre yerine konursa;

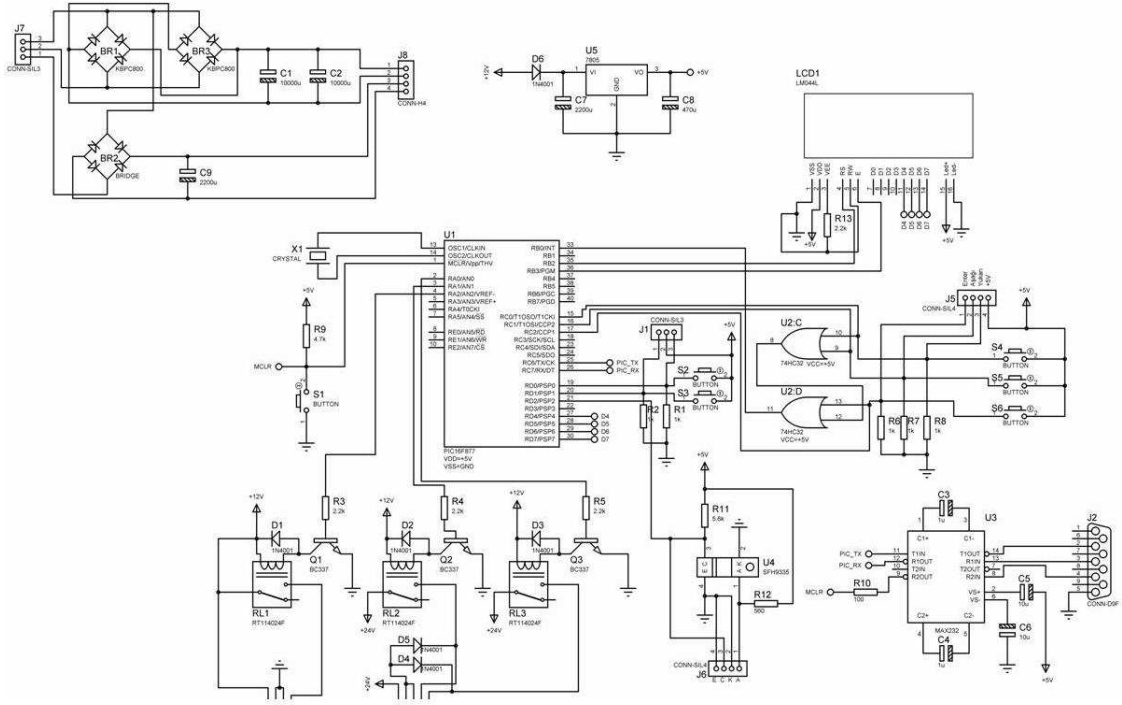
$$F_{Bkem} = \frac{\pi^2 \cdot 21 \cdot 10^4 \cdot 39771}{500^2 \cdot 3,5} = 94110 \text{ N}$$

3.3 Elektronik Kontrol Sistemi

Bu bölümde sistemin elektronik kontrolü için kullanılan sistem ve devre elemanları hakkında bilgi verilmiştir.

3.3.1 Elektronik Devre Tasarımı

Sistemin kontrolü için tasarlanan elektronik devre şeması şekil 3.12' de verilmiştir.



Şekil 3.12 Tasarlanan Elektronik Devre Şeması

3.3.2 Kullanılan Devre Elemanları

Devrede PIC16F877 işlemci, 4x20 LCD ekran, direnç, diyet, sınır anahtarı, buton, optik sayıcı ve kondansatör gibi elektronik devre elemanları kullanılmıştır. Devrenin en önemli elemanı PIC16F877 işlemcidir.

PIC16F877, belki en popüler PIC işlemcisi olan PIC16F84'ten sonra kullanıcılarına yeni ve gelişmiş olanaklar sunan bir işlemcidir. Program belleği FLASH ROM olan PIC16F877'de, yüklenen program PIC16F84'te olduğu gibi

elektriksel olarak silinip yeniden yüklenebilmektedir. Özellikle PIC16C6X ve PIC16C7X ailesinin tüm özelliklerini barındırması, PIC16F877'yi kod geliştirmede de ideal bir çözüm haline getirmektedir. Konfigürasyon bitlerine dikkat etmek şartıyla C6X veya C7X ailesinden herhangi bir işlemci için geliştirilen kod hemen hiçbir değişikliğe tabi tutmadan F877'e yüklenebilir ve çalışmalarda denenebilir. Bunun yanı sıra PIC16F877, PIC16C74 ve PIC16C77 işlemcileriyle de bire bir bacak uyumludur [30].

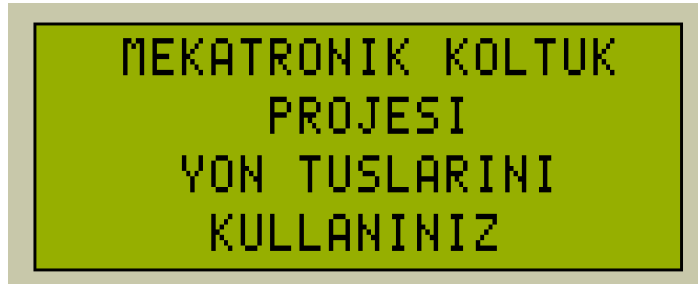
Şekil 3.13' te PIC16F877 işlemci görülmektedir.



Şekil 3.13 Sistemde Kullanılan PIC16F877 İşlemci

3.4 Kontrol Ünitesi

Bu bölümde sistemin kontrol ünitesinin yapısı ve programlanması hakkında bilgi verilmiştir. Kontrol ünitesi kullanıcı ile etkileşimin olduğu sistem birimidir. Bu yüzden basit, sade ve kullanımının kolay olmasına önem verilmiştir. Sistem şekil 3.14' te görülen ekranla açılmaktadır.



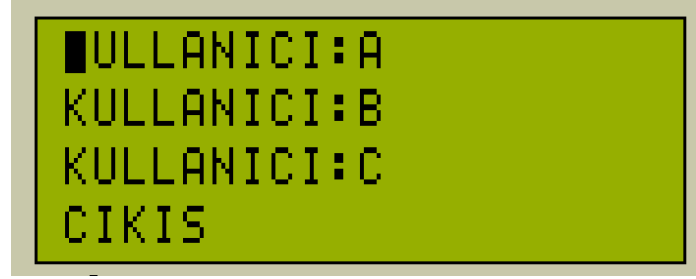
Şekil 3.14 Sistem Açılış Ekranı

İlk ekranda aşağı yukarı ok butonlarıyla menüye girilebilmektedir. İlk kullanımda ekrana kullanıcı tanımlama ekranı gelmektedir. Şekil 3.15' te görülen menüde ayarlar seçilerek onay butonuna basılır.



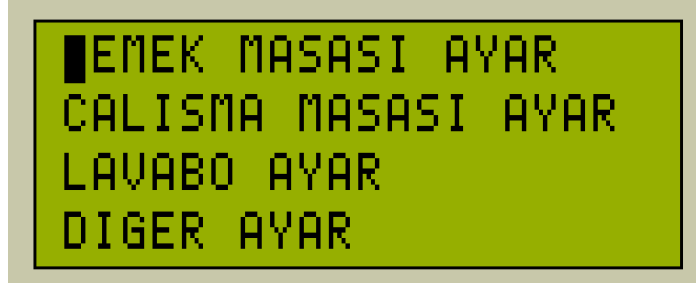
Şekil 3.15 Ayarlar Ekranı

Ayarlar menüsü seçildiğinde şekil 3.16' daki ekran gelmektedir. Buradan ayarları kaydedilecek kullanıcı seçilir.



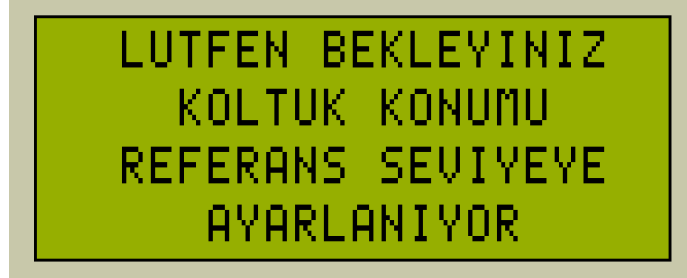
Şekil 3.16 Kullanıcı Seçim Ekranı

Burada kullanıcı A seçilmesi durumunda şekil 3.17' deki ekran gelmektedir.



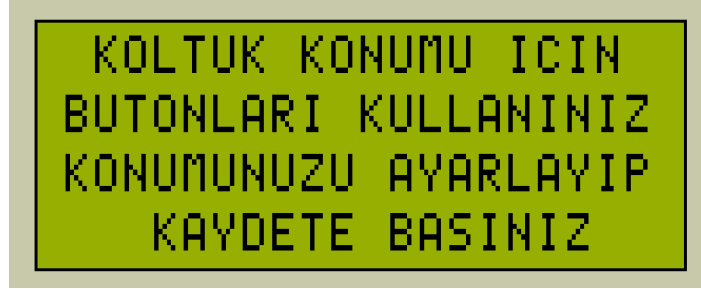
Şekil 3.17 Yükseklik Ayarları Ekranı

Bu menüden yükseklik ayarı kaydedilecek olan seçenek aşağı-yukarı butonları ile seçilir. Seçimden sonra koltuk referans noktasına gider ve şekil 3.18' deki ekran gelir.



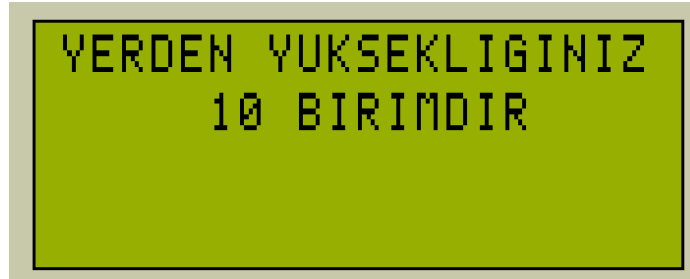
Şekil 3.18 Referans Seviye Konumlanma Bilgi Ekranı

Koltuk referans noktasına ulaştıktan sonra şekil 3.19' daki ekran gelir.



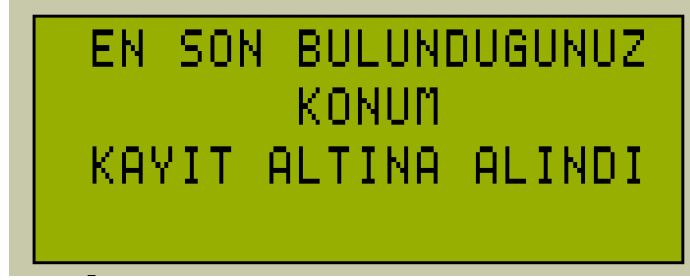
Şekil 3.19 Kullanıcı Yönlendirme Ekranı

Bu aşamada yukarı-aşağı butonları kullanılarak koltuk istenen seviyeye ayarlanır. Bu esnada bulunulan konum ekranda görülebilir.



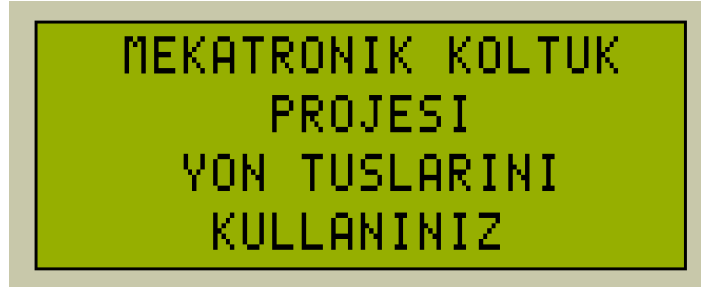
Şekil 3.20 Yükseklik Bilgi Ekranı

İstenen konum ayarlandıktan sonra kaydet butonuna basılır. Bu esnada şekil 3.21' deki ekran gelir.



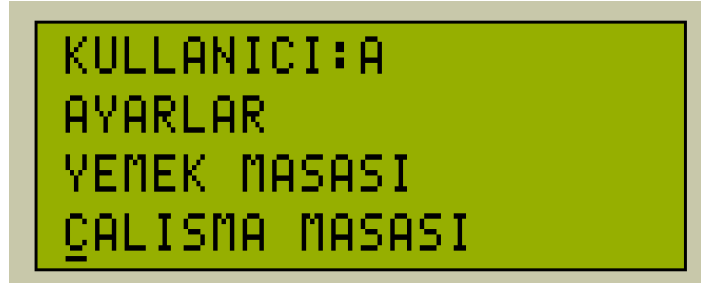
Şekil 3.21 Bilgi Ekranı

Kayıt yapıldıktan tekrar sistem giriş ekranı gelir. Bu şekilde yükseklik konumu hafızaya kaydedilmiş olur.



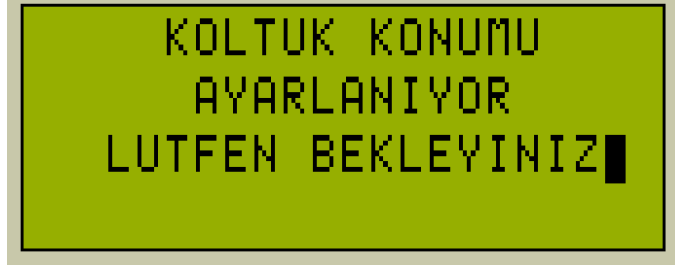
Şekil 3.22 Sistem Açılış Ekranı

Yukarı-aşağı butonları ile menüye girildiğinde en son yapılandırılan kullanıcının ayarları ekrana gelir. Aşağıda en son A kullanıcısı yapılandırıldığı için A kullanıcısına ait ayarlar ekrana gelmiştir.



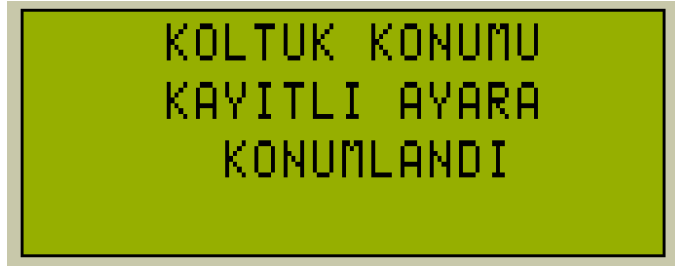
Şekil 3.23 Kaydedilmiş Ayarlar Seçim Ekranı

Bu ekranda daha önce kaydedilmiş konumlardan biri seçildiğinde sistem otomatik olarak o yüksekliğe konumlanmaktadır. Konumlanma yapılırken şekil 3.24' deki ekran gelmektedir.



Şekil 3.24 Konumlanma Bilgi Ekranı

Konumlanma bittikten sonra şekil 3.25' teki ekran gelmektedir.



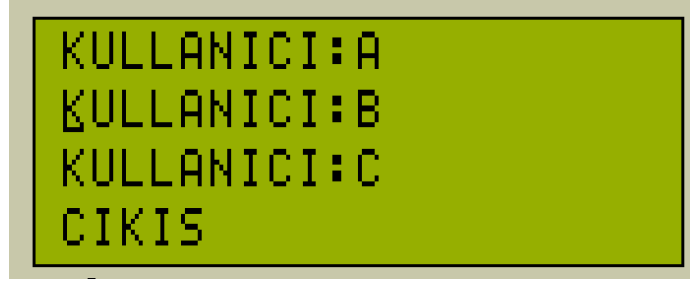
Şekil 3.25 Sonuç Bilgi Ekranı

Sistemde en son kullanıcı için ayarlar ekrana gelmektedir. Kullanıcı buradan kaydetmiş olduğu konumlara ilgili seneği butonlarla seçerek ulaşabilmektedir. Kullanıcı değiştirilmek istendiğinde ana menüde ayarlar seçilir.



Şekil 3.26 Ayarlar Ekranı

Şekil 3.27' de görülen ekrandan istenen kullanıcı seçilir.



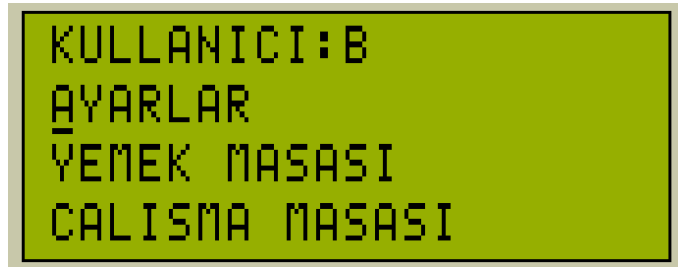
Şekil 3.27 Kullanıcı Seçim Ekranı

Bu aşamada gelen ekrandan çıkış seçilir.



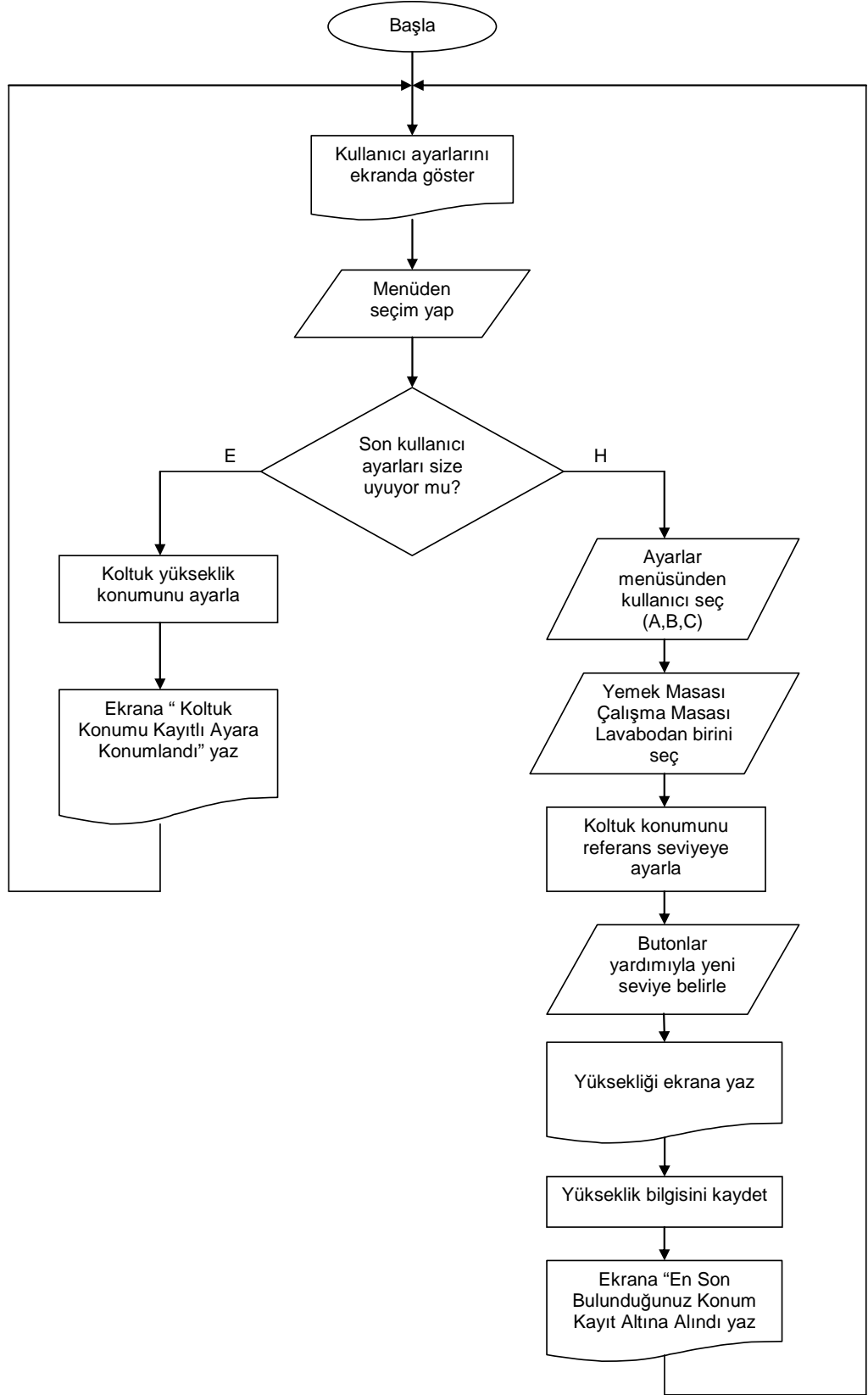
Şekil 3.28 Yükseklik Ayarları Ekranı

Seçimden sonra artık istenen kullanıcıya ait ayarların bulunduğu ekran gelir. Şekil 3.29' da B kullanıcısına ait ayarların ekrana geldiği görülmektedir.



Şekil 3.29 Kaydedilmiş Ayarlar Seçim Ekranı

Kontrol ünitesi programı akış diyagramı şekil 3.30' da sunulmuştur.



Şekil 3.30 Program Akış Diyagramı

3.5 Montajı Tamamlanmış Sistem

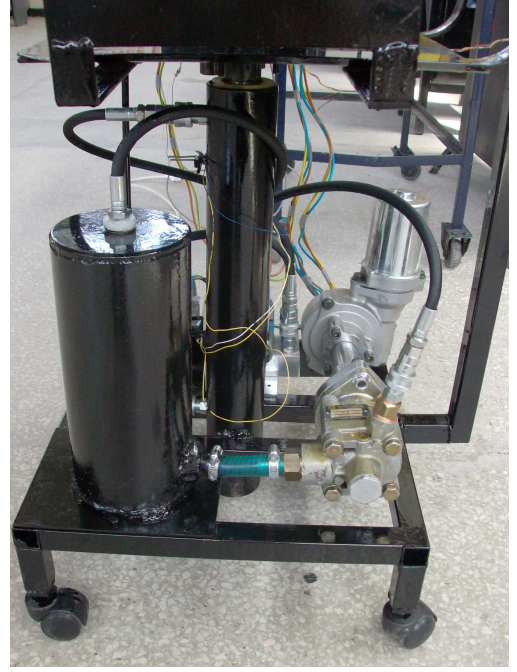
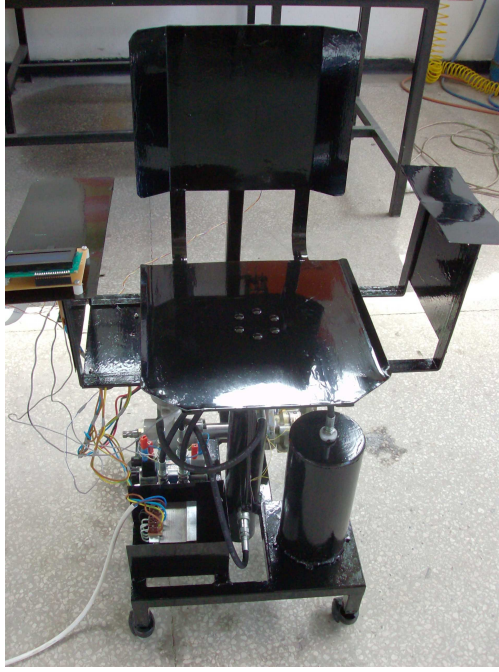
Sistemin, mekanik aksamı, elektronik kontrol ünitesi, hidrolik ünitesi ve yazılımı tamamlandıktan sonra montajına geçilmiştir. Şekil 3.31, 3.32, 3.33, 3.34, 3.35, 3.36 ve 3.37' de montajı tamamlanmış sistemin resimleri verilmiştir.



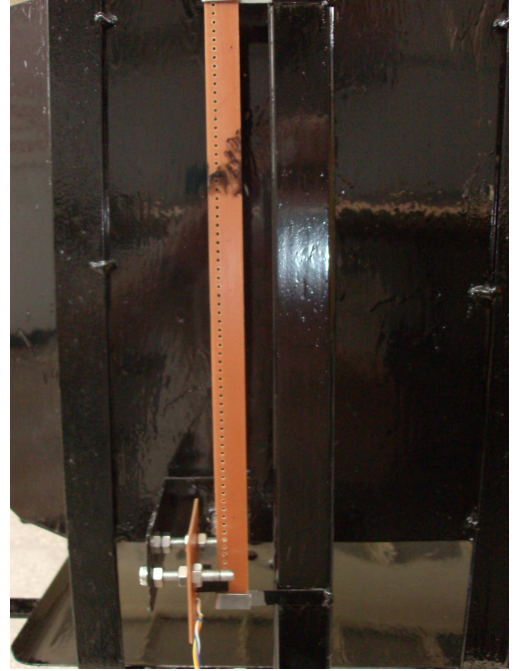
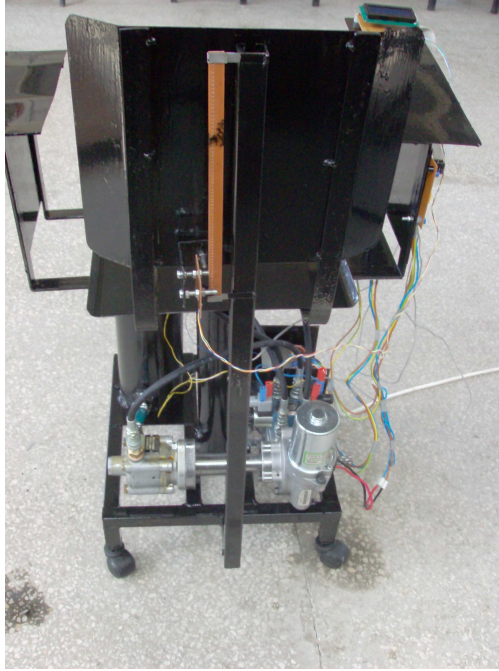
Şekil 3.31 Sistemin Montajı Yapılmış Hali



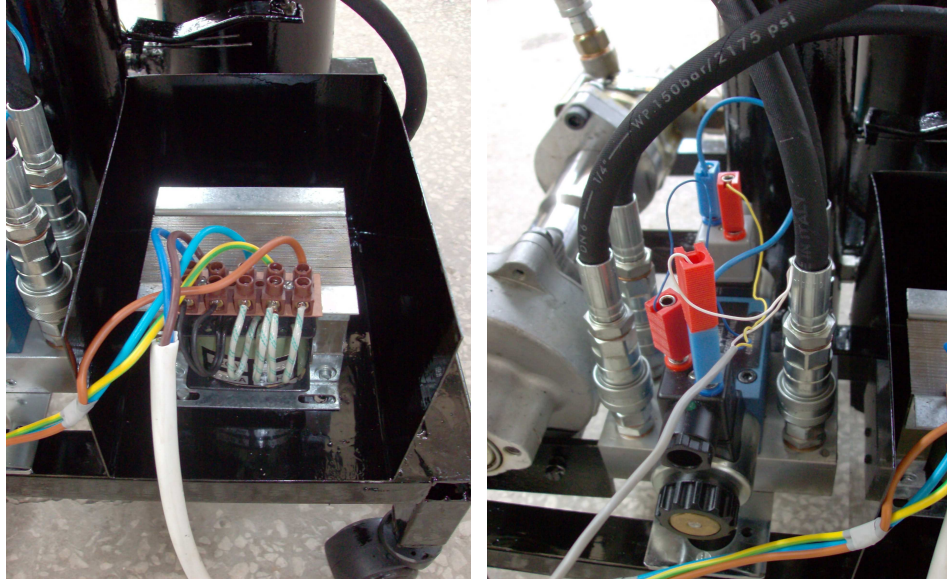
Şekil 3.32 Sistem Alt Bölümü



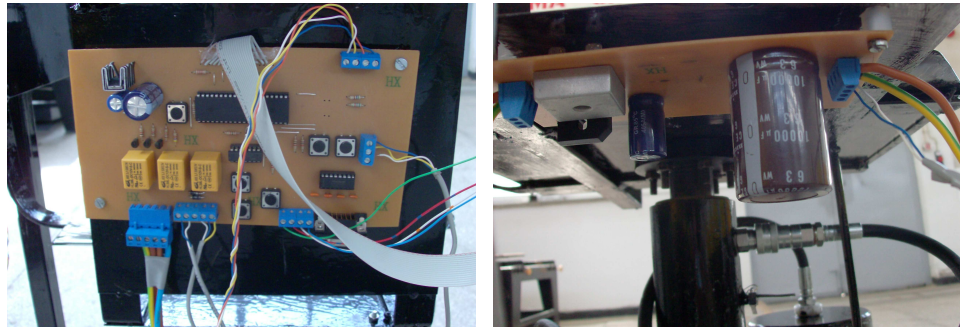
Şekil 3.33 Sistem Montajı Önden Görünüş



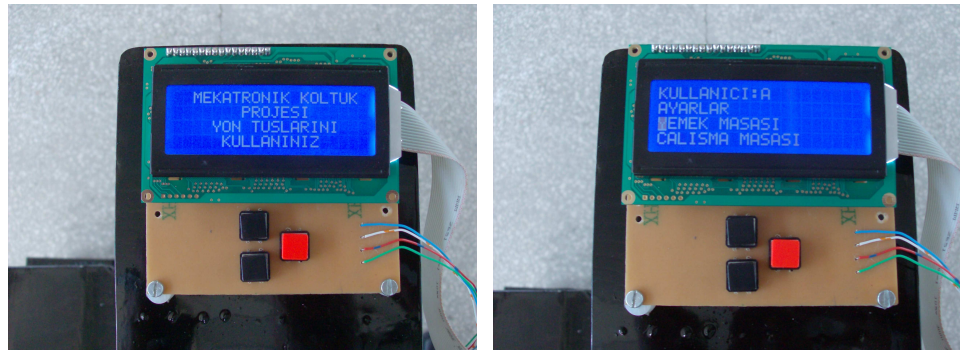
Şekil 3.34 Sistem Montajı Arkadan Görünüş



Şekil 3.35 Sistem Güç Ünitesi ve Selenoid Valf



Şekil 3.36 Sistem Elektronik Ünitesi



Şekil 3.37 Çalışma Esnasında Sistem Kontrol Ünitesi

4. SONUÇ

Çalışma konusu ile ilgili yapılan teorik araştırmalar ve prototip üretimi sonunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Teorik araştırmalar sonucunda bu tür sistemlerin geniş bir kullanım alanına sahip olduğu ve kullanımının giderek yaygınlaştığı görölmüştür.

2. Farklı konstrüksiyon araştırmaları sonucu, bu tür sistemlerde en çok kullanılan üç konstrüksiyon olduğu görölmüştür. Bunlar hidrolik, pnömatik ve mekanik konstrüksiyonlardır.

3. Üretilen prototiple yapılan deneyler sonucunda sistemin kullanılabilir olduğu, konumlama hassasiyetinin bu amaç için yeterli olduğu, sistemin oldukça sessiz ve kullanımının kolay olduğu görölmüştür.

4. Üretimi yapılan prototipin hidrolik konumlama sistemine sahip olması nedeniyle yağ kaçağı problemleri oluşabileceği ayrıca hidrolik sistemin fazla yer işgal ettiği görölmüştür.

5. ÖNERİLER

Üretimi yapılan prototip geliştirilmeye açık bir sistemdir. Sistem üzerinde yapılacak değişiklikler ile kullanıcı isteklerine ve çevre şartlarına daha uygun sonuçlar elde edilebilir.

Örnek olarak konumlama sisteminin daha az yer kaplaması veya yağ sızdırma problemlerinin olmaması istenirse mekanik çözüm seçeneği kullanılabilir. Ayrıca konumlamanın daha hassas olması istenirse, bulunan konumu kontrol edip sisteme göndererek düzeltmeye olanak verecek bir geri besleme alt sistemi kullanılabilir.

Bunun dışında tasarıma, hareket sistemi eklenerek ve akü kullanılarak bir engelli koltuğu şeklinde de geliştirilebilir. Bu şekilde yapılacak ilave iyileştirmelerle daha kullanışlı bir sistem elde etmek mümkündür.

KAYNAKLAR

[1] Erden, A., "Mekatronik mühendisliği -tanım ve temel ilkeler, kavramlar", *Endüstri&Otomasyon*, 52, (2001), 34.

[2] Karayel, D., Mekatroniğe giriş ders notu, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, (2005).

[3] Komoto, H., Tomiyama, T., "A system architecting tool for mechatronic systems design", *CIRP Annals - Manufacturing Technology* , (2010), 552.

[4] Erden, A., "Mekatronik teknoloji ve uygulamaları", *Endüstri & Otomasyon*, 55, (2001), 30.

[5] Korondi, A., Gyeviki J., " Robust position control for a pneumatic cylinder", *12th International Power Electronics and Motion Control Conference*, (2006),513.

[6] Adam, G., " Design and control of a mechatronic hydraulic press system", *Mechatronics* ,3, (2004), 311.

[7] Thomas, B., Maul, G., Jayawiyanto, E.," A novel, low-cost pneumatic positioning system", *Journal Of Manufacturing Systems*, 24, (2005), 377.

[8] Grof, P., Zoltan, P., Gyeviki, J., " Polytopic model reconstruction of a pneumatic positioning system", *5th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics*, (2009), 61.

[9] Campanile, F., Bellmunt, O., Allerano, S., " Hydraulic actuator modeling for optimization of mechatronic and adaptronic systems", *Mechatronics*, 18, (2008), 634.

[10] Taşkan, O., " Hidrolik motor sisteminin konum kontrolü ", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi , İstanbul, (2007).

[11] Rzevski, G., "On conceptual design of intelligent mechatronic systems", *Mechatronics*, 13, (2003), 1029.

[12] Schäfer, W., Wehrheim, H., "The challenges of building advanced mechatronic systems", *International Conference on Software Engineering*, (2008), 72.

[13] Pınar, A., Güllü, A., " Bir hidrolik pozisyonlama sisteminde piston çapı, ilerleme oranı, yön ve eksen parametrelerinin optimum seviyelerinin belirlenmesi ", *E-Journal of New World Sciences Academy*, 4, (2009).

[14] Amerongen, J., Coelingh, E., De Vries, T., " Computer support for mechatronic control system design ", *Robotics and Autonomous Systems*, 30, (2000), 249.

[15] Choi, S.B., Yoo, J.K., Cho, M.S., Lee, Y.S., " Position control of a cylinder system using a piezoactuator-driven pump", *Mechatronics*, 15, (2005), 239.

[16] Çavdar, K., Mekatroniğe giriş ders notu, Uludağ Üniversitesi, Bursa, (2005).

[17] Bishop, R. , The mechatronics handbook, CRC press, U.S.A., (2002).

- [18] Açık çevrim kontrolü, Megep, Ankara, (2009).
- [19] Kapalı çevrim kontrolü, Megep, Ankara, (2009).
- [20] Mikroişlemci ve mikrodenetleyiciler, Megep, Ankara, (2007).
- [21] Workrite ergonomics ürün kataloğu, Workrite Ergonomics Inc., U.S.A., (2008).
- [22] Details adjustables ürün kataloğu, Office Details Inc., U.S.A., (2008).
- [23] The walkstation ürün kataloğu, Office Details Inc., U.S.A., (2007).
- [24] Volkswagen Phaeton ürün kataloğu, Volkswagen AG., (2006).
- [25] Pronto M51 ürün kataloğu, Invacare Inc., U.S.A., (2008).
- [26] Topkaya , H., Teknik mekanik, Ankara, (1980).
- [27] Temel pnömatik, Megep, Ankara, (2007).
- [28] Croser, P., Thomson, J., Elektropnömatik, Festo Didactic, (1993)
- [29] Çallı, İ., Hidrolik ve pnömatik ders notu, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, (2005).
- [30] Akıllı ev aletlerinin mikrodenetleyiciler ile kontrolü, Megep, Ankara, (2007).