

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**3 EKSEN KARTEZYEN ROBOTLARDA
KONSTRÜKTİF İYİLEŞTİRMELER**

SERKAN POYRAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HAYDAR LİVATYALI**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**3 EKSEN KARTEZYEN ROBOTLARDA
KONSTRÜKTİF İYİLEŞTİRMELER**

Serkan POYRAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 19.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Haydar LİVATYALI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Haydar LİVATYALI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cevat Erdem İMRAK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Gör. Üyesi Muharrem BOĞOÇLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

İnsan doğasından gelen daha fazlayı isteme içgüdüğü, sanayi devrimi ile birlikte iyiden iyiye alevlendirilmiş ve tüketim alışkanlıkları köklü bir şekilde değiştirilerek, karşılanması çok güç talepler yaratmaya başlanmıştır. İnsan gücü ile yapılan konvansiyonel üretim, bu talepleri karşılamakta yetersiz ve pahalı kalmıştır, bu sebeple dünya genelinde özellikle 20.yy son çeyreğinde, ülkemizde ise takribi son 15 yıldır üretim hatlarında robot kullanımının önemi artmış, üretim hatlarının otomatikleştirilmesi vasıtası ile üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve üretimde standartlaştırılma, istikrar sağlanma hedeflenmiştir.

Bu bağlamda düşünüldüğünde, robot sistemleri üretim hatlarının vazgeçilmez elemanlarıdır. Robotlar, sürekli aynı işi yapan makinelerin aksine programlanabilirler. Bu esneklik robotları, insanın yerini alabilecek yegane işgücü haline getirmiştir.

Bu tez çalışmasında, sanayi için bu denli önemli konumda olan robot sistemlerinden en yaygın kullanılan 3 eksen Kartezyen robotların mekanik tasarım kriterleri üzerinde durulmuştur.

Çalışmalarım sırasında bana her konuda yardımcı olan, bilimsel çalışma disiplini öğreten ve deneyimlerini benimle paylaşan sevgili hocam Prof. Dr. Haydar LİVATYALI'ya, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Cristina VALENCIA'ya ve yıllardır çalışanı olduğum, ülkemizde otomasyon sektöründe önemli robot üreticilerinden olan ENELKON OTOMASYON AŞ.' ye çok teşekkür ederim.

Haziran, 2018

Serkan POYRAZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması, Endüstriyel Robotların Tanımı ve Sınıflandırılması.....	1
1.2 3 Eksen Kartezyen Robotların Tasarımı	3
1.3 Amaç ve Kapsam	5
1.4 Hipotez.....	5
1.5 Tezin İçeriği	6
BÖLÜM 2	
PIYASADAKİ 3 EKSEN ROBOTLARIN TASARIM TİPLERİNİN İNCELENMESİ.....	7
2.1 Mevcut Robotların Konstrüksiyon Tiplerinin Kıyaslanması	7
2.2 Piyasadaki Robotların Örnek Robot Parametreleri.....	9
2.3 Geleceğin Robotları.....	11
BÖLÜM 3	
ÜÇ EKSEN KARTEZYEN ROBOT - TASARIM ALTERNATİFLERİ.....	12
3.1 Çalışmada Kullanılacak Örnek Robot Parametreleri	12
3.2 Tahrik Elemanları	13
3.2.1 Servo Motorlar	13
3.2.2 Lineer Servo Motorlar	13
3.2.3 Step Motorlar.....	15
3.2.4 Pnömatik-Hidrolik Aktüatörler	15
3.2.5 Tahrik Yöntemlerinin Kıyaslanması ve Motor Seçimi	16
3.3 Redüktörler	17
3.4 Güç İletim Mekanizmaları	19
3.4.1 Dişli Kayış Kasnak Mekanizması	19

3.4.2	Kramayer Pinyon Mekanizması	20
3.4.3	Bilyeli Vidalı Mil Mekanizması	20
3.4.4	Güç İletim Yöntemlerinin Kıyaslanması ve Öneriler	21
3.5	Tahrik ve Güç Aktarım Organlarının Hesaplanması	23
3.5.1	Y Eksen Servo Motor, Redüktör ve Kayış Hesabı	24
3.5.2	X Eksen Servo Motor, Redüktör ve Kayış Hesabı	31
3.5.3	Z Eksen Servo Motor, Redüktör ve Kayış Hesabı	34
3.6	Eksenleri Kılavuzlama Elemanları	38
3.6.1	Lineer Bilyeli Raylar	39
3.6.2	Lineer Rulmanlar	39
3.6.3	Lineer Makaralı Raylar	40
3.6.4	Kılavuzlama Elemanlarının Kıyaslanması, Hesaplanması ve Seçimi.....	41
3.7	Eksen Profilleri	51
3.7.1	Z Eksen Profil Seçimi ve Bilgisayar Destekli Analiz Sonuçları.....	52
3.7.2	X Eksen Profil Seçimi ve Bilgisayar Destekli Analiz Sonuçları.....	56
3.7.3	Y Eksen Profil Seçimi ve Bilgisayar Destekli Analiz Sonuçları.....	58
3.8	Tasarımı Tamamlanan Robotun Karakteristik Özellikleri ve Görselleri	60
3.9	Servo Motor Test Sonuçları	61
BÖLÜM 4		
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ		65
BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER		69
KAYNAKLAR.....		72
EK-A		
KEBA - MOTOR KATALOĞU		74
EK-B		
NEUGART – REDÜKTÖR KATALOĞU.....		75
EK-C		
HABASIT – DİŞLİ KAYIŞ KATALOĞU		77
ÖZGEÇMİŞ.....		78

SİMGE LİSTESİ

T_1	Gerekli maksimum servo motor torku
T_A	İvmelenme yavaşlama torku
T_L	Motor miline indirgenmiş moment
N	Motor mili devir sayısı
t_A	İvmelenme-yavaşlama zamanı
J_M	Motor iç ataleti
J_L	Motor miline indirgenmiş toplam atalet
η	Redüktör verimi
J_W	Redüktör miline indirgenmiş toplam atalet
G	Redüktör çevrim oranı
J_1	Tahrik kasnağı ataleti
J_2	Avare kasnak ataleti
J_3	Taşınan yükten kaynaklanan atalet
J_4	Kayıştan kaynaklanan atalet
M_1	Tahrik kasnağı ağırlığı
M_2	Avare kasnak ağırlığı
M_3	Toplam yük
M_4	Kayış ağırlığı
D_1	Tahrik kasnağı çapı
D_2	Avare kasnak çapı
T_W	Kayış kasnak mekanizması için kasnak üzerinde oluşan moment
F	Yükten kaynaklı kayışa etkiyen kuvvet
m	Motorun taşıdığı toplam ağırlık
g	Yerçekimi ivmesi
f_r	Motorun taşıdığı ağırlık ve ray arasındaki sürtünme katsayısı
T_{rms}	Efektif tork
t_2	Sabit hızda hareket zamanı
t_4	Tam çevrim de bekleme zamanı
t_1, t_3	İvmelenme, yavaşlama zamanı
F_{ran}	Redüktör miline gelebilecek maksimum anlık radyal kuvvet
T_{mmax}	Motor maksimum torku
F_k	Kayışa gelebilecek maksimum kuvvet

V_y	Y eksen hızı
S_y	Y eksen stroğu
V_x	X eksen hızı
S_x	X eksen stroğu
V_z	Z eksen hızı
S_z	Z eksen stroğu
F_{1z}	Z eksen ivmesinden ötürü oluşan dış kuvveti
F_{2z}	Taşıma yükünün Z eksen ivmesinden ötürü oluşturduğu dış kuvvet
m_z	Z eksen toplam kütlesi
y_z	Taşıma yükü, faydalı yük
a_z	Z eksen ivmesi
F_{dx}	Z eksen dinamik hareketinden kaynaklanan kuvvet
$M_{bz\ x}$	Z esken dinamik kuvveti indirgenirken ortaya çıkan burulma momenti
$F_{Mb\ z\ x}$	Burulma momentinin X eksene etkiyecek kuvvet çiftine dönüşmüş halidir
s_x	X eksen profil genişliği
M_{by}	Y eksene etkiyen burulma momenti
m_{ty}	Y ekseni üzerinde hareket eden toplam ağırlık
$F_{Mb\ y}$	Burulma momentinin Y eksene etkiyecek kuvvet çiftine dönüşmüş halidir
s_y	Y eksen profil genişliği
F_{ty}	Y eksen üzerindeki toplam statik ve dinamik kuvvet

KISALTMA LİSTESİ

AA	Alternatif akım
DA	Doğru akım
TS ISO	Türk Standartları, International Organization for Standardization

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Endüstriyel robotların sınıflandırılması	2
Şekil 1.2 Örnek bir 3 eksen Kartezyen robot ve eksen yönleri	4
Şekil 2.1 X eksen konstrüksiyon tipleri	8
Şekil 2.2 Z eksen konstrüksiyon tipleri	9
Şekil 2.3 Sytrama S7 robot teknik özellikleri	10
Şekil 3.1 Lineer servo motorun yapısı	14
Şekil 3.2 Servo motor performansının ortam sıcaklığına bağlı değişimi	17
Şekil 3.3 Servo motor performansının rakıma bağlı değişimi	17
Şekil 3.4 Harmonik drive ve planet redüktör yapısı	18
Şekil 3.5 Lineer bilyeli raylar	39
Şekil 3.6 Lineer rulmanlar	39
Şekil 3.7 Lineer makaralı raylar (Rollon)	40
Şekil 3.8 THK ray seçim programı Y eksen seçim kriterleri 1	41
Şekil 3.9 THK ray seçim programı Y eksen seçim kriterleri 2	42
Şekil 3.10 THK ray seçim programı Y eksen seçim kriterleri 3	43
Şekil 3.11 THK ray seçim programı Y eksen sonuç raporu	44
Şekil 3.12 THK ray seçim programı X eksen seçim kriterleri 1	45
Şekil 3.13 THK ray seçim programı X eksen seçim kriterleri 2	45
Şekil 3.14 THK ray seçim programı X eksen seçim kriterleri 3	46
Şekil 3.15 THK ray seçim programı X eksen sonuç raporu	47
Şekil 3.16 THK ray seçim programı Z eksen seçim kriterleri 1	48
Şekil 3.17 THK ray seçim programı Z eksen seçim kriterleri 2	48
Şekil 3.18 THK ray seçim programı Z eksen seçim kriterleri 3	49
Şekil 3.19 THK ray seçim programı Z eksen sonuç raporu	50
Şekil 3.20 Z eksen analiz modeli ve sehim analizi sonucu	52
Şekil 3.21 Z eksen 2 kg ve 8 kg faydalı yük için sehim analizi sonucu	53
Şekil 3.22 Z eksen modal analiz sonucu	54
Şekil 3.23 X eksen analiz modeli	55
Şekil 3.24 X eksen profili üzerindeki kuvvetler	56
Şekil 3.25 X eksen profili sehim analizi sonucu	57
Şekil 3.26 Y eksen analiz modeli	58
Şekil 3.27 Y eksen profili sehim analizi sonucu	59
Şekil 3.28 Tasarımı yapılan 3 eksen kartezyen robot görseli	60
Şekil 3.29 Y eksen servo motor test sonuçları	61

Şekil 3.30	X eksen servo motor test sonuçları	62
Şekil 3.31	Z eksen servo motor test sonuçları	63
Şekil 4.1	Önceki tip tasarım görseli	66



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Örnek robot parametreleri	12
Çizelge 3.2 Güç iletim sistemlerinin kıyaslanması	21
Çizelge 3.3 Nihai robot tasarımı karakteristik özellikler	60
Çizelge 4.1 Y eksen özellikleri karşılaştırma tablosu	64
Çizelge 4.2 X eksen özellikleri karşılaştırma tablosu	65
Çizelge 4.3 Z eksen özellikleri karşılaştırma tablosu	65

**3 EKSEN KARTEZYEN ROBOTLARDA
KONSTRÜKTİF İYİLEŞTİRMELER**

Serkan POYRAZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Haydar LİVATYALI

Bir makine tasarımcısının hedefi, amaçlanan işi yapacak olan sistemi gerekli mekanik parçaları bir araya getirerek en optimum şekilde yapmaktır. Bu yolda sistemin sınır değerlerinin doğru belirlenmesi, hedefe ulaşılma yüzdesini doğrudan etkileyen bir faktördür.

Bu tez çalışması; pazar ihtiyaçları, mevcut robotların incelenmesi, ülke sanayi şartları, mekanik sistem optimizasyonu, alt sistemlerin ve komponentlerin hesaplamaları, Bilgisayar destekli analiz ile komponent optimizasyonu gibi konuları ele alarak, optimum şartlarda bir 3 eksen Kartezyen tasarımı sunmaktadır.

Son kullanıcıdan alınan geri bildirimler ve yapılan gerekli testlerle tasarım son halini almış ve en optimum seviyeye getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3 eksen Kartezyen robot, otomasyon, robot tasarımı

**STRUCTURAL DESIGN IMPROVEMENT
of 3 AXIS CARTESIAN ROBOTS**

Serkan POYRAZ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Haydar LİVATYALI

The goal of a mechanical designer is to build the optimum system by using necessary mechanical parts to make the required job. The correct determination of the system's limit values in this way is a factor that directly affects the percentage of reaching the target.

This thesis study presents a 3-axis Cartesian robot design under optimal conditions by taking into consideration such issues as market requirements, examination of existing robots, country industrial conditions, mechanical system optimization, computation of subsystems and components, computer aided analysis and component optimization.

With the feedback from the end user and after the required tests, the design has been finalized by improving the construction to the optimum level.

Keywords: 3 axis Cartesian robot, automation, robot design

1.1 Literatür Araştırması, Endüstriyel Robotların Tanımı ve Sınıflandırılması

Sanayi robotları için TS ISO 8373 e göre yapılan tanım şu şekildedir; Üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, programlanabilir, çok amaçlı, bir yerde sabit duran veya tekerlekleri olan, ortamdan topladığı verileri çevresi hakkında sahip olduğu bilgiyle sentezleyerek, anlamlı ve amaçlarına yönelik hareket edebilen, endüstriyel uygulamalarda kullanılan manipülatördür [1].

Endüstriyel robotlardan istenen özellikler, aynı zamanda bu tip robotların performans ölçütleridir. Bu özellikler, kullanım amacına göre beklentilerde değişiklik olabilecek olmasının yanı sıra, genel olarak şu şekilde değerlendirilebilirler[2];

1.Hassasiyet; Ölçülebilecek en küçük değişim miktarı olarak tanımlanabilir; temel olarak doğruluk, çözünürlük ve tekrarlanabilirlik özelliklerinin bileşimidir.

- Doğruluk: Robot kolunun verilen hedefe ne kadar yakın konumlandığıdır.
- Çözünürlük: Robot kolunun en küçük hareket adımıdır, çözünürlüğün artması daha küçük mesafelerde hareket kabiliyeti anlamına gelir.
- Tekrarlanabilirlik: Aynı koşullarda, aynı giriş değerlerinde aynı çıkış değerinin yakalanabilme kabiliyetidir.

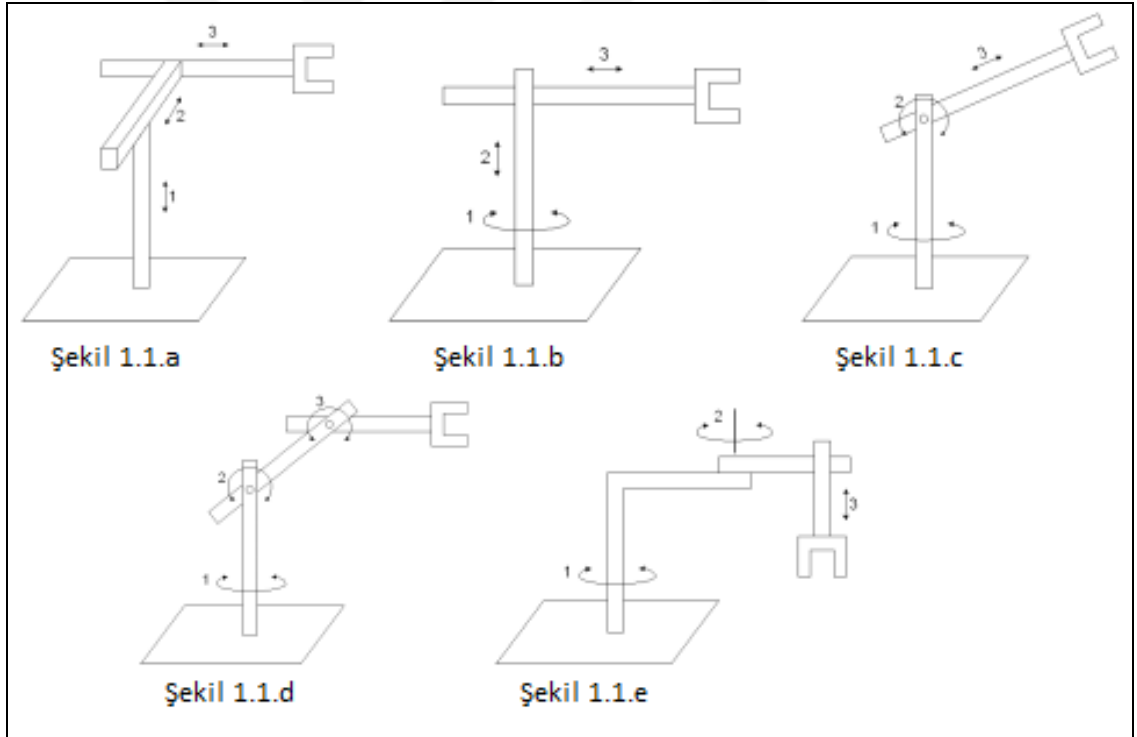
2.Tepkime Süresi: Sistemin girişine verilen bir sinyale karşı, çıkışında fak edilebilir bir değişikliğin oluşma süresidir. Tepkime süresinin hızlı olması beklenir.

3.Kararlılık: Genellikle endüstriyel robotlar için, robot kollarının hareket sırasında salınımsız çalışması olarak yorumlanır. Uygulama tipine göre salınımın izin verildiği durumlarda söz konusu olabilir.

4.Yük taşıma kabiliyeti ve Hız: Hız ve taşıma kapasitesi, kullanım amacına yönelik olarak değişkenlik göstermektedir. Ana temelde robotlar tasarlanırken sınır değer olarak minimum hız maksimum yük ve maksimum hız minimum yük durumları dikkate alınarak hesaplar yapılır. Aynı işi daha kısa sürede yapabilen robot daha hızlıdır ve üretime sağladığı fayda düşünüldüğünde daha avantajlıdır.

Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması;

Endüstriyel robotlar temel olarak eksen sayıları, eksenlerin hareket kabiliyetleri ve çalışma uzayları dikkate alınarak sınıflandırılırlar.



Şekil 1.1 Endüstriyel robotların sınıflandırılması [3]

1.Kartezyen Manipulatörler

Genellikle birbirini üzerinde kayan 3 ana eksen oluşurlar. Diğer robot tipleri ile kıyaslandığında üretimi ve kullanımı en kolay robot tipi olması, bu sayede daha

ekonomik olması ve birçok işi kolaylıkla yapabiliyor olması sebebiyle kullanımı çok yaygındır (Şekil 1.1.a).

2.Silindirik Manipülatörler

Silindirik koordinatlarda hareket eden robot tipidir. Genellikle ağır parçaların nakledilmesinde kullanılırlar, kendi eksenini etrafında neredeyse tam tur dönebilen ve aşağı yukarı hareket edebilen bir düşey eksen ve bu eksene dik olarak yatayda çalışan bir yardımcı eksenden oluşurlar. Hassasiyetleri çok yüksek değildir. Genellikle hidrolik olarak tahrik edilseler de servo tahrikli olarak da tasarlanabilirler (Şekil 1.1.b).

3.Küresel Manipülatörler

Bu tip manipülatörler, iki adet döner ve bir adet kayar eksenden meydana gelmektedirler. Genellikle montaj işlerinde, test ve kontrollerde veya transfer işlemlerinde kullanılırlar (Şekil 1.1.c).

4.Mafsallı Manipülatörler

İnsan kol yapısına benzeyen, en altta dönen bir eksen üzerinde kurulmuş çoğunlukla 4-5 dikey mafsalla eksenden oluşan robotlardır. Çalışma alanları tam küreye benzer şekildedir, hareket kabiliyetleri çok geniştir ve bu sebeple kullanım alanları çok geniştir. Özellikle karmaşık yapıların kaynak ve boyama işlemlerinde sıkça kullanılır (Şekil 1.1.d).

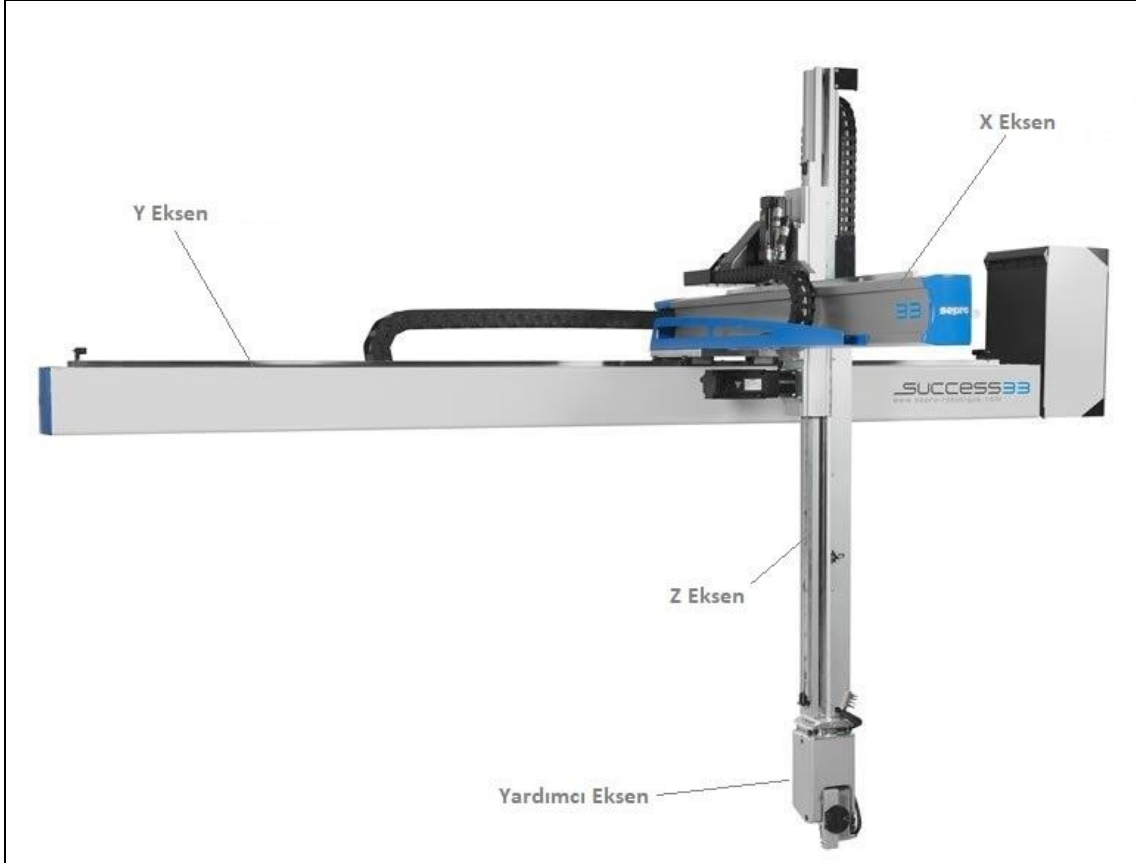
5.Scara Manipülatörler

Küresel manipülatörlere benzerler, 2 veya 3 adet yatayda döner eksen ve bir adet düşeyde lineer eksenden oluşurlar. Doğruluk ve hızları yüksektir. Çoğunlukla hafif parçaların montaj işlemleri, test işlemleri veya hafif malzeme taşımada kullanılırlar (Şekil 1.1.e).

1.2 3 Eksen Kartezyen Robotların Tasarımı

Kartezyen robotlar genel olarak 3 servo motor tahrikli lineer eksen ve 1 adet kol ucuna bağlanan yardımcı eksenden oluşurlar. İş yapan kol olan dikey eksen uç noktasına bağlanan bu yardımcı eksen, yapılacak işin karakteristiğine göre seçilir. Pnömatik olabildiği gibi, istendiği takdirde servo tahrikli de olabilir. Gerektiği durumlardan birden fazla yardımcı eksen aynı anda veya ayrı ayrı çalışacak şekilde bağlanabilir [4].

Kartezyen robotlar; ana eksen stroklarının çok küçük stroklardan çok büyük stroklara kadar tasarlanabilmesi, yardımcı eksenlerin çok çeşitli olması ve bunlara erişimin gün geçtikçe daha da kolaylaşması, fayda/maliyet oranlarının yüksek olması, kurulum, kullanım, bakım, değişik uygulamalar arası adaptasyon kolaylığı gibi sebeplerden dolayı gün geçtikçe kendine daha fazla piyasa bulan endüstriyel bir robot tipidir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Örnek bir 3 eksen Kartezyen robot ve eksen yönleri [5]

Y Eksen; Bir veya iki uçtan sabit bir noktaya bağlanan kısımdır. Eksen profili hareket etmez, amacı X ve Z eksenlerinin hareketini taşımaktır. Genellikle çelik profilden üretilir. Robotun en uzun stroğudur. Üzerinde hareket eden sistemlerin yaptıkları hareketin yönü Y eksenidir.

X Eksen; Y eksen profili üzerinde sağa ve sola hareket eder. Y eksen profili üzerine yataklanmıştır. Genellikle çelik veya alüminyum malzemeden üretilir. Robotun en kısa stroğudur. Aynı zamanda Z eksen yataklama elemanlarını da taşır. Üzerinde hareket eden sistemlerin yaptıkları hareketin yönü X eksenidir.

Z Eksen; X eksen üzerinde hareket eden plakalara yataklanmıştır. Eksen ağırlığının tamamı yerçekimine karşı iş yapar, bu sebeple olabildiğince hafif tasarlanması amaçlanır. Aynı zamanda anma yükünün tamamını taşıyacağı için rijit bir yapıda olmalıdır. Alüminyum, çelik veya özel alaşımlardan üretilebilir.

Yardımcı Eksen; Genellikle pnömatik ekipmanlardan seçilir, servo kontrollü de olabilir. Robot çalışması sırasında iş parçasını manipüle etmek için kullanılan yardımcı eksenidir. 1, 2 veya 3 farklı yönde dönme yapabilir şekilde tasarlanabilir. Çalışılacak iş parçasına göre hazır olarak temin edilebilir veya özel olarak tasarlanabilir.

1.3 Amaç ve Kapsam

Bu yüksek lisans tezinin amacı, üç eksenli endüstriyel Kartezyen robotların tasarımları incelenerek hafiflik, rijitlik, çeviklik, titreşimsiz çalışma, güvenilirlik ve ekonomiklik açılarından konstrüktif iyileştirmeler yapılması ve bunun için yenilikçi analiz yöntemlerinin uygulanmasıdır.

Mevcut akademik çalışmalar ve yayınlar incelendiğinde, özelde 3 eksen Kartezyen robotlar ve genel olarak robot sistemleri ile ilgili, yapısal iyileştirme tarafına ağırlık veren yerli veya yabancı kaynaklı kaynak sıkıntısı olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen çalışmaların hemen hemen tamamı robot sistemlerinin yazılım iyileştirmesi tarafına yoğunlaşmış ve mekanik yapının iyileştirilmesi üzerine çalışma olmadığı görülmüştür. Bu çalışmanın eğildiği konuların, ileride bu konuda araştırma yapacaklara kaynak niteliğinde olması hedeflenmektedir.

Bu yüksek lisans tezinin kapsamı, üç eksen Kartezyen robot olarak adlandırılan endüstriyel robotların analitik, yarı ampirik ve bilgisayar destekli sayısal yöntemler kullanılarak mekanik tasarımıdır.

1.4 Hipotez

Üç eksen Kartezyen robotların içerdiği alt sistemlerin tasarımı, analitik, yarı ampirik ve bilgisayar destekli sayısal yöntemlerin uygun kombinasyonu ile verimli ve yüksek başarılı olacak şekilde yapılabilir. Bu yüksek lisans tezi kapsamında sözü edilen hesaplama yöntemlerinin uygun bir kombinasyonu geliştirilmiş ve sunulmuştur.

1.5 Tezin İçeriği

Bu yüksek lisans tezi kapsamında 3 eksen Kartezyen robot tasarımı üzerine izlenecek yöntem şu şekildedir.

- 2. Bölümde piyasa araştırması ve mevcut robot konstrüksiyonlarının kıyaslanması yapılmıştır.
- 3. Bölüm malzeme ve yöntemler olup, robot ana bileşenleri tek tek ele alınarak alternatifler incelenmiş, önemli noktalarda tavsiyeler verilmiş ve hesaplamalı olarak komponent seçimleri yapılmıştır. Kritik noktalarda seçilen bileşenler üzerinde sonlu elemanlar yöntemi ile gerekli analizlerin yapılmıştır.
- 4. Bölümde elde edilen sonuçlarla tasarım, 2013 yılında ticarileşmiş başka bir Kartezyen robot ile kıyaslanmış ve karşılaştırmalı analiz yapılmıştır.
- 5. Bölümde ise çalışma özetlenerek sonuçlar halinde sunulmuş, gelecek çalışmalara ışık tutması açısından 3 eksen robot tasarımı konusunda dikkat edilmesi gereken konular vurgulanmış ve çözüm nerileri sunulmuştur.

PIYASADAKİ 3 EKSEN ROBOTLARIN TASARIM TİPLERİNİN İNCELENMESİ

2.1 Mevcut Robotların Konstrüksiyon Tiplerinin Kıyaslanması

3 Eksen robot tipleri dünya çapında incelendiğinde, kullanım alanına, amacına ve özelliklerine bağlı olarak konstrüksiyonlarındaki değişiklikler olduğu gözlemlenebilir.

Genel karakteristik olarak 3 adet birbiri üzerinde kayan eksen tanımının dışına çıkmadan konstrüksiyonda yapılan bu değişiklikler, robotların farklı sektörler için uzmanlaşmasını sağlamıştır.

Sistemde bulunan 3 eksen de en az bir adet taşıyıcı profil bulunmaktadır. Bu profiller çelik, alüminyum kutu, alüminyum sigma profiller..vb olabileceği gibi, çok yaygın olmasa da kompozit malzemeden de üretilebilmektedir. Bu durum tamamen üretici hedef pazarı ve ülke endüstri koşulları ile alakalıdır.

Y, X ve Z eksenlerinin konumlandırılma şekilleri göz önüne alındığında Y eksen için çok fazla bir değişkenliğin olmadığı gözlemlenebilir. Y eksen hemen bütün tip robotlarda sabit bir profil üzerine yerleştirilmiş kızaklardan oluşur.

X Eksen Tasarımı: Eksenin bir taşıyıcı profil üzerinde çalıştığı (Şekil 2.1b) ve eksenin taşıyıcı profilinin de eksen boyunca hareket ettiği (Şekil 2.1a) olmak üzere 2 ye ayrılabilir.

(Şekil 2.1a) da gösterilen eksen profilinin de hareketli olduğu uygulamalar, standart dışı büyük ürünlerin taşınması sırasında, ürünün eksen profilinin kendisine çarpmasını önlemek amacı güdülerek tasarlanmıştır. Teknik olarak incelendiğinde bu tasarım

verim açısından daha zayıf bir tasarımıdır. Bu tip robotlarda X eksen tahrik motoru, Z eksen grubu ve taşınan yüke ek olarak, kendi profil ve yataklama elemanlarının ağırlığını da taşımak zorundadır. Bu duruma ek olarak eksen tamamı ile lineer yatakların üzerine bindirilmiştir, eksenin stroğunun en uç konumunda, en büyük moment kolundan gelen statik ve dinamik yük tamamı ile eksen yataklarının üzerine binmektedir, olağan yatak boşlukları ve tekrarlayan bu yükler düşünüldüğünde ağır yük taşıma kabiliyetleri zayıftır.

(Şekil 2.1b) de gösterilen eksen profilinin sabit olduğu uygulamalar standart 3 eksen robot tipi olarak kabul edilebilir. Hareketli eksen profilinin taşıdığı dezavantajların hiçbirini taşımaz. Hacimce yüksek ürünlerin taşınması sırasında kısıtlamalara sebep olabilir.



Şekil 2.1 X eksen konstrüksiyon tipleri [6]

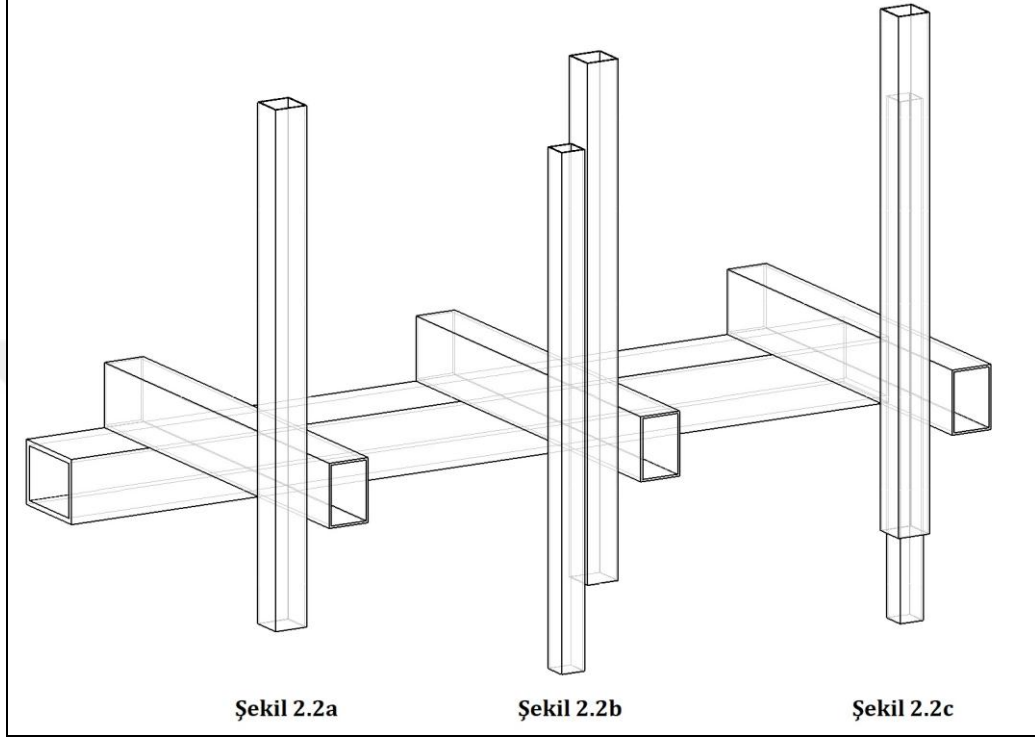
Z Eksen Tasarımı: Z eksen düşeyde çalışan eksendir. Z eksenindeki değişiklikler fabrika ortamlarındaki tavan yüksekliği kısıtlamalarından kaynaklanmaktadır. Bu tip durumlarda çalışabilecek robotların Z eksenleri teleskobik olarak dizayn edilmektedir. Buna ek olarak 1,5metreden fazla stroğa sahip Z eksen sistemleri de, yataklama elemanlarının efektif kullanımı açısından teleskobik olarak üretilmektedir.

Genel olarak Z eksen tipleri;

- Tek bir eksen profili olan (Şekil 2.2.a)
- 2 adet birbiri üzerinde kayabilen teleskobik koldan oluşan (Şekil 2.2.b)

- 2 adet birbiri içerisine konumlandırılmış teleskobik koldan oluşan (Şekil 2.2.c)

Olmak üzere incelenebilir. 2 den fazla teleskobik kola sahip robotlar da bulunmakla beraber, özel uygulamalarda kullanılmakta ve adetsel olarak diğer tiplere nazaran ihmal edilebilecek kadar azdır, çalışma mantıkları aynıdır.



Şekil 2.2 Z eksen konstrüksiyon tipleri

Robotların ana eksenleri olan Y X ve Z eksenlerindeki bu değişikliklere ek olarak, yardımcı eksen (C Eksen) üzerinde de farklılıklar görülmektedir. Bu yardımcı eksen yapılacak işe göre özel olarak tasarlandığından, sınıflandırılmayacak kadar çok sayıda varyasyona ulaşabilir.

2.2 Piyasadaki Robotların Örnek Robot Parametreleri

Ulusal ve uluslararası piyasalardaki robot üreticilerinin, bu çalışma kapsamında çalışılacak robot büyüklüğüne kıyasla ürettikleri robotların temel karakteristikleri incelendiğinde, üreticilerin yalnızca strok ve faydalı yük bilgisi verdikleri ve hız ivme gibi değerlerin paylaşılmadığı görülmüştür. Yalnızca bir adet üreticinin katalogunda bu bilgilere ulaşılabilmektedir. Bu çizelge (Şekil 2.3) de verilmiştir.

Robot model	S7-S	S7-L
Application on injection moulding machines (TONNES)	70 - 180	180 - 250
Z axis transversal to injection machine: stroke (mm)	1.600	2.000
Y axis, vertical: stroke (mm)	1.000	1.000
X axis, extraction: stroke (mm)	450	450
Top speed (m/sec) and operation of Z axis	1,8	
Top speed (m/sec) and operation of Y axis	3	
Top speed (m/sec) and operation of X axis	1	
Positioning reproducibility	± 0,2	
Manipulable weight (kg) *	5	
Pickup device turning (C axis)	0° -90°	
Pickup device rotation (A axis)	optional 0°-90° 0° - 180°	
Piece presence control with vacuum switch	standard	
E.O.A.T control	standard	
Compressed air supply (bar) kPa	(6) 600	
Venturi vacuum system max. air consumption (NI/min)	24	
Mains voltage	3x400-480 VAC type TT TN	
Maximum rated power (kW)	2	
Auxiliary control voltage (V d.c.)	24	
Noise level dB(A)	<85	
Paintwork	RAL 7016 -RAL 9022	
Electrical panel paintwork	RAL 7035	
Interfacing	Euromap 67 - 12(optional)	
Weight of manipulator (kg)	220	240
Weight of electrical panel (kg)	98	
* Including pickup device and depending on application, speeds and accelerations		
Technical data are not binding and are subject to modification without notice		

Şekil 2.3 Sytrama S7 robot teknik özellikleri [7]

Bu tablodaki referans sistemi ile Şekil 1.2 de verilen eksen isimleri karşılaştırıldığında, Y ve Z eksen isimlerinin ters olduğuna dikkat edilmelidir.

Tabloda yazan özellikler ve en altta verilen açıklamalar incelendiğinde, hızların faydalı yüke göre değişkenlik göstereceğinin belirtildiği görülebilir. Buradan yola çıkarak maksimum faydalı yük için bu hızlara ulaşamayacağı sonucu çıkartılabilir.

Yine diğer robot üreticilerinin hız bilgisi paylaşmama sebebi de budur. Firmalar ürünlerini müşteri ve uygulama odaklı optimize ederek en yüksek performansı almayı hedeflediklerinden direkt olarak sabit bir hız değeri paylaşmaktan sakınılmaktadırlar.

2.3 Geleceğin Robotları

Geleceğin robotları denildiğinde kuşkusuz limitimiz sadece hayal gücümüz olmaktadır. Her geçen gün üstel bir şekilde hızla gelişen teknoloji sayesinde; Hem mekanik olarak yeni ve daha üstün malzeme tiplerinin üretilmesi, hem üretim yöntemlerinin gelişmesi, hem de kontrol tarafında yaşanan donanımsal ve yazılımsal yenilikler daha yetenekli robotlar tasarlanmasına imkan vermektedir.

Teknolojinin gelişmesi, 3 Eksen robotlarının mekanik özellikleri açısından şu yönlerden iyileştirilmesine olanak sağlayabilir;

- Üstün mekanik özellikleri olan kompozit malzemeler sayesinde sistemin hafifletilmesi, titreşimlerin azaltılması, daha hızlı ve verimli çalışması.
- Mevcut durumda en çok tercih edilen tahrik yöntemi olan Servo motor yerine lineer servo motor kullanımının yaygınlaşması ile hassasiyeti daha yüksek, az bakım gerektiren ve daha hızlı robotların üretilmesi.
- Üretim yöntemlerinde yaşanacak yeniliklerle üretim kalitesinin yükselmesi. Karmaşık geometrili taşıyıcı elemanların üretimine olanak sağlanması ve buna bağlı mekanik iyileşmeler.

Robotların insan hayatında olma sebebi mevcut bir ihtiyacı karşılamaktır. Gün geçtikçe gelişen teknolojinin yanında endüstrinin ihtiyaçları da değişmekte ve robot üreticileri bu yeni ihtiyaçlara yönelik yeni sistemler tasarlamak zorundadır.

Hepimizin bildiği gibi robot denildiğinde akla gelen ilk sistem insansı robotlardır. Günümüzde birbiriyle yarış halinde olan birçok kuruluş daha iyi mekanik ve yazılım özelliklerine sahip insansı robot üretme çalışmaları yapmaktadır. Endüstriyel anlamda düşünüldüğünde insansı robotların fabrika ortamlarında çalışması bilim kurgu sahnesi gibi görünse de, yakın gelecekte mümkün olmaması için bir sebep de görünmemektedir.

Robot sistemleri programlanabilir oldukları için standart tek iş yapan makinalardan daha üstündürler. Bu sebeple yapay zekaya sahip, bir insan formunda ve bir insanın çalışabileceğinden çok daha verimli çalışan robotlar, iş gücünün insanların elinden robotların eline geçmesine kolaylıkla olanak sağlayacaktır.

ÜÇ EKSEN KARTEZYEN ROBOT - TASARIM ALTERNATİFLERİ**3.1 Çalışmada Kullanılacak Örnek Robot Parametreleri**

3 eksen robot tasarımında, robotu oluşturan alt komponentler bir bütün halinde değerlendirilmeli ve robotun tasarlanış amacına en uygun ekipmanlar, tasarımın bütün öğeleri birlikte değerlendirilerek seçilmelidir.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında üzerinde çalışılacak robot, özellikle plastik enjeksiyon fabrikalarında otomasyon projeleri için kullanılan robotlar arasından en çok tercih edilen robot özellikleri dikkate alınarak şu şekilde seçilmiştir;

Çizelge 3.1 Örnek robot parametreleri

	Eksen Strokları (mm)	Eksen Hızı (m/sn)	Eksen İvmesi (m/s ²)	Taşıma Kapasitesi (kg)	Tahrik Yöntemi
Y Eksen	2000	3	10	5	Servo Motor
X Eksen	500	2	10		Servo Motor
Z Eksen	1000	3	15		Servo Motor

3.2 Tahrik Elemanları

3.2.1 Servo Motorlar

Servo her hangi bir mekanizmanın işleyişini hatayı algılayarak yan bir geri besleme düzeneğinin yardımı ile denetleyen ve hatayı gideren otomatik bir cihazdır. Robot teknolojisinde en çok kullanılan motor çeşididir. Servo motorlar; çıkış, mekaniksel konum, hız veya ivme gibi parametrelerin kontrol edildiği, özetle hareket kontrolü yapılan bir düzendir. Genellikle güç sağlayan motorlar belirli bir hızla dönmeye göre tasarlanırken servo motorlar çok geniş bir hız komutunu yerine getirecek şekilde tasarlanır [8].

Servo motorlar alternatif akım ve doğru akım servo motorları olmak üzere ikiye ayrılır.

Günümüzde endüstriyel uygulamaların hemen hemen hepsinde alternatif akım servo motorlar kullanılmaktadır, tercih sebepleri doğru akım servo motorlarla kıyaslamalı olarak incelendiğinde aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- AA motorların DA motorlara göre dinamik performansı daha yüksektir.
- AA motorlar yük altında dinamik karakteristiklerini değiştirmezler.
- AA motorların sürücüleri DA motorlara göre görece daha pahalıdır, fakat kullanım kolaylığı daha yüksektir.
- AA motorlar fırçasız yapılarından dolayı daha az bakım gerektirir.
- AA motorlar DA motorlara göre daha kararlı çalışır.
- AA motorlar DA motorlara göre çok daha az manyetik gürültü oluşturur.

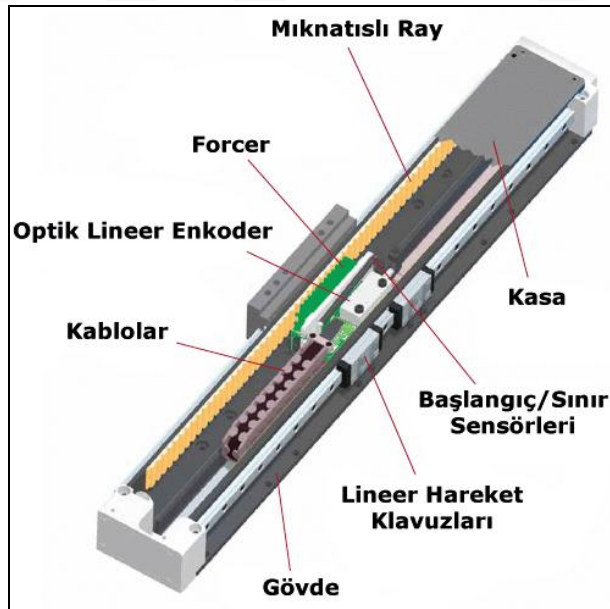
3.2.2 Lineer Servo Motorlar

Bir lineer motor, tasarım mantığı olarak, bilinen bir döner servo motoru alıp açarak elde edilir. Lineer motorlarda rotor “forcer” ve stator da mıknatıslardan oluşan ray olur. Bu tasarımda yük doğrudan motora bağlıdır. Lineer hareket herhangi bir doğrusal hareketi lineer harekete çeviren mekanizma kullanılmadan sağlanmaktadır. Lineer motor teknolojisi step motor ve fırçalı lineer motorlar olarak uzun zamandır

kullanılmaktadır. Fırçasız teknoloji ise, sabit mıknatısların niteliklerinin iyileştirilmesi ile giderek yaygınlaşmaktadır.

“Forcer” tel bobinlerden oluşur ve bir epoksi matris içine yerleştirilmiştir ve ray ise çelikten imal edilmiştir ve üzerine nadir bulunan sabit mıknatıslar yerleştirilmiştir. Motorun forcer elemanı sargılardan, halleffect paneli, direnç ve elektrik bağlantılardan oluşur. Döner motorlarda rotor ve stator arasında rotoru desteklemek ve aralarındaki hava boşluğunu sabit tutmak için yataklama yapmak gerekir. Aynı şekilde lineer motorlarda da lineer kılavuz yatakları forcer mıknatıslı raydaki manyetik alan içinde tutmak için gereklidir. Aynı zamanda döner motorlarda şaftın konumunu geri besleme yapan enkoderlar bulunur. Lineer motorlarda da piyasadaki çok farklı tipte lineer enkoderlardan biri kullanılabilir. Döner motorlardan farklı olarak lineer motorlarda konum direk yükten ölçüldüğünden bu konum ölçümünün doğruluğunu artırır [9].

Bilinen standart servo motorlara göre daha hızlı çalışmasına karşın kontrolü ve mekanik montajı daha zordur, henüz çok yaygınlaşmamış olması sebebi ile maliyetleri yüksektir. Bu sebeple özel uygulamalar harici, standart endüstriyel uygulamalarda çok tercih edilmemektedir.



Şekil 3.1 Lineer servo motorun yapısı [9]

3.2.3 Step Motorlar

Step motorlara adım motorları da denilmektedir. Adım motorlarının tanımını yapacak olursak; Girişlerine uygulanan darbe sinyallerine karşılık olarak analog dönme hareketi yapan yani açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen, fırçasız, sabit mıknatıs kutuplu DC motorlardır şeklinde açıklayabiliriz. Sabit mıknatıs kutuplar motorun hareketli kısmında yer alır. DA gerilimin uygulandığı sargıların bulunduğu kısım “stator”, dönen kısım ise “rotor” olarak isimlendirilir [10].

Endüstriyel robot uygulamalarında aşağıda belirtilen dezavantajlarından dolayı çok tercih edilmezler;

- Step motorların adım açıları sabit olduğundan hareketleri sürekli değil darbelidir.
- Çok yüksek hızlarda kolaylıkla kontrol edilemezler.
- Sürtünme kaynaklı yükler, açık döngülü kontrolde konum hatası meydana getirirler.
- Step motorlar, Servo motorlara göre daha karmaşık sürücü devrelerine ihtiyaç duyabilirler.
- Yüksek eylemsizlikli yüklerde yetenekleri sınırlıdır.

3.2.4 Pnömatik-Hidrolik Aktüatörler

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, açısal 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. Hidrolik ve pnömatik sistemler genelde benzer olmakla birlikte, sistemlerde kullanılan elemanlar ve çalışma prensibi açısından farklılıklar vardır [11].

Hem kontrol hassasiyetlerinin düşük olması, görece yavaş olmaları, hem de sıvı veya gaz akışkanla çalışmasına bağlı olarak pompa, tank, kontrol valfleri, güvenlik valfleri..vb gibi elemanlara gereksinim duyması sebebiyle endüstriyel tip robotlarda ana tahrik elemanı olarak kullanımı çok azdır. Düşük maliyet amaçlanan basit işleri yerine getirebilecek sistemlerde tercih edilebilirliği daha fazladır.

3.2.5 Tahrik Yöntemlerinin Kıyaslanması ve Motor Seçimi

Genel olarak tahrik yöntemleri hakkında verilen bilgiler değerlendirildiğinde ve piyasa koşulları dikkate alındığında, 3 eksen Kartezyen robot tahrik elemanı olarak en uygun sistemin AC servo motorlar olduğu sonucuna varılmıştır.

AA fırçasız servo motorlar piyasada endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan motor tipidir. Kullanımın yaygın olması maliyetlerin daha düşük olması, kolay ulaşılabilirlik, yüksek know-how, kolay yedek parça tedariki gibi konularda avantaj sağlamasının yanı sıra, tasarlanacak olan robotun dinamik karakteristiğine de en uygun olan motor tipidir.

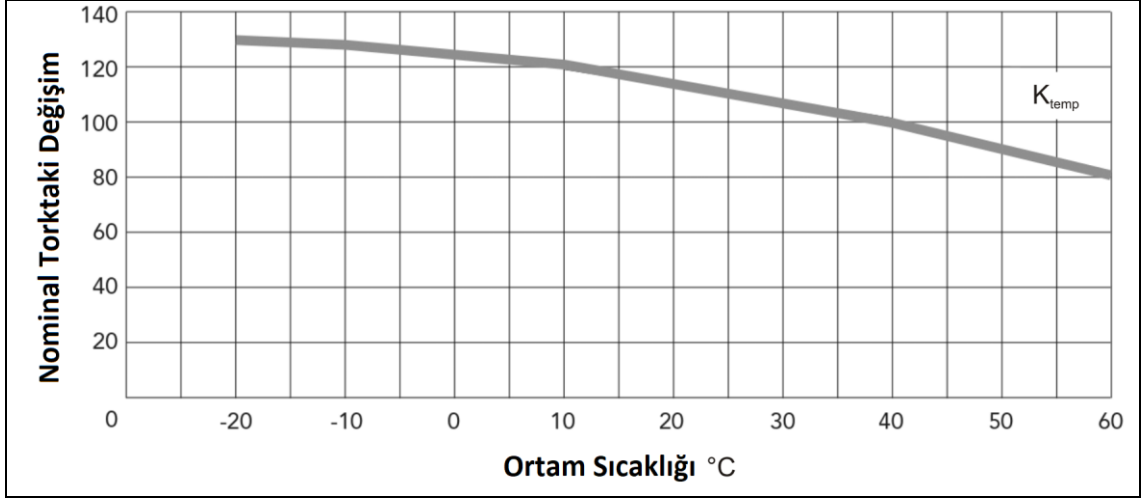
Proje kapsamında kullanılacak motorlar, KEBA firmasının ürettiği, AA fırçasız senkron servo motorlardan seçilmiştir. Motorların katalog değerleri EK-A de verilmiştir.

Servo motor hesapları sırasında dikkat edilmesi gereken bir diğer konu ise servo motor performanslarının ortam sıcaklığına ve deniz seviyesinden yüksekliğe göre değişmesidir. (Şekil 3.2) ve (Şekil 3.3) de verilen grafikler incelendiğinde KEBA markasının motorlarının bu etkilere göre değişimleri görülebilir.

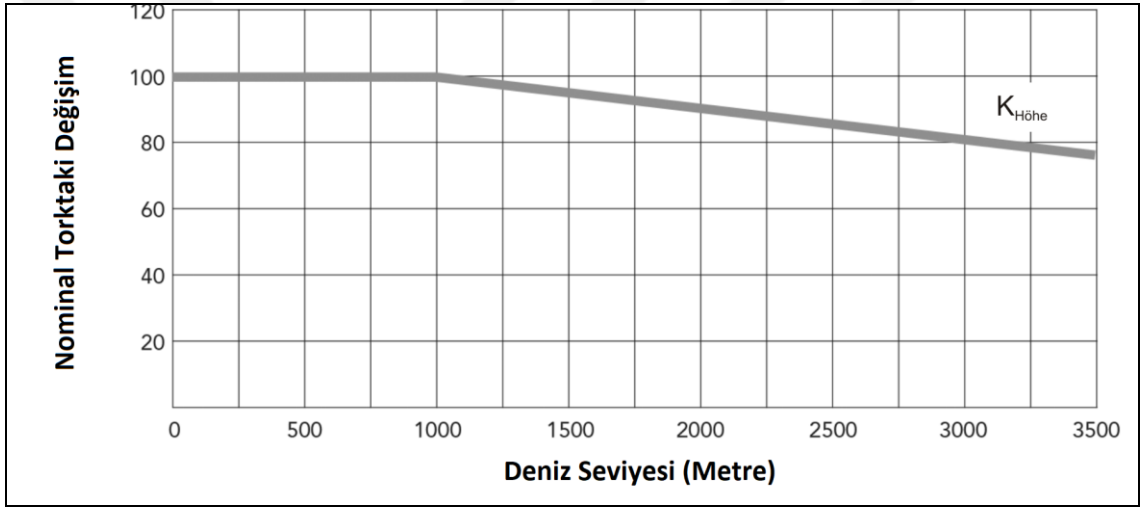
Buna göre 40°C ortam sıcaklığına kadar servo motor %100 verimin altına düşmemektedir. %90 verimle çalıştığı nokta ise 50°C dir.

Rakım açısından incelendiğinde ise, 1000 metre rakıma kadar %100 performans gösterebildiği, 2000 metrede ise %90 performansa düştüğü görülmektedir.

Hesaplanan tork gereksinimi ve seçilen motor tork değerleri kıyaslandığında, uç koşullar dışında çalışma performansını etkileyecek bir durum olmadığı görülmüştür. Tasarımın uç koşullara göre yapılması durumunda bu grafikler dikkate alınmalıdır.



Şekil 3.2 Servo motor performansının ortam sıcaklığına bağlı değişimi [12]



Şekil 3.3 Servo motor performansının rakıma bağlı değişimi [12]

3.3 Redüktörler

Redüktörler dairesel hareketi aktarırken, aktarılan güç ve hız değerleri üzerinde birbiri ile ters orantılı olacak şekilde, oynamamızı sağlayan sistem elemanlarıdır. Bir çok farklı tip redüktör olmasının yanında, pozisyon kontrollü servo sistemlerinde en uygun olan tip boşluksuz ismiyle tabir edilen planet redüktörlerdir.

Hareketin sadece tek yönlü olduğu durumlarda, dişler sürekli bir yöne doğru temas halinde olacağından redüktör dişleri arasındaki boşlukların çok önemi bulunmamaktadır, fakat robot sistemleri gibi hassas hareket etmesi gereken ve

hareketin devamlı olarak negatif yönlerde değiştiği sistemlerde, pozisyon hassasiyetini yakalayabilmek adına planet redüktör kullanılması zaruriyettir [13].

Redüktörsüz motor kullanım, her ne kadar teorik olarak mümkün olsa da, pratikte efektif değildir. Redüktörler servo miline gelen ataleti çevrim oranlarının karesi oranlarında azaltırlar. Buna ek olarak redüktörler sayesinde daha küçük motor seçmek mümkün olmakta ve toplam maliyet azaltılmaktadır.

Muhtemel redüktör tipleri incelendiğinde boşluksuz veya çok az boşluklu redüktör kullanma zorunluluğu, piyasada bütün 3 eksen robotlarda kullanılan, NASA tarafından uzay araştırmaları için keşfedilmiş olan harmonic drive redüktörleri de gündeme getirmektedir. Bu tip redüktörler çok küçük boyutta çok yüksek çevrim oranlarına ulaşabilirler. Teorik ve pratikte sıfır boşlukludurlar. En dış yüzeyde sabit bir iç çember dişli, bunun içerisinde elastik dış dişli ve en iç kısımda dalga üretici bulunur. Sıfır boşluklu ve kompakt olmalarına karşın maliyetleri oldukça yüksektir, bu sebeple 3 eksen Kartezyen robotlarda kullanım alanı yoktur.



Şekil 3.4 Harmonik drive ve planet redüktör yapısı [14]

Planet redüktörler ise hem kabul edilebilir seviyedeki düşük boşlukları hem de maliyet açısından avantajlı ve kompakt yapıları sebebi ile, 3 eksen robot teknolojisinde en çok kullanılan redüktör tipidir. Bu redüktör tipinde en dışta iç çember dişli bulunur, ve orta göbekte çıkış mili ile çakışık başka bir dişli vardır. Bu iki dişlinin arasında çalışan küçük dişliler, orta göbek etrafında döndüklerinden planet olarak adlandırılırlar ve redüktör ismini buradan alır. Bu 3 dişli grubunun diş sayıları arasında yapılacak değişiklikler ile redüktör çevrim oranı belirlenir. Gücü aktaran dişlilerin sayısının artırılması dayanımı

artıracaktır. Bu planet birbirlerine gelen ekstra yükleri dengelemek amacı ile 360 dereceye eşit olarak dağıtılmışlardır.

Bu proje kapsamında kullanılacak redüktörler, NEUGART firmasının ürettiği planet redüktörlerden seçilmiştir. Redüktörlerin katalog değerleri EK-B de verilmiştir.

3.4 Güç İletim Mekanizmaları

Güç iletim mekanizmaları, tahrik sisteminin ürettiği hareketin tasarlanan makine üzerinde aktarılması işini üstlenirler. 3 Eksen robot tasarımları incelendiğinde genel olarak kullanılan yöntemler, aşağıdaki gibi incelenmiştir.

3.4.1 Dişli Kayış Kasnak Mekanizması

Elastik Hız-Moment dönüşüm mekanizmalarındandır. Hem kuvvet hem de şekil bağlı türevleri mevcuttur. Genellikle kullanılan kayışın kesitine göre isimlendirilirler. Dişli kayış ile dönel hareketi doğrusal harekete dönüştürmek için kullanılır. Raylar üzerinde yataklanmış bir araba kayış ile tahrik edilir ve bu sayede lineer hareket elde edilmiş olur[15].

Yüksek hız ve pozisyon hassasiyeti gerektiren 3 eksen robot gibi uygulamalarda en çok kullanılan güç iletim mekanizmalarından birisi şekil bağlı dişli kayıştır (zaman kayışı).

Bu sistemin avantajı aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Hafif ve ucuzdurlar, imalatları kolaydır.
- Uzun eksenler arası mesafe için uygun çözüm oluştururlar.
- 100 m/s çevre hızlarına kadar kullanılabilirler.
- Yağlama gerekmediği için açıkta çalışabilirler.
- Elastik kayış nedeni ile acil durumlarda bir emniyet kavraması işlevi görürler.
- Yağ dışında çevre şartlarından etkilenmezler.

Dişli çarklara göre verimleri daha düşük olmasının rağmen, sağladığı bu avantajlar ve özellikle 3 eksen robotlardaki gibi uzun stroklarda çalışmak için idea yapıdadırlar.

3.4.2 Kramayer Pinyon Mekanizması

Dairesel hareketin doğrusal harekete çevrilmesinde kullanılan sistemlerdir. Düz bir yüzeye açılan dişler sayesinde, dönebilen pinyon dişlisinin hareketini tek yönde ilerlemeye çevirir. Düz ve helis olmak üzere iki çeşit Kramayer imalatı yapılmaktadır. Kullanım yeri ve çalışma şartlarına bağlı olarak farklı malzemelerden imal edilebilmektedir. Sessiz, yağlama ihtiyacı olmayan yüksek yük kaldırmayan sistemlerde plastik malzemelerden üretilen Kramayer kullanılabilmektedir [16].

Robot teknolojisi üzerinden incelenecek olursa plastik kramayerler; hafiflik, ekonomiklik, yağlama ihtiyacının olmaması, sessiz çalışması ve korozyona veya paslanmaya maruz kalmaması gibi yönleri ile ön plana çıkmaktadır. Ancak çalışma koşulları düştüğünde plastik kramayerler sürtünme sonucu çok fazla partikül saçmaktadır, ek olarak sürekli çalışmalarda maruz kalınan ısıl değişimler sebebiyle deformasyona uğrayabilir ve çalışma hassasiyetinin bozulmasına sebebiyet verebilirler.

3 eksen robot teknolojisinde genel olarak kullanım oranları incelendiğinde, helisel kramayer pinyon kullanımı zaman kayışlarından hemen sonra gelmektedir. Robot tipleri ile kıyas edildiğinde, kramayerler daha çok ağır yük taşıyan ve görece daha yavaş çalışan robotlarda tercih edilmektedir. Zaman kayışlarına göre daha sesli çalışırlar ve periyodik olarak yağlanmaya ihtiyaç duyarlar, aynı zamanda kayış kasnak mekanizmalarına oranla daha ağırdırlar.

3.4.3 Bilyeli Vidalı Mil Mekanizması

Vidalı mil, bilye yataklı bir somunun vida dişleri açılmış bir mil üzerindeki sistem sayesinde dönme hareketini doğrusal harekete çeviren makine elemanıdır. Bu hareket esnasında sürtünmenin azaltılabilmesi amacı ile somun ile mil arasında yer alan boşlukta yataklanan bilyeler mevcuttur. Düşük sürtünme özelliği sayesinde yüksek mekanik verim elde edilir.

Vidalı miller yüksek hassasiyette çalışan, uzun ömürlü ve düşük kirlilik üreten makine elemanlarıdır. Spesifik özellikleri sayesinde hassas pozisyonlama ve makine sanayindeki hassas ölçüm sistemlerinde önemli bir yere sahiptir.

3 eksen robot teknolojisi açısından incelendiğinde, çok kısa eksenler harici kullanımı yoktur. Ağır olması, uzun eksenlerde vidalı milin ek yataklarla desteklenme zorunluluğu, pahalı bir çözüm olması, tercih edilmeme sebeplerinden bazılarıdır.

3.4.4 Güç İletim Yöntemlerinin Kıyaslanması ve Öneriler

3 Eksen robot sistem gereksinimlerinin en önemlilerinden biri olan yüksek hız ve hassasiyete sahip olması, bilyeli vidalı ve kramayerli mekanizmalara göre daha ucuz olması, yağlama gerektirmemesi, robot kullanım alanlarına ekstra partikül saçmaması ve uzun eksenler arası aktarımda en uygun çözüm olması sebebi ile proje kapsamında tasarımı yapılacak 3 eksen robot için en uygun elemanın dişli kayış kasnak mekanizması olduğu sonucuna varılmıştır.

Aşağıda oluşturan tabloda karşılaştırmalı olarak bu sistemlerin birbirine olan üstünlükleri görülebilir.

Proje kapsamında kullanılacak kayışlar, HABASIT firmasının ürettiği, dişli zaman kayışlarından seçilmiştir. Seçilen kayış tipi katalog değerleri EK-C de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Güç iletim sistemlerinin kıyaslanması

	Düşük Maliyet	Düşük Ağırlık	Gürültüsüz Çalışma	Maksimum Hız	Darbe Sönümleme	Bakım Kolaylığı	Montaj Kolaylığı
Dişli Kayış Kasnak	5	5	4	5	5	5	4
Helisel Kramayer Pinyon	4	3	3	2	0	3	5
Bilyeli Vidalı Mil	3	4	5	1	0	2	3

Puanlama 1 den 5'e akdar, 5 çok iyi olacak şekilde yapılmıştır.

Tabloda verilen değerler, güç aktarım sistemlerinin bilinen mekanik özellikleri ve piyasa tecrübesine dayanarak verilmiştir, bu özellikler tek tek incelenecek olursa;

- **Düşük Maliyet;** Kayışlar üretim yöntemlerinin daha basit ve hızlı olması, ağırlıklı plastik malzeme kullanılması, sertleştirme, gerilim alma gibi ek işlemlere gereksinim duymaması, daha yaygın kullanılması ve bu sebeple daha yüksek hacimlerde üretilmesi sebebiyle maliyet açısından kramayer ve bilyeli vidalı mile göre daha uygun fiyatlıdır.
- **Düşük Ağırlık;** Her ne kadar bazı özel durumlarda plastik kramayer kullanımı yaygınlaşmaya başlasa da genel olarak kramayerler ve pinyonlar çelik malzemedan üretilirler ve monte edildikleri sistemde kramayerin de hareket etmesi gerekmektedir. Bu durum motora ek yük bindirilmesi demektir. Vidalı miller de yine çelik malzemedan üretilmesine karşın vidalı mil eksenle birlikte hareket etmez, bu durum hareket verdiği eksene ekstra yük bindirmemesi anlamına gelse de kendinden bir sonraki eksen bütün yükü yine taşıyacağı için ağırlık açısından avantajlı değildir. Kayış kasnak mekanizmalarında ise kayışlar çelik telli aramid malzemedan üretilir, birim ağırlıkları diğer mekanizmalara kıyasla çok düşüktür ve dişli kasnaklar alüminyum malzemedan üretilir.
- **Gürültüsüz Çalışma;** Kayış sistemleri teorik olarak, özellikle sessiz çalışma için geliştirilmiş profilli kayışlar kullanılıyorsa, çok düşük gürültüde çalışabilirler. Ancak pratikte mükemmel işleme hassasiyetinin yakalanmasının masraflı olması ve özellikle uzun eksenlerde tahrik kasnağı ve karşı kasnağın iyi merkezlenememesi gibi sorunlarda dolayı bir miktar gürültü oluşmaktadır. Vidalı mil sistemleri bilye yapısı sebebi küresel temas yüzeyi ve yağlı çalışan sistem olması sebebi ile ses bakımından kayış kasnaktan üstündür. Kramayer sisteminde ise, helisel kramayer kullanımı düz dişli kramayer kullanımına göre sesi azaltmaktadır, fakat her halükarda metal metal darbeleri çalışma olması sebebi ile kayışlı ve vidalı mil sistemlerine göre daha gürültülü çalışmaktadır.
- **Maksimum Hız;** Kramayerler için maksimum hızlar genel olarak 20m/s nin altındadır, kayış kasnak için ise bu değer 100m/sn ye kadar çıkabilir, vidalı miller için ise kesin olarak bir rakamsal değer olmamasına karşın gelen olarak 1m/sn nin altında hızlarda çalışırlar [17][18].

- Darbe Sönümleme; Kayış kasnak mekanizmaları kayış elastisitesi sebebiyle ani şoklarda emniyet kavraması görevi görürler [18]. Kramayer ve vidalı mil mekanizmalarının ise direkt temas yüzeyleri sebebiyle darbe sönümeleyici özellikleri yoktur.
- Bakım Kolaylığı; Dişli kayış sistemleri yağsız çalışırlar, belirli bir seviyeye kadar tozlu ortamlardan da etkilenmezler, kramaye ve bilyeli vida sistemleri ise ya düzenli olarak yağlanmalı ya da otomatik yağlama sistemleri ile donatılmalıdır. İki durumda da bakım için ayrılan ekstra zaman ve maliyet demektir.
- Montaj Kolaylığı; Kramayerler önceden delinmiş merkezleme pimleri sayesinde yerine takılıp düzlüğü sağlandıktan sonra pinyon mesafesinin ayarlanması vasıtası ile montajı tamamlanır. Dişli kayış mekanizmalarında ise bu işlem biraz daha zordur, hem tahrik kasnağı, hem karşı kasnak (ve varsa ekstra gerdirme kasnağı) ve hareketli ekleme bağlantı noktasının eksenlerinin hassas bir şekilde merkezlenmesi gereklidir. Merkezlenmesi gereken noktaların birden fazla olması işlemi zorlaştırmaktadır. Bu işlemin sağlıklı yapılabilmesi için bu noktalarda ayar mekanizmaları olması ve yüzeylerin düzgün işlendiğinden emin olunması gerekmektedir. Vidalı mil mekanizmalarında ise, özellikle uzun mesafelerde vida ekseninin hareket eksenine paralel olunmasından emin olunmalıdır. Ek olarak uzun mesafelerde oluşabilecek sehimden dolayı vidalı mile ek yatak koyma zorunluluğu doğabilir.

3.5 Tahrik ve Güç Aktarım Organlarının Hesaplanması

Servo motor, redüktör ve kasnak çapları birbirine bağlı değerlerdir. Her bir birim kendi içinde üretiminden ve karakteristiğinden kaynaklı çalışma sınırlarına sahiptir. Bu sebeple bu elemanların hesaplanması sırasında bir bütün olarak düşünülmeli ve sistemin istenen çalışma değerlerinin yakalayabilmesi için gerekli en optimum kombinasyon bulunmalıdır.

Çalışma kapsamında motor hesapları yapılırken OMRON firmasının servo motor hesap yöntemleri kullanılmıştır [19].

Bu seçimler yapılırken yol gösterici olması açısından aşağıdaki adımlar izlenebilir:

- Sistemin en maliyetli elemanı olan servo motor olabildiğince küçük seçilmeye çalışılmalıdır.
- Redüktör çevrim oranı seçilirken, redüktörlerin çevrim oranlarına göre karşılayabildikleri maksimum torkların ve dönüş devirlerinin lineer olarak değişmediği göz önünde bulunmalı ve hesaplanan çevrim oranını yakalamak için kasnak çapının değiştirilmesi yoluna gidilmelidir.
- Kasnak çapının küçülmesi, motor miline indirgenen ataleti düşüreceğinden mümkün olduğunca küçük kasnak kullanılmalıdır. Bu konu irdelenirken kayışların minimum dönme çapları da hesaba katılmalıdır.
- Düşeyde çalışan hareketlerde, şayet yük fazla ise, yüksek çevrimli redüktör seçerek aşağı yönlü hareketlerde redüktör iç ataletinin yerçekimine karşı denge olarak kullanılmasında işe yarayacağı unutulmamalıdır.

3.5.1 Y Eksen Servo Motor, Redüktör ve Kayış Hesabı

Gerekli maksimum servo motor torku;

$$T_1 = T_A + T_L (Nm) \quad (3.1)$$

T_A = İvmelenme / yavaşlama torku.

T_L = Motor miline indirgenmiş moment.

$$T_A = \frac{2\pi N}{60t_A} \left(J_M + \frac{J_L}{\eta} \right) (Nm) \quad (3.2)$$

Burada;

N = Motor mili devir sayısı (d/d).

t_A = İvmelenme-yavaşlama zamanı (sn).

J_M = Motor iç ataleti (kgm^2). Motor katalog değerinden alınmıştır. (EK-A)

J_L = Motor miline indirgenmiş toplam atalet (kgm^2).

η = Redüktör verimi. (EK-B)

$$J_L = J_w G^2 (kgm^2) \quad (3.3)$$

$$J_w = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 \quad (3.4)$$

$$J_w = \left(\frac{M_1 D_1^2}{8} + \frac{M_2 D_2^2}{8} \cdot \frac{D_1^2}{D_2^2} + \frac{M_3 D_1^2}{4} + \frac{M_4 D_1^2}{4} \right) 10^{-6} (kgm^2) \quad (3.5)$$

J_w = Redüktör miline indirgenmiş toplam atalet (kgm^2).

G = Redüktör çevrim oranı.

J_1 = Tahrik kasnağı ataleti (kgm^2).

J_2 = Avare kasnak ataleti (kgm^2).

J_3 = Taşınan yükten kaynaklanan atalet (kgm^2).

J_4 = Kayıştan kaynaklanan atalet (kgm^2).

M_1 = Tahrik kasnağı ağırlığı (kg).

M_2 = Avare kasnak ağırlığı (kg).

M_3 = Toplam yük (kg).

M_4 = Kayış ağırlığı (kg).

D_1 = Tahrik kasnağı çapı = 61,8mm olarak seçilmiştir.

D_2 = Avare kasnak çapı= 61,8mm olarak seçilmiştir.

Bu durumda;

$$J_w = \left(\frac{1 \cdot (61,8)^2}{8} + \frac{1 \cdot (61,8)^2}{8} \cdot \frac{(61,8)^2}{(61,8)^2} + \frac{85 \cdot (61,8)^2}{4} + \frac{0,5 \cdot (61,8)^2}{4} \right) 10^{-6} (kgm^2) \quad (3.6)$$

$$J_w = 0,081 (kgm^2) \quad (3.7)$$

Bu değeri formül (3.3) te yerine koyarsak;

$$J_L = 0,081 \cdot \left\{ \frac{1}{5} \right\}^2 (kgm^2) \quad (3.8)$$

$$J_L = 0,0325 (kgm^2) \quad (3.9)$$

Bu durumda;

$$T_A = \frac{2.3,14.4637}{60.0,3} \left(0,000082 + \frac{0,00325}{0,975} \right) (Nm) \quad (3.10)$$

$$T_A = 5,75(Nm) \quad (3.11)$$

Motor miline indirgenmiş momenti hesaplayacak olursak;

$$T_L = T_w \frac{G}{\eta} (Nm) \quad (3.12)$$

$$T_w = F \frac{D}{2} 10^{-3} (Nm) \quad (3.13)$$

$$F = mgf_r (N) \quad (3.14)$$

T_w = Kayış kasnak mekanizması için kasnak üzerinde oluşan moment.

G = Redüktör çevrim oranı, (1/5)

η = Redüktör verimi. (EK-B)

F = Yükten kaynaklı kayışa etkiyen kuvvet (N).

D = Tahrik kasnağı çapı (mm).

m = Motorun taşıdığı toplam ağırlık (kg).

g = Yerçekimi ivmesi (m/s^2).

f_r = Motorun taşıdığı ağırlık ve ray arasındaki sürtünme katsayısı.

Formül (3.14) den F kuvveti hesaplanacak olursa;

$$F = 85.9,81.0,003(N) \quad (3.15)$$

$$F = 2,5(N) \quad (3.16)$$

Formül (3.13) de bu değer yerine konursa;

$$T_w = 2,5 \cdot \frac{61,8}{2} \cdot 10^{-3} (Nm) \quad (3.17)$$

$$T_w = 0,077(Nm) \quad (3.18)$$

Bu değer formül (3.12) de yerine konursa;

$$T_L = 0,077 \cdot \frac{(1/5)}{0,975} (Nm) \quad (3.19)$$

$$T_L = 0,0157 (Nm) \quad (3.20)$$

Formül (3.11) ve (3.20) te bulunan değerler, (3.1) de yerine konursa, maksimum tork ihtiyacı;

$$T_1 = 5,75 + 0,0157 (Nm) \quad (3.21)$$

$$T_1 \approx 5,76 (Nm) \quad (3.22)$$

Olarak hesaplanmış olur.

Efektif Tork;

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{T_1^2 t_1 + T_2^2 t_2 + T_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} (Nm) \quad (3.23)$$

$$T_2 = T_L = 0,015 (Nm) \quad (3.24)$$

$$T_3 = T_L - T_A \quad (3.25)$$

$$T_3 = 0,0157 - 5,76 = -5,74 (Nm) \quad (3.26)$$

$$t_1 = t_3 = t_A = 0,3 (sn) \quad (3.27)$$

t_2 = Sabit hızda hareket zamanı (sn).

t_4 = Tam çevrim de bekleme zamanı (sn), 3 sn olarak kabul edilmiştir.

T_1 = Maksimum tork (Nm).

t_2 süresi, Y eksenin tam eksen uzunluğu hareketinden ivmelenme ve yavaşlama zamanları çıkarılarak hesaplanabilir.

Eksen hızı: $V_y = 3$ m/sn ve eksen uzunluğu $S_y = 2$ m (Çizelge 3.1)

Bu durumda eksenin bir ucundan bir ucuna hareket süresi t_t ;

$$t_t = t_1 + t_3 + \frac{(L_y - V_y t_a)}{V_y} = t_1 + t_3 + t_2 (sn) \quad (3.28)$$

$$t_t = 0,3 + 0,3 + \frac{(2 - 3 \cdot 0,3)}{3} = 0,96 (sn) \quad (3.29)$$

Formül (3.28) den t_2 çekilirse;

$$t_2 = 0,96 - 0,3 - 0,3 = 0,36(sn) \quad (3.30)$$

Olarak bulunur.

Bu değerler formül (3.23) de yerine konursa, efektif tork aşağıdaki şekilde bulunur;

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{5,76^2 \cdot 0,3 + 0,015^2 \cdot 0,36 + 5,74^2 \cdot 0,3}{0,3 + 0,3 + 0,36 + 3}} = \sqrt{\frac{19,83}{3,96}} (Nm) \quad (3.31)$$

$$T_{rms} = 3,18(Nm) \quad (3.32)$$

Hesaplanan efektif tork, maksimum tork ve devir sayısı özellikleri göz önüne alınarak motor seçimi yapılmıştır.

Seçilen Motor: KEBA DSM2 70 - 0024 - 60 (EK-A)

Motor maksimum tork= 8,5 Nm > $T_1=5,76$ Nm

Motor nominal tork= 2,4 Nm > $T_{rms}=2,22$ Nm

Motor maksimum devir sayısı = 6000 d/d > $N=4637$ d/d (Gerekli motor devir sayısı)

Servo Motor Atalet Kontrolü:

Servo motor seçimi yapılırken aynı zamanda servo motorların karşılayabildikleri ataletin sistem toplam ateleti ile kıyaslaması yapılması gerekmektedir.

Motor katalog değerlerin bu konu ile alakalı bilgi bulunmamakla beraber, KEBA Türkiye ofisi ile yapılan görüşmeler sonucu ve geçmiş tecrübelerden yararlanılarak motor ataletinin sistem ataletine oranı hakkında şu şekilde bir bağıntı olduğu saptanmıştır. Sistemin optimum çalışma şartları, sistem ataletinin motor ataletinden 5 ila 20 kat büyük olduğu durumlardır. Daha üstü oranlarda, servo motor ısınması hızlanacak ve ısı birikimi sonucu performansta kayıplarla karşılaşılacaktır. Ek olarak kullanılan redüktör çevrim oranı, servo motor ataletini karesi oranında arttırdığı unutulmamalıdır.

Motor katalog değerlerinden incelendiğinde seçilen servo motor için atalet değerinin $J_M=0,000082$ (kgm^2) olduğu görülebilir.

Y eksen için redüktör miline indirgenen toplam atalet momenti formül (3.7) de $J_W=0,081$ (kgm^2) olarak bulunmuştu.

Bu durumda motorun normal şartlarda hesaplanan çalışabileceği atalet aralığı;

$$J_{MAr} = \frac{J_M \cdot 5}{G^2} \sim \frac{J_M \cdot 20}{G^2} = 0,000082 \cdot 5 \cdot 25 \sim 0,000082 \cdot 5 \cdot 25 = 0,01 \sim 0,04 (\text{kgm}^2) \quad (3.33)$$

Olarak bulunur.

Bu değer incelendiğinde sistem ataletinin yarısı kadar olduğu görülmektedir. Ancak unutulmaması gereken nokta hesaplamalar robotun tam yükte, maksimum hızlarda çalışacağı duruma göre yapılmıştır. Öte yandan servo motorların optimum soğuma süresi, çalıştığı süre kadar durması olarak tanımlanabilir. Bu durumda t_4 bekleme zamanı dikkate alındığında bekleme süresinin 3sn olduğu görülebilir. Eksen uçtan uca hareket süresi ise formül (3.29) dan $t_t=0,96\text{sn}$ dir. Bu süreler motorun soğuması için yeterlidir ve atalet farkından doğan ısı birikimi sorunu ile karşılaşılmayacağının göstergesidir.

X ve Z eksen için de inceleme aynı şekilde yapılabilir, bu incelemede görüleceği üzere, X eksen için çalışma süresi 0,45 sn ve bekleme süresi 1,5 sn; aynı şekilde Z eksen için çalışma süresi 0,53 sn ve bekleme süresi 1 sn dir. Bu eksenler için de motor ısı birikimi söz konusu değildir.

Redüktör Dayanım Hesabı;

Redüktör seçimi yapılırken; redüktör dönüş hızı, maksimum çalışma momenti, boşluk miktarı ve acil stop durumları göz önüne alınmalıdır. Buna ek olarak redüktör miline gelen radyal kuvvetin karşılanabilir sınırlar içerisinde olduğu da kontrol edilmelidir.

Bu durumda Y eksen için redüktör seçim parametreleri;

Redüktör giriş hızı: 4637 d/d

Çevrim oranı: 1/5

Redüktör maksimum giriş momenti= $T_1= 5,76 \text{ Nm}$

Ek olarak redüktör miline gelebilecek maksimum anlık radyal kuvvet şu şekilde saptanabilir:

$$F_{ran} = \frac{2000T_1}{GD_1} = \frac{5 \cdot 2000 \cdot 5,76}{61,8} = 925(N) \quad (3.34)$$

Seçilen redüktör: NEUGART PLPE 90-5 (EK-B)

Bu redüktör için;

Nominal giriş torku= $82/5=16,4$ Nm

Maksimum giriş torku= $131/5= 26,2$ Nm $> T_1=5,76$ Nm

Redüktör mekanik maksimum dönme hızı 7000 d/d > 4637 d/d

Redüktör mili radyal yük dayanımı= 1900 N < 925 N

Görüldüğü üzere bu değerler güvenli çalışma sınırları içerisindedir.

Kayış genişliği seçimi;

Kayış tipi, incelenen profil tipleri arasından AT10 olarak belirlenmiştir. AT10 kayış profili diğer tiplerle kıyaslandığında; Aşınım ve sıcaklık dayanımları yüksek, çok hassas konumlama yapabilen, görece daha sessiz ve titreşimsiz çalışan, geliştirilmiş trapez profili sayesinde daha fazla sürtünme kuvveti oluşturan ve daha yüksek kuvvet aktarabilen kayışlardır.

Proje için kayışlar Habasit firmasının ürünlerinden seçilmiştir. Ürün kataloğu EK-C te verilmiştir.

Kayaşa gelecek yük, tespit edilen maksimum motor momenti üzerinden hesaplanıp doğru kayış genişliği buna göre seçilmelidir. Zaman kayışları bir yöne doğru dönerken dış profilleri kasnağa yaslanır ve yükü tek bir yönlü karşılar, bu sebeple kasnağın üzerine sarılı olan kayışın tek kolu, motor maksimum momentini taşıyabilecek kuvvette olmalıdır.

Maksimum gerekli motor momenti formül (3.22) de $T_1=5,76$ Nm olarak hesaplanmıştı, fakat teorik olarak motor üretebileceği maksimum torku sisteme uygulayabileceğinden, bu hesap için motorun maksimum momenti T_1 olarak kullanılacaktır. Ek olarak, bu değer seçilen redüktör çevrim oranı ile çarpılmalıdır.

$$T_{max}= 8,5 \text{ (Nm)} \quad (3.35)$$

Bu durumda:

$$F_k = \frac{2T_{max} (1/G)}{D_1} (N) \quad (3.36)$$

F_k = Kayışa gelebilecek maksimum kuvvet (N).

$$F_k = \frac{2.8,5.5}{(61,8/1000)} = 1375(N) \quad (3.37)$$

Olarak bulunur.

EK-C deki kayış kataloğu incelendiğinde AT10 kesitli kayışın 25mm genişliğinin 2600N dayanıma sahip olduğu görülebilmektedir. Hesaplamalar hali hazırda sistemin ihtiyacı olandan fazla, motorun maksimum torkuna göre yapıldığı için 25mm kayış seçilmesi uygundur.

3.5.2 X Eksen Servo Motor, Redüktör ve Kayış Hesabı

Y eksen motor hesabı için kullanılan formüller, X eksen için de uygulanacak olursa;

Formül (3.5) den redüktör miline indirgenmiş toplam atalet hesaplanacak olursa;

$$J_w = \left(\frac{0,5.(55,45)^2}{8} + \frac{0,5.(55,45)^2}{8} \cdot \frac{(55,45)^2}{(55,45)^2} + \frac{50.(55,45)^2}{4} + \frac{0,25.(55,45)^2}{4} \right) 10^{-6} (kgm^2) \quad (3.38)$$

$$J_w = 0,04(kgm^2) \quad (3.39)$$

Formül (3.3) te bu değeri yerine koyarsak;

$$J_L = 0,04 \cdot \left\{ \frac{1}{5} \right\}^2 (kgm^2) \quad (3.40)$$

$$J_L = 0,0016(kgm^2) \quad (3.41)$$

Bu durumda formül (3.2) den;

$$T_A = \frac{2.3,14.3446}{60.0,2} \left(0,000063 + \frac{0,0016}{0,975} \right) (Nm) \quad (3.42)$$

$$T_A = 3,31(Nm) \quad (3.43)$$

Olarak bulunmuş olur.

T_L değeri, Y eksen motor hesabı yapılırken de görüldüğü üzere hesaba etki etmeyen çok küçük bir değerdir, bu sebeple sıfır kabul edilebilir.

$$T_L=0 \quad (3.44)$$

Formül (3.43) ve (3.44) te bulunan değerler, (3.1) de yerine konursa, maksimum tork ihtiyacı;

$$T_1 = 3,31(Nm) \quad (3.45)$$

Olarak hesaplanmış olur.

Efektif tork hesabı için formülü bir kez daha hatırlayacak olursak;

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{T_1^2 t_1 + T_2^2 t_2 + T_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} (Nm) \quad (3.46)$$

$$T_2=T_L=0 (Nm) \quad (3.47)$$

$$T_3= T_L-T_A \quad (3.48)$$

$$T_3= 0-3,31=-3,31 (Nm) \quad (3.49)$$

$$t_1=t_3=t_A=0,2 (sn) \quad (3.50)$$

t_4 = Tam çevrim de bekleme zamanı (sn), 1,5 sn olarak kabul edilmiştir.

t_2 süresi, X eksenin tam eksen uzunluğu hareketinden ivmelenme ve yavaşlama zamanları çıkartılarak hesaplanabilir.

Eksen hızı: $V_x=2$ m/sn ve eksen uzunluğu $S_x=0,5$ m (Çizelge 3.1)

Bu durumda eksenin bir ucundan bir ucuna hareket süresi t_t ,formül (3.28) den;

$$t_t = 0,2 + 0,2 + \frac{(0,5 - 2 \cdot 0,2)}{2} = 0,45(sn) \quad (3.51)$$

Formül (3.28) den t_2 çekilirse;

$$t_2 = 0,45 - 0,2 - 0,2 = 0,05(sn) \quad (3.52)$$

Olarak bulunur.

Bu durumda efektif tork;

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{3,31^2 \cdot 0,2 + 0 + 3,31^2 \cdot 0,2}{0,2 + 0,2 + 0,05 + 1,5}} (Nm) \quad (3.53)$$

$$T_{rms} = 1,49(Nm) \quad (3.54)$$

Hesaplanan efektif tork, maksimum tork ve devir sayısı özellikleri göz önüne alınarak motor seçimi yapılmıştır.

Seçilen Motor: KEBA DSM2 70 - 0018 - 60 (EK-A)

Motor maksimum tork= 6,3 Nm > T₁=3,31 Nm

Motor nominal tork= 1,8 Nm > T_{rms}=1,49 Nm

Motor maksimum devir sayısı = 6000 d/d > N=3446 d/d (Gerekli motor devir sayısı)

Redüktör Dayanım Hesabı;

X eksen için redüktör seçim parametreleri;

Redüktör giriş hızı: 3446 d/d

Çevrim oranı: 1/5

Redüktör maksimum giriş momenti= T₁= 3,31 Nm

Ek olarak redüktör miline gelebilecek maksimum anlık radyal kuvvet şu şekilde saptanabilir:

$$F_{ran} = \frac{2000T_1}{GD_1} = \frac{5 \cdot 2000 \cdot 3,31}{55,45} = 597(N) \quad (3.55)$$

Seçilen redüktör: NEUGART PLPE 70-5 (EK-B)

Bu redüktör için;

Nominal giriş torku= 30/5=6 Nm

Maksimum giriş torku= 48/5= 9,6 Nm > T₁=3,31 Nm

Redüktör mekanik maksimum dönme hızı 13000 d/d > 3446 d/d

Redüktör mili radyal yük dayanımı= 1050 N > 597 N

Görüldüğü üzere bu değerler güvenli çalışma sınırları içerisinde

Kayış genişliği seçimi;

Kayış tipi, Y ekseninde seçildiği gibi AT10 olarak belirlenmiştir.

Maksimum gerekli motor momenti formül (3.45) de $T_1=3,31$ Nm olarak hesaplanmıştı, fakat teorik olarak motor üretebileceği maksimum torku sisteme uygulayabileceğinden, bu hesap için motorun maksimum momenti T_1 olarak kullanılacaktır. Ek olarak, bu değer seçilen redüktör çevrim oranı ile çarpılmalıdır.

$$T_{mmax}=6,3 \text{ (Nm)} \quad (3.56)$$

Bu durumda:

$$F_k = \frac{2T_{mmax} (1/G)}{D_1} (N) \quad (3.57)$$

F_k = Kayışa gelebilecek maksimum kuvvet (N).

$$F_k = \frac{2.6,3.5}{(55,45/1000)} = 1136(N) \quad (3.58)$$

Olarak bulunur.

EK-C deki kayış kataloğu incelendiğinde AT10 kesitli kayışın 25mm genişliğinin 2600N dayanıma sahip olduğu görülebilmektedir, bu her 5mm kayış enine karşılık 520N dayanım demektir. Hesaplamalar hali hazırda sistemin ihtiyacı olandan fazla, motorun maksimum torkuna göre, yapıldığı için $520.3 = 1560$ N kuvvete dayanabilecek şekilde 15mm kayış seçilmesi uygundur.

3.5.3 Z Eksen Servo Motor, Redüktör ve Kayış Hesabı

Y eksen motor hesabı için kullanılan formüller, Z eksen için de uygulanacak olursa;

Formül (3.5) dan redüktör miline indirgenmiş toplam atalet hesaplanacak olursa;

$$J_w = \left(\frac{1.(61,8)^2}{8} + \frac{1.(61,8)^2}{8} \cdot \frac{(61,8)^2}{(61,8)^2} + \frac{20.(61,8)^2}{4} + \frac{0,5.(61,5)^2}{4} \right) 10^{-6} (kgm^2) \quad (3.59)$$

$$J_w = 0,02(kgm^2) \quad (3.60)$$

Formül (3.3) te bu değeri yerine koyarsak;

$$J_L = 0,02 \cdot \left\{ \frac{1}{5} \right\}^2 (kgm^2) \quad (3.61)$$

$$J_L = 0,0008(kgm^2) \quad (3.62)$$

Bu durumda formül (3.2) den;

$$T_A = \frac{2.3,14.4637}{60.0,2} \left(0,000267 + \frac{0,0008}{0,975} \right) (Nm) \quad (3.63)$$

$$T_A = 2,63(Nm) \quad (3.64)$$

Olarak bulunmuş olur.

Z eksenini düşey eksende yerçekimine karşı çalıştığından motor miline indirgenmiş moment hesabı Y ekseninden farklıdır, burada F kuvveti hesaplanırken yerçekimi ivmesi de hesaba katılmalıdır;

$$T_L = T_w \frac{G}{\eta} (Nm) \quad (3.65)$$

$$T_w = F \frac{D}{2} 10^{-3} (Nm) \quad (3.66)$$

$$F = m(g + a_z)(1 - f_r)(N) \quad (3.67)$$

$$a_z = 15 \text{ m/sn}^2 \text{ (Çizelge 3.1)}$$

Formül (3.67) den F kuvveti hesaplanacak olursa;

$$F = 20.(9,81+15).(1-0,003)(N) \quad (3.68)$$

$$F = 494,7(N) \quad (3.69)$$

Formül (3.66) de bu değer yerine konursa;

$$T_w = 494,7 \cdot \frac{61,8}{2} \cdot 10^{-3} (Nm) \quad (3.70)$$

$$T_w = 15,2(Nm) \quad (3.71)$$

Bu değer formül (3.65) de yerine konursa;

$$T_L = 15,2 \cdot \frac{(1/5)}{0,975} (Nm) \quad (3.72)$$

$$T_L = 3,11(Nm) \quad (3.73)$$

Formül (3.64) ve (3.73) te bulunan değerler, (3.1) de yerine konursa, maksimum tork ihtiyacı;

$$T_1 = 2,63 + 3,11 = 5,74(Nm) \quad (3.74)$$

Olarak hesaplanmış olur.

Efektif tork hesabı için formülü bir kez daha hatırlayacak olursak;

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{T_1^2 t_1 + T_2^2 t_2 + T_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} (Nm) \quad (3.75)$$

$$T_2 = T_L = 3,11 (Nm) \quad (3.76)$$

$$T_3 = T_L - T_A \quad (3.77)$$

$$T_3 = 3,11 - 2,63 = 0,81 (Nm) \quad (3.78)$$

$$t_1 = t_3 = t_A = 0,2 (sn) \quad (3.79)$$

t_4 = Tam çevrim de bekleme zamanı; 1 sn olarak kabul edilmiştir.

t_2 süresi, Z eksenin tam eksen uzunluğu hareketinden ivmelenme ve yavaşlama zamanları çıkartılarak hesaplanabilir.

Eksen hızı: $V_z = 3$ m/sn ve eksen uzunluğu $S_z = 1$ m (Çizelge 3.1)

Bu durumda eksenin bir ucundan bir ucuna hareket süresi t_t formül (3.28) den;

$$t_t = 0,2 + 0,2 + \frac{(1 - 3 \cdot 0,2)}{3} = 0,53(sn) \quad (3.80)$$

Formül (3.28) den t_2 çekilirse;

$$t_2 = 0,53 - 0,2 - 0,2 = 0,13(sn) \quad (3.81)$$

Olarak bulunur.

Bu durumda efektif tork;

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{5,74^2 \cdot 0,2 + 3,11^2 \cdot 0,13 + 0,81^2 \cdot 0,2}{0,2 + 0,2 + 0,13 + 1}} (Nm) \quad (3.82)$$

$$T_{rms} = 2,28 (Nm) \quad (3.83)$$

Hesaplanan efektif tork, maksimum tork ve devir sayısı özellikleri göz önüne alınarak motor seçimi yapılmıştır.

Seçilen Motor: KEBA DSM2 70 - 0024 - 60 (EK-A)

Motor maksimum tork= 8,5 Nm > T₁=5,74 Nm

Motor nominal tork= 2,4 Nm > T_{rms}=2,28 Nm

Motor maksimum devir sayısı = 6000 d/d > N=4637 d/d (Gerekli motor devir sayısı)

Redüktör Dayanım Hesabı;

Z eksen için redüktör seçim parametreleri;

Redüktör giriş hızı: 4637 d/d

Çevrim oranı: 1/5

Redüktör maksimum giriş momenti= T₁= 5,74 Nm

Ek olarak redüktör miline gelebilecek maksimum anlık radyal kuvvet şu şekilde saptanabilir:

$$F_{ran} = \frac{2000T_1}{GD_1} = \frac{5 \cdot 2000 \cdot 5,74}{61,8} = 923,9 (N) \quad (3.84)$$

Seçilen redüktör: NEUGART PLPE 90-5 (EK-B)

Bu redüktör için;

Nominal giriş torku= 82/5=16,4 Nm

Maksimum giriş torku= 131/5= 26,2 Nm > T₁=5,74 Nm

Redüktör mekanik maksimum dönme hızı 7000 d/d > 4637 d/d

Redüktör mili radyal yük dayanımı= 1900 N < 923,9 N

Görüldüğü üzere bu değerler güvenli çalışma sınırları içerisindedir.

Kayış genişliği seçimi;

Kayış tipi, Y ekseninde seçildiği gibi AT10 olarak belirlenmiştir.

Maksimum gerekli motor momenti formül (3.74) de $T_1=5,74$ Nm olarak hesaplanmıştı, fakat teorik olarak motor üretebileceği maksimum torku sisteme uygulayabileceğinden, bu hesap için motorun maksimum momenti T_1 olarak kullanılacaktır. Ek olarak, bu değer seçilen redüktör çevrim oranı ile çarpılmalıdır.

$$T_{mmax}=8,5 \text{ (Nm)} \quad (3.85)$$

Bu durumda:

$$F_k = \frac{2T_{mmax} (1/G)}{D_1} (N) \quad (3.86)$$

F_k = Kayışa gelebilecek maksimum kuvvet (N).

$$F_k = \frac{2 \cdot 8,5}{61,8/1000} = 1375 (N) \quad (3.87)$$

Olarak bulunur.

EK-C deki kayış kataloğu incelendiğinde AT10 kesitli kayışın 25mm genişliğinin 2600N dayanıma sahip olduğu görülebilmektedir, bu her 5mm kayış enine karşılık 520N dayanım demektir. Hesaplamalar hali hazırda sistemin ihtiyacı olandan fazla, motorun maksimum torkuna göre, yapıldığı için $520 \cdot 3 = 1560$ N kuvvete dayanabilecek şekilde 15mm kayış seçilmesi uygundur.

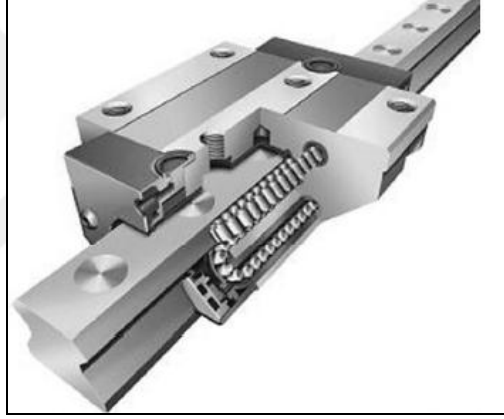
3.6 Eksenleri Kılavuzlama Elemanları

Eksenlerin yataklanması, hız ve hassasiyet gerektiren bu gibi uygulamalarda hayati önem kazanmaktadır. Sistemde kullanılacak yataklama elemanının hem üzerlerine gelen kuvvetleri deformasyona uğramadan karşılamaları, hem gerekli hız koşullarını sağlamaları hem de gerekli hassasiyette çalışabilmeleri gerekmektedir. Ayrıca sürtünmeden kaynaklı üretilen kuvvetin minimum olması istenmektedir.

3.6.1 Lineer Bilyeli Raylar

Yataklama, profil rayların belirli bölgelerine açılan kanallara birden fazla noktada temas eden bilyeler sayesinde yapılır. Birden fazla noktada temas etmesi nedeniyle sistemin yük kapasitesi bilyeli rulmanlara kıyasla daha fazladır [20].

Bu tip raylar, endüstriyel robotlarda ve makinalarda hız ve hassasiyet gerektiren durumlarda en çok tercih edilen kılavuzlama tipidir. 3 Eksen robotlar incelendiğinde, piyasada hemen hemen her robotta lineer bilyeli rulmanların kullanıldığı görülmüştür. Yağlama gerektirir, otomatik yağlama sistemleri kullanılacağı gibi manuel olarak da yağlanabilir. Dış ebatlar ve bağlantı delikleri uluslararası standartlarla belirlenmiş olsa da, ray profilleri ve araba iç yapıları firmaların mühendisliğine bırakılmıştır. Bu sebeple bir çok farklı ray tipi ve araba yapısı mevcuttur.



Şekil 3.5 Lineer bilyeli raylar [20]

3.6.2 Lineer Rulmanlar

Bu tip kızıklama sisteminde oluşturulan hareketli düzeneklerle bilyeler mil üzerine doğrudan temas eder, ancak kontak tipi incelendiğinde noktasal olduğu görülmektedir. Dolayısı ile temas yüzeyi çok azdır ve sistemin yük kapasitesi çok düşüktür. Hafif sistemlerin yataklanmasında maliyet düşürmek amaçlı kullanılabilir.



Şekil 3.6 Lineer rulmanlar [20]

Buna ek olarak, bilyelerin noktasal teması, temas noktasında aşırı yük oluşumu durumunda mil üzerinde kanalların oluşmasına ve bu kanallar sebebiyle sistemin hassasiyetini kaybetmesine sebebiyet verebilir. Şayet kullanılacaksa sertleştirilmiş millerde ve yüke göre gereken ölçülerden daha büyük mil ve lineer rulman kullanılması tavsiye edilir [20].

3.6.3 Lineer Makaralı Raylar

Son yıllarda Rollon firması tarafından çıkartılan endüstriyel sistemlerde kullanılmak üzere geliştirilen ürün sayesinde kullanımı artmaya başlamıştır. Ancak piyasadaki robotlar incelendiğinde şu an yalnızca üst klasman, özel amaçlara uygun tasarlanmış robotlarda kullanıldığı gözlemlenmiştir. Lineer bilyeli raylar ile kıyaslandığında avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır [21].

- İşlenmemiş yüzeylere de bağlanabilmektedir, bu durum sistemin çalışmasına negatif etki etmese de yüzey hatalarını gidermek için arabalardan bir tanesinin serbest kalma zorunluluğu üzerine bağlanan kolun da küçük de olsa hareket etmesine sebep olmakta ve hassasiyeti etkilemektedir. Bu bağlamda incelendiğinde çok hassas olmayan sistemler için idealdir.
- Makaraları ömür boyu yağlanmıştır, ek yağlamaya ihtiyaç duymaz,
- Düşük yüklerde 9 m/s hızlara kadar çalışabilir.



Şekil 3.7 Lineer makaralı raylar (Rollon) [21]

3.6.4 Kılavuzlama Elemanlarının Kıyaslanması, Hesaplanması ve Seçimi

Her ne kadar daha fazla yataklama sistemi olsa da, proje kapsamı ilintili olarak en yaygın 3 method incelenmiştir. Bu sistemler değişik yönlerden karşılaştırılmış ve özellikle düşük maliyetleri ve istenen hassasiyet, hız gibi kriterleri sağlaması sebebi ile yataklama elemanı olarak lineer bilyalı raylar seçilmiştir.

Bu proje kapsamında kullanılacak lineer bilyeli raylar, THK firmasının ürettiği HSR tipi raylardan seçilmiştir. Bu tip kılavuz elemanlar, firmaların ürünlerinin kendine has özel yapıları sebebiyle standart olarak hesaplanamamaktadır. Bu sebeple hesaplar THK firmasının seçim programı vasıtası ile yapılmıştır. 3 eksen için yapılan ayrı ayrı hesaba göre çıkan sonuçlar aşağıdaki gibidir. Program vasıtası ile seçim yapılırken izlenen yol ve dikkat edilmesi gereken konular Y eksen üzerinden anlatılmıştır, diğer eksenlerin seçimi de aynı kriterlere dikkat ederek yapılabilir.

Y Eksen Hesaplama Kriterleri ve Sonuçlar;

Y Eksen için yapılan hesaplar sonucu HSR 25L tipi ray ve blok seçilmiştir. Hesaplama kriterleri, yöntemi ve sonuç raporları aşağıda görülebilir.

SService Life Calculation of LM Guide

Ver. 2.4en

Selection of Model, Size, Mounting Orientation, Number of Rails and Number of Blocks.

★ Select a model.

HSR

★ Select a size.

25L

★ Select a mounting orientation.

Horizontal installation

★ Select the number of rails and the number of blocks.

Two axes use in parallel,Two blocks

Selection Completed

End

Şekil 3.8 THK ray seçim programı Y eksen seçim kriterleri 1

Şekil 3.8 de verilen görsel programın ürün seçim modülünün ilk sayfasıdır. Burada istenen bilgiler ürün modeli, boyutu, montaj yönü ve ray-blok adedidir. Ray blok adetleri ve monaj konumları tasarımda belirlenen şekilde seçilir. Çalışma mantığı düşünüldüğünde Y eksen rayları üzerinde tek taraftan mesnetli şekilde X eksen profili bulunmaktadır, bu durumda iki adet ray seçilmesi oluşacak eğilme momentinin bloklardan bir tanesine bası bir tanesine çeki kuvveti olacak şekilde eşit olarak dağılmasını sağlar. Yine X eksen profil merkezinden kaçık bir şekilde çalışan Z eksen profile sebebiyle, Y eksene üzerinde oluşan eğilme momentine dik yönde, Y eksen blok bağlantı plakası üzerinde eğilme momenti oluşur. Seçilen 2 ray üzerine 2 şer blok konumlandırılması bu eğilme momentinin de bir taraftaki bloklar üzerinde bası, diğer tarafta çeki olacak şekilde eşit olarak dağılmasını sağlar. Ray-Blok ürün tipi ve boyutu seçimi ise başlangıçta rastgele yapılır, daha sonraki adımlarda yapılan hesaplamalarla istenen ömür süresi elde edilene kadar büyütülerek veya küçültülerek nihai sonuca ulaşılır.

SService Life Calculation of LM Guide
Ver. 2.4en

Input velocity conditions

Velocity:

V= (m/s)

Acceleration time:

T1= (s)

Load factor:

fw=

Stroke length:

Ls= (mm)

Number of reciprocations per minute:

n= (min⁻¹)

Mounting Orientation: Horizontal installation

Number of Rails and Number of Blocks: Two axes use in parallel, Two blocks

Model Number: HSR25L

*When the mouse pointer is over the categories, quick explanation will be appeared.

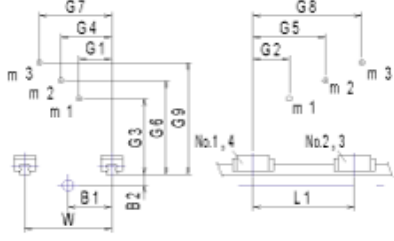
Back
to the next page
End

Şekil 3.9 THK ray seçim programı Y eksen seçim kriterleri 2

(Şekil 3.9) da verilen görsel programın ürün seçim modülünün ikinci sayfasıdır. Burada istenen bilgiler eksen çalışma hızı, ivmesi, yük faktörü, eksen stroğu ve dakikadaki çevrim sayısıdır. Hız, ivme ve eksen stroğu tasarım başlangıcında belirlenen hedefe uygun olarak girilir. Yük faktörü ise hıza bağlıdır, programdaki info sekmesi açıldığında görüleceği üzere 0,25m/sn altındaki hızlarda 1~1,2 arası, 0,25m/sn ve 1m/sn arası hızlarda 1,2~1,5 arası, 1m/sn ve 2m/sn arası hızlarda 1,5~2 arasında ve 2m/sn den büyük hızlarda 2~3,5 arasında bir değer alınabilir. Dakikadaki çevrim sayısı robot tasarlanma amacına uygun olarak maksimum çalışma şartlarına göre seçilmelidir. Bu çalışma kapsamında 5 olarak kabul edilmiştir.

SService Life Calculation of LM Guide
Ver. 2.4en

Input operating conditions



Block Width (mm)	Block Length (mm)
BW= 48	BL= 102.2
Thrust point (mm)	Gravity points (mm)
B1= 70	G1= 385
B2= 10	G2= 146
Rail span (mm)	G3= 205
W= 140	G4=
Block span (mm)	G5=
L1= 320	G6=
L2=	G7=
L3=	G8=
Mass (kg)	G9=
m1= 85	
m2= 0	
m3= 0	

Model Number: HSR25L

< >

*When the mouse pointer is over the categories, quick explanation will be appeared.

Back
OK

End

Şekil 3.10 THK ray seçim programı Y eksen seçim kriterleri 3

Şekil 3.10 de verilen görsel programın ürün seçim modülünün üçüncü sayfasıdır. Burada istenen bilgiler ray ve bloklara etkiyen yüklerin konumları ile alakalıdır. Şekilde görüleceği üzere yüklerin konumu blok merkezlerin referansla istenmektedir. Gerekli değerler tasarım üzerinde bakılarak girilir.

Sonuç Raporunun Değerlendirilmesi ve Genel Tavsiyeler; Bu hesaplamaların tasarımın en başından başlayarak adım adım geliştirilerek yapılması, tasarım süreci devam ederken hangi blok tipinden kaç adet seçileceği, nasıl konumlandırılacağı gibi bilgileri vermesi açısından önemlidir. Şekil 3.11 deki sonuç raporu incelendiğinde görüleceği üzere program seçilen ürün için saat cinsinden ömür hesaplamaktadır. Bu ömür değerlendirilirken robotun günde kaç saat çalışacağı, hangi yük ve hızlarda çalışacağı, eksen pozisyonlarının ne olacağı gibi konular da dikkate alınmalıdır. Bu hesaplamalar yapılırken bütün değerler maksimumda alınmıştır. Normal koşullarda bu değerlerden daha düşük zorlanmalarda çalışacağı için ömür daha fazla olacaktır. Öte yandan bu veriler ray ve blokların bakımlarının tam olarak yapıldığı, hiçbir montaj hatasının olmadığı optimum koşullara göre verilir. Sonuç olarak bu değerler teorik olarak

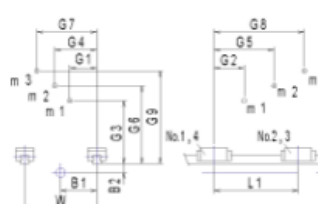
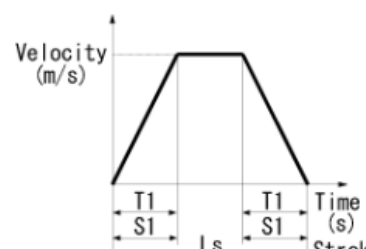
hesaplandıktan sonra ray bloklar seçilmeli ve üretim sonrası testler ve uzun süreli çalışma sonucunda edinilecek verilerle bir sonraki seçimde karşılaştırmalı analiz yapılarak tecrübelerden de faydanılmalıdır.

THK Calculate the service life of LM Guide

Open PDF file to view, save or print

close

Operating Condition

Mounting Orientation:	Horizontal installation	Velocity:	V= 3 m/s	Rail span(mm):	W= 140
Model Number:	HSR25L	Acceleration time:	T1= 0.3 s	Block span(mm):	L1= 320
Basic dynamic load rating:	C= 27200 N	Load factor:	fw= 2.5	L2=	---
Basic static load rating:	Co= 45900 N	Stroke length:	Ls= 2000 mm	L3=	---
Revised Coefficient:	Ka _u R=	Number of reciprocations per minute:	n= 5 min ⁻¹	Thrust point(mm):	B1= 70
	Ka _u L=	Acceleration:	α= 10.000 m/s ²	B2=	10
	Kb _u =	Acceleration, Deceleration:	S1= 450.00 mm	Block width(mm):	BW= 48
		Velocity:	S2= 1100.00 mm	Block length (mm):	BL= 102.2
Mass(kg)	m1= 85	m2= 0	m3= 0		
Gravity points(mm)	G1= 385	G2= 146	G3= 205	G4= 0	G5= 0
	G6= 0	G7= 0	G8= 0	G9= 0	

Calculation Result

Applied load(N)		No.1	No.2	No.3	No.4	Static safety factor
						fs= 24.5
(1) During acceleration	Radial direction	-996.7	-462.1	1413.5	878.9	Nominal life L= 25877 km Service life time Lh= 21564 h
	Horizontal direction	418.4	-418.4	-418.4	418.4	
	Equivalent load	1415	462	1832	879	
(2) In uniform motion	Radial direction	-711.2	-747.6	1128.0	1164.4	
	Horizontal direction	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Equivalent load	711	748	1128	1164	
(3) During deceleration	Radial direction	-425.6	-1033.2	842.4	1450.0	
	Horizontal direction	-418.4	418.4	418.4	-418.4	
	Equivalent load	426	1452	842	1868	
(4) Mean load	Pm=	1355 N				

Şekil 3.11 THK ray seçim programı Y eksen sonuç raporu

X Eksen Hesaplama Kriterleri ve Sonuçlar;

X Eksen için yapılan hesaplar sonucu HSR 15 tipi ray ve blok seçilmiştir. Hesaplama kriterleri, yöntemi ve sonuç raporları aşağıda görülebilir.

45

SService Life Calculation of LM Guide
Ver. 2.4en

Selection of Model, Size, Mounting Orientation, Number of Rails and Number of Blocks.

★ Select a model.

★ Select a size.

★ Select a mounting orientation.

★ Select the number of rails and the number of blocks.

HSR

15

Wall-mounted application

Two axes use in parallel, Two blocks

Selection Completed

End

Şekil 3.12 THK ray seçim programı X eksen seçim kriterleri 1

SService Life Calculation of LM Guide
Ver. 2.4en

Input velocity conditions

Velocity:
V= (m/s)

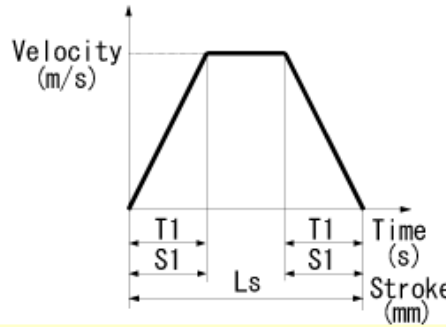
Acceleration time:
T1= (s)

Load factor:

fv=

Stroke length:
Ls= (mm)

Number of reciprocations per minute:
n= (min⁻¹)



Mounting Orientation: Wall-mounted application

Number of Rails and Number of Blocks: Two axes use in parallel, Two blocks

Model Number: HSR15

*When the mouse pointer is over the categories, quick explanation will be appeared.

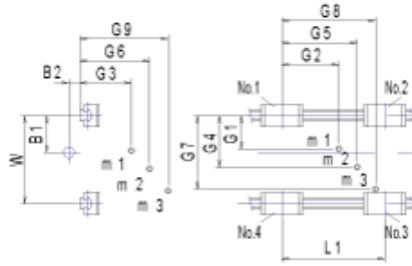
Back

to the next page

End

Şekil 3.13 THK ray seçim programı X eksen seçim kriterleri 2

Input operating conditions



Block Width (mm)

BW= 34

Thrust point (mm)

B1= 40

B2= 55

Rail span (mm)

W= 110

Block span (mm)

L1= 216

L2=

L3=

Mass (kg)

m1= 50

m2= 0

m3= 0

Block Length (mm)

BL= 56.6

Gravity points (mm)

G1= 385

G2= 30

G3= 35

G4=

G5=

G6=

G7=

G8=

G9=

Model Number:

HSR15



*When the mouse pointer is over the categories, quick explanation will be appeared.

Back

OK

End

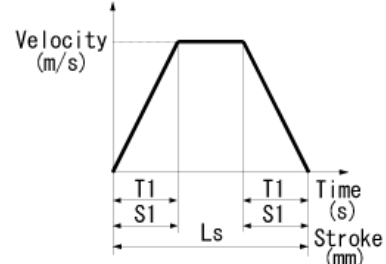
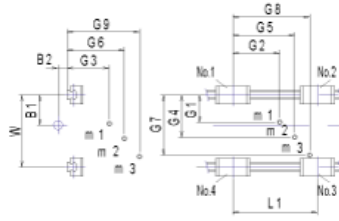
Şekil 3.14 THK ray seçim programı X eksen seçim kriterleri 3

THK Calculate the service life of LM Guide

Open PDF file
to view ,save or
print

close

Operating Condition



Mounting Orientation:	Wall-mounted application		Velocity:	V=	2 m/s	Rail span(mm):	W=	110		
Model Number:	HSR15		Acceleration time:	T1=	0.2 s	Block span(mm):	L1=	216		
Basic dynamic load rating:	C=	8330 N	Load factor:	fw=	1.7		L2=	---		
Basic static load rating:	Co=	13500 N	Stroke length:	Ls=	500 mm		L3=	---		
Revised Coefficient:	Ka,R=	---	Number of reciprocations per minute:	n=	10 min ⁻¹	Thrust point(mm):	B1=	40		
	Ka,L=	---	Acceleration:	α=	10.000 m/s ²		B2=	55		
	Kb,L=	---	Acceleration, Deceleration:	S1=	200.00 mm	Block width(mm):	BW=	34		
			Velocity:	S2=	100.00 mm	Block length (mm):	BL=	56.6		
Mass(kg)	m1=	50	m2=	0	m3=	0				
Gravity points(mm)	G1=	385	G2=	30	G3=	35	G4=	0	G5=	0
	G6=	0	G7=	0	G8=	0	G9=	0		

Calculation Result

Applied load(N)		No.1	No.2	No.3	No.4	Static safety factor	fs=	17.6
(1) During acceleration	Radial direction	-155.0	53.3	155.0	-53.3	Nominal life	L=	32150 km
	Horizontal direction	433.4	-188.2	-188.2	433.4	Service life time	Lh=	53584 h
	Equivalent load	588	0	0	0			
(2) In uniform motion	Radial direction	-50.8	-50.8	50.8	50.8			
	Horizontal direction	34.1	211.1	211.1	34.1			
	Equivalent load	85	262	211	51			
(3) During deceleration	Radial direction	53.3	-155.0	-53.3	155.0			
	Horizontal direction	-365.3	610.4	610.4	-365.3			
	Equivalent load	0	765	664	520			
(4) Mean load	Pm=	568	N					

Şekil 3.15 THK ray seçim programı X eksen sonuç raporu

Z Eksen Hesaplama Kriterleri ve Sonuçlar;

Z Eksen için yapılan hesaplar sonucu HSR 15 tipi ray ve blok seçilmiştir. Hesaplama kriterleri, yöntemi ve sonuç raporları aşağıda görülebilir.

SService Life Calculation of LM Guide
Ver. 2.4en

Selection of Model, Size, Mounting Orientation, Number of Rails and Number of Blocks.

★ Select a model

★ Select a size.

★ Select a mounting orientation.

★ Select the number of rails and the number of blocks.

HSR

15

Vertical installation

One axis use, Two blocks

Selection Completed

End

Şekil 3.16 THK ray seçim programı Z eksen seçim kriterleri 1

SService Life Calculation of LM Guide
Ver. 2.4en

Input velocity conditions

Velocity:

V= (m/s)

Acceleration time:

T1= (s)

Load factor:

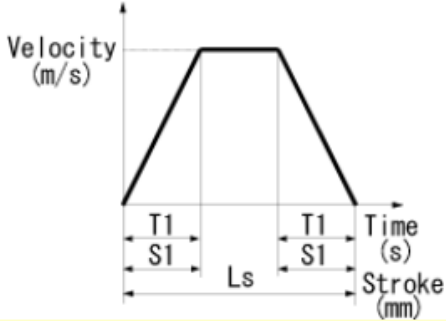
fw=

Stroke length:

Ls= (mm)

Number of reciprocations per minute:

n= (min⁻¹)



Mounting Orientation:

Number of Rails and Number of Blocks:

Model Number:

Vertical installation

One axis use, Two blocks

HSR15

*When the mouse pointer is over the categories, quick explanation will be appeared.

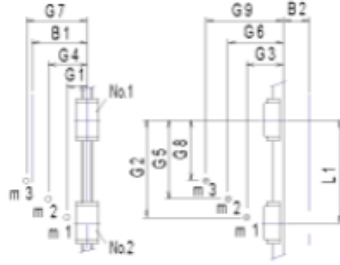
Back

to the next page

End

Şekil 3.17 THK ray seçim programı Z eksen seçim kriterleri 2

Input operating conditions



Block Width (mm)

BW= 34

Thrust point (mm)

B1= 50

B2= 40

Rail span (mm)

W =

Block span (mm)

L1= 255

L2=

L3=

Mass (kg)

m1= 20

m2= 0

m3= 0

Block Length (mm)

BL= 56.6

Gravity points (mm)

G1= 45

G2= 347

G3= 59

G4=

G5=

G6=

G7=

G8=

G9=

Model Number:

HSR15



*When the mouse pointer is over the categories, quick explanation will be appeared.

Back

OK

End

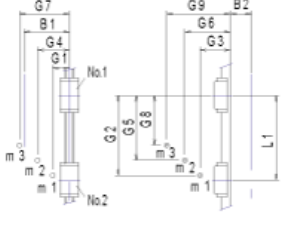
Şekil 3.18 THK ray seçim programı Z eksen seçim kriterleri 3

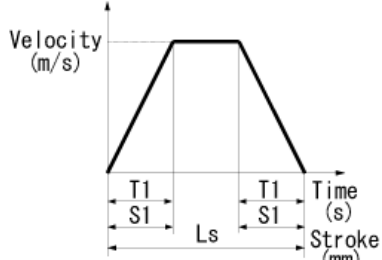
THK Calculate the service life of LM Guide

Open PDF file
to view ,save or
print

close

Operating Condition





Mounting Orientation:	Vertical installation	Velocity:	V= 3 m/s	Rail span(mm):	W= ---
Model Number:	HSR15	Acceleration time:	T1= 0.3 s	Block span(mm):	L1= 255
Basic dynamic load rating:	C= 8330 N	Load factor:	fw= 3		L2= ---
Basic static load rating:	Co= 13500 N	Stroke length:	Ls= 1000 mm		L3= ---
Revised Coefficient:	Ka _R = ---	Number of reciprocations per minute:	n= 10 min ⁻¹	Thrust point(mm):	B1= 50
	Ka _L = ---	Acceleration:	α= 10.000 m/s ²		B2= 40
	Kb _M = ---	Acceleration, Deceleration:	S1= 450.00 mm	Block width(mm):	BW= 34
		Velocity:	S2= 100.00 mm	Block length (mm):	BL= 56.6
Mass(kg)	m1= 20	m2= 0	m3= 0		
Gravity points(mm)	G1= 45	G2= 347	G3= 59	G4= 0	G5= 0
	G6= 0	G7= 0	G8= 0	G9= 0	

Calculation Result

Applied load(N)		No.1	No.2	No.3	No.4	
						Static safety factor
						fs= 83.5
(1) During acceleration	Radial direction	-153.8	153.8	---	---	Nominal life
	Horizontal direction	-7.8	7.8	---	---	L= 549216 km
	Equivalent load	162	162	---	---	Service life time
(2) In uniform motion	Radial direction	-76.1	76.1	---	---	Lh= 457680 h
	Horizontal direction	-3.8	3.8	---	---	
	Equivalent load	80	80	---	---	
(3) During deceleration	Radial direction	1.5	-1.5	---	---	
	Horizontal direction	0.1	-0.1	---	---	
	Equivalent load	0	0	---	---	
(4) Mean load	Pm=	125 N				

Şekil 3.19 THK ray seçim programı Z eksen sonuç raporu

3.7 Eksen Profilleri

Eksen profilleri, eksenlere binen yükleri taşıyan elemanlardır. 3 eksen robotlarda çalışma prensipleri sebebi ile eksen profilleri hem eğilmeye, hem de burulmaya zorlanmaktadır.

Profiller çelik, alüminyum veya kompozit malzemelerden seçilebilirler. Piyasadaki robot tipleri incelendiğinde, ana eksen olan Y eksen profillerinin çelik malzemeden, X eksen

51

profillerinin robot tipine göre elik veya özel üretim alüminyum malzemeden ve Z eksen profillerinin genellikle alüminyum veya elik malzemeden seçildiği görülmüştür.

3.7.1 Z Eksen Profil Seçimi ve Bilgisayar Destekli Analiz Sonuçları

Z eksen profili düşeyde çalışmaktadır ve bu sebeple profilin kendi ağırlığı direkt olarak motor tarafından taşınmaktadır. Bu sebeple bu profil olabildiğince hafif ve dayanıklı olarak seçilmelidir. Z eksen en büyük stroğunda, yani en alt noktada iken, st kısımdan yataklı ve ucuna merkezden kaık yk bağlı konumdadır. Bu sebeple eğilmeye ve yatak konumuna göre burulmaya maruz kalır. Bu sebeple kutu profil seçilmesi, her yönden gelen kuvvetlere eşit şekilde dayanım göstermesi açısından daha makuldür.

Bununla beraber tasarım sırasında dikkat edilmesi gereken konu, Z eksene robotun taşıma kapasitesi olan 5 kg yük bağlı iken ağırlık merkezinin eksen yatağına minimum mesafede olmasıdır. Bu sayede eksen aşağı yönlü hareketinde, yerçekimi ivmesi ve eksen kendi ivmesinden kaynaklı oluşacak ekstra moment en aza indirilebilir.

Bu proje kapsamında tasarlanan robot için 60X60X2 mm 1475 mm boyunda paslanmaz elik kutu profil seçilmiştir.

Seçilen profil üzerinde analiz yapılırken uygulanan kuvvetler ve uygulama noktaları şu şekildedir (şekil 3.20);

A noktası: Eksen en alt noktada iken bloklardan yataklanan kısımdır.

B noktası: Düşeyde hareket eden toplam kütlenin ağırlık merkezidir.

C noktası: Robot koluna maksimum taşıma yükü olan 5 kg lık ağırlığın bağlandığı kısımdır. Ağırlık boyutları 70X70X100 mm ve yaklaşık 5 kg olacak şekilde kabul edilmiştir.

Uygulanan dış kuvvetler;

F_{1Z} = B noktasından uygulanmıştır; (toplam kütle – taşıma yükü) nn Z eksen ivmesinden ötürü eklenen dış kuvveti temsil etmektedir.

F_{2Z} = C noktasından uygulanmıştır; taşıma yükünün Z eksen ivmesinden ötürü eklenen dış kuvveti temsil etmektedir.

Bu durumda;

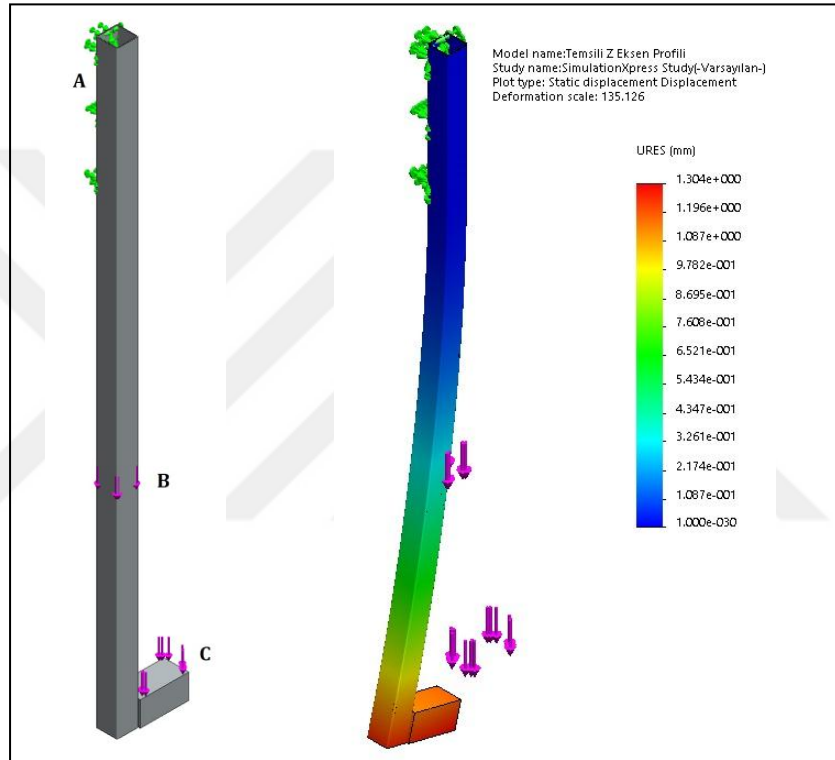
$$F_{1Z} = (m_z - y_z) a_z g = (20 - 5).15.9,81 = 2207(N) \quad (3.88)$$

$$F_{2Z} = y_z a_z g = 5.15.9,81 = 735(N) \quad (3.89)$$

m_z = Z eksen toplam kütle (kg).

y_z = taşıma yükü (kg).

a_z = Z eksen ivmesi (m/sn^2).



Şekil 3.20 Z eksen analiz modeli ve sehim analizi sonucu

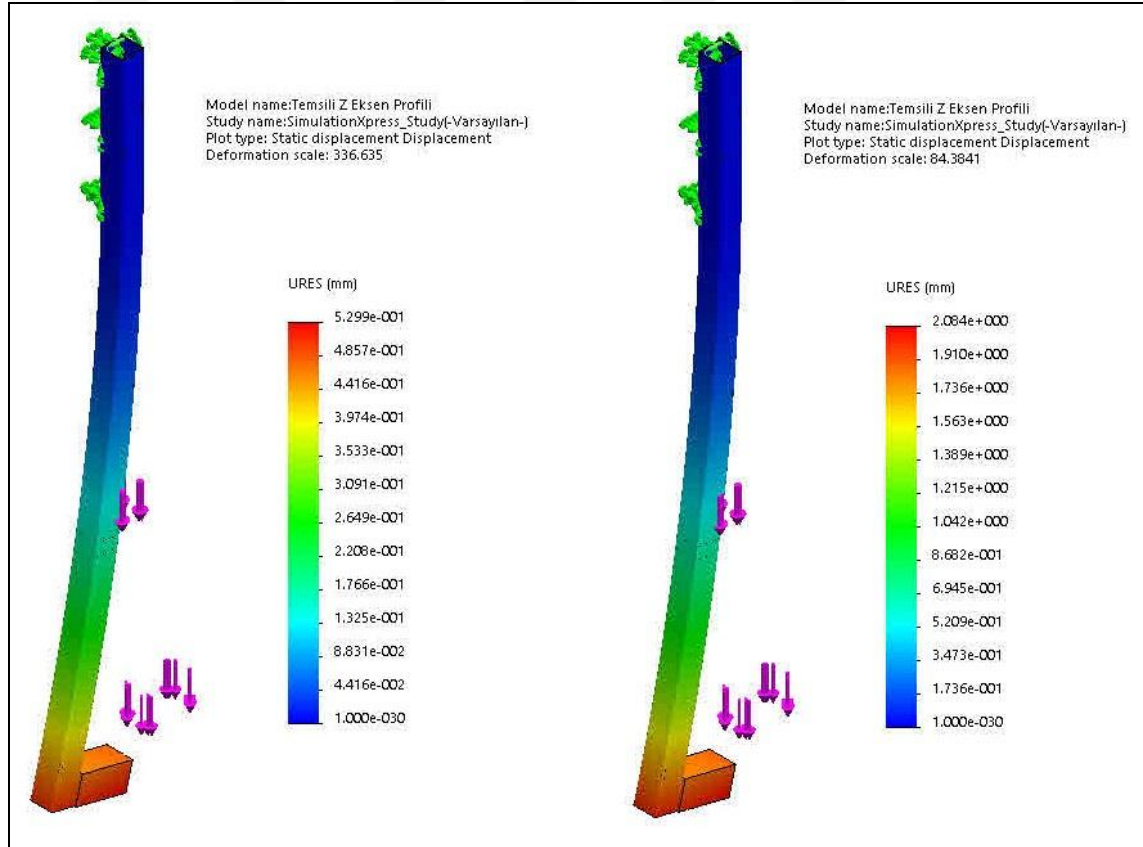
Analiz sonuçlarından incelenecek olursa tasarım için önemli olan yer değiştirme kriteri analiz sonuçlarından incelenecek olursa, eksen uç noktasının maksimum yük ve maksimum ivme altında 1,3 mm yer değiştirdiği görülmektedir. Kol yapısı gereği yük konumunda çok uzak noktada yataklanan görece ince kesitli bir profil üzerinde bu yer değiştirme normal olarak kabul edilebilir.

Bu sonuca ek olarak düşünülmesi gereken nokta yazılım optimizasyonudur, bu analiz kapsamında ivme direkt olarak uygulanmış ve herhangi bir optimizasyon hesaba

katılmamıştır. Yazılım optimizasyonu ile gelecek olan anlık ivme kavramı, ve duruşların kalkışların yumuşatılması ile, salınım daha da az indirilebilir.

Yapılan hesaplamalara ek olarak, Z eksen profili için değişik anma yükü altındaki davranış da incelenmiştir. Z eksen taşıma yükü 5kg olarak belirlenmişti, bu anma yükünün 2 kg a düşmesi veya 8 kg a çıkması durumunda Z eksen profili üzerinde yapılan analizler aşağıdaki gibidir. Bu durumlarda etkiyen kuvvetlerden değişen yalnızca F_{2z} dir. F_{2z} , 2 kg faydalı yük için 295 (N) ve 8 kg faydalı yük için 1177 (N) olarak uygulanmıştır.

Bu hesaplamalar motor performansları için tekrarlanmamıştır. Sebebi ise seçilen motorların hali hazırda gerekenden büyük olması ve anma yükündeki değişimin motor hesaplarına etkisinin çok küçük olmasıdır.



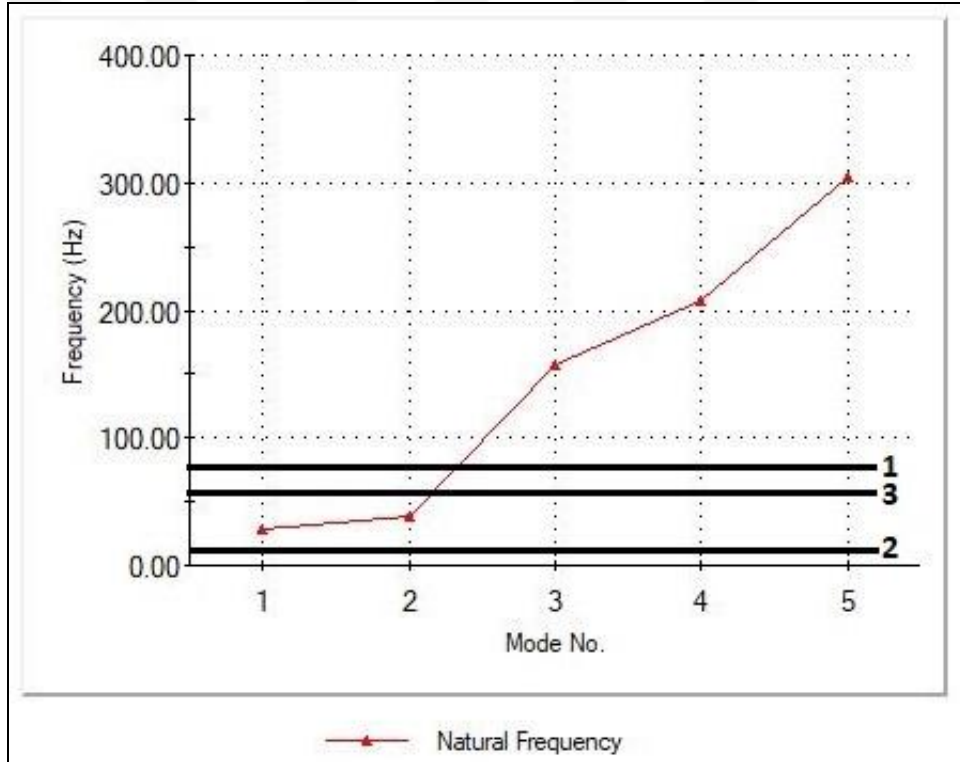
Şekil 3.21 Z eksen 2 kg ve 8 kg faydalı yük için sehim analizi sonucu

Çıkan sonuçlar incelendiğinde, 5kg yük için 1,3mm olan yer değiştirme değerinin 2kg için 0,5mm ve 8kg için 2mm olduğu görülmektedir. Bu durumda 2kg yük için salınımın %260 azaldığı ve 8kg için salınımın %53 arttığı görülmektedir.

Z Eksen Modal Analiz Sonuçları

Robot konstrüksiyonu incenlendiğinde görüleceği üzere, robot aksamlarından salınım yapması en olası eksenin Z eksen olduğu kolaylıkla görülebilir. Ek olarak işi yapan eksenin Z eksen olması, bu eksen üzerindeki salınımların daha detaylı incelenmesini de zaruri kılmaktadır. Bu sebeple Z eksen üzerinde modal analiz de yapılmış ve doğal frekansların, sistemin dönen aksamalarının frekansları ile çakışıp çakışmadığı kontrolü yapılmıştır. Modal analiz için Z eksen analiz modeli biraz daha detaylandırılmış ve rijitliğe ve salınıma etkisi büyük olan elemanlar da modele temsili olarak eklenmiştir. Analizler Solidworks programında, 'direct spare solver' yöntemi ile yapılmıştır.

Robot üzerinde dönen aksamalar servo motor, redüktör ve redüktörle aynı hızda dönen kasnaklardır.



Şekil 3.22 Z eksen modal analiz sonucu

Servo motor seçiminde hesaplanan maksimum dönme hızları;

Y ve Z Eksen Servo: $4637 \text{ d/d} = 77,2 \text{ (Hz)}$ (Grafikte 1 numara ile gösterilmiştir.)

Y ve Z Eksen Redüktör: $927,4 \text{ d/d} = 15,4 \text{ (Hz)}$ (Grafikte 2 numara ile gösterilmiştir.)

X Eksen Servo: $3446 \text{ d/d} = 57,4 \text{ (Hz)}$ (Grafikte 3 numara ile gösterilmiştir.)

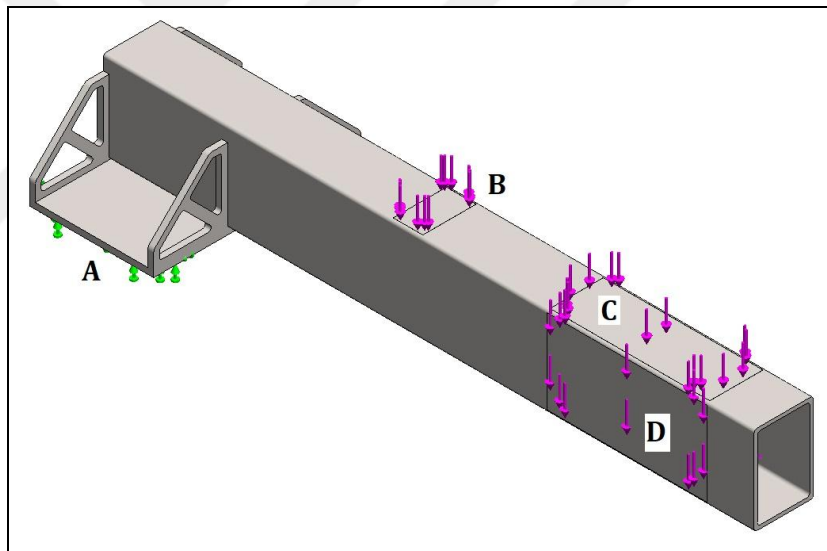
X Eksen Redüktör: 689,2 d/d= 11,48 (Hz) (Grafikte 2 numara ile gösterilmiştir.)

Bu değerler, modal analiz sonucu elde edilen grafik üzerine yerleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Z eksen kritik hız değerlerinde çakışma olmadığı ve rezonans tehlikesinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

3.7.2 X Eksen Profil Seçimi ve Bilgisayar Destekli Analiz Sonuçları

X eksen profili alüminyum veya çelik profilden olabilir. Tasarımı yapılan robot tipinde X eksen profili hem eğilmeye hem de burulmaya zorlanmaktadır. Bu sebeple alüminyum malzemeye göre daha küçük boyutlarda daha fazla yük taşıyabilen çelik malzeme tercih edilmiştir.

Bu proje kapsamında tasarlanan robot için 100X150X5 mm 1100 mm boyunda ST37 çelik kutu profil seçilmiştir.



Şekil 3.23 X eksen analiz modeli

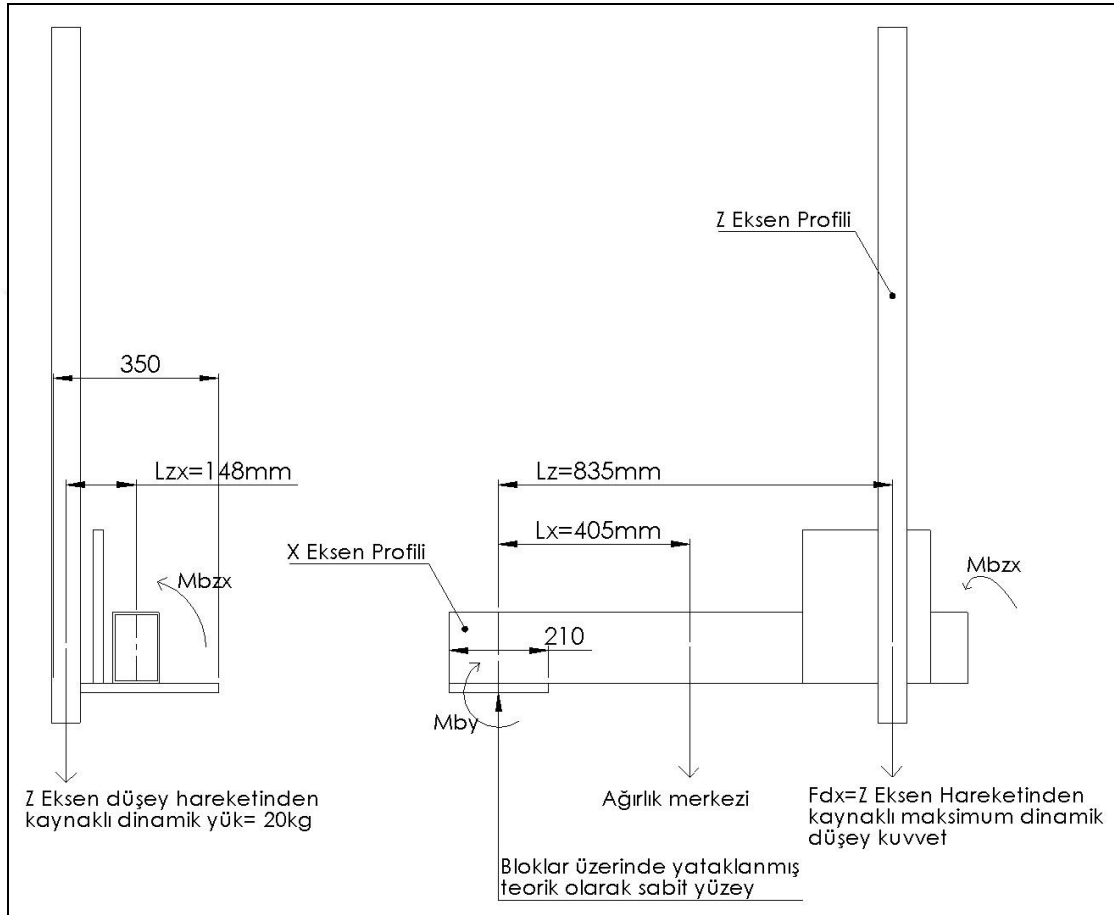
Seçilen profil üzerinde analiz yapılırken uygulanan kuvvetler ve uygulama noktaları şu şekildedir (Şekil 3.23);

A noktası: Eksenin bloklardan yataklanan kısmıdır.

B noktası: Toplam kütlenin ağırlık merkezidir. Analiz için çizilen model gerçek ağırlıkta olmadığından, eksik kalan ağırlık bu noktadan eklenmiştir.

C noktası: Z eksen hareketinden kaynaklı dinamik yükün X eksen profiline indirgendiği noktadır.

D noktası: Z eksen hareketinden kaynaklı dinamik yük profil merkezine indirgenirken ortaya çıkan burulma momentinin kuvvet çifti olarak uygulandığı noktadır. Bu kuvvet aynı şekilde D noktası ile simetrik olarak profilin diğer yüzüne de uygulanmıştır.



Şekil 3.24 X eksen profili üzerindeki kuvvetler

Uygulanan dış kuvvetler;

F_{dx} = Z eksen dinamik hareketinden kaynaklanan kuvvettir.

M_{bzx} = Z esken dinamik kuvveti indirgenirken ortaya çıkan burulma momentidir.

Bu durumda formül (3.88) ve (3.89) dan;

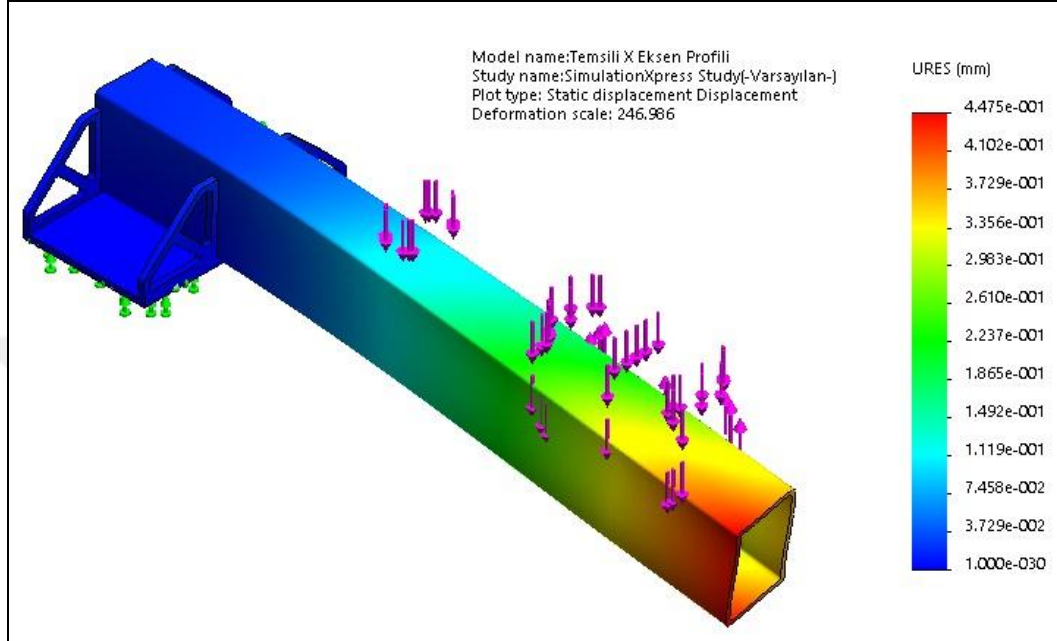
$$F_{dx} = F_{1z} + F_{2z} = 2207 + 735 = 2942(N) \quad (3.90)$$

$$M_{bzx} = \frac{F_{dx} L_{zx}}{1000} = \frac{2942 \cdot 148}{1000} = 435,4(Nm) \quad (3.91)$$

$$F_{Mbzx} = \frac{1000M_{bzx}}{s_x} = \frac{1000.435,4}{100} = 4354(N) \quad (3.92)$$

F_{Mbzx} = D noktasında kuvvet çifti olarak uygulanacak değer (N).

s_x = X eksen profil genişliği (mm)



Şekil 3.25 X eksen profili sehim analizi sonucu

Tasarım için önemli olan yer değiştirme kriteri analiz sonuçlarından incelenecek olursa, eksen uç noktasının maksimum yük ve maksimum ivme altında 0,44 mm yer değiştirdiği görülmektedir. Kiriş yapısı ve yükler değerlendirildiğinde bu değer kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

Z eksen analiz sonuçlarında bahsedilen yazılımsal optimizasyon ile gerçek değer daha da küçük olacaktır.

3.7.3 Y Eksen Profil Seçimi ve Bilgisayar Destekli Analiz Sonuçları

Y eksen profili eğilme ve burulma momentlerine bileşik halde maruz kalmaktadır. Sabittir, hiçbir motorun bu profil ağırlığını taşıması gerekmemektedir, bu sebeple ucuz ve dayanıklı çelik malzemeden seçilmesin de bir sakınca yoktur.

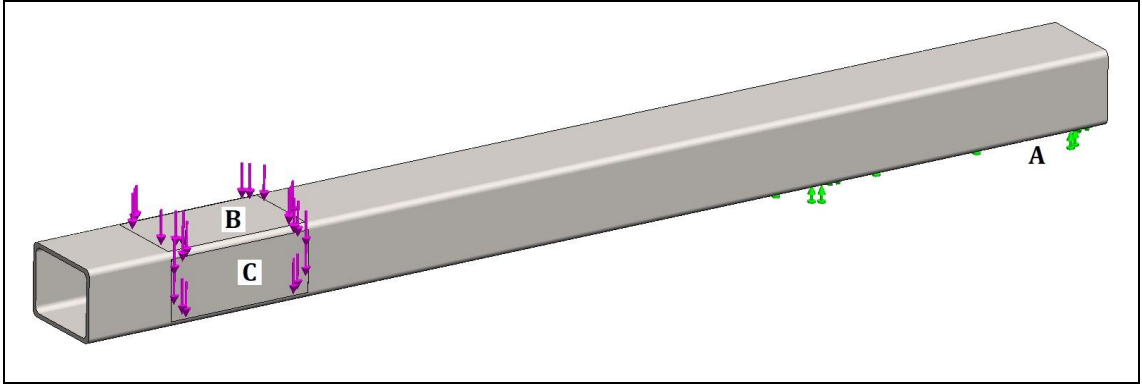
Bu proje kapsamında tasarlanan robot için 150X200X10 mm 2600 mm boyunda ST37 çelik kutu profil seçilmiştir.

Seçilen profil üzerinde analiz yapılırken uygulanan kuvvetler ve uygulama noktaları şu şekildedir (şekil 3.26);

A noktası: Eksenin sabit bir şaseye yataklanan kısmıdır. Bu tip robotlar genel olarak ya iki uçtan yataklanarak, ya da tek bir taraftan sabitlenerek monte edilirler. Bu çalışmada hesaplar, daha fazla zorlanma durumu olan tek taraftan sabitlenme durumuna göre yapılmıştır. Sabitlenme mesafesi 800mm olarak kabul edilmiştir.

B noktası: Toplam dinamik ve statik yükün (F_{ty}) Y eksen üzerindeki yataklandığı kısmıdır.

C noktası: X ve Z eksen kaynaklı statik ve dinamik yükün Y eksen profiline indirgenirken ortaya çıkan burulma momentinin kuvvet çifti olarak uygulandığı noktadır. Bu kuvvet aynı şekilde C noktası ile simetrik olarak profilin diğerk yüzüne de uygulanmıştır.



şekil 3.26 Y eksen analiz modeli

Uygulanan dış kuvvetler;

$$M_{by} = \left(\frac{m_{ty} L_x}{1000} \right) + \left(\frac{F_{dx} L_z}{1000} \right) = \left(\frac{85.9, 81.405}{1000} \right) + \left(\frac{2942.835}{1000} \right) = 2794(Nm) \quad (3.93)$$

M_{by} : Y eksene etkiyen burulma momenti (Nm). (şekil 3.24)

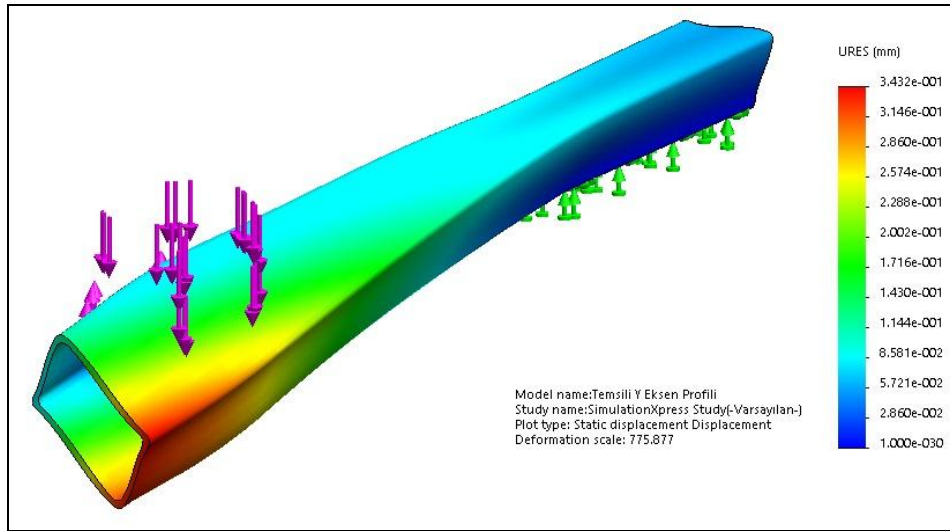
m_{ty} = Y ekseninde hareket eden toplam ağırlık (kg)

$$F_{Mby} = \frac{1000M_{by}}{s_y} = \frac{1000.2794}{200} = 13970(N) \quad (3.94)$$

F_{Mby} = C noktasında kuvvet çifti olarak uygulanacak değerk (N).

s_y = Y eksen profil genişliğı (mm).

$$F_{ty} = F_{dx} + (m_{ty} - m_z)g = 2942 + (85 - 20).9,81 = 3579(N) \quad (3.95)$$



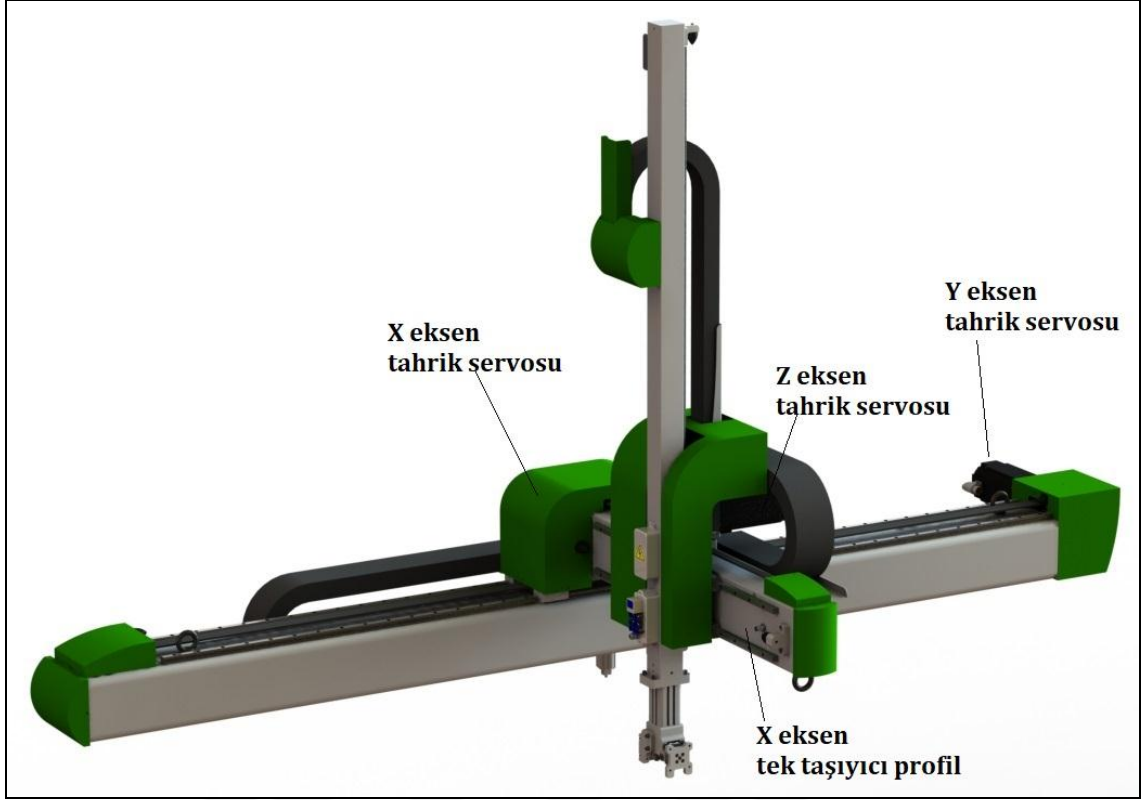
Şekil 3.27 Y eksen profili sehim analizi sonucu

Tasarım için önemli olan yer değiştirme kriteri analiz sonuçlarından incelenecek olursa, eksen uç noktasının maksimum yük ve maksimum ivme altında 0,34mm yer değiştirdiği görülmektedir. Kiriş yapısı ve yükler değerlendirildiğinde bu değer kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

3.8 Tasarımı Tamamlanan Robotun Karakteristik Özellikleri ve Görselleri

Çizelge 3.3 Nihai robot tasarımı karakteristik özellikler

Özellik	Marka Birim	Y Eksen	X Eksen	Z Eksen
Stroke	mm	2000	500	1000
Hız	m/s	3	2	3
Taşıma Kapasitesi	kg	5		
İvme	m/s ²	10	10	15
Eksen Uçtan Uca Seyahat Süresi	sn	0,96	0,45	0,53
Servo Motor	Keba	DSM2 70-24-60	DSM2 70-18-60	DSM2 70-24-60
Redüktör	Neugart	PLPE 90-5	PLPE 70-5	PLPE 90-5
Kayış Kasnak	Habasit	AT10 25 mm	AT10 15 mm	AT10 15 mm
Lineer Bilyalı Ray	THK	HSR 25L	HSR 15	HSR 15
Eksen Profili		150X200X10mm Boy 2600mm ST37	100X150X5mm Boy 1100mm ST37	60X60X mm Boy 1475mm Paslanmaz Çelik

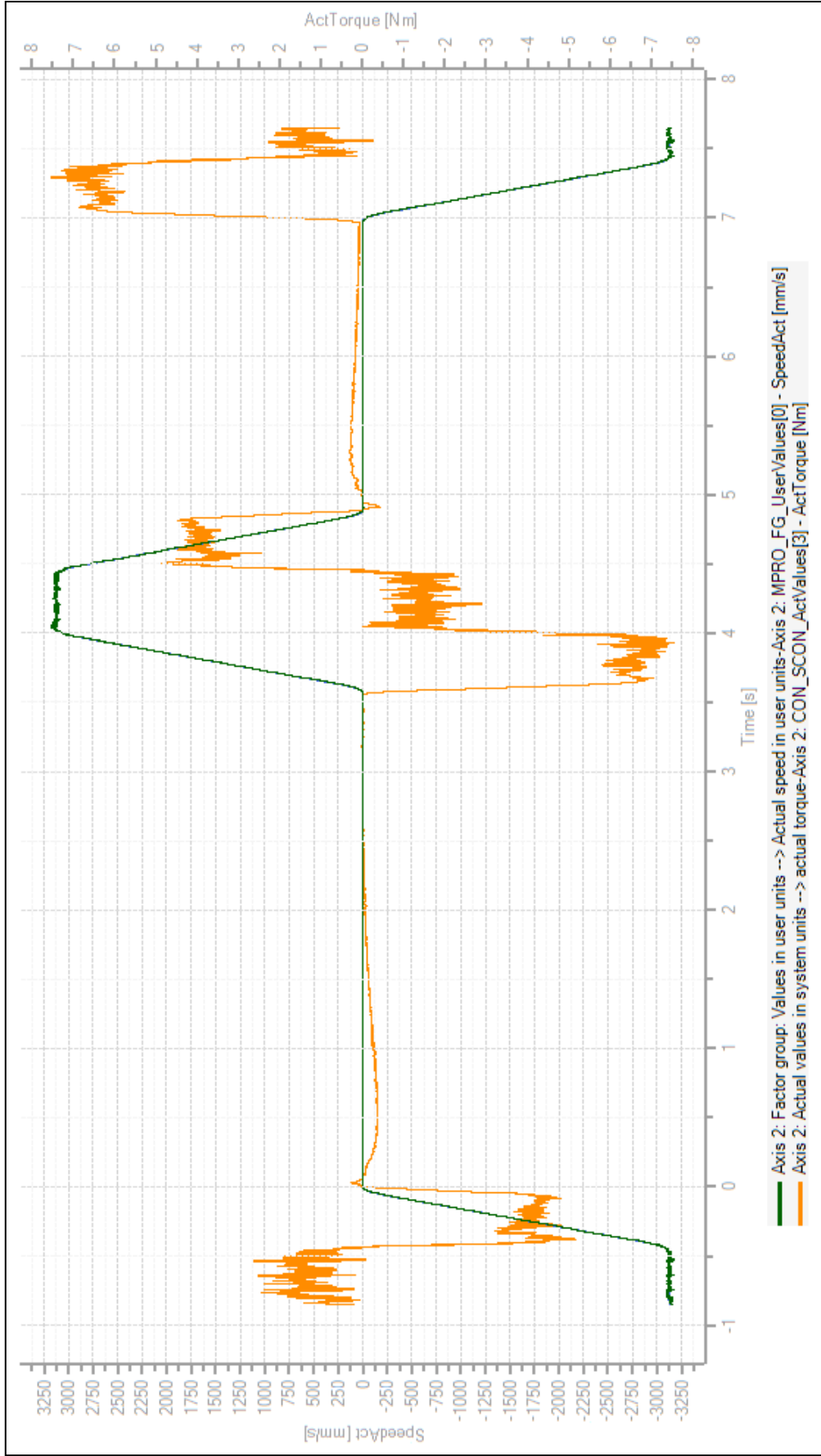


Şekil 3.28 Tasarımı yapılan 3 eksen Kartezyen robot görseli

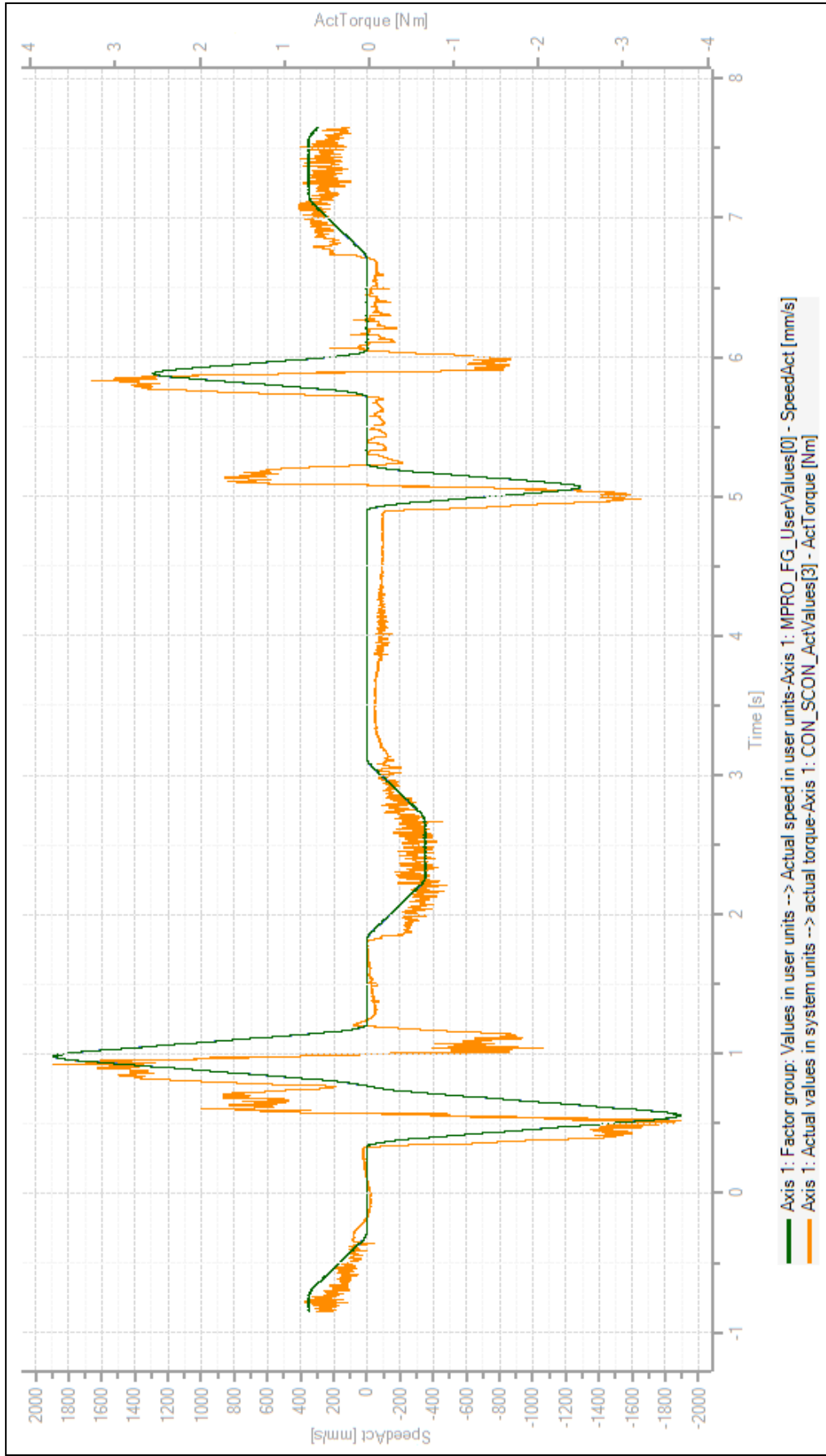
3.9 Servo Motor Test Sonuçları

Üretim sonrası test aşamasında, eksen servo motorları sürücülerinden alınan grafiklerle servo motor seçimi sırasında hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. İmalat ve montaj kusurları da değerlendirildiğinde seçilen motorların hesaplanan değerlere yakın çalıştığı tespit edilmiştir (Şekil 3.29 - Şekil 3.30 – Şekil 3.31).

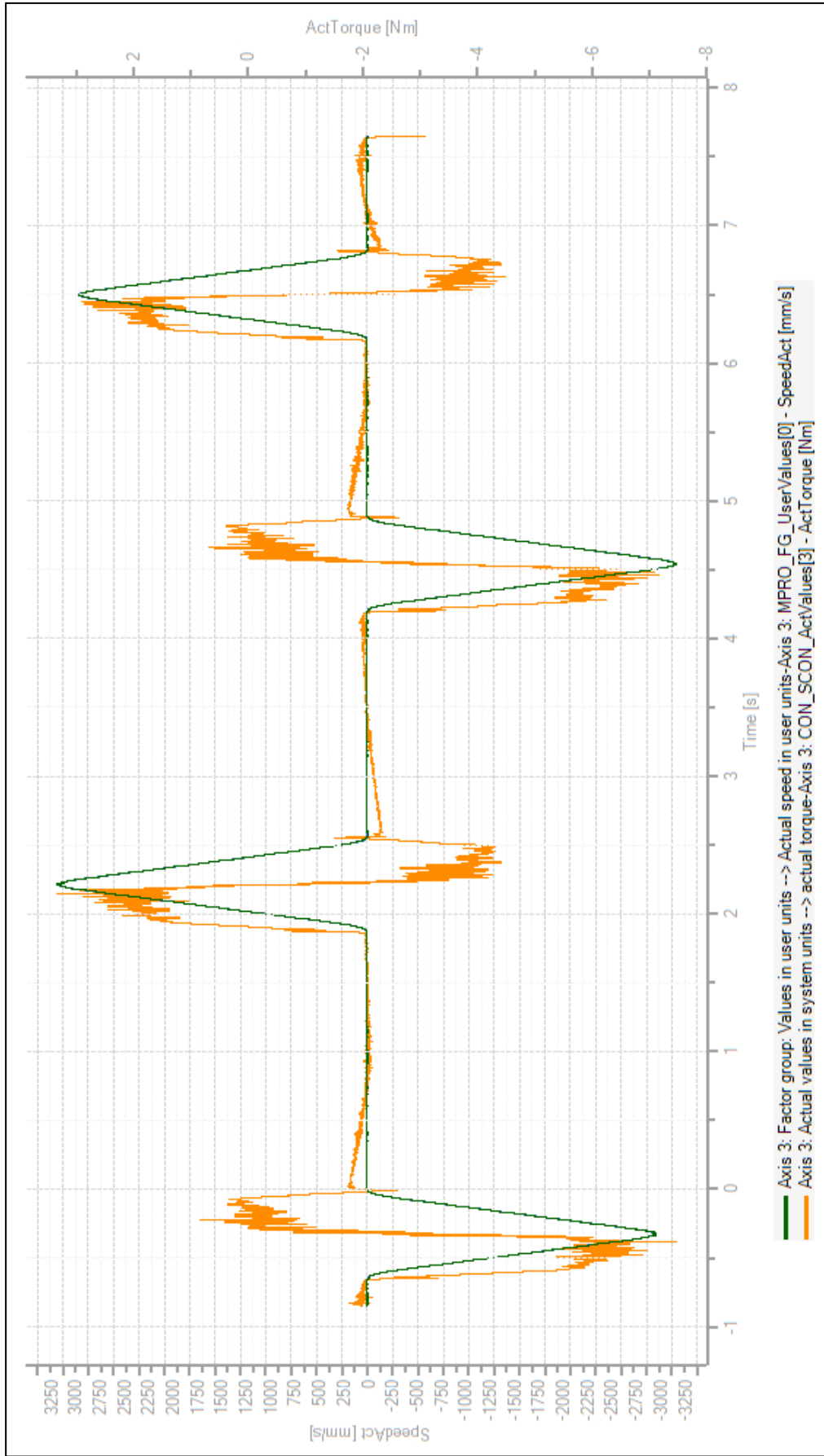
Test sırasında alınan sonuçlar ve hesaplanan değerler kıyaslandığında çıkan farkların olası sebepleri; montaj kusurları, işleme toleranslarının hassas olmaması, motor katalog datalarının optimum koşullara göre verilmesi ve gerçekte bu değerleri yakalamanın zorluğundan kaynaklıdır. Yapılan testler sonrası nihai olarak elde edilen gerçek tork değerleri tersine mühendislik ile formüle entegre edilerek nihai düzeltilmiş formülasyon oluşturulmalıdır. Bu formül tasarlanan robot tipine ve koşullara göre karakterize edilmiş özel bir formül olacaktır.



Şekil 3.29 Y eksen servo motor test sonuçları



Şekil 3.30 X eksen servo motor test sonuçları



Şekil 3.31 Z eksen servo motor test sonuçları

BÖLÜM 4

KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ

Tasarımı yapılan robotun, 2013 yılında endüstriyel bir ürün olarak piyasaya çıkmış başka bir robotla kıyası yapılmıştır. Karşılaştırmalarda kullanılan önceki tasarım verileri, bu çalışma kapsamında kullanılan hesaplama yöntemleri ile eski tasarım için hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 Y eksen özellikleri karşılaştırma yablosu

Y EKSEN KARŞILAŞTIRMA	Marka Birim	Yeni Tasarım	Önceki Tasarım	İyileştirme ~(%)
Strok	mm	2000	2000	-
Hız	m/s	3	2,5	20
Robot Taşıma Kapasitesi	kg	5	5	-
İvme	m/s ²	10	7	42
Eksen Uçtan Uca Seyahat Süresi	sn	0,96	1,16	20
Motordan İstenen Maksimum Moment	Nm	5,76	6,18	7
Motorun Hareket Ettirdiği Toplam Kütle	kg	85	115	35
Eksen Profili		150X200X10mm Boy 2600mm ST37	150X200X10mm Boy 2550mm ST37	-

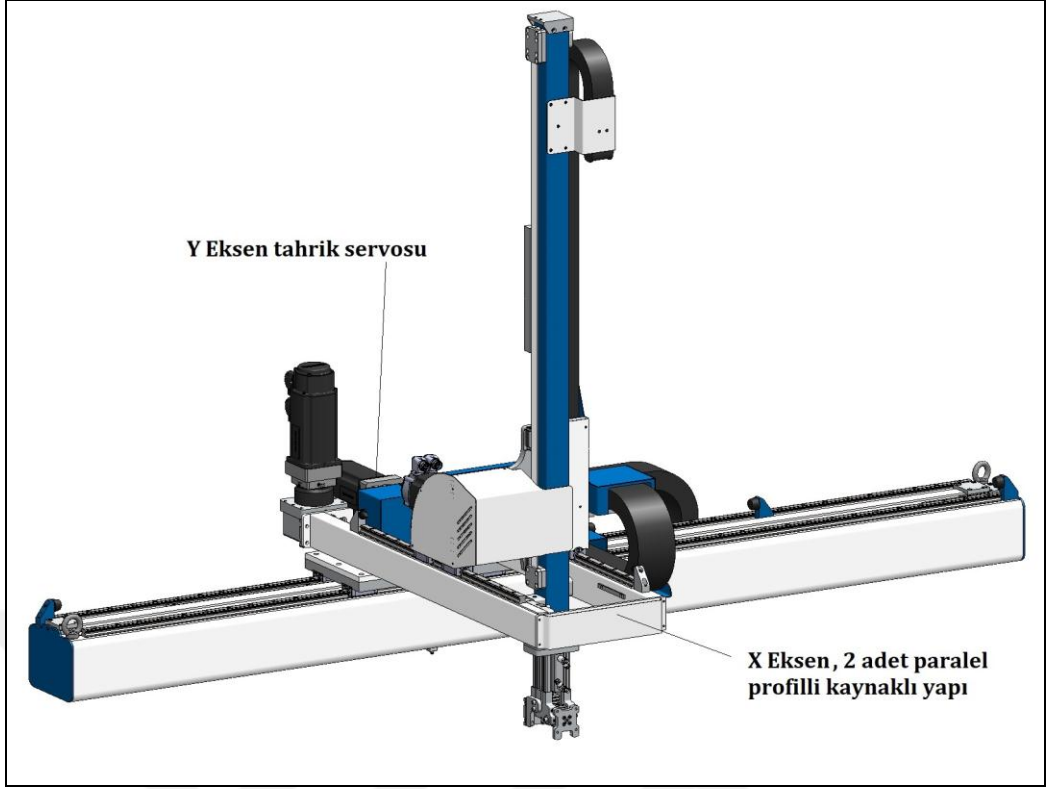
Çizelge 4.2 X eksen özellikleri karşılaştırma yablosu

X EKSEN KARŞILAŞTIRMA	Marka Birim	Yeni Tasarım	Önceki Tasarım	İyileştirme ~(%)
Strok	mm	500	500	-
Hız	m/s	2	1,8	11
İvme	m/s ²	10	5	100
Eksen Uçtan Uca Seyahat Süresi	sn	0,45	0,63	40
Motordan İstenen Maksimum Moment	Nm	3,31	3,48	2
Motorun Hareket Ettirdiği Toplam Kütle	kg	50	60	20
Eksen Profili		100X150X5mm Boy 1100mm ST37	2 Adet Paralel Kaynaklı Yapı 40X80X4mm Boy 1050mm ST37	-

Çizelge 4.3 Z eksen özellikleri karşılaştırma yablosu

Z EKSEN KARŞILAŞTIRMA	Marka Birim	Yeni Tasarım	Önceki Tasarım	İyileştirme ~(%)
Strok	mm	1000	1000	-
Hız	m/s	3	2,5	20
İvme	m/s ²	15	10	50
Eksen Uçtan Uca Seyahat Süresi	sn	0,53	0,65	22
Motordan İstenen Maksimum Moment	Nm	5,74	4,4	-24
Motorun Hareket Ettirdiği Toplam Kütle	kg	20	22	10
Eksen Profili		60X60X2mm Boy 1475mm Paslanmaz Çelik	60X60X3mm Boy 1495mm Al 6063	-

- Eski ve yeni tasarım karşılaştırıldığında, eksen stroklarının aynı olduğu görülmektedir.
- Eksen hızları Y eksen için %20, X eksen için %11 ve Z eksen için %20 artmıştır. Bu iyileşmenin sebebi, tasarım sürecinde bütün parçaların titizlikle hafifletilmesi, mekanik performanslarından kaybetmeden daha hafif bir tasarım yapılmasıdır.
- Sistemin daha hafif tasarlanması, aynı tip motorlar kullanılarak daha yüksek ivmelerde çalışmasına da olanak sağlanmıştır. İvme değerlerindeki artış tablolardan görülebilir.
- Eksen uçtan uca seyahat mesafeleri incelendiğinde, daha yüksek hız ve ivmeler sayesinde yeni tasarımın daha hızlı çalıştığı görülmektedir.
- Robot tasarımının iyileştirilmesi, motorlardan istenen güçleri de azaltmıştır. Yalnızca Z eksen motorundaki tork ihtiyacı %24 oranında artmıştır. Fakat motor değiştirmeden bu fark karşılanabilmektedir.
- Önceki tasarımdaki çift kollu X eksen profil yapısı, yeni tasarımla tek profile düşürülmüştür. Her ne kadar çift kollu yapı eksene burulma kuvveti gelmemesini sağlasa da, yeni sistem üzerinde yapılan bilgisayar destekli analiz sonucu, tek kollu yapıdaki sehimin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu saptanmıştır.
- Eski tasarımda Y eksen tahrik grubunun hareket eden eksen üzerinden sabit noktaya alınması hem maliyet açısından daha az parça ile aynı işin görülmesine olanak sağlamış, hem de motorun kendi ağırlığı hem de redüktör, kayış dişlisi, bağlantı plakası gibi diğer parçaların ağırlığını da taşıması önlenmiştir. Bu sayede aynı strok ve taşıma yükünde, daha az tork ihtiyacı ile daha hızlı çalışma mümkün olmuştur.
- Z eksen açısından incelendiğinde ise, profilin çelik profile çevrilmesine rağmen tasarım daha da hafifletilmiş, fakat daha hızlı çalışma amaçlı daha yüksek hız ve ivme değeri hedeflenmesinden dolayı gerekli motor torku yeni tasarımda bir miktar daha fazla çıkmıştır.



Şekil 4.1 Önceki tip tasarım görseli

SONUÇ VE ÖNERİLER

Hazırlanan bu yüksek lisans tezi çalışmasında 3 eksen Kartezyen robotlar için piyasa araştırması yapılmış, mevcut robot tipleri kıyaslanmış, robot temel karakteristik özellikleri doğrudan etkileyecek olan; tahrik sistemleri, güç aktarma sistemleri, yataklama sistemleri ve temel taşıyıcı profiller incelenmiş, alt komponent seçimleri hesaplamalı olarak yapılmış ve ortaya çıkan 3 eksen üzerinde servo motor testleri gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan robot verileri, 2013 yılında endüstriyel bir ürün olarak pazara çıkan eski bir robot verileri ile kıyaslanmıştır.

Çalışma kapsamında verilen hesaplama yöntemleri, çalışma koşullarına göre durum değerlendirmesi ve komponent seçimleri, tecrübeler ve test sonuçlarından alınan geri bildirimlerin tekrar tasarım üzerine uygulanması sonucu, genel bir değerlendirme ile bakılacak olduğunda, yeni tip tasarımın eski tip tasarıma göre %26 oranında daha hızlı olduğu tespit edilmiştir.

Tasarım, üretim ve montaj süreci boyunca karşılaşılan başlıca zorluklar, çözüm önerileri ve dikkat edilmesi gereken noktalar şu şekildedir;

- Tasarım süreci, hedeflenen hız, ivme ve taşıma yükü değerlerine göre ilerlemiştir.

Tasarım, robotun maksimum hız ve ivmede, maksimum yük altında çalıştığı koşullar göz önüne alınarak yapılmıştır. Piyasadaki robot verileri incelendiğinden robot üreticilerinin bu verileri vermekten kaçındıkları tespit edilmiştir. Bu durum, uygulama hızları ve yüklerine göre robotların hız ve ivme değerlerinin ayarlandığı ve sabit bir hız değeri verilmekten kaçınıldığı olarak yorumlanabilir. Ek olarak robot ile taşınan yükün konumu da önemlidir, Z eksen merkezinden çok kaçık olarak etkiyecek yük Z eksen üzerinde ekstra titreşime

sebebiyet verecek ve maksimum ivmelere çıkılmasına müsaade etmeyecektir. Bu sebeple robot tasarımı yaparken mümkün olduğunca amaçları iyi belirlenmeli ve sınır değerler buna göre belirlenip tüm karakteristik değerler bu koşullara göre optimize edilmelidir.

- Servo motor ve sürücüsü sistemin en pahalı elemanların biridir, bu sebeple mümkün olduğunca küçük motor seçimi yapılmalıdır. Kasnak çapının küçülmesi motor miline indirgenen ataleti küçültse de, redüktör motor miline indirgenen ataleti çevrim oranının karesi oranında azaltır. Bu sebeple redüktör çevrimi büyük seçilmeye çalışılmalı, kaybedilen hız kasnak çapından ayarlanmaya çalışılmalıdır.
- Seçilen redüktör, redüktör miline gelen radyal yük hariç bütün değerleri karşılıyor ise bir büyük redüktöre geçmek yerine kasnağı redüktörle aynı merkezli karşı noktadan rulman ile yataklamak daha az maliyetli bir çözüm olacaktır.
- Robot modellemesi yapılırken mümkün olduğunca az parça kullanılmalı ve sistemin olabildiğince hafif olması sağlanmalıdır. Eski bir robot tipi ile yapılan karşılaştırmalı analizde de görüldüğü üzere, tasarım sırasında alınacak küçük önlemler ve tasarımın hafifletilmesi, aynı işi daha hızlı ve daha az güçle yapmaya olanak sağlamaktadır.
- Tahrik gruplarının sisteme bağlantı noktalarında tespit edilen işleme hataları, tahrik grubunun sistem kılavuz raylarına paralel bir şekilde bağlanmasına engel olmuştur. Profiller işlenirken tezgahlara mengene yardımı ile birkaç noktadan değil, manyetik olarak her noktadan eşit bir şekilde bağlanması bu sorunu çözmüştür.
- Yine aynı şekilde kızakların oturduğu yüzeylerin işlenmesi de, yukarıda bahsedilen şekilde yapılmalıdır. Ek olarak rayların montajı sırasında çok dikkatli olunmalı ve gerekiyorsa kılavuzlar kullanılarak rayların birbirine paralelliği sağlanmalıdır. Aksi durumda sisteme eklenecek ekstra yükler hem blokların ömrünün azalmasına, hem de ekstra sürtünme sebebiyle servo motor ve bütün güç aktarım sisteminin yorulmasına sebebiyet verecektir.

- Dişli Kayış kasnak tertibatında kayış gerginliğini ayarlamak için teçhizat bulundurulması zorunludur, teçhizatsız tecrübeli teknisyenler tarafında ayarlanabilirse de, redüktör millerine ek yük bindirmemek ve sistemin sağlıklı çalışmasını sağlamak adına rakamsal ayar yapmak gerekmektedir.
- Çalışmalar sırasında ana profillerin seçiminde piyasadaki mevcut profillerden tercih edilmeye çalışılmış ve kısıtlı seçenek olması zorluk doğurmuştur. Tasarlanan robotun seri üretim olarak üretilmesi durumunda amaca dayalı profiller tasarlanarak üretim yaptırılabilir. Özellikle dikey Z eksen profili, ağırlık merkezi ray merkezleri ile çakışık veya çok yakın olacak şekilde imal edilebilirse, eksek dışı yükler ortadan kalkacak ve daha hafif kol tasarımı mümkün olacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] Gökhan, A., Otonom Robotlar, Endüstriyel Robotlar Ders Notları, 2011.
- [2] Erpe-Meteg, Endüstriyel Robot Sistemleri, 2.Bölüm, 2013.
- [3] Börklü, R. H., Robotik Ders Notları, Mart 2007.
- [4] Machine Design, <http://www.machinedesign.com/motion-control/difference-between-cartesian-six-axis-and-scara-robots>, 13 Nisan 2018.
- [5] Sepro Success 33, <http://www.tepro.com.tr/index.php/en/markalar/9/success-10>, 25 Mart 2018.
- [6] Wittmann Robots, <http://www.wittmann-group.com/automation/cnc-robots.html> , 20 Mayıs 2018.
- [7] Sytama S7 Robot, <http://www.sytrama.com/en-us/products/small-robots/s7/> , 28 Mart 2018.
- [8] MEGEP, Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Servo Motor ve Sürücüleri Modülü, Kod: 523EO0076, MEB, Ankara, 2011.
- [9] Lineer Servo Motorlar, <https://tinyurl.com/lineer>, 13 Nisan 2018.
- [10] Gezici, Ş., Step Motorlar, <http://www.teknobeyin.com/step-motorlar-hakkinda-her-sey.html>, 22 Kasım 2014.
- [11] Budak, M., Hidrolik ve Pnömatik Aktüatörler, Kasım 2016.
- [12] KEBA Inc., Synchronous servomotors and connection technology, Project engineering manual V 1.02 , Ekim 2014.
- [13] Tetik, G., Otomasyon Dergisi Ropörtaj, <http://www.otomasyondergisi.com.tr/arsiv/yazi/neugart-turkiye-genel-muduru-goksel-tetik-pazardaki-bircok-servo-motor-uygulamasinda-boslaksuz-reduktor-kullanimi-buyuk-avantajdir> , 15 Mayıs 2018.
- [14] Harmonik Drive, <http://ahmetseimankurt.com/harmonic-drive-nedir> , 03 Haziran 2018.
- [15] Gediktaş, M., Yücenur, S., Kayış Kasnak Mekanizmaları, İstanbul, 1989.
- [16] Kramayer Dişliler, <http://atilimgucaktarma.com/works/kremayer-disliler/> , 03 Haziran 2018.

- [17] Temiz V., Dişli Çark Mekanizmaları, Makine Elemanları Ders Notları, İTÜ, İstanbul, 2017.
- [18] Temiz V., Kayış Kasnak Mekanizmaları, Makine Elemanları Ders Notları, İTÜ, İstanbul, 2017.
- [19] OMRON Inc., Technical Explanation for Servomotors and Servo Drives, CSM_Servo_TG_E_1_1 , Kasım 2010.
- [20] Temiz V., Lineer Yataklar, Makine Elemanları Ders Notları, İTÜ, İstanbul, 2017.
- [21] Rollon Ürün Bilgileri, <http://www.rollon.com/TR/tr/products/linear-line/1-compact-rail/> , 03 Mayıs 2018.



KeDrive DMS2-070 Synchronous Motors

Flange Dimension 70 mm

	P_N W	T_N Nm	n_n rpm	T_e Nm	T_{max} Nm	I_N A _{rated}	I_2 A _{max}	I_{max} A _{max}	J^{**} kgcm ²	L^{**} mm	m^{***} kg
DMS2-070-0006-30	172,8	0,55	3000	0,5	2,1	0,4	0,4	1,8	0,25	123 (158)	2,0
DMS2-070-0012-30	345,6	1,10	3000	1,2	4,2	0,8	0,8	3,6	0,44	138 (173)	2,2
DMS2-070-0018-30	518,4	1,65	3000	1,8	6,3	1,1	1,2	5,4	0,63	153 (188)	2,6
DMS2-070-0024-30	691,2	2,20	3000	2,4	8,5	1,5	1,7	7,3	0,82	180 (211)	2,8
DMS2-070-0006-60	314,2	0,5	6000	0,5	2,1	0,7	0,8	3,6	0,25	123 (158)	2,0
DMS2-070-0012-60	628,0	1,0	6000	1,2	4,2	1,4	1,6	7,2	0,44	138 (173)	2,2
DMS2-070-0018-60	942,5	1,5	6000	1,8	6,3	2,1	2,5	10,8	0,63	153 (188)	2,6
DMS2-070-0024-60 (P)	1255	2,0	6000	2,4	8,5	2,7	3,3	14,7	0,82	180 (211)	2,8

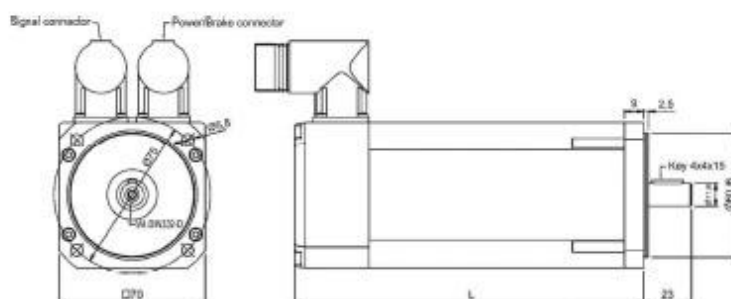
*) With brake the torque of inertia is higher by 0,38 kgcm²

**) Lengths refer to options 1: Hiperface SKM36/SKS36 and B0: without brake (or B1: with brake); an overview of all lengths is on p. 26

***) With brake approx. 0,6 kg more weight

(P) according to the selected option available as preferred model (→ p. 4)

Dimensions DMS2-070



Motors of the type DMS2-070-0024 have 14 mm shaft diameter (instead of 11 mm)

NEUGART – REDÜKTÖR KATALOĞU

PLPE

Teknik veriler

Technical data

PLPE

Code	Redüktör karakteristiği	Gearbox characteristics			PLPE050	PLPE070	PLPE090	PLPE120	PLPE155	z ⁽¹⁾
	Kullanım ömrü	Service life	t _L	h	30.000					
	Tam yükte verim ⁽²⁾	Efficiency at full load ⁽²⁾	η	%	98					1
					97					2
	Min. çalışma sıcaklığı	Min. operating temperature	T _{min}	°C	-25					
	Maks. çalışma sıcaklığı	Max. operating temperature	T _{max}		90					
	Koruma sınıfı	Protection class			IP 54					
S	Standart yağlama	Standard lubrication			Gres yağı / Grease					
F	Gıdaya uygun yağlama	Food grade lubrication			Gres yağı / Grease					
L	Düşük sıcaklıklara uygun yağlama ⁽²⁾	Low temperature lubrication ⁽²⁾			Gres yağı / Grease					
	Montaj şekli	Installation position			İsteğe göre / Any					
S	Standart boşluk	Standard backlash	j ₁	arcmin	< 15	< 10	< 7	< 7	< 8	1
					< 19	< 12	< 9	< 9	< 10	2
	Burulma dayanımı ⁽²⁾	Torsional stiffness ⁽²⁾	C _q	Nm / arcmin	0,8 - 1,1	2,6 - 3,5	7,3 - 9,8	20,0 - 27,0	38,5 - 52,0	1
					0,8 - 1,1	2,7 - 3,5	7,4 - 9,8	20,5 - 27,0	39,5 - 52,0	2
	Redüktör ağırlığı	Gearbox weight	m _G	kg	0,7	1,5	3	7,5	16,5	1
					0,9	1,8	3,7	9,7	20,5	2
S	Standart yüzey kaplama	Standard surface			Gövde: Çelik – Nitrokarbürize edilmiş ve oksidasyon yapmış (siyah) Housing: Steel – nitrocarburtized and post-oxidized (black)					
	Çalışma sessizliği ⁽¹⁾	Running noise ⁽¹⁾	Q _B	dB(A)	58	58	60	65	70	
	Motor bağlantı flanşı için maks. eğilme momenti ⁽¹⁾	Max. bending moment based on the gearbox input flange ⁽¹⁾	M _b	Nm	3	8	16	40	180	
	Motor bağlantı flanşı hassasiyeti	Motor flange precision			DIN 42955-N					

Çıkış milii taşıma yükü	Output shaft loads			PLPE050	PLPE070	PLPE090	PLPE120	PLPE155	z ⁽¹⁾
20.000 h için radyal kuvvet ⁽²⁾⁽³⁾	Radial force for 20,000 h ⁽²⁾⁽³⁾	F _{r,20.000h}	N	800	1050	1900	2500	5200	
20.000 h için eksenel kuvvet ⁽²⁾⁽³⁾	Axial force for 20,000 h ⁽²⁾⁽³⁾	F _{a,20.000h}		1000	1350	2000	4000	7000	
30.000 h için radyal kuvvet ⁽²⁾⁽³⁾	Radial force for 30,000 h ⁽²⁾⁽³⁾	F _{r,30.000h}		700	900	1700	2150	4600	
30.000 h için eksenel kuvvet ⁽²⁾⁽³⁾	Axial force for 30,000 h ⁽²⁾⁽³⁾	F _{a,30.000h}		800	1000	1500	3000	6000	
Statik radyal kuvvet ⁽²⁾⁽³⁾	Static radial force ⁽²⁾⁽³⁾	F _{r,stat}		1300	1650	3100	4000	8400	
Statik eksenel kuvvet ⁽²⁾⁽³⁾	Static axial force ⁽²⁾⁽³⁾	F _{a,stat}		1000	2100	3800	5900	11000	
20.000 h için döndürme (devirme) momenti ⁽²⁾⁽³⁾	Tilting moment for 20,000 h ⁽²⁾⁽³⁾	M _{K,20.000h}	Nm	26	42	99	168	497	
30.000 h için döndürme (devirme) momenti ⁽²⁾⁽³⁾	Tilting moment for 30,000 h ⁽²⁾⁽³⁾	M _{K,30.000h}		22	36	89	144	440	

Atalet momenti	Moment of inertia			PLPE050	PLPE070	PLPE090	PLPE120	PLPE155	z ⁽¹⁾
Kütesel atalet momenti ⁽²⁾	Mass moment of inertia ⁽²⁾	J	kgcm ²	0,015	0,069	0,374	1,419	4,932	1
				0,030	0,174	0,789	2,764	7,611	
				0,014	0,064	0,356	1,376	4,759	
				0,026	0,126	0,625	2,334	7,108	2

Çıkış torku	Output torques			PLPE050	PLPE070	PLPE090	PLPE120	PLPE155	$i^{(1)}$	$z^{(2)}$
Nominal çıkış torku ⁽²⁾⁽³⁾	Nominal output torque ⁽²⁾⁽³⁾	T_{2N}	Nm	11	26	85	115	-	3	1
				15	33	90	155	460	4	
				13	30	82	172	445	5	
				8,5	25	65	135	-	7	
				6	18	50	120	-	8	
				5	15	38	95	210	10	
				12	33	97	157	-	9	
				15	33	90	195	-	12	
				13	33	82	172	-	15	2
				15	33	90	195	460	16	
				15	33	90	195	460	20	
				13	30	82	172	445	25	
				15	33	90	195	-	32	
				13	30	82	172	460	40	
				-	-	-	-	445	50	
				7,5	18	50	120	-	64	
				5	15	38	95	210	100	
Maks. çıkış torku ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	Max. output torque ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	T_{2max}	Nm	17,5	45	136	184	-	3	1
				24	53	144	248	736	4	
				21	48	131	275	712	5	
				13,5	40	104	216	-	7	
				9,5	29	80	192	-	8	
				8	24	61	152	336	10	
				19	53	155	251	-	9	
				24	53	144	312	-	12	2
				21	53	131	275	-	15	
				24	53	144	312	736	16	
				24	53	144	312	736	20	
				21	48	131	275	712	25	
				24	53	144	312	-	32	
				21	48	131	275	736	40	
				-	-	-	-	712	50	
				12	29	80	192	-	64	
				8	24	61	152	336	100	

Çıkış torku	Output torques			PLPE050	PLPE070	PLPE090	PLPE120	PLPE155	$i^{(1)}$	$z^{(2)}$
Acil durdurma torku ⁽¹⁾	Emergency stop torque ⁽¹⁾	T_{2stop}	Nm	22,5	66	180	390	-	3	1
				30	88	240	520	920	4	
				36	80	220	500	890	5	
				26	80	178	340	-	7	
				27	80	190	380	-	8	
				27	80	200	480	420	10	
				33	88	250	500	-	9	
				40	88	240	520	-	12	2
				36	88	220	500	-	15	
				40	88	240	520	920	16	
				40	88	240	520	920	20	
				36	80	220	500	890	25	
				40	88	240	520	-	32	
				36	80	220	500	920	40	
				-	-	-	-	890	50	
				27	80	190	380	-	64	
				27	80	200	480	420	100	

Redüktör girişi dönme hızı	Input speeds			PLPE050	PLPE070	PLPE090	PLPE120	PLPE155	$i^{(1)}$	$z^{(2)}$
T_{2N} , S1 ve ortalama ısıda dönme hızı ⁽¹⁾⁽³⁾	Average thermal input speed at T_{2N} and S1 ⁽¹⁾⁽³⁾	n_{2N}	min ⁻¹	5000	4500 ⁽³⁾	3250 ⁽³⁾	2650 ⁽³⁾	-	3	1
				5000	4500 ⁽³⁾	3750 ⁽³⁾	2800 ⁽³⁾	1800 ⁽³⁾	4	
				5000	4500	4000 ⁽³⁾	3100 ⁽³⁾	2150 ⁽³⁾	5	
				5000	4500	4000	3500 ⁽³⁾	-	7	
				5000	4500	4000	3500	-	8	
				5000	4500	4000	3500	3000	10	
				5000	4500	4000 ⁽³⁾	3500 ⁽³⁾	-	9	
				5000	4500	4000	3500 ⁽³⁾	-	12	2
				5000	4500	4000	3500 ⁽³⁾	-	15	
				5000	4500	4000	3500 ⁽³⁾	2900 ⁽³⁾	16	
				5000	4500	4000	3500	3000 ⁽³⁾	20	
				5000	4500	4000	3500	3000 ⁽³⁾	25	
				5000	4500	4000	3500	-	32	
				5000	4500	4000	3500	3000	40	
				-	-	-	-	3000	50	
				5000	4500	4000	3500	-	64	
				5000	4500	4000	3500	3000	100	
Maks. mekanik dönme hızı ⁽⁴⁾	Max. mechanical input speed ⁽⁴⁾	n_{2max}	min ⁻¹	18000	13000	7000	6500	5500		

HABASIT – DİŞLİ KAYIŞ KATALOĞU

HabaSYNC® Open-end Timing Belts ATM10-S-01



Main industry segments

Materials handling, packaging and automation

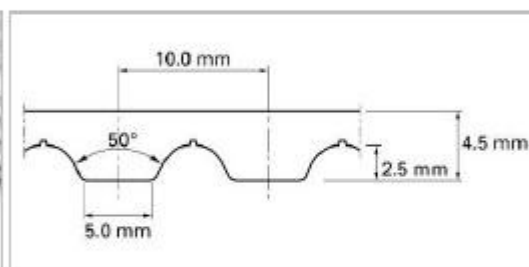
Belt applications

Packaging machinery, automated storage systems, pick-n-place transports, vertical lifts

Description

Trapezoid teeth with a 50° tooth angle are spaced on 10 mm centers.

White thermoplastic polyurethane with 92 Shore A provides wear resistance on the tooth side and protects the steel tensile member. This is constructed to provide wide lanes for clean drilling of holes up to 6 mm for mechanical attachment assembly. Our material also provides high lubricity, which yields low noise and vibration meshing in and out of the drive pulley.



Sketch of basic shape

Belt data

Belt slitting width, nominal		Admissible tensile force, open belt		Tensile force for 1% elongation		Mass of belt (belt weight)	
mm	inch	N	lbf	N	lbf	kg/m	lb/ft
25	0.98	2600	585	6500	1461	0.13	0.09

Standard belt widths are equal to, or multiples of the nominal belt slitting width.

Maximum belt width (150 mm / 6 inch): All **non-standard belt widths** can be slitted on request.

Temperature range of matrix material: -20 to 80 °C (-4 to 176 °F)

The tensile force for 1% elongation (k1% static) per unit of width determines the stress-strain behavior of the belt. It defines the resulting strain if a certain stress is applied and vice versa. This value corresponds to the belt without joint.

The admissible tensile force of a running belt is defined by the strength of the joint or by the strength of the belt without joint. Habasit defines an admissible belt force (without joint) for all belts, which always corresponds with a belt elongation of 0.4 %. Joined belts are calculated with half admissible force. Please contact Habasit for detailed information and calculations.

All data are approximate values under **standard climatic conditions**: 23 °C / 73 °F, 50% relative humidity (DIN 50005 / ISO 554), and are based on the Master Joining Method.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serkan POYRAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.10.1988 , Artvin
Yabancı Dili : İngilizce , İspanyolca
E-posta : serkanpoyrazz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y.Lisans	Makine Müh. - Konstrüksiyon	Yıldız Teknik Üniversitesi	2018
Lisans	Makine Müh. - Konstrüksiyon	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Bursa Erkek Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012-Halen	ENELKON OTOMASYON	Tasarım/Ar-Ge Müdürü