

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AGV ÜZERİNDE BULUNAN ROBOT KOLU
TASARIMI

Recep AKKAYA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2004

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AGV ÜZERİNDE BULUNAN ROBOT KOLU
TASARIMI

Recep AKKAYA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç.Dr.Fehmi ERZİNCANLI

GEBZE

2004

ÖZET

Günümüzde hızlı nüfus artışının doğal bir sonucu olarak farklı türdeki ürünlere olan talep giderek artmakta, dolayısıyla da imalat sistemlerinde olağanüstü gelişmeler meydana gelmektedir. Geçtiğimiz yüzyılın yarısında ortaya atılan otomasyona dayalı imalat sistemi genişleyerek optimizasyon devrine geçilmiş, üretim verimliliğini arttırarak yatırım masraflarını azaltan, daha fazla üretim yapmanın yanı sıra kaliteyi de yükselten ve bu arada çok daha insancıl çalışma koşulları sunan “robotlar” devri başlamıştır.

Bu çalışmada robot kolu ile Otomatik Güdümlü Vasıta üzerinde malzeme taşınması işlemini gerçekleştirmek için gerekli altyapı hazırlandı. Otomasyon, otomatik malzeme aktarımı, malzeme aktarım sistemleri ve prensipleri, Otomatik Güdümlü Vasıta kavramları incelendi. Robot kolu konfigürasyonları ve birbirlerine kıyasla olumlu-olumsuz yanları incelendi. AGV üzerine yerleştirilecek robot kolu konfigürasyonu seçimi yapıldı. Çok sayıda kriter dikkate alınarak robot kolu için kullanılacak malzeme seçildi. AGV üzerinde robot kolu yeri tespit edildi. Robot hareketlerinde kullanılan motorlar ve bu motorların birbirlerine kıyasla olumlu ve olumsuz yanları incelendi. Robot kolunda kullanılacak motor tipi seçimi yapıldı. Kaldırılacak yük dikkate alınarak robot kolu kalınlıkları hesaplandı. Robot kollarında kullanılan motorların kapasiteleri hesaplandı. Robot kolunun kinematiği incelendi. Tasarlanan robot kolunun Pro/ENGINEER programında çizimleri yapıldı ve ANSYS programında analizleri gerçekleştirildi.

SUMMARY

As a result of rapid rise in population today, there has been an increasing demand on different types of products. Therefore in manufacturing systems there have been extraordinary developments. As a consequence of expanding the automation-based manufacturing system that was suggested in the middle of last century, optimization age was passed through; and the “robot” era that allows to increase productivity by decreasing investment costs, increase quality level with production rate, and provide more humanitarian working conditions has begun.

In this study, material transport using a robot arm on AGV has been presented. Initially, to ease the presentation the terms automation, automated material transport, robot and automated guided vehicle are given, and robot arm configurations and their advantages-disadvantages are discussed. Robot arm configuration and material are selected. Required actuators with advantage-disadvantages are examined to select proper actuator type, for the robot-AGV configuration. Thickness of each robot links and motor capacities are calculated. The kinematics of the proposed manipulator has been examined. Technical drawings prepared via Pro/ENGINEER and analyses with ANSYS are also presented.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde değerli fikir ve tecrübeleriyle beni yönlendiren Tez Danışmanım Sayın Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI'ya (Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölüm Başkanı) teşekkür ederim. Analiz konusunda yardımlarını esirgemeyen Sayın Araş. Gör. Oğuz KAYABAŞI'ya (Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümü) ve elektrik-mekanik konusunda bilgilerini benimle paylaşan Sayın Mehmet Emin EFE'ye (T.C.D.D. Pendik Trafo Şefi) teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmam esnasında bana verdiği destekten dolayı Sevgili Eşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1. Otomasyon	3
2.1.1. Sabit Otomasyon	4
2.1.2. Programlanabilir Otomasyon	4
2.1.3. Esnek Otomasyon	4
2.2. Otomatik Malzeme Aktarımı	4
2.2.1. Malzemelerin Otomasyon İle Taşınmasının Faydaları	5
2.2.2. Malzeme Aktarımının Prensipleri	7
2.3. Robot	8
2.4. Otomatik Güdümlü Vasıtalar	10
2.4.1. Kontrol Kutusu	11
2.4.2. Akü	11
2.4.3. Sürücü Ünitesi	11
2.4.4. Kaldırma Ünitesi	12
2.4.5. Sabit Kaldırıcı Direk	12
2.4.6. Çiftli Kaldırıcı Direk	13
2.4.7. Palet	14
2.4.8. Ön Tampon	15
2.4.9. Arka Destek Ayakları	16
2.5. AGV Sistemlerinin Sınıflandırılması	16
2.5.1. Sürücüsüz Trenler	16
2.5.2. AGV Paletli Çekicileri	17
2.5.3. AGV Ünite Yük Taşıyıcıları	17

3. ROBOT KOLU KONFİGÜRASYONUNUN SEÇİMİ	19
3.1. Küresel Koordinat Konfigürasyonu	20
3.2. Silindirik Koordinat Konfigürasyonu	21
3.3. Mafsallı Kol Konfigürasyonu	22
3.4. Kartezyen Koordinat Konfigürasyonu	24
3.5. SCARA Tipi Robot Kolu	25
3.6. Sonuç	26
4. TASARIM	28
4.1. Robot Kolu İçin Malzeme Seçimi	28
4.1.1. Elastiklik Sabiti – Yoğunluk Tablosu	28
4.1.2. Dayanım – Yoğunluk Tablosu	29
4.1.3. Kırılma Tokluğu – Yoğunluk Tablosu	30
4.1.4. Elastiklik Sabiti – Dayanım Tablosu	31
4.1.5. Kırılma Tokluğu – Elastiklik Sabiti Tablosu	32
4.1.6. Kırılma Tokluğu – Dayanım Tablosu	33
4.1.7. Elastiklik Sabiti – Göreceli Maliyet Tablosu	34
4.1.8. Dayanım – Göreceli Maliyet Tablosu	35
4.1.9. Sıralama	36
4.1.10. Sonuç	37
4.2. AGV Üzerine Robot Kolunun Yerleştirilmesi	38
4.2.1. AGV Dışındaki İstasyonlara Yerleştirilen Robot Kolu	38
4.2.2. AGV’nin Köşe Noktasına Yerleştirilen Kol	38
4.2.3. AGV’nin Orta Noktasına Yerleştirilen Robot Kolu	38
4.2.4. Sonuç	39
4.3. Robot Kolunda Kullanılacak Motor Seçimi	40
4.3.1. Hidrolik Tahrikli Robotlar	40
4.3.2. Pnömatik Tahrikli Robotlar	40
4.3.3. Elektrik Motorları	41
4.3.4. Sonuç	41
4.4. Robot Kolu Kalınlığının Hesaplanması	43
4.4.1. A Kolu İçin Hesaplama	44
4.4.2. B Kolu İçin Hesaplama	47
4.4.3. C Kolu İçin Hesaplama	51

4.5. Motor Kapasitelerinin Belirlenmesi	57
4.5.1. A Kolundaki Motor İçin Moment Hesabı	57
4.5.2. B Kolundaki Motor İçin Moment Hesabı	58
4.5.3. C Kolundaki Motor İçin Moment Hesabı	58
4.6. Robot Kolu Kinematiği	59
5. ANALİZ	63
5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi	63
5.1.1. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması	64
5.1.2. Sonlu Elemanlar Analizi	65
5.1.3. Sonuçların Değerlendirilmesi	65
5.2. PRO/ENGINEER Çizimleri	66
5.3. ANSYS Analizleri	70
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	78

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

E	Elastiklik sabiti	GPa
P	Yoğunluk	Kg/m ³
σ_f	Dayanım	MPa
M	Kütle	Kg
σ_{EM}	Emniyet mukavemeti	N/m ²
σ_{ST}	Statik gerilme	N/m ²
σ_{DN}	Dinamik gerilme	N/m ²
n	Emniyet katsayısı	
F _A	Kütle yükü	N
A ₁	A kolu 1.kısımının ölçüsü	m
A ₂	A kolu 2.kısımının ölçüsü	m
B ₁	B kolu 1.kısımının ölçüsü	M
B ₂	B kolu 2.kısımının ölçüsü	M
C	C kolu iç ölçüsü	mm
C ₁	C kolu dış ölçüsü	mm
r _A	A kolundaki milin yarıçap ölçüsü	mm
r _B	B kolundaki milin yarıçap ölçüsü	mm
d _A	A kolundaki milin çap ölçüsü	mm
d _B	B kolundaki milin çap ölçüsü	mm
M	Moment	Kgm
y	Atalet yarıçapı	m
I	Atalet momenti	m ⁴
F _{CR}	Kritik kuvvet	N
σ_{KR}	Kritik gerilme	N/m ²
r	Kolon yarıçapı	m
A	Kesit alanı	m ²
F	Mile etkiyen yük	N
α	Kare dışın yatay açısı	deg
M ₁	Kare dışı dikey etkiyen moment	Nm
M ₂	Kare dışı yatay etkiyen moment	Nm

M_A	A kolunda oluşan motor moment	Nm
M_B	B kolunda oluşan motor moment	Nm
M_C	C kolunda oluşan motor moment	Nm
e_t	Et kalınlığı	mm
e_n	Emniyetli et kalınlığı	mm
A_{IL}	A kolu toplam uzunluğu	mm
B_{IL}	B kolu toplam uzunluğu	mm
C_{IL}	C kolu toplam uzunluğu	mm
SMX	Maksimum gerilim	MPa
SMN	Minimum gerilim	MPa
DMX	Maksimum deformasyon	mm
ν	Poisson oranı	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. AGV Bileşenleri	10
2.2. Sürücü Ünitesi	12
2.3. Sabit Kaldırıcı Direk	13
2.4. Çiftli Kaldırıcı Direk	14
2.5. Kişi Denetleyen Lazer Tampon	15
2.6. Çift Yönlü Lazer Tampon	15
2.7. Köşelerde Alan Değiştiren Lazer Tampon	15
2.8. Sürücüsüz Tren AGV	16
2.9. AGV Forklift	17
2.10. Ünite Yük Taşıyıcısı	18
2.11. Hafif Yük AGV	18
3.1. Küresel Koordinat Konfigürasyonu	20
3.2. Silindirik Koordinat Konfigürasyonu	21
3.3. Mafsallı Kol Konfigürasyonu	22
3.4. Kartezyen Koordinat Konfigürasyonu	24
3.5. SCARA Tipi Robot Kolu Konfigürasyonu	26
4.1. Robot Kollarının İsimlendirilmesi	43
4.2. A Kolunun Bileşenleri	44
4.3. B Kolunun Bileşenleri	48
4.4. C Kolunun Bileşenleri	52
4.5. Robot Kolu Kinematığı	59
5.1. Bir Sonlu Eleman Modelinde Nod Noktaları ve Elemanlar	64
5.2. Sınır Şartlar ve Yüklemeler	65
5.3. Birleşik Yapıda Solid Robot Kolu Görünümü	66
5.4. Robot Kolunun Birleşik Yapıda ve Çizgisel Görünümü	67
5.5. Robot Kolunun Parçalı Yapıda ve Solid Görünümü	68
5.6. Robot Kolunun Parçalı Yapıda ve Çizgisel Görünümü	69
5.7. Deformasyon Analizi	70
5.8. X Yönünde Gerilim – Deformasyon Analizi	71
5.9. Y Yönünde Gerilim – Deformasyon Analizi	72
5.10. Z Etrafında Gerilim – Deformasyon Analizi	73

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Elastiklik Sabiti – Yoğunluk	28
4.2. Dayanım – Yoğunluk	29
4.3. Kırılma Tokluğu – Yoğunluk	30
4.4. Elastiklik Sabiti - Dayanım	31
4.5. Kırılma Tokluğu – Elastiklik Sabiti	32
4.6. Kırılma Tokluğu – Dayanım	33
4.7. Elastiklik Sabiti – Göreceli Maliyet	34
4.8. Dayanım – Göreceli Maliyet	35
4.9. Malzemelerin Puanlandırılması	36
4.10. Robot Kolu Kinematiği	60

1. GİRİŞ

20. asrın ikinci yarısından itibaren hızla gelişen ve “Akıllı Makineler” adı verilen, insan zihninin faaliyetlerini taklit etmeye yönelik bilgisayar ve robot teknolojisi dikkat çekicidir.

Çekçe “robota” kelimesinden türetilmiş bulunan robot deyimi 1921 yılında ve bugünkü anlamında ilk kez hiciv yazarı Karel Capek tarafından R.U.R (Rossum’s Universal Robots) adlı eserinde kullanılmıştır [Tursunov, 1995]. Önceleri robot denilince insan zekasının eseri olan alet ve makineler ile bunlarla dolaylı olarak ilgisi bulunan araç ve gereçler anlaşıyordu. Robot tanımı Institute of Amerika RIA tarafından şöyle yapılmaktadır: “Programlanmış ve değişik hareketlerle, malzeme, parça, kişi veya özel araçlar taşıyabilen, yeniden programlanabilen çok amaçlı manipülatördür” [Koivo, 1989].

Robot ile doğrudan ilişkili bir konu otomasyondur. Otomasyon, bir makine projesinin veya diğer iş sistemlerinin otomatik karakterinin geliştirilmesine yönelmiş bir kavramdır. Otomasyonun esas iş sistemlerini otomatik hale getirmek, yani iş sistemlerinin kendiliğinden gereken aktivasyonu gösterebilmesini sağlamaktır. Otomasyon ve robotik birbirine oldukça yakın iki teknolojidir. Bu teknoloji transfer hatlarını, bilgisayar sistemlerini, geri beslemeli kontrol sistemlerini, nümerik kontrollü takım tezgahlarını ve robotları ihtiva eder. Robotik, endüstriyel otomasyonda kullanılır.

Robot teknolojisinin kullanıldığı alanların başında malzeme aktarımı gelir. Fabrikadaki malzeme aktarımının amacı, hammaddeleri, bitmiş parçaları, aletleri ve gereçleri bir yerden başka bir yere imalatın toplam operasyonlarına yardımcı olmak için taşımaktır. Malzemelerin aktarımı güvenli, verimli (düşük bedelli), hatasız ve malzemelere zarar vermeden olmalıdır.

Otomatik malzeme aktarımında uygulama alanı bulan bir kavramda Otomatik Güdümlü Vasıtalar (AGV, Automated Guided Vehicle)'dır. AGV 1950'lerden bu yana kullanılmaktadır. AGV gücünü elektrik motorundan ve aküden alan sürücüsüz bir endüstriyel vasıttır. AGV'nin taşıma kapasitesi birkaç kilogramlık hafif yüklerden 100 tonluk yüklemelere kadar değişebilmektedir. Çalışma alanı bakımından ise, halı zeminli ofislerden liman sahalarına kadar farklılık gösterebilmektedir. AGV üzerinde robot kolu uygulamaları, son zamanların popüler uygulamaları arasındadır [Agve, 2003].

Otomatik malzeme aktarımı ile ilgili bir konuda otomatik depolama sistemleridir. Otomatik depolamanın amaçları; depolama kapasitesinin arttırılması, alan kullanımının arttırılması, imalat için yer kazanımı, emniyetin arttırılması için küçük hırsızlıkların azaltılması, depolamada ii maliyetinin düşürülmesi, depolama işleminde emniyetin arttırılması, envanter kontrolünün arttırılması, stok döngüsünün hızlanması, müşteriye hizmetin iyileştirilmesidir [Groover, 1987].

Bu tez çalışmasında taşınacak malzemelerin boyut ve ağırlık olarak belli değerler arasında olduğu varsayıldı. AGV zerindeki robot kolu bu ölçü ve ağırlığı karşılayacak şekilde tasarlandı. Robot kolu konfigürasyonu seçimi yapıldı. Robot kolunda kullanılacak malzeme seçimi çok sayıda kriter dikkate alınarak gerçekleştirildi. Robot kolunun AGV üzerinde yerleştirileceği nokta değişik alternatifler arasından seçildi. Robotun hareketlendirici tertibatında kullanılmak üzere, motor çeşitlerinin olumlu-olumsuz yanları dikkate alınarak motor seçimi yapıldı. İstenen hareket kabiliyetini sağlayabilmesi için momentler dikkate alınarak seçilen motorun kapasitesi hesaplandı. Kaldırılacak yk dikkate alınarak tasarlanan robot kolu kalınlığı hesaplandı. Robot kolunun kinematiği incelendi. Pro/ENGINEER programında robot kolunun şekil çizildi ve analiz yapılabilmesi amacıyla ANSYS programına aktarıldı. Sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan bir paket program olan ANSYS'de analiz için işlem basamakları uygulandı.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Otomasyon

Otomasyon, üretim kontrolü ve yönetimi için bilgisayar temelli sistemler, elektronik ve mekaniğin uygulanmasıyla ilgili bir teknolojidir. Bu teknolojinin içerikleri [Groover, 1987]:

- İşleme parçaları için otomatik makine aletleri
- Otomatik montaj makineleri
- Endüstriyel robotlar
- Otomatik malzeme taşıma ve depolama sistemleri
- Kalite kontrol için otomatik denetim sistemleri
- Geri besleme kontrolü
- Planlama, bilgi denetimi için bilgisayar sistemleri

Otomasyon için değişik tanımlar yapmak mümkündür. Otomasyon, çeşitli bilimsel, sinai, tarımsal ve idari işlerin yürütülmesinde, insan etkisinin kısmen ya da tamamen ortadan kaldırılmasına ve işlemlerin otomatik olarak yürütülmesine denilmektedir. Bununla birlikte otomasyonun endüstriyel anlamı düşünülürse; işlem ve üretim kontrolünde mekanik, elektronik ve bilgisayar tabanlı sistemlerin birlikte kullanılması olarak da tanımlanır. Otomasyon; uygulanabilirliği bakımından çok geniş bir yelpazeye sahiptir [Varol, 2000].

Otomatik üretim sistemleri üç temel tipte sınıflandırılabilir [Groover, 1987];

1. Sabit otomasyon
2. Programlanabilir otomasyon
3. Esnek otomasyon

2.1.1. Sabit Otomasyon

Ekipman konfigürasyonu ile üretim (veya montaj) sırasının sabit olduğu bir sistemdir. Sabit otomasyon sistemleri üretim hacminin çok olduğu, bir üretim veya otomasyon hattından sürekli tek bir ürün ya da işlem beklendiği durumlar için uygulanmaktadır. Bu tip uygulamalarda, üretim kapasitesi ve standardını artırmak amacıyla Otomatik GÜdümlü Vasıtalar ve robotlar yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.1.2. Programlanabilir Otomasyon

Programlanabilir otomasyonda, üretim ekipmanları değişik ürün tiplerinde değişim için işlemlerin sırasının değişikliği yeteneğiyle tasarlanmıştır. Programlanabilir olan otomatikleşmiş üretim sistemleri düşük ve orta hacimli ürünlerde kullanılır. Parçalar veya ürünler tipik olarak dizide yapılır. Bir farklı ürünün her yeni dizisinin üretimi amacıyla yeni ürüne uygun olarak makine talimatlarının ayarlanması için sistem tekrar programlanabilmelidir.

2.1.3. Esnek Otomasyon

Esnek otomasyon genel kavramı 1980'li yıllarda oluşturulmuştur ve prensipleri halen geliştirilmektedir. Esnek otomatikleşmiş sistem, bir üretimden diğerine geçerken neredeyse hiç zaman kaybının olmadığı, çeşitli ürün (veya parçalar) üretebilme kapasitesidir.

2.2. Otomatik Malzeme Aktarımı

Malzeme aktarımında otomasyonun önemi büyüktür. Malzeme aktarımının maliyeti, bütün imalatın önemli bir bölümünü teşkil eder. Depolama ve dağıtım nitelikleri de göz önüne alındığında aktarım maliyeti bütün imalat maliyetinin üçte ikisi kadar vardır. Maliyet değerindeki değişiklikler imalatın miktarı ve tipine, ayrıca otomasyon tipine bağlıdır [Groover, 1987].

Birçok değişik taşıma sistemleri mevcuttur. Bu taşıma sistemleri en basit yöntem olan el ve sırtta taşımacılıktan (hammalık), bilgisayar tarafından sevk ve idare edilen bir robot vasıtasıyla yapılan modern taşımalara kadar çok sayıda yöntem barındırır. Basit bir yöntem olan elle taşımada mevcut parçalar birçok yerde düzensiz ve dikkatsiz taşınmaktadır. Söz konusu insan dikkati ve emeği olduğundan ortaya verimsiz bir sonuç çıkabilmektedir. Otomasyon sistemlerinin geliştirilmesi ile birlikte, endüstride taşıma sistemleri modern bir yapıya kavuşmuştur.

Otomatik Güdümlü Vasıtaların ve robot kollarının sıklıkla kullanıldığı sanayi sektörü dalı otomotivdir. Otomotiv sektöründe, otomobil ile ilgili bir ağır parça, Otomatik Güdümlü Vasıta tarafından bir yerden alınıp, montaj bandı üzerine götürülebilmekte ve robot kolu vasıtasıyla istenen hareket sağlanabilmektedir. Otomatik Güdümlü Vasıtaların ve robot kollarının taşıyacakları malzemeleri nereden alacakları ve nereye götürecekleri, kendilerini sevk ve idare eden bilgisayar tarafından bildirilir. Özellikle insanlar için tehlike arz eden bir mekandan malzemenin alınıp, bir başka yere taşınmasında Otomatik Güdümlü Vasıtalardan yararlanılır. Örneğin, bomba olduğu sanılan bir kutunun, yerinden alınarak başka güvenli bir yere taşınıp imha edilmesi işlemi veya kimyasal bir maddenin taşınması için mümkün olduğunca insan gücünden yararlanılmaz.

2.2.1. Malzemelerin Otomasyon Sistemi İle Taşınmasının Faydaları

Malzemelerin otomasyon sistemleri ile taşınmasının çok sayıda faydası vardır. Önemli faydaları arasından bazıları [Varol, 2000];

Parçaların Zarar Görmemesi: Otomasyon sistemi ile taşınan bir malzemenin zarar görmesi, az rastlanan bir olaydır. Halbuki insan gücü ile taşınan bir malzemenin çok ağır olması durumunda, insanın o malzemeyi düşürmesi ve kırması her an söz konusudur.

Sağlıklı ve Güvenli Taşıma: Radyoaktif ışın yayan parçalar gibi bazı malzemelere yaklaşmak, insan sağlığı için tehlike arz eder. Bu tür yerlerde otomasyon sistemlerinden faydalanılmalıdır.

Parçaların Yerinin Dikkatli Belirlenmesi: Otomasyon sistemleri, kendilerine verilen işlerin dışında iş yapamazlar. Belirlenen koordinatlar doğru oldukça malzemenin bırakılacağı noktadan sapma yaşanmamaktadır.

Hızlı Transfer Yapılması: Otomasyonun dikkat çekici noktalarından biri hızdır. Seri imalat fabrikalarındaki bant hızları ayarlanabilir ve istenilen sınırlarda tutulabilir. Hızlı malzemeler transferi, otomasyon sistemleri ile kolayca sağlanabilmektedir. Taşıma için kullanılan otomasyon sistemleri, kullanıldıkları alanlara ve kullanılan araçlara bağlı olarak çok değişik yapıdadır. Bantlı, pnömatik, hidrolik, konveyör sistemleri bu yapılar arasındadır. Taşımadaki hız, kullanılan araca bağlı olarak değiştirilebilir.

İnsan Gücünün Az Kullanılması: Sanayileşmenin bir sonucu olan makineleşme sayesinde insan gücünden faydalanmak gün geçtikçe azalmaktadır. İnsan hatası faktörü azaldığı için, aktarım işlemi daha güvenli, daha verimli, hatasız ve malzemeye zarar vermeden gerçekleşmektedir. Ayrıca insan gücü boşuna harcanmamış olmakta, insanlar daha az yorulmakta ve aynı işin devamlı tekrarlanması yarattığı stres ortadan kalkmaktadır.

Büyük Taşıma Kapasiteleri: Otomasyon sayesinde taşıma kapasiteleri artmıştır. Limanlarda büyük vinçler, insan gücünün yetersiz kaldığı işlemleri yapabilmekte, insan gücü ile kaldırmanın mümkün olamayacağı yükleri kaldırabilmektedir. Otomasyon sistemleri sayesinde ağır yükler, bir yerden kaldırılarak diğer bir yere rahatlıkla taşınabilmektedir.

2.2.2. Malzeme Aktarımının Prensipleri

Malzemenin aktarımının bazı temel prensipleri şunlardır [Groover, 1987];

Ünite Yük Prensibi: Taşınacak malzemeler daha geniş boyutlu bir üniteye toplanmalıdır ve ünite boyutu bütün malzemeler için aynı olmalıdır. Malzemeler rahat aktarım için tipik olarak bir palet üzerine veya konteyner üzerine yerleştirilir.

Parçalı Yüklemlerin Engellenmesi: Tüm ünite yükünün birlikte taşınması, yükün parçalı taşınmasına tercih edilmelidir. En yüksek emniyet limitine kadar aktarılacak malzeme ekipmanı yüklenmelidir.

En Kısa Mesafe Prensibi: Malzemenin hareketi mümkün olan en kısa mesafede gerçekleşmelidir. Bu prensibin gerçekleşmesi genellikle fabrika yerleşim planına bağlıdır.

Düz-Hat Akış Kuralı: Malzeme aktarım yolu, başlangıç noktasından varış noktasına kadar düz bir hat üzerinde olmalıdır. Bu kural, en kısa mesafe prensibine de uygundur.

Minimum Terminal Zamanı Prensibi: Yükleme, boşaltma ve diğer aktiviteler için malzeme taşıma zamanının haricinde terminallerde harcanan zaman en aza indirilmelidir.

Yer Çekimi Prensibi: Emniyete ve ürünün zarar görme riskine dikkat ederek mümkün olduğu ölçüde malzemelerin hareketine yardımcı olması için yer çekimi kullanılmalıdır.

Gidiş-Dönüşte Yük Taşıma: Mümkün olduğu ölçüde, hem gidişte hem de dönüşte yük taşıması olacak şekilde aktarım sistemi tasarlanmış ve hesaplanmış olmalıdır. Yük olmadan boş bir şekilde dönüş istenmeyen bir durumdur.

Makineleşme Prensibi: Malzemelerin manuel aktarımı engellenmelidir. Verim ve ekonominin yükselmesi için aktarım işlemi mümkün olduğunca makineleşmelidir.

Sistemler Prensibi: Tesisat, alıcı içirme, kontrol, depolama, üretim ve montaj, paketleme, ambarlama ve taşımacılık sistemleri ile malzeme aktarım sistemi bütünleşmelidir.

Akış Sistemleri Prensibi: Aktarma ve depolama sistemlerinde bilgi akışı ile malzeme akışı bütünleşmelidir. Taşınan her parça için tanıtımı, başlangıç noktası ve varış noktası bilgileri içermelidir.

Parça Yönlendirme Prensibi: Otomatik üretim sistemlerinde, malzeme aktarım işlemi boyunca iş parçasının yönlendirilişi kurulu ve bakımlı olmalıdır.

2.3. Robot

Amerikan Robot Enstitüsü, robot kavramını şu şekilde ifade etmektedir: "Robot, çeşitli görevlerin gerçekleştirilmesi için, malzeme, parça, takım ya da değişken programlanmış hareketler aracılığıyla, özel parçaları hareket ettirmek amaçlı tasarlanmış, çok fonksiyonlu, yeniden programlanabilir manipülatördür" [Fu et al, 1987]. Uluslararası Standartlar Enstitüsünün (ISO), TR 8373 numaralı tanımına göre ise robot: "Üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, programlanabilir, çok amaçlı, bir yerde sabit duran veya hareketli (tekerlekli) olan endüstriyel uygulamalarda kullanılan manipülatördür [Berkay ve ark., 2003].

Endüstriyel robotlar makine imalatı ve alet yapımında giderek artan bir uygulamaya sahiptir. Robotik sistemler ulusal ekonominin diğer dallarına da yavaş yavaş girmektedir. Robotlar ve robotik sistemler akıl gerektirmeyen sıkıcı, ağır, sürekli tekrarlanan ve tehlikeli işlerde insanların kullanımını azaltmıştır [Popov, 1982]. Endüstriyel robotların avantajları şöyle özetlenebilir [Koren, 1987]:

- Esneklik
- Yüksek verim
- Ürünlerde iyi kalite
- İstenmeyen işleri yerine getirmek suretiyle insan yaşamında kalite artışı

Endüstriyel robotlar, bugünün rekabetçi pazar ortamında, üretkenliğin ve üretilen malın kalitesinin etkin bir maliyetle arttırılmasında önemli rol oynayan bir faktör olmuştur. Bunun sebebi ise robotların; yüksek güvenilirlik, yüksek verim, düşük işletme maliyeti, geniş uygulama alanı içerisinde kullanılabilir olmasından kaynaklanmaktadır. Robotların kullanım alanlarını temel olarak sanayii ve hizmet alanları olarak ikiye ayrılmaktadır. Sanayide kullanımları ise; otomotiv, mobilya, gıda, optik, kimya, ilaç, makine, seramik, beyaz eşya, döküm, kahverengi eşya, nükleer ve elektrondur. Hizmet sağlamada robotların kullanımı ise; bulaşma riski olan virütik hastalık testleri, bomba imha çalışmaları, uçak dışı temizliği, deniz dibi araştırmaları, maden araştırmaları, LPG tank kontrolü, yüksek bina cephe temizliği, ameliyatlarda cerrahlara destek olma, uzay çalışmaları, elektrik iletim hatları onarımı, fabrika ve havaalanı gibi büyük alanların temizliği, otomatik benzin istasyonları ve yapay organlardır. Dünyada bulunan robot nüfusunun, tüm alanlar dikkate alınırsa, yaklaşık olarak 1,200,000 adet olduğu tahmin edilmektedir. Sanayide kullanılan robot nüfusunun 760,000 adet olduğu ve bu nüfusun dağılımının ise; 360,000 adet Japonya, 220,000 adet Avrupa Birliği ülkeleri, 100,000 adet ise Kuzey Amerika'da olduğu hesaplanmaktadır. Türkiye'de yaklaşık olarak 400 adet robot uygulaması bulunmaktadır. Bunların %30'u otomotiv sanayisinde, %15'i ise otomotiv yan sanayisinde bulunmaktadır. Türkiye'de kullanılan robotlar genellikle kaynak işleri için kullanılmaktadır [Berkay ve ark., 2003].

Günümüzde birçok büyük firma (General Motor, IBM, General Electric) endüstriyel robot üretimine başlamıştır. Endüstriyel robot ilk olarak Japon endüstrisi tarafından uygulamaya konulmuş ve kabul görmüştür. Söz konusu uygulamada, endüstriyel robotların çok düşük maliyetle üretim yaptıkları, yüksek verimlilikte oldukları saptanmıştır [Kuşhan, 1988].

2.4. Otomatik Güdümlü Vasıtalar

Otomatik Güdümlü Vasıta Sistemi (AGVS, Automated Guided Vehicle System), sürücüsüz bir Şekilde zemin üzerinde belirlenmiş güzergahta kendini sevk edebilen malzeme aktarım sistemidir [Groover, 1987].

Agve'ye (2003) göre ise, AGV gücünü elektrik motorundan ve aküden alan sürücüsüz bir endüstriyel Çekicidir. Otomatik güdümlü vasıtalar, 1950'lerden bu yana kullanılmaktadırlar. AGV'nin taşıma kapasitesi birkaç kilogramlık hafif yüklerden 100 tonluk yüklemelere kadar deĐiŐebilmektedir. ŐalıŐma alanı bakımından ise, halı zeminli ofislerden limanlara kadar farklılık gösterebilmektedir. Otomatik malzeme aktarımında ŐoĐu zaman AGV sistemleri kullanılır. İlk retilen AGV'lerin tek fonksiyonları taşımacılık olmasına karŐın bugün robotik taşıma fonksiyonu gerĀekleŐtiren robot kollar ve tutucular (gripper) ile donatılabilmektedirler. Şekil 2.1.'de grldĞu gibi baŐlıca AGV bileşenleri;



- Kontrol kutusu (control enclosure)
- Ak
- Sürücü niteleri
- Kaldırma niteleri
- Sabit direk
- Çiftli direk
- Palet
- n tampon
- Arka destek ayağı

Şekil 2.1. AGV bileşenleri [Agve, 2003]

2.4.1. Kontrol Kutusu

Forklift AGV'nin elektrik kontrol kutusu (Control enclosure) AGV'nin bütün kontrolünü kapsar. Kontrol kutusunun bileşenleri şunlardır;

- Kontrol kartı
- Kontrol Terminali
- Emniyet Kontrolcüsü
- Anahtar Şalter ve Elektronik Durdurucular
- Manuel Kontrol Ünitesi

2.4.2. Akü

AGV'ler hareketli olduklarından, kullanacakları enerjiyi depolarlar. Enerji depolama vasıtası olarak da aküler kullanılır. AGV forkliftin aküsü sürücü ünitenin üstüne ve elektriksel kontrol kapağının altına yerleştirilmiştir. Akünün konumu, bakım için kolay bir noktada olmalıdır. Aynı zamanda araçtaki ağırlık dağılımı da önemlidir.

AGV'ler genellikle 48V akü kullanırlar. Kapasite akü tipine, AGV'ye ve çalışma koşullarına bağlıdır. Akü çeşitleri şunlardır;

- Kurşun-Asit Akü
- Yoğun Sıvılı Akü
- Nikel-Kadmiyum Akü

2.4.3. Sürücü Ünitesi

Forklift AGV üzerinde sürücü ünitesinin (drive unit) yeri akünün altı ve ön tamponun arkasıdır. Sürücü motor ve arıza-emniyet freni (fail-safe brake) ile

bölünmüş bir ünedir. Şekil 2.2.'de bir sürücü ünitesi gösterilmektedir. Sürücü ünitesini oluşturan diğer parçalar aşağıda incelenmektedir.



- Yay Süspansiyonu
- Kodlayıcı
- Yönlendirici Potansiyometre
- Güdüm Anteni
- Çapraz Anten
- Kontrolcü

Şekil 2.2. Sürücü ünitesi [Agve, 2003]

2.4.4. Kaldırma Ünitesi

Kaldırma ünitesi (lift unit) sabit direğe kaynaklanmış bir çapraz-bağ üzerine yerleştirilmiştir. Genelde bir yuvarlak somun, DC motor, kodlayıcı, sonsuz vida dişlisi (worm gear box), fren ve bir yuvarlak vidadan oluşan kaldırma ünitesi elektromekaniksel tasarım kullanır. Bu, yüksek kaldırmalar için çok önemli olan kaldırma yükseklik pozisyonu için yüksek pozisyonel doğruluk veren etkili bir tasarımdır.

2.4.5. Sabit Kaldırıcı Direk

Forklift AGV'nin sabit direği genellikle manuel forklift çekicilerde kullanılan hazır C-profilden imal edilmiştir. Direk aracın alt plakasına kaynaklıdır ve AGV yapısından ayrı bir parçadır. Direk içerisinde palet taşıyıcı yukarı-aşağı çalışır. Palet taşıyıcının C-profilleri içinde dönen dört bilye mevcuttur. Şekil 2.3.'de sabit kaldırıcı direk gösterilmektedir.

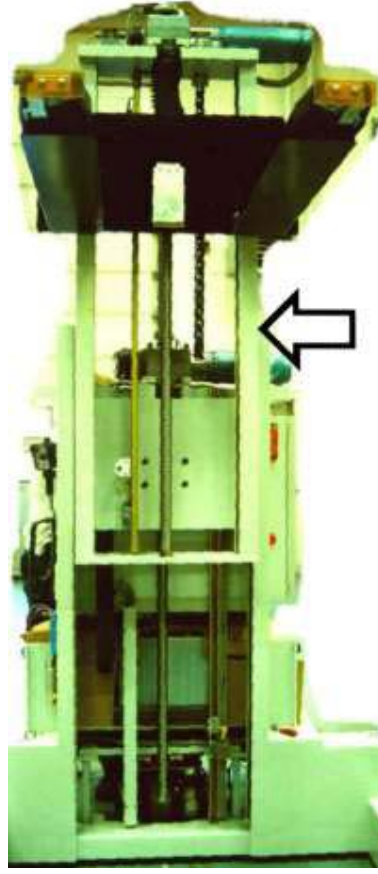


Şekil 2.3. Sabit kaldırıcı direk [Agve, 2003]

2.4.6. Çiftli Kaldırıcı Direk

Aracın normal boyu ile yüksek kaldırma değerlerine ulaşmak için yüksek kaldırıcı AGV çiftli bir teleskopik direk kullanır.

Forklift AGV'nin çiftli direği, genellikle manuel forklift çekicilerde kullanılan tipte hazır C-profilden imal edilmiştir. Direk kaynaklanmış tekerlere sahiptir ve bu tekerler C-profillerin içinde çalışır. Palet taşıyıcı C-profiller içinde kendi tekerleri ile çalışır. Şekil 2.4.'de çiftli kaldırıcı direk görülmektedir.



Şekil 2.4. Çiftli kaldırıcı direk [Agve, 2003]

2.4.7. Palet

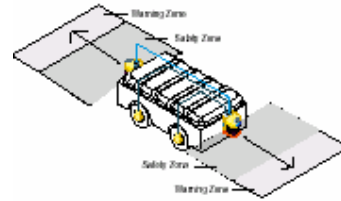
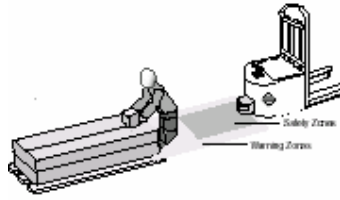
Raflardaki yüklere ulaşmak için dikey hareketi sağlayan palet, taşıyıcıya kaynaklanmış bir profilden imal edilmiştir. Palet AGV'nin tipine ve yükleme kapasitesine bağlı olarak alt yüzeyde açılabilir veya kapanabilir.

Her palet kolunda bir tampon montelidir. Bu koruma amaçlı kullanılır ve eğer bir engelle karşılaşırsa aracın tüm hareketini durdurmak için kullanılır. Paletin arkasında koruma maksatlı bir yük denetleme algılayıcısı montelidir. Diğer yük algılayıcıları palet içine yerleştirir.

2.4.8. Ön Tampon

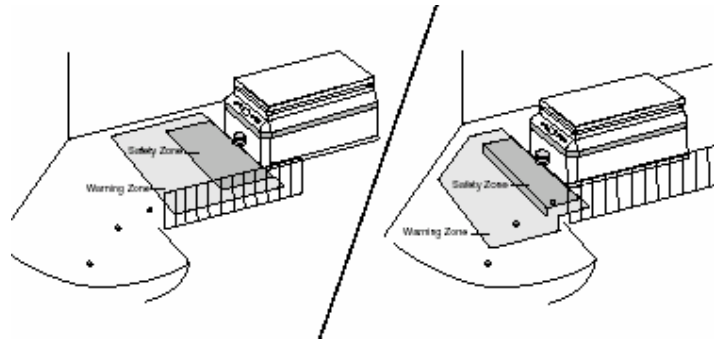
Ön tampon, engelleyici bir nesne ile karşılaştığında AGV'nin acil duruşunu sağlayan emniyet aracıdır. Ön tampon normalde AGV'nin önünü çevreleyen bir polikarbonat siper olarak tasarlanmıştır. Siper AGV şasisine sabitlenmiş iki menteşe üzerine montelidir. Tampon siperinin şekli, siper ve AGV şasisi üzerine bağlanmış yaylar ile kontrol edilir.

Tamponun esas amacı insanları ve AGV'nin kendisini tehlikelerden korumaktır. Tampon üzerinde genellikle lazer tarayıcılar mevcuttur. Şekil 2.5.'de kişileri denetleyen ve böylece kaza olmasını önlemek için kullanılan lazer tampon gösterilmektedir. Şekil 2.6.'da çarpışmaları önleyen iki yönlü lazer tampon gösterilmektedir. Şekil 2.7.'de ise, alanını değiştirmek suretiyle köşelerde manevra sağlayan lazer tampon gösterilmektedir [Agvp, 2003].



Şekil 2.5. Kişi denetleyen lazer tampon

Şekil 2.6. Çift yönlü lazer tampon



Şekil 2.7. Köşelerde alan değiştiren lazer tampon

2.4.9. Arka Destek Ayakları

Destek ayakları alt plakaya kaynaklanmıştır ve AGV yapısından ayrı bir parçadır. Arka destek ayaklarını oluşturan parçalar şunlardır:

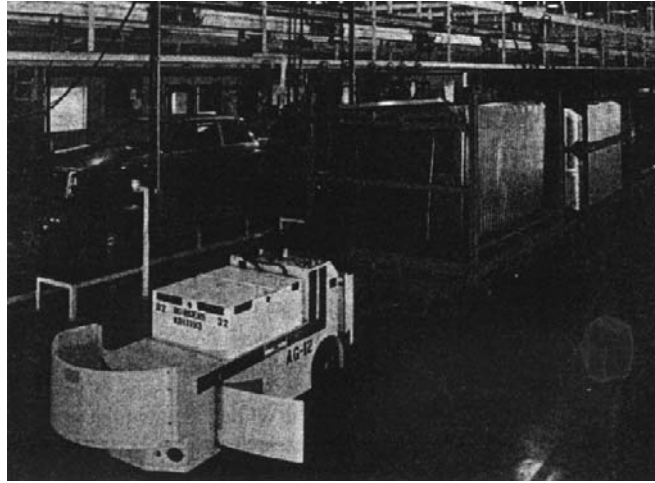
- Arka Teker
- Güdüm Antenleri
- Arka Tampon

2.5. AGV Sistemlerinin Sınıflandırılması

Endüstride değişik amaçlar için kullanılan AGV sistemleri şöyle sınıflandırılabilir [Groover, 1987];

2.5.1. Sürücüsüz Trenler

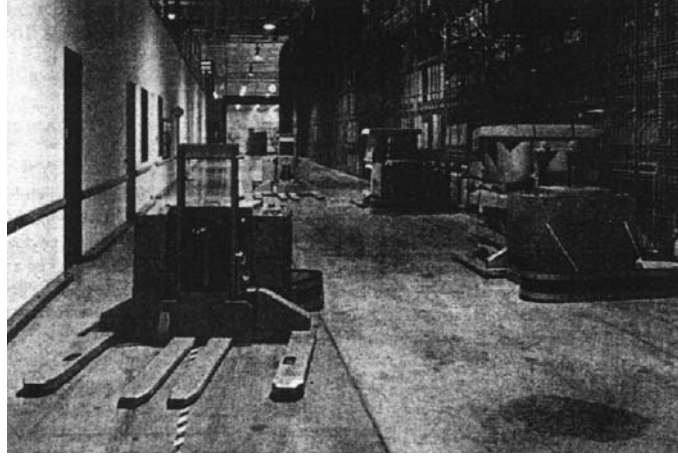
Bir tren formunda, bir veya daha çok sayıda römorku çeken bir çekici araçtan oluşur. Bu AGV'lerin ilk tipidir ve halen popülerdir. Depolarda veya fabrikalarda, rota boyunca yükleme ve boşaltma noktaları arası uzun mesafeler olan ağır hamule uygulamalarında bu tip AGV'den faydalanılır. Şekil 2.8.'de sürücüsüz tren AGV gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Sürücüsüz tren AGV [Groover, 1987]

2.5.2. AGV Paletli Çekicileri

Önceden belirlenmiş rota boyunca, paletlere yerleştirilmiş yükleri taşımak için otomatik yönetilen paletli çekiciler kullanılır. Tipik uygulamada çekiciyi yöneten işçiler tarafından paletlere yüklenir. Araç boşaltma işlemi için tanımlanan yolda otomatik olarak ilerler. Bir AGV paletli çekicisinin kapasitesi 6000 lb'ye kadar ulaşır ve bazı çekiciler bir yerine iki paletle taşıma kabiliyetine sahiptirler. Son zamanlarda paletli çekiciler arasında en tanınanı AGV forklifttir. Bu araç raflarda yüklere ulaşmak için paletini dikey hareket boyunca başarıyla yönlendirir. Şekil 2.9.'da bu araç tipi gösterilmiştir.

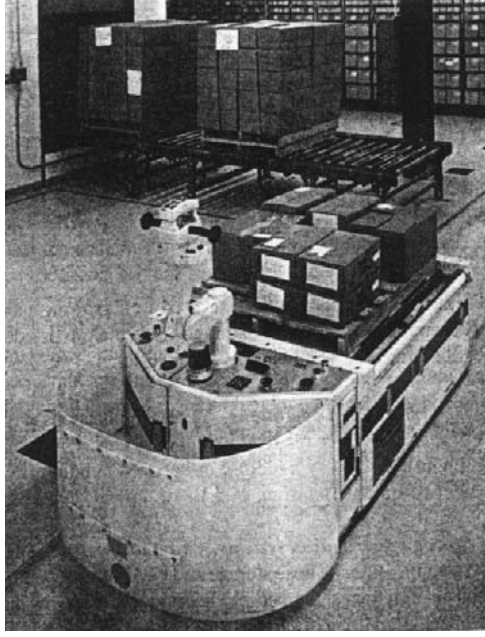


Şekil 2.9. AGV forklift [Groover, 1987]

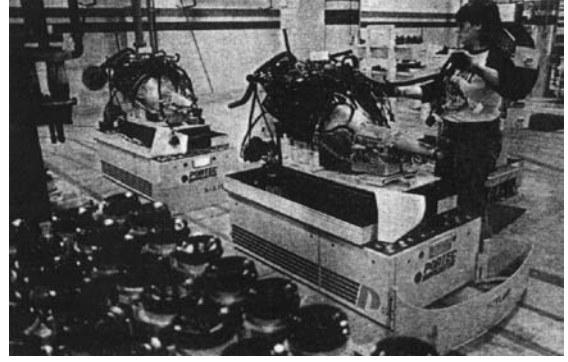
2.5.3. AGV Ünite Yük Taşıyıcıları

AGV'lerin bu tipi bir istasyondan diğer istasyona ünite yükler taşımak için kullanılır. Otomatik yükleme ve boşaltma için bunlar genellikle enerjilendirilmiş tekerler, taşıyıcı kemerler, mekanikleşmiş kaldırma platformları veya diğer cihazlarla donatılmıştır. Bir ünite yük taşıyıcısı şekil 2.10.'da gösterilmiştir. Ünite yük taşıyıcıları hafif yük AGV ve montaj hat AGV olarak sınıflandırılır. Hafif yük AGV göreceli olarak küçük bir araçtır ve buna bağlı olarak hafif bir yük kapasitesine sahiptir (tipik olarak 500 lb veya daha azı). Hafif yük AGV geleneksel AGV'ler kadar geniş bir arayol gerektirmez. Şekil 2.11.'de bu tip bir AGV gösterilmiştir.

AGV teknolojisi, yeni uygulama gereksinimlerine karşılık devamlı olarak gelişmektedir. Yeni ve gelişmiş AGV'lere örnek, alanda çeşitli konumlarda kompleks taşıma işlerini sağlamak için otomatik yönetilen araçlar üzerine robotik manipülâtör yerleştirilmesidir. Bu robot-araçlara semikondüktör endüstrisindeki temiz odalarda (clean room) sıkça karşılaşılır.



Şekil 2.10. Ünite yük taşıyıcısı
[Groover, 1987]



Şekil 2.11. Hafif yük AGV
[Groover, 1987]

3. AGV ÜZERİNE YERLEŞTİRİLECEK ROBOT KOLU KONFIGÜRASYONUNUN SEÇİMİ

AGV üzerine yerleştirilecek robot kolu konfigürasyonunun seçimi yapılırken ilk olarak beklentiler belirlenmiştir. Bu beklentileri karşılayabilen konfigürasyonlar arasından değişik hususlara dikkat edilerek seçim yapılmıştır. Bu hususlar aşağıda sıralanmıştır;

1. Tüm AGV sahasına erişebilirlik ve AGV'nin etrafında istenen mesafe kadar hareket serbestliği sağlanması.
2. Az arıza ve yüksek verim için mümkün olan en basit robot kolu konfigürasyonu seçilmesi.
3. İstenen yükü taşıma kapasitesine sahip olması.
4. Hareket hızlığının yüksek olması (tekrarlanabilirliğinin yüksek olması).
5. Ucuz olması.

Robot Kolu Konfigürasyonları

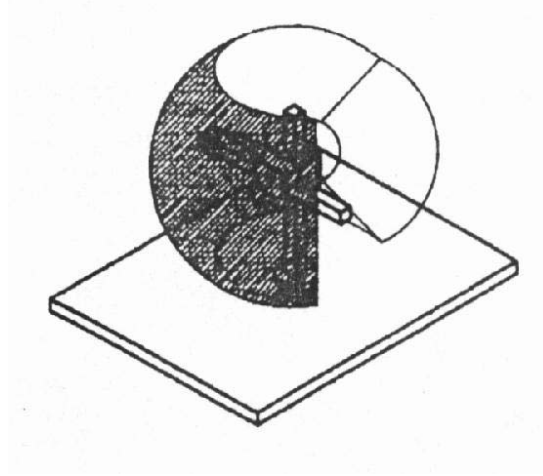
Bir robot kolu hareketinin kapasitesi, kontrol edilebilmesi mümkün olan eksenlerdeki hareketlerle belirlenir ve sayısal denetimdeki hareketlere çok benzerdir. Endüstriyel robotlar değişik tip ve boyutlarda yapılmaktadırlar. Çeşitli kol hareketlerini yapabilirler ve farklı hareket sistemlerine sahiptirler. Endüstriyel robotlar genel olarak şu konfigürasyonlarda üretilmektedirler:

- 1) Küresel (polar coordinate) konfigürasyonu
- 2) Silindirik koordinat konfigürasyonu
- 3) Mafsallı kol (jointed arm) konfigürasyonu
- 4) Kartezyen koordinat konfigürasyonu
- 5) Scara tipi robot

3.1. Küresel Koordinat Konfigürasyonu

Çoğunlukla polar konfigürasyon diye adlandırılan küresel tasarım silindirik kol konfigürasyonunun değişik bir uyarlamasıdır. Her türlü uygulamada robot konfigürasyonunun sağladığı çalışma hacmi (alışma zarfı) nemli bir yer tutar. Kol, küresel bir hacim içinde hareket eder. Bu robotlar güçlü olmalarına rağmen, eğer düz çizgi hareketi veya kapalı hat (off-line) kontrol gerektiğinde eklem kollu robotlara göre daha az esnektir ve kontrolü karmaşıktır. şekil 3.1.'de gösterildiği gibi çalışma uzayları kısmen küresel olup, nokta kaynağı, paletleme ve ağır yüklerde kullanılırlar. Robotun bir döner tabanı vardır ve teleskobik kolu yukarı-aşağı hareket ettirmek için bir mafsals kullanılır. Bu robot tipine rnek Unimate 2000 serisi robotlardır [Can, 1991].

Küresel manipülatörler çoğunlukla işleme uygulamaları için kullanılır. Bağlantıları hareketlendirmek için genellikle elektrik motorları kullanılır [Macit, 1999].

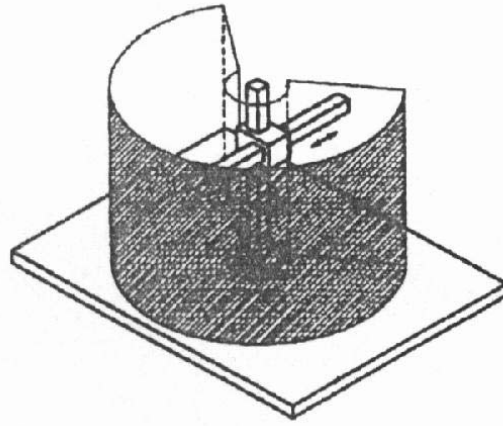


şekil 3.1. Küresel koordinat konfigürasyonu

[Sciavicco and Siciliano, 1996]

3.2. Silindirik Koordinat Konfigürasyonu

Silindir konfigürasyonunun tipik işi nesneleri bir yerden başka bir yere taşımaktır (al ve yerleştir). Bu konfigürasyonda, robot gövdesi düşey eksen etrafında dönebilen düşey bir kolondur. Kolun bir kaç hareketli kısmı vardır. Bu hareketli kısımlar kolu yukarı-aşağı, içeri-dışarı hareket ettirir ve bilek kısmının dönmesini sağlarlar. Şekil 3.2.'de silindirik koordinatlı robot kolu konfigürasyonu gösterilmektedir.



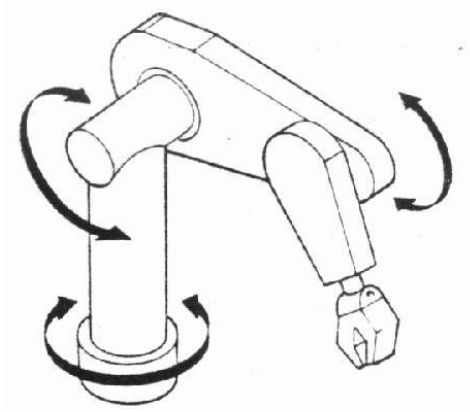
Şekil 3.2. Silindirik koordinat konfigürasyonu
[Sciavicco and Siciliano, 1996]

Silindirik robotlar kuvvetlidir ve iyi bir çalışma alanı-zemin alanı oranına sahiptir. Kolları uzun olduğundan, takım tezgahı yükleme, boşaltma ve paletleme için uygundur. Bunların verimli bir işyerleşimi, radyal olarak düzenlenmiş takım tezgahlarının ve bir taşıyıcı sistemin merkezine yerleştirmektedir. O zaman, bir robot bir taşıyıcıdan işi alabilir, işi bir makineden diğerine transfer edebilir ve bir çıkış konveyörüne yerleştirebilir [Can, 1991]. Silindirik geometri, prizmatik bağlantı ile yer değiştirmiş bir döner bağlantı ile kartezyen konfigürasyonla farklılık gösterir [Sciavicco and Siciliano, 1996].

Silindirik manipülatörler genellikle malzeme taşımacılığında kullanılır. Bunun için çoğunlukla hidrolik motor, bazı durumlarda da elektrik motorları tercih edilir [Macit, 1999].

3.3. Mafsallı Kol Konfigürasyonu

Bağlantı parçalarından oluşan robot kol konfigürasyonu genellikle antropomorfik veya mafsallı robot (eklemlı kol yapısı) diye adlandırılır. Yaygın bir şekilde kullanılır, çünkü otomotiv endüstrisindeki nokta kaynağı ve boyama işlemlerinde olduğu gibi zor hareketleri yapabilecek kabiliyete sahiptirler. Mafsallı kol konfigürasyonu, insan kolunun yapısına benzer şekilde tasarlanmıştır [Hocaoğlu, 1999]. Robotun, insan omuzu, dirsek ve bilek mafsallarının yaptığı hareketlere benzer hareketleri yapabilmesi için hareketli parçaları mafsallarla birleştirilmiştir. Şekil 3.3.'de gösterildiği gibi robot kolu bir tabana bağlıdır ve bu taban kendi eksenini etrafında dönebilir. Eklemlı kol robotlarının beş farklı tipi vardır;



Şekil 3.3. Mafsallı kol konfigürasyonu [Leatham-Jones, 1990]

Tamamıyla Küresel Eklemlı Kol Yapısı

En çok kullanılan eklemlı konfigürasyonlardır. Robot uzuvlarının hepsi eksenlenmiştir ve bundan dolayı, dönel bir şekilde hareket ederler. Bu tasarımın en önemli avantajı, robotun temeline ve çalışma sahası içindeki herhangi bir noktaya ulaşmasının mümkün olmasıdır. Çalışma uzayı yaklaşık olarak küreseldir. Bu geometriye sahip endüstriyel manipülatörlere örnek olarak Puma Unimation, Cincinnati Milacron T³, ASEA, NICO ve GCA tarafından yapılanlar sayılabilir [Can, 1991].

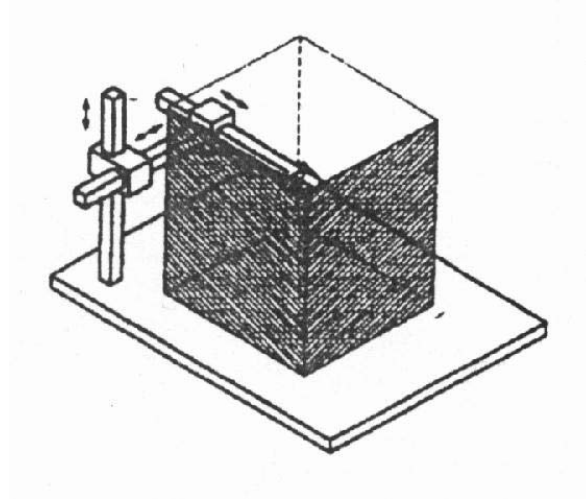
Sarkaç Kol Yapısı

Çok Eklemlili Kol Yapısı

Bu konfigürasyon mükemmel esneklik sağlar ve çok sayıda uygulamada kullanılır. Sprey boyama, nokta kaynağı ve dikiş kaynağı için özel olarak tasarlanmıştır ve araba gövdesine ulaşılabilir. Alışlagelmiş konstrüksiyona sahip robotlarla ulaşılması zor olan alanlarda çalıştırılabilir. Bu tip kolun diğer formları nükleer reaktörlerin kontrolü ve tamir amacıyla tasarlanmıştır. Bu robotların oluşturduğu çalışma uzayı, düz bir tabana ve oyuk bir merkeze yerleştirilmiş olan komple bir küredir [Can, 1991].

3.4. Kartezyen Koordinat Konfigürasyonu

Bu konfigürasyon en kısıtlı hareket serbestliğine sahip robot tasarım şeklidir. Bazı parçaların montajı için gerekli işlemler kartezyen konfigürasyonlu robotlar tarafından yapılır. Bu robot şekli birbirine dik üç eksende hareket eden kısımlara sahiptir. Hareketli kısımlar X, Y ve Z kartezyen koordinat sistemi eksenlerine paralel hareket ederler. Şekil 3.4.'de gösterildiği gibi, robot üç boyutlu dikdörtgen prizması hacmi içindeki noktalara kolunu hareket ettirebilir.



Şekil 3.4. Kartezyen koordinat konfigürasyonu

[Sciavicco and Siciliano, 1996]

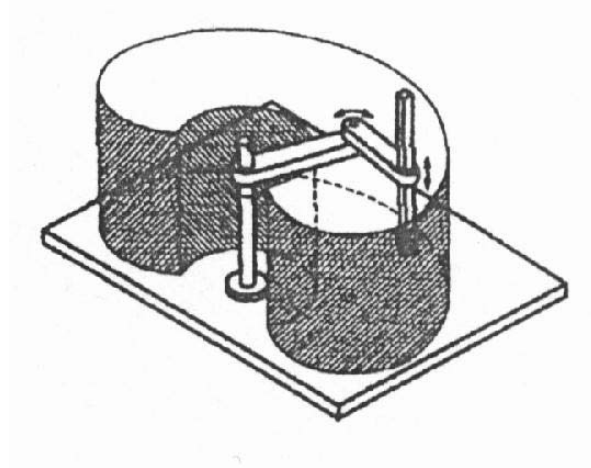
Bu konfigürasyonda dikdörtgen şeklinde bir çalışma alanı vardır. Kolun üç ana eksenini çizgiseldir ve kontrolü nispeten basit olan hareketleri sağlarlar. Üç boyutlu uzaydaki bir noktaya, kolun son-işlemcisini hareket ettirmek için, kolun her eksenini uygun miktarda x,y,z mesafeleri kadar hareket ettirilir. Böylece, sadece bir yönde hareket, sadece bir ekseninde hareket demektir ve son-işlemcinin oryantasyonu değişmez. Bu konfigürasyonun iki çeşidi vardır. Bir dikdörtgen çalışma sahası içinde hareket eden bir vinç asılı kolu olan, tabanı ve bir düz eksenini çalışma sahası boyunca veya yere monte edilmiş kolu olan bu vinç tipi robotlar düz eksen kolaylıkla uzatılabildiğinden büyük bir çalışma alanında çalışabilirler. Alan oranını desteklemek amacıyla, bu robotların normalde küçük bir çalışma alanı vardır. Örneğin, vinç tipi robotun ayakları tarafından işgal edilen yer alanından daha az bir çalışma alanı vardır. Büyük tipte robotlar bazen takım tezgahı yüklemede kullanılmasına rağmen, montaj işlemleri için çoğunlukla kartezyen robotları kullanılır. Enjeksiyon kalıplama makinesi için basit formlar kullanılabilir. Dikiş kaynağı için, entegre servo kontrollü, dönebilen donanım ile birlikte bazı büyük karmaşık örnekler bir vinç formunda kullanılır [Can, 1991].

Kartezyen manipülatörler çoğunlukla malzeme aktarımı ve montaj uygulamalarında kullanılırlar. Kartezyen manipülatörler bağlantılarında genellikle elektrik motorları, nadiren pnömatis ve hidrolik motorlar kullanılırlar [Macit, 1999].

3.5. SCARA Tipi Robot Kolu

SCARA tipi robot kolu (Selective Compliance Assembly Robot Arm), döner ve silindirik robotların birleştirilmesiyle meydana gelen bir robot türüdür. Robotun döner mafsalları yatay bir düzlemde hareket sağlayan dikey eksene sahiptir. SCARA tipi robotta, mekanik yapıya etkiyen yerçekiminden oluşan ağırlığı, coriolis ve merkezkaç kuvvetlerinin, eksenlerinin yatay durumda olması durumunda yapacaklarından daha fazla mekaniksel yapıyı zorlamayacakları için dikey ekseninde dönmeler vardır. Bu avantaj yüksek hızlarda ve hassasiyet bakımından çok önemlidir. Şekil 3.5.'de SCARA tipi bir robot kolu konfigürasyonu gösterilmektedir [Özçelik, 1997].

SCARA manipulatörü küçük malzemelerin işlenmesinde kullanışlıdır ve bağlantılarında çoğunlukla elektrik motorları kullanılır [Macit, 1999].



Şekil 3.5. SCARA tipi robot kolu konfigürasyonu

[Sciavicco and Siciliano, 1996]

Diğer sınıflama şekillerine gelince belli başlı olarak:

- Güç kaynağının yapısına göre (Hidrolik, Elektriksel vb.)
- Hareketli - Sabit robotlar.
- Yeteneklerine göre (Ardışıl kontrollü robotlar, adaptif, zeki, tekrarlayan vb.)
- Kontrol Yöntemlerine göre (Noktadan noktaya, Sürekli yörüngeli, Kontrollü yörünge izleyen vb.)

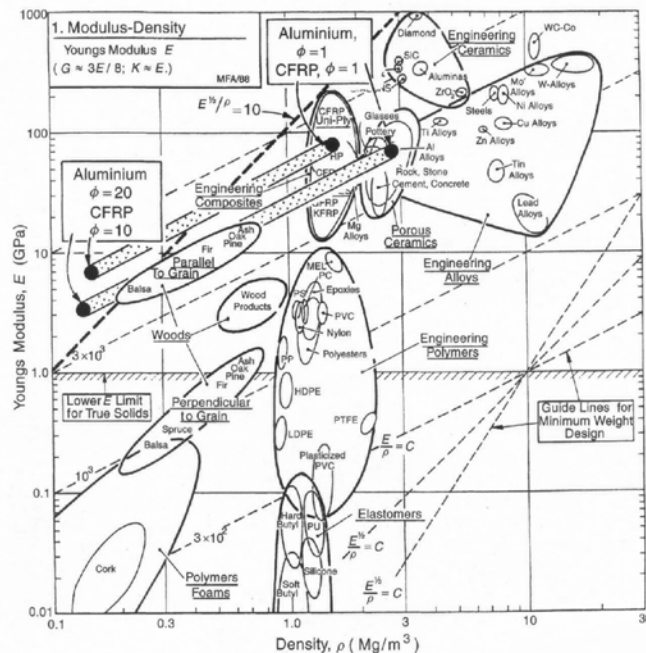
3.6. Sonuç

AGV üzerine yerleştirilecek robot kolu konfigürasyonu seçimi yapılırken önemli nokta, belirlenen ihtiyaçlara cevap verebilecek bir konfigürasyonun seçilmesidir. Küresel robot kolunun avantajları, uygulama alanı genişliği, estetik fiziksel yapı, geniş manevra kabiliyeti, eksenler vasıtasıyla kısa zamanda hedefe ulaşma, hassasiyet ve küçük ebatlı olmasıdır. Mafsallı robot kolunun avantajları, manevra kabiliyetinin yüksekliği, yüksek noktalara erişim, estetik görünüm, karmaşık hareketleri yapabilme ve tekrarlayabilme kabiliyeti, hızlı ve seri hareket,

tasarımından dolayı küçük yerlerde rahat hareket edebilme yeteneğidir. SCARA tipi robot kolunun avantajları, doğruluk, yüksek hız ve kolay montaj özellikleridir. Silindirik robot kolunun belirgin avantajı hızıdır. Ayrıca iyi bir yol kontrol, yaptığı işi tekrarlama ve kesinlik özelliği vardır [Varol, 2000].

Yazar tez çalışmasında AGV üzerine yerleştirilecek robot kolu olarak silindirik koordinatlı robot kolu konfigürasyonunu tercih etmiştir. Bu tercihte, kartezyen robot kollarının ulaşacağı noktaya hassas yaklaşamaması ve sapma gerçekleşmesi, mafsallı robot kolunun çalışma alanı içinde bir noktaya ulaşmak için birden fazla yolu olması ve bu kontrolü sağlarken bilgisayar kullanımına ihtiyaç duyması, küresel robot kolunun iyi bir çalışma alanına sahip olmaması ve ölü bölgeler oluşturması dezavantajlarının yanı sıra silindirik konfigürasyonun şu olumlu özellikleri dikkate alınmıştır [Leatham-Jones, 1990];

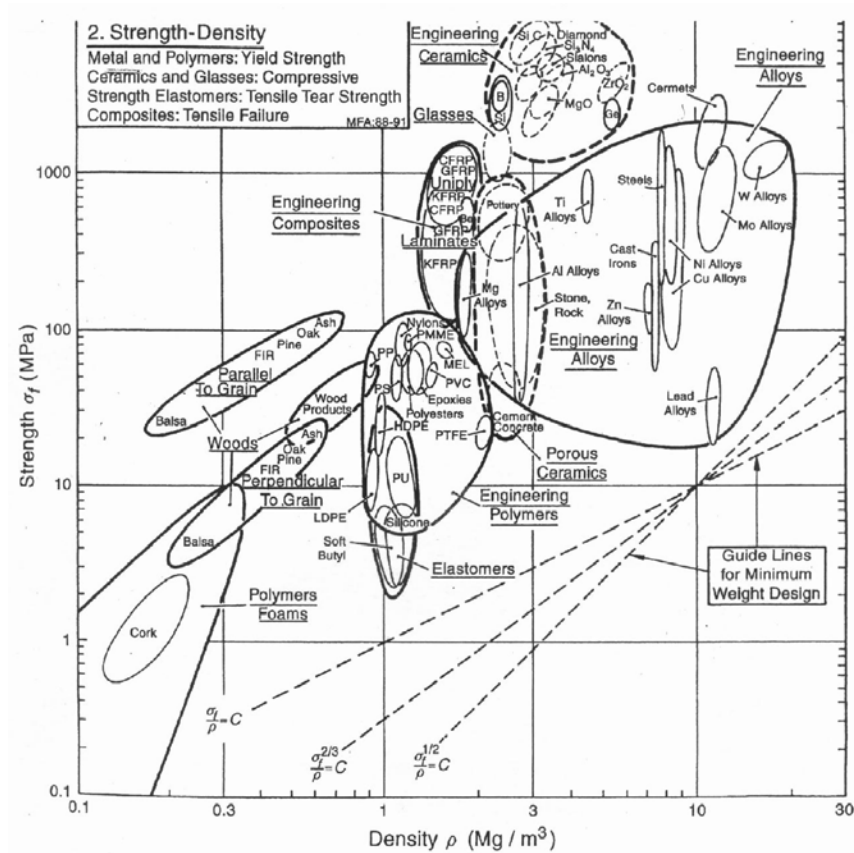
- Kolay kontrol edilebilir, programlanabilir hareket
- Kontrol sisteminin basitliği
- İyi seviyede hassasiyet
- Hızlı çalışma
- Ön ve kenarlara iyi derecede erişim
- Yapısal basitlik ve güvenilirlik



4.1.2. Dayanım – Yoğunluk Tablosu

Dayanım – Yoğunluk Tablosunda (Strength – Density Chart), dayanım değerinin yüksek olduğu bölgeden ve yoğunluk değerinin düşük olduğu bölgeden malzeme tercih edilmiştir. Böylece mukavemeti yüksek ve hafif malzeme seçilmiştir.

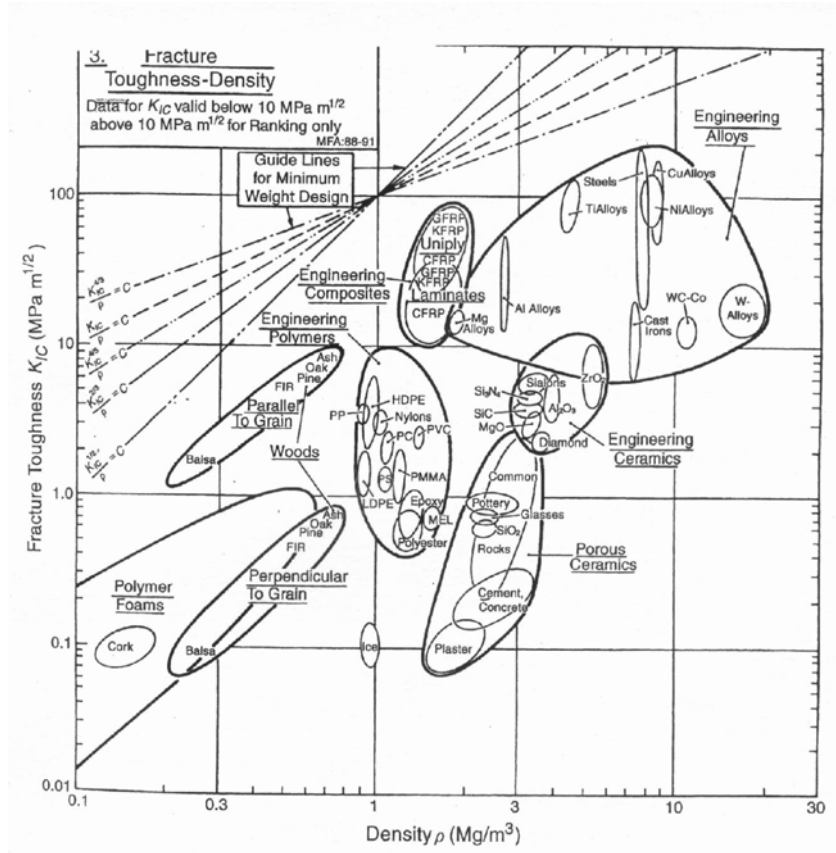
Tablo 4.2. Dayanım – yoğunluk [Ashby, 1999]



4.1.3. Kırılma Tokluğu – Yoğunluk Tablosu

Kırılma Tokluğu – Yoğunluk Tablosunda (Fracture Toughness – Density Chart) kırılma tokluğu değerinin yüksek olduğu bölgeden ve yoğunluk değerinin düşük olduğu bölgeden malzeme tercih edilmiştir. Böylece seçilen malzemenin kolay kırılğan bir malzeme olması önlenmiştir ve hafif bir malzeme tercih edilmiştir.

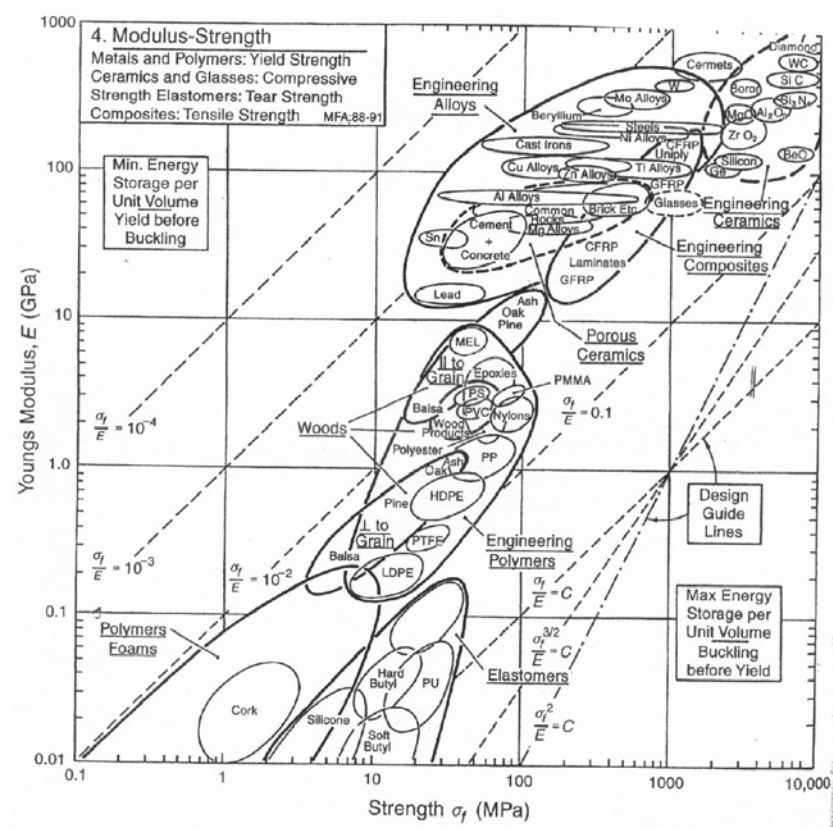
Tablo 4.3. Kırılma tokluğu – yoğunluk [Ashby, 1999]



4.1.4. Elastiklik Sabiti – Dayanım Tablosu

Elastiklik Sabiti – Dayanım Tablosunda (Youngs Modulus – Strength Chart) elastiklik sabiti değerin yüksek olduğu bölgeden ve dayanım değerin yüksek olduğu bölgeden malzeme tercih edilmiştir. Böylece esnek ve mukavemeti yüksek malzeme tercih edilmiştir.

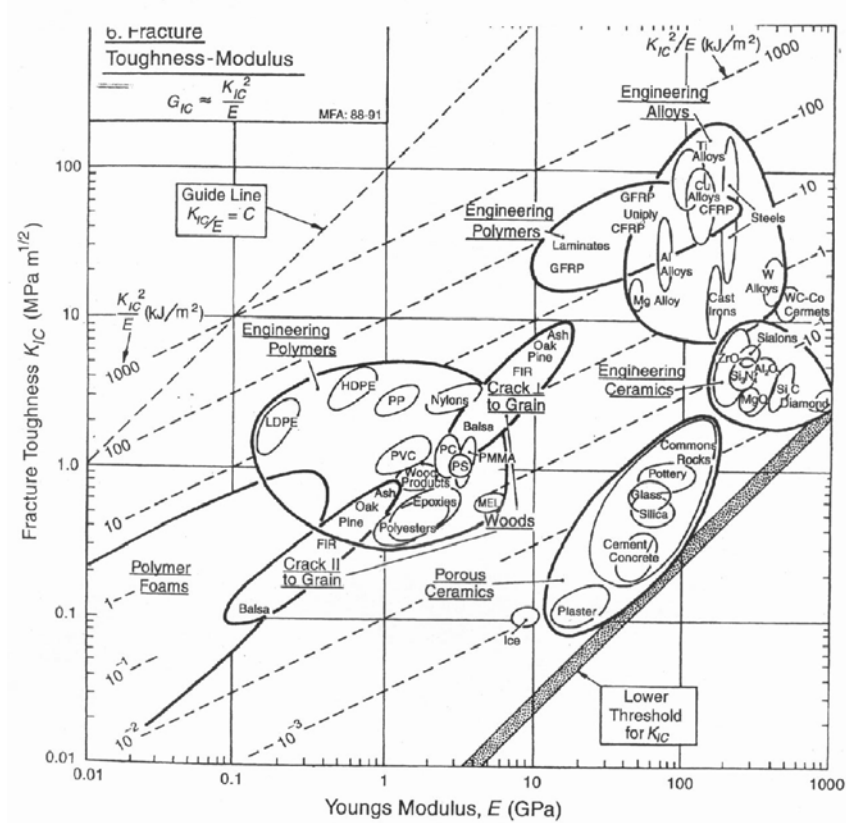
Tablo 4.4. Elastiklik sabiti – dayanım [Ashby, 1999]



4.1.5. Kırılma Tokluğu – Elastiklik Sabiti Tablosu

Kırılma Tokluğu – Elastiklik Sabiti Tablosunda (Fracture Toughness – Youngs Modulus Chart) kırılma tokluğu değerin yüksek olduğu bölgeden ve elastiklik sabiti değerin yüksek olduğu bölgeden malzeme tercih edilmiştir. Böylece kolay kırılmayan ve esnek bir malzeme tercih edilmiştir.

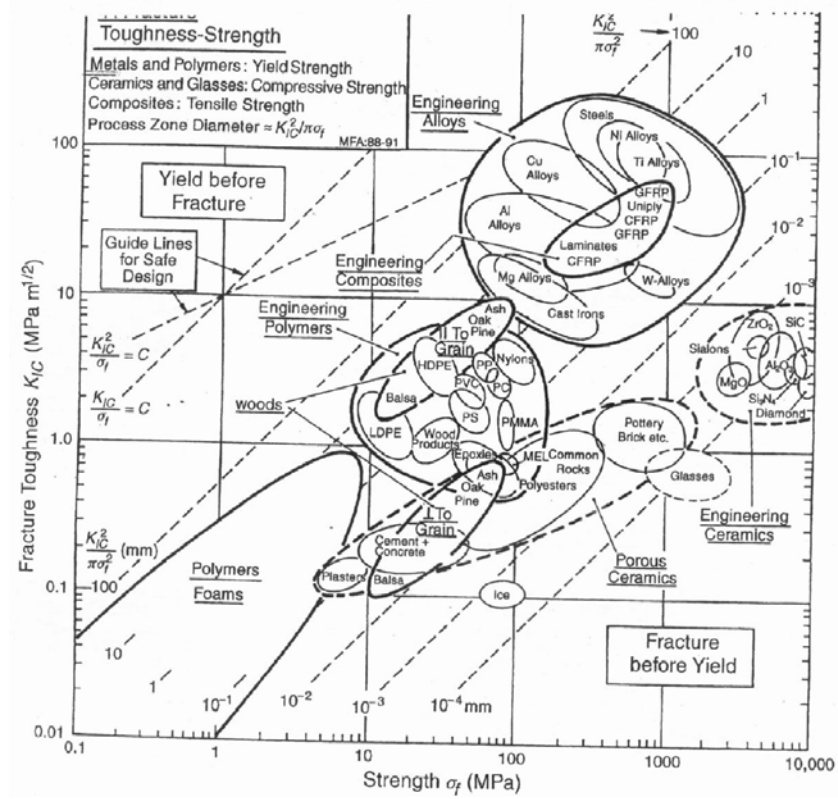
Tablo 4.5. Kırılma tokluğu – elastiklik sabiti [Ashby, 1999]



4.1.6. Kırılma Tokluğu – Dayanım Tablosu

Kırılma Tokluğu – Dayanım Tablosunda (Fracture Toughness – Strength Chart) kırılma tokluğu değerinin yüksek olduğu ve dayanım değerinin yüksek olduğu bölgeden malzeme tercih edilmiştir. Böylece kolay kırılmayan ve mukavemeti yüksek malzeme tercih edilmiştir.

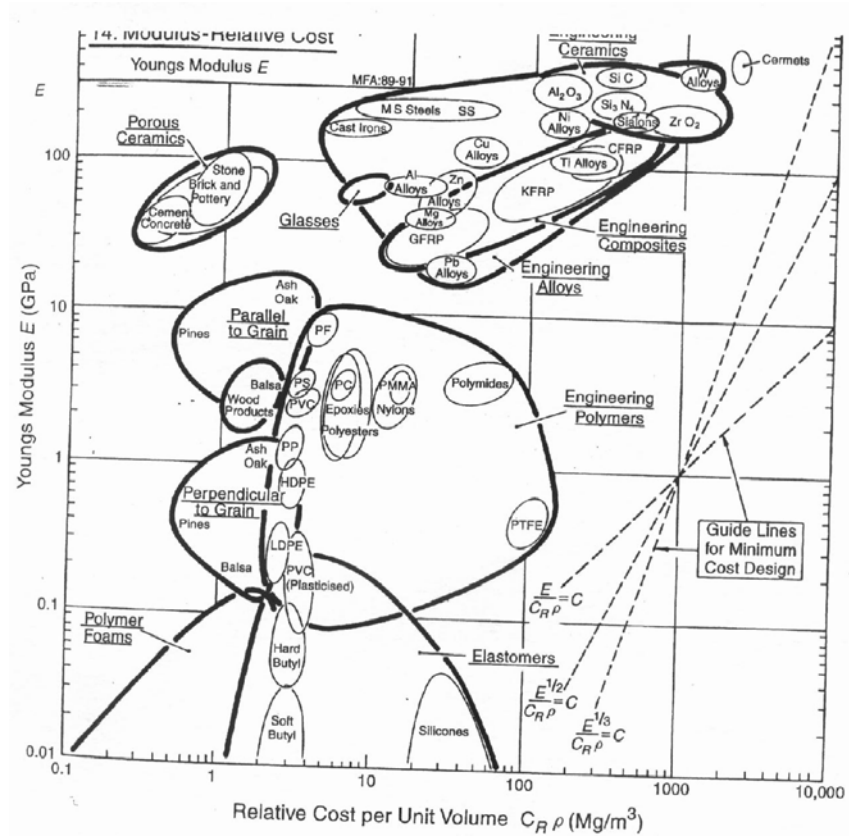
Tablo 4.6. Kırılma tokluğu – dayanım [Ashby, 1999]



4.1.7. Elastiklik Sabiti – Göreceli Maliyet Tablosu

Elastiklik Sabiti – Göreceli Maliyet Tablosunda (Youngs Modulus – Relative Cost Chart) elastiklik sabiti değerin yüksek olduğu ve göreceli maliyet değerin düşük olduğu bölgeden malzeme tercih edilmiştir. Böylece esnek ve ucuz malzeme seçilmiştir.

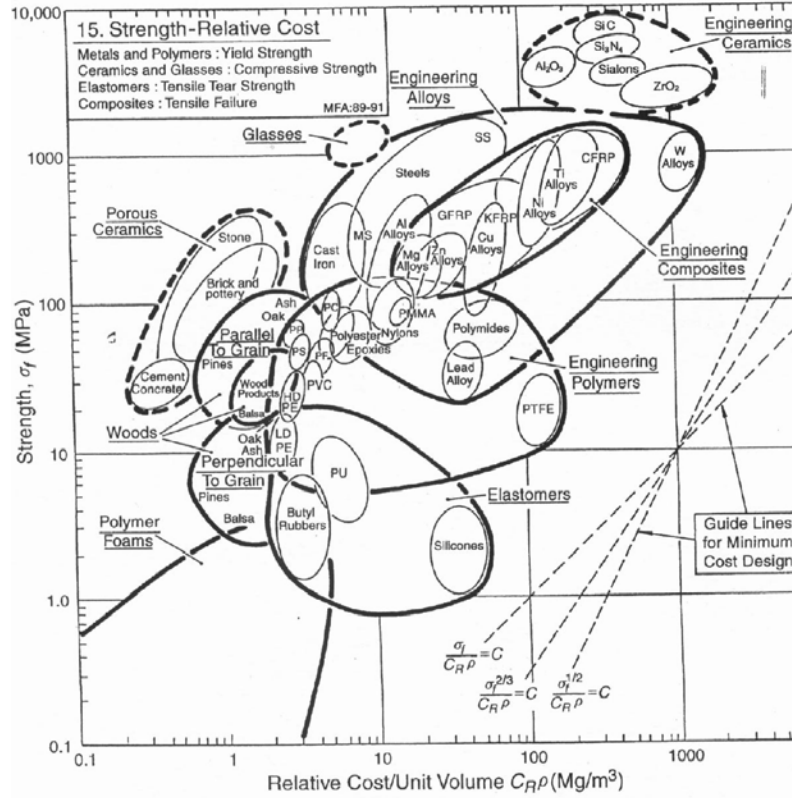
Tablo 4.7. Elastiklik sabiti – göreceli maliyet [Ashby, 1999]



4.1.8. Dayanım – Göreceli Maliyet Tablosu

Dayanım – Göreceli Maliyet Tablosunda (Strength – Relative Cost Chart) dayanım değerinin yüksek olduğu bölgeden ve göreceli maliyet değerinin düşük olduğu bölgeden malzeme tercih edilmiştir. Böylece mukavemeti yüksek ve ucuz malzeme seçilmiştir.

Tablo 4.8. Dayanım – göreceli maliyet [Ashby, 1999]



4.1.9. Sıralama

Bütün tablolarda istenilen özellikler dikkate alınarak malzeme seçimi yapılmıştır. En iyi bölgede bulunan malzeme için 15 puan, en kötü bölgede bulunan malzeme için 1 puan ve ara bölgelerde bulunan malzemeler için orantılı ara puanlar verilmiştir, böylece Tablo 4.9. elde edilmiştir;

Tablo 4.9. Malzemelerin puanlandırılması

	Tab. 1	Tab. 2	Tab. 3	Tab. 4	Tab. 5	Tab. 6	Tab. 7	Tab. 8	Ort.
Al ALLOYS	11	11	11	13	13	13	13	11	12
GFRP	11	12	11	13	13	13	11	11	11,875
Cu ALLOYS	10	8	10	14	14	13	12	11	11,5
KFRP	11	12	11	13	13	13	8	11	11,5
CFRP	11	12	11	13	13	13	10	8	11,375
STEELS	10	8	8	14	14	14	12	11	11,375
SiC	12	12	6	15	12	12	10	10	11,125
Ni ALLOYS	10	8	10	14	14	13	10	8	10,875
Ti ALLOYS	10	8	8	14	14	13	10	8	10,625
PVC	9	9	9	9	9	9	11	11	9,5
HDPE	8	11	11	6	6	9	8	11	8,75
LDPE	8	11	11	6	6	9	8	11	8,75
POLYES.	9	9	6	9	6	9	11	11	8,75
EPOXIES	9	9	6	9	6	6	11	11	8,375
PTFE	6	9	9	6	6	9	6	6	7,125

4.1.10. Sonuç

AGV üzerindeki robot kolu için kullanılacak malzeme seçimi son derece önemlidir. Robot kolunun her zaman aynı yüksek performansı sergileyebilmesi gerekir. Her ihtimalde robot kolu bir zorlanmaya maruz kalacak ve bu zorlanma sonucunda deformasyona uğrayacaktır. Bu kaçınılmaz sonu en az hasarla atlatmak, en uygun robot kolu malzemesinin seçimi sayesinde olacaktır. Tabi ki bu seçim esnasında dikkate alınacak çok sayıda kriter de vardır. Amaç, her kriteri dikkate alarak seçim yapmaktır. Sadece çok hafif veya çok ucuz malzeme seçmek ve diğer kriterleri dikkate almamak yanlış olacaktır. Bu kriterler, elastiklik sabiti, yoğunluk, dayanım, kırılma tokluğu ve göreceli maliyettir. Bu kriterlerin birbiriyle ilişkisinin sergilendiği tablolarda robot kolu için en uygun malzeme olarak alüminyum tercih edilmiştir.

Cimtalay'a (1990) göre ise, konstrüksiyon sağlam ve hafif olmalıdır. Bu noktada, çelik ve alüminyum alaşımlarına karşı CFRP (karbon fiberleri) alternatiftir. Bu malzemenin olumlu özellikleri;

- Yüksek çekme mukavemeti
- Yüksek damperleme etkisi
- Düşük ağırlık (1/4 çelik, 2/3 alüminyum alaşımlar ağırlığında)

CFRP'nin olumsuz tarafları ise, sıcaklık ve nem etkilerine karşı mukavemette azalma, karışık yüzeylerin kalıplanmasındaki problemler, çubukların zor bağlanması ve yüksek maliyettir.

4.2. AGV Üzerinde Robot Kolu Yerinin Tespiti

AGV üzerine robot kolunun nereye sabitleneceği, tasarımcıya bağlı bir seçenektir. AGV'nin kullanılış amacı göz önüne alınarak robot kolu yeri tespit edilmiştir. İş makinelerinin yerleşim düzeni, taşınacak malzemelerin ebatları gibi çok sayıda faktör bu seçimi etkilemiştir. Esnek kullanılabilecek genel amaçlı bir AGV düşünülürse seçenekler şöyle sıralanmıştır:

1. AGV'nin dışındaki istasyonlara yerleştirilen robot kolu
2. AGV'nin herhangi dört köşesinden birine yerleştirilen robot kolu
3. AGV'nin tam orta noktasına yerleştirilen robot kolu

4.2.1. AGV Dışındaki İstasyonlara Yerleştirilen Robot Kolu

Robot kolu, AGV'nin dışına yükleme-boşaltma istasyonlarına yerleştirilebilir. Bu durumda, istasyona gelen AGV üzerinden alınması gereken malzemeler, istasyonda sabit vaziyette bulunan robot kolu vasıtasıyla nakil edilir.

4.2.2. AGV'nin Köşe Noktasına Yerleştirilen Robot Kol

Robot kolu AGV'nin herhangi bir köşe noktasına yerleştirilerek AGV'nin üzerindeki malzemelerin istasyonlarda nakilleri sağlanabilir.

4.2.3. AGV'nin Orta Noktasına Yerleştirilen Robot Kolu

Robot kolu AGV'nin tam orta noktasına yerleştirilerek AGV'nin üzerindeki malzemelerin istasyonlarda nakilleri sağlanabilir.

4.2.4. Sonuç

Robot kolunun AGV üzerine mi, AGV haricine mi kurulacağı, eğer AGV üzerine kurulursa hangi noktaya kurulması gerektiği soruları AGV'nin kullanım amacına bağlıdır. İlk seçenek olan AGV'nin dışındaki istasyonlarda robot kolu yerleştirilmesi tercihi, bazı olumsuzluklar taşır. Bu olumsuzluklar;

- Her yükleme-boşaltma istasyonunda robot kolu sistemi bulundurma mecburiyeti,
- Robot kolu ölçülerinin diğer seçeneklerdeki robot kolu yerleşimi tiplerindeki ölçülerden daha büyük olması gerekliliğidir.

İkinci seçenekteki robot kolunun AGV'nin herhangi bir köşe noktasına yerleştirilerek AGV'nin üzerindeki malzemelerin istasyonlarda nakillerinin sağlanması tercihindeki olumsuzluklar ise;

- Robot kolu ağırlığının AGV'nin bir köşesine yüklenerek dengesizlik oluşturması,
- Üçüncü seçenekteki robot kolunun yerleşim tercihine nazaran daha büyük ölçülere ihtiyaç duymasıdır.

Bu hususlar dikkate alınarak robot kolu sistemlerinin atıl kalmaması ve en az malzeme kullanma çabası dolayısıyla AGV'nin orta noktasına yerleştirilmesi tercih edilebilir. Fakat AGV üzerine yerleştirilecek malzeme boyutlarının büyük olabileceği ihtimali göz önüne alınmıştır ve taşıdığı olumsuzluklara rağmen robot kolu AGV'nin bir köşe noktasına yerleştirilmiştir.

4.3. Robot Kolunda Kullanılacak Motorların Seçimi

4.3.1. Hidrolik Tahrikli Robotlar

Hidrolik motorlar verilen bir etki için çok büyük miktarlarda güç sağlarlar. Yüksek güç-ağırlık oranı uygun hızlarda, orta ve yüksek yüklerin taşınmasında, uygun hareketi temin etmek için, hidrolik motorları çok uygun bir seçim olarak ortaya çıkarır [Yıldırım, 1992].

Hidrolik akışkanın sıkıştırılabilme özelliğinin zayıf olması sonucu hayli rijit bir sistem olması, hidrolik sistemlerin nispeten kolay kontrolünü sağlar. Hidrolik sistemler, hızlı cevaplama zamanı, yüksek doğal frekansları ve düşük gürültü seviyesi ile karakterize edilirler. Hidrolik motorlar daha iyi bir performansa ulaşmak için daha verimli enerji kullanma metodunu sağlarlar, fakat daha pahalıdırlar. Hidrolik tahrikin pahalılığı, sadece hidrolik motorların maliyetinden değil, sistemin tamamlanması için müteşekkil yardımcı teçhizata olan ihtiyaçtan dolayıdır. Ayrıca seçilen sisteme göre elektro-hidrolik servo valfler gerekli olacaktır. Hidrolik robotların ortak bir özelliği hareket esnasında ve bir noktaya yaklaşma anındaki titreşimdir.

Kontrol sistemini mümkün olduğu kadar rijit hale getirmek için tahrik elemanına akan akışkanı kontrol eden servo valfler her bir tahrik elemanına çok yakın yerleştirilmelidir.

4.3.2. Pnömatik Tahrikli Robotlar

Pnömatik tahrik, düşük yük kapasiteli manipülatörde kullanılmaktadır. Pnömatik tahrikler en basit, ucuz ve hafif olma özelliklerine sahiptir. Kullanılan akışkan sıkıştırılmış havadır. Bu sebeple yüksek hassasiyet elde etmek güçtür [Çelebi, 1995].

Basit noktasal hareketlerin sağlanmasında pnömatik tahrikler yıllarca kullanılmışlardır. Çoğu kez kullanılan konfigürasyonlar lineer tek veya çift tesirli piston tahriklidirler. Pnömatik tahrikler aynı zamanda dönme tahriklerinde

kullanılırlar. Doğrusal hareketi dairesel harekete çevirmede, bir halat ile sürücü bir tahrik makarası tahrik koluna irtibatlandırılarak kullanılırlar. Doğrusal hareketin dairesel harekete dönüştüğü lineer olmayan bağlantı hareketlerinden kaçınılmalıdır. Pnömatik tahriklerin bir avantajı da orta bir işletme basıncında ve hafif ağırlıkta olmasıdır.

4.3.3. Elektrik Motorları

AGV üzerindeki robot kolunda kullanılabilecek tahrik sistemlerinden biride elektrik motorlarıdır. Bu motorlar ana hatlarıyla üç gruba ayrılırlar:

DC Motorlar: elektrik enerjisinin mekanik güç çevriminde ilk olarak kullanılan makinelerden birisi olan DC motorlar bir dişli ile yüksek moment ve düşük hızlarda kullanılırlar. Aynı zamanda ölçüm sistemi ve pozisyon kontrolü gerektirirler [Yıldırım, 1992].

Adım Motorları: Yapısal açıdan DC motorlara çok benzemekle beraber bobin sargı sayısı ile sarım şekli değişmektedir. Bu sayede motor adım adım ilerletilebilmekte ve herhangi bir adımda durdurulabilmektedir.

Servo Motorlar: Servo motora giriş çeşitli seviyelerdeki gerilimlerdir. Bu gerilim seviyelerine göre motor mili hareket eder. Robot hareketlerinde kullanılan motor çeşitleri genelde servo motorlardır. Servo motora uygulanan güç, motorun hareket edeceği mesafe ile orandır. Eğer motor az bir derece gidecekse yavaşça döner, eğer büyük bir derece gidecekse tam hız hareket eder. DC servo motor ve AC servo motor olmak üzere sınıflandırılırlar.

4.3.4. Sonuç

Hidrolik tahrik sistemlerinin en önemli avantajları geniş hız kontrol olanakları, yüksek güvenilirlik ve enerji kesilmesinden sonra basitçe hazırlanmasıdır [Cimtalay, 1990]. Hidrolik sistemlerin dezavantajı ise, pompa ve akümülatörden müteşekkil bir enerji depolama sistemine gerek duyulmasıdır. Ayrıca, verimi düşüren kaçaklara maruz kalabilir, sık temizleme ve bakım

gerektirir. İş gören akışkan daima temiz olmalı, parçacıklardan arındırmak için filtre edilmiş olmalıdır. Kabarcık tıkaması ve kavitasyon etkileri de bazen zorluklara sebep olabilir. Tasarımcılar ve planlayıcılar için ise, hidrolik sistemin diğer bir dezavantajı, hidrolik sistemin büyüklüğü yani fazla yer kaplaması ve akümülatörden tahrik kısmına akışkanı ileten boruların relatif olarak düz ve uygun bir sistemin oluşturulmasıdır.

Pnömatik sistemler hidrolik sistemlere benzerler ve hemen hemen tüm uygulamalarda kullanılan akışkan basınçlı havadır. Hava kullanımının dezavantajı, sıkıştırılabilir bir akışkan olduğundan hassas bir kontrol sisteminin oluşturulması mümkün olmaz. Tut ve yerleştir tipi robotlarda mekanik durma noktalarının kullanılmasıyla doğruluk iyileştirilebilir, ancak mekanik durma noktalarının kullanılması sistemin esnekliğinin kaybolmasına neden olur.

DC motorların olumsuz yanları ise, robotik açısından sıfırın altında bir kontrol alanına sahiptir. Çift kutup değişimi yüzünden açısal veya konumsal kontrol yapılamamakta emule edilen (micro wave) motor sürücü devreleri ise ağır şartlar altında performansını yitirmekte ve uzun ömürlü olmamaktadır.

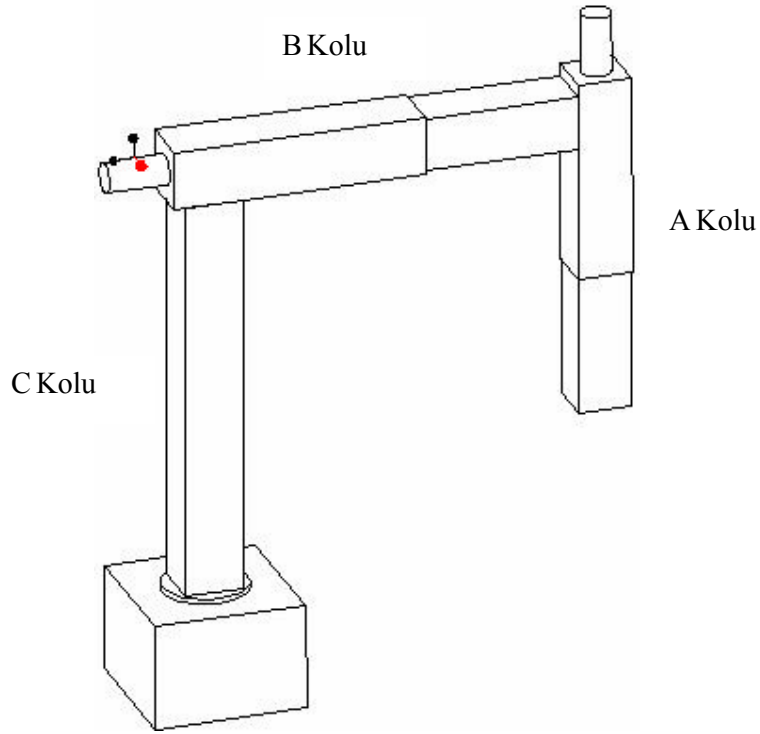
Adım motorlarının olumsuz yanları, hız problemleri olmasıdır. Belli bir hızın üstünde adımı kaçırma ve gerileme hatta tepki verme durumuna girer. Kararlılığı ısısal olarak çok çabuk değişir. Tam adımda (full step) genel olarak başarılıdır fakat yarım adım (half step) veya mikro adımda (micro step) etkisini yitirir. Hata anında eski pozisyonuna dönmede problem oluşur. DC motorlardan avantajlıdır fakat servo motorlardan daha fazla olumsuzluk taşır.

Servo motorların olumsuz yanı azdır. Teknolojisi en iyisi durumda motor olan servo motorların yüksek hızlarda hiçbir sorunu yoktur. Tek problemi motor sürücü devresinin karmaşık olmasıdır. AC servo motorlar, robot uygulamalarında hız kontrolü problemlerinden dolayı geniş kullanım alanına sahip değildir [Leatham-Jones, 1990].

AGV üzerinde konumlandırılacak robot kolunda, diğer motorların dezavantajları göz önüne alınarak tahrik sisteminde DC servo motor kullanılmıştır.

4.4. Robot Kolu Kalınlığının Hesaplanması

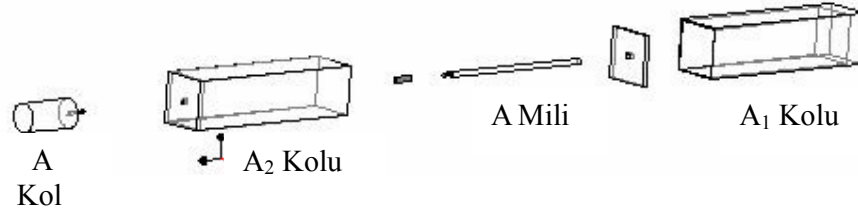
AGV üzerindeki robot kolu kalınlığının istenen azami yükü karşılayacak kalınlıkta (ebatta) olması gerekmektedir. Mukavemet hesabını yapabilmek için öncelikle kullanılan malzeme özelliklerinin iyi belirlenmesi gerekir. Yazar tez çalışmasında robot kollarına alüminyum ve geri kalan bağlantı ekipmanlarına çelik olmak üzere iki temel malzeme kullanmıştır. Şekil 4.1.'de tasarlanan robot kollarının isimlendirilmesi gösterilmiştir. A ve B kolları, birbiri üzerinde kayabilen 2 adet içi boş kare profilden oluşmaktadır. Bu profiller sırasıyla A₁, A₂ ve B₁, B₂ olarak adlandırılmıştır. C kolu da içi boş kare profildir. A₁, B₁ ve C profillerinin iç ölçüleri (boş alanının ölçüsü) 50x50 mm² olarak tasarlanmıştır. A₂ ve B₂ kollarının iç ölçüleri ise, A₁ ve B₁ kollarının dış ölçüleri ile aynı değere sahiptir. A₁ kolu uzunluğu 200 mm, A₂ kolu uzunluğu 200 mm olmak üzere toplam A kolu uzunluğu 400 mm, B₁ kolu uzunluğu 250 mm, B₂ kolu uzunluğu 250 mm olmak üzere toplam B kolu uzunluğu 500 mm, C kolu uzunluğu ise 400 mm olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.1. Robot kollarının isimlendirilmesi

4.4.1. A Kolu İçin Hesaplama

A kolu, birbiri içinde kayabilen 2 adet içi boş kare profilden oluşmaktadır. Bu profiller A_1 ve A_2 olarak adlandırılmıştır. Hesaplama yapılırken A_1 profilinin iç ölçüsü (boş alanının ölçüsü) $50 \times 50 \text{ mm}^2$ olarak kabul edilmiştir. A_1 kolunun dış ölçüsü belirlendikten sonra, A_2 kolunun iç ölçüsü belirlenen bu dış ölçü olarak alınmış ve A_2 kolunun dış ölçüsü hesaplanmıştır. Ayrıca hareketini motordan alan A milinin de kalınlık hesabı yapılmıştır. Şekil 4.2.'de A kolunu oluşturan bileşenler gösterilmiştir.



Şekil 4.2. A kolunun bileşenleri

A₁ Kolu İçin Hesaplama

Alüminyumun Özellikleri: [Kulaksız ve ark., 2000]

Özgül ağırlığı (yoğunluğu) : 2.7 kg/dm^3

Ergime noktası : $658 \text{ }^\circ\text{C}$

Genleşme : % 3...25

Çekme mukavemeti (σ_{ST})

Dökülmüş $90...120 \text{ N/mm}^2$

Yumuşak Tavlanmış 65 N/mm^2

Haddeden geçirilerek katı haddelenmiş $150...230 \text{ N/mm}^2$

Kütle $m = 3Kg$ (kaldırılması gereken max. kütle)

A₁ kolu uzunluğu $A_{1l} = 200mm$

Statik çekme gerilmesi $\sigma_{ST} = 65 \text{ N/mm}^2$

Dinamik yükleme için $\sigma_{DN} = \frac{\sigma_{ST}}{2}$ (4.1.)

$$\sigma_{DN} = \frac{65}{2} = 32,5 \text{ N/mm}^2$$

Kütleden kaynaklanan yük $F_A = 3 \times 9,81 \cong 30N$

$$\sigma_{EM} = \sigma_{DN} = 32,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{EM} = \frac{F_A}{Alan} \quad (4.2.)$$

$$Alan = \frac{F_A}{\sigma_{EM}} = \frac{30}{32,5} = 0,923077 \text{ mm}^2$$

$$Alan = A_{du}^2 - A_{iç}^2 \quad (4.3.)$$

$$Alan = A_1^2 - 50^2 \quad A_1^2 = 0,923077 + 50^2$$

$A_1 = 50,00923 \text{ mm}$ olarak bulunmuştur.

$$\text{Et kalınlığı} \quad e_t = \frac{A_{du} - A_{iç}}{2} \quad (4.4.)$$

$$e_t = \frac{A_1 - A_0}{2} = \frac{50,00923 - 50}{2} = 0,004615mm$$

n = 10 emniyet katsayısı alınırsa emniyetli et kalınlığı;

$$e_n = 0,004615 \times 10 = 0,04615mm \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

Et kalınlığının yeni değerine göre kol kalınlığı tekrar hesaplanmıştır;

$$A_1 = A_0 + (2 \times e_n) = 50 + (2 \times 0,04615) = 50,0923mm \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

Malzemenin işlenmesi dikkate alınarak $A_1 = 52 \text{ mm}$ olarak kabul edilmiştir.

Böylece et kalınlığının en az 1 mm olması sağlanmıştır.

A2 kolu için hesaplama

Bütün yükü A mili taşıyacağı için A_2 kolu az derecede zorlamaya maruz kalmıştır. Keyfi olarak dış ölçüsü 54 mm alınmıştır.

A kolundaki mil için hesaplama

Çelik için çekme mukavemeti : $370-690 \text{ N/mm}^2$ [Kulaksız ve ark., 2000]

Statik çekme gerilmesi $\sigma_{ST} = 370 \text{ N/mm}^2$

Dinamik yükleme için $\sigma_{DN} = \frac{\sigma_{ST}}{2}$

$$\sigma_{DN} = \frac{370}{2} = 185 \text{ N/mm}^2$$

$$Alan = \frac{F_A}{\sigma_{EM}} = \frac{30}{185} = 0,1621621622 \text{ mm}^2$$

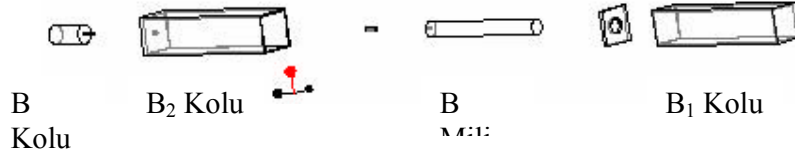
$$Alan = \pi \times r^2 \quad (4.5.)$$

$$r_A = 0,2272 \text{ mm} \text{ (milin yarıçap ölçüsü)}$$

Malzemenin işlenmesi düşünülerek yarıçap r_A ölçüsü 2 mm , çap d_A ölçüsü 4 mm olarak alınmıştır.

4.4.2 B Kolu İçin Hesaplama

B kolu, birbiri içinde kayabilen 2 adet içi boş kare profilden oluşmaktadır. Bu profiller B_1 ve B_2 olarak adlandırılmıştır. Hesaplama yapılırken B_1 profilinin iç ölçüsü (boş alanının ölçüsü) $50 \times 50 \text{ mm}^2$ olarak kabul edilmiştir. B_1 kolunun dış ölçüsü belirlendikten sonra, B_2 kolunun iç ölçüsü belirlenen bu dış ölçü olarak alınmış ve B_2 kolunun dış ölçüsü hesaplanmıştır. Ayrıca hareketini motordan alan B milinin de kalınlık hesabı yapılmıştır. Şekil 4.3.'de B kolunu oluşturan bileşenler gösterilmiştir.



Şekil 4.3. B kolunun bileşenleri

B₁ Kolu İçin Hesaplama

B kolu bir eğilme problemidir. Gerilmelere göre boyutlandırmada esas alınacak formül;

$$\left(\frac{M}{I}\right)y \leq \sigma_{EM} \quad (4.6.)$$

Pratikte I/y oranı yeni bir büyüklük olarak tanımlanmış ve buna mukavemet momenti adı verilmiştir:

$$W = \frac{I}{y} \quad (4.7.)$$

X eksenine göre simetrik olmayan kesitlerde iki tane y bulunduğu, dolayısıyla iki tane W olacağını gözden uzak bulundurmamalıdır.

Mukavemet momenti kullanılırsa boyutlandırma formülü şu hale gelir;

$$\frac{M}{W} \leq \sigma_{EM} \quad (4.8.)$$

Buradan eğilmede kesit tayininde W'nin rol oynadığı anlaşılmıştır.

B₁ kolu uzunluğu $B_{1l} : 250mm$

Yüke en uzak noktada oluşan moment : $M = 250 \times 4 = 1000kgmm$

Atalet momenti tespit edilmiştir:

$$y = \frac{B_1}{2} \quad \text{için} \quad I = \frac{B_1^4 - B_0^4}{12} \quad (4.9.)$$

$$I = \frac{B_1^4 - 50^4}{12} = \frac{B_1^4 - 6250000}{12}$$

$$W = \frac{I}{y} = \frac{B_1^4 - 6250000}{6B_1}$$

$$\frac{M}{W} \leq \sigma_{EM} \quad 1000 \times \left(\frac{6 \times B_1}{B_1^4 - 6250000} \right) \leq 3,25$$

B₁ yaklaşık olarak 50,19 mm olarak kabul edilmiştir.

$$\text{Et kalınlığı } e_t = \frac{B_1 - B_0}{2} = 0,095mm$$

n = 10 emniyet katsayısı alınırsa emniyetli et kalınlığı;

$$e_n = 0,095 \times 10 = 0,95mm \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

Et kalınlığının yeni değerine göre kol kalınlığı tekrar hesaplanmıştır;

$$B_1 = B_0 + (2 \times e_n) = 50 + (2 \times 0,95) = 51,9mm$$

Malzemenin işlenmesi dikkate alınarak $B_1 = 52 \text{ mm}$ olarak kabul edilmiştir.

B₂ Kolu İçin Hesaplama

B₂ kolu uzunluğu $B_{2l} : 250mm$

Yüke en uzak noktada oluşan moment : $M = (250 + 250) \times 4 = 2000kgmm$

Atalet momenti tespit edilmiştir:

$$y = \frac{B_2}{2} \quad I = \frac{B_2^4 - 52^4}{12} = \frac{B_2^4 - 7311616}{12}$$

$$W = \frac{I}{y} = \frac{B_2^4 - 7311616}{6B}$$

$$\frac{M}{W} \leq \sigma_{EM} \quad 2000 \times \left(\frac{6 \times B_2}{B_2^4 - 7311616} \right) \leq 3,25$$

$$12000B_2 \leq 3,25B_2^4 - 23762752$$

B₂ kolunun dış ölçüsü yaklaşık 52,35 mm olarak bulunmuştur.

$$\text{Et kalınlığı } e_t = \frac{B_2 - B_1}{2} = 0,175mm$$

n = 10 emniyet katsayısı alınırsa emniyetli et kalınlığı;

$$e_n = 0,175 \times 10 = 1,75 \text{ mm} \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

Et kalınlığının yeni değerine göre kol kalınlığı tekrar hesaplanmıştır;

$$B_2 = B_1 + (2 \times e_n) = 52 + (2 \times 1,75) = 55,5 \text{ mm}$$

Malzemenin işlenmesi dikkate alınmış ve $B_2 = 56 \text{ mm}$ olarak kabul edilmiştir.

B Kolundaki Mil İçin Hesaplama

$$M = 500 \times 3 = 1500 \text{ kgmm}$$

$$\frac{M}{W} \leq \sigma_{EM}$$

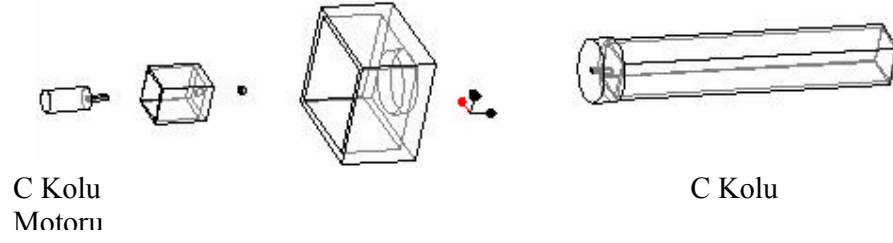
$$W = \frac{I}{y} = \frac{\frac{\pi d^4}{64}}{\frac{d}{2}} = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$\frac{1500 \times 32}{\pi d^3} = \frac{48000}{\pi d^3} \leq 18,5$$

B kolundaki mil çapı yaklaşık olarak $d_B = 10 \text{ mm}$ alınmıştır.

4.4.3. C Kolu İçin Hesaplama

C kolu, içi boş kare bir profildir. Boş alan $50 \times 50 \text{ mm}^2$ dir. C kolunun maruz kalacağı zorlanmalar tespit edilerek dış ebatları hesaplanmıştır. Şekil 4.4.'de C kolunun bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4. C kolunun bileşenleri

C kolu bir eksantrik burkulma problemidir. Kolda burkulmanın olduğu kritik yüke karşı gelen normal gerilmeye kritik gerilme adı verilmiş ve σ_{KR} ile gösterilmiştir. r atalet yarıçapıdır.

Eksenden kaçık olarak yüklenen yapılarda euler analizi uygulanmaz. Bu yükleme durumunda genel çözüm aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$M_C = -F(e + a - y) \quad \text{elastik eğri denkleminde;} \quad (4.10.)$$

$$\left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) EI = -M_C \quad (4.11.)$$

$$\left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) EI = F(e + a - y) \quad (4.12.)$$

$$\left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) + \left(\frac{F}{EI} \right) y = \frac{F(e + a)}{EI} \quad (4.13.)$$

buradan $k = \sqrt{\frac{F}{EI}}$ alınırsa; (4.14.)

$$\left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) + k^2 y = k^2 (e + a) \quad \text{bulunur ;} \quad (4.15.)$$

Bu diferansiyel denklemin genel çözümü:

$$y = A \cdot \cos(kx) + B \cdot \sin(kx) + e + a \quad \text{bulunmuştur;} \quad (4.16.)$$

Bu denklemden;

$$\left(\frac{dy}{dx}\right) = -Ak \sin(kx) + Bk \cos(kx) \quad (4.17.)$$

sınır koşullarından A ve B sabitleri tespit edilmiştir. $X=0$ 'da $\frac{dy}{dx} = 0$ olacağından

$B=0$ bulunmuştur. Öte yandan $x=0$ da $y=0$ olacağından $A = -(a + e)$ bulunmuştur.

Böylece elastik eğri denklemi:

$$y = (a + e)\{1 - \cos(kx)\} \quad (4.18.)$$

olarak bulunmuştur. Sınır şartlarından $x=L$ 'de $y=a$ olacaktır. Bunlar yukarıdaki denklemde yerine konursa serbest uçta oluşan sapma miktarı:

$$a = y = e\{\sec(kL) - 1\} \quad \text{veya,} \quad (4.19.)$$

$$y = e \left[\sec\left(\frac{\pi}{2}\right) \sqrt{\frac{F}{F_{CR} - 1}} \right] \quad \text{ile verilmiştir ;} \quad (4.20.)$$

maksimum eğilme gerilmesi alttaki sabit uçta meydana gelir ve değeri:

$$\sigma = \frac{F \cdot e \cdot c \cdot \sec(kL)}{A \cdot r^2} \quad (4.21.)$$

bulunmuştur. Burada c kolonun yarı kalınlığı, r kolonun atalet yarıçapı, A ise kesit alanıdır. Burada maksimum basma gerilmesi :

$$\sigma = -\left(\frac{F}{A}\right) - \left[\frac{F.e.c.\sec(kL)}{A.r^2}\right] \quad (4.22.)$$

$$F_{CR} = \frac{(\pi^2 EI)}{L_{E\check{S}}^2} \quad (4.23.)$$

bağıntısı burada yerine yazılıp bu denklem yeniden düzenlenirse:

$$\sigma = -\frac{F}{A} \left[1 + \frac{ec}{r^2} \sec \frac{\pi}{2} \left(\sqrt{\frac{F}{F_{CR}}} \right) \right] \quad (4.24.)$$

Bu bağlantıya sekant formülü de denir. Bu bağıntı daha ziyade eksantrik yüklenmiş kolonlarda kullanılır. Burada $\frac{ec}{r^2}$ oranına eksantrisite oranı denir.

$M = P.e$ momenti etkisi, $L_{E\check{S}} = 2.L$ eşitliği ve $\sigma_{EM} = 32,5 N/mm^2$ değerleri dikkate alınarak;

Tahmin 1 : $C_1 = 50,07mm$ olarak tahmin edilmiştir,

$$Alan = C_1^2 - C^2 = 0,05007^2 - 0,05^2 = 7,00.10^{-6} m^2$$

$$I = \frac{(C_1^4 - C^4)}{12} = \frac{(0,05007^4 - 0,05^4)}{12} = 2,9228.10^{-9} m^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = 0,020427m \quad L_{E\check{S}} = 2L$$

$$F_{CR} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2} = \frac{(\pi^2 .71.10^9 .2,9228.10^{-9})}{4(0,4)^2} = 3196,954N$$

$$\sigma = 5,347485.10^7 Pa \leq \sigma_{EM} \text{ eşitliği SAĞLANAMADI.}$$

Tahmin 2 : $C_1 = 50,08mm$ olarak tahmin edilmiştir.

$$Alan = C_1^2 - C^2 = 0,05008^2 - 0,05^2 = 8,01.10^{-6} m^2$$

$$I = \frac{(C_1^4 - C^4)}{12} = \frac{(0,05008^4 - 0,05^4)}{12} = 3,34134.10^{-9} m^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = 0,020429m \quad L_{E\check{S}} = 2L$$

$$F_{CR} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2} = \frac{(\pi^2 . 71.10^9 . 3,34134.10^{-9})}{4(0,4)^2} = 3654,758N$$

$$\sigma = 4,417023.10^7 Pa \leq \sigma_{EM} \text{ eşitliği SAğLANAMADI.}$$

Tahmin 3 : $C_1 = 50,09mm$ olarak tahmin edilmiştir.

$$Alan = 0,05009^2 - 0,05^2 = 9,01.10^{-6} m^2$$

$$I = \frac{(C_1^4 - C^4)}{12} = \frac{(0,05009^4 - 0,05^4)}{12} = 3,76014.10^{-9} m^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = 0,020431m \quad L_{E\check{S}} = 2L$$

$$F_{CR} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2} = \frac{(\pi^2 . 71.10^9 . 3,76014.10^{-9})}{4(0,4)^2} = 4112,836N$$

$$\sigma = 3,734262.107 Pa \leq \sigma_{EM} \text{ eşitliği SAğLANAMADI.}$$

Tahmin 4 : $C_1 = 50,1mm$ olarak tahmin edilmiştir.

$$Alan = C_1^2 - C^2 = 0,0501^2 - 0,05^2 = 1.10^{-5} m^2$$

$$I = \frac{(C_1^4 - C^4)}{12} = \frac{(0,0501^4 - 0,05^4)}{12} = 4,17918.10^{-9} m^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = 0,020433m \quad L_{E\check{S}} = 2L$$

$$F_{CR} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2} = \frac{(\pi^2 . 71.10^9 . 4,17918.10^{-9})}{4(0,4)^2} = 4571,188N$$

$$\sigma = 3,215219.10^7 Pa \leq \sigma_{EM} \text{ eşitlik SAĞLANDI.}$$

C kolunun dış ölçüsü 50,1 mm olarak bulunmuştur.

$$\text{Et kalınlığı } e_t = \frac{C_1 - C}{2} = \frac{50,1 - 50}{2} = 0,05mm$$

n = 10 emniyet katsayısı alınırsa emniyetli et kalınlığı;

$$e_n = 0,05 \times 10 = 0,5mm \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

Et kalınlığının yeni değerine göre kol kalınlığı tekrar hesaplanmıştır;

$$C_1 = C + (2 \times e_n) = 50 + (2 \times 0,5) = 51mm$$

Malzemenin işlenmesi dikkate alınarak $C_1 = 52 mm$ olarak kabul edilmiştir.

4.5. Motor Kapasitesinin Belirlenmesi

AGV üzerindeki robotun A kolu, B kolu ve C kolunda birer tane olmak üzere toplam üç adet DC servo motor kullanılmıştır. Mevcut sistem verilerine dayanılarak Nm cinsinden moment hesabı yapılmıştır ve motor kapasiteleri belirlenmiştir.

4.5.1. A Kolundaki Motor İçin Moment Hesabı

AGV üzerinde bulunan robotun A kolundaki motorunun hesabı tamamen A kol miline etki eden kuvvetler ve maruz kaldığı zorlanmalarla ilgilidir. Bu mile düşey yönde $F=30$ N değerinde yük etkir ve bu yük $(F \times \sin \alpha)$ ve $(F \times \cos \alpha)$ olmak üzere bileşke yükler oluşturur. $(F \times \sin \alpha)$ kuvveti mil dişlisinin dönmesini engelleyen kuvvettir. $(F \times \cos \alpha)$ ise bu kuvvete dik açılı olduğu için ihmal edilebilir. Motorun mili hareket ettirebilmesi için dişli üzerinde $(F \times \sin \alpha)$ kuvvetinin oluşturduğu momenti yenmesi gerekir. İşlem basamakları;

Kaldırılacak yük değeri $F = 30\text{N}$

Mil dişi açısı $\alpha = 30$

A mili diş çapı $d_A = 0,008$ m.

$$F_A = F \cdot \sin \alpha = 30 \cdot \sin(30) = 15 \text{ N}$$

$$F_M = \frac{F_A}{\cos(\alpha)} = \frac{15}{\cos(30)} = 17,33 \text{ N}$$

$$M = F_M \times \frac{d_A}{2} = 17,33 \times \frac{0,008}{2} = 0,07$$

Mil dişlilerinde ve kollar arasında oluşan sürtünmeler nedeniyle emniyet katsayısını $n = 10$ kabulü ile,

$$M_A = n \cdot M = 10 \cdot 0,07 = 0,7 \text{ Nm}$$

A kolunda kullanılacak DC servo motor en az 1 Nm tork kapasiteli olarak belirlenmiştir.

4.5.2. B Kolundaki Motor İçin Moment Hesabı

Kaldırılacak yük değeri $F = 30N$

Mil dişi açısı $\alpha = 30$

B mili diş çapı $d_B = 0,02 \text{ m}$.

$$F_B = F \cdot \sin \alpha = 30 \cdot \sin(30) = 15 \text{ N}$$

$$F_M = \frac{F_B}{\cos(\alpha)} = \frac{15}{\cos(30)} = 17,33 \text{ N}$$

$$M = F_M \times \frac{d_B}{2} = 17,33 \times \frac{0,02}{2} = 0,18$$

Mil dişlilerinde ve kollar arasında oluşan sürtünmeler nedeniyle emniyet katsayısını $n = 10$ kabulü ile,

$$M_B = n \cdot M = 10 \cdot 0,18 = 1,8 \text{ Nm}$$

B kolunda kullanılacak DC servo motor en az 2 Nm tork kapasiteli olarak belirlenmiştir.

4.5.3. C Kolundaki Motor İçin Moment Hesabı

Kaldırılacak yük değeri $F = 30N$

C kolu için $d_c = 0,007 \text{ m}$.

$$M_C = F \times \frac{d_C}{2} = 30 \times \frac{0,007}{2} = 0,105 \text{ Nm}$$

Sistemde oluşan sürtünmeler ve diğer karşıt kuvvetler nedeniyle emniyet katsayısı olarak $n = 10$ kabulü ile,

$$M_C = n \times M_C = 10 \times 0,105 = 1,05 Nm$$

C kolunda kullanılacak DC servo motor en az 1,5 Nm tork kapasiteli olarak belirlenmiştir.

4.6. ROBOT KOLU KİNEMATİĞİ

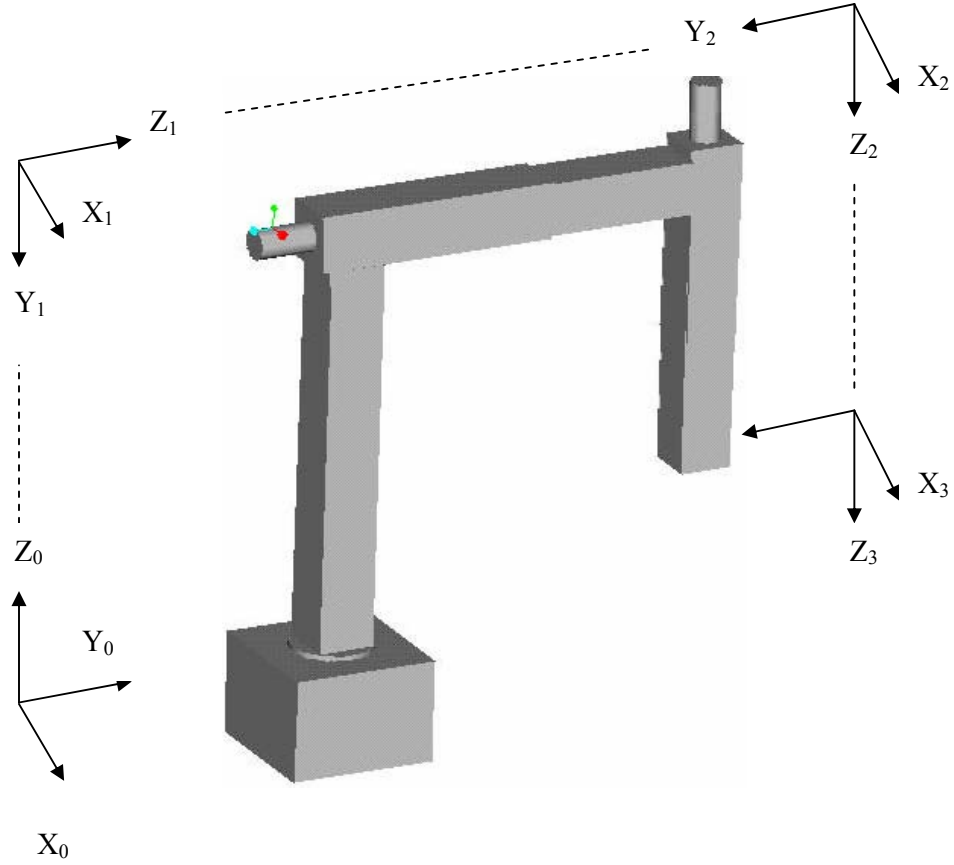
Bir mekanik maniplatr, motorlar tarafından tahrik ettirilen döner veya prizmatik eklemlerle birbirine seri olarak bağlanmış, birden fazla uzuvu olan bir açık devre mekanizması olarak düşünülebilir. Mekanizmanın bir ucu bir temele (zemine) bağlanmış olup, diğer ucu boştadır ve bu uca, nesneleri hareket ettirmeye ve belirli işlemleri yapmaya yarayan ve end-effektör diye adlandırılan bir takım monte edilmiştir. Eklemlerin birbiri ile olan bağlı hareketi, kolu istenen herhangi bir pozisyona getiren uzuvların hareket etmesini sağlar. Robot uygulamalarında genellikle end-effektör hareketinin sabit bir referans koordinat sistemine göre tanımlanması gerekir [Can, 1991].

Robot kolu kinematığı, bir robot kolunun sabit bir referans koordinat sistemine göre, zamana bağlı olarak yapmış olduğu hareketin geometrisinin, hareket sebebi ile doğan momentler ve kuvvetler hesaplanmaksızın, analitik olarak incelenmesidir. Böylece robot kolu kinematığı, robotun zamana bağlı olarak yaptığı uzaydaki hareketinin analitik tanımını ile, özellikle eklemlerin uzayda yapmış olduğu bağlı hareketlerle, robot kolu end-effektrnn dönmesi ve pozisyon değişimi ile ilgilenir [Can, 1991].

Denavit – Hatenberg Gösterimi

Birbirini izleyen uzuvların yaptığı öteleme ve dönel hareketler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için Denavit ve Hartenberg (1955), manipülâtörün her uzvuna bir koordinat sistemi yerleştiren bir matris metodu önermişlerdir. D-H gösteriminde, her uzvun koordinat sistemini, eklemden önceki uzuv koordinat sistemine göre gösteren bir 4x4 transformasyon matrisi kullanılır. Böylece, bir dizi transformasyondan sonra, el koordinatlarında belirtilen end-effektör, temel koordinatlarda ifade edilebilir [Can, 1991].

Tez çalışmasında kullanılan silindirik konfigürasyonlu robotun eklemlerinde oluşan eksenler Şekil 4.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Robot kolu kinematiği

Link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	$-\pi/2$	d_1	θ_1
2	0	$-\pi/2$	d_2	0
3	0	0	d_3	0

Tablo 4.10. Robot kolu kinematigi

$$A_1^0(q_1) = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & -\sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad A_2^1(q_2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \text{ve}$$

$$A_3^2(q_3) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = A_1^0 A_2^1 A_3^2$$

$$T = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & -\sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 & -\sin \theta_1 d_2 \\ \sin \theta_1 & -\cos \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 d_2 \\ 0 & 0 & -1 & d_1 - d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T=\begin{bmatrix}n^0&s^0&a^0&p^0\\0&0&0&1\end{bmatrix}$$

$$n^0=\begin{bmatrix}\cos\theta_1\\ \sin\theta_1\\ 0\end{bmatrix}\qquad s^0=\begin{bmatrix}\sin\theta_1\\ -\cos\theta_1\\ 0\end{bmatrix}\qquad a^0=\begin{bmatrix}0\\ 0\\ -1\end{bmatrix}\qquad p^0=\begin{bmatrix}-\sin\theta_1d_2\\ \cos\theta_1d_2\\ d_1-d_3\end{bmatrix}$$

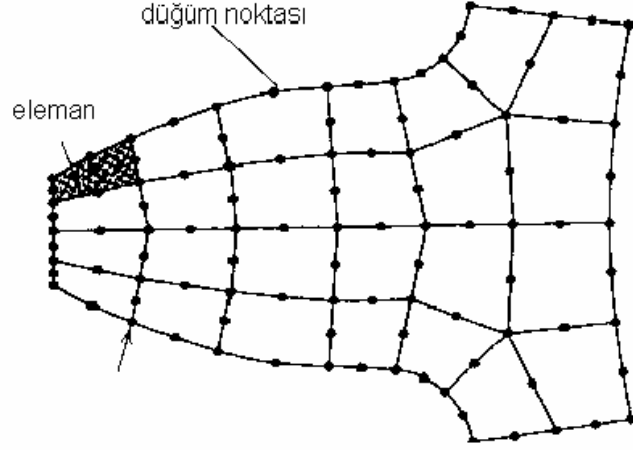
5. ANALİZ

5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi matematikçilerden ziyade mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Yöntem ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer yerdeğiştirme alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akısı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük alanın almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen pratikte özel bir öneme haizdir.

Basit şekliyle sonlu elemanlar metodunu, karmaşık problemlerin basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şekli olarak tanımlanabilir. Günümüzde sonlu elemanlar metodu geniş uygulamalarıyla bir mühendislik aracı olarak kesin yerini almıştır [Kayabaşı, 2004].

Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan bir çok elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen noktalarda Şekil 5.1.'deki gibi tekrar birleştirilirler. Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.



Şekil 5.2. Bir sonlu eleman modelinde nod noktaları ve elemanlar

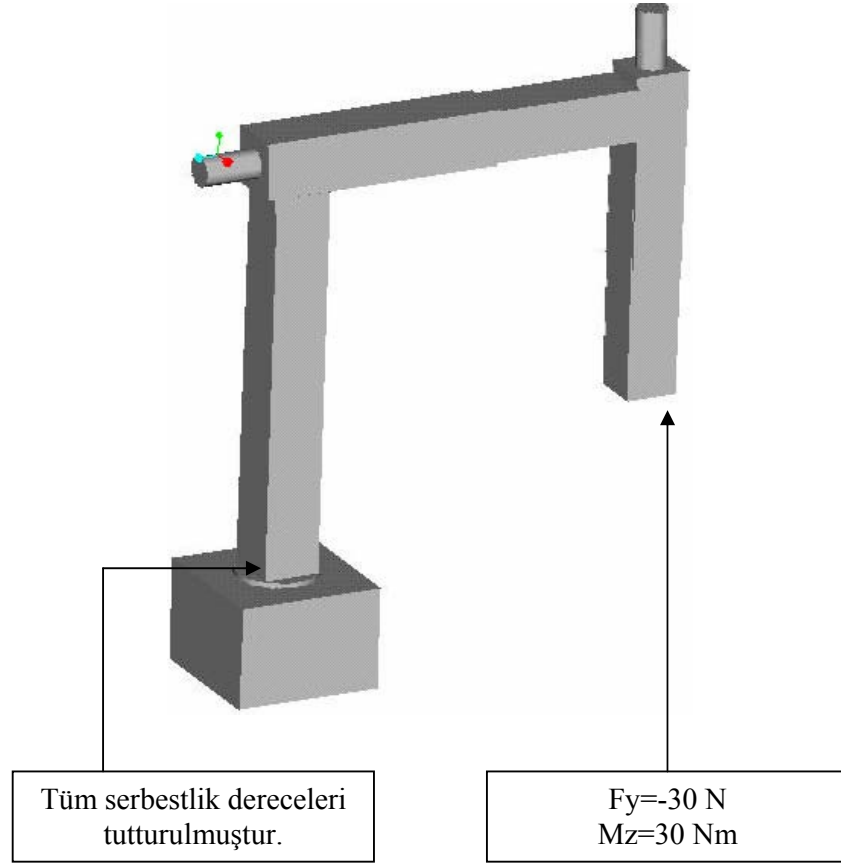
5.1.1. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Sonlu Elemanlar Analizinde yapının fiziksel şartlar altında nasıl davranacağını önceden tahmin edip Sonlu Elemanlar Modelinin ona göre oluşturulması gerekir. Bu tez çalışmasında robot kolunun fiziksel şartlar altında tork, yerdeğiştirme ve gerilmenin oluşturulacağı tahmin edilerek 2-D model oluşturulmuştur.

Sonlu elemanlar yönteminde ilk adım geometrik model üzerine sonlu elemanlar modeli oluşturulmasıdır. Bu tez çalışmasında ANSYS eleman tipi kütüphanesinde bulunan BEAM 3 eleman tipi ile sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Kullanılan eleman sayısı 151'dir.

Sonlu elemanlar yönteminde ikinci adım malzemenin davranışlarını temsil edecek malzeme modellerinin seçimidir. Robot kolu için *isotropik linear* Young's Modülü $E=70,000$ MPa poisson oranı (ν) 0.33 malzeme modeli kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar yönteminde üçüncü adım yüklemelerin ve sınır şartların uygulanmasıdır. Sınır şartları ve yüklemeler Şekil 5.2.'deki gibi uygulanmıştır.



Şekil 5.2. Sınır şartlar ve yüklemeler

5.1.2. Sonlu Elemanlar Analizi

Analiz sürecinde tüm giriş dataları ANSYS'in pre-processor ve post-processor'ünde hazırlanmıştır. Komple analiz ve post-process Windows 2000 tabanlı P4 2.0 GHz Intel işlemci ve 1 GHz RDRAM IBM PC'de gerçekleştirilmiştir.

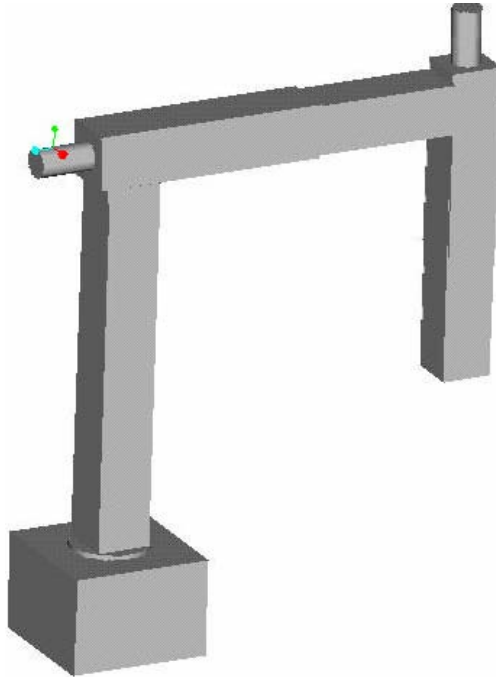
5.1.3. Sonuçların Değerlendirilmesi

Sonuçların değerlendirilmesi adımı, en kritik adım olarak tanımlanabilir. Çünkü elde edilen dataların kişinin istifadesine ne ölçüde yaradığı veya ne manaya geldiği veya çözümün doğru yapılp yapılmadığının anlaşılması açısından çok önemlidir. Bundan dolayı sonuçların ayrıca mühendislik çözüm yöntemleriyle karşılaştırılmasında fayda vardır.

Çözülecek problem ne kadar karmaşık ve büyük olursa olsun yukarıda sıralanan adımlar uygulanmak zorundadır. Fakat paket programların özelliklerine göre yalnızca komutlar değişmektedir. Bilinmesi gereken önemli bir konuda ANSYS programının çok kapsamlı analizlerde çizim açısından yetersiz kalmasıdır, bu nedenle çok kapsamlı analizlerde öncelikli yapılması gerekli çalışma analizi yapılacak sistemin olabildiğince ayrıntısız (analiz sonucunda elde edilecek değeri büyük ölçüde etkilemeyecek şekilde) yani sade hale getirilmesidir. Ayrıca çizim yeterliliğinin düşük olması diğer programlarında (Pro/Engineer) belirli bir düzeyde bilinmesini gerekli kılmaktadır. ANSYS programı gerçektende çok kapsamlı ve yapılacak analiz türüne bağlı olarak oldukça karmaşıktır. Özellikle programın algoritmasının çok iyi bilinmesi gereklidir, ancak bu şekilde analiz edilecek sistem bilgisayar ortamına taşınabilir.

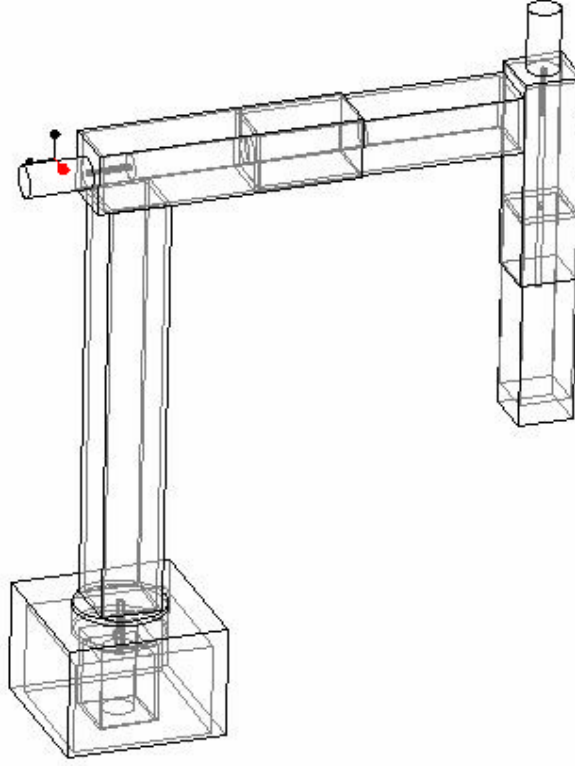
5.2. PRO/ENGINEER Çizimleri

Şekil 5.3.'de robot kolunun birleşik yapıda ve solid çizimi gösterilmektedir. Bu şekil, robot kolunun yüzeysel olarak dış görünümü hakkında fikir sahibi olmak için kullanılır.



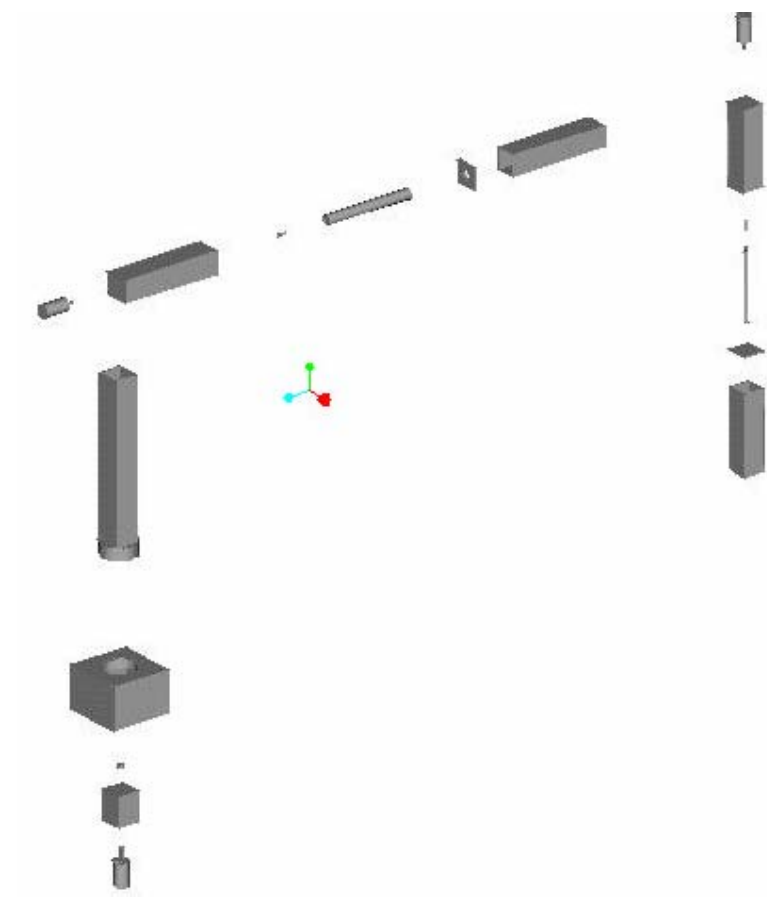
Şekil 5.3. Birleşik yapıda solid robot kolu görünümü

Şekil 5.4.'de robot kolunun birleşik yapıda ve çizgisel olarak çizimi gösterilmektedir.



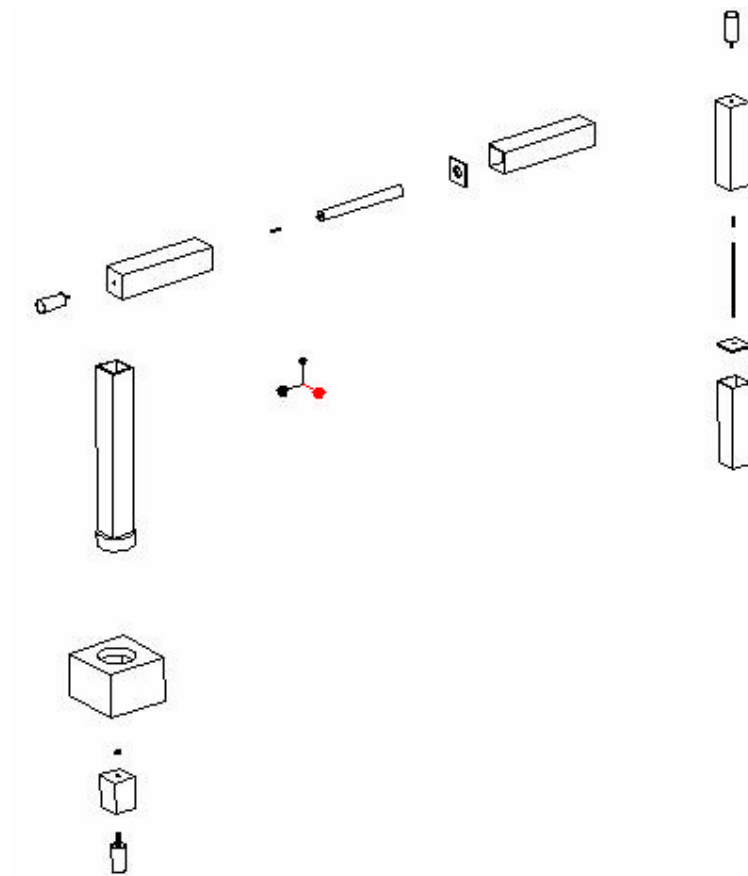
Şekil 5.4. Robot kolunun birleşik yapıda ve çizgisel görünümü

Şekil 5.5.'de robot kolunun parçalı yapıda ve solid olarak çizimi gösterilmektedir. Bu çizimin amacı, robot kolunu oluşturan bileşenlerin robot kolu içerisindeki yerleşimini görmek ve böylece robot kolunun çalışma prensibini daha kolay kavrayabilmektir.



Şekil 5.5. Robot kolunun parçalı yapıda ve solid görünümü

Şekil 5.6.'da ise, robot kolunun parçalı yapıda ve çizgisel olarak çizimi gösterilmiştir.



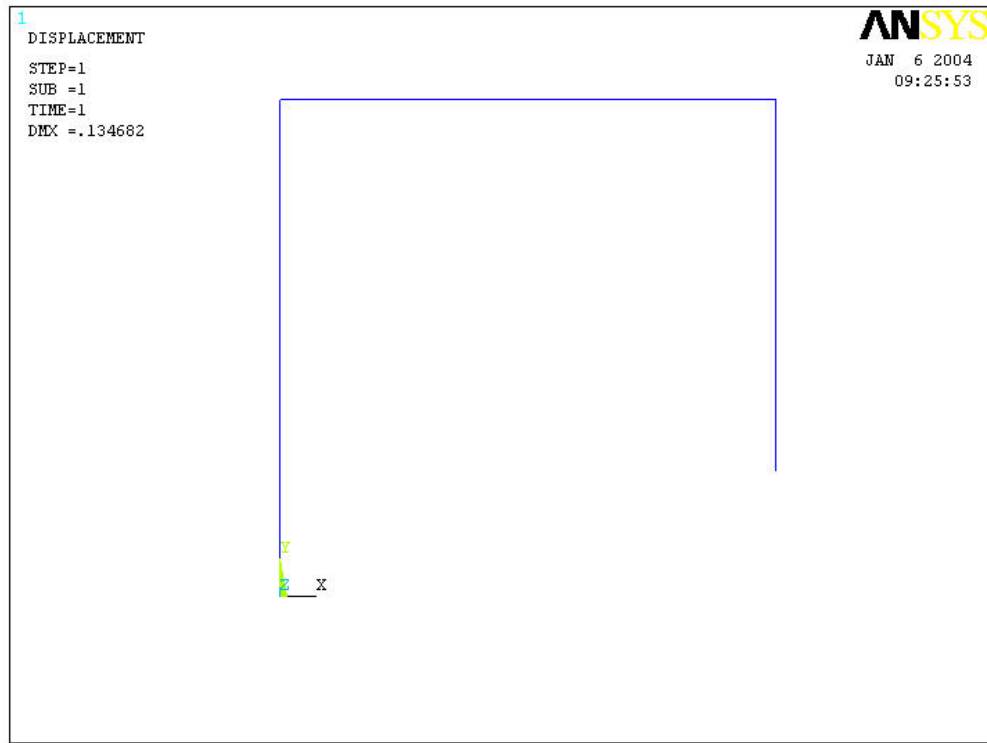
Şekil 5.6. Robot kolunun parçalı yapıda ve çizgisel görünümü

5.3. ANSYS Analizleri

Robot kolunun yapısal şekli ANSYS programına aktarılmıştır ve uç noktaya kaldırılacak en maksimum ağırlık olan 30 N uygulanmıştır. Çıkan sonuçlar sırasıyla şöyledir;

DEFORMASYON

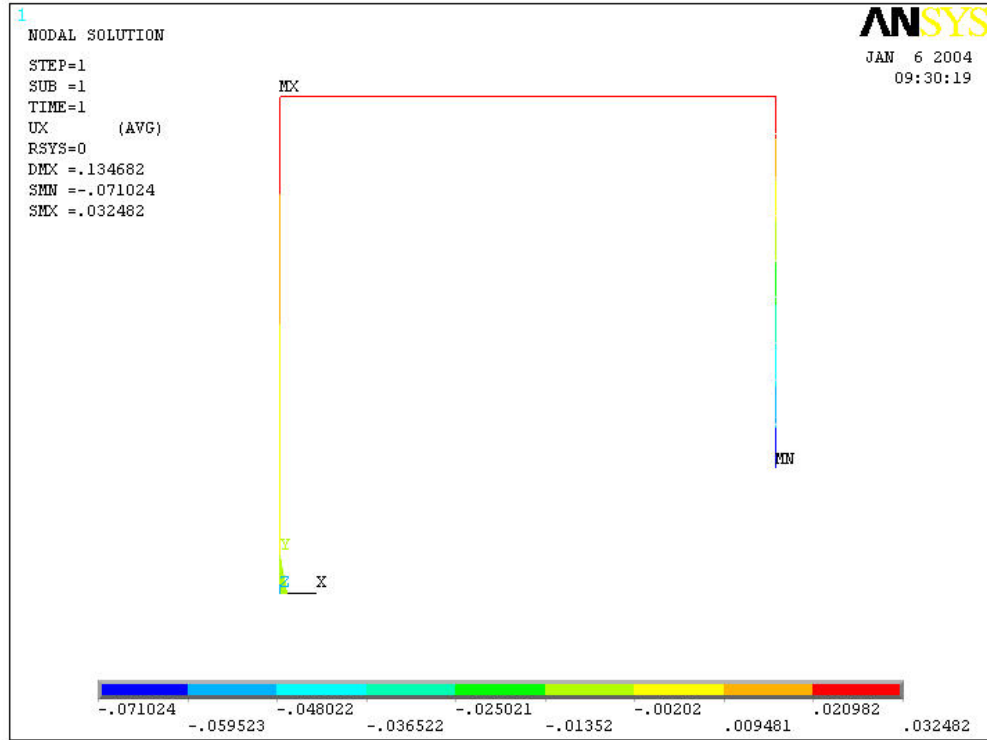
Şekil 5.7.'deki Deformasyon Analizinde görüldüğü gibi, maksimum deformasyon değeri (DMX, deflection maximum) 0.134682 mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.7. Deformasyon analizi

X EKSENİ YÖNÜNDE OLUŞAN GERİLİM VE DEFORMASYON

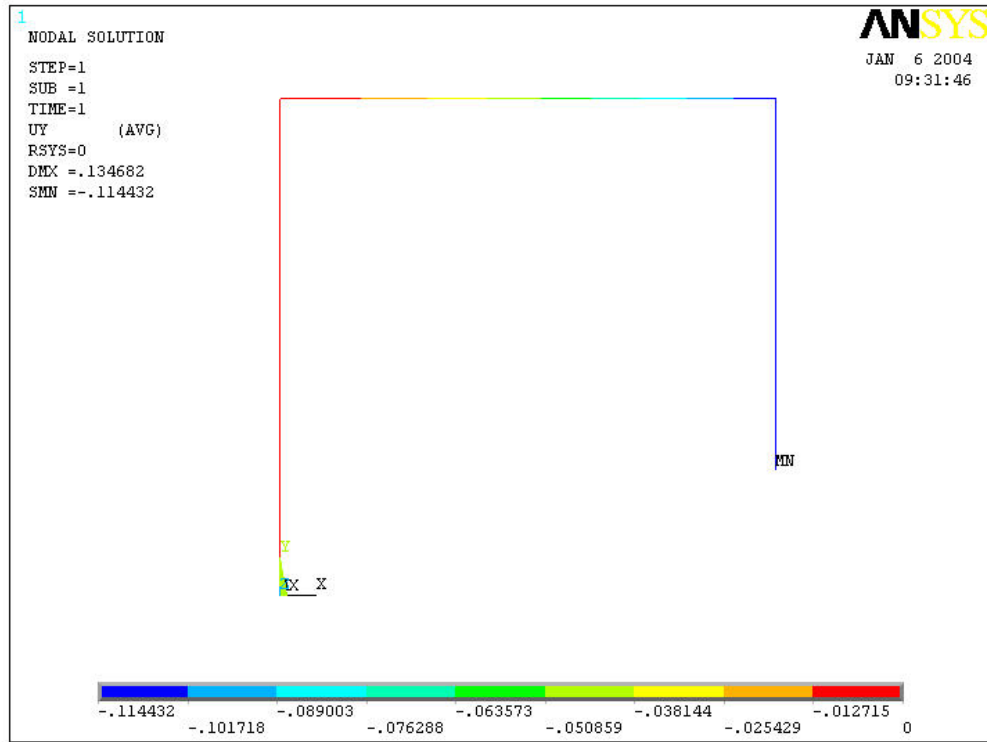
Şekil 5.8.'de ki X Yönünde Gerilim – Deformasyon Analizinde görüldüğü gibi, maksimum deformasyon değeri 0.134682 mm, minimum gerilim değeri (SMN, stress minimum) -0.071024 MPa ve maksimum gerilim değeri (SMX, stress maximum) 0.032482 MPa olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.8. X yönünde gerilim – deformasyon analizi

Y EKSENİ YÖNÜNDE OLUŞAN GERİLİM VE DEFORMASYON

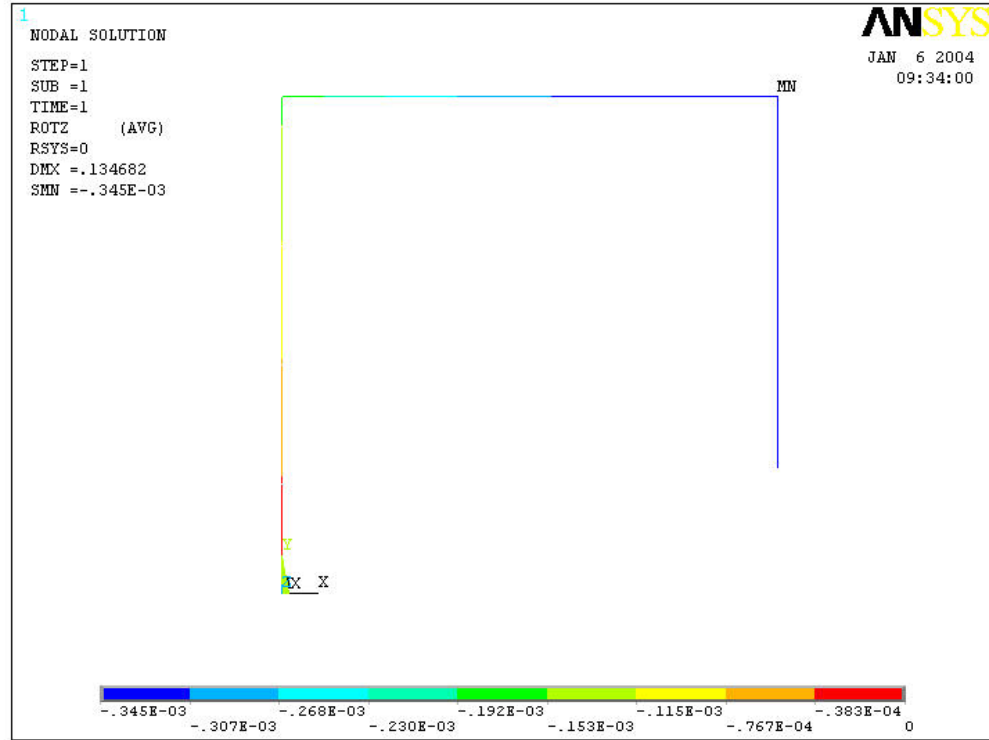
Şekil 5.9.'da ki Y Yönünde Gerilim – Deformasyon Analizinde görüldüğü gibi, maksimum deformasyon değeri 0.134682 mm, minimum gerilim değeri - 0.114432 MPa olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.9. Y yönünde gerilim – deformasyon analizi

Z EKSENİ ETRAFINDA OLUŞAN GERİLİM VE DEFORMASYON

Şekil 5.10.'da ki Z etrafında Gerilim – Deformasyon Analizinde görüldüğü gibi, maksimum deformasyon değeri 0.134682 mm, minimum gerilim -0.345×10^{-3} MPa olarak çıkmıştır.



Şekil 5.10. Z etrafında Gerilim – Deformasyon Analizi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Otomatik güdümlü vasıtanın üzerine yerleştirilecek robot kolu konfigürasyonu, AGV sahasına hakimiyet, AGV'nin etrafında istenen mesafe kadar hareket serbestliği sağlanması, yapısal basitlik, yük taşıma kapasitesi, hareket hızlığının yüksek olması ve ucuzluk dikkate alınarak silindirik koordinat konfigürasyonu olarak seçilmiştir. AGV üzerine yerleştirilen robot kolunun silindirik koordinatlı olarak seçilmesi, robottan dışarıya doğru merkezsiz eksen doğrultusunda bir çıkıntı oluşmasına sebep olmuştur. Dolayısıyla robotun arkasında kapalı bir alan bulunmamalıdır. Robotun arkasında kapalı bir alanın bulunması, robot kolunun dönüşünü tamamlamasına engel olabilir.

AGV üzerindeki robot kolu için kullanılacak malzeme alüminyum olarak seçilmiştir. Bu seçim elastiklik sabiti, yoğunluk, dayanım, kırılma tokluğu, göreceli maliyet kriterleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. İhtiyaç hissedildiği takdirde, bu kriterler haricindeki etkenler malzeme seçiminde değerlendirilmelidir.

Robot kolu AGV'nin bir köşe noktasına yerleştirilmiştir. Bu seçimdeki temel düşünce, AGV üzerinde taşınacak malzemelere en fazla yeri ayırabilmektir. Robot kolunu AGV dışındaki istasyonlara yerleştirme seçeneği, her iş istasyonunda robot kolu mekanizması bulundurma zorunluluğunu ve daha büyük ölçüde kol kullanma zorunluluğunu içinde barındırmıştır. Robot kolunu AGV'nin orta noktasına yerleştirme seçeneği ise hem kol ölçüsü hem de AGV'nin dengesi bakımından en ideal olanıdır, fakat robot kolu AGV'nin orta noktasında olduğu için hacimli malzemelerin taşınması gözönüne alınırsa büyük bir olumsuzluğa sahiptir. Daha büyük robot kolu kullanma gereksinimi ve ağırlığından dolayı AGV üzerinde dengesizliklere yol açabilme ihtimaline rağmen, robot kolu AGV'nin bir köşe noktasına yerleştirilmiştir. Bunun için AGV'nin dengesi devamlı olarak gözetim altında tutulmalıdır.

AGV üzerindeki robot kolu malzeme taşıma amaçlı ve büyük ebatlarda tasarlanmıştır. Montaj işleri gibi ileri seviyede hassasiyet gerektiren işlemlerde kullanılmamalıdır. Bu tip işler için küçük silindir koordinat sistemine sahip olan küçük robotlar kullanılmalıdır.

AGV üzerindeki robot kolunda kullanılacak motor olarak DC servo motor tercih edilmiştir. Böylece hidrolik ve pnömatik akışkanlardan kaynaklanan olumsuzluklar, DC motorlardan kaynaklanan kontrol alanı olumsuzluğu ve step motorlardan kaynaklanan hızsal olumsuzluklar bertaraf edilmiştir. Servo motorların yüksek hızlarda hiçbir sorunu yoktur. DC servo motorların dişli yapılı olanları seçilmelidir ve yüksek devirlerde kullanılacağı için mutlaka bilye yataklı olanları tercih edilmelidir.

Robot kolu kalınlıklarının hesapları yapılmıştır. Alüminyumun özellikleri dikkate alınarak robot kollarının et kalınlıkları sırasıyla A_1 kolu için 1 mm, A_2 kolu için 1 mm, B_1 kolu için 1 mm, B_2 kolu için 2 mm, C kolu için 1 mm olarak tespit edilmiştir. Çeliğin özellikleri dikkate alınarak kol içerisindeki millerin çapları hesaplanmıştır. Mil çapları sırasıyla, A mili için 4 mm, B mili için 10 mm olarak tespit edilmiştir.

AGV üzerindeki robot kolların hareketlendirilmesi için kullanılan DC servo motorların kapasitelerinin belirlenmesi için hesaplamalar yapılmıştır ve sırasıyla A kolu üzerindeki motor momentinin en az 1 Nm, B kolu üzerindeki motor momentinin en az 2 Nm, C kolu üzerindeki motor momentinin en az 1,5 Nm'lık tork kapasitesinde olması gerektiği saptanmıştır. Robot kolunun kinematiği incelenmiştir ve dinamiğinin incelenmesi için gerekli veriler elde edilmiştir.

AGV üzerindeki robot kolunun ANSYS analizi sonucunda robot kolunda 0,134682 mm deformasyon gerçekleşebileceği, X yönünde maksimum gerilim değerinin 0.032482 MPa, minimum gerilim değerinin -0.071024 MPa, Y yönünde minimum gerilim değerinin -0.114432 MPa, Z eksenı etrafında minimum gerilim değerinin -0.345×10^{-3} MPa olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Tursunov, Ş., “Mekanik Tutucuların Tasarım Ve Analizi”, Uludağ Ü. Y.Lisans Tezi, 1995
2. Koivo, A.J., “Fundamentals For Control Of Robotic Manipulators”, John Wiley, New York, 1989
3. <http://www.agve.se>, General AGV Information, 2003
4. Groover, M.P., “Automation, Production Systems And Computer Integrated Manufacturing”, Prattice Hall International Inc., 1987
5. Varol, A., “Robotik”, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 2000
6. Fu, K.S., Gonzalez, R.C., Lee, C.S.G., “Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence”, McGraw-Hill, 1987.
7. Berkay, A., Şeker, M., Esin, E.M., “Pnömatik Robot Uygulaması”, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10.Ulusal Kongresi, 2003.
8. Popov, E.P., “Modern Robot Engineering”, MIR Publishers, Moskow, 1982.
9. Koren, Y. “Robotics For Engineers”, McGraw-Hill, 1987.
10. Kuşhan, M.C., “Endüstri İşletmelerinde Robot Kullanımının Ekonomik Analizi”, Anadolu Ü., Y.Lisans Tezi, 1988.
11. www.agvp.com, Laser Bumper Applications, 2003
12. Can, Y., “Robot Kollarının Kinematığının İncelenmesi Ve Dört Serbestlik Robot Manipülatörü İle bir Uygulama”, Anadolu Ü., Y.Lisans Tezi, 1991.
13. Macit, M., “Mechanical Design And Dynamic Analysis Of A Revolute Manipulator”, Boğaziçi U., Y.Lisans Tezi, 1999.

14. Sciavicco, L., Siciliano B., “Modeling And Control Of Robot Manipulators”, McGraw-Hill, 1996.
15. Özçelik, V., “Robotlar Ve Robotların Kaynak Yapımında Kullanılması”, Marmara Ü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1997.
16. Leatham-Jones, B., “Elements Of Industrial Robotics”, Pitman Publishing, London, 1990.
17. Ashby M.F., “Materials Selection In Mechanical Design”, Butterworth-Heinemann, Boston, 1999.
18. Cımtalay, S., “Robotların Mekanik Tasarımı Ve Robot Elleri Analizi”, Anadolu Ü., Y.Lisans Tezi, 1990.
19. Yıldırım, M.S., “Hidrolik Tahrikli Robot Kol”, Erciyes Ü., Y.Lisans Tezi, 1992.
20. Çelebi, T., “Robot Kollarında Enerji Akış Yönünün Motor Momentleri Üzerine Etkileri”, İTÜ, Y.Lisans Tezi, 1995.
21. Kulaksız, Ö., Çakır, Ö., Ulusoy, O., “Metal Meslek Bilgisi”, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 2000.
22. Kayabaşı, O., “Kalça Protezinin Geliştirilmesi Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi”, GYTE, Y.Lisans Tezi, 2004

ÖZGEÇMİŞ

11.06.1978 yılında Fransa – Gerardmer’ da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise tahsilini Eskişehir’de tamamladı. 1996-2000 tarihler arasında Trakya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans tahsili tamamladı. Eylül 2000 döneminde Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Eğitimi esnasında Şubat 2001 döneminde Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümüne geçiş yaptı. Yazar T.C.D.D. kurumunda Makine Mühendisi olarak görev yapmaktadır.