

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOBÜS KAPAK ÜRETİM PROSESİNİN ROBOTİK OTOMASYONLA
OPTİMİZASYONU VE TRİZ METODOLOJİSİNE UYGULANMASI**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER ZURNALI

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Lisansüstü Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOBÜS KAPAK ÜRETİM PROSESİNİN ROBOTİK OTOMASYONLA
OPTİMİZASYONU VE TRİZ METODOLOJİSİNE UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÖMER ZURNALI
(503151223)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Lisansüstü Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. C. Erdem İMRAK

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503151223 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ömer ZURNALI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “OTOBÜS KAPAK ÜRETİM PROSESİNİN ROBOTİK OTOMASYONLA OPTİMİZASYONU VE TRİZ METODOLOJİSİNE UYGULANMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Cevat Erdem İMRAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cemal BAYKARA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cüneyt FETVACI
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **30 Nisan 2019**
Savunma Tarihi : **11 Haziran 2019**





Aileme, hocalarım ve arkadaşlarıma,



ÖNSÖZ

İmalat sanayinde artan ekonomik rekabet, hızlı tüketim ve yönelimlerin çok çabuk değişmesi sebebi ile artan talebi karşılamak için verilen mücadele ve çok kısa zamanda çözüm odaklı ortaya konan büyük teknolojik yenilikler takdire şayandır. Geçmişten gelen bilgi ve birikim, çağımızda hızlı bir şekilde sentez edilip üzerine çok daha fazla ekleme yapılarak, farklı firmalar tarafından çeşitli alanlarda neredeyse her gün yenilikçi ve verimli birçok ürün karşımıza çıkmaktadır. Robot teknolojisi ve robot endüstrisi de bu gelişmelerden nasibini fazlasıyla almıştır ve endüstride çok büyük değişiklikler ve yaratıcı yenilikler yaşanmaktadır. Robot endüstrisi, otomasyon ve haberleşme sistemleri bugün birçok firmanın odak noktası olduğu gibi birçok mühendisin de üzerinde çalışmalar yaptığı ve çalışmaktan zevk aldığı bir sektör haline gelmiştir. Dünyanın geleceğinin kodlarda ve uzaktan kontrol sistemlerinde olduğunu düşünürsek bu konudaki en büyük yardımcılarımız da kuşkusuz robotlar ve yazılımlar olacaktır. Robotik otomasyonla endüstrideki yeniliklerin ve yapılabileceklerin gösterilmeye çalışıldığı bu çalışmada problem çözmede yol gösterici bir metod olan Triz ile olası problemleri düzeltmek için şimdiye kadar iş hayatında tecrübe edilen ve kullanılan tüm sistemsel iyileştirme yaklaşımları ve yalın üretim metodları kullanılmaya çalışılmıştır.

Bana hayatımın her anında olduğu gibi bu çalışmayı yaptığım sırada da asla desteğini esirgemeyen sevgili annem Hacer Zurnalı'ya, çocuklarımın örnek almasını istediğim benim için de kahraman olan sevgili babam Mustafa Zurnalı'ya, kardeşlerim Semanur ve Sedanur Zurnalı'ya, hayat arkadaşım Hande Yurdakul'a beraber tez yazdığımız ağabeyim Cengiz Beyçayırı'na yüksek lisansım eğitimim boyunca ders ve tez aşamalarında benden hiçbir desteği esirgemeyen her sorunun cevabını olumlu bir yaklaşımla aldığım danışman hocam Prof. Dr. C. Erdem İmrak'a tez aşamasının her anında ve en önemlisi de zorda kaldığım anlarda bilgi birikiminden beni faydalandıran ve yardımını esirgemeyen sevgili hocam Öğr. Gör. Adem Candaş'a ve bana kattıkları her türlü bilgi birikim için geçmiş ve güncel tüm çalışma arkadaşlarıma, beni geleceğe taşıyan içimdeki mühendisi dışarı vurmamı sağlayan tüm hocalarıma ve tüm arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2019

Ömer Zurnalı
(Makina Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Endüstriyel Robotlar	1
1.2.1 Sabit robotlar (İstasyon).....	3
1.2.2 Servo sistem	4
1.2.3 Koordinat sistemleri.....	4
1.2.4 Programlama (Pasif - Aktif).....	5
1.3 Robotlu Otomasyon Ekipmanları	6
1.3.1 Fikstür	6
1.3.2 Pozisyoner	7
1.3.3 Gripper (Taşıma Eli)	7
1.3.4 Kaynak ve gerekli uygulama ekipmanları	7
1.3.5 PLC	8
1.3.6 SCADA	8
1.3.7 Taşıyıcı Sistemler.....	9
1.3.8 Diğer Ekipmanlar	9
1.4 Robot Yapıları ve Süreçlerin Karşılaştırılması	9
1.5 Robot Seçim Kriterleri	10
1.5.1 Düz Kinematik	14
1.5.2 Ters Kinematik.....	15
1.5.3 İki robotun farklı yüklerde atalet momentlerine göre kıyaslanması	16
1.5.4 Tekrar edilebilirlik	19
1.5.5 Taşıma kapasitesi	19
1.5.6 Açısal hız.....	19
1.5.7 Serbestlik derecesi.....	19
1.6 Otobüslerin Sınıflandırması	21
1.7 Otobüs Modelleme	22

1.8 Otobüs İmalatında Kullanılan Robotlar ve Teknik Özellikleri	23
1.9 Otobüs İmalat Hatlarının Açıklanması	24
1.10 Otobüs ve Kapak İskelet Yapısı ve Üretim Süreçleri.....	25
1.10.1 Monokok Gövde Konstrüksiyonu	26
1.10.2 Monokok gövde avantajları.....	27
1.10.3 Monokok gövde yapılarının dezavantajları.....	28
1.10.4 Kullanılan Malzeme Tipleri ve Özellikleri	29
1.10.5 Otobüs Kapak Yapısı Ve Üretim Süreçleri.....	29
1.11 Üretim prosesi	30
1.12 Otobüs ve Kapak İmalatında Yönetmelik ve Zorunluluklar	30
1.13 Triz (Teoriya Resheniya Izobreatatelskik Zadatch)	32
1.13.1 Sorunlar, Çelişkiler ve Çözüm	32
2. METODOLOJİ ve YÖNTEM.....	37
2.1 Otobüs ve Kapak İmalatında Varolan Süreç	37
2.2 Robotik Otomasyonla Otobüs Kapak Üretim Süreci	38
2.2.1 İskelet Kaynak Operasyonu	39
2.2.2 İskelet ve Saç Yapıştırma Prosesi	40
2.2.3 Sistem tanımı.....	42
2.2.3.1 Sistemdeki iş adımları	42
2.2.3.2 Operatör iş adımları.....	42
2.2.3.3 Robot iş adımları	43
2.3 Otobüs Kapak Üretim Süreçlerinin Yalın Üretim Açısından Kıyaslanması	45
3. TRIZ ile UYGULAMA ve SONUÇ.....	47
3.1 Triz'in Robotik Otomasyon Sistemine Uygulanması.....	47
3.2 Çalışma Alanı	47
3.2.1 Triz metodolojisi ile iş güvenliği iyileştirmesi.....	48
3.2.2 Triz metodolojisi ile kapasite artışı	49
3.2.3 Triz metodolojisi ile çevrim sürelerini iyileştirme	50
3.2.4 Triz metodolojisi ile kalite iyileştirme	51
3.2.5 Triz metodolojisi ile masrafları azaltma.....	52
3.2.6 Triz metodolojisi ile operatör etkinliğini azaltma	53
3.2.7 Triz metodolojisi ile açığa çıkan ısı iyileştirmesi.....	54
3.2.8 Triz metodolojisi ile cizilme probleminin iyileştirilmesi	56
3.2.9 Triz metodolojisi ile artan güç ihtiyacını azaltma	56
4. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	61
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	75

KISALTMALAR

PLC	: Programmable Logic Controller
PC	: Personal Computer
RTU	: Remote Terminal Unit
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
SMED	: Single Minute Exchange of Dies
FMEA	: Failure Method and Effect Analysis
TRIZ	: Teorya Resheniya Izobreatatelskik Zadatch
CAD	: Computer Aided Engineering
OLF	: Offline Programming
APQP	: Advanced Product Quality Planning
PPAP	: Production Part Approval Process
MSA	: Measurement System Analysis
SPC	: Statistical Process Control
BIP	: Body in Prime
BIW	: Body in White
JIT	: Just in Time
TCP	: Tool Center Point
RFID	: Radio Frequency Identification
MRP	: Master Resource Planning
ERP	: Enterprise Resource Planning
AGV	: Automated Guided Vehicle
FIFO	: First in First out
OPF	: One Piece Flow
TPM	: Total Productive Maintenance
WCM	: World Class Manufacturing
TQM	: Total Quality Management
CPK	: Process Capability
CMK	: Machine Capability
5S	: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke

HMI : Human Machine Interface
SWOT : Strength, Weakness, Oppurtunity, Thread



SEMBOLLER

G	: Ağrlık merkezi
m	: Ktle
M_x, M_y, M_{xy}	: Moment bileşenleri
I	: Ktle atalet momenti
N_x, N_y, N_{xy}	: Sırasıyla -x, -y ve -z eksenlerindeki normal kuvvet bileşenleri
F	: Kuvvet
l	: Kol uzunluğu
r	: Kol yarıçapı
a, b	: Uzunluk
t	: Zaman
T	: Tork
u, v	: Sırasıyla -x ve -y eksenlerindeki yer değiştirme vektörü bileşenleri
w	: Açısal hız
HG	: Açısal moment
A	: Alan
ρ	: Yoğunluk
σ_x, σ_y, σ_{xy}	: Sırasıyla -x, -y ve -z eksenlerindeki normal gerilmeler



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Robot tipleri ve kullanım alanları.....	12
Çizelge 1.2 : Yönetmeikler.	31
Çizelge 1.3 : Altshulter'in yaratıcılık ölçütü.	33
Çizelge 1.4 : Mühendislik parametreleri.	34
Çizelge 1.5 : Yaratıcı prensipler.	35
Çizelge 2.1 : Otobüs imalat süreci.	37
Çizelge 2.2 : Otobüs kapak üretim süreci.	38
Çizelge 2.3 : Geleneksel yöntem ve robotik otomasyon çevrim süreleri.	46
Çizelge 2.4 : İki yöntem arasındaki çevrim süreleri kıyası.	46



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Endüstriyel robot çeşitleri (Url-1).....	3
Şekil 1.2 : Altı eksenli bir articulated robot.....	3
Şekil 1.3 : Bir off-line programlama örneği	5
Şekil 1.4 : Fikstür grupları örneği.....	6
Şekil 1.5 : Bir pozisyoner.....	7
Şekil 1.6 : Bir gripper (Taşıma eli) tasarımı.....	7
Şekil 1.7 : Gantry (artı iki harici eksen) tip robotla yapılan bir kaynak işlemi.	8
Şekil 1.8 : Temsili bir forklift tasarımı.....	9
Şekil 1.9 : Robotlu bir ark kaynak hücresi.....	10
Şekil 1.10 : Robotun son ekseninde flanş üzerindeki kütle atalet momentleri gösterimi.	11
Şekil 1.11 : Kukaload programında KR 210 R3100 ultra Kuka robota ait eksenlere göre kütle atalet momenti hesaplamada kullanılan uzunluk göstergeleri.....	13
Şekil 1.12 : Ters ve ileri kinematik bağıntısı.....	15
Şekil 1.13 : KukaSimPro programında 30 kg gripper taşıyan Kuka KR210R2700 robot.....	16
Şekil 1.14 : 6. eksendeki, kütle atalet momentlerine ve yüke göre eksenlerdeki dinamik zorlanmalar.....	17
Şekil 1.15 : 6. eksendeki, kütle atalet momentlerine ve yüke göre eksenlerdeki statik zorlanmalar.....	17
Şekil 1.16 : 150 kg parçada statik zorlanma yaşayan 210 kg taşıma kapasiteli, robotun 500 kg taşıma kapasiteli robotla statik verimlilik kıyaslaması.....	18
Şekil 1.17 : Bir robot hareket alanı (çalışma uzayı).....	18
Şekil 1.18 : Altı eksenli taşıma ve punta kaynak robotlarının çalışma uzayları.....	20
Şekil 1.19 : Bir robotun çalışma uzayı ve kör noktası.....	20
Şekil 1.20 : Da Vinci'nin çalışması (Url-2).....	21
Şekil 1.21 : Taşıyıcı karkas yapı (Url 3).....	22
Şekil 1.22 : Bir otobüs gövde yapısı.....	23
Şekil 1.23 : 6 eksenli articulated (eklemlili) endüstriyel tip robot.....	24
Şekil 1.24 : Otobüs üretim prosesleri.....	25
Şekil 1.25 : Bi-axial bir otobüste kapaklar.....	26
Şekil 1.26 : Bir şasi kaynak hattı örneği.....	26
Şekil 1.27 : Gövde metal yapısının görünümleri.....	28
Şekil 1.28 : Gövde görünümü.....	28
Şekil 1.29 : Kapak iskelet kaynağı için fikstür, fikstür grubu kamera tanıma ve RFID okuyucu sistemleri.....	30
Şekil 2.1 : İskelet kaynak hattı.....	39
Şekil 2.2 : Free and power konveyör ve tool stand figurative görünüm.....	40
Şekil 2.3 : Sistemin son halinin figurative yerleşimi.....	41
Şekil 2.4 : Panellerin yerleştirilmesi.....	43

Şekil 2.5 : Birleştirme prosesi üstten görünüm.	44
Şekil 2.6 : Kaynak ve birleştirme proseslerinin son hali	45
Şekil 2.7 : Geleneksel yöntem ve robotik otomasyon çevrim süreleri.	46
Şekil 2.8 : İki yöntem arasındaki çevrim süreleri kıyası.....	46
Şekil 3.1 : TRIZ yönteminin diğer metodlarla kıyaslanması (Kraev, 2014).	47
Şekil A.1 : Gripper 30 kg yük taşıdığı anda eksenlerdeki statik verimlilik.	64
Şekil A.2 : Gripper 30 kg yük taşıdığı anda eksenlerdeki dinamik verimlilik.	65
Şekil A.3 : Gripper 30 kg parça taşıdığı durumda kütle merkezinin hangi aralıkta kaldığını gösteren grafik.	66
Şekil A.4 : Gripper 150 kg parça taşıdığı durumda kütle merkezinin aralığını gösteren grafik.	67
Şekil A.5 : Gripper 150 kg parça taşıdığı durumda eksenlerdeki statik verimlilik. ..	68
Şekil A.6 : Gripper 150 kg parça taşıdığı durumda eksenlerdeki dinamik verimlilik.....	69
Şekil A.7 : 150 kg parçada statik zorlanma yaşayan 210 kg taşıma kapasiteli robotun 500 kg taşıma kapasiteli robotla kıyaslanması sonucu kütle merkezinin aralığı.	70
Şekil A.8 : 150 kg parçada statik zorlanma yaşayan 210 kg taşıma kapasiteli robotun 500 kg taşıma kapasiteli robotla dinamik verimlilik kıyaslaması.	71
Şekil A.9 : 500 kg taşıma kapasiteli robotun gripperla beraber 180 kg taşıdığı durumda eksenlerinin hız kullanılabilirlik durumu.....	72
Şekil A.10 : Statik olarak aşım ve açıklaması.	73
Şekil A.11 : 3. eksendeki kütle atalet momentlerine göre iki robotun kıyaslanması.	74

OTOBÜS KAPAK ÜRETİM PROSESİNİN ROBOTİK OTOMASYONLA OPTİMİZASYONU VE TRİZ METODOLOJİSİNE UYGULANMASI

ÖZET

Bütünleşen dünya düzeninde yüksek verim, düşük maliyet ve zaman tasarrufu hemen hemen her konuda ön plana çıkmaktadır. Artan rekabet içinde, kar marjlarının günden güne düşmesi ile birlikte artık daha ucuz ve kaliteli ve hatasız iş yapmak firmalar için bir zorunluluk haline gelmiştir. Rekabete ayak uydurmak ve serbest piyasa içinde yer edinebilmek için üretim yöntemlerinin doğru ve en optimum şekilde kullanılması gerekmektedir. Bunu sağlamak için teknolojiyi ve bilimsel gelişmeleri güncel olarak takip etmek ve yapılan işe devşirmek büyük önem arz etmektedir. Endüstriyel anlamda teknolojiye ayak uydurmak, kapasite artışı yaparken çevrim sürelerini indirmek ve daha ucuz ama kaliteli ürünler piyasaya sürmek için optimizasyon, haberleşme ve robotik otomasyon sistemlerinin kullanılması büyük önem arz etmektedir. 1970'lerden sonra özellikle ağır sanayide kaldırma ve iletme amaçlı kullanılan robotlar, bilgi çağı ile birlikte yazılımların öne çıkması ve son olarak Endüstri 4.0 anlayışı ile birlikte daha hassas işler yapmakta ve endüstriyel hayatı rahatlatmaktadır. Özellikle Endüstri 4.0 ve ilerleyen versiyonları ile birlikte karanlık fabrika diye bilinen ışıkların söndürüldüğü tamamıyla otomatik sistemler vasıtasıyla üretim yapılan anlayışın artacak olması robotların ve robotik yapıların fabrikaları tamamen kaplaması kaçınılmaz bir son olarak görülmektedir.

Bu çalışmada robotlar, robotik yapılar ve robotik otomasyon ile ilgili bilgiler derlenmiştir. Literatür araştırması olarak daha önce konu ile ilgili çalışmalar incelenmiş ve kısa bilgiler verilmiştir. Robotik hatların kurulumu ve yardımcı ekipmanları ile ilgili bilgi verilmiş olup robotların programlanması ve haberleşme sistemlerine değinilmiştir. Yaklaşık yüz yıldır toplu taşımada önemli bir yere sahip olan otobüslerin tarihi hakkında kısa bilgi verilmiş, otobüs ve otobüs kapak üretimi (bagaj, aks üstü kapağı vb.) için gerekli koşullar ortaya konulmaya çalışılmıştır. Robotik otomasyon sistemlerini kullanarak; mukavemeti sağlayan ve otobüs iskelet yapısına montajı kolaylaştıran birbirine kaynak ile bağlanan profillerden meydana gelen bir iç iskeletten ve ihtiyaca göre değişiklik gösteren çeşitli boyutlardaki saç plakalardan oluşan otobüs kapağı üretiminde daha dar bir alanda, hızlı, kaliteli, iş sağlığı ve güvenliği açısından uygun bir çözüm sunulmaya çalışılmıştır. Mevcut otobüs üretim hatları hakkında bilgi verilmiş olup; robotik otomasyon ile otobüs üretim hatlarında kurulacak çözümler üzerinde durulmuştur. Robotik otomasyon çözümünde mevutta olan veya ortaya çıkabilecek olası sorunları çözmek veya etkilerini en aza indirmek için akılcı problem çözme metodlarından biri olan triz metodolojisi kullanılmış ve sonuçları tartışılmıştır. Sonuç olarak robotik otomasyonun üretim hatları üzerindeki etkisi gösterilmeye çalışılmış ve bilim ile endüstriye katkı sağlanmaya çalışılmıştır.



OPTIMISATION BUS LID PRODUCTION WITH ROBOTICS AUTOMATION AND TRIZ IMPLEMENTATION

SUMMARY

In the order of the world which has been integrated, high efficiency, low cost and saving of time have come into prominence almost on every topic. In the increasing competition, doing cheaper, more qualified and accurate work is inevitable with decreasing profit margins for companies. Production and lean manufacturing methods should be used in an efficient and optimum way to keep up with the competition. In order to achieve this, it is of great importance to follow technologic and scientific developments and adapt them to the current workflow. The optimization of workflows and using communication and robotic automation systems are very important to reduce cycle times and bring cheaper but quality products to the market.

History of robotic studies which has been improved by human being dates back to the first industrial revolution age. In fact that, it has based on antique ages and mediaeval. Robot is a machine driven by motors and it is made up of several joints. Robots are designed to fulfill one or many tasks at the same time. The fact remains that industrial robots are a kind of robot for using manufacturing area. They are capable of doing welding, hemming, packaging, mounting, painting, palletizing, testing and, inspecting. Robots generate creative solutions aid of people depending on using area. With control systems, It can be cheched out from remote area.

After the 1970s, industrial robots have been used in especially transportation purposes for heavy industry. Robots have been doing more sensitive work along with the information age and finally with the understanding of the industry 4.0. Especially with Industry 4.0 and its progressive versions, increasing the dark factory which has just automated systems and there is no people at the production line, understanding is seen as an inevitable end. Robots and robotic structures will completely cover to the factories at the near future. Robots will be on everywhere both industry and social life, they will be seen at home in fact that have already been. Studies about improving robots and robotic structures have been lasted in order to create more sensitive and creative ones.

In this study, a piece of general information about robots, robotic structures and robotics automation were given. Brief information about the history of the buses was given. Parts which have been used on robotic lines were introduced and given some information on controller and remote control systems. Literature of robots, robotic science, robotic structures and, methodology of Triz were examined. Elaborated information was given about industrial robots and put emphasis on how robot structures and lines have been constructed. Some comparations were done with robotic structures and, graphics were exhibited association with it. Lean manufacturing methods were operated with possible causes on triz and trying to find solution. It was mentioned about agile manufacturing on behalf of human – machine relationship.

Firstly, when it comes to say about industrial robots, they have worked with some necessary equipment as integrated such as fixtures, positioners, controllers, I/O modules, valves, drivers. Positioners have applied synchronic motion so that robots could be done their implementations well. Workpieces which operated by robots are aligned owing to fixtures. Controllers are separated by two as robot cabinet and system controller. I/O modules provide communication as pneumatical, hydraulics or electrical. Drivers carry out the motion of robot arms. Robot manipulators do not do anything by itself so appropriate conditions are supposed to provided for them as like necessary equipments, software, communication and so on. If it needs to accelerate the system, inverter which is used for increasing or aligning the system speed could be utilized. For communication perception, encoder which has some sensor types, by generating signals can be necessary in order to count product and give information to the system.

There are many remarks to be paid attention when robots have been utilized or robotic optimisation lines have been installed such as programming. It is very important for robots since to-do is taught to the robot and can be controlled by the programmer, whether it is active or passive, could be done everything that is in its limits. While passive programming can be done with aid of an operator, active programming can be created with teach pendant or softwares which have been done off-line programming for robots. Off-line programming provides some advantages such as simulation and, installation is not necessary in this method. However, programming technics have been developing and people are still learning them more than ever before.

Remote control systems in broad scale robotic automation or in dark factory could be vital for tracking everything which has been in the area. Controllers provides many oppurtunities and advantages for the systems so that everything can work properly and anything can be detected when it happened. About everything which has happened in the system, controllers have informations and, they keep it long time on database in order to compare, determine which product was produced, point out which station at and what time it was produced at.

Buses are kind of public transportation systems. They have been in human life for a long time. Buses have importance since reducing CO₂ emissions in comparison with using personal cars. Bus production lines have made progress in the last years so, robotic lines have started to integrate, although bus production lines have big scale parts and, tolerances are wide. Nowadays, as cost reduction and innovation on products are almost everything thus, alternative materials and optimisations have gained importance. Even though bus and bus lid which has been utilized for storage, maintenance on bus, productions systems are traditional, robots have been begunned to be used in.

Selection criteria of robots are very crucial since these criteria specify how many kilograms a robot could carry. Thus, it is given information about kinematic equations, accuracy, repeatability, angular velocity and payload capacity of robots. Type of kinematic equations are forward and reverse kinematics. Forward direction kinematics with joint variables calculates the position and orientation of the main frame. The transformation matrix of the first joint defines the relationship between the first joint and the main frame; the transformation matrix of the last joint refers to the relationship between the end function and the last joint. When the position and orientation of the robot's end function according to the main frame is known, it is necessary to determine the necessary joint variables for the manipulator to reach this position and orientation

with reverse kinematics. Accuracy and repeatability can be evaluated together because when one of them is deficient, robot operations would not be successful. Payload capacity of robot is pointed out according to optimum conditions which robot do not have any burden at sixth DOF (Degree of Freedom) by robot producers. So this option could be taken into consideration while preferring for a robot.

A comparison with robots payloads and mass moments of inertias on joints was done between two robots which have different payloads by calculating mass moment of inertias. Some graphics related to static and dynamic behaviours of robots were showed up. It is seen that when payload is heavy for robot, it does not carry the payload or it does not open its arms so much.

A brief history and classification of buses according to regulations, instructions and directives were explained. Robots which are used in buses production lines and their technical features and some anticipations were given on the robotics industry about buses. Bus modeling were introduced about some modules. Robots which have been using on bus production line and their improvement were mentioned.

In order to achieve and accomplish all stage of the study and enlighten everyone who want to build robotic lines, essential regulations, instructions and obligations on commissioning robotic optimisation lines were examined and listed. These regulations are critical to installing robotic lines because governments and international institutions inspect all firms which have a production with conventional or robotic automation lines. These regulations have been built up with growing experiences over the years. It has taken spent many years to provide optimum production conditions. By using robotic automation systems, bus lid productions can be applicable in a narrower area with better quality and more suitable in terms of work safety.

Triz is a kind of methodology of problem solving. However, it has some difference such as it does not show the solution way, it just give the opinion how to solve the problem. That is, Triz is a mentor. Triz methodology have composed of examining and evaluating lots of patents. In this thesis, Triz methodology was used to solve some obstacles and issues. It has showed that the opinion way as like brain storming.

The process of bus and lid production is a significant matter in this thesis. Therefore, structures of buses and lids were expressed in detail. About body construction, material selection and using materials on buses were explained. The former process and production steps, requirements for safety and flow and, acquisitions have been mentioned. Firstly, appropriate robots (according to mass moments of inertia) and equipments were selected then, in order to verify the selections simulation studies were done. It was seen that robots and equipments were suitable for the system which was planned. Programming were implemented according to the plan. All stages about robotic automation line was explained and made a comparison between traditional method and robotic automation method. Differences between them were explained and tried to show with some graphics.

Bus lid production lines with robotic automation system will supplant by traditional one in the near future. In this study, bus lid production line which installed with robotic automation was explained in detail as like what robots do to operate the parts and, what operator do to proceed the system and, how the system can be developed. New type of line was tried to express with figures.

When this system was installed and carried out commissioning the process, what kind of problem could be taken place and how could be solved, all of them was examined

on Triz applicaiton and trying to find out any solution with Triz's guideness aid of lean and agile manufacturing tools. Triz showed the way to find opinion with its contradicts matrix how mechanic or physical problems are solved on line. Lean manufacturing tools provide the great advantages to overcome possible causes and failures. For sure, robotic automation system will show many key product indicators in time as it will be used in production line.

This study can be improved and advocated with other kind of problem solving methods. The same study can be implemented other part of bus or automotive production areas. Robot motions can be showed at some language of programming like Phyton, Matlab, Mathcad, Robot Studio, Cosimir Robotics, Robcad instead of Sim.pro which is used in this study in the future. Problems, failures will be seen in time and again try to use triz.

The possible problems that would be arised in the robotic automation systems were evaluated and discussed with triz methodology which is one of the rational problem-solving methods, in order to eliminate the problems that may be existed.

The purpose of this thesis was to contribute to industry and explain how to use robotic optimisation against traditional production. All phases of aim were fulfilled and it can be developed in time with more opputunites.

As a result of this study is to show how to install any robotic line and how to solve possible causes which would be taken place, with Triz metodology.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Yüzyıllar süren deneyimler, araştırmalar sonucunda insanoğlu transport tekniği konusunda oldukça ileri gidebilmeyi başarmıştır. Bu süreçte birçok Őey öğrenilmiş ve geliştirilmiştir. Tekerleğin bulunması ile başlayan süreçte taşıma sistemlerinde değişikliğe gidilmeye başlanmış ve zamanla kullanılan araçlar değişmiş ve gelişmiştir. Çeşitli hayvanların gücüyle tahrik edilen tekerlekler zamanla motorla tahrik edilmeye başlanmış ve tüm bunlar yaşanırken üretim süreçleri ve yöntemleri de evrim geçirmiştir. Bu tezin amacı, her geçen gün sanayide ve günlük hayatımızda daha çok yer kaplamaya başlayan robotları incelemek ve robotlar kullanılarak yapılan otomasyon sistemlerini açıklamaktır. Endüstri 4.0'ın dünya üzerinde yaygınlaşmaya başlaması ve gelecek versiyonlarında daha çok belirli noktalardan ya da tek bir noktadan kontrol edilebilen sistemler olacak olması, robotların fabrikalarda çalışan insanların yerini alacak olması ve yeni yeni duymaya başladığımız bütün sistemlerin otomatik olduğu ve üretim alanlarında insanların olmadığı karanlık fabrikaların çok yakın tarihlerde hayatımızın bir parçası olacak olması bu tezin ilham kaynağıdır. Robotlu otomasyon sistemleri ile parça üretim çevrim zamanlarının düşmesi, kalitenin ve tek seferde doğru üretimin (first pass yield) artması, üretim maliyetlerinin azalması, iş sağlığı ve güvenliği açısından operatörlerin daha doğru yerlerde konumlanması tespiti tezin çıktılarını oluşturmaktadır.

1.2 Endüstriyel Robotlar

Robotik otomasyon sistemlerinin en temel parçalarıdır. Her biri servo motorlar tarafından tahrik edilen eklemli kollara sahip yapılardır, el terminali (ing: teach pendant ya da smart pad) ile istenilen koordinatlar girilebilir, robot kontrol ünitesi tarafından yönetilir ve kontrol edilir. Robot kontrolörü PC (Personal Computer) ve PLC (Programmable Logic Controller)'ye bağlı olabilir. Robotlar gerektiğinde ana sisteme bağlı olmaksızın kendi bölümlerine ilişkin çalışmaları kendi başlarına

sürdürebilir. İki robotun birbirine senkron çalışmasına usta, köle ilişkisi (master, slave) denilmektedir. Endüstriyel robotlar sabit ve hareketli olmak üzere ikiye ayrılabilir bu çalışmada endüstride daha çok kullanılan sabit robotlar anlatılacaktır.

ISO 8373:2012'e göre robot, endüstriyel uygulamalarda kullanılan, ikiden fazla programlanabilir eksene sahip, otomatik kontrollü, tekrar tekrar programlanabilen, çok fonksiyonlu, sabit duran veya tahrik sonucu hareket kabiliyetine sahip manipulatördür.

El Cezeri (Ebu'l İzz)'nin, dünya tarihinde ilk robotik çalışmaları yapan ve yaptığı çalışmaları günlük hayata uygulayan ilk bilim insanı olduğu düşünülmektedir (Hill, 1991).

Robot ismi literatürde ilk kez 1921 yılında Çekya'da oynanan bir tiyatrodan kullanılmıştır. Robot kelimesi, işçi-köle anlamına gelen Slav robota sözcüğünden gelmektedir (McKerrow, 1991).

EN 10218-1 Avrupa Standardına göre, robot ikiden fazla eksenle programlanabilen ve otomasyon teknolojisinde kullanım için sabit bir yere takılarak veya hareketli olarak kullanılabilen, otomatik olarak kontrol edilebilen, serbest olarak programlanabilen çok amaçlı manipulatördür.

Endüstriyel robotların tipleri eklem sayısı ve eklem tipine göre tanımlanır. Endüstriyel robotların yetenekleri çevreyi manipüle etmektir. Manipulatörler nesnelere birden daha çok serbestlik derecesi içinde hareket ettirebilen ve sıralı tanımlayıcılardan oluşan makinalardır (Vistein, 2015).

Endüstriyel robotlar ilk olarak 1961 yılında General Motors'un üretim hattı proseslerinde kullanılmıştır (Hägele ve diğ., 2008).

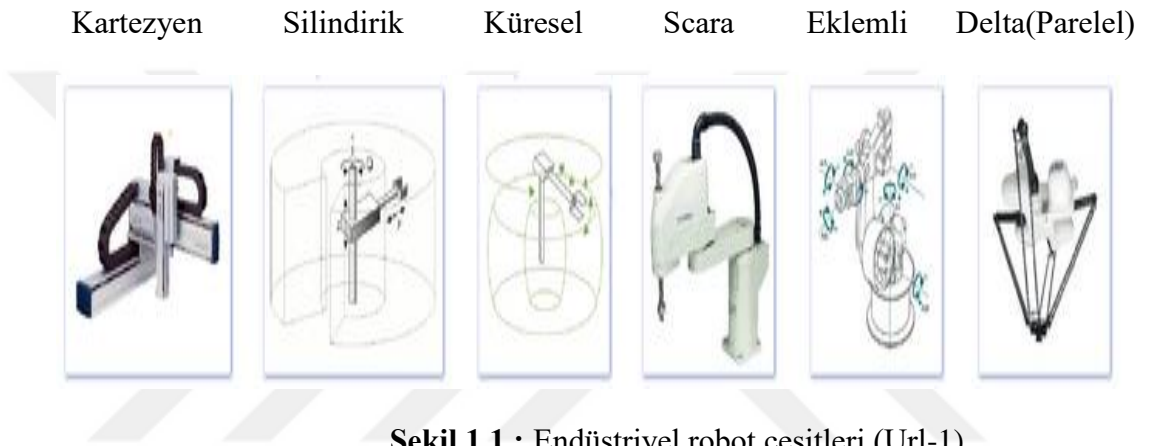
Serbestlik derecesi altıdan az olan robotlar birçok görev için kullanılabilir fakat pozisyonlama yetenekleri ve nesnelere yönlendirme özellikleri sınırlıdır. Örnek olarak üç öteleme ve bir dönme eksenine sahip robotlar paletleme işlemi için yeterlidir (Sciavicco ve Siciliano, 2012).

Endüstri robotları Türker (2016) tarafından detaylı bir şekilde incelenmiş ve robot prosesleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Kaynak yapılan robotik proseslerde doğru yapılması gereken durumlar ifade edilmiş ve proseslerin geliştirilmesindeki önemi açıklanmıştır.

1.2.1 Sabit robotlar (İstasyon)

Sabit robotlar operasyonları, pozisyonlarını değiştirmeden yapan robotlardır. Robotun sabit olması hiç hareket etmemesi anlamına gelmez. Sabit kelimesi ile anlatılmak istenen robotun temelinin sabit olmasıdır.

Bu tarz robotlar genellikle bir uç elemanın pozisyonunu veya oryantasyonunu değiştirerek çevresine etki eder. Sabit robotlar kategorisinde robot kollar (eklemlilerobotlar), kartezyen ve kizak robotlar, silindirik robotlar, kre robotlar, Scara robotlar ve paralel robotlar bulunur. Şekil 1.1’de sabit robot eşitleri ve görünümleri verilmiştir.



Şekil 1.1 : Endüstriyel robot eşitleri (Url-1).

Endüstride genel olarak parça boyutları büyük olan parçaların işlendiği alanlarda parça büyüklüğüne ve daha fazla eksen kullanılabilmesi sebebiyle eklemlilerobotlar kullanılmaktadır. Şekil 1.2’de gösterilen robot altı adet eklemi olan ve altıncı eksenindeki flanş sayesinde her esit kaynak, mastik ve taşıma işlemini yapabilmektedir.



Şekil 1.2 : Altı eksenli bir articulated robot.

Manipülâtör, robotların mekanik kısmı olarak tanımlanabilir. Üzerinde servo motorlar, redüktörler, mafsallar, sensörler yer almaktadır. Ayrıca manipülâtörün iskeletini oluşturan, tüm bu kompenetleri taşıyan ve genel yapıyı oluşturan uzuvlar vardır. Kontrol ünitesi, operatörün veya otomasyon sisteminin manipülâtöre ulaşmasını sağlar. Oluşturulan programdan veya operatördengelen bilgiye göre servo sistemi kumanda ederek, istenilen hareketlerin yürütülmesinden sorumludur. Bu motorlar özel olarak üretilen dişlilerden oluşmaktadır ve insan eliyle mümkün olmayan toleranslarda işleri kolaylıkla yapabilmektedirler.

1.2.2 Servo sistem

Servo sistem, yazılım ve donanım olarak birbirleri ile iletişim halinde olan çeşitli üniteleri içeren entegre bir yapıdır. Servo sistem ile aşağıda belirtilen durumlar kolaylıkla yapılabilir.

- Eksenlerinin hız ve pozisyonlarının ayarı.
- Motorlarının senkron hareketi.
- Eksenlerin pozisyon ve hız bilgisinin encoder veya sensörler yardımı ile kontrol ünitesine yollanması.
- Pozisyonlar ve hızlar arasında karşılaştırma yapılması ve robota yeni hız ve pozisyon referansları belirlenip tanımlanması.
- Yerçekimi, atalet momenti ve eksenlerin birbirleriyle etkileşim hesaplarını sürekli yapması.

1.2.3 Koordinat sistemleri

Robot otomasyon sistemlerinde genellikle Joint, World, Base ve Tool koordinat sistemleri olmak üzere dört farklı sistem kullanılmaktadır.

- Joint Koordinat Sistemi: Eklemler için hareket ayırıcıdır.
- World Koordinat Sistemi: Robot bazasında olduğu varsayılan koordinat sistemidir.
- Base Koordinat Sistemi: İş parçası konumu referans alınarak kullanılan koordinat sistemidir.
- Tool Koordinat Sistemi: Robotun en uç noktasında veya gripper üzerinde bulunduğu varsayılan koordinat sistemidir.

1.2.4 Programlama (Pasif- Aktif)

Robot programlaması aktif ve pasif olarak iki gruba ayrılabilir. Pasif programlama kendi içinde elle ve taklit yöntemi olarak ikiye ayrılır. Elle programlama operatör ya da robot programcısı tarafından manipulator tutulup hareket ettirilmesi prensibine dayanır taklit yöntemi ise robot kol üzerinde bulunan sensörler yardımıyla operatör tarafından yapılan hareketlerin eş zamanlı taklit edilmesine kaydedilmesine dayanır. Aktif programlama da kendi içinde çevrimiçi (on-line) ve çevrimdışı (offline) olmak üzere ikiye ayrılır. Çevrimiçi programlama bir el terminali (teach pendant) aracılığı ile robotla yani kontrol ünitesiyle haberleşme ve istenilen koordinatları tanıtarak çalışma prensibiyle çalışır. Çevrimdışı programlama (OLP) ise bir PC yardımıyla robot hareket yazılması ve robota kontrol ünitesi vasıtasıyla yüklenmesi timeline dayanır. Çevrimdışı programlamanın en büyük avantajı simülasyon desteği sağlayabilmesidir.

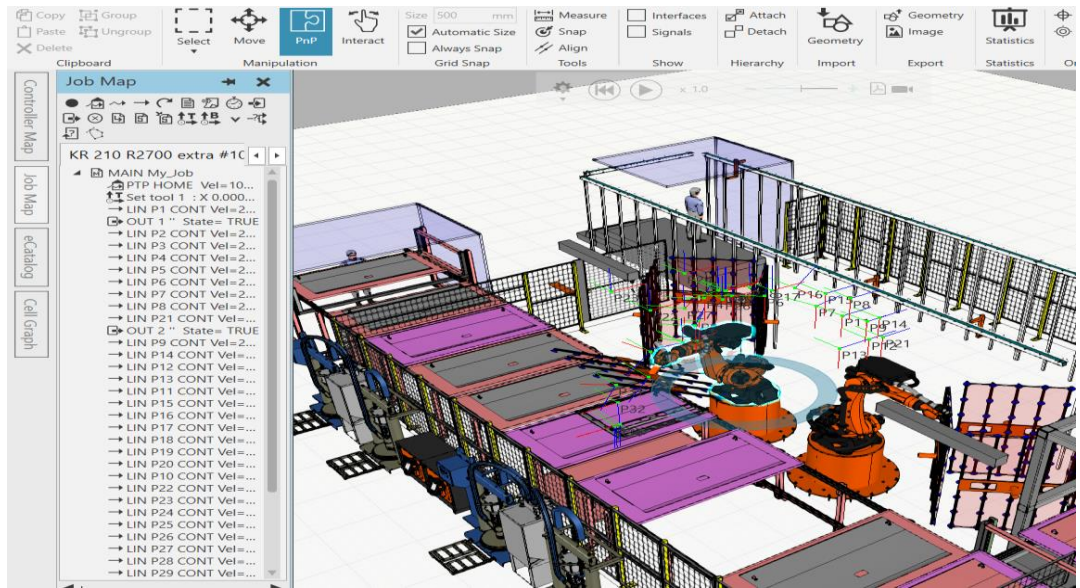
Programlamada genel olarak üç farklı şekilde hareket etmek mümkündür.

-PIP (point-to-point): Uzaydaki herhangi bir noktaya olabildiğince hızlı ulaşmayı sağlar.

-LIN (linear): Doğrusal bir yol izleyerek istenen pozisyona ulaşır.

-CIRC (circular): Dairesel bir yol izleyerek hareket etmeyi sağlar.

Robot aks ayarı (mastering - emt) ile mekanik sıfır konumu robota öğretilmeli ve işlemlerin bitiminin ardından robot bu konuma dönebilmeli veya TCP ile yeniden referans noktaları belirlenirken aradaki farklar kullanılabilir.



Şekil 1.3 : Bir off-line programlama örneği

1.3 Robotlu Otomasyon Ekipmanları

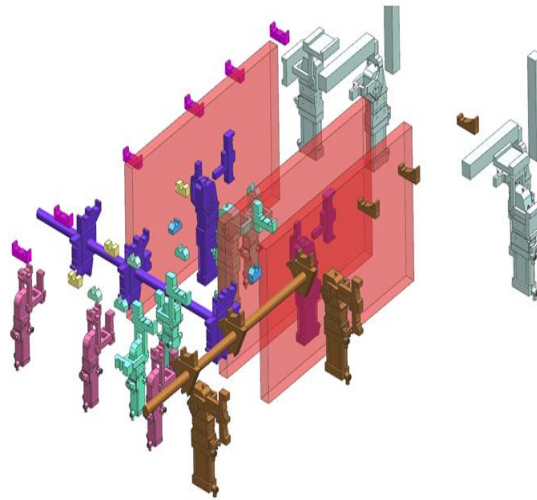
Robotlu otomasyon için robotlarla beraber kullanılan diğer elemanlardır. Prosesin ihtiyacına göre seçilir ve birbirleriyle haberleştirilirler. Kaynak, taşıma, depolama, paketlenme, delme, pres, bükme ve freeze işlemi yapabilen sistemleri otomatik veya yarı otomatik olarak gerçekleştiren sistemlere otomasyonlu robotik yapılar denir. Otomasyon seviyesi fabrikanın ihtiyacı ve bütçesel sebeplerden ötürü çeşitlilik gösterebilmektedir.

Savran (2018) görüntü işlemek ve analiz etmek için bilgisayar tabanlı görüntü uygulamalarını kullanmıştır. Gerçek uygulamadan gelen büyük boyutlu verilerin genellikle karar formları ile sayısal ve sembolik bilgi üreterek gerçek zamanlı pozisyonlama ile robotlu kaynak operasyonlarında gaz kaçak testleri yapmıştır.

Poyraz (2010) iki pozisyonlu kartezyen eksen tasarlayarak; yağ gereksinimi olmayan ve son stroktaki pozisyonlama hassasiyeti çok iyi olan pnömatik silindirler kullanarak malzeme taşıma üzerine çalışmıştır. Pnömatik sistemler ve PLC üzerine detaylı bir çalışma yapılmıştır.

1.3.1 Fikstür

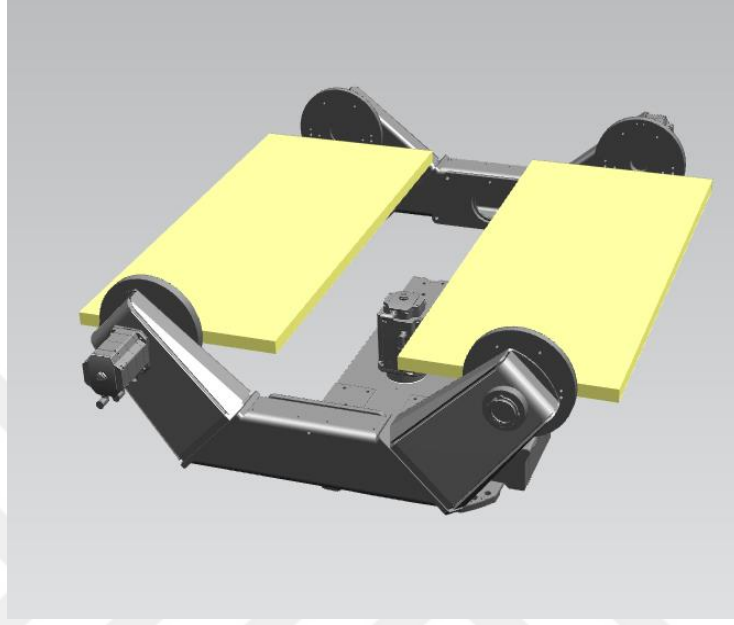
Fikstürler (Şekil 1.4) her bir parçayı aynı hassasiyet ve toleransta üretmeyi sağlayan parçaların manuel veya otomatik tutucular vasıtasıyla sabitlendiği, işlenen parçaya göre tasarımı yapılan konstrüksiyonlardır. Referanslar, pilotlar, lineer gruplar, klempler ve dayamalar içerir.



Şekil 1.4 : Fikstür grupları örneği.

1.3.2 Pozisyoner

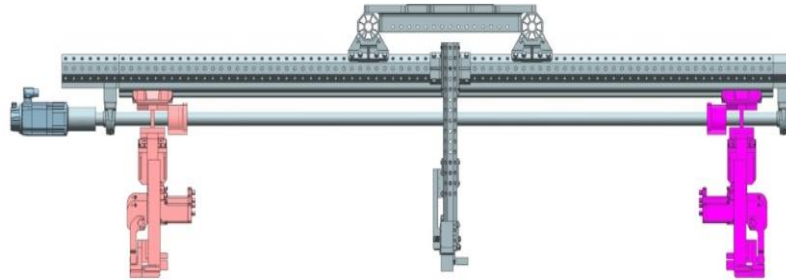
Fisktürlerin konumunu ayarlayan, robotla senkron çalışabilen (servo motorlar aracılığı ile harici eksenler olarak), standart çeşitleri olduğu gibi özel olarak da üretilebilen yapılardır.



Şekil 1.5 : Bir pozisyoner.

1.3.3 Gripper (Taşıma Eli)

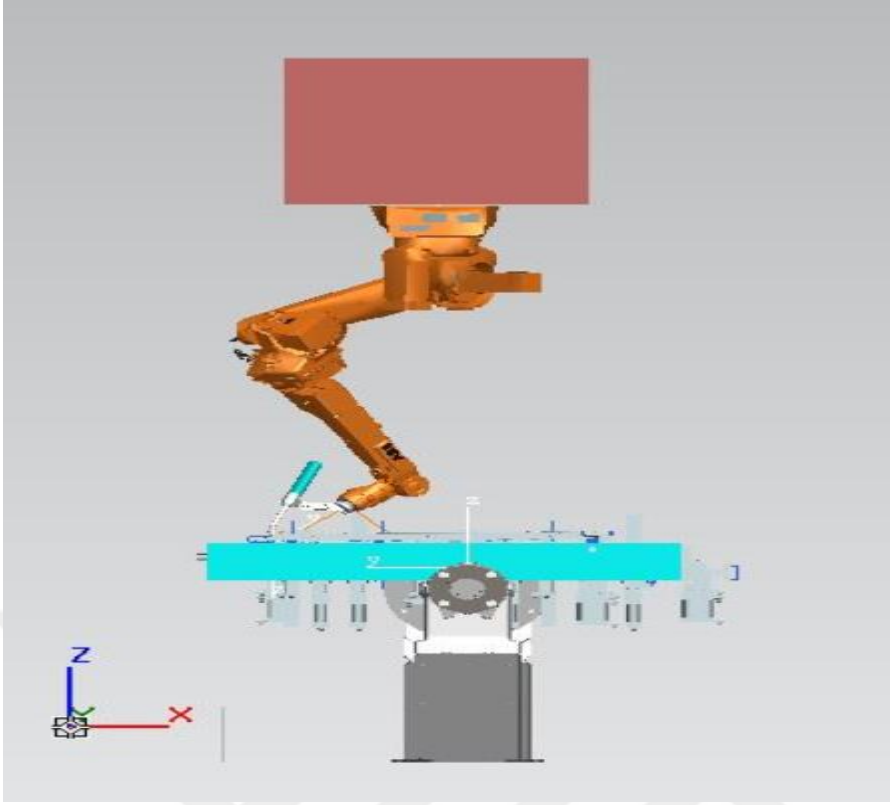
Taşıma, elleçleme, paketlenme ve benzeri işlemlerde robotun flanşına takılan ve vakum ped, vantuz veya tutucularla parçayı tutmak için parçaya özel tasarlanan ve imal edilen konstrüksiyonlardır.



Şekil 1.6 : Bir gripper (Taşıma eli) tasarımı.

1.3.4 Kaynak ve gerekli uygulama ekipmanları

Uygulama ekipmanları kaynak uygulamaları için gerekli kaynak makinası, torç, servo tabanca ve bunların alt malzemeleridir.



Şekil 1.7 : Gantry (artı iki harici eksen) tip robotla yapılan bir kaynak işlemi.

1.3.5 PLC

İngilizce Programmable Logic Controller olan programlanabilir mantık denetleyiciler, CPU (Control Process Unit) gibi işlemci elemanlar sayesinde giriş-çıkış (I/O) olarak cevap veren (pnömatik, hidrolik veya elektriksel yapılarla), sistemleri kontrol eden, belirli bir hafızaya sahip olan ve programlanabilen cihazlardır. Yazılan programlar sayesinde tüm sistemi kontrol ederler ve yanlışlık anında bilgi verebilirler. MRP (Material Resource Planning) ve ERP (Enterprise Resource Planning) gibi kaynak ve malzeme planlama sistemleriyle koordineli çalışıp operasyonlarla ilgili tüm bilgileri aktarabilirler bu da uzun yıllar içinde bilgi kaybını engeller (know-how) ve data mining (bilgi işleme) kolaylaştırır.

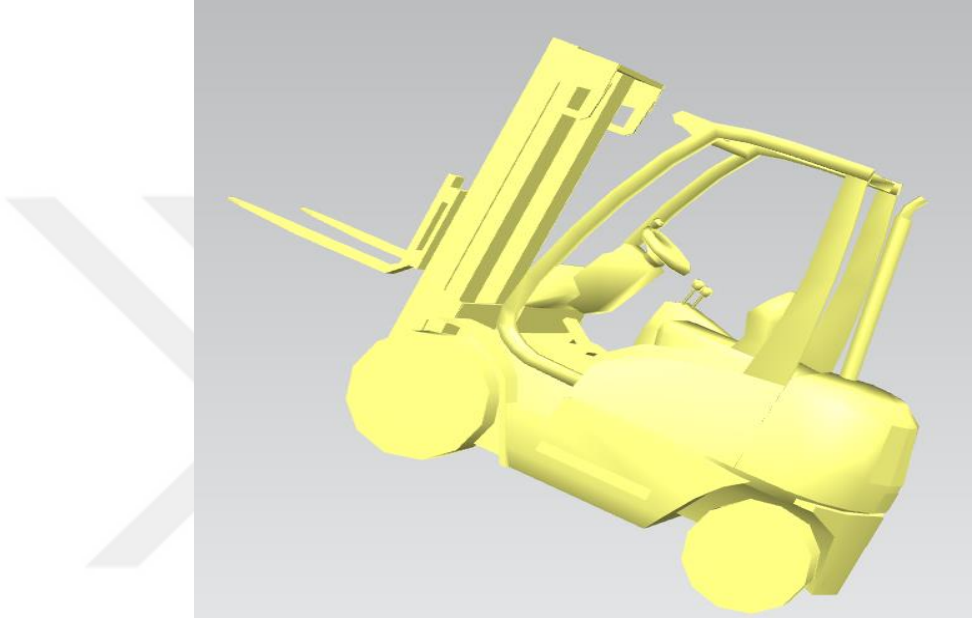
1.3.6 SCADA

Enerji ve proses scadası olarak ikiye ayrılabilir. Scada açılım olarak uzaktan kontrol ve veri toplama sistemi olarak düşünülebilir. RTU (Remote Terminal Unit), PLC gibi sistemlerle senkron çalışır ve MRP, ERP sistemlerine doğru yol gösterebilir. Verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek, tüm sistemleri denetim altında tutmak tüm

bilgi geçmişini el altında bulundurmak endüstriyel PC ile birlikte Endüstri 4.0 ve gelecek versiyonların vazgeçilmez bileşenleridir.

1.3.7 Taşıyıcı Sistemler

Hücre içinde taşıyıcı sistem olarak çeşitli konveyörler (kemer, arabalı, döner, zincir) kullanılır. Hücre dışında hat içinde ise konveyörler kullanılabildiği gibi forklift, milk-run araçları, AGV (Automated Guided Vehicle) ve diğer taşıma araçları kullanılır.



Şekil 1.8 : Temsili bir forklift tasarımı.

1.3.8 Diğer Ekipmanlar

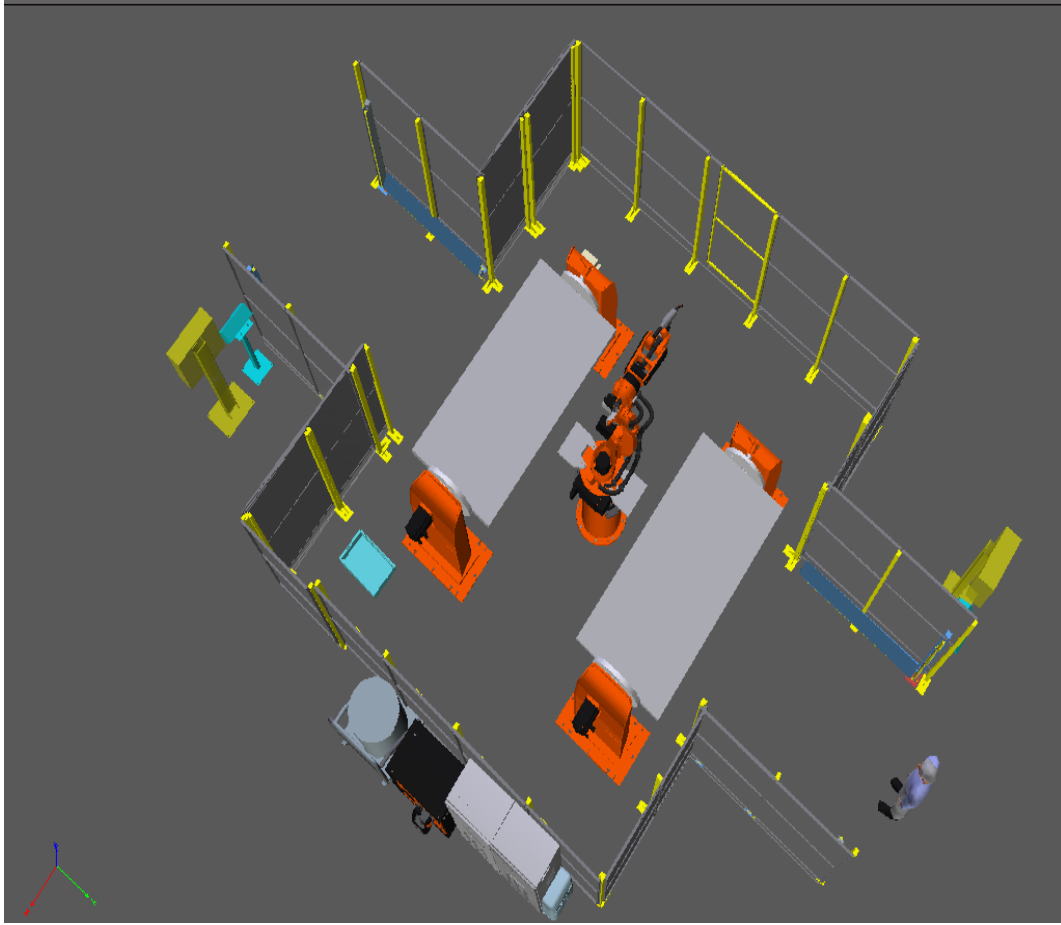
Robotik hücreler ve otomasyon sistemleri yapılan operasyona özel oldukları için çeşitli ekipmanlar içerebilir. Gazaltı ve lazer kaynak yapılan bir hücrede gaz çıkışları için havalandırma sistemleri olmalıdır. İnsanları korumak için ışıklandırma ve güvenlik ekipmanları, otomatik kapı kilitleri bulunmalıdır. Yabancı maddelerin hatta girişini engelleyen kontrüksiyonlar tasarlanmalıdır.

1.4 Robot Yapıları ve Süreçlerin Karşılaştırılması

Robotlarla kurulan hatlar, manuel işleyen hatlara, akış şeması olarak benzerlik göstermektedir fakat robot hücreleri daha az alan kaplamaktadır ve işlerin daha düzenli şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Bir fabrika içinde uygulanan üretim sürecine katkısı robotlu yeni hücreler kurdukça artmaktadır. İstenen çevrim zamanına (cycle

time) göre kuruldukları için planlı bakımları yapıldığı sürece zamansal açıdan herhangi bir aşım ya da mekanik bir sıkıntıdan dolayı plansız bir duruş yaşanmamaktadır. Bu doğrultuda zamanında üretim (just in time) anlayışına uyum sağlamaktadır.

Güvenlik açısından da operatörü korumaktadır. İş sağlığı ve güvenliği kurallarına göre inşa edilmelidir. Şekil 1.9’de gösterilen figurative yerleşimde bir robot güvenli bir hücrede bir parçayı işlerken diğer parça yüklenir ve işi bittiğinde diğer pozisyonere dönerek parça işlemeye devam eder bu sırada operator bitmiş parçayı alır ve yeni işlenecek parçayı fikstrüre yerleştirir.

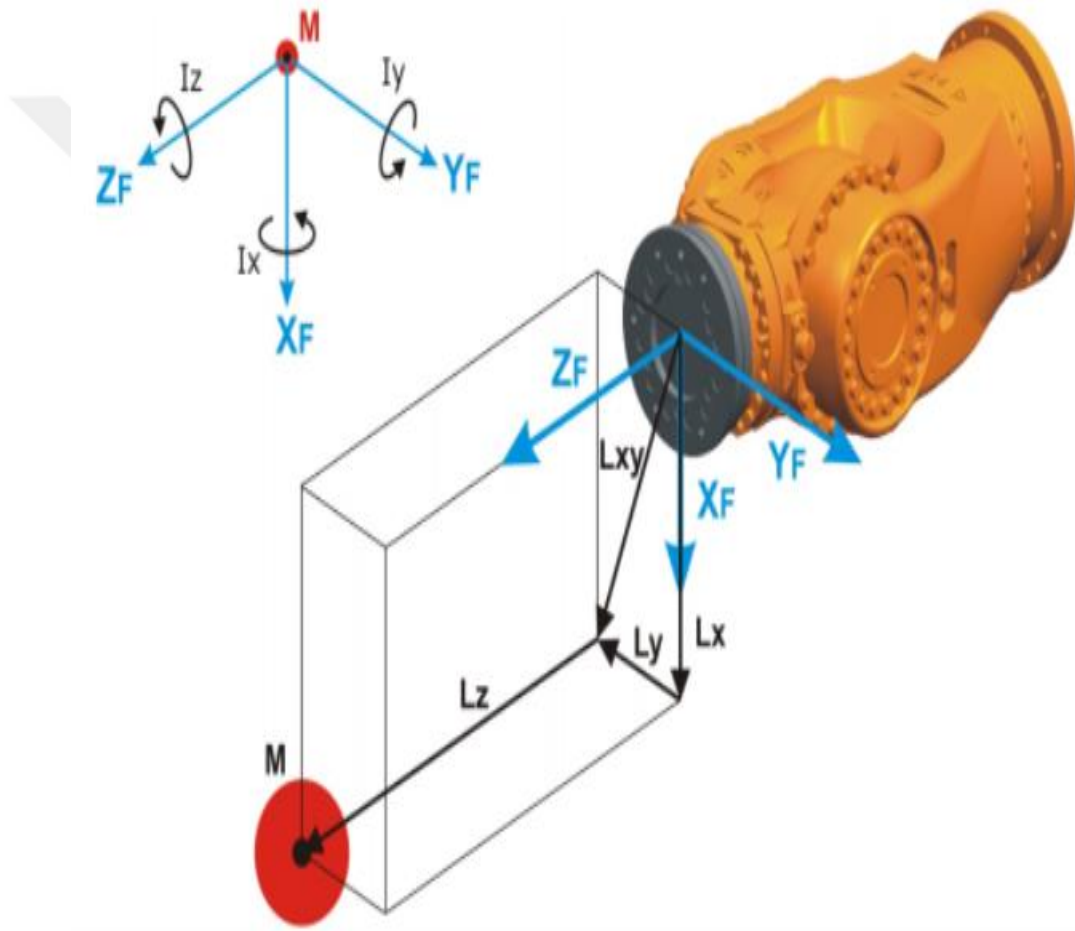


Şekil 1.9 : Robotlu bir ark kaynak hücresi.

1.5 Robot Seçim Kriterleri

Robot tipi yapılacak operasyona göre seçilmektedir. Operasyona göre robotların giyeceği ekipmanlar değişiklik göstermektedir. Robot tipi seçildikten sonra taşıyacağı yüke ve erişim noktasına göre en uygun robot seçilmektedir, burada kriterler robotun en uç bölgesi olan ve flanş diye tanımlandırılan 6. ekseninin uzanacağı en uzak mesafe

ve 6. eksene binen yüküdür. Boyama ve paketlenme operasyonlarında 6. eksene gerek olmadığı durumlarda 5 eksenli articulated (eklemlili) robotlar kullanılmaktadır. 6. eksene binen yük kütle atalet momentlerinin hesabı ile yapılır. 6. ekseninde flanşa takılan cismin ağırlık noktası itibari ile oluşan momentlere göre hesap yapılır ve çıkan sonuçlar değerlendirilir. Kütle atalet momentlerinin hesabından sonra taşınacak yüke göre hangi ekseninde ne kadar zorlanma olduğunu gösteren programlar mevcuttur. Şekil 1.10' da 6. eksen görünümü verilmiştir ve M ile tanımlanan takılacak yükün ağırlığıdır, L_x , L_y , L_z kütle koordinatları olarak flanştan uzaklığını göstermektedir ve kütle atalet moment tayininde kullanılmaktadırlar.



Şekil 1.10 : Robotun son ekseninde flanş üzerindeki kütle atalet momentleri gösterimi.

Çizelge 1.1 : Robot tipleri ve kullanım alanları.

Sabit robot tipi	<u>Mafsal tipi</u>	Kullanım alanı
	-İlk, ikinci ve üçüncü eklem	
Eklemlili	-Dönel -Dönel -Dönel	Otomotiv, genel endüstri, tıbbi ekipman ve malzeme, uzay ve havacılık, tarım, elektronik montaj, nükleer sanayi
Kartezyen	-Prizmatik -Prizmatik -Prizmatik	Genel endüstri, otomotiv, demiryolları, büyük makina montajları, inşaat
Küresel	-Dönel -Dönel -Prizmatik	Montaj, nükleer sanayi
Silindirik	-Dönel -Prizmatik -Prizmatik	Basit montaj- demontaj hatları, büyük makina montaj

Ağırlık merkezi değişimi ile flanş ucunda oluşan kütle atalet momentleri robot seçiminde kritik bir öneme sahiptir.

Kütle ve alan atalet formülleri ve hesaplamayla kıyaslanmış iki robotun programdaki değerleri için bazı hesaplamalar yapılmaktadır..

Öncelikle x ve y'ye göre ağırlık noktası (G) belirlenir. G noktasının koordinatlarına ve flanşın merkezine uzaklığına göre kütle atalet momentleri hesaplanır. Kütle atalet momenti cismin açısal hızlanmaya karşı koyma kuvveti olarak tanımlanır.

Ağırlık merkezi tayini

$$G_x = \frac{A_1.G_{1x} + A_2.G_{2x}}{A_1 + A_2} \quad (1.1)$$

$$G_y = \frac{A_1.G_{1y} + A_2.G_{2y}}{A_1 + A_2} \quad (1.2)$$

Alan ve kütle atalet momentleri

$$I_x = \int y^2 dA \quad (1.3)$$

$$I_y = \int x^2 dA \quad (1.4)$$

$$I_g = \int r^2 dm \quad \text{kütle atalet momenti formülüdür.} \quad (1.5)$$

$$T = (1/2)I_g\omega^2 \quad (\text{Tork}) \quad (1.6)$$

$$HG = I_g\omega \quad (\text{açısal moment}) \quad (1.7)$$

$$I_p = I_g + md^2 \quad (1.8)$$

(Paralel eksen teoremi- G eksenine paralel bir P eksenini varlığında ve parçanın merkezinden geçen eksenler referans eksenle çakışmadığında kullanılır.)

Kolların atalet tensörleri ve ağırlıkları

$$\begin{pmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{pmatrix}$$

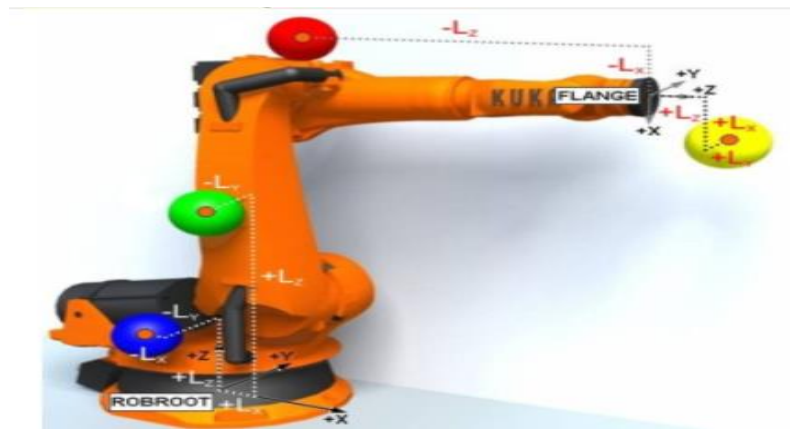
$$m = \pi r^2 lp \quad (1.9)$$

$$I_{xx} = \left(\frac{1}{2}\right)mr^2 \quad (1.10)$$

$$I_{yy} = \left(\frac{1}{4}\right)m(r^2 + \left(\frac{1}{3}\right)l^2) \quad (1.11)$$

$$I_{zz} = \left(\frac{1}{4}\right)m(r^2 + \left(\frac{1}{3}\right)l^2) \quad (1.12)$$

Şekil 1.11’de sarı ile gösterilen bölge taşıma kapasitesi ile ilişkilidir, diğer renklerle gösterilen daireler ise ilgili eklemlere gelen ilave yükleri göstermektedir. bu ilave yükler valfler, malzeme beslemeleri vb. olup çevrim süresini, aşınmayı, koordinatları, hızı vb. etkilemektedirler.



Şekil 1.11 : Kukuload programında KR 210 R3100 ultra Kuka robota ait eksenlere göre kütle atalet momenti hesaplamada kullanılan uzunluk göstergeleri.

Robot kolları için analizler ve ilişkiler ters ve düz kinematik denilen yollarla bulunur. Uzuvarların yere göre doğrultu ve pozisyonunu eklem değişkenleri cinsinden belirleyen düz kinematik, doğrultu ve pozisyonu sağlayacak olanları belirleyen ters kinematik ilişkilerdir (Özgören, 2016).

1.5.1 Düz Kinematik

Her bir ekleme bir koordinat sistemi yerleştirilse komşu iki dönüşüm matrisiyle elde edilir. Kinematik problemler kartezyen üç boyutlu ve kartonom dört boyutlu olmak üzere iki farklı uzayda gerçekleştirilir. Kartezyen uzayda üstel yöntem, Pieper-Roth yöntemi ve Denativ-Hartenberg yöntemi kullanılır. Ancak en fazla tercih edilen yöntem Denativ-Hartenberg yöntemidir.

-İki eksen arasındaki uzunluk: a_{i-1}

-İki komşu eksen arasındaki eksen açısı: α_{i-1}

-Üst üste çıkan bağlar arasındaki eklem kayması (kaçıklığı): d_i

-İki komşu uzuv arasındaki eklem açıklığı: θ_{i-1}

$${}^{i-1}T_i = R_x(\alpha_{i-1})D_x(\alpha_{i-1})R_z(\theta_i)D_z(d_i) \quad (1.13)$$

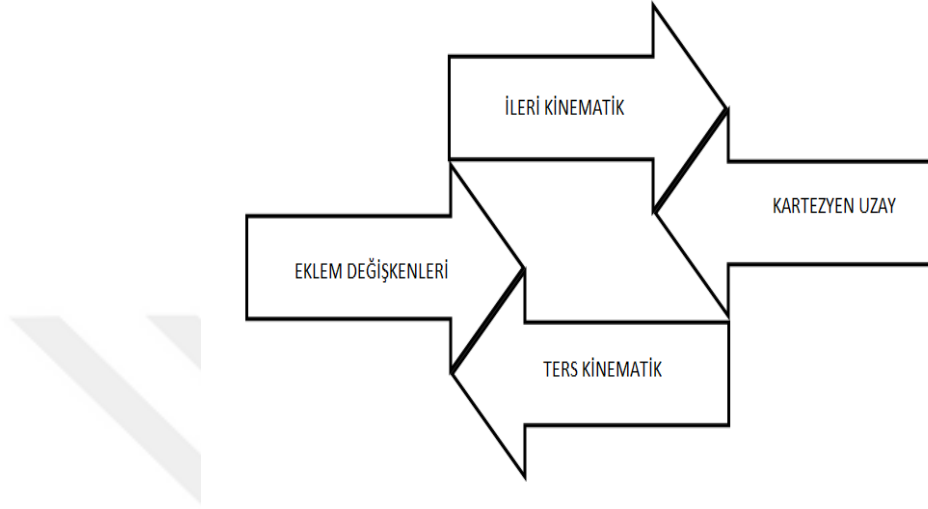
(her bir eklem için genel dönüşüm matrisi)

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & \sin\theta_i & 0 & \alpha_{i-1} \\ \sin\theta_i \cos\alpha_{i-1} & \cos\theta_i \cos\alpha_{i-1} & -\sin\alpha_{i-1} & -\sin\alpha_{i-1}d_i \\ \sin\theta_i \sin\alpha_{i-1} & \cos\theta_i \sin\alpha_{i-1} & \cos\alpha_{i-1} & \cos\alpha_{i-1}d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.14)$$

$${}^0T_6 = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 \quad (1.15)$$

1.5.2 Ters Kinematik

Ters kinematik denklemler de ileri kinematik yön denklemleri gibi bir nesnenin hakeretinin matematiksel olarak ifadesidir (Denklem 1.16-25). Şekil.12’de ileri ve ters kinematik ilişkisi şekilsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.12 : Ters ve ileri kinematik bağıntısı.

$$[{}^0T]^{-1} {}^0T = {}^1T {}^2T {}^3T {}^4T {}^5T {}^6T \quad (1.16)$$

$$[{}^0T {}^1T]^{-1} {}^0T = {}^2T {}^3T {}^4T {}^5T {}^6T \quad (1.17)$$

$$[{}^0T {}^1T {}^2T]^{-1} {}^0T = {}^3T {}^4T {}^5T {}^6T \quad (1.18)$$

$$[{}^0T {}^1T {}^2T {}^3T]^{-1} {}^0T = {}^4T {}^5T {}^6T \quad (1.19)$$

$$[{}^0T {}^1T {}^2T {}^3T {}^4T]^{-1} {}^0T = {}^5T {}^6T \quad (1.20)$$

$$[{}^0T]^{-1} {}^0T = 1 \quad (1.21)$$

$$\cos \theta = a \text{ ise } \theta = \arctan 2(\pm\sqrt{1 - a^2}, a) \quad (1.22)$$

$$\sin \theta = a \text{ ise } \theta = \arctan 2(a, \pm\sqrt{1 - a^2}) \quad (1.22)$$

$$\cos \theta = a \text{ ve } \sin \theta = b \text{ ise } \theta = \arctan 2(b,a) \quad (1.23)$$

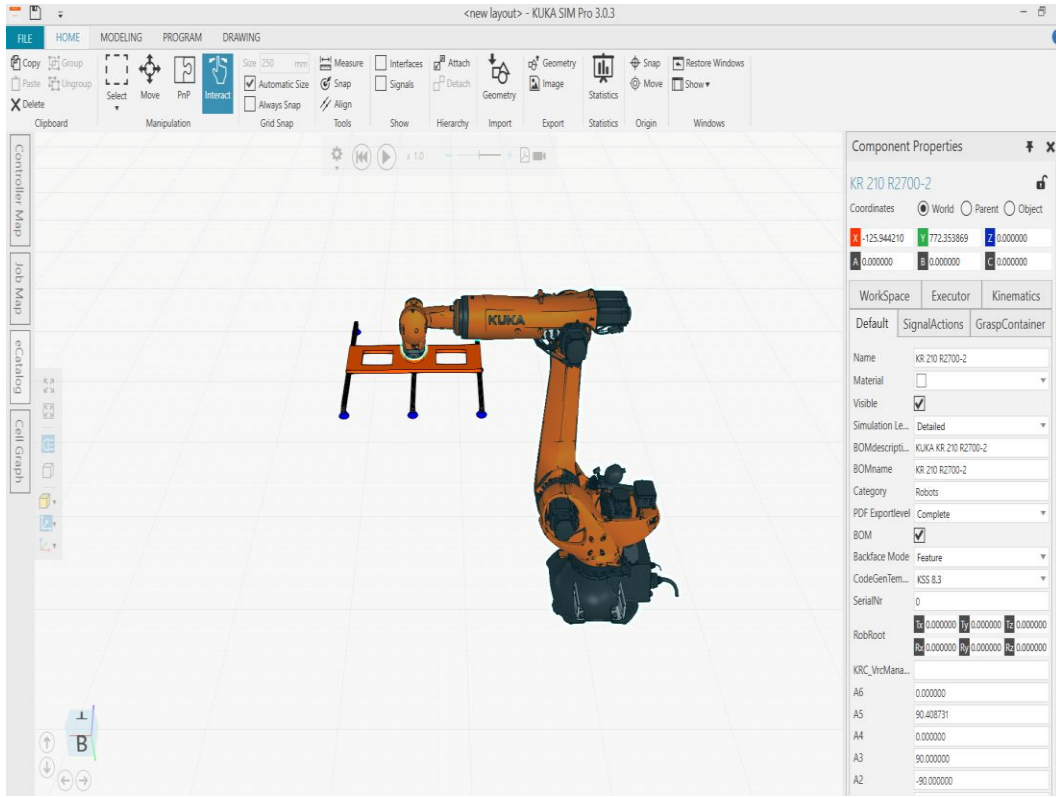
$$a \sin \theta + b \cos \theta = 0 \text{ ise } \theta = \arctan 2(-b,a) \text{ veya } \theta = \arctan 2(b,-a) \quad (1.24)$$

$$a \sin \theta + b \cos \theta = c \text{ ise } \theta = \arctan 2(a,b) + \theta = \arctan 2(\sqrt{a^2 + b^2} - c^2, c) \quad (1.25)$$

Craig tarafından çıkarılan kinematik bağıntıyı çözmek için yararlı denklemlerdir (Kuşcu, 2007).

1.5.3 İki robotun farklı yüklerde atalet momentlerine göre kıyaslanması

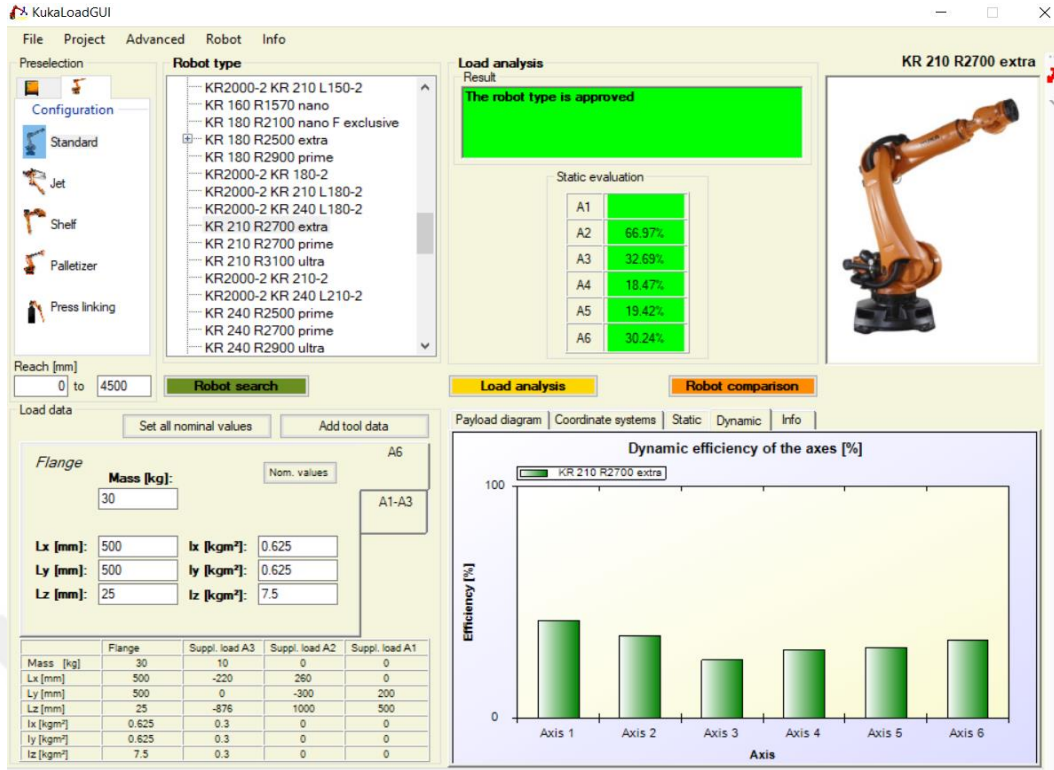
Kütle atalet momentlerinin yukarıdaki formüllerle hesaplanan üç farklı girdi ile robot ve yük kıyaslanması yapılmıştır. Yüksüz halde optimum değerlerinde olan robotlara 30 kg bir gripper takıldığında, gripperin ucuna 30 ve 150 kg başka yükler takıldığında durumlar kıyaslanmıştır. Optimum değerlerinde 210 kg kapasiteli robota göre kıyaslamalar yapılmış olup kapasitesi yetmediğinde 500 kg kapasiteli robottaki değerlere bakılmış ve kıyaslama yapılmıştır. Şekil 1.13'te 6. Eksenindeki flanşa bir quick kaplin yardımıyla takılmış gripper (taşıma eli) ve world koordinat düzlemindeki x, y, z koordinatları gösterilmiştir.



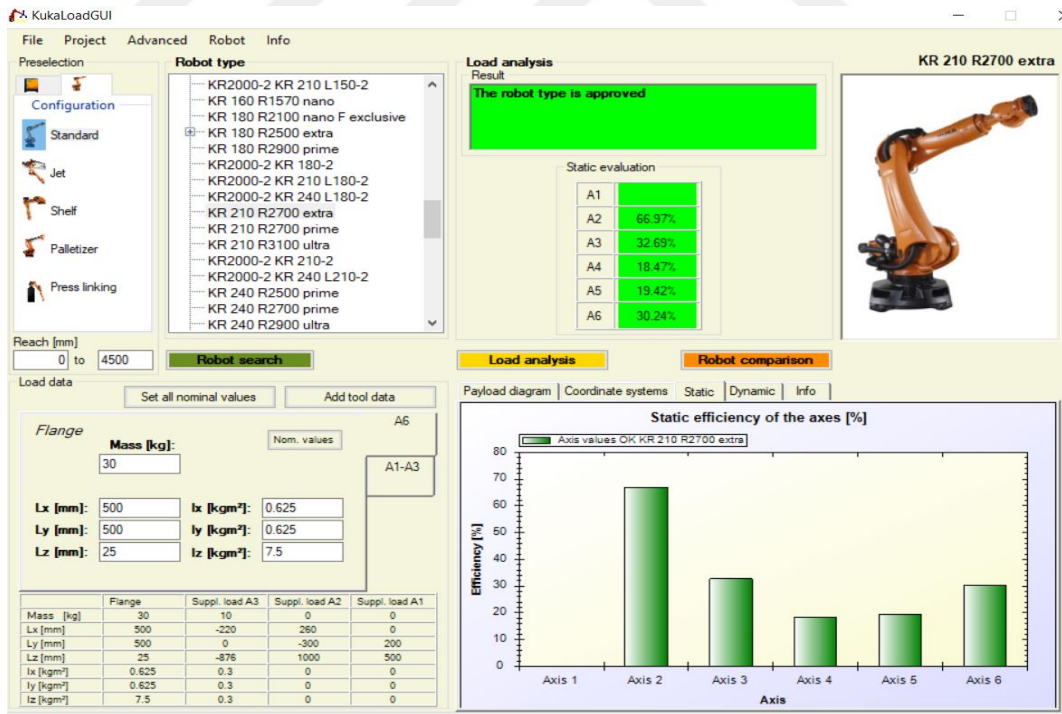
Şekil 1.13 : KukaSimPro programında 30 kg gripper taşıyan Kuka KR210R2700 robot.

Şekil 1.14'te 30 kg'lık gripper taşıyan robotun, taşıdığı ağırlık ve ağırlık merkezinin flanş merkezine olan uzaklıkları ile kütle atalet momentleri hesaplanmış ve x, y, z, eksenlerindeki kütle atalet momentleri ve eksenlerde meydana gelen dinamik zorlanmalar grafik halinde gösterilmiştir.

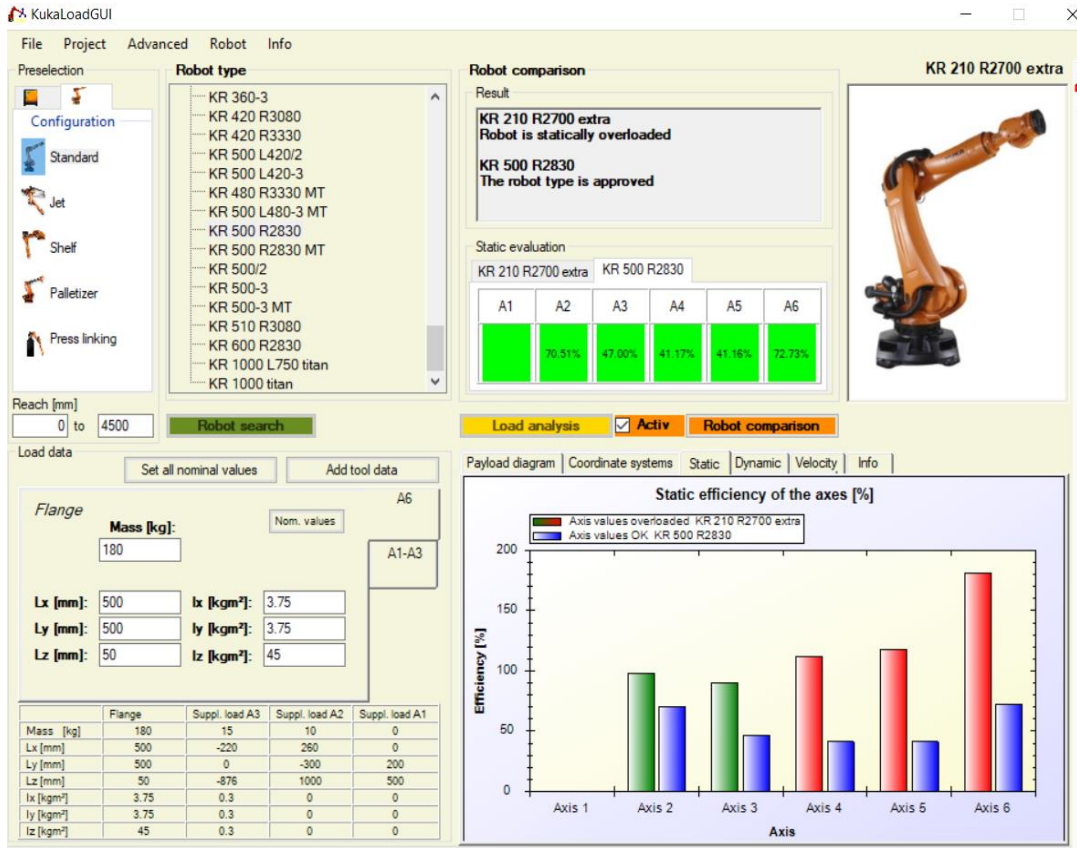
Şekil 1.15'te 30 kg'lık gripper taşıyan robotun statik zorlanmaları verilmiştir.



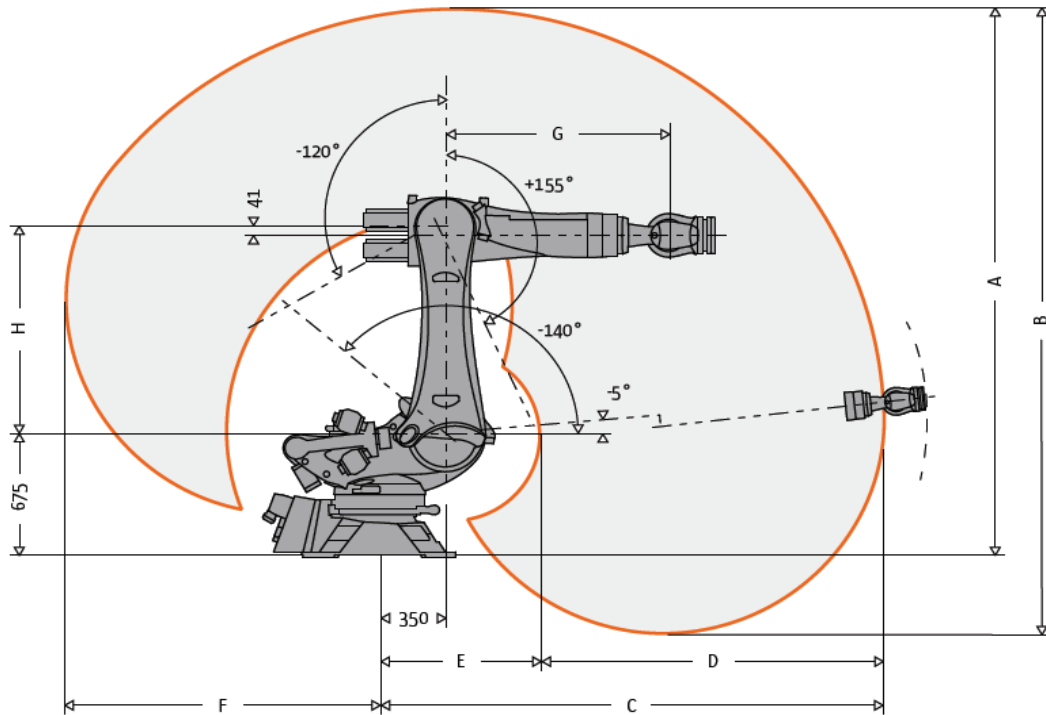
Şekil 1.14 : 6. eksendeki, kütle atalet momentlerine ve yüke göre eksenlerdeki dinamik zorlanmalar.



Şekil 1.15 : 6. eksendeki, kütle atalet momentlerine ve yüke göre eksenlerdeki statik zorlanmalar.



Şekil 1.16 : 150 kg parçada statik zorlanma yaşayan 210 kg taşıma kapasiteli, robotun 500 kg taşıma kapasiteli robotla statik verimlilik kıyaslaması.



Şekil 1.17 : Bir robot hareket alanı (çalışma uzayı).

Konuyla ilgili diğer detaylı diğer görseller Ekler bolumunde Şekil A1-11'de verilmiştir.

1.5.4 Tekrar edilebilirlik

Herhangi bir makinanın koordinatları girilen noktaya gidebilme ve pozisyonlama becerisidir. Robotlar için tekrar edilebilirlik istenilen noktaya hatasız ya da en az sapma ile gidip istenilen işlemi doğru pozisyonlama ile yapma becerisidir.

1.5.5 Taşıma kapasitesi

Kaynak robotları genellikle 3-20 kg arasında taşıma kapasitesine sahiptir. Ekstra bir optik laser / kamera yerleştirilmesi veya takım değiştirme sistemi kullanıldığında taşıma kapasitesinin tekrar değerlendirilmesi gereklidir. Taşıma kapasitenin arttığı durumlarda tolerans genişler. Taşıma robotları ise 1500 kg'lara kadar yük taşıma kapasitelerine sahiptir.

1.5.6 Açısal hız

Robotlar 0,75 – 1,5 m/s (45 – 90 m/dk.) arasında doğrusal hıza sahip olabilir.

Açısal hız, robotun hareket edebildiği birim zamandaki ilerleme miktarıdır.

1.5.7 Serbestlik derecesi

Serbestlik derecesi (DOF-Degree of Freedom), bir cismin veya sistemin sabit bir noktaya göre konumunu tam olarak belirlemek için gerekli bağımsız değerşken sayıdır. Robotlarda serbestlik derecesi mafsallık ve eksenler sayılarak rahatlıkla bulunabilir.

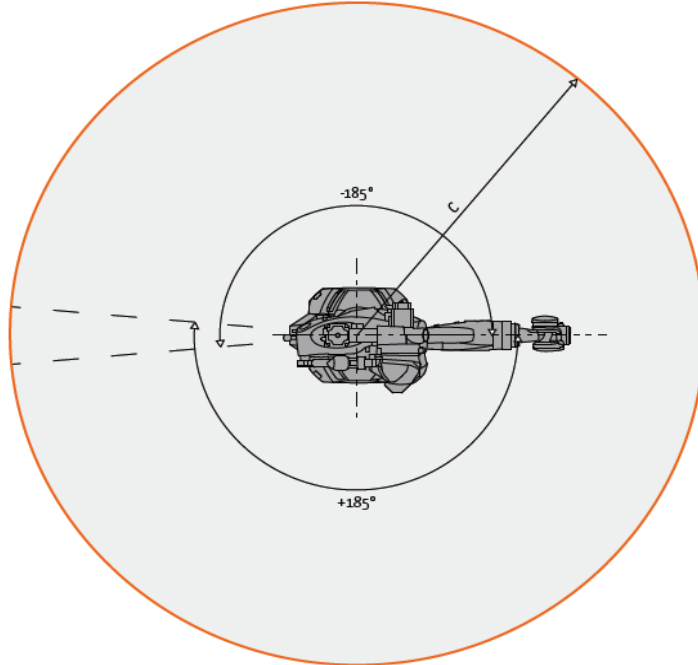
Seçilen robotta bulunan eksen sayısı ne kadar fazla ise o olude hassas pozisyonlama, kaynak açısı, yaklaşma açısı ve kaynak akışında keskinlik sağlanabilir. Eklenebilecek ek eksenlerle de erişim büyük olude arttırılabilir. 7 eksenli robotlarda, 7. eksen; 1. eksenin gerisine eklenen bir eksen ile yörüngenin ve erişimin arttırılmasını sağlamaktadır. Sekiz eksenli robotlarda ise, sonradan bağlanan eksenler; 6. eksenin onune eklenen ve manipüle edilecek yurunu daha hassas konumlandırmaya yarayan ek iki eksenden oluşmaktadır. 8 eksenli robotların endystride kullanım alanları sadece

taşıma ile ilgili olmakta ve çok nadir ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 1.18’de Kuka bir robotun çalışma uzayı verilmiştir.



Şekil 1.18 : Altı eksenli taşıma ve punta kaynak robotlarının çalışma uzayları.

Şekil 1.19’da kesikli çizgilerle robotun çalışma uzayındaki kör noktaları verilmiştir.



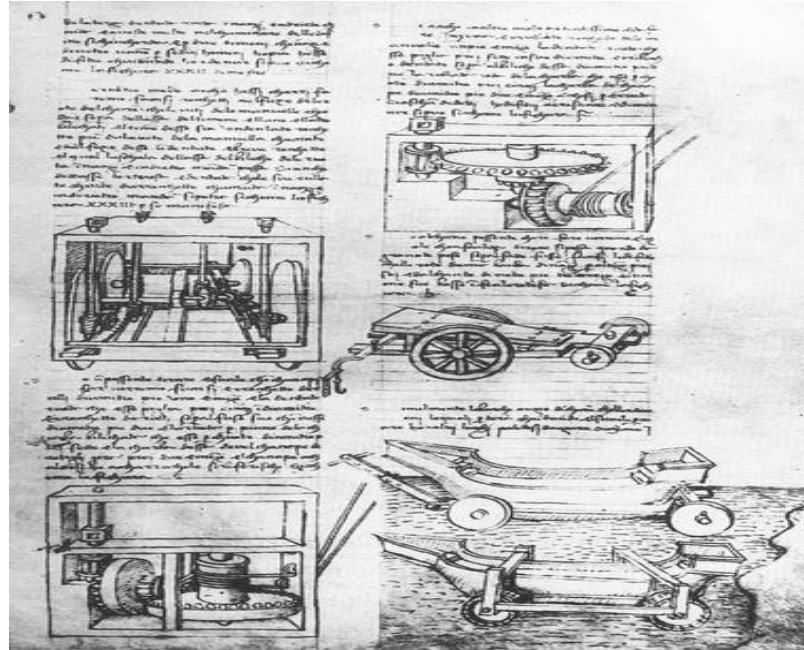
Şekil 1.19 : Bir robotun çalışma uzayı ve kör noktası.

1.6 Otobüslerin Tarihçesi ve Sınıflandırılması

Otomobil Yunanca'da kendi anlamına gelen autos kelimesi ve Latince'de hareket eden anlamındaki mobilis kelimelerinin birleşiminden oluşmuştur. Otomobil fikri bile yokken, herhangi bir hayvan kullanmadan araçlardan bahseden ilk kişi Roger Bacon olmuş (Url-2).

İngiliz bilim adamı ve filozof Bacon, Başpiskopos Guillaume Humbert'a yazdığı bir mektupta, at ile çekilmeden, hayal bile edilemeyecek hızla hareket eden bir aracın yapılabileceğinden söz etmiştir. Sözcük anlamına uygun olarak kendi kendine hareket eden ilk araç ise 1600'lü yıllarda Pekin'de Cizvit misyoner Ferdinand Verbiest tarafından Çin imparatoru için tasarlanan buharla çalışan bir oyuncaktır (Url-2).

Verbiest, tekerlekli bu aracın nasıl çalıştığını 1668'de Astronomia Europa adlı yapıtında anlatmıştır. Otomobilden söz eden ya da yapıtlarında yer veren başka isimler de vardır. Rönesans dönemi mühendislerinden Francesco di Giorgio Martini'nin çalışmalarında dört tekerlekli bir araca benzeyen ve otomobil adıyla anılan bir çizime yer verdiği belirtilir. Leonardo da Vinci'nin 15. yüzyıla ait Codex Atlanticus yapıtında atsız hareket eden bir aracın çizimleri bulunmaktadır. Şekil 1.20'de Da Vinci'nin çizimlerini gösteren şekil verilmiştir.



Şekil 1.20 : Da Vinci'nin çalışması (Url-2)

Otomobil, ortaya çıkışından itibaren gelişmiş ülkelerde yük ve insan taşımacılığı konusunda ana ulaşım aracı olarak kendini kabul ettirmeyi başarmış ve buna bağlı

olarak otomotiv endüstrisi, 2. Dünya Savaşı'ndan sonra dünyanın en etkili endüstri kollarından biri olmuştur. İlk otobüsler ise 1662 yılında Paris'te ortaya çıkmıştır. Atla çekilen bu araçlara sıradan insanların binmesi yasaklanmış bu hak sadece zenginlere verilmişti. Bu araçların yaygınlaşması 1820'li yıllarda yine Paris'te olmuştur. Latince herkes için anlamına gelen omnibüs adıyla işletmeye konulan atlı otobüslerin bir müddet sonra ismindeki omni kısmı çıkarılıp ismi kısaltılmıştır. 1829 yılında atlı otobüsler Londra'da işlemeye başlamıştır. Üç atla çekilen bu otobüslerin 22 kişilik oturacak yerleri vardı. Ancak at pislikleriyle şehri kirleten atlı otobüsler tramvayların ve benzin motorlarının geliştirilmesiyle önemini yitirdi. 1895 yılında Almanya'da sekiz yolcu taşıyabilen benzin motorlu otobüsler ortaya çıktı. 1904 yılında Londra'da benzinle çalışan ilk çift katlı otobüs kullanıldı ve 8 yıl içinde tümüyle atlı otobüslerin yerini aldı, Londra çevresinde bir süre buharlı otobüsler işletildiyse de 1918 yılına kadar benzin motorlu otobüslere yerlerini bırakarak tamamen yok oldular (Url-2).

Karayolları trafik yönetmeliğine göre otobüs; sürücüsü dahil dokuzun üzerinde oturma yeri bulunan, yolcu taşıma amaçlı motorlu taşıttır. Oturma yeri 17'den fazla olmayan otobüsler minibüs sınıfına girer. Trolleybüsler ise otobüs kategorisine dahildir.

Yolcu taşıyan ticari taşıtlar, koltuk sayısına ve seyir mesafesine bağlı olarak I, K, L, M olmak üzere 4 sınıfta incelenmektedir. 8 ila 14 koltuk kapasiteli minibüslerle başlayan yolcu araçları, 2 ya da daha çok dingilli, şehirler ya da ülkeler arası seyahat imkanı veren uzun yol yolcu otobüslerine kadar uzanmaktadır.

1.7 Otobüs Modelleme

BIP : Şekil 1.21'te görüldüğü gibi aracın yalnızca taşıyıcı karkas yapısı bulunur.



Şekil 1.21 : Taşıyıcı karkas yapısı (Url 3).

BIW : BIP'te gösterilen karkas yapıya camlar eklenir.

Trim: Aracın gerçek haline en çok benzeyen modeldir. Bu noktada binek araçlarla, otobüs modelleri arasında farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bunun başlıca nedeni, tedarikçilerden temin edilebilen verilere bağlı olarak, modelin detay seviyesinin farklı olmasıdır. Otobüs gibi az sayıda üretilen araçlarda, tedarikçi desteği, binek araçlara ve hacimli projelere verilen desteğe göre çok kısıtlı olmaktadır. Bunun sonucu olarak, modelleme için gerekli olabilecek data'lara ulaşamama problemi ortaya çıkmaktadır (Kabasakal, 2011).



Şekil 1.22 : Bir otobüs gövde yapısı.

Otobüs gövde tipleri gövde uzunluğuna göre dingil sayısına göre değişiklik gösterir. Otobüsler imal edilmeden önce özel istek ve seri üretim veya şehiriçi ve şehirlerarası mı olacağı çok büyük önem taşımaktadır. Seri üretim olan ve birbirinden farklı olmayan otobüsler için tek bir çalışma gerekirken; isteğe bağlı özel üretimde istekler göz önünde bulundurularak çalışma yapılır. Şehiriçi otobüslerde konfor ikinci planda tutulmasından ilk amacın ulaşımı sağlamak olmasından dolayı yapılan yük ve yapısal analizler otobüse oturarak ve ayakta binebilecek maksimum insan sayısına göre yapılırken bu şehirlerarası otobüslerde araçta bulunan maksimum koltuk sayısına göre yapılır.

1.8 Otobüs İmalatında Kullanılan Robotlar ve Teknik Özellikleri

Otobüs imalatında taşıma, gazaltı kaynak, punta kaynak, yapıştırma, paketleme vb. amaçlar için articulated (eklemlili robotlar) kullanılmaktadır. Paketleme dışında kullanılan robotlar 6 eksenli olmaktadır ve her bir eksen bir servo motor aracılığı ile

tahrik edilmektedir. Günümüzde 1500 kg'a kadar taşıma kapasitesine sahip olan endüstriyel robotlar mevcuttur. Bu taşıma kapasitesi optimum durumda olup, robot 6. eksenli olan flanşın ucuna takılan cismin G noktasına göre ve robot kolların uzayacağı alana göre azalma göstermektedir. Robot endüstrisi gelişimini sürdürmekle beraber sanayide yapılan işlemlerde operasyonları hızlandırmakta, güvenliği artırmakta ve kalite algısını yukarı taşımaktadırlar. Şekil 1.23'te 6 eksenli otobüs imalatında kullanılabilen endüstriyel tip bir robot gösterilmiştir.



Şekil 1.23 : 6 eksenli articulated (eklemlı) endüstriyel tip robot.

1.9 Otobüs İmalat Hatlarının Açıklanması

Otobüs üretimi ana hatlarıyla otomobil üretimine benzemektedir fakat boyutsal farklılıklar başlıca kısıtları ve farklılıkları ortaya çıkarmaktadır. Ana üretici ve ana üreticiye iş yapan yan sanayiye (Tier1-2-3) çok iş düşmektedir. Ar-Ge çalışmaları yapıldıktan, tasarım ve analiz aşamalarında sorun çıkmadıktan sonra IATF 16949 gereğince PPAP (Production Part Approval Process) ve APQP (Advanced Product Quality Planning) uygulamaları eşliğinde araç üretimi kısaca aşağıdaki süreçlerden geçer.

Pres: Araçta kullanılacak saçlara form verildiği, punch işlemlerinin yapıldığı ve kesildiği üretim alanı.

Kaynak: Her türlü birleştime işleminin yapıldığı üretim alanı.

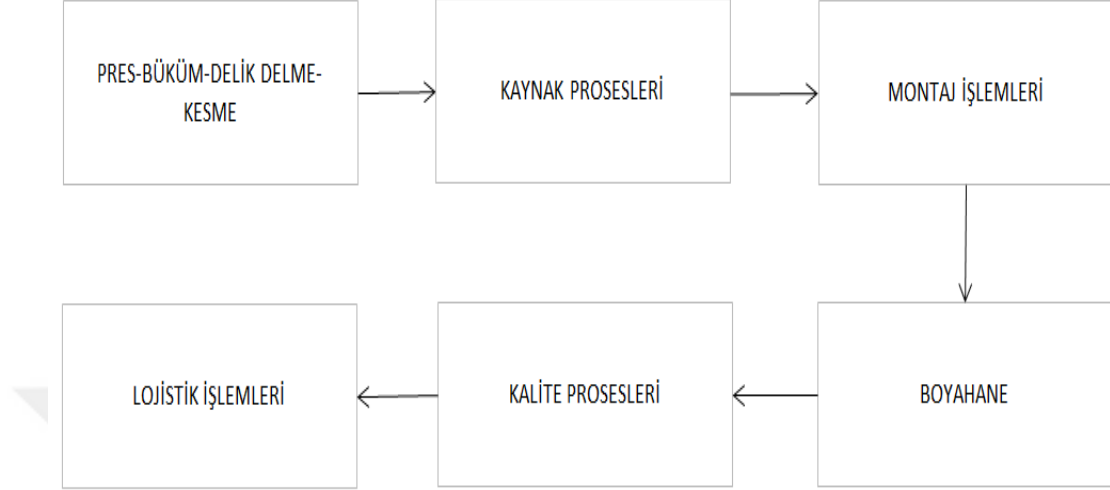
Montaj: Tüm parçaların birleştirildiği alan.

Boya: İstenilen şartlarda boyama işleminin yapıldığı alan.

Kalite kontrol: Araçla ilgili yapısal ve fonksiyonel son testlerin yapıldığı alan.

Lojistik: Parçaların tedarik edildiği, üretim proseslerin uygulanmasını sağlayan alan.

Şekil 1.24'te otomotiv üretim süreçleri gösterilmiştir.



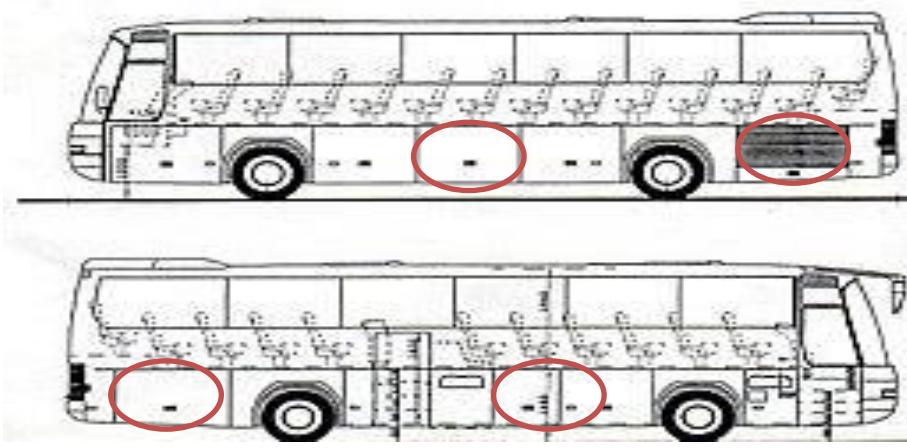
Şekil 1.24 : Otobüs üretim prosesleri.

Otobüs üretimi bazı hatlarıyla otomobilden farklıdır. Otomobil üretim hatları tümüyle ayrı alanlarda yapılırken; otobüs üretimi aynı yerde olabilir. Bunun sebebi otobüs üretim sayılarının çok fazla olmaması ve özel üretimin ön planda olmasıdır. Bir otomobil yaklaşık otuz bin parçadan oluşurken otobüs bu sayının yarısı ile imal edilebilir.

1.10 Otobüs ve Kapak İskelet Yapısı ve Üretim Süreçleri

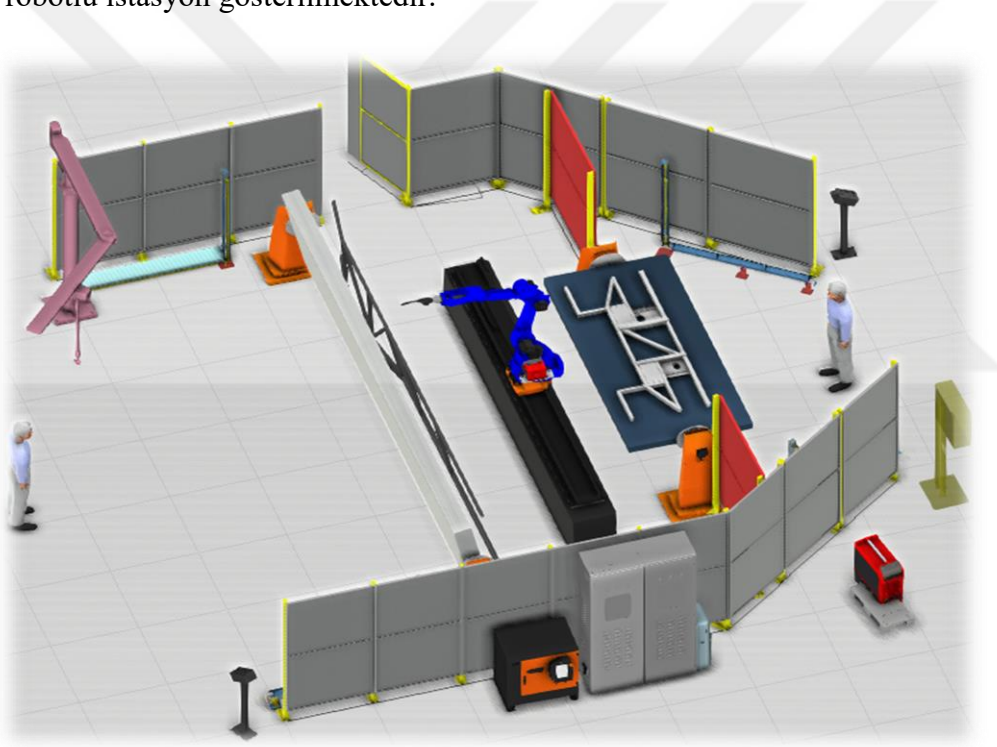
Otobüs gövde üretiminde temel olarak iki tip gövde yapısı bulunmaktadır. Bunlar karkas gövde yapısı ve monokok gövde yapısıdır. Karkas yapı bir şasi üzerine cıvata veya diğer bağlama elemanları kullanılarak bağlama işlemidir. Diğer yöntem monokok gövde yapısı ile üretimde ise çeşitli yapıda yardımcı profillerin birbirlerine kaynak işlemi ile bağlanmasıdır (Url-3).

Monokok gövde ile oluşturulan kafes diye tanımlayabileceğimiz yapı taşıyıcı sistemdir. Monokok yapı günümüzde modern araçlarda kullanılan iskelet ve gövde yapısının birleştirilerek yekpare olarak elde edildiği yapıdır. Otobüslerde kullanılan bu monokok yapı sisteminde taban, tavan, sağ, sol ön ve arka karkasların bulunduğu tüm direk ve profil yapıları birbirlerine kaynak ile bağlıdır (Polat, 2007). Şekil 1.25'te otobüs kapakları kırmızı halkalar içinde gösterilmiştir.



Şekil 1.25 : Bi-axial bir otobüste kapaklar.

Şekil 1.26’da bir otobüs fabrikasının kaynak atelyesindeki şaşı kaynağı için kurulmuş olan robotlu istasyon gösterilmektedir.



Şekil 1.26 : Bir şaşı kaynak hattı örneği.

1.10.1 Monokok gövde konstrüksiyonu

Otobüs gövdesindeki çeşitli yapıda yardımcı profiller birbirlerine kaynak işlemi (gaz altı-punta-lazer kaynak) ile bağlanmaktadır. Bu yöntemle üretilen kafes yapı, günümüzde modern araçlarda iskelet ve gövde yapısının üretiminde kullanılan ana yöntemdir.

Parçalar profil, sac, döküm malzemeler ve üretim yöntemi olarak da lazer, abkant vb. farklı imalat yöntemler kullanılmaktadır. Tolerans sistemi olarak genel olarak TS-EN-2768-m standardı kullanılmaktadır. Otobüs üretiminde toleranslar otomotiv üretim hatları kadar dar ve kısıtlayıcı değildir. Bunun sebebi de parçaların otomotiv endüstrisine göre çok daha büyük boyutlarda olması ve otobüs üretiminin otomotiv gibi seri üretime tabii olmamasıdır. Bunların sonucu olarakta otobüs üretim hatları daha yavaş gelişmekte ve otomotive göre üretim metodolojileri daha geç proseslere uygulanmaktadır. Parçaların büyük olması ve uygulanan işlemlerin zor olması da sebepler arasındadır. Otomotiv endüstrisinde yaşanan hızlı rekabet sonucu araçların hafiflemesi ve kullanılan malzemelerde arayış içinde olmaları maliyet ile alakalıdır otobüslerde ise kullanılan malzemeler otomobil kadar kolay değiştirilememektedir.

İşlem görecekt parçaların bir kısmı fabrikada dahili olarak üretilirken diğer bir kısmı ise satın alma parça olarak yan sanayiden temin edilmektedir. Parçalar profil, sac, döküm malzemeler olup parçaların üretiminde farklı üretim teknikleri kullanılmakta olduğundan (lazer kesim, döküm, punch, freze, büküm, CNC) toleranslar (genel olarak TS EN 2768-m) parça bazında farklılık göstermektedir. Takt süresi ve kaynak süreleri offline yazılımlarla kontrol edilir ve proses öncesi tanımlanır.

Kaynak, malzemeleri birbiri ile birleştirmek için kullanılan bir imalat yöntemidir. Genellikle metal veya termoplastik malzemeler üzerinde kullanılır. Otobüs gövde kaynak işleminde, parçalarının kaynak yapılacak kısmı eritilir ve bu kısma dolgu malzemesi eklenir, daha sonra ek yeri soğutulularak sertleşmesi sağlanır, bazı hallerde ısı ile birleştirme işlemi basınç altında yapılır. Yeni teknolojiyle birlikte CMT (sıcak-soğuk) kaynak işlemi bir sıcak bir kısmen daha az sıcak işlem uygulanarak parçaların deforme olması engellenir, daha kaliteli dayanımı daha yüksek kaynak çizgileri ve malzeme elde edilir.

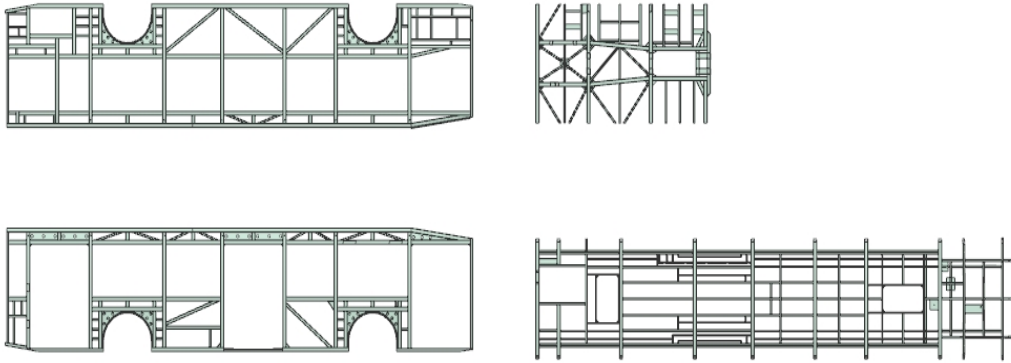
1.10.2 Monokok gövde avantajları

- Çarpma dirençleri yüksektir.
- Hafiftirler, bu durumdan dolayı hem yakıt tüketimi düşüktür hem de lastik deformasyonları daha azdır.
- Üretim maliyetleri daha azdır.
- Tasarımda esneklik sağlar.

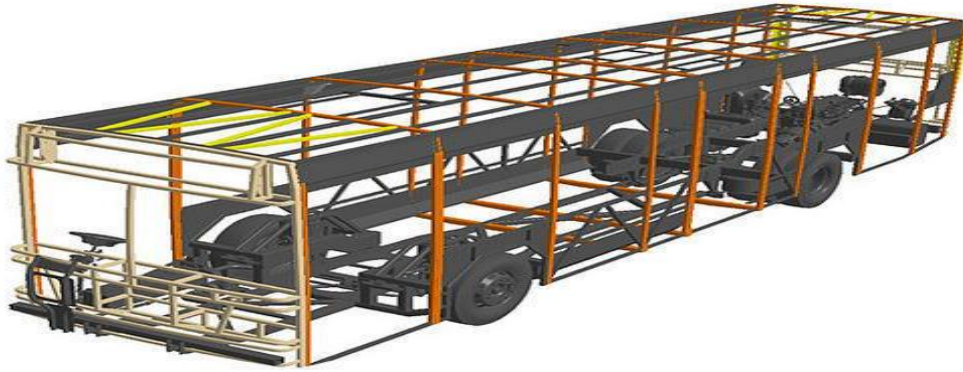
- Yoldan gelen uyarıların yolcu bölgesine iletilmemesini sağlamak (şasi gibi rijit bir yapı olmadığından esneklik sağlar).
- Toplam veya komponent bazında yaşam döngüsünü geliştirmek (gerilmelerin bir bölgede toplanmasını engeller, genele yayar).
- Geniş kullanım alanı.

1.10.3 Monokok gövde yapılarının dezavantajları

- Tamir edilebilmeleri şasili yapılara göre daha zordur. Metallerin kesilmesi gerekebilir. Şasili sistemlerde cıvatalı birleştirme yapıldığından bu uygulama daha kolaydır.
- Metallerin kalınlığı daha ince olduğundan paslanma problemi ortaya çıkabilir. Koruma için galvanizleme yapılmalıdır. Şekil 1.27-28'da monokok gövdeye ait örnekler gösterilmiştir.



Şekil 1.27 : Gövde metal yapısının görünümleri.



Şekil 1.28 : Gövde görünümü.

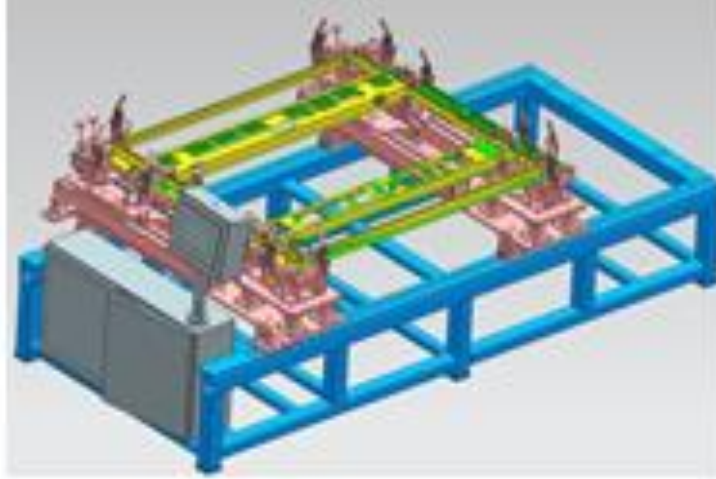
1.10.4 Kullanılan malzeme tipleri ve özellikleri

Karkas profilleri genellikle St 44-2, St 37, St 60 normundaki paslanmaz çelikten, şasi ise Fe E 420 çelikten imal edilebilmektedir. Kapak üretimi ve kapak iskelet üretimi genellikle Alüminyum malzemedendir yapılmaktadır. Alüminyum kaynağında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Kaynak yapılan bölge ergidiğinde O₂ ile birleşme sonucu Al₂O₃ tabakası oluşur ve istenmeyene parçanın dayanımını, sertliğinin etkileyen bir durumdur çünkü oksit tabakasının ergime sıcaklığı alüminyumdan çok daha yüksektir, bunu aşmak için daha düşük sıcaklıklarda ve dikkatli kaynak yapılmalıdır ve içerisinde O₂ ve CO₂ bulunan koruyucu gazlar kullanılmamalıdır, kaynak öncesi ön-tavlama yapılabilir. Alüminyum malzemeler için lazer kaynak daha iyi sonuç vermektedir fakat lazer kaynağın çok pahalı olması dezavantajdır. Ayrıca dökme demir kullanılan bazı boru profiller de otobüs imalatında kullanılmaktadır.

1.10.5 Otobüs kapak yapısı ve üretim süreçleri

Şehirlerarası ve şehir içinde kullanılmak üzere üretilen farklı tiplerdeki otobüslerin gövde boyları farklılık gösterdiği için kapak paneli ve iskeletinin boyutları da farklıdır. Bir otobüste farklı tiplerde kapak bulunmaktadır bunlar: bagaj, bakım, depo vb. olabilirler. Otobüs tipine göre ihtiyaç ve kullanım özelliklerine göre otobüs üzerine monte edilen kapak sayısı farklılık gösterir.

Kapak panel malzemesi olarak alüminyum kullanılmaktadır bu araçlarda çeliğe göre bir hafifleme ve maliyet olarak iyileştirme getirmektedir. Kapak iskeleti olarak alüminyum profiller kullanılmaktadır ve bunlar gazlatı ya da lazer kaynak yöntemleriyle birleştirilmektedir. Burada Al kaynağında baslıca sorun olan Al₂O₃ (alumina) oluşumuna dikkat edilmesi gerekmektedir, TIG kaynağı ile kaynatılması sonucu sorun ortadan kalkar ama maliyetler artar. Lazer kaynak Al malzemelerde daha iyi sonuç vermektedir fakat; pahalı bir işlem olması ve optiklerinin kaynak gazlarından etkilenmesi dezavantajları arasındadır. Yapıştırma işlemi yapılacak iskelet ve dış panele iki yönlü de mastik uygulaması yapılabilir, konsept olarak yapıştırma şekilleri aşağıda gösterildiği gibidir. Üstüste yapıştırma veya kapak iskeletinin Al kapak profiline geçirilmesi ile yapıştırma şeklindedir. Şekil 1.29'da kapak- iskelet kaynağı fikstürü verilmiştir.



Şekil 1.29 : Kapak iskelet kaynağı için fikstür, fikstür grubu kamera tanıma ve RFID okuyucu sistemleri.

1.11 Üretim prosesi

Kapağın iskelet kısmını oluşturan parçaların kaynatılması ve punta kaynağı yapılması ile otobüslerin boyutlarına ve kullanılacak iskelete uygun şekilde kesilen ve bükülen alüminyum saç dikdörtgen profillerin mastik uygulaması ile birbiriyle evlendirilip fikstür üzerinde sıkma işlemi yapılır ve bu halde kürlenme fırınlarında belirli bir derecedede bir süre ısıtılarak yapıştırılması şeklindedir. Isıtılma işlemi indüksiyon makinaları veya fırınları aracılığıyla yapılabilir burdaki ana kısıt üretim kapasiteleridir.

Üretim istasyonu, örnek olarak aşağıdaki bileşenlerden oluşur.

Robot, pompa,dozajlama ünitesi, kamera sistemi, barkod okuyucu ve RFID, gripper(tutucu), kapak, iskelet, iskelet-kapak montajı, tool changer, fikstür, kürlendirme fırını veya indüksiyon makinası, konveyör ,güvenlik ekipmanları.

1.12 Otobüs ve Kapak İmalatında Yönetmelik ve Zorunluluklar

Normal bir üretim hattındaki tüm yönetmelikler ve zorunluluklar otobüs imalatında ve kapak üretimi için de geçerlidir.

Kapaklar üzerine uygulanan yapıştırıcı hacmi, araç yüksekliği ve araç uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Ortalama uzunluk ve yüksekliğe sahip bir arac kapakları üzerinde yapılan denemelerde, kapaklara uygulanan yapıştırıcı hacimleri aşağıda yer almaktadır.

Alüminyum saçların kaynağı ve yapıştırma işlemleri için kurulacak yapılar ve kullanılacak makinalar için aşağıdaki tablodaki yönetmeliklere uyulması gerekmektedir.

Bir otomasyon sistemi ya da robotlu bir sistem kurarken uluslararası standartlara, firmaların standartlarına ve yasal zorunluluklara uyma zorunluluğu vardır. Bu konudaki yönetmelik ve zorunluluklar Çizelge 1.2'deki gibidir.

Çizelge 1.2 : Yönetmeikler

Yönetmelik, Zorunluluk	Açıklama
DIN EN 349	Makinelerin güvenliği – Uzun sıkışmasının önlenmesi için asgari mesafeler
Yönetmelik 2006/42/EG	Makine yönetmeliği [Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, amending Directive 95/16/EC]
Yönetmelik 2006/95/EG	Alçak gerilim yönetmeliği
DIN EN ISO 7731	Ergonomi – Açık alanlar ve iş yerleri için tehlike sinyali – İşitsel tehlike sinyalleri
DIN EN ISO 14122	Makinelerin güvenliği – Sabit erişim noktaları
DIN 18065	Merdivenlere, korkuluklara ve kenarlıklara ilişkin norm
DIN EN 60204 (VDE 0113)	Makinelerin güvenliği – Makinelerin elektrik ekipmanları
DIN EN 60439	Alçak gerilim anahtarlama ve kontrol düzenleri
DIN 18800	Çelik yapılar

DIN EN 1998	Yapıların depreme karşı düzenlenmesi
6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanunu	Güvenlik ekipmanları, ses, yangın ve deprem ile ilgili hususlar
Yönetmelik 2007/12937	Binaların yangından korunması

1.13 Triz (Teoriya Resheniya Izobreatatelskik Zadatch)

TRIZ, Rusça “Yaratıcı Problem Çözme Teorisi” anlamına gelen “Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch (Теория Решения Изобретательских Задач) kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Kısaltması TIPS olan Theory of Inventive Problems Solving da kullanılmaktadır. Yöntem, Sovyetler Birliği Patent Ofisi’nde çalışan Genrich Saulovich Altshuller tarafından 1946 yılında bulunmuştur. 2.000.000’un üzerinde patentin incelenmesi ve benzer özelliklerine göre gruplandırılması ile geliştirilmiştir (Beklen, 2013).

Triz problem çözüme yol gösterici bir metodolojidir. Diğer problem çözüme yöntemleri gibi Triz’inde endüstride ve bilimsel çalışmalarda bir çok örneği vardır.

Triz metodolojisi, karar verme aracı değildir ve ortaya çıkan problemler için ayrıntılı ve teknik çözümler yaratan bir yöntem değildir. Yalnızca durumun, geçmişte varolan sorunlar sonucu ortaya çıkan deneyimlerin bir kombinasyonu olduğu varsayımından yola çıkan ve karar verici için yol gösteren bir yöntemdir.

1.13.1 Sorunlar, Çelişkiler ve Çözüm

Mühendislik biliminde her an binlerce sorun ortaya çıkar ve bu sorunlara çözüm bulunur. Bu sorunlar incelendiğinde tamamına yakınının önceden üzerinde çalışıldığı ve kullanıldığı anlaşılabilir. Bu kapsamı Altshuller yaratıcılık ölçütünde Çizelge 1.3’deki gibi tablolştürmüştür (Duran, 2011).

Çizelge 1.3 : Altshulter'in yaratıcılık ölçütü.

Seviye	1	2	3	4	5
Yaratıcılık Derecesi	Bilinen Çözüm	Küçük Yenilikler	Büyük Yenilikler	Yeni Kavram	Buluş
Yüzdesi	32%	45%	18%	4%	1%
Bilgi Kaynağı	Kişisel	Kurum İçi	Sektör İçi	Sektör Dışı	Tümü

Karar verici her an yaşadığı, karşılaştığı ve bilinç altında normal olarak görmeye başladığı sorunların sebep olduğu sanal körlük olarak değerlendirilebilecek algılama hatası içinde bulunabileceği için gerçek çözüme ulaşmak çok kolay olmamaktadır. Aslında çoğunlukla çözüm çok basittir ve Altshuller' in bulgularına uyumlu olarak karar vericinin çok yakınındadır (Yaralıoğlu, 2002).

Triz metodolojisi, dört parametreye temellendirilmiştir (Mann, 2003):

1. Çelişkiler,
2. İdeallik,
3. Fonksiyonellik,
4. Kaynakların Kullanımı.

Triz, sorunların tamamına yakını birbirini tekrar eder, ve tanımlıdır temel öngörüsü üzerine yapılandırılmıştır. Sorunlar kendi içlerinde yeni problemler doğururlar ve bu da çelişkileri oluşturur. Yaratıcılık temeli de bu çelişkilere dayanır. Triz metodolojisinin ana hedefi idealliktir. İdeallik, çözümün faydalı çıktılarının zararlı çıktılara oranı olarak ifade edilir (Stratton, 2003).

Başka bir ifade ile ideal çözüm, çelişkilerden bütün yönleriyle düşünülerek soyutlandırılmalıdır. Fonksiyonel olması istenen ideal çözüm, etkin kaynak kullanımı ile ortaya konmalıdır.

Altshuller bu parametreler ışığında Triz yöntemini dört aşamalı olarak ifade etmiştir:

1. Sorunun belirlenmesi
2. Sorunun genel Triz sorunları ile değerlendirilmesi

3. Sorun grubunu karşılayan Triz çözümünün bulunması
4. Problemlere yönelik ideal çözümün geliştirilmesi

Triz metodolojisinde problemler, hemen hemen 3 milyon patent değerlendirilerek gruplandırılmış, genel ifadeler verilmiş ve 39 adede indirgenmiştir. Mühendislik parametreleri adı verilen bu sorunlar Çizelge 1.4' de gösterilmiştir.

Çizelge 1.4 : Mühendislik parametreleri.

No		No	
01	Hareketli Cismin Ağırlığı	21	Güç
02	Hareketsiz Cismin Ağırlığı	22	Enerji Kaybı
03	Hareketli Cismin Uzunluğu	23	Madde Kaybı
04	Hareketsiz Cismin Uzunluğu	24	Bilgi Kaybı
05	Hareketli Cismin Alanı	25	Zaman Kaybı
06	Hareketsiz Cismin Alanı	26	Madde Miktarı
07	Hareketli Cismin Hacmi	27	Güvenilirlik
08	Hareketsiz Cismin Hacmi	28	Ölçüm Güvenilirliği
09	Hız	29	İmalat Güvenilirliği
10	Kuvvet	30	Cisme Zarar Verici Faktörler
11	Gerilme / Basınç	31	Zarar Verici Yan Etkiler
12	Şekil	32	İmalat Kolaylığı
13	Cismin Değişmezliği	33	Kullanım Kolaylığı
14	Mukavemet	34	Onarım Kolaylığı
15	Hareketli Cismin Dayanımı	35	Adapte Edilebilirlik
16	Hareketsiz Cismin Dayanımı	36	Cihaz Karmaşıklığı
17	Isı	37	Kontrol Karmaşıklığı
18	Parlaklık	38	Otomasyon Düzeyi
19	Hareketli Cismin Harcadığı Enerji	39	Verimlilik
20	Hareketsiz Cismin Harcadığı Enerji		

TRIZ yönteminde bahsi geçen 39 Mühendislik Parametresi, matris formatında düzenlenmiş ve 39 x 39 boyutunda çelişkiler matrisi adı verilen bir kare matris elde edilmiştir. Matrisin Y-ekseninde ve X-ekseninde mühendislik parametreleri yer alır. Burada satırlar aksiyon sorunları, sütunlar ise reaksiyon sorunları simgeler.

Karar vermek adına öncelikle matris kullanılarak asıl sorun belirlenmeli ve bu sorun Triz' in aksiyon sorunlara uyarlanmalıdır. Aksiyon sorun belirlendikten sonra, sorunu

yok etmek adına çalışmalar yapılır. Çalışma herhangi bir karşı koyma ile karşılaşmıyorsa ideal çözümdür. Fakat normal koşullarda sorun kolay ve daha önce görülen tipte değilse, Triz’ in sorunlar kendi sorunlarını yaratır felsefesi gereği en az bir reaksiyon sorunun ortaya çıkması olağan bir durumdur.

Bu aşamada karar verici yine çelişkiler matrisini kullanarak sütunlarda yer alan reaksiyon sorunlarla kendi çözüm sürecinde ortaya çıkan sorunu karşılaştırır ve satır sütun eşlemesini yapar. Çelişkiler matrisinin satır sütun eşlemesinden elde edilen hücre, Triz yönteminde ideal çözüm hücresidir (Mazur, 2001).Yaratıcı prensipler Çizelge 1.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 1.5 : Yaratıcı prensipler.

No		No	
01	Bölümleme	21	Hızlı Hareket
02	Ayırma	22	Zararı Faydaya Çevirme
03	Kısmi Kalite	23	Geribesleme
04	Asimetri	24	Aracılık
05	Kombinasyon	25	Self – Servis
06	Evrensellik	26	Kopyalama
07	Yuvalama	27	Ucuz ve Kısa Ömürlü Cisimler Kullanma
08	Karşı Ağırlık	28	Mekanik Sistemin Yerine Koyma
09	Öncü Karşıt Eylem	29	Pnömatik ve Hidrolik Yapılar Kullanma
10	Öncü Eylem	30	İnce Film ya da Zar
11	Öncü Önlem	31	Gözenekli Malzeme
12	Eşit Potansiyel	32	Renk Değiştirme
13	Ters Eylem	33	Homojenlik
14	Yuvarlama	34	Atılan ya da Değiştirilen Parçalar
15	Dinamiklik	35	Fiziksel ya da Kimyasal Durum Değişikliği
16	Kısmi Fazlalık	36	Faz dönüşümü
17	Yeniden Boyutlama	37	Isıl Genleşme
18	Mekanik Titreşim	38	Güçlü Okside Ediciler Kullanma
19	Periyodik Eylem	39	Durağan Cevre
20	Yararlı Bir Eylemin Sürekliliği	40	Kompozit Malzeme

Sonuçta 39x39 boyutundaki çelişkiler matrisinde yaklaşık 1.600 hücre ve yaklaşık 6.500 ideal Triz çözümü yer almaktadır.

Çelişkiler matrisinin sol üst köşegeni üzerinde yer alan hücrelerde çözüm yer almamaktadır. Bunun sebebi, aynı sorunlara sahip satır ve sütun olmalarıdır. Çelişkiler matrisine dikkatli bakıldığında köşegen üzerinde yer almayan bazı hücrelerde de ideal Triz çözümünün bulunmadığı görülebilir. Bunun sebebi ise gerek Triz yönteminin gerek mühendislik bilimindeki genel mantık içinde, bu sorunların eşleştirilemeyen sorunlar olmasıdır.

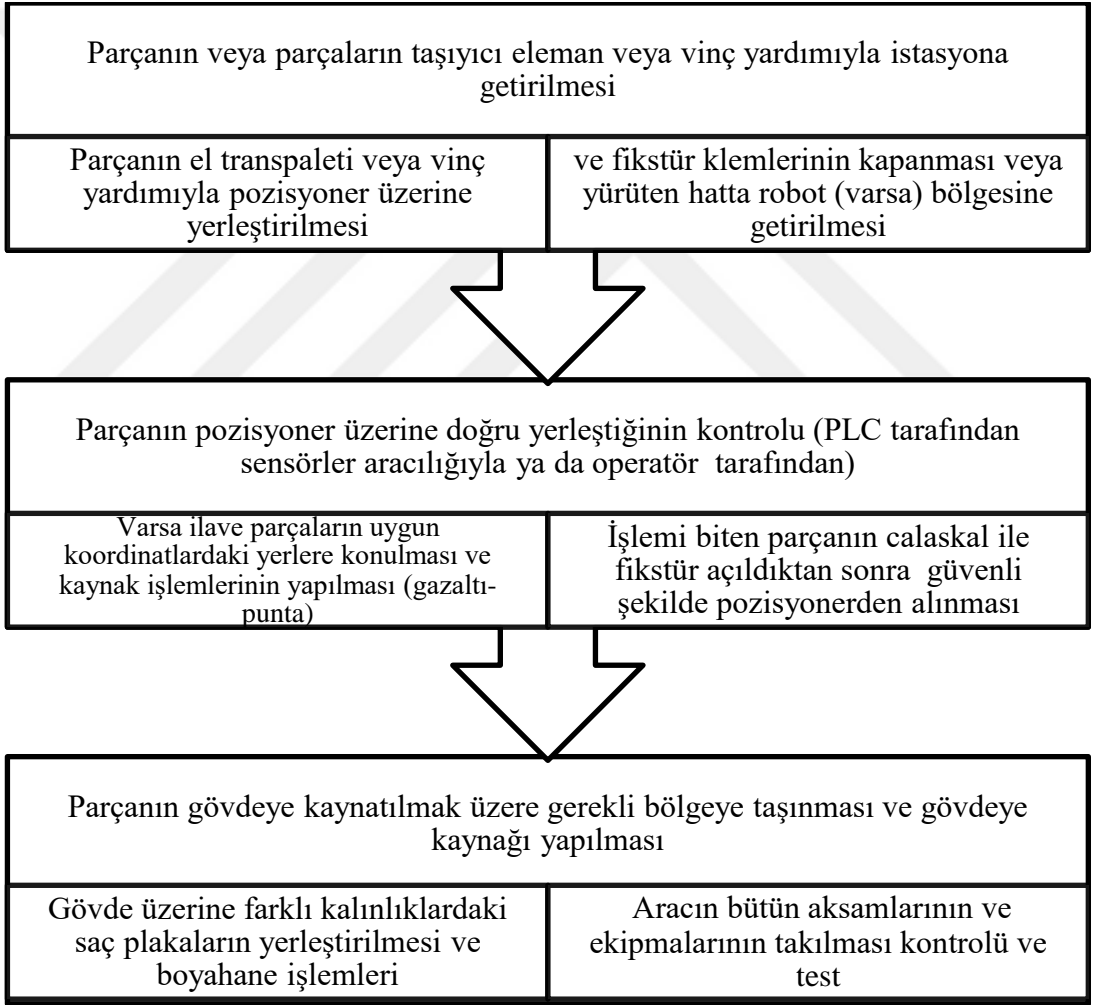


2. METODOLOJİ ve YÖNTEM

2.1 Otobüs ve Kapak İmalatında Varolan Süreç

Otobüs imalatı, talebin daha az olması, parçaların büyük olması ve üretimin zor olması gibi sebeplerden ötürü binek araçlardan farklı olarak daha yavaş olmaktadır. Parçaların büyük olması toleransların binek araçlara göre daha geniş kalmasına sebep vermiştir ve hem üretimin görece az olması hem de geniş toleranslarda çalışılması otobüs üreten firmaların üretim hatları daha yavaş yenilenmekte ve gelişmektedir. Otobüs imalatındaki prosesler genel hatlarıyla Çizelge 2.1’de verildiği gibidir.

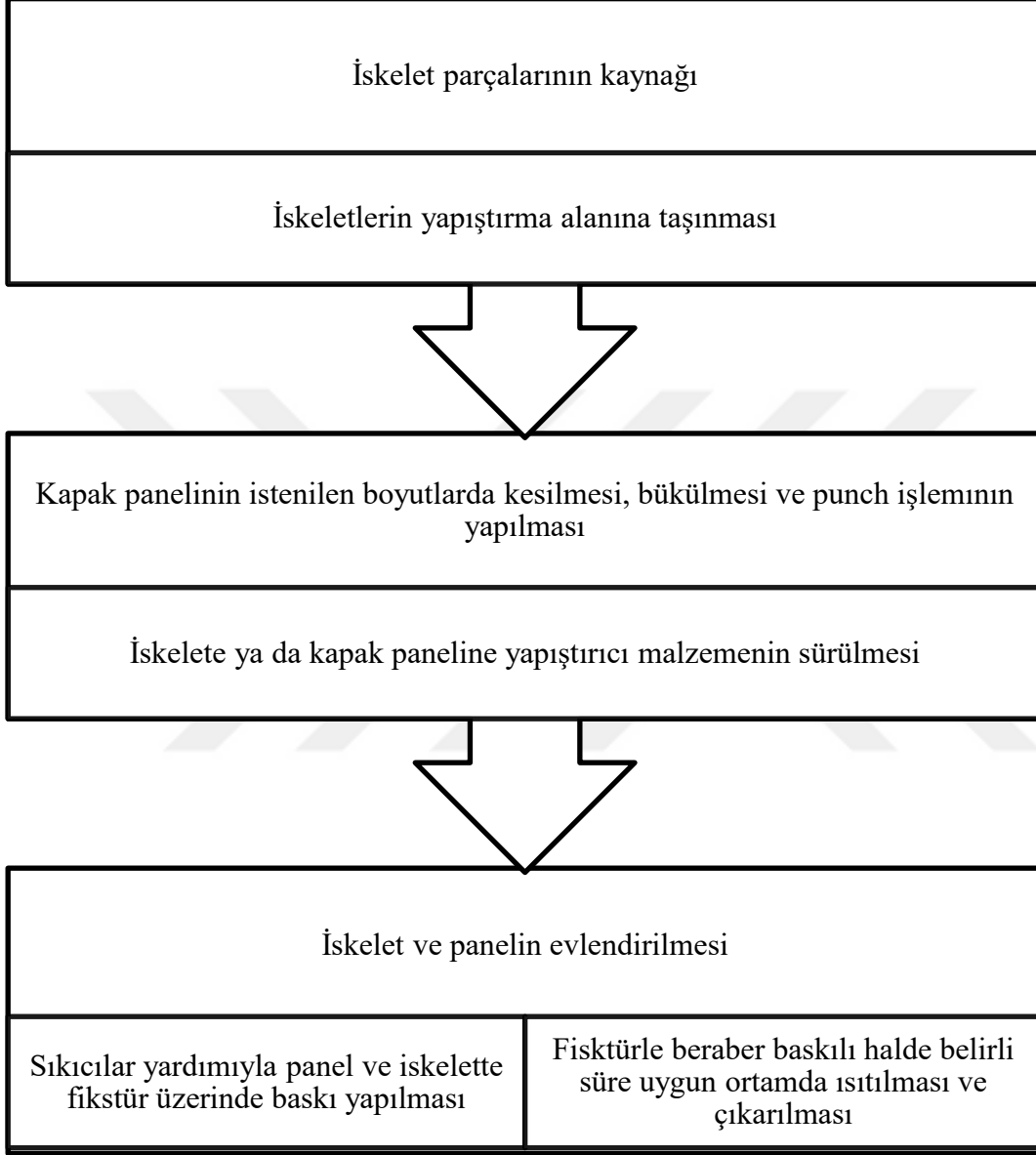
Çizelge 2.1 : Otobüs imalat süreci.



Otobüs kapakları (bakım, bagaj, aks üstü vb.) gerek depolama gerek otobüs bakım için kullanılan genellikle kapak üzerindeki tutacaktaki tırnakla açılan ve otobüs iskeletine menteşe veya farklı bağlantı elemanlarıyla bağlanan bir mukavemeti sağlayan iç

iskelet ve üzerinde kapağı tutma ve açma kolu bulunan bir saç plakadan oluşur. Otobüs kapak imalatındaki genel süreç Çizelge 2.2'deki gibidir.

Çizelge 2.2 : Otobüs kapak üretim süreci.



2.2 Robotik Otomasyonla Otobüs Kapak Üretim Süreci

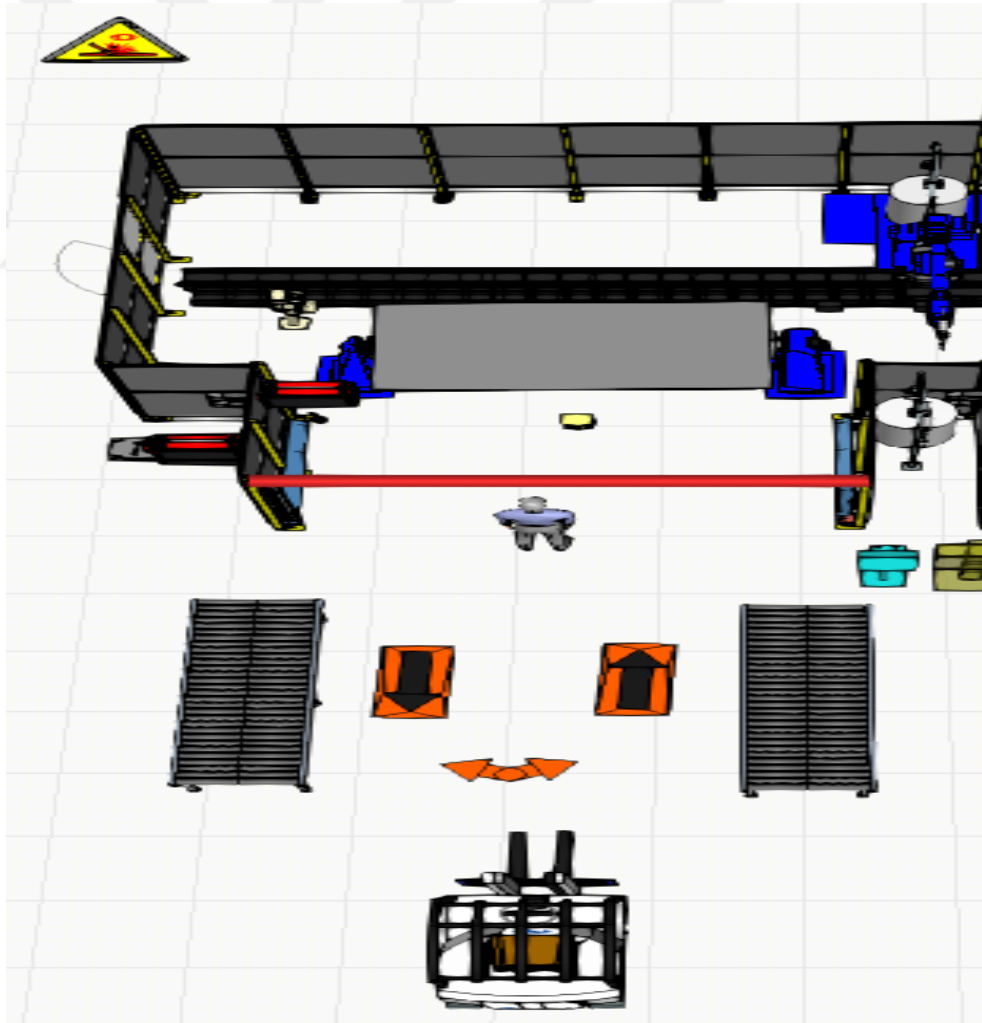
Geleneksel yöntemlerle üretilen bir otobüsün ve otobüs kapağının hem çevrim zamanı (cycle time) uzun olur hem de müşteriye ulaşma zamanı (lead time) uzundur bu üretim hatlarının kapasiteleri düşük ve teknolojik imkanları kısıtlı olduğu için hat

dengelemesi yapmak ve çalışanları ergonomik ve eşit şartlarda çalıştırmak zordur. Bu bölümde otobüs kapak hattı üretim süreci robotik otomasyonlu olarak anlatılacaktır.

2.2.1 İskelet Kaynak Operasyonu

İlk olarak uygun taşıma kapasitesi ve erişimde olan kaynak robotu (kütle atalet momentine göre) ve ekipmanlar seçildi, hat simülasyon çalışmaları yapıldı, istasyonda yapılan işlemler aşağıda anlatıldığı gibidir.

- barkod sistemi yardımıyla birbiriyle eşleştirilen, iskelet yapısını oluşturan profiller fikstüre yerleştirilir ve klempler kapanır,
- sonraki aşamada yazılan offline programa uygun şekilde ve zamanda istenilen bölgelere robot tarafından kaynak yapılır,
- kaynak işlemi biten parça tanımlanır ve fikstürden alınarak bir sonraki işlem için gideceği istasyona doğru sehpa konur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : İskelet kaynak hattı.

2.2.2 İskelet ve Saç Yapıştırma Prosesi

İskeletleri, panelleri ve flanşın ya da ekipman değıştiricinin (tool changer – quick kaplin) ucuna takılan gripperı (robot eli) taşıyabilecek uygun robot ekipman seçimi yapıldı, robot erişimi simülasyonda kontrol edildi ve birleştirme prosesi aşağıda anlatıldığı gibi planlandı.

Otobüs tipine göre kaynak hattında birleştirilen saç profiller iskelet haline geldikten sonra sehpalara yüklenir. Barkod okuma ya da RFID sistemi aracılığı ile doğru eşleşmeler yapılır ve PLC aracılığı ile kontrol edilir.

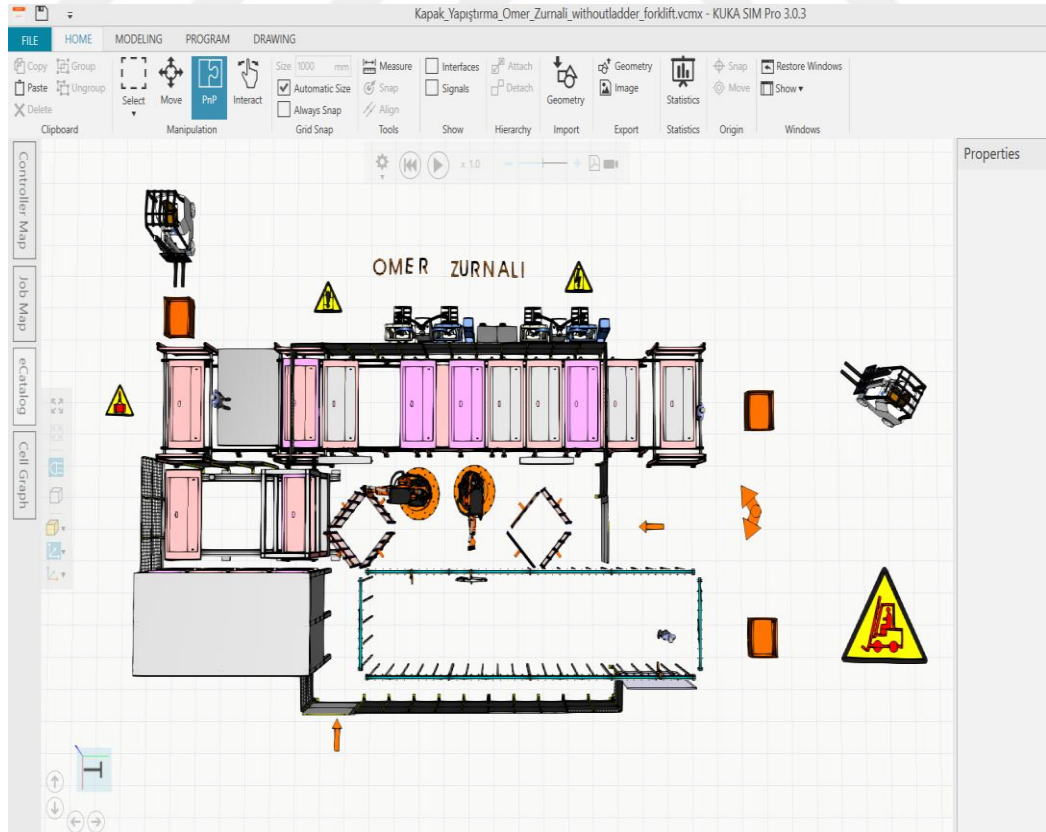
Otobüs tipine göre kesilen ve punch işlemleri yapılan saçlar da sehpalara istiflenir ve foklifler yardımıyla kapak iskelet yapıştırma hattına getirilir. Kapak yapıştırma hattının iskelet yükleme alanına iskeletler operator tarafından yüklenmeden önce bir solüsyonla temizleme uygulaması yapılır ve diğer operatörün iskeleti free and power konveyöre yüklerken siyah ışık odasında (black light source) kontrolü yapılır.



Şekil 2.2 : Free and power konveyör ve tool stand figurative görünüm.

Konveyöre tutucular sayesinde bağlanan iskelet robotlara doğru hareket ederken barkod okuyucu tarafından hangi iskeletin geldiği bilgisi verilerek doğru saç- iskelet eşlestirmesi yapılması sağlanır. Bu sayede robotlar PLC'den aldıkları talimatla tool standından tool changer yardımıyla doğru gripperı (tutucuyu) alır. Stopperler

sayesinde robot önünde birikme olmaz ve belirlenen çevrim zamanında robot işini bitirirken diğer iskelet gelir. Uygun tutucuyu flanşına takan robot iskeleti konveyörden alır ve yapıştırıcı maddenin uygulanması için dozajlama ve pompa sistemine götürür, burada yazılıma uygun koordinatlarda parçaya uygun şekilde pozisyonlama yapar ve bu sırada PLC tarafından kontrol edilen ve eşleştirmeleri yapılan işlemler için yapışkan maddenin sürülmesi komutu verilir. Diğer taraftan kaynak hattından gelmiş olan ve operatörün sehpadan alıp arabalı konveyöre yüklediği sac da siyah ışık odasında kontrol edildikten sonra yapışkan maddenin sürüm işlemi biterken robot önünde pozisyonlanır ve robot iskeleti sacın üzerine pozisyonlayıp belirli bir süre bekler, aynı işlemi diğer sac ve iskeletlere gerçekleştirmek için döndüğünde birleşmiş olan kapak arabalı konveyörde ilerler ve kürlenme fırını konveyörü ile kürlenme fırınına girer. Kürlenme fırını içindeki PLC'ye bağlı kren mekanizması tarafından boş olan rafa yerleştirilir ve belirli bir sıcaklıkta belirli bir süre orada kaldıktan sonra tekrar kren yardımıyla dışarı çıkarılır ve dışarda bekleyen operator kapağı alır manurail sistemine takar. Bu arada konveyörün üzerindeki plaka lift yardımıyla aşağı iner ve ilk konumuna geri döndüğünde tekrar lift yardımıyla yukarı çıkıp diğer sacı alır, döngü devam eder. Sonraki aşamada kapak gövdeye montaja hazırdır.



Şekil 2.3 : Sistemin son halinin figurative yerleşimi.

2.2.3 Sistem tanımı

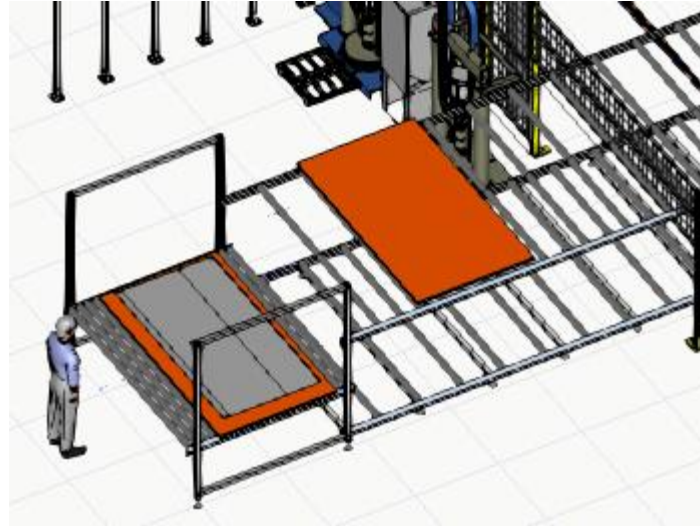
2.2.3.1 Sistemdeki iş adımları

- Kapaklara ait iskelet ve paneller, taşıma arabalarıyla operatör bölgesine getirilir. (forklift, milk-run ya da agv kullanarak)
- İskeletler, operatör vasıtasıyla temizleme masalarına yüklenir. (hedef : taşıma robotuyla temizleme masasına almak)
- Temizleme uygulaması temizleme masasının üzerinde operatör tarafından yapılır.
- İskeletler, yapıştırıcı uygulamak üzere gripper (askılı konveyör) bölgesine operatör tarafından taşınır ve gripper'a yüklenir. (hedef : taşıma robotunun iç iskeletleri gripper bölgesine taşınması ve gripper'a yüklemesi)
- Paneller operatör vasıtasıyla arabalı panel konveyörüne yüklenir. (hedef : panellerin robotlar vasıtasıyla konveyöre yüklenmesi)
- Primer (temizleme) uygulaması konveyör üzerinde operatör tarafından yapılır.
- Paneller, birleştirilmek üzere araba sabitleme fikstürüne taşınır.
- İskelet yüklenmiş gripper robot vasıtasıyla askılı konveyör üzerinden alınır.
- Yapıştırıcı, sabit dozaj ünitesinde pompa yardımı ile robotik olarak uygulanır.
- Birleştirme, arabalı konveyörde, araba sabitleme ve geometri fikstürü üzerinde robot tarafından yapılır.
- Birleştirilmiş, kurlenmiş kapakların operatör tarafından manüplatör vasıtası ile çıkış masasına taşınır ve yüklenir.

2.2.3.2 Operatör iş adımları

- Operatörün iç iskeletleri operatör panelinde gösterilecek numara sıralamasıyla yükleyeceği, böylece hatalı panel-iskelet eşleştirilmesi ihtimali engellenir.
- Operatör sıradaki iskeletin üzerine barkod yapıştırır ve sisteme gönderilecek parçanın bilgisini verir.
- Taşıma arabasından iskeleti alır.
- İskeleti, temizleme masasına yükler.

- İskelet üzerine manuel olarak primer uygulamasını yapar.
- Primer uygulanmış iskelet aktivasyon süresini tamamladıktan sonra, gripper (askılı konveyör) bölgesine operatör tarafından taşınır ve gripper'a yüklenir.
- Paneller operatör panelinde gösterilecek numara sıralamasıyla yüklenir, böylece hatalı panel-iskelet eşleştirilmesi ihtimalinin engellenir.
- Operatör sıradaki panelin üzerine barkod yapıştırır ve sisteme gönderilecek parçanın bilgisini verir.
- Taşıma arabasından paneli alır,
- Panel arabalı konveyöründe, boş araba içine yükler.
- Araba içinde referans takozları ile sabitler.
- Panel üzerine manuel olarak primer uygulamasını yapar.
- Primer uygulanmış panel, araba ile birlikte, birleştirme bölgesi arabalı sabitleme fikstürü üzerine taşınır.
- Panelin birleştirme bölgesinde sabitlenmesi gerekli görülürse, sabitleme fikstürü üzerindeki vakum pedler yardımıyla geometrisi sağlanır ve birleştirilmeye hazır hale gelir.

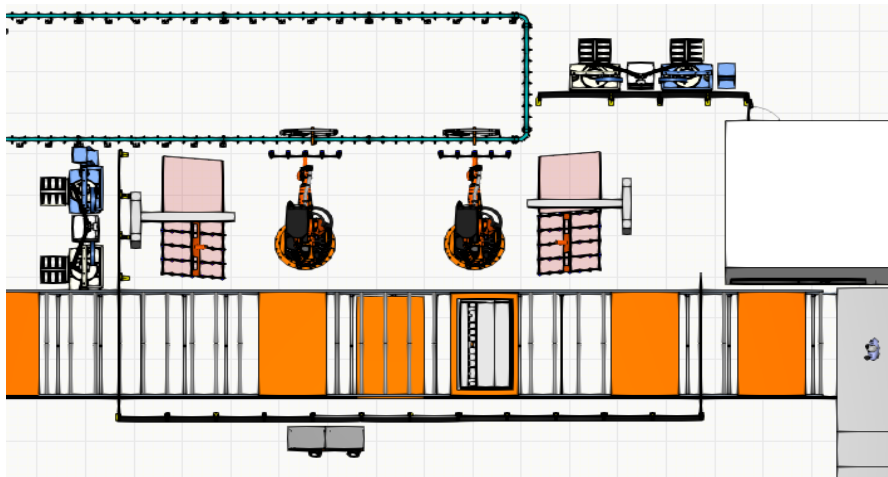


Şekil 2.4 : Panellerin yerleştirilmesi.

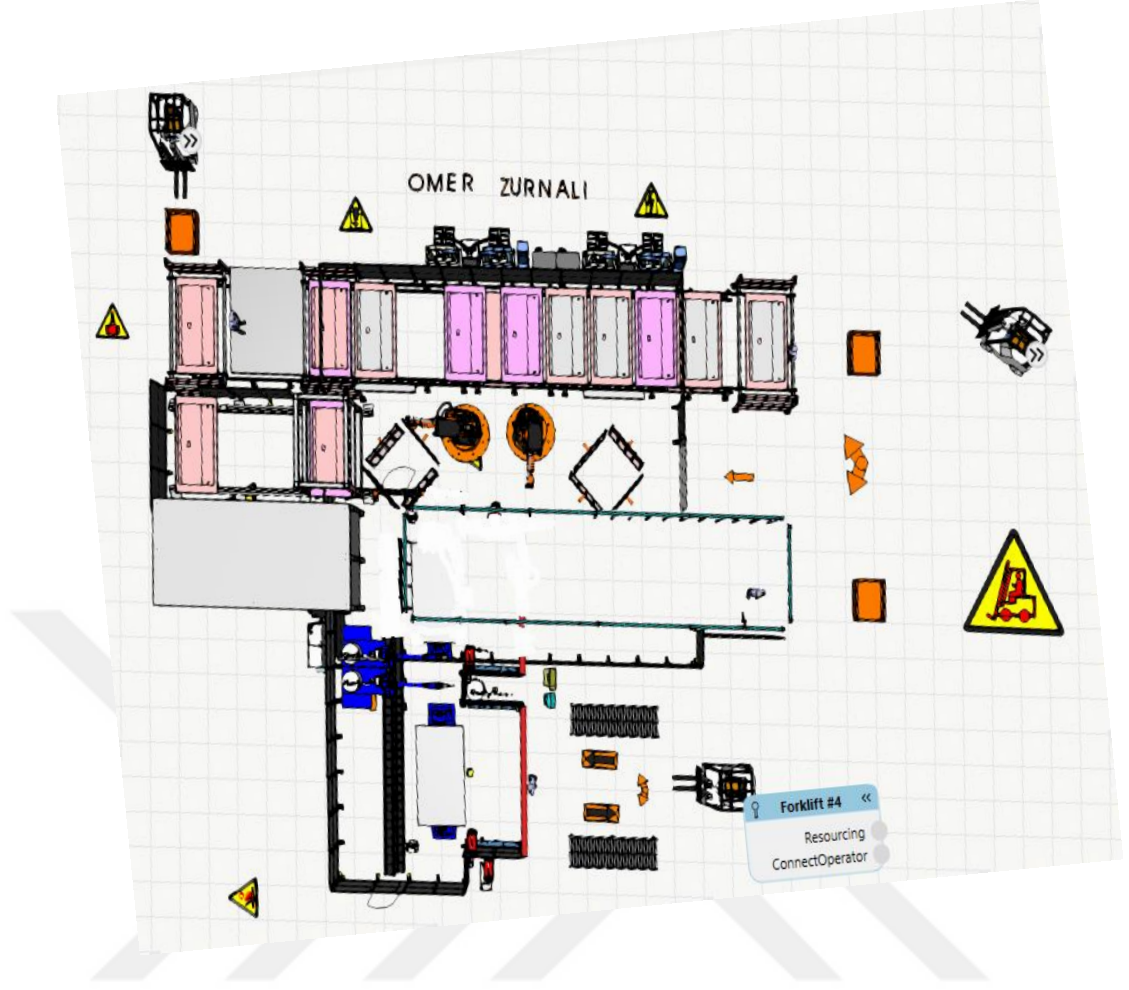
2.2.3.3 Robot iş adımları

- Robot gripper ile iskeleti alır.
- Sabit dozaj ünitesinde yapıştırıcı sürme işlemini uygular.

- Birleştirme bölgesine gelir.
- Araba sabitleme fiksturleri üzerinde geometrisi sağlanmış panel ile iskeleti birleştirir.
- Birleştirilmiş kapak çifti konveyör üzerinde araba ile kürlenme istasyonu önündeki operatör bölgesine taşır.
- Birleştirmesi yapılmış iskelet ve panel, konveyör üzerinde araba ile birlikte operatör bölgesine alınır.
- Operatör birleştirilmiş kapak çifti üzerine manuel olarak ağırlık masterlarını yükler.
- Birleştirilmiş ve ağırlıkları yüklenmiş kapak çifti araba üzerinden kaldırılmadan, konveyör üzerinden lift mekanizması vasıtasıyla kürlenme istasyonuna alınır.
- Kürlenme prosesi tamamlanmış kapak çıkış bölgesine gelir ve operatör master ağırlıkları kapak üzerinden alır.
- Manipülatör yardımı ile araba içinden kapağı alır, çıkış masasına taşır.
- Boş panel arabası, lift ile geri dönüş konveyörüne geçerek hattın başına gönderilir.
- Kaynak ve birleştirme proseslerinin eş zamanlı çalışması ve yanyana olması yarı mamül stok tutma ve depolama işlemlerini ortadan kaldırıp üretimi hızlandırmaya yardım etmektedir.



Şekil 2.5 : Birleştirme prosesi üstten görünüm.

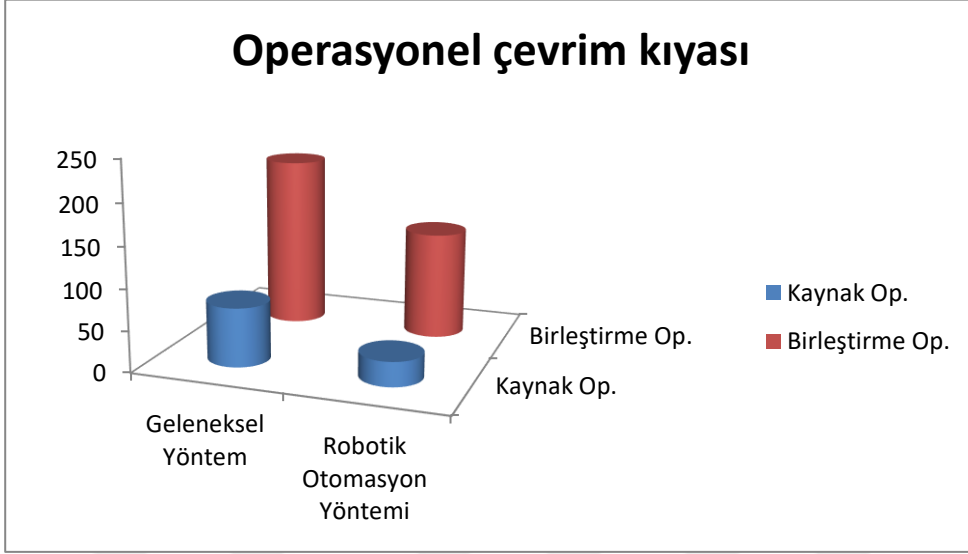


Şekil 2.6 : Kaynak ve birleştirme proseslerinin son hali

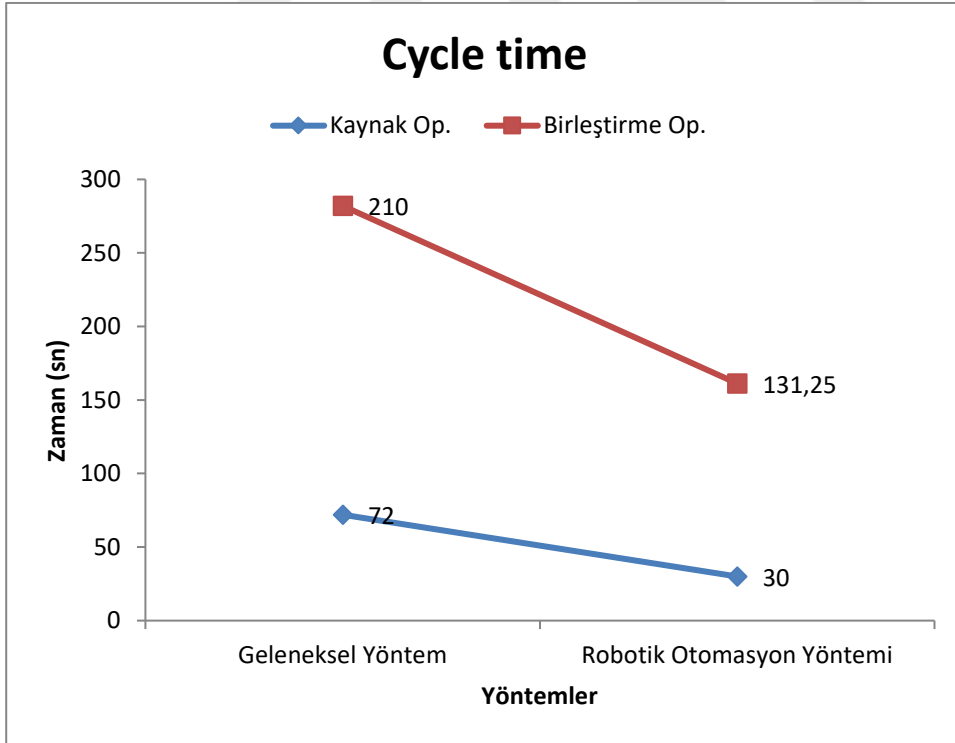
2.3 Otobüs Kapak Üretim Süreçlerinin Yalın Üretim Açısından Kıyaslanması

Manuel ya da yarı otomatik sistemlerle imalat yapıldığında yalın üretim toolarında aksamalar meydana gelmektedir ve istenilen verim sağlanamamaktadır. Robotik otomasyonlu sistemlerde ise çevrim sürelerinin azaldığı, stok tutma mecburiyetinin ortadan kalktığı, malzeme eşleştirmede hatanın azaldığı ve dolayısıyla israfın azaldığı (MUDA), ürünlerin müşteriye ulaşma sürelerinin kısaldığı (lead time), verim artarken ürünlerin daha ucuza mamül haline geldiği görülmektedir. Ayrıca hat dengelemesinin daha kolay olması, ergonomi ve iş sağlığı açısından daha uygun olması da robotik otomasyonun avantajları arasındadır. Daha az operatörün (6'dan 3'e) operasyon alanında kullanılması ise üretim esnekliği açısından önemlidir. İş- zaman etüdü yapıldığında geleneksel yöntemlerle günde 15 araçlık kapak üretimi 210 sn/adet yapılabilirken; % 90 teknik verim ve % 85 toplam verimle robotik otomasyonlu sistemde günde 24 araçlık kapak üretimi 131,25 sn/adet olarak yapılabilir. İki sistem arasında çevrim zamanı olarak araç başına % 57 fark ortaya çıkmaktadır. Her

iki durum için kaynak ve birleştirme operasyonları çevrim sürelerinin kıyaslanması aşağıdaki grafikteki gibidir.



Şekil 2.7 : Geleneksel yöntem ve robotik otomasyon çevrim süreleri.

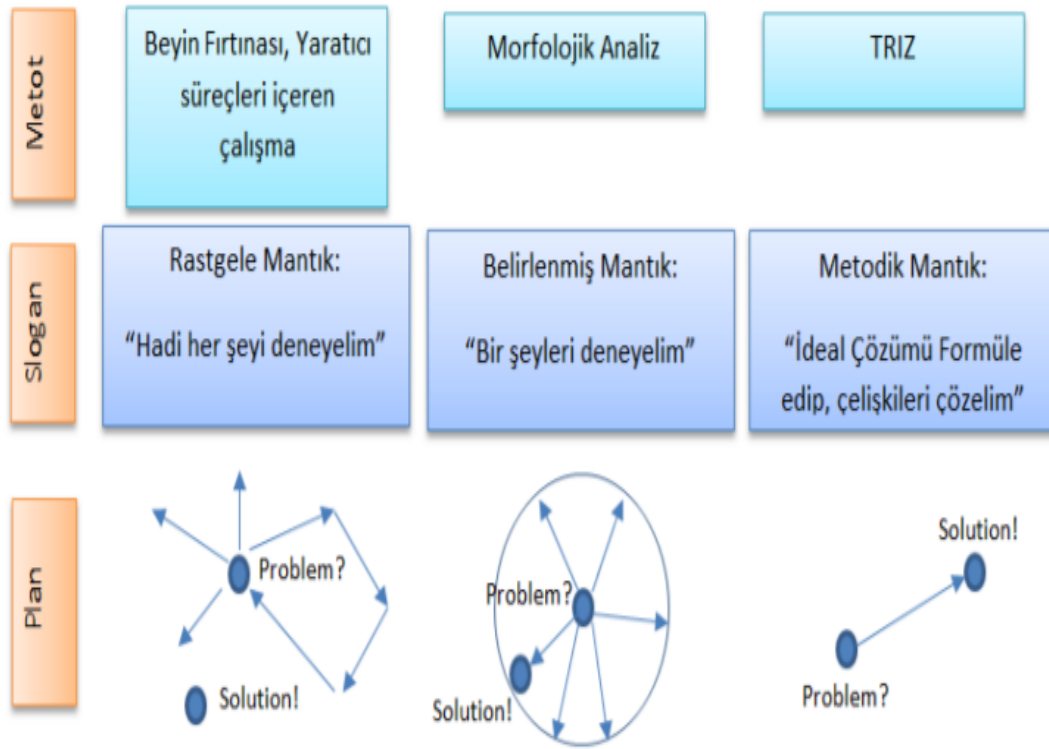


Şekil 2.8 : İki yöntem arasındaki çevrim süreleri kıyası.

3. TRIZ ile UYGULAMA ve SONUÇ

3.1 Triz'in Robotik Otomasyon Sistemine Uygulanması

Robotik otomasyonla kurulan sistemlerin muhtemel sorunları Triz metodolojisi ile çözülmeye çalışılmıştır. Farklı üretim yöntemleri ve anlayışları kullanılarak sorunlar ve çözümler açıklanmıştır. Endüstride kullanılan problem çözme yöntemlerinden biri olan Triz diğer problem çözme yöntemleri gibi olumlu sonuçlar vermiştir.



Şekil 3.1 : TRIZ yönteminin diğer metodlarla kıyaslanması (Kraev, 2014).

3.2 Çalışma Alanı

Yapılan çalışmada, çelişkiler matrisindeki mühendislik parametreleri manuel sistem ve otomasyonlu sistem arasında yapılan değişimler için alınan aksiyon sonucu, ortaya çıkan reaksiyon sorunun çözümü konusunda triz metodolojisine başvurulmuş ve otomasyon sistemlerinin yalın üretim toolları kullanılarak uygun çözümlere ulaşılmak

hedeflenmiştir. Triz her alınan aksiyonun kendi içinde bir soruna ihtiva ettiğini ve aksiyon sonucu ortaya çıkan reaksiyon soruna dair yol göstermeye çalışmıştır.

Çalışmada, iş güvenliği artırmak, üretim kapasitesini artırmak, çevrim zamanlarını indirmek, ürün kalitesini artırmak, üretim masraflarını azaltmak, proseslerdeki operator kontrolünü azaltmak, endüstri 4.0, data mining (bilgi toplama ve işleme) ve karanlık fabrika konseptlerine ayak uydurup agile manufacturing (çevik üretim-yalın üretimin üzerine koyularak ve insan yönetimine daha çok önem veren üretim sistemi) yöntemlerine geçiş amaçlanmıştır ve bu doğrultuda proje hazırlanmıştır.

3.2.1 Triz metodolojisi ile iş güvenliği iyileştirmesi

Operatörün iskeletleri konveyöre yerleşmesi ve konveyör alanında temizlik yapması iş güvenliği açısından riskler doğurmaktadır. Triz metodolojisine göre aksiyon otomasyon düzeyinin (38) artırılması buna karşın ortaya çıkan reaksiyon sorun iş güvenliği açısından zarar verici yan etkilerdir (31). X:38 ve Y: 31 çelişkiler matrisinde kesiştirildiğinde ortaya çıkan yaratıcı prensip 2 numaralı ayırmadır. 2 numaralı yaratıcı prensibe dayalı çözüm seçenekleri:

	35	36	37	38	39
31	--	19,1,31	2,21,27,1	2	22,35,18,39

- Çalışanların problemlerden arındırılması için bu işlemleri operator kontrolünden çıkarmak gerekmektedir bu sayede otomasyon seviyesine de katkı sağlanır.
- Yalın üretim (lean manufacturing) prensibi: ürün ve hizmet yaratma sürecini israflardan arındırıp sadeleştirerek sunulan değeri mükemmelleştirmek ve bu yolla firma karlılığını arttırmak amacını taşıyan kavram, sistem ve teknikler bütünü olması ve yalın düşüncede israf, bilinen anlamının ötesinde müşteri açısından bir değer oluşturmayan, müşterinin fazladan bedel ödemeyi kabul etmeyeceği her şeyi tasarımdan sevkiyata tüm ürün/hizmet yaratma aşamalarındaki her türlü israfın (hatalar, aşırı üretim, stoklar, beklemler, gereksiz işler, gereksiz hareketler, gereksiz taşımalar) yok edilmesi ile maliyetlerin düşürülmesi, müşteri memnuniyetinin artırılması, piyasa koşullarına uyum esnekliğinin kazanılması, nakit akışının hızlandırılması olduğundan operatörün

müşterinin alacağı hizmete katma değeri olmayan hareketlerini ortadan kaldırmak gerekir.

- Bu aşamada method çalışmaları yapılabilir sonrasında operatörün yaptığı işleri yerine getirebilecek bir otomasyon sistemi tasarlanıp çevrimdışı programlaması yapıp simülasyon ortamında test edilebilir. Uygunluğu simülasyonlarca ortaya konan opsiyon sisteme eklenerek plc tarafından kontrol ettirilir.
- JIT (Just in Time) prensibi : Tam zamanında üretimi ve verimliliği artırmak için geliştirilen envanter stratejisidir. Yapılan tüm üretim işlemleri ve buna bağlı alt maliyetleri en aza indirmek amacıyla zaman kriterlerini de göz önünde tutan üretim türü Japon Kanban sisteminin türevlerindedir. Üretim esnasında bir sonraki işlemin üretimini de göz önünde tutarak iş sırasını belirler. Depolama işleminde sipariş verme seviyesine geldiğini ve bu noktadan sonra siparişin karşılanması gerektiğini bildiren bu strateji sayesinde en verimli depo hacmi ve üretim devamlılığı sağlanmaktadır. JIT prensibine göre operatörün malzeme beklemesi, yerleştirmesi ve temizliği kaliteye katma değer sağlamamaktadır ve maliyet açısından devamlı bir hali vardır bu sebeplerden dolayı operatörsüz bir sistem geliştirilerek iş güvenliği ve sağlığı ile ilgili problem çözüme kavuşturulur.

3.2.2 Triz metodolojisi ile kapasite artışı

Hedeflerden bir diğeri de kapasite artışı yani birim zamanda üretilen cismin sayısal artışı idi mühendislik parametreleri içinden 26 numara, madde miktarı ile ilişkilendirebiliriz; madde miktarının artışı aksiyonu kontrol karmaşıklığı (37) reaksiyon sorununu vermektedir. Çelişkiler matrisinde 26 numara ile 37 numarayı kesiştirdiğimizde 3, 27, 29, 18 numaralı Triz çözümlerine ulaşmaktayız.

26	18,3,28,40	13,2,28	33,30	35,33,29,31	3,35,40,39	29,1,35,27	35,29,25,10	2,32,10,25
	27	28	29	30	31	32	33	34

- Kısmi Kalite (3) gereği çalışma alanlarını insan antropolojisine uygun ergonomik hallere getirmek ve psikolojik olarak kontrol karmaşasından kurtulmalarını sağlamak, Barkod okuyucu ve RFID tanıma sistemleriyle karmaşa içinde çalışanların strese girmelerini önleyerek çözüm oluşturulabilir.
- Mekanik Titreşim (18) gereği stratejik planlama sistemleriyle kanban iyi bir şekilde yönetilerek lojistik sorunları ortadan kaldırılabilir ve pull (çekme) sistemi gereğince FİFO (ilk giren parça ilk çıkar) veya one peace flow (bir parça akışı) yöntemleriyle malzeme yönetimi çok iyi uygulanıp karmaşa ortadan kaldırılır.
- Ucuz ve kısa ömürlü cisimler kullanma (27) yüksek maliyetli gerçek ortamlar yerine sanal simülasyonlar yapıp proses karmaşıklıkları ile öngörülerde bulunabilir, FMEA çalışmaları yapılabilir, bir japon üretim tesisi metodolojisi olan 5S kullanılarak düzen artırılır bu kültür haline getirildiğinde karmaşıklığa karşı bağışıklık oluşarak sorunlar çözülecektir.
- Mekanik sistemin yerine koyma (28) yaratıcı prensibe dayalı dokunmatik ekranlı bilgi sistemleriyle, hücre dışındaki operator panellerle (HMI) ve tüm üretim tesisinin haberleştiği nerede, hangi anda, ne kadar sayıda parça imal edildiği ve hangi işlemlerin yapıldığını gösteren visual control (görsel kontrol) sistemleri ile karmaşılığı faydalı şekilde yöneterek sorunlara çözüm aranır. Spagethi diyagramları ile fabrika içi veya hücreye yakın alanlardaki transport araçlarının geçiş güzergah yoğunlukları belirlenip, yoğun olan bölgelerle ve daha az olan bölgelerde dengelemeye gidilip karmaşıklık azaltılabilir. Bütün bunlar öncelikle hücre içi haberleşme sistemlerine sonrasında PLC ve MRP sistemleri yardımıyla tüm üretim tesislerinde faydalı şekilde kullanılır.

3.2.3 Triz metodolojisi ile çevrim sürelerini iyileştirme

Çevrim sürelerini daha iyi seviyelere çekmek tüm üretim prosesleri için istenen bir durumdur ama bu bazen ortaya çıkardığı reaksiyon sebep olarak çözülmesi gereken bir duruma sebebiyet verebilir. Cyle time iyileştirmesi çalışmasında proses geliştirmesi ve operasyonlar hız kazandı yani aksiyon olarak hızlanmaya (9) sebebiyet verdi bu da ölçüm güvenilirliği (28) açısından problem teşkil edebilir. Çelişkiler matrisinde 9 ve 28 numaralar kesiştirildiğinde 1,24, 28, 32 numaralı çözümler ortaya çıkmaktadır.

	27	28	29	30	31	32	33	34
9	11,35,27,28	28,32,1,24	10,28,32,25	1,28,35,23	2,24,35,21	35,13,8,1	32,28,13,12	34,2,28,27

- Bölümlenme (1) yaratıcı prensibine göre cycle time iyileştirilmesi sonucunda hızlanmanın ortaya çıkardığı ölçüm güvenirliliği sorununu RFID sistemleri ile doğru parçayı eşleştirme ve kamera sistemlerinin şekilsel ve boyutsal ölçümleri ile aşılabılır. Bu sayede üretimde esneklik kazanılarak hareket alanı artırılır. yapılacak olan SWOT analizleri sonucunda zayıf taraflar geliştirilip, tehlikeler bertaraf edilir ve fırsatlar değerlendirilir bunu yaparken de müşteriye daha iyi anlama ve parçaların tasarımdan satışına uygulama şansı veren inovasyon ile karlılığı artırmayı hedefleyen kano diyagramları ile başarılı sonuçlar alınır.
- Aracılık (24) yaratıcı prensibi gereği ölçüm güvenirliliğini doğru şekilde sağlamak açısından dışardan temizlik hizmeti alınarak 5S i uygulama açısından fayda sağlayıp iç çalışanları doğru kanalize etmeye yardımcı olur.
- Mekanik sistemin yerine koyma (28) barkod okuyucularla ölçüm güvenirliliği doğru eşleşmeler açısından sağlanır.
- Renk değiştirme (32) yaratıcı prensibi gereği uyarı ekipmanları sayesinde ölçüm hatası alınan ürünlerin tespiti ve üretim prosesinde aksaklık olduğunda prosesi durdurma veya uyarı verme şeklinde ilerleyip hatalı üretimlerin engelleyerek ölçüm açısından doğabilecek sorunları ortadan kaldırır.

3.2.4 Triz metodolojisi ile kalite iyileştirme

Ürün kalitesini artırmak hedefiyle yapılan proje sonucunda otomasyon düzeyi artırılmış (38) sonuç olarakta cihaz karmaşıklığı (36) ortaya çıkmıştır. Çelişkiler matrisi 10, 15, 24

	35	36	37	38	39
38	27,4,1,35	15,24,10	34,27,25	----	5,12,35,26

- Öncü eylem (10) yaratıcı prensibi gereği çalışanlarla doğru şekilde diyalog kurarak agile üretim şartlarına uyup çalışanları doğru yönetmek ve

- yönlendirmek, çalışanlara cihazlarla ilgili eğitim verilerek cihaz karmaşıklığını algısal olarak çalışanların aklından çıkarılıp çözüm üretilir.
- Dinamiklik (15) gereği dinamik bir çalışma ortamı yaratmak kaizen (sürekli gelişme) ile sağlanabilir, sorunlar karşısında hızlı reaksiyon takımları geçici, önleyici ve düzeltici faaliyetler alınıp cihaz karmaşıklık sorunu çözüme kavuşturulur.

3.2.5 Triz metodolojisi ile masrafları azaltma

Üretim masraflarını azaltmak, kaliteyi artırmak ve çevrim sürelerini azaltmak bütün operasyonların temel amaçlarındandır. Üretim masraflarının azalması kaliteyi düşürmeyecek ve üretim zamanlarından artma olmayacak şekilde yapılmalıdır. Üretim masrafları kullanılan malzemenin maliyetinin azaltılması (saç kalınlığını azaltmak, dayanımı aynı ya da daha iyi olan fakat satınması daha uygun olan malzemeler kullanmak, dayanım değerlerini sağlayan kompozit malzemeler kullanmak) ile operatorün gereksiz kullanımı ve operator sayılarının azaltılması ile yapılan operasyonların iyileştirilmesi ve hataların minimize edilmesi ile veya otomasyon düzeyinin artırılması ile sağlanır. Üretim masraflarının azaltılması hedefi ile imalat kolaylığının (32) artması aksiyon olarak gözükürken bunun sonucunda onarım kolaylığının (34) azalması reaksiyon sonucunu doğurur çünkü; otomasyon düzeyi artan sistemlerde manuel sistemlere oranla plansız yaşanan duruşlara müdahale etmek ve onarımını yapmak hem yazılımsal anlamda hem de kontrol anlamında daha zordur. Çelişkiler matrisinde X yönünde 32 ve Y yönünde 34 keşistirdiğinde çözüm olarak: 35, 1, 11, 9 numaralı yaratıcı prensipler karşımıza çıkmaktadır.

	27	28	29	30	31	32	33	34
32	--	1,35,12,18	--	24,2	--	----	2,5,13,16	35,1,11,9

- Fiziksel ya da kimyasal durum değişikliği (35): Esneklik derecesini değiştirme ve hareket alanı yaratma adına robot yazılımlarına yazılan ve teach pendant (kontrol tabletleri) ile kontrol edilen kodların kalibrasyonunu daha doğru zamanlarda yapıp sorun yaşamamak adına TCP (Tool Center Point) ve TCP Tracking sistemleriyle koordinatlardaki sapmalar takip edilip kontrol altına alınabilir ve gerektiğinde erken müdahale ile onarım kolaylığı artırılabilir ya da onarıma gerek kalmayabilir.

TCP: robotun erişim uzayında belirlenen matematiksel bir noktaya karşılık gelir. El terminali ile bir noktayı hafızaya aldığı anda, aslında bu noktanın matematiksel koordinattaki yerini sistemde belirtmiş ve kaydetmiş olur (Türker, 2015).

- Bölümleme (1), her operasyona özel SWOT (strength, weakness, opportunity, thread) analizleri yapılarak operasyonların hangi durumlarda avantaj hangi durumlarda dezavantajlı önceden belirlenerek proaktif yaklaşımlar sergilenebilir. Üretim öncesi ve aşamasında da Proses FMEA'lar yapılarak muhtemel risklere karşı önlem alınmalıdır. Risk analizi yapılacak MSA, SPC çalışmalarıyla daha doğru belirlenip yönetimi daha doğru yapılacaktır.
- Öncü Eylem (11), olası risklere karşı olasılık planlaması yapılması ve hangi durum anında kimin ne işlemleri yapacağı önceden kontrol altına alınmalıdır, oluşabilecek en kötü durumlara karşı hesaplamalar yapılarak cycle time ona göre hesaplanabilir, finished good (bitmiş ürün grubu) stok tutup plansız yaşanan durumlara karşı önlem alınabilir. Kullanılan PLC ve endüstriyel SCADA sistemleri ile üretimin her anı kayıt altında ve kontrol altında tutulabilir, ani durumlarda ekranda uyarı verilebilir ve hangi operasyonda sorun olduğu bu sayede çok kolay anlaşılabilir.
- Öncü Karşıt Eylem (9), projeye başlamadan önce dizayn FMEA ile daha projenin kurulum aşamasından itibaren ortaya çıkacak olası riskleri belirlemek ve bu ölçülerde önlemler almak onarım ve üretimle ilgili sorunları çözecektir.

3.2.6 Triz metodolojisi ile operatör etkinliğini azaltma

Proseslerdeki operatör etkinliğini azaltmak için bazı önlemler alınabilir bunlara poke-yoke (hata engelleme anlamındaki Japonca terim. Poke-yoke operatörlerin manuel iş yapma sırasında hata yapmalarını engelleyen yalın üretim yöntemidir. Amacı insan hatalarını daha oluşmadan önce engelleme, düzeltme veya bunları ortaya çıkarmaktır.) tarzı işlemler gösterilebilir. Endüstri 4.0 ile birlikte karanlık fabrika ve zero-floklift (insan kontrolü olmadan endüstriyel taşıma) anlayışlarının gelişmesi ile birlikte hedef üretimi insan kontrolünden çıkarmak ve gereksiz tüm adımları, işlemleri, masrafları ortadan kaldırarak daha hızlı, kaliteli ve ucuz üretim anlayışı olmuştur. Data mining (bilgi işleme) sistemleri ve PLC&SCADA uygulamalarının birbiriyle çeşitli

haberleşme programlarıyla bağlanıp fabrikada yaşanan tüm olaylar, işlemler kontrol merkezinden kontrol monitorleri tarafından takip edilebilir. Prosesdeki operator etkinliğini azaltmak için sisteme robotlar entegre edilerek hareketli cismin alanı artıyor (5) bunun sonucunda reaksiyon sorun olarak hareketli cismin harcadığı enerji artıyor (19). Çelişki matrisie bakıldığında çözüm olarak 19 ve 32 numaralı yaratıcı prensipler gözükyor.

	19	20	21	22	23	24	25	26
5	19,32	--	19,10,32,18	15,17,30,26	10,35,2,39	30,26	26,4	29,30,6,13

- Periyodik Eylem (19), yoğun çalışma alanlarındaki akış rahatlatılarak ve robotlara en uygun yörüngeler belirlenerek doğru kodlar yazılıp robotların fazla hareketleri engellenir, robotların doğru konumlandırılması ve akışın lineer olması ile erişim sınırları zorlanmadan daha küçük ve daha az enerji harcayan robotlarla operasyonlar gerçekleştirilebilir ve sorun çözülür.
- Renk Değişirme (32), endüstri 4.0 ve daha ileri versiyonları ile birlikte karanlık fabrika (insansız çalışan fabrika) anlayışı geliştiğinde enerji kullanımını azalacaktır.

3.2.7 Triz metodolojisi ile açığa çıkan ısı iyileştirmesi

Projede endüstri 4.0'a doğru yeni adımlar atılmaya çalışılmıştır, PLC&SCADA sistemleriyle gerekli haberleşme programları kullanılarak tüm sistemi uzaktan kontrol etmek ve haberleştirmek, üretim hızını artırırken kaliteyi artırmak ve çevrim zamanlarını düşürmek ilk hedef olmuştur. Haberleştirilen sistemleri MRP-ERP sistemlerinden programlarından takipte kolaylaşmaktadır ve hangi ürünün hangi fabrikada hangi anda üretildiği ve hangi operasyonlara girdiği ile ilgili detaylı bilgiyi otomatik olarak vermektedir, bu da imalat açısından kolaylık sağlamaktadır, hata tespiti çok kolay yapılabilmektedir gerekli uyarı ve eşleştirme sistemleri (barkod-lazer okuyucu, RFID (Radyo frekansı ile tanımlama)) de MRP(Metarial Resource Planning)-ERP(Enterprice Resource Planning) sistemlerine bağlandığında daha iyi sonuçlar alınabilir ve üretim anında operatöre operasyona ya da herhangi birine bağlı olan hatayı engellemeye direk yardımcı olur. Data mining (bilgi işleme) ile de bilgiler yıllarca korunup karşılaşılabilecek herhangi bir sorunda database'de (bilgi altyapısı) eşleştirme yapıp sorun büyümeden anında çözülecektir. Endüstri 4.0 seviyesini artırıldığında verimlilik (39) artıyor ve bunun sonucunda kullanılan cihazlarla açığa

çıkan ısı (17) artıyor. Çelişkiler matrisinde 39 ve 17 numara kesiştirildiğinde çözüm olarak 36, 21,28,10 numaralar ortaya çıkıyor.

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
39	28,15,10,36	10,37,14	14,10,34,40	35,3,22,39	29,28,10,18	35,10,2,18	20,10,16,38	36,21,28,10	26,17,19,1

- Faz Dönüşümü (36), kaynak yapılacak parçalarda doğru elektrot ve akım seçimi ortaya çıkacak fazla ısıyı minimuma indirebilir. Kaynak akımı için gereken elektrik akımı, elektrik şebekesinden alınır, ama direkt olarak kullanılmaz. Çünkü şebekede bulunan elektrik akımının gerilimi yüksek, şiddeti düşüktür. Oysa elektrik ark kaynağında kullanılan akımın, gerilimi düşük, şiddeti büyük olmalıdır. Bunun en önemli nedeni; yüksek gerilimin insan üzerinde öldürücü etkisinin olmasıdır. Ark kaynağında kullanılan temel araçların kaynakçıyla olan teması düşünüldüğünde, düşük gerilim ile çalışmanın neden ön koşul olduğu anlaşılabilir. Diğer yandan ark kaynağında kullanılan elektrik akım şiddetinin yüksek olma gereği, kullanılan elektrotun çapına uygun bir akım şiddetinin sağlanabilmesinden kaynaklanmaktadır. Kaynak makineleri şebekeden aldıkları elektrik akımını kaynak akımına çevirirler. Kaynak akımı; doğru akım (bir elektrik devresinde yönü ve şiddeti zamana bağlı değişmez) ve 2 Alternatif akım olmak üzere ikiye ayrılır (Url-5). Akım değerlerinin sinüzoidal dalgalanmalardaki peak değerleri makina veya panoya bağlanacak bir harmoni ayarlayıcısı ile veya soft strarter, invertör tarzı cihazlarla minimize edilebilir.
- Hızlı Hareket (21), hızlı hareketlerle süreci çok hızlı yönetme ile açığa çıkan ısı düşürülür. Organizasyon yapısı baştan itibaren lineer akışa göre ayarlanır, Burada değişim mühendisliğinden yararlanılabilir ve prosede çarpıcı geliştirme yöntemiyle geliştirme veya yeniden tasarım yöntemiyle geliştirme yapılabilir. Hızlı şekilde prototipler üreterek denemeler daha hızlı gerçekleştirilebilir ve asıl üretim sorunsuz şekilde yapılabilir. Üretim proseslerini de eşzamanlı (concurrent engineering) yaparak süreç hızlandırılır.

3.2.8 Triz metodolojisi ile çizilme probleminin iyileştirilmesi

Dış panellerin konveyör üzerinde taşınırken konveyör bloklarının metal olması sonucu panellerde çizik olacağı düşünülmüştür. Kalite standartları gereği istenmeyen bir durumdur, bu durumu aşmak için triz metodolojisi uygulandığında otomasyon düzeyi (30) cisme zarar verici etkenler (38) çelişkiler matrisinde kesiştirildiğinde çözüm olarak 3 ve 33 numaralı yaratıcı prensipler ortaya çıkıyor.

	35	36	37	38	39
30	35,11,22,31	22,19,29,40	22,19,29,40	33,3,34	22,35,13,24

- Kısmi kalite (3), yalın üretim sadeleştirmeyi ve kolaylaştırmayı prensip edinir, buradan yola çıkarak üretimi kaliteye hasar vermeden kolaylaştırmak için dış panelleri taşıyacak konveyörün blokları kestamit (cast polyamid) malzeme veya kauçuk malzeme ile kaplanabilir ya da kauçuk bloklar kullanılabilir.
- Homojenlik (33), benzer amaçlı cisimlerin bir araya getirilmesi prensibi gereği kalite sorunlarını engellemek için konveyör tipi değiştirilebilir.

3.2.9 Triz metodolojisi ile artan güç ihtiyacını azaltma

1600'lü yıllarda Birleşik Krallık'ta üretimin makineleşmesi ve buhar makineli gemilerin kullanılmasıyla başlayan endüstrileşme süreci, otomotivin icadı ve artan arz talep içinde daha çok üretim için Henry Ford'un seri üretim anlayışını geliştirip standart alt parçalar kullanılmasını sağlaması ve Volkswagen ortak araç üretim platformlarını keşfetmesi endüstri 2.0 olarak yerini almıştır. Üretimin otomasyonu ise endüstri 3.0 olarak değerlendirilebilir, şu an endüstri 4.0 yani teknoloji çağında bulunmaktayız, bir sonraki versiyon olan endüstri 5.0 ise yapay zeka olacak. Son iki versiyona baktığımızda karanlık fabrika (insansız üretim) anlayışı ve artık insanoğluna katma değer sağlamayan işlerin uzaktan yaptırılabilir olması gerçeği üretim anlayışının değişmesi konusunda fikir vermekte. Fabrikalarda kullanılan forklift, milk-run gibi insanlar tarafından kullanılan araçların hem çalışma sahasındaki trafiği artırması hem de iş sağlığı ve güvenliği açısından teklikeli olmaları sebebiyle AGV (automated guided vehicle) kullanımı triz metodolojisine uygulandığında hız (9) artışı aksiyon ve güç (21) artışı reaksiyon sorun olmaktadır. Bu iki parametreyi çelişkiler matrisinde kesiştirdiğimizde çözüm olarak 19, 35, 38, 2 numaralı yaratıcı prensipleri karşımıza çıkmaktadır.

	19	20	21	22	23	24	25	26
9	8,15,35,38	--	19,35,38,2	14,20,19,35	10,13,28,38	13,26	--	10,19,29,38

- Periyodik eylem (19) yaratıcı prensibi gereği agv kullanımı halihazırda forklift kullanıma göre akışı rahatlatacaktır ve yalın üretime lineer akış sağlayarak fayda sağlayacaktır. Bununla birlikte kanban uygulamalarında otomatik şekilde doldur boşalt yapılacağından daha sistemli bir akış sağlanacaktır. Ayrıca FIFO (ilk giren ilk çıkar) veya OPF (tek parça akışı) kullanılacak ise ihtiyaç olan yerde daha hızlı ve kontrollü bir parça akışı sağlanacaktır. Enerji tüketimi konusunda ise şarj olabilen veya doğal enerji kaynaklarından yararlanılan bataryalar tüketimi azaltacaktır. TPM (toplam üretken bakım) içerisinde düzenli aralıklarla bakımı yapıldığı takdirde uzun yıllar sorunsuz çalışacaktır. TQM (toplam kalite yönetimi) kurallarının uygulanması da WCM (dünya klasında üretim) için büyük artı sağlayacaktır.
- Fiziksel ya da kimyasal durum değişikliği (35) yaratıcı prensibi gereği agvler için özel simülasyon ve yazılım programları kullanarak ve agvleri plc ile haberleştirerek sürekli doğru yollar izlenerek ve agvlerin gps sistemleri ile arama işlemlerini kolaylaştırarak gereksiz enerji kayıpları engellenir bu da gücü etkiler. (Güç = Enerji / Zaman ilişkisinden yola çıkılmıştır.)
- Güçlü okside edici kullanma (38) yaratıcı prensibine uygun olarak agv kullanımı için eğitim almak veya konu ile ilgili uzman çalıştırmakta çözüm olacaktır.

Ayrırma (2) yaratıcı prensibi gereği yalın üretim toolları doğru şekilde uygulanması ve sistemin sorun anında uyarı vermesi, hızların ve tüketimlerin aktüel ve kümülatif olarak kıyaslanabilmesi sorunlar karşısında çözüm için avantaj sağlayacaktır.



4. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışmada öncelikle robot sistemleri tanıtılmış, tanıtılan robot sistemlerinin otomasyonda nasıl kullanıldığına değinilmiştir. Robot seçim kriterlerine değinilmiş ve taşıma kapasiteleri farklı olan iki robot farklı yüklerle yüklenerek kütle atalet momentine bağlı olarak statik ve dinamik olarak kıyaslanmıştır. Taşıma kapasitesi daha iyi olan robotta statik ve dinamik zorlanmanın olmadığı gösterilmiştir, bu yapılacak işleme uygun robot seçiminin önemini göstermektedir. Endüstriyel robotların otobüs imalat hattındaki etkilerinden bahsedilmiş ve otobüs saç iskelet yapısı hakkında bilgi verilip üretim prosesleri incelenmiştir. Proseslerde hedeflerden bahsedilmiştir, hedefler genel olarak insansız karanlık fabrika anlayışı ile belirlenmiştir. Bu nedenle ilerleyen aşamalarda tamamıyla robotik olan insan teması en azından fiziksel olarak olmayan çalışmalar yapılabilir. Geleneksel ve robotik otomasyonlu hatlar iş-zaman etüdü yöntemiyle kıyaslanmış ve robotik otomasyonlu sistemlerin bir çok açıdan avantajlı olduğu görülmüştür. İlerleyen aşamalarda invertörler yardımıyla sistem daha da hızlandırılabilir ve avantaj sayısı artırılabilir. Program güncellemesi ve hat dengeleme çalışmaları da iyileştirme açısından faydalı olacak çözümlerdir. Triz metodoloji açıklanarak detaylı bilgi verilmiş ve otomasyonlu otobüs kapak üretim sistemindeki olası problemler değerlendirilip Triz metodolojisinde yalın üretim araçları kullanılarak çözüm aranmıştır. Robotik otomasyonlu otobüs kapak üretim süreçleri eksi ve artı yönleri ile değerlendirilip triz metodolojisinin öngörülerini içerisinde yalın üretim stratejileri kullanılarak farklı açılardan bakılmaya çalışılmıştır. Triz yöntemi ile düşünülen yenilik ve iyileştirmeler yürüyen hat üzerinde zaman içinde daha çok bilgi ve fikir vereceği öngörülmektedir.



KAYNAKLAR

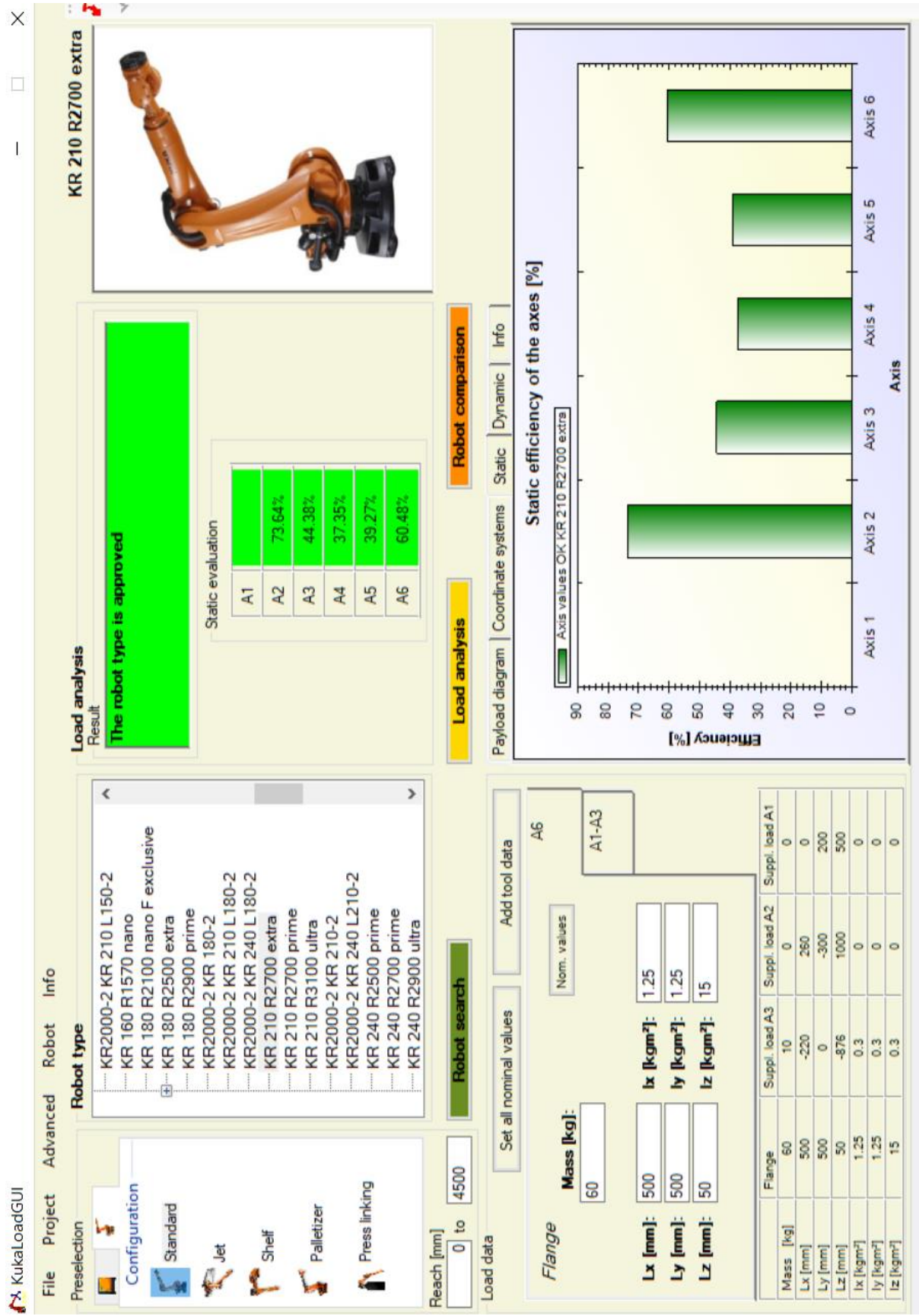
- Altshuller, G.** (2000). Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation.
- Beklen, Z. P.** (2013). TRIZ Metodolojisi Kullanarak Yenilikçi Ürün Geliştirme.
- Çetin, S.** (2015). *Türk savunma sanayii gelişimi için hızlandırılmış teknoloji istihbarat yöntemi: triz.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Duran, H. C.** (2011). *Yaratıcı Problem Çözme Tekniği Yardımıyla Konstrüktif Bir Problemin Ele Alınması.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- EN 10218-1 European Standarts** (2012). Robots and Robotic Revicees - Safety Requirements for Industrial Robots. ICS 25.040.30 Industrial Robots, Manipulators.
- Hägele, M., Nilsson, K., Pires, J. N.** (2008). Industrial robotics. In Springer Handbook of Robotics. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hill, D. R.** (1991). Arabic Mechanical Engineering: Survey of the Historical Sources. Arabic Sciences and Philosophy, 1.
- ISO 8373:2012** (2012). Robots and Robotic Devices. ISO/TC 299 Robotics. 2012-03.
- Kabasakal, S.** (2011). *Bir otobüs gövdesinin yapısal açıdan değerlendirilmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karayolları Trafik Yönetmeliği.** (1997). T.C. Resmi Gazate. 23053, 18 Temmuz 1997.
- Kraev, V.** (2014). TRIZ Apprentice Course, And Invent, Inc. 398 Blue Hills Parkway, Milton, MA 02186, 12-16.
- Kuşçu, H.** (2007). Temel Robotik Ders Notları. Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Mann, D. a.** (2003). Updating TRIZ: 1985-2002 Patent Research Findings, TRIZCON2003:.. *5 th Annual International Conference of Alshuller Institute for TRIZ Studies.Philadelphia.*
- McKerrow, P. J.** (1991). Introduction to robotics. British library cataloguing in publication data.
- Mazur, G.** (2001). Theory of inventive problem solving (TRIZ).
- Özgören, M.K.** (2016). Robot Manüplatörlerinin Dinamiği ve Kontrolü Ders Notları. Robot Dinamiği ve Kontrolü Çalıştayı RDK 2016.

- Polat, C.** (2007) Güneş Enerjisi ile Çalışan Araç İçin Monokok Kompozit Gövde Tasarımı ve İmalatı- Mühendis Makina Dergisi Cilt : 48 Sayı: 569
- Poyraz, S. B.** (2010). *Pnömatik iki-eksenli bir kartezyen robot sistemi ile malzeme taşıma otomasyonu.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Savran, A. İ.** (2018). *Gaz kaçak test otomasyonu için abb irb 140 robot için görüntü tabanlı pozisyonlama.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sciavicco, L., & Siciliano, B.** (2012). Modelling and control of robot manipulators. Springer Science & Business Media.
- Türker, K. S.** (2015). *Endüstride Kaynak Robotlari (Proseslerin İncelenmesi ve Geliştirilmesi).* (Yüksek Lisans Tezi). Gedik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Url-1**<<http://www.robotpark.com>>, erişim tarihi 12.01.2019.
- Url-2**<<http://www.wikipedia.com>>, erişim tarihi 29.12.2018.
- Url-3**<<http://www.gisan.com>>, erişim tarihi 13.1.2019.
- Url-4**<<http://www.wikiwand.com>>, erişim tarihi 29.12.2018.
- Url-5**<<http://www.metalurjiuzmani.com>>, erişim tarihi 29.12.2018.
- Vistein, M.** (2015). Embedding Real-Time Critical Robotics Applications in an Object-Oriented Language (Doctoral dissertation, University of Augsburg).
- Yaraloğlu, K.** (2002). İşletme Sorunlarının Çözümünde Yaratıcı Sorun Çözme Teorisi. 1. Ulusal Kalite Fonksiyon Göçerimi Sempozyumu.

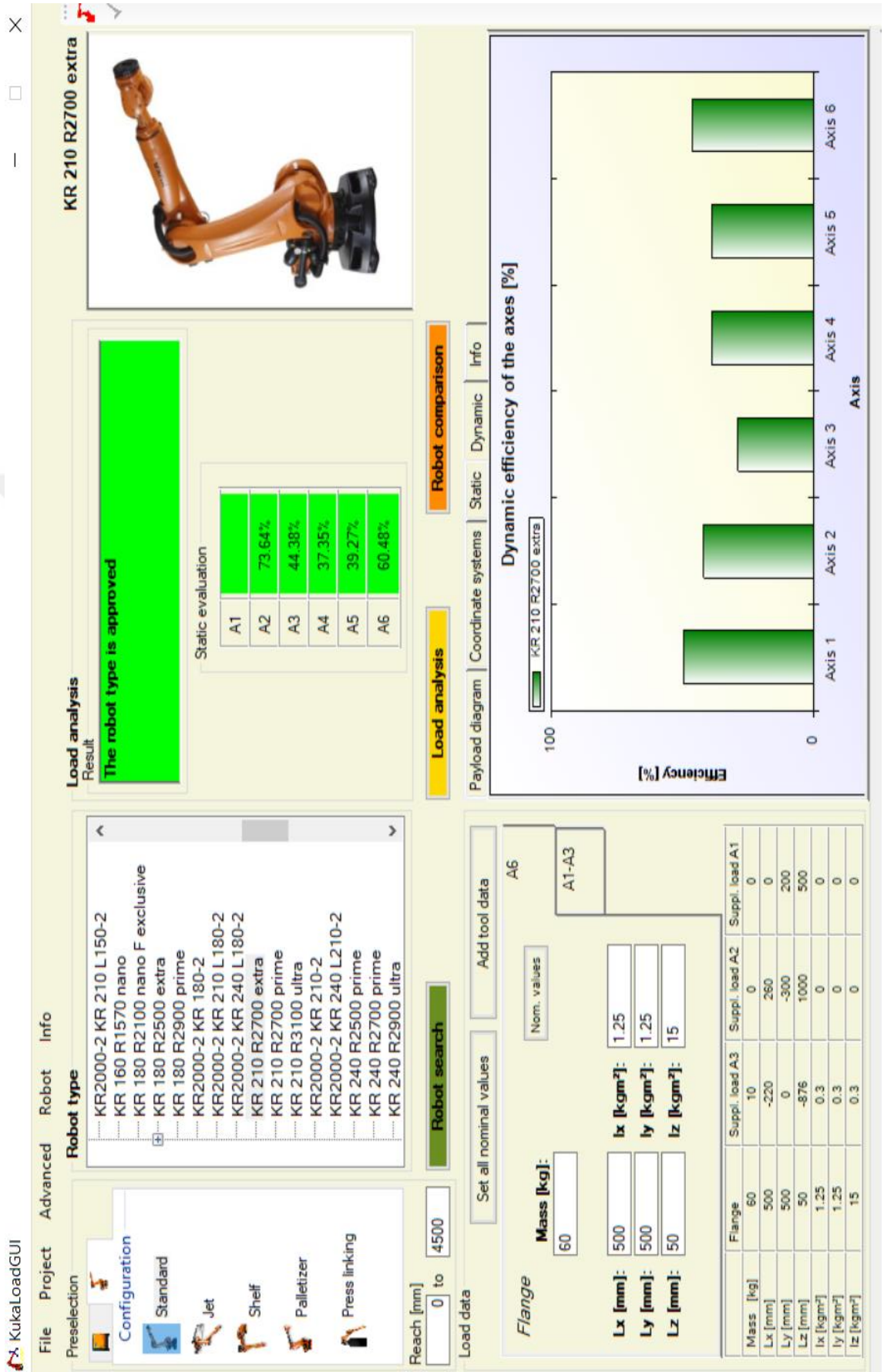
EKLER

EK A: Gripper, 30 kg ve 150 kg yük taşıyan iki farklı robotun taşıdıkları yüke göre kütle atalet momentleri hesaplanıp Kuka.Load programına girilmesiyle çeşitli grafik ve sonuçlar gösteren şekiller.

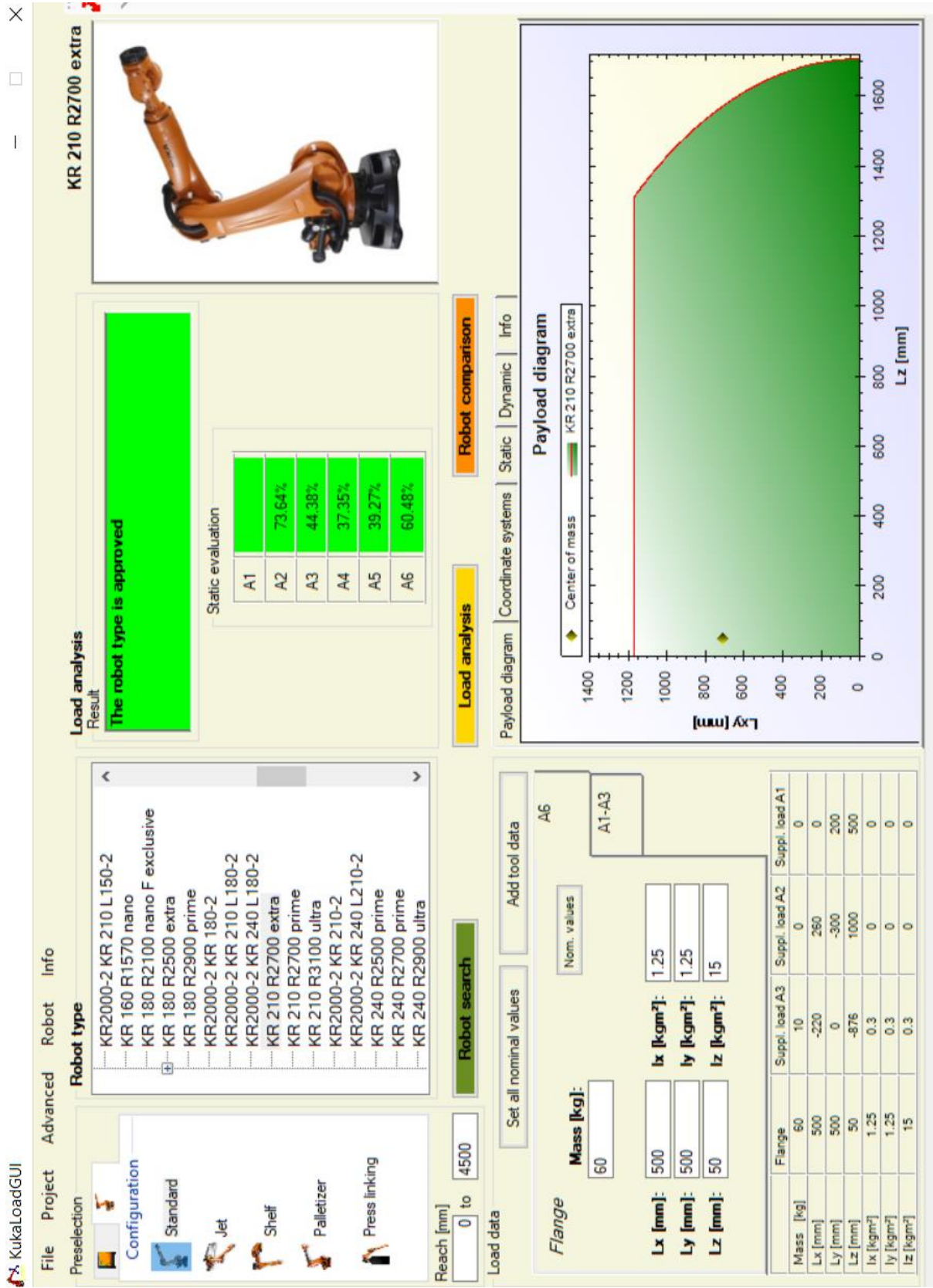




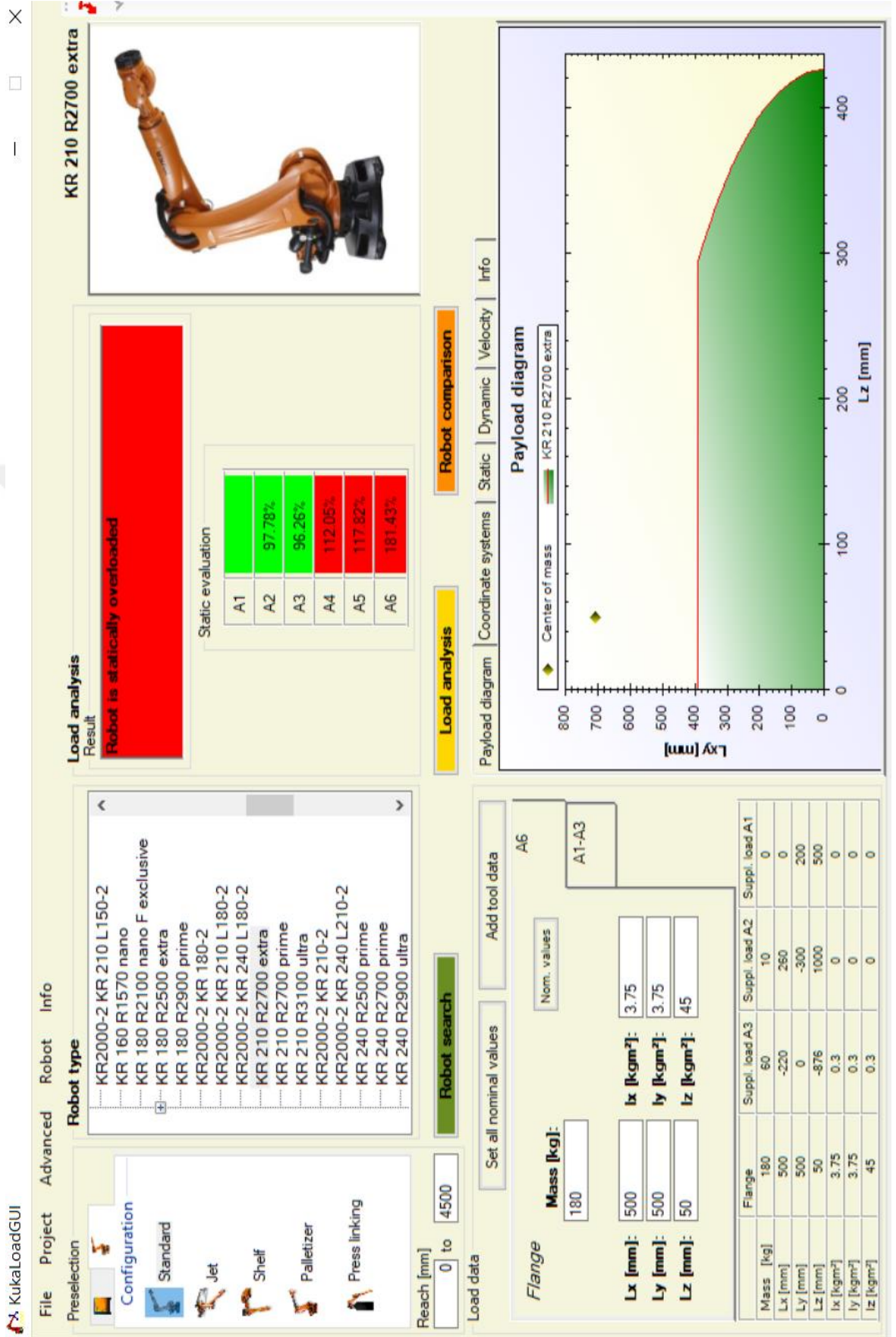
Şekil A.1 : Gripper 30 kg yük taşıdığı anda eksenlerdeki statik verimlilik.



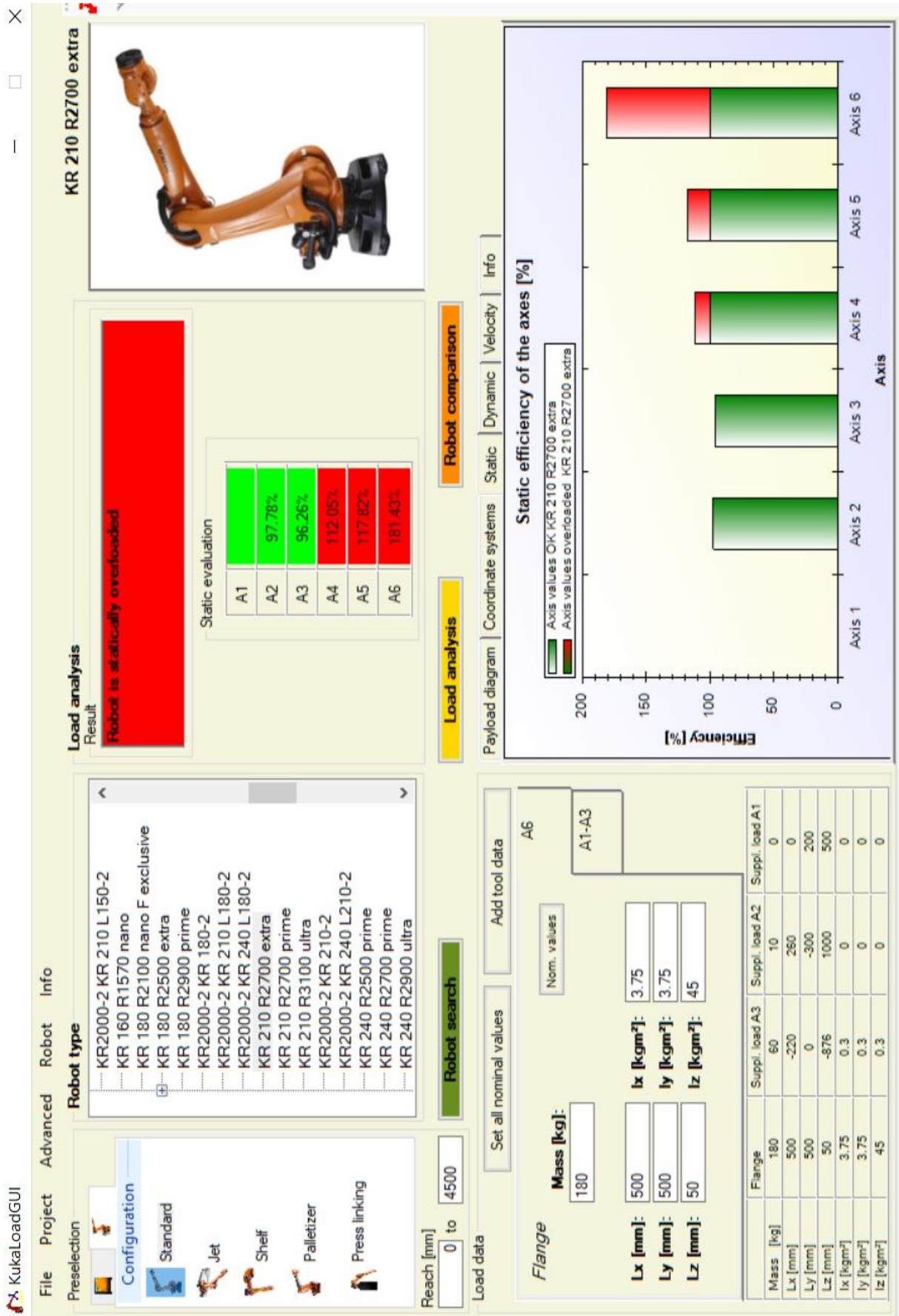
Şekil A.2 : Gripper 30 kg yük taşıdığı anda eksenlerdeki dinamik verimlilik.



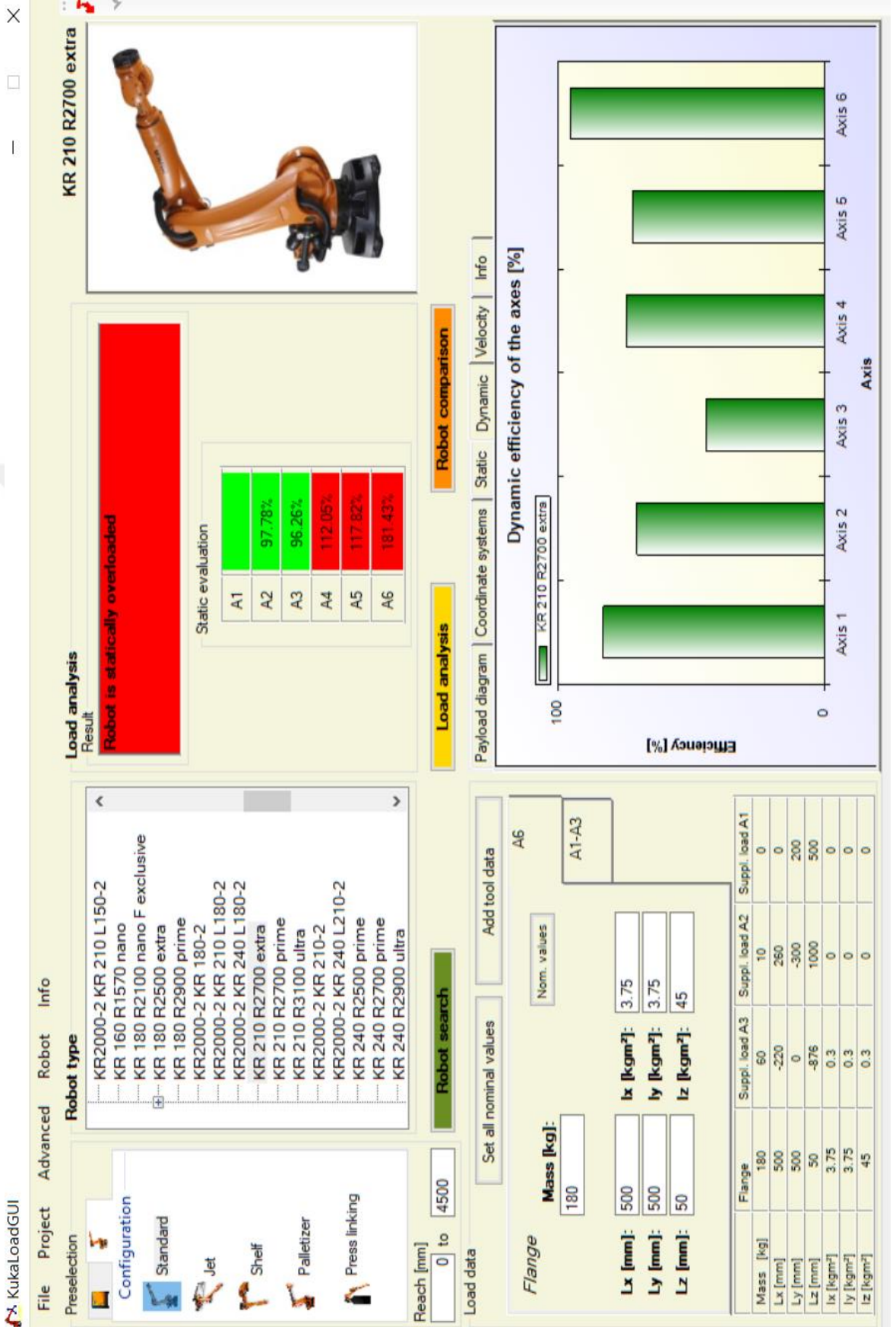
Şekil A.3 : Gripper 30 kg parça taşıdığı durumda kütle merkezinin hangi aralıkta kaldığını gösteren grafik.



Şekil A.4 : Gripper 150 kg parça taşıdığı durumda kütle merkezinin aralığını gösteren grafik.



Şekil A.5 : Gripper 150 kg parça taşıdığı durumda eksenlerdeki statik verimlilik.



Şekil A.6 : Gripper 150 kg parça taşıdığı durumda eksenlerdeki dinamik verimlilik.

KUKA LoadGUI

File Project Advanced Robot Info

Preselection Configuration Standard Jet Shelf Palletizer Press linking

Robot type

- KR 360-3
- KR 420 R3080
- KR 420 R3330
- KR 500 L420/2
- KR 500 L420-3
- KR 480 R3330 MT
- KR 500 L480-3 MT
- KR 500 R2830
- KR 500 R2830 MT
- KR 500/2
- KR 500-3
- KR 500-3 MT
- KR 510 R3080
- KR 600 R2830
- KR 1000 L750 titan
- KR 1000 titan

Reach [mm] 0 to 4500

Robot search

Load data

Set all nominal values Add tool data

Flange Mass [kg]: 180

Flange

Mass [kg]: 180

Lx [mm]: 500 Ly [mm]: 500 Lz [mm]: 50

lx [kgm²]: 3.75 ly [kgm²]: 3.75 lz [kgm²]: 45

Suppl. load A1

Flange	Suppl. load A3	Suppl. load A2	Suppl. load A1
Mass [kg]	15	10	0
Lx [mm]	-220	260	0
Ly [mm]	0	-300	200
Lz [mm]	-876	1000	500
Ix [kgm ²]	0.3	0	0
Iy [kgm ²]	0.3	0	0
Iz [kgm ²]	0.3	0	0

Robot comparison

Result

KR 210 R2700 extra
Robot is statically overloaded

KR 500 R2830
The robot type is approved


Static evaluation

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
KR 210 R2700 extra	70.51%	47.00%	41.17%	41.16%	72.73%	
KR 500 R2830						

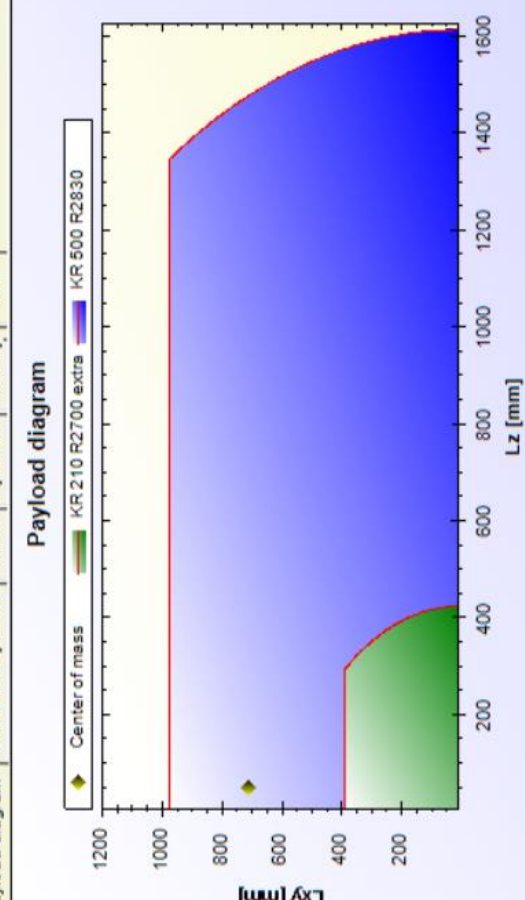
Load analysis Activ Robot comparison

Robot comparison

KR 210 R2700 extra



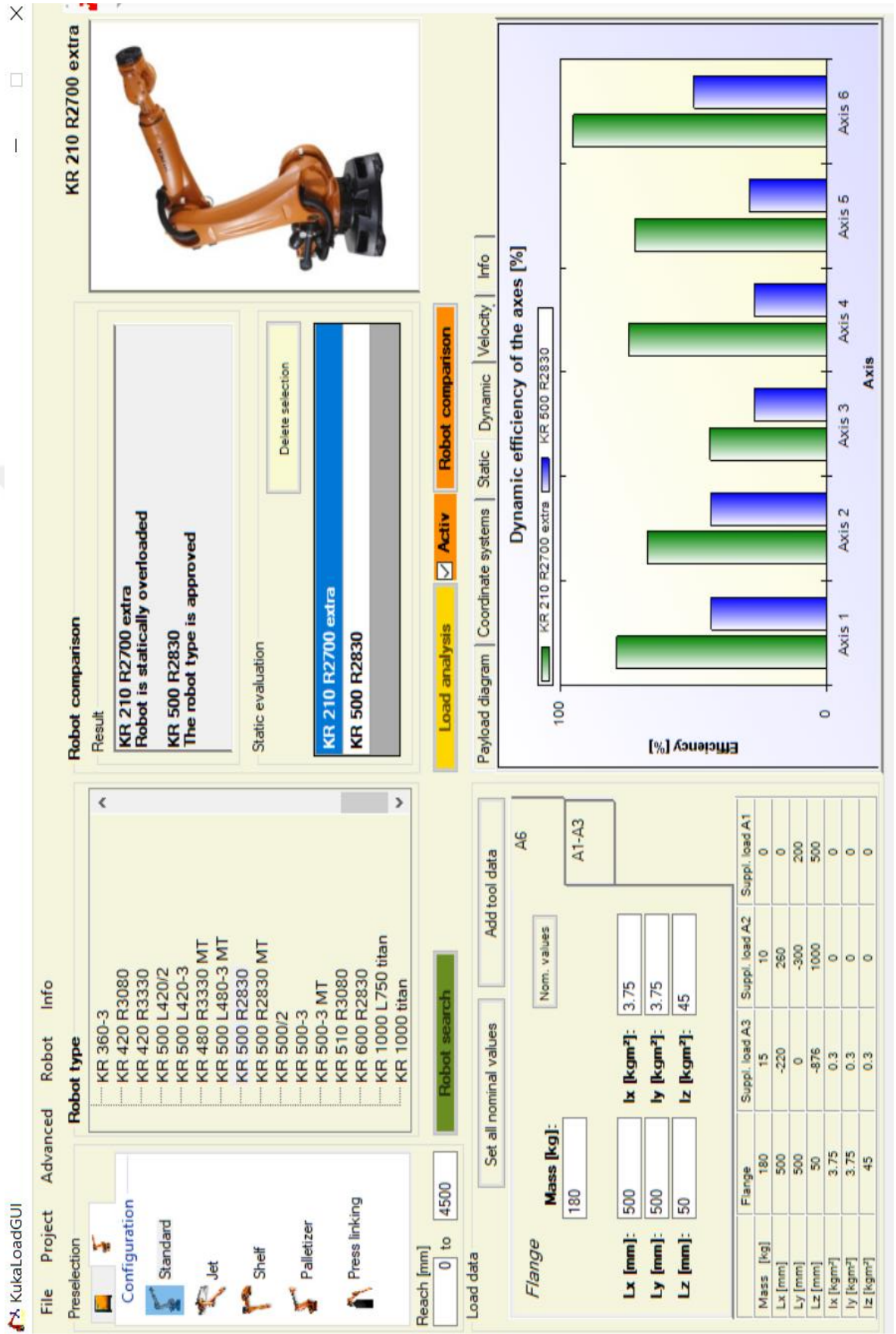
Payload diagram



Center of mass

Legend: KR 210 R2700 extra (green), KR 500 R2830 (blue)

Şekil A.7 : 150 kg parçada statik zorlanma yaşayan 210 kg taşıma kapasiteli robotun 500 kg taşıma kapasiteli robotla kıyaslanması sonucu kütle mezkesinin aralığı.



Şekil A.8 : 150 kg parçada statik zorlanma yaşayan 210 kg taşıma kapasiteli robotun 500 kg taşıma kapasiteli robotla dinamik verimlilik kıyaslaması.

KukaLoadGUI

File Project Advanced Robot Info

Preselection Configuration Standard Jet Shelf Palletizer Press linking

Robot type

- KR 360-3
- KR 420 R3080
- KR 420 R3330
- KR 500 L420/2
- KR 500 L420-3
- KR 480 R3330 MT
- KR 500 L480-3 MT
- KR 500 R2830
- KR 500 R2830 MT
- KR 500/2
- KR 500-3
- KR 500-3 MT
- KR 510 R3080
- KR 600 R2830
- KR 1000 L750 titan
- KR 1000 titan

Reach [mm] 0 to 4500

Robot search

Set all nominal values Add tool data

Flange

Mass [kg]: 180

Nom. values

Lx [mm]: 500 Lx [kgm²]: 3.75

Ly [mm]: 500 Ly [kgm²]: 3.75

Lz [mm]: 50 Lz [kgm²]: 45

Flange

Flange	Suppl. load A3	Suppl. load A2	Suppl. load A1
Mass [kg]	15	10	0
Lx [mm]	-220	260	0
Ly [mm]	0	-300	200
Lz [mm]	-876	1000	500
Ix [kgm ²]	0.3	0	0
Iy [kgm ²]	0.3	0	0
Iz [kgm ²]	0.3	0	0

Robot comparison

Result

KR 210 R2700 extra
Robot is statically overloaded

KR 500 R2830
The robot type is approved

Static evaluation

KR 210 R2700 extra

KR 500 R2830

Delete selection

Load analysis Active Robot comparison


Payload diagram Coordinate systems Static Dynamic Velocity Info

Maximum axis velocities

Axis	KR 210 R2700 extra	KR 500 R2830
A1	100.00%	100.00%
A2	100.00%	100.00%
A3	100.00%	100.00%
A4	100.00%	100.00%
A5	100.00%	100.00%
A6	100.00%	100.00%

100% corresponds to the attainable velocity at nominal load. If the axis is the leading axis, this may cause the velocity to be reduced by the specified factor or the energy monitoring to be triggered!

KR 210 R2700 extra



KR 210 R2700 extra

Şekil A.9 : 500 kg taşıma kapasiteli robotun gripperla beraber 180 kg taşıdığı durumda eksenlerinin hız kullanılabilme durumu.

KukaLoadGUI

File Project Advanced Robot Info

Preselection Configuration Standard Jet Shelf Palletizer Press linking

Robot type

- KR 360-3
- KR 420 R3080
- KR 420 R3330
- KR 500 L420/2
- KR 500 L420-3
- KR 480 R3330 MT
- KR 500 L480-3 MT
- KR 500 R2830
- KR 500 R2830 MT
- KR 500/2
- KR 500-3
- KR 500-3 MT
- KR 510 R3080
- KR 600 R2830
- KR 1000 L750 titan
- KR 1000 titan

Robot search

Reach [mm] 0 to 4500

Load data

Set all nominal values Add tool data

Flange

Mass [kg]: 180

Nom. values

Lx [mm]: 500 Ix [kgm²]: 3.75

Ly [mm]: 500 Iy [kgm²]: 3.75

Lz [mm]: 50 Iz [kgm²]: 45

Suppl. load A1

Flange	Suppl. load A3	Suppl. load A2	Suppl. load A1
Mass [kg]	15	10	0
Lx [mm]	500	-220	260
Ly [mm]	500	0	-300
Lz [mm]	50	-876	1000
Ix [kgm ²]	3.75	0.3	0
Iy [kgm ²]	3.75	0.3	0
Iz [kgm ²]	45	0.3	0

Robot comparison

Result

KR 210 R2700 extra
Robot is statically overloaded

KR 500 R2830
The robot type is approved

Delete selection

Static evaluation

KR 210 R2700 extra

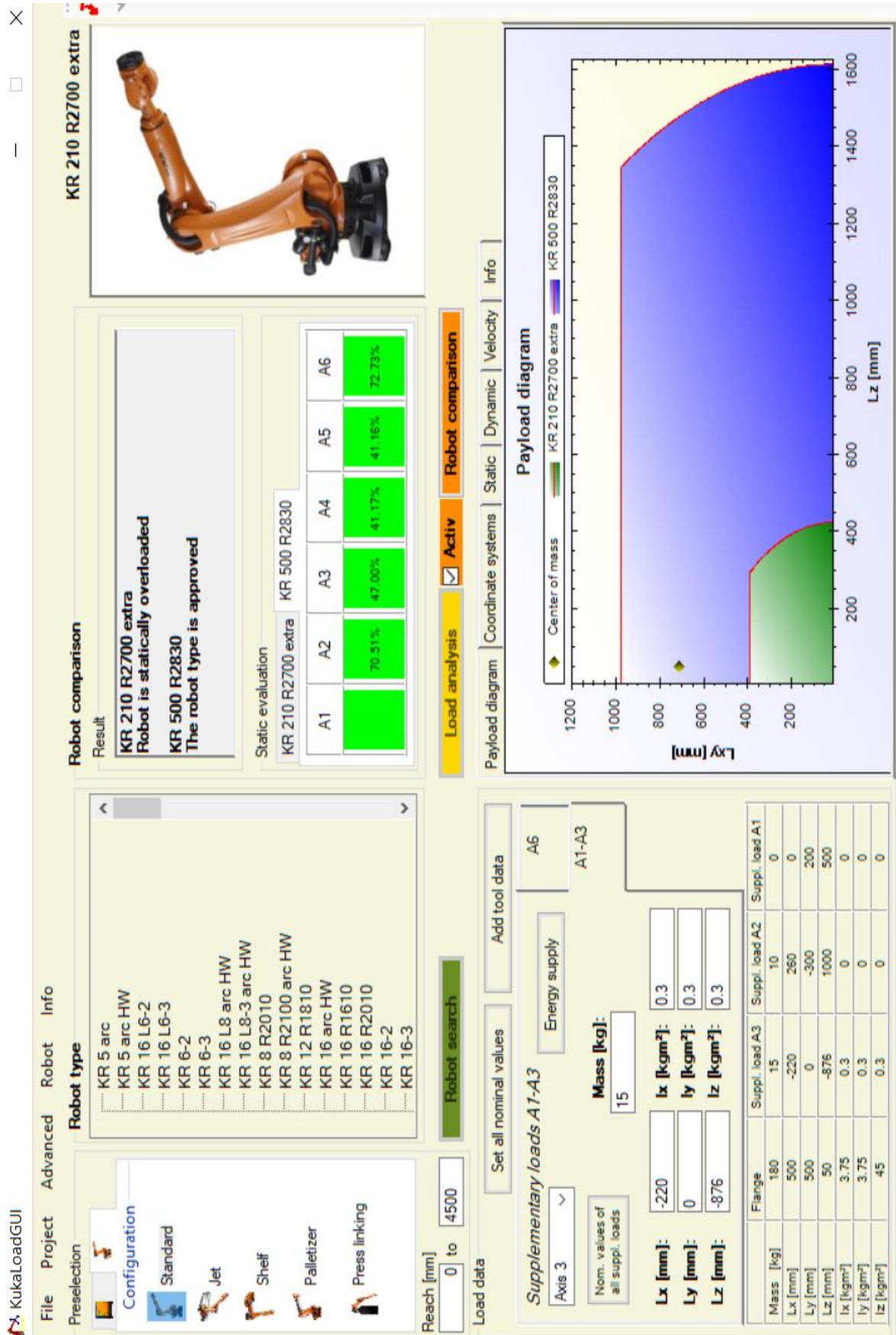
KR 500 R2830

Load analysis Activ Robot comparison

Payload diagram Coordinate systems Static Dynamic Velocity Info

Overloading the robot is not permitted. If the robot is overloaded, safe operation cannot be guaranteed. External forces and torques (e.g. process forces) are not included in the calculations. In such cases, KUKA must be consulted in advance. The load data for each robot must be correctly assigned to the system. Correct operation of robots in palletizing mode must be ensured.

Şekil A.10 : Statik olarak aşım ve açıklaması.



Şekil A.11 : 3. eksendeki kütle atalet momentlerine göre iki robotun kıyaslanması.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad :Ömer Zurnalı
Doğum Tarihi ve Yeri : 18.06.1991/Zonguldak
E-posta : omerzurnali@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2015, University of Bristol, Faculty of Management , Master of Business Administration
- **Yükseklisans** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Lisansüstü Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016-2018 yılları arasında Bosch und Siemens Hausegerate’de proje-kalite mühendisi olarak çalıştı.
- 2018-2019 yılları arasında Altınay Robot Teknolojileri’nde iş geliştirme ve proje yönetimi üzerine çalıştı.
- 2019- A Grup bünyesinde proje ve otomasyon yöneticisi olarak çalışmaktadır.