



T.C.
ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İŞ BİRLİKÇİ ENDÜSTRİYEL ROBOTLARDA İŞ GÜVENLİĞİ
VE RİSK ANALİZİ YAKLAŞIMLARI**

Ali Orhan KARACIĞAN

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Rüştü UÇAN**

İSTANBUL-2021

T.C.
ÜSKÜDAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İŞ BİRLİKÇİ ENDÜSTRİYEL ROBOTLARDA İŞ GÜVENLİĞİ
VE RİSK ANALİZİ YAKLAŞIMLARI**

Ali Orhan KARACIĞAN

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Rüştü UÇAN**

İSTANBUL 2021

ÖZET

İŞBİRLİKÇİ ENDÜSTRİYEL ROBOTLARDA İŞ GÜVENLİĞİ VE RİSK ANALİZİ YAKLAŞIMLARI

1960'lı yıllardan beri, çevresindeki çalışanlardan izole edilmiş ve çevresi çitlerle, güvenlik perdeleriyle, güven denetim altına alınmış kafeslerde çalışmaya zorlanan geleneksel endüstriyel robotlar, Endüstri 4.0'ın Almanlar tarafından duyurulmasıyla beraber bambaşka bir görünüm almışlardır. Çalışma hücresi çevresindeki çitler kaldırılarak, insanlarla birlikte çalışmaya başlayan robotlar insanların gerçekleştirdiği rutin, sıkıcı ve tehlikeli işleri yaparken diğer makinelerle de iletişim kurarak akıllı fabrikaların ilk adımlarını oluşturmuşlardır.

İnsan makine etkileşiminde etkinlik, riskli görevleri üstlenme, akıllı ve güvenli hareket ile esnek öğretilebilirlik gibi özelliklere sahip yeni robotlar kolaboratif robotlar adını almışlardır. Çalışma sırasında insanlarla olan iş birlikçi, yardımlaşmalarından dolayı kolaboratif robot adını alan bu robotlar için ülkemizde Kobot (Cobot/ Collaborative Robot) veya iş birlikçi robot tanımları kullanılmaktadır, bu yüzden tezimizde bunların üçünü de kullanacağız.

Kolaboratif robotların insanlarla sürekli olarak güven içinde çalışabilmelerini sağlamak için sensör, kamera vb güvenlik bileşenleri kullanılsa dahi robotların ve operatörlerin istemsiz hareketleri ile dış kaynaklardan gelebilecek siber saldırılara karşı çeşitli önlemlerin alınması gerekir. Robotların üretimleri ve bu robotların çalışacakları sisteme entegre edilmeleri sırasında risk değerlendirmeleri yapılmalıdır.

Robotların üretimleri sırasında ve bu robotların çalışacakları sisteme entegre edilmeleri sırasında risk değerlendirmeleri yapılmalıdır. Bu değerlendirmelerde robot/operatör iş birlikçi çalışmasında temas veya çarpışmalar sonundaki olası riskler saptanarak bunlara ilişkin güvenlik önlemleri alınıp, risk azaltım çalışmaları yapılmalıdır.

Bu tezde, iş birlikçi robotların çalışma prensipleri, robot ve kobotlar hakkındaki standartlar, güvenli çalışma ortamı için alınması gereken önlemler, risk ve tehlikelerin

azaltılması için risk analizleri ile çeşitli risk analizi yaklaşımlarından bahsedilecek ve bulguların değerlendirilmesi yapılacaktır.

Anahtar sözcükler: Kolaboratif Robot, İşbirlikçi Çalışma Hücresi, Risk Analizi, Risk Analizi Yaklaşımları.



ABSTRACT

OCCUPATIONAL SAFETY IN INDUSTRIAL COLLABORATIVE ROBOTS AND RISK ANALYSIS APPROACHES

Since the 1960s, traditional industrial robots which have been isolated from the workers in the plants and forced to work alone within the fences, safety curtains and safe controlled cages have taken a completely different appearance with the announcement of Industry 4.0 by the Germans. By removing the fences around the working cells of the robots and starting to work with humans, the robots created the first steps of smart factories by communicating with other machines while doing the routine, boring and dangerous work performed by humans.

New robots with features such as efficiency in human-machine interaction, embracing risky tasks, smart and safe movement and flexible teachability are called collaborative robots. In our country, the definitions of Kobot (Cobot / Collaborative Robot) or collaborative robots are used for these robots, which are called collaborative robots due to their cooperation and collaboration with humans during performing the tasks, so we will use all three of them in our thesis.

In order to ensure that collaborative robots can work safely with human workers, various measures should be taken against the involuntary movements of robots and operators and cyber attacks that may come from external sources even if security components such as sensors, cameras etc. Risk assessments should be made during the design of robots and the integration of these robots into the system they will operate. In these evaluations, possible risks at the end of contact or collisions in robot / operator collaborative work are determined, safety measures are taken and risk reduction studies should be carried out.

In this thesis, the working principles of collaborative robots, standards on robots and cobots, measures to be taken for a safe working environment, risk analysis and various risk analysis approaches to reduce risks and hazards will be discussed and the findings will be evaluated.

Keywords: Collaborative robot, collaborative work cell, risk analysis, risk analysis approaches

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlarken bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Rüştü Uçan'a ve kızım İrem Karacığın'a çok teşekkür ederim.



BEYAN FORMU

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, tarafımdan üretildiğini ve Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzuna göre yazıldığını beyan ederim.

Ali Orhan KARACIĞAN

İmzası

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
BEYAN FORMU	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER	3
2.1. İnsan Robot İş Birliği.....	3
2.1.1. İşletmede robotla yapılacak ilk otomasyon girişiminde dikkat edilmesi gereken hususlar	5
2.1.2. Otomasyon Zorlukları Yaratın Yedi Faktör	8
2.1.3. Bir Kobot Dağıtım Ekibi Oluşturma.....	9
2.1.4. Kobot Seçimini Etkileyen Ana Unsurlar	13
2.1.5. Kobot Tasarımında Üzerinde Durulan Temel Özellikler	15
2.1.6. Doğru Sensörlerin Seçilmesi	20
2.2. Kobotlarda Güvenlik İçin Tasarımın Temel İlkeleri	24
2.2.1. Kobot Risklerini Anlamak için Kaynaklar	25
2.2.2. Riskin Değerlendirilmesi	26
2.2.3. Kolaboratif Robot Risk Değerlendirmesi	28
2.3. İSG Açısından Kolaboratif Robotlar ve Uygulamalar.....	32
2.3.1. Robot Seçimi Sırasında İş Güvenliği Açısından Alınması Gereken Önlemler	32

2.3.2. İnsan ve Robot İşbirliğinde Güvenlik ve Ergonomi	37
2.3.3.Risk değerlendirmesi için yeni metodolojilerin geliştirilmesi.....	46
2.4. Robot Bilimde Siber Güvenlik Riskleri.....	48
2.4.1. Robotikte Siber Güvenliğinin Önemi	51
2.5. Kolaboratif Robotlarda Risk Azaltma ve Risk Değerlendirme	60
2.5.1. Quebec'ten Örnek Olay İncelemesi	69
2.5.2 İşbirlikçi Robotik Uygulamalar için Risk Değerlendirme Süreci.....	73
2.5.3 İş birlikçi Robotlarda Risk Değerlendirmesi	78
2.5.4 İnsan-Robot İşbirliğinde Resmi Doğrulama Yoluyla Güvenlik Analizi	79
2.5.5 İşbirlikçi Robotlar ve Risk Analizi	86
2.5.6 İşbirlikçi Robotlarla Çalışırken Çarpışma ve Yaralanma Kriterleri	103
2.6. Kolaboratif Robotlarda Standartlar, Teknik Şartnameler ve Mevzuat	110
2.6.1 Kolaboratif Uygulamalardaki Standartlar.....	110
2.6.2 Robotlarla İlgili Mevzuat ve Standartlar:	111
2.6.3 Makine Emniyeti Çalışmaları:	112
2.6.4. Kolaboratif Robot Sistemlerinde Emniyet Kuralları:	113
2.6.5. Geleneksel Robotlardan Kolaboratif Robotlara Geçiş Süreci	118
2.6.6. Kolaboratif Robot Tasarımı için 15066'nın önerileri	118
3.GEREÇ VE YÖNTEM.....	124
3.1. Sistem Güvenliği ve Risk Değerlendirmesine İlişkin Metodoloji ve Yaklaşımlar	124
3.1.1. Daha Güvenli Bir İnsan Robot Etkileşiminin Tanımına Sistemik Yaklaşım	124
3.1.2. STPA ve FTA ile Çok Robotlu Mobil Sistem Kontrolünün Sistem Güvenliği Yaklaşımı	131
3.1.3. Kolaboratif Çalışma Tesisi İçin Risk Değerlendirmesi ve İş Güvenliği Analiz Yaklaşımı	136
3.1.4. Üretim Ortamları İçin İşbirlikçi Robotik Siber Fiziksel Sistemlerin Geliştirilmesi Metodolojisi	140

3.1.5. İş birlikçi Bir Çalışma alanında Güvenli İnsan- Robot İş birliği İçin Siber Fiziksel (CPS / Cyber Physical System) Yaklaşımı	151
4.BULGULAR.....	162
5.TARTIŞMA.....	168
6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	172
KAYNAKLAR	177
EKLER	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Ek 1. Özgeçmiş	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



TABLULAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1: Endüstriyel robot ve kobotların faydalarının karşılaştırılması	4
Tablo 2: Kobot ekibinin rolleri	10
Tablo 3: Kobot, efektör ve sensörlerin seçimi sırasındaki girdi özelliklerinin etkileri .	14
Tablo 4: Kobot ve nihai efektör seçimleri sırasında çıktı özelliklerinin etkileri	14
Tablo 5: Kobot ve efektör seçimlerindeki hücre süreçlerinin etkileri ve programlama yöntemleri	15
Tablo 6: ISO 12100’de tanımlanan risk tahmin parametrelerinin özeti	63
Tablo 7: İş birlikçi robotların çalışma modları	67
Tablo 8: İş birlikçi robotlar arasında karşılaştırma	68
Tablo 9: Mevcut risk azaltma yöntemlerini dikkate almadan pres ve robot sistemi için tehlike tanımlaması	70
Tablo 10: Sürece ilişkin yapılan iş ve riskler	77
Tablo 11: Standart seviyeleri	90
Tablo 12: Performans seviyesi (PL)	102
Tablo 13: 10218, ISO/TS 15066 standartlarına göre iş birlikçi çalışma türleri.....	112
Tablo 14: Güvenlik ve insan – robot iş birliği: ilgili standartlar + direktifler	113
Tablo 15: İnsan – robot teması.....	121
Tablo 16: STPA tehlike analiz tablosu	135
Tablo 17: Her güvenli olmayan hareket kontrol eylemi (UCA) için tehlikelerin, kazaların ve kayıpların belirlenmesi	135
Tablo 18: Taslak CEN/TC – 162 ve taslak ISO/TS-15066’dan kuvvet sınır değerlerine yönelik bazı karşılaştırma değerleri	164
Tablo 19: Taslak ISO/TS-15066 ve diğer literatür kaynaklarından kuvvet sınır değerlerinin karşılaştırılması.....	165

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1: Robot çarpışmasının kuvvet/zaman sinyali grafiği	28
Şekil 2: Endüstriyel iş birlikçi robotlarla ilgili ana atandalar hiyerarşisi.....	41
Şekil 3: İnsan – robot temasının sınıflandırması	43
Şekil 4: HRC güvenlik ve ergonomisinde potansiyel zorluklar ilişkin araştırma alanları	45
Şekil 5: ISO 12100'e dayalı basitleştirilmiş risk yönetimi	62
Şekil 6: Kolaboratif çalışma hücresi	75
Şekil 7: Güvenlik analizin metodolojisine genel bakış	81
Şekil 8: Risk değerlendirme süreci	92
Şekil 9: Risk tahmin diyagramı	94
Şekil 10: Risk değerlendirme	95
Şekil 11: Sınıflandırılmış güvenli duruş yöntemi.....	96
Şekil 12: Elle yönlendirme yöntemi	97
Şekil 13: Hız ve mesafe izleme yöntemi	97
Şekil 14: Güç ve kuvvet sınırlama yöntemi	98
Şekil 15: Kategori seviyeleri	102
Şekil 16: İş birlikçi robotlarda güvenlik araştırması için taslak yapı.....	106
Şekil 17: İnsan-robot çarpışmasına Bakış	107
Şekil 18: ISO 13849-1 standardı gerekli performans seviyesi.....	114
Şekil 19: EN ISO 13849-1 veya EN/IEC 62061 göre SIL	119
Şekil 20: Sınıflandırılmış güvenli duruş ile güç ve kuvvet sınırlama sistemleri kombinasyonu	123
Şekil 21: Planlama ve devreye almadaki zorluklar –(hız ve mesafe izleme SSM).....	123
Şekil 22: Planlama ve devreye almadaki zorluklar – (PFL güç ve kuvvet sınırlama) .	123
Şekil 23: Robot sistemleri güvenliğinde donanım ve tasarım stratejileri haritası.....	127

Şekil 24: Güvenilirlik tablosu.....	128
Şekil 25: Robotik NCS şeması	131
Şekil 26: STPA metodolojisi.....	134
Şekil 27: İş birlikçi çalışma hücresinin üç katılımcısı arasındaki etkileşimin temsili şeması.....	137
Şekil 28: Aktif çarpışmadan kaçınma	142
Şekil 29: İş birliği sınıflandırmaları	146
Şekil 30: HRC kademelendirme şeması.....	148
Şekil 31: CRCPS tasarımında.....	150
Şekil 32: Kinect ortak izleme algoritması tarafından algılanan noktalar	152
Şekil 33: Kaydedilen her hareket için sensörün konumu	152
Şekil 34: CPS yaklaşımının implamantasyonu sırasındaki hiyerarşik diyagram	155
Şekil 35: Temas sırasındaki kuvvetin cilt yüzeyinde hissedilen	159
Şekil 36: Geliştirilen uygulama aracılığıyla kullanım örneği görselleştirmesi	161
Şekil 37: Birden fazla Tanımlamaya ihtiyaç duyulan çok katılımlı bir iş birlikçi çalışma alanı senaryosu.....	167

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 1: Tutucu (kıskaç) çeşitleri ve özellikleri.....	20
Resim 2: Risk Kaynakları ve Çarpma Tehlikeleri	74
Resim 3: Kistler, ölçüm, analiz, yenilik	110
Resim 4: Güç ve kuvvet sınırlama yöntemiyle ilgili temsili resim	122
Resim 5: Analiz laboratuvarında iş birliği mobil robot çalışması senaryosu.....	132



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- DOF** : Altı Serbestlik Derecesi (Six Degrees Of Freedom)
- ANSI** : Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (The American National Standards Institute)
- BLANKING:** Işık Perdesi İle Korunan İş Birlikçi Alanının Parçalarının İçine Opak Bir Malzemenin Sokulmasına Makinenin Durmasına Neden Olmadan İzin Verilen Güvenlik Işı Perdelerinin Yardımcı Fonksiyonu
- CC** : Hesaplama Bileşeni (Computational Component)
- CE** : Eşzamanlı Mühendislik (Concurrent Engineering)
- CEN** : Avrupa Standardizasyon Komitesi (Committee Of European Norms)
- CEN** : Avrupa Standardizasyon Komitesi (European Committee For Standardization)
- CENELEC** : Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (European Committee for Electrotechnical Standardization)
- CERA** : Kompozit Ergonomi Risk Değerlendirmesi (Composite Ergonomics Risk Assessment)
- COBOT** : İşbirlikçi Robotlar/Kolaboratif Robotlar/Kobot (Collaborative Robots)
- CPPS** : Siber-Fiziksel Üretim Sistemleri (Cyber-Physical Production Systems)
- CPS** : Siber Fiziksel Sistem (Cyber Physical System)
- CRCPS** : İşbirlikçi Robotik Siber Fiziksel Sistem (Collaborative Robotic Cyber Physical System)
- CSA** : The Canadian Standards Association
- CTL** : Hesaplama Ağacı Mantığında (Computation Tree Logic)
- CWS** : İş Birlikçi Çalışma Alanı (Collaborative Work Space)
- DFCA** : İşbirlikçi Montaj İçin Tasarım (Design For Collaborative Assembly)
- DR** : Veri Gecikme Oranı (Delay Rate)
- DOE** : Deneysel Tasarım (Design of Experimental)
- DPU** : Kullanıcı Dataprogram Protokolü (UDP/User Dataprogram Protocol)
- EAWS** : Ergonomik Değerlendirme Çalışma Sayfası (Ergonomic Assessment WorkSheet)
- ETSI** : Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (European Telecommunications Standards Institute)

FMEA	: Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode And Effect Analysis)
FTA	: Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis)
HC	: İnsan Bileşeni (Human Component)
HCD	: İnsan Merkezli Tasarım (Human Centered Design)
HMI	: İnsan-Makine Etkileşim Sistemleri (Human Machine Interaction System)
HRC	: İnsan Robot İş Birliği (Human Robot Collaboration)
IFR	: Uluslararası Robotik Federasyonu (International Robotic Federation)
IMU	: Atalet Ölçüm Birimleri (Inertial Measurement Units)
IoT	: Nesnelerin İnterneti (Internet Of Things)
ISO	: The International Organization for Standardization
JSA	: İş Güvenliği Analizi (Job Safety Analysis)
JSI	: İş Gerilme Endeksi (Job Strain Index)
KPI	: Anahtar Performans Göstergeleri (Key Performance Indicators)
KPIS	:Eşit Ağırlıklı Anahtar Performans Göstergesi (Key Performance Indicators)
LLDN	: Düşük Gecikmede Belirleyici Ağ (Low Latency Deterministic Network)
MAC	: Manuel Kullanım Değerlendirme Tablosu (Manual Handling Assessment Chart)
MAC	: Orta Erişim Kontrolü (Medium Access Control)
MSD	: Kas-İskelet Sistemi Bozuklukları (Musculoskeletal Disorders)
MTTFD	: Tehlikeli Arızaya Kadar Geçen Ortalama Süre (Mean Time To Dangerous Failure)
MUTING	: Geçici Olarak Devre Dışı Bırakma
NCS	: Ağa Bağlı Kontrol Sistemi (Networked Control System)
NIST	: Ulusal Bilim ve Teknoloji Enstitüsü National Institute of Science and Technology
OCRA	: Mesleki Tekrarlayan Eylemleri (Occupational Repetitive Actions)
OSHA	: The Occupational Safety And Health Administration
OWAS	: Ovako Çalışma Duruş Analizi (Ovako Working Posture Analysis System)
PC	: Fiziksel/ Fiziki bileşen (Physical Component)
PCB	: Baskılı Devre Kartı (Printed Circuit Board)

PFHD	: Saatteki Tehlikeli Arıza Olasılığını (Probability Of Dangerous Failures Per Hour)
PHRI	: Fiziksel İnsan-Robot Etkileşimi (Physical Human Robot Interactions)
REBA	: Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi (Rapid Entire Body Assessment)
RFID	: Radyo Frekansı Tanımlama Teknolojisi (Radio-Frequency Identification Technology)
RF-PECVD	: Radyo Frekansı-Plazma Geliştirilmiş Kimyasal Buhar Biriktirme (Radio Frequency- Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition)
RIA	: Robotik Endüstriler Birliği (Robotic Industries Association)
ROS	: Robot İşletim Sistemi (Robot Operating System)
RSS	: Alınan Sinyal Gücü (Received Signal Strength)
RT	: Reaksiyon Süresi (Reaction Time)
RT	: Yankı Zamanı (Reverbatation Time)
RULA	: Hızlı Üst Ekstremitte Değerlendirmesi (Rapid Upper Limb Assessment)
SAFER-HRC	: Resmi Doğrulama Yoluyla Güvenlik Değerlendirmesi (Safety Assessment Through Formal Verification In HRC Applications)
SD	: Emniyet Mesafesi (Safety Distance)
SEA	: Seri Elastik Aktüatör (Series Elastic Actuator)
SIL	: Güvenlik Bütünlüğü Seviyesini (Safety Integrity Level)
SMF	: Akıllı Mini Fabrika (Smart Mini-Factory)
SRP/CS	: Kontrol Sisteminin Güvenlikle İlgili Kısmı (The Safety Related Part Of A Control System)
STAMP	: Sistem Teorik Kaza Modeli Ve Süreci (Systems Theoretic Accident Model and Process)
STPA	: Sistem Teorik Süreç Analizi (System Theoretic Process Analysis)
UC	: Güvenli Olmayan Bileşen (Unsafe Components)
UML	: Birleşik Modelleme Dili (United Modelling Language)
VC	: Sanal Devreye Alma (Virtual Commissioning)
VSA	: Değişken Sertlik Aktüatörü (Variable Stiffness Actuator)
WPAN	: Kablosuz Kişisel Alan Ağı (Wireless Personal Area Network)
WSN	: Kablosuz Sensör Ağı (Wireless Sensor Networks)

1.GİRİŞ

Çin'in üretim imkanlarının bütün dünya ile birlikte Avrupa ve ABD'yi de etkilemesi üzerine Almanya 2011'de Hannover Fuarı'nda Endüstri 4.0'ı gündeme getirmiş, 2012'de de Alman Robert Bosch GmbH ile Henning Kagermann çalışma gruplarının hazırladıkları dosyaları Alman Hükümetine iletmeleri üzerine 4.Sanayi Devrimi/ Endüstri 4.0 resmen başlamış, ABD, Japonya ve Avrupa ülkeleri bir araya gelerek Çin'e karşı 4. Sanayi Devriminin ilk adımlarını atmışlardır.

Akıllı fabrikalar, nesnelerin interneti (IoT), 3D printer, haberleşen- birbirleriyle konuşan makineler ve kolaboratif robotlar gibi çeşitli sloganlarla yola çıkan Endüstri 4.0'ın en önemli yeniliklerinden biri de kafesler içerisinde, çitlerin arkasında yalnız başına çalışmaya zorlanan robotların kafeslerinden çıkmalarına izin verilmesiydi. Kalifiye programcılar tarafından programlanabilen bu çok pahalı akıllı makineler artık insanlarla birlikte çalışabileceklerdi.

Bu çok pahalı akıllı makineler, aradan geçen yaklaşık 10 yıl içerisinde herkes tarafından kolaylıkla programlanabilen, isteyen KOBİ'ler tarafından bile rahatlıkla satın alınabilecek, esnek ve rutin işleri başarıyla yapabilecek hale gelmişlerdir. Kendilerine ayrılan güvenli çalışma alanında insanlarla birlikte çalışmalarına da izin verilen bu akıllı makinelerin iş birlikçi görevleri sırasında, operatörlerle yakın ilişkileri nedeniyle her iki tarafın olası istemsiz hareketleri, ezilme, sıkışma, yaralanma veya kemik kırılmasına neden olduğu gündeme gelince, daha önce mevcut geleneksel robotlar için hazırlanan standartların yetersiz kaldığı ve yeni teknik düzenlemeler yapılması gerekmiştir.

Geleneksel robotlar kendi başlarına çalışıyor ve izin verilmediği takdirde çalışma alanlarına da girilemiyordu. Kolaboratif robotlar ise birlikte çalıştıkları insanlara destek veriyor bazı proseslerde de onlarla iş birliği yaparak süreci sürdürüyorlardı. Bu iş birliği nedeniyle kendilerine Kolaboratif Robot /Kobot veya İşbirlikçi robot adı verilen bu akıllı makinelerin, insanlarla olan iş birliğinin daha güvenli bir hale getirilmesi için çeşitli sınırlamalar (sınır değerler) belirlenmiş, gerek tasarım sırasında ve gerekse kobotların kullanılacakları sistemlere entegrasyonu sonrasında olası riskler ve tehlikeler için yapılması önerilen risk değerlendirmelerde kullanılacak öneriler ve sınır değerler, özellikle iş birlikçi robotlar için hazırlanan ISO/TS 15066'da yer almıştır. Bu teknik

şartname taslağında ayrıca, makine ve emniyeti ve güvenliği açısından referans alınması gereken ilgili standartlar da tavsiye edilmiştir.

Bu çalışmada iş birlikçi robotlar, uygulamalar, konuyla ilgili İSG bağlantıları, risk analizinde kullanılabilir geleneksel ve güncel risk analiz yaklaşımları hakkında bilgi verilmiştir.



2.GENEL BİLGİLER

2.1. İnsan Robot İş Birliği

Endüstri 4.0'ın başlamasıyla beraber yaklaşık 50 yıldır birçok uygulama kullanılan geleneksel endüstriyel robotlar yerlerini iş birlikçi robotlara devretmeye başlamışlardır. Aslında endüstriyel robotların bir devamı niteliğinde olan iş birlikçi robotlar, insanlarla birlikte hem onlara destek olacak, hem de onlarla iş birliği içerisinde birlikte çalışabilir olma özelliklerinden dolayı çok daha fazla tercih edilir olmuşlardır. Kobotların, geleneksel robotlar gibi kendileri için ayrılmış özel alanlar yerine, insanlara birlikte çalışabilir olmaları, yapacakları işi kolay öğrenmeleri ve programlamalarının endüstriyel robotlarda olduğu gibi, kalifiye programcılar yerine, bu konuda kısa bir eğitim almış kalifiye olmayan insanlar tarafından da yapılabilir olması onları birçok uygulamada daha çekici bir duruma getirmiş ve birçok uygulamada yaygın olarak kullanılabilir hale getirmiştir.

Kobotlar nispeten yeni bir teknoloji olmasına rağmen, bu onların kullanımı zor olduğu anlamına gelmez. Aslında, kobotlar geleneksel endüstriyel robotlardan daha kolay çalışacak şekilde tasarlanmışlardır. Yakın zamana kadar, robotlar ile bir süreç otomatikleştirilmek istendiğinde, tek seçenek endüstriyel robotlardı. Kobotların kullanımına başlayana kadar, çoğu insanın robotlar hakkında düşündüğü onların büyük, ağır ve pahalı yardımcı elemanlar olduğu idi.

Endüstriyel robotlar, otomotiv, havacılık ve tüketim malları endüstrilerinde olduğu gibi yüksek hacimli üretimin ihtiyaçlarını karşılamak için geliştirilmişti. Kobotlar, aksine, çoğu küçük ve orta ölçekli işletmelerde bulunan yüksek miktardaki değişik parçaların üretimi için tasarlandı. Aslında, endüstriyel robotlar ve kobotların birçok benzerliği mevcuttur. Kobotların sadece küçük ve orta Ölçekli İşletmeler için değil, birçok işletme için mükemmel bir uyum sağlayabilecek çeşitli avantajları vardır. (Tablo 1).

Kobotların en yaygın kullanım alanları aşağıda belirtilmiştir:

Makine desteği(yükleme), proses gereği kobot, işlenecek parçayı, makineye yükler ve işleme sonrası makineden alır, bu arada operatör kendisine verilen diğer görevleri yapmaya devam eder,

Kap ve yerleştirir, robot parçayı prosese dahil herhangi bir makineden veya banttan alıp, bir sonraki işlem yapılmak üzere sistemdeki başka bir makineye koyar veya ambalaj prosesinde parçaları veya ürünleri kutulara yerleştirir,

Montaj, robot, düşük el becerisi gerektiren basit parça montaj görevlerini yerine getirir, robot basit montaj işlerini tamamladıktan sonra, montajı tamamlanacak olan parça robot tarafından başka bir alana alınır, operatör bu alanda montaj işlemini tamamlar,

Kalite kontrol, robot kalite kontrolü yapılacak parçayı test konsolu üzerine koyar, işlem tamamlandıktan sonra parçayı oradan alınarak kendisine verilen görev doğrultusunda başka bir yere koyar,

Diğer hafif yüklü uygulamalar, robot, temel paketleme, bitirme, yapıştırma ve diğer benzer görevleri yerine getirir. Kobotlar, büyük bir el becerisine ihtiyaç duyulmadığı sürece, insanların yaptığı görevlerin birçok kolay, sıkıcı, tekrarlayan ve katma değeri düşük işleri yapabilir.

Tablo 1: Endüstriyel robot ve kobotların faydalarının karşılaştırılması (Getting Started With Collaborative Robots, t.y.)

	Endüstriyel Robotlar	Kobotlar
Parçaların hareket etmesi	✓	✓
Rota takibi	✓	✓
Uzun süreli otonom şekilde çalışma	✓	✓
Üretkenliğin ve ürün kalitesinin artırılması	✓	✓
İşçilerde kas/iskelet yaralanmalarının azalması	✓	✓
Güvenlik için sensör ve/veya kafes gereksinimi	✓	
Entegrasyon için kapsamlı robotik bilgisi gereksinimi	✓	
Çok yer kaplar	✓	
Pahalıdır	✓	
Programlana kolaylığı/ uzmanlık gerektirmeme		✓
Mevcut çalışma alanına yerleşim kolaylığı		✓

Tablo 1: Endüstriyel robot ve kobotların faydalarının karşılaştırılması (devam)

Yeni görev için yapılandırma kolaylığı		✓
Bir görevden diğerine geçiş kolaylığı		✓
Hızlı kurulum		✓

Hangi işlemlerin kobotlar tarafından yapılacağına karar vermek: Robot ve buna ilişkin çalışma hücresi çalışmalarına başlamadan önce, daha önce insanlar tarafından yapılan hangi işlerin ne amaçla otomatik hale getireceği konusunda karar vermek gereklidir. Otomatik hale getirilmek istenen iş robot için uygun olmayabilir veya süreç özellikleri nedeniyle robot istenen verimden çok uzakta kalabilir.

2.1.1. İşletmede robotla yapılacak ilk otomasyon girişiminde dikkat edilmesi gereken hususlar

Yapılacak İşin Fizibilitesi: Belirli bir görev otomasyon için iyi bir aday gibi görünse de (belki de sıkıcı ve tekrarlayan olduğu için), kobot için en uygun olmayabilir. Bunun da nedeni, kobot ve insanların farklı yeteneklere sahip olmalarıdır, bazı işler insanlar için çok kolay olmasına karşın, o işler robotlar için oldukça zor olabilir, bu savın tam tersi de geçerlidir, bazı durumlarda insanların yaptıkları işlerde çeşitli nedenlerle tam bir verim alınmaz iken aynı işi robot/kobotların yapması durumunda son derece farklı sonuçlar alınabilir.

Herhangi bir işletmede başarıyla kullanılacak kobotun, iki ana özelliğinin olması gerekir:

- Yüksek düzeyde öngörülebilir,
- Tekrarlanabilir,

Yapılacak birçok işte bu iki özellikten biri mutlaka vardır, örneğin pizzacıdaki iş yüksek düzeyde tekrarlanabilir bir iştir, proses sonunda üretilen ürün pizza olmasına karşın, pizzada kullanılan malzeme ve soslar değişkenlik gösterebilir. Ancak bir legonun parçalarının birleştirilmesinden söz ettiğimiz zaman, yapılan işin sonunda elde edilecek ürün öngördüğümüzden farklı olmayacaktır. Bu nedenle kobota yaptırmayı düşündüğümüz işin yüksek düzeyde öngörülebilirlik ve tekrarlanabilirlik özelliklerine sahip olması gerekir.

Görevin Öngörülebilirliği: Manipüle edilecek nesnelere her zaman aynı olduğunda ve her zaman aynı yere geldiğinde görevler rahatlıkla tahmin edilebilir.

Öngörülebilir görevlerin bazı özellikleri:

- Sıralı nesnelere, her zaman aynı sırada işlem gören bir dizi malzeme, kobot bu işi sürekli tekrarlayabilir,
- Benzer nesnelere, aynı veya çok benzer boyutlara, ağırlık aralığına, fiziksel forma sahip nesnelere. Bu, takım veya tutucuları değiştirmeye gerek kalmadan ürünler arasında hızlı değişiklikler yapılabilmesini sağlar.
- Düzenli nesnelere, küçük değişikliklere sahip nesnelere. Doğru tutucu seçimi ile bazı düzensizliklere kobot halledebilir, ancak normal nesnelere çalışmak çok daha kolay olacaktır.
- Düzenli parça sunumu, nesnelere bilinçli olarak, tutarlı bir şekilde düzenlenmiştir. Matrisler ve işlem görecekt parçaların içinde bulunduğu tepsiye genellikle parça sunumu için kullanılır, sabit matrisleri içeren işlemler otomatikleştirmenin en kolay yoludur, tepsiye olduğu gibi kobot boş tepsiyi çıkarmak ve parçaların tekrar seçilmesi için aynı noktaya yeni bir tepsi getirmek için programlanabilir.

Görevin Tekrarlanabilirliği: Görevin adımları her seferinde aynı olduğundan ve defalarca tekrarlanabilir.

- Tutarlı Çalışma: Görev, işlem görecekt parti içerisindeki nesnelere ile nesnelere içeren partiler arasında büyük farklılıklar göstermez,
- Uzun Süreli Çalışma: Operasyon birçok kez tekrar edeceğinden, tek bir seferlik sorun çıkaran işlemi otomatikleştirmek mümkün değildir,
- Yüksek talepli operasyon: Otomasyona en uygun operasyonlar, sürekli olarak büyük miktarda aynı işler yapılır.

Uygulaması Kolay Üç Kobot Görevi aşağıda belirtilmiştir:

Makine Desteği/ Yükleme: Makine yükleme veya makineye destek, en yaygın kullanılan kobot görevlerinden bir tanesidir. Bu görev için robota karmaşık bir programlama yapmaya ihtiyaç yoktur, diğer ekipmanlarla da iletişim kurmaya gerek olmayan bu yöntemde, sistem fazla sensör içermez. Daha çok CNC makinelere, kalite test cihazlarına veya üç boyutlu makinelere parça yükleme veya işlenen parçanın

makineden alınması işlerinde tercih edilirler. Klasik yöntemlerde bu işleri operatör yaparken yükleme ve boşaltma işlemleri arasında makine başında işin bitmesini bekler, bu işin kobot tarafından yapılması durumunda, katma değeri olmayan bir iş ortadan kaldırılmaktadır.

Seç/Kap ve Yerleştir: Kobotların kullanıldığı en yaygın ikinci kullanım alanlarıdır, ek bir sensöre gerek kalmaksızın, daha çok benzer geometrik şekilli nesnelerin belirli bir yerden alınarak istenen form veya adetlerde başka bir konumda dizilmesi veya paketlenmesi işlerinde kullanılır.

Dağıtım İşi: Herhangi bir ambalaj malzemesi üzerine etiket yapıştırma veya etiket yazma işleri, rutin işlerin kaldırılması, hızlandırılması ve de hep aynı formatta yapılması açısından kobotlar tarafından başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Robot efektörüne verilecek bir komutla, istenen bir yol üzerinde belirli zamanda aynı hareketlerin yinelenmesi şeklinde gerçekleştirilir. Bu yöntemde de ek bir sensöre gerek yoktur.

Ekstra Sensör Gerektiren İşler:

Bitirme İşlemleri (Kuvvet Sensörleriyle): Son işlem, bir son işlem aracını (cılalama ucu gibi) bir ürünün yüzeyi üzerinde/ parlatmak üzere hareket ettirmek için robotun kullanılmasını içerir. Bu işlem genellikle bir kuvvet sensörü gerektirir, çünkü parlatıcı takım yüzeye sabit bir basınçla uygulanmalıdır. Bir kuvvet sensörü kullanılması gerekiyorsa, Kuvvet sensörü robota dakikalar içinde bağlanabilir, bu da entegrasyonu geçmişte olduğundan çok daha kolay hale getirir.

Montaj (Kuvvet Sensörleriyle): Montaj işleri çok çeşitli şekillerde yapılabilir, ancak çoğu zaman montaj sırasında parçaların birleştirilmesi sırasında kontrollü bir kuvvet uygulanması gerekir, bunun için de robota eklenecek bir kuvvet sensörü bu konuda yardımcı olacaktır.

Al/Kap ve Yerleştir (Görüş Sensörleriyle): Alma ve yerleştirme uygulamaları, nesnelerin konumunu ve yönünü algılamak için bir görüntü sensörü ekleyerek daha esnek hale getirilebilir.

2.1.2. Otomasyon Zorlukları Yaratan Yedi Faktör

Robotların herhangi bir uygulamada kullanılabilmesi için yedi faktörün incelenmesi gereklidir, aksi takdirde bu robotların istenen koşullara getirilmesi daha çok enerji, emek, zaman ve finans maliyetine neden olacaktır. Bu faktörler ilk başta basit görünse de, üzerlerinde detaylı çalışılmadığı takdirde, hızla çeşitli risk, tehlike ve sorunlara neden olabilirler. En iyi strateji, küçükten başlayarak ve zaman içinde daha karmaşık projelere doğru yol almaktır.

- 1) **Yapılandırılmamış Parça Sunumu:** İnsanlar için, gelişigüzel bir arada olan nesnelere yerinden almak, onları kovaya atmak ve attığımız yerden tekrar almak çok kolay olabilir, ancak robotların her ne kadar gelişmiş bir algılamaları mevcutsa da, nesnelere doğru ve risksiz bir şekilde alabilmelerini sağlamak için düzgün bir yapılandırmaya ihtiyaçları vardır.
- 2) **Yaygın Olarak Farklı Nesnelere:** Robotlar, birden fazla nesneyi fark edip, buna göre bir yerden alıp başka bir konuma aktarabilirler, farklı geometrik şekilli malzemelerde bu daha kolaydır, ancak benzer şekilli malzemelerde bu sorunun çok iyi incelenmesi gerekir,
- 3) **Konveyörler:** Fabrika otomasyonunda yaygın olarak kullanılan konveyörler, prosese girecek ürünleri robotun hizmetine sunmak için çok tercih edilen ekipmanlar içerisinde yer alırlar. Hareketli nesnelere tespit etmek için genellikle bir görme sistemi veya parça algılama sensörleri eklenmesi gerekir, robotun doğru konuma taşınması ve hareketli nesnelere kavraması için gelişmiş bir programlamaya ihtiyaç vardır.
- 4) **Kompleks/Karmaşık Algılama:** Her zaman, her konumda ve her sensörle nesnelere algılamak kolay değildir, sensörün mutlaka proses koşullarını inceleyerek seçilmesi gereklidir. Örneğin, nesnelere 3D modellerini ve robotun ortamını oluşturan yeni sabit lazer ışık kamera sistemleri ile hem bir nesneyi 3D olarak tespit etmek hem de en iyi kavrama konfigürasyonunu hesaplamak mümkündür. Gerçek çalışma koşullarında, mümkünse minimal düzeyde sensör kullanılmaya çalışılmalıdır.
- 5) **Diğer Makinelerle Entegrasyon:** Bazı durumlarda, prosesi yürütmek için robotu birden fazla makine ile entegre etmek gerekebilir. Geleneksel endüstriyel robotlarda oldukça karmaşık ve emek isteyen bu işlem yeni nesil iş

birlikçi robotlarda oldukça basite indirgenmiş bir işlemle rahatlıkla çözülebilmektedir. Bir makineye yükleme veya boşaltma yapmak için görevlendirilecek bir robot, aynı arayüzü kullanmaları koşuluyla, uzaktan kumandayla veya kablolu olarak çok kısa bir zamanda diğer makinelerle akuple edilebilir.

- 6) **Mantık:** İnsanlar doğal problem çözücülerdir. Bir şeyi yana yatmış durumda görürsek, hemen onu düzeltiriz. İnsanlar mantıklarını kullanarak, cisimleri tutarken veya kavırken çeşitli tepkiler gösterirler. Ancak robotlar, programlarında kendilerine neler öğretilmişse o kadarını yapabilirler, robota daha fazla yetenekler öğretmeye çalışmak onun programını daha da karmaşık hale getirir. Robotlara verilen komutlar mutlaka kesin olmalı ve tereddüte imkan vermemelidir.
- 7) **Gelişmiş Kuvvet Kontrolü:** Robotun düz bir çizgi üzerinde hareket etmesini sağlamak çok kolaydır, ancak robotun hareketi boyunca bir kuvvet uygulamasını istemek çok daha zor ve karmaşık bir program gerektirir. Uygulama sırasında robota daha gelişmiş kuvvet kontrolü türleri karmaşık bir program olduğundan, risk değerlendirme sırasında bu noktaların çok ayrıntılı irdelenmesi gerekecektir.

2.1.3. Bir Kobot Dağıtım Ekibi Oluşturma

Robotları bir işyerine sokmanın en büyük zorluklarından biri, çalışan ekibin robotun işleri ellerinden alacağı korkusunun yenilmesidir. Halbuki robot kullanmanın amacı, insanları işsiz bırakmak değil, monoton ve tekrarlayan işleri ortadan kaldırmak, tehlikeli işlerden insanları korumak ve çalışanları katma değeri daha yüksek işlere yönlendirmektir. Bu da üretkenliği, kaliteyi, refahı ve işçinin moralini daha çok artıracaktır. Çalışanlara, bu robotlarla beraber iş birliği yapması gerektiği, bu iş birliği sonucunda ortaya çıkan sonuçların daha dakik, hatasız ve tekrar eden işler için hepsinde aynı kaliteyi sağlayacak şekilde çıktılarının oluşacağı ve sağlıkları için riskli olan ortamlarda sağlıklarını dahi koruyabilecekleri bilgisi verilmelidir. Robot veya kobotların ilk kez kullanılacağı işyerlerinde küçük timler kurarak çalışanlara robotları sevdirecek eğitimler verdirilmelidir. Aksi takdirde robotların işlerini ellerinden alacağını düşünen çalışanlar hem onlarla beraber çalışma konusunda çekimser davranacak hem de kötü

niyetli olanlar robotların çalışmasını engelleyici, belki de kazalara neden olabilecek girişimlerde bulunacaklardır.

Ekip Üyelerinin Oluşturulması:

Başarılı bir kobot ekibi aşağıdaki alanlarda uzmanlaşmış ekiplerden oluşmalıdır;

1. Robotiks (Robotbilim),
2. Proje Yönetimi,
3. Üretim Prosesi,

Kurulacak ekip, Tablo 2’de belirtilen on görevi yerine getirebilecek nitelikteki üyelerden oluşmalıdır. Projenin büyüklüğüne göre ekipteki üyeler bu görevlerden birkaç tanesini üstlenebilir.

Tablo 2: Kobot ekibinin rolleri (Getting Started With Collaborative Robots, t.y.)

Üretim Müdürü	Programlayıcı
Proje Lideri	Operasyon ve Bakım İşçisi
Proje Koordinatörü	Süreç Danışmanı
Mühendis	Satın Alma Uzmanı
Kurucu	Sürekli Gelişim Uzmanı

2.1.3.1. Kobotların Yararları

İşletmede, özellikle bir robotun ilk olarak devreye girmesi aşamasında, çalışanların, iş kaybı, teknolojik belirsizlikler ve projenin başarısız olacağı konusunda çeşitli endişeleri olabilir. Bu endişelerin projenin başlangıcı sırasında ele alınması, daha ilerdeki aşamalarda gündeme gelebilecek bazı önemli sorunların çözümünde yardımcı olacaktır, çalışanları da ikna etmek kolaylaşacaktır.

Kobotların üç önemli yararını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

1. Daha Fazla İş Güvenliği:

Birçok fabrikada insanlar robot gelince işlerini kaybedeceklerden endişelenmişlerdir. Halbuki kobotların devreye alındığı birçok tesiste işçiler işten çıkarılmadıkları gibi, daha fazla el becerisi ve insan zekası gerektiren, katma değeri daha yüksek işlerde görevlendirilmişlerdir. Uygulama başlatılan bazı tesislerde üretimin arttığı ve yeni işçi ihtiyacı ortaya çıktığı görülmüştür.

2. Daha Az İş Kazası ve Yaralanma:

İşbirliğine dayalı robotların en pratik avantajlarından biri, işyerindeki ergonomik sorunları iyileştirebilmeleridir. Robotların en başarılı oldukları uygulamalardan biri, işçilerin en çok yaralandıkları, tekrarlayan işlerdir. Tekrarlayan hareketler kas-iskelet sistemi bozukluklarına neden olabilir ve bazı endüstrilerde yaralanmalar nedeniyle birçok iş günü kaybedilir. 2007’de Avrupa Birliği’nde yapılan bir çalışmada, kayıp iş günlerinin %35’inin tekrarlayan hareketlerin neden olduğu kas iskelet rahatsızlıklarına neden olduğu saptanmıştır. Ergo-Plus’tan Matt Middlesworth tarafından kaleme alınan bir makalede ise ABD’de, 400,000 kişi, tekrarlayan hareketlerin neden olduğu kas iskelet hastalıkları nedeniyle tedavi görmüş, bunun da maliyetinin 20 milyar USD’den fazla olduğunu belirtmiştir.

3. Daha İlginç İşler:

Robotlar çoklu delik delme gibi sıkıcı işlerde çok iyidirler. Sürekli bir CNC makinesine parça yüklemek veya işlenmiş parçayı almak da sıkıcıdır, buna karşılık, kurulumlar, kalite denetimleri ve robot programlama, çalışanlar için çok daha teşvik edici görevlerdir.

Kimse sıkıcı görevleri yapmak istemez. Bununla birlikte, her görevin birisinin yapması gereken bazı sıkıcı ama gerekli işleri vardır. Bu işleri, süreç incelenerek tasarlanmış bir kobot rahatlıkla gerçekleştirebilir. Sıkıcı bu işleri robota verip çalışanlara da bu ayrıntılar anlatıldığı takdirde, işlerin motivasyonu da olumlu yönde artacaktır. Çoğu zaman, ilk uygulamadan önce çalışanlardaki robot korkusu, ilk robot çalışmaya başladıktan sonra hızla unutulur. İnsanlar, robotun işlerinde onlara ne kadar yardımcı olabileceğini çabucak fark ederler. (Getting Started With Collaborative Robots, t.y.)

2.1.3.2. Yönetim ve İşgücünün Biraraya Getirilmesi

Uygulama seçilip, ekipte yer alacaklar belirlendikten sonra, kobotun tasarım aşamasına geçilebilir. Ekip, tasarıma geçmeden önce, seçilen uygulamanın eksiksiz olarak doğru bir seçenek olduğu konusunda hemfikir olmalıdır, zira ileri zamanlarda çalışanlara da bu konuda açıklamalar yapmak gerekecektir. Tasarımın ilk aşamalarında, kobota ilişkin metrik değerler belirlenecek gerek yönetim ve gerekse çalışanların ikna edilmelerini kolaylaştıracak kilit bilgiler saptanarak bu bilgiler detaylandırılacaktır. Örneğin, yönetimin ikna edilebilmesi, kullanılacak robot üretimi coşturacak gibi belirsizlik belirten cümleler yerine, üretimi %20 artıracak, kalite standartlarımızı

geliştirecek fire oranlarımızı %7'den %2'ye indirecek veya bedelini bir sene sonunda ödeyecek gibi sayısal ancak kanıtlanabilir teklifler sunulmalıdır. Bunun için genelde sunulabilecek beş parametre şunlardır;

Kalite: İnsanlarda, genelde robotların en önemli özelliğinin hız olduğu düşünülür, halbuki robot veya kobotların en belirgin tarafı, her seferinde kendilerine verilen görevi eksiksiz, aynı zamanda ve aynı şekilde yapıyor olmalarıdır. Bu nedenle kobotların üretim yaptıkları sistemde, her bir ürün bir önceki üretilenle aynı kaliteye sahip olup, onunla aynı süre içerisinde üretilmiştir.

Verimlilik: Kobotların aynı üretim sisteminde kullanıldıkları zaman mutlaka üretimi artırma özellikleri vardır. Bu doğal olarak robotun insana göre daha hızlı çalışıyor olmasından kaynaklanabilir, ancak robotlar 7/24 hiç mola vermeden çalışabilme özelliğine sahiptirler. Bunun için de sayısal bir karşılaştırma yapabilmek için, manuel çalışmadaki net üretim süreçleri ile aynı işi kobotun yapması durumundaki süreçleri çok iyi hesaplamak gereklidir.

Yatırımın Getirisi: Kobotlarda genellikle yatırımın geri dönüşü geleneksel endüstriyel robotlara göre daha çabuktur. Bu sürecin otomatikleştirilmesiyle ilgili maliyetler ile üretimin artması, gelişmiş kalite, 7/24 kullanılabilirlik ve işçilik ücretinin kalkmasının karşılaştırması yapıldığında çıkan sayısal sonuçların ne kadar tatmin edici olduğu mutlaka hesaplanmalıdır. Bazı işletmelerde bu hesaplara, geleneksel anlamda yapılan işin sık iş kazası yaşanan bir bölüm olması ve ciddi iş kayıplarına neden olması durumunda, bu maliyetin de hesaplarda mutlaka yer alması gereklidir.

Zaman: Kobotlar, çalışanlarını üretken zamanını artırabilir. Yapılacak işin kobota devredilmesiyle birlikte, o bölümde çalışan operatör katma değeri daha yüksek bir iş yaparak üretkenliği artırabilecektir, diğer taraftan kobot hiç mola vermeden ve işi yavaşlatmadan çalışacağı için üretim de doğal olarak artacaktır. Bu aşamada sistemde daha az katma değeri olan işin daha iyi tespit edilmesi ve kobota yeni bir iş verileceği zaman yeni işe başlayana kadar geçecek hazırlık sürelerinin de doru hesaplanması gerekir.

Değer: İşletmelerde değer, müşterinin ödemek istediği her şeyi ifade eder. Bu, katma değer içermeyen tüm işlemlerin gereksiz olduğu anlamına gelmez. Ambalajlama gibi bazı işler yapılmalıdır. Bu görevleri kobotlara atayarak, bu işi yapanlar değer yaratan başka

işlemlere odaklanmalıdırlar. Üretim yönetiminde, üretim sürecinde üretim yapan her bir istasyon bir önceki istasyonun müşterisi olduğundan, sisteme kobot ilave edildiği durumda bu kobotun bir sonraki istasyon ile nihai müşteri için yaratılan katma değerini hesaplanması karar verme ve ikna süreçlerini de mutlaka etkileyecektir. (Kaynak: Getting started with collaborative robots series, t.y.)

2.1.4. Kobot Seçimini Etkileyen Ana Unsurlar

Gerek çalışanların ve gerekse yönetimin kobota geçilmesi konusunda bütün soruları cevaplanıp, endişeleri giderildikten sonra tasarım sürecine geçilebilir. Tasarım ilk aşamasında öncelikle, projenin kapsamı, roller ve sorumluluklar tanımlanmalı, zaman çizelgesi belirlenmelidir. Yapılacak görevin tanımı, robotun görevleri, robotun yerleşim planı ve hareket alanı tanımlandıktan sonra görevler ve yapılacak işler eşleştirilip kobotun çalışma hücresi detaylandırılır.

- 1) Kobot tasarımına geçmeden önce, otomasyona geçilmesi ve kobot kullanılmak istenen prosesin süreç analizi yapılmalı, mevcut yerleşim incelenerek, mevcut girdiler, çıktılar ve süreç detayları belirlenmelidir,
 - 2) Kobota devredilmesi düşünülen görevler belirlenmeli, çalışma hücresinde çalışacak robota ilişkin girdi-çıkıtı detayları çıkarılmalı,
 - 3) Mevcut durumdaki çalışma alanı ile kobotun çalışacağı iş birlikçi alanlar karşılaştırılmalı,
 - 4) Kobota verilecek görevler netleşip çalışacağı, yerleşim alanı belirlendikten sonra robot/sistem yatırımına ilişkin tüm yatırım harcamaları ve yatırımın geri dönüş süresi belirlenip tasarım işlemi başlatılır.
- Girdi: Robotun prosesi gerçekleştireceği nesnelere neler ve bunlar robota nasıl sunulacak,
 - Çıkıtı: Robotun çalışacağı alandan çıkacak ürün,
 - Proses: Robotik hücrenin gerçekleştireceği veya destekleyeceği katma değerli görevler,

Tablo 3: Kobot, efektör ve sensörlerin seçimi sırasındaki girdi özelliklerinin etkileri (Getting Started With Collaborative Robots, t.y.)

Girdi Özelliklerinin Kobot, Efektör ve Sensör Seçimine Etkisi		
Özellik	Etkiler	Varsayıma Dayanan Uygulama
Parça Düzenlemesi	<ul style="list-style-type: none"> • Programlama Seçenekleri • Sensörler 	Nesneler rasgele yerleştirildiğinden, onları izlemek için ek sensörler ve gelişmiş programlama gerekir.
Nesne Aralığı	<ul style="list-style-type: none"> • Nihai Efektör Boyutu 	Nesneler, kısa ve kalın bir kavrayıcının erişemeyeceği kadar yakın bir şekilde paketlenmiştir, bunun yerine dar uçlu kavrayıcı bir kısıkaç kullanılmalıdır
Teslimat Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> • Programlama Seçenekleri • Sensörler • Nihai Efektör Tipi • Kobot Tipi 	Nesneler bir taşıyıcı konveyör üzerinde kobota taşınır, kobotun hareketli nesneyi alabilmesi için karmaşık programlama gerekir.
Paketleme Yöntemi	<ul style="list-style-type: none"> • Nihai Efektör Tipi 	Nesneler kapalı kutularda paketlenmiştir, bu nedenle nihai efektör hem kutu kapağını hem de nesnelere kavramalıdır.

Tablo 4: Kobot ve nihai efektör seçimleri sırasında çıktı özelliklerinin etkileri (Getting Started With Collaborative Robots, t.y.)

Kobot ve Nihai Efektör Seçimleri Sırasında Çıktı Özelliklerinin Etkileri		
Özellik	Etkiler	Varsayıma Dayanan Uygulama
Nesne Boyutları	<ul style="list-style-type: none"> • Kobot Boyutu • Nihai Efektör Stroku 	200 mm bir küp 1 metre hareket etmesi için kavrayıcının stroku en az 200 mm ve kobotun erişim mesafesi 1 m olmalıdır.
Nesne Malzemesi	<ul style="list-style-type: none"> • Nihai Efektör Tipi 	Nesne bir köpük bloksa, nihai efektör bir vakum kabı olmamalıdır. (Aksi durumda kobot bloğu kaldıramaz.)
Nesne Ağırlığı	<ul style="list-style-type: none"> • Kobot Yüğü • Nihai Efektör Yüğü 	Nesne ağırlığı 5 kg ise kavrayıcının en az 5 kg taşıma kapasitesi olması gerekir - bu da kobotun gerekli yük kapasitesini etkiler
Nesne Tipi/Tipleri	<ul style="list-style-type: none"> • Nihai Efektör Tipi 	Kobot çıktıları çeşitli şekil ve boyutlarda parçalar olabilir bu nedenle uyarlanabilir bir tutucu gerekmektedir.
Gerekli Hız	<ul style="list-style-type: none"> • Kobot hızı 	Hücrenin her saat 150 parça üretmesi gerekiyorsa, kobot ve

	<ul style="list-style-type: none"> Nihai Efektör Hızı 	efektörün buna uyum sağlaması gerekir.
--	--	--

İşbirlikçi çalışma hücresi çıktısı, kobot ve efektör ucu seçimini etkiler.

Proses. Hücre süreci kobot, efektör ve programlama seçenekleri seçimini etkiler. Proses, aynı zamanda robotun boyutunu ve çalışma hücresi boyutlarını da etkiler, çünkü kobotun ihtiyaç duyduğu her şeye sahip olması gerekir.

Tablo 5: Kobot ve efektör seçimlerindeki hücre süreçlerinin etkileri ve programlama yöntemleri (Getting Started With Collaborative Robots, t.y.)

Kobot ve Efektör Seçimlerindeki Hücre Süreçlerinin Etkileri ve Programlama Yöntemleri		
Özellik	Etkileri	Örnek
Görev Tipi	<ul style="list-style-type: none"> Nihai Efektör Tipi 	Görev kaynak yapmaktır, bu nedenle kobotun nihai efektörü özel bir işlem takımı olmalıdır
Bileşenler arasındaki mesafe	<ul style="list-style-type: none"> Kobot Erişimi Hücre Boyutları 	Görev kobotun kendisinden 1 metre uzaklıktaki bir düğmeye basmasını gerektirdiğinde, kobot'un en az 1 metre erişim mesafesi olması veya düğmeye yaklaştırılması gerekir
Görev karmaşıklığı	<ul style="list-style-type: none"> Programlama Seçenekleri 	Robotik beceriler gibi kolay programlama seçenekleri, karmaşık görevlerin zorluğunu azaltabilir
Arayüz gereksinimleri	<ul style="list-style-type: none"> Programlama Seçenekleri 	Görev, robotun diğer makinelerle arayüz oluşturmasını gerektirmesi durumunda programlama daha karmaşık olacaktır.

Tablo 5’de kobotun görev haritasını hazırlamak için gerekli ana hatlar mevcuttur.

2.1.5. Kobot Tasarımında Üzerinde Durulan Temel Özellikler

Yük: Yük, bir kobot'un güvenli bir şekilde işleyebileceği/taşıyabileceği ağırlık miktarını ifade eder. Yakın zamana kadar, kobotlar sadece nispeten hafif nesnelere için kullanılıyorlardı. Son yıllarda daha ağır malzemeler için kullanılabilen robotlar üretilmeye başlandı. Robot tasarımında, kaldırma gücü hesaplanırken, mutlaka robot kolu ucundaki tutucu ağırlığının da hesaba katılması gerekir.

Kolun Uzanma Mesafesi: Reach, robotun uç efektörünün tabanından uzaklaşabileceği maksimum yatay mesafeyi ifade eder. Genellikle robotlar büyüdükçe uzanım mesafesi de artar. Ancak, kobotun uzanma mesafesi arttıkça üretim sahasında işgal ettiği alan da daha

fazla olacaktır. Robotik haritanın oluşturulması sırasında, robotun çalışacağı alandaki mesafelerin de hesaplanması gerekir.

Tekrarlanabilirlik: Tekrarlanabilirlik genellikle doğruluk veya hassasiyet ile karıştırılır. Geleneksel endüstriyel robotlarda, hem tekrarlanabilirlik hem de doğruluk önemlidir, ancak kobotlarda kalitenin de sürekliliğini sağlamak ve her seferinde aynı üretim verilerini almak açısından tekrarlanabilirlik son derece önemlidir. Tekrarlanabilirlik, robotun her seferinde aynı konuma geri dönme yeteneğini ifade ederken, doğruluk, robotun belirli bir programlanmış konuma geçme yeteneğini ifade eder.

Doğruluk o kadar önemli değil çünkü kesin koordinatları yazmak yerine, uç efektörü fiziksel olarak istenen konuma (örneğin elle yönlendirerek) taşıyarak kobotları rahatlıkla programlayabiliriz. Ancak burada önemli olan, kobotu elle hareket ederek bir konuma getirdiğimizde, bu hareketi sürekli olarak tekrar edebilme yeteneği olmalıdır. Bir kobotun tekrarlanabilirliğini mekanik duruşlar veya kuvvet algılama yoluyla geliştirmek mümkündür.

Programlama Kolaylığı: Kobotların en önemli avantajlarından birisi de kolay programlanabilir olmalarıdır. Programlaması kolay olan bu robotlar daha kolay yaygınlaşacak ve programlama konusundaki eğitimler çok kısa sürede tamamlanabilecektir. Ayrıca programlamayı yapabilen operatör sayısının fazla olması, programlamada gündeme gelebilecek riskleri de minimal düzeye indirecektir.

Güvenlik: Kobotlar, insanlarla birlikte güvenli bir şekilde çalışmak üzere tasarlanmışlardır, ancak her üreticinin ürettiği kobot için güvenlik tanımı aynı olamayabilir. Ancak herhangi bir kobotun, güvenlikle ilgili olarak aşağıdaki asgari kriterleri içeriyor olması gerekir.

- Hangi güvenlik standartlarına uymaktadır (örneğin, ISO / TS 15066, TÜV sertifikası),
- Hangi güvenlik özelliklerini içerir (örneğin, darbe algılama, sınırlı motor gücü, yumuşak dış yüzey),

Kobot güvenliğinin en açık göstergesi, güvenli iş birlikçi robot uygulamaları için önerileri özetleyen ilk teknik şartname olan ISO/TS15066'ya uymaktır. Bir robotun belirli sertifikalara veya güvenlik özelliklerine sahip olması, uygulamanın her zaman güvenli olduğu anlamına gelemez. Sonradan seçimi yapılacak, son efektörler, aksesuarlar

ve doğal olarak güvenliği etkileyecektir, bu nedenle her zaman bireysel ve nihai risk değerlendirmeleri yapılmasında yarar vardır.

Diğer Yararlı Özellikler: Her ne kadar, kobot tasarımında yukarıda belirtilen beş özellik çok önemli ise de, bazı uygulamalarda kullanılacak kobotların tasarımında aşağıdaki kriterlerin de üzerinde durmak gerekir. (Owen, 2016)

Ağırlık: Kobotun ağırlığı yerleşimi açısından önemlidir. Örneğin, hafif bir robot işletme içerisindeki bir masaya veya makinenin üzerine monte edilebilir, robota zarar vermeden robot bir operatör tarafından rahatlıkla başka bir konuma taşınabilir. Ancak ağır bir robot, üretim sırasında herhangi bir sarsıntı, titreşim ve yıkılma olmayacak şekilde zemine veya kaideye sağlam bir şekilde sabitlenmelidir, bu durumda da işletmenin farklı bir bölümüne taşınması ve orada çalışır duruma getirilmesi çok kolay değildir.

Hız: Bütün robot üreticileri, hızlarını mesafe olarak metre/sn veya dönüş olarak derece/sn olarak projelerine koyarlar. Geleneksel endüstriyel robotlar için hız ön planda gelirken, kobot üreticileri, kobotun diğer özellikleri hızdan daha önemli olduğundan, şartnameye hız değerlerini koymaya bile gerek görmezler. Aslında kobotlar insanlarla birlikte çalıştıkları için güvenlik açısından hızın düşük olması çok daha iyi olabilir ancak, kobotun döngü süresinin kısa olması hız değerlerinden daha önemlidir.

İvme/Hız Değiştirme Yeteneği: İvme, bir robotun tam hıza ne kadar hızlı ulaşabileceğini belirler. (Genellikle hem hız hem de hızlanma ayarlanabilir). Yüksek hızda olduğu gibi, çabuk hızlanma da tehlikelidir, bu nedenle bu özellik geleneksel endüstriyel robotlar için kobotlardan daha önemlidir. Kobot ivmesi yavaş, yumuşak ve sabit olmalıdır—asla keskin olmamalıdır—ve yakındaki insanlara robotun hareket ettiğini fark etmek için yeterli zaman vermelidir.

Serbestlik Dereceleri (DoF/Degrees of Freedom): Serbestlik dereceleri veya DoF, robotun temel bir özelliğidir. Bir robotun uç efektörünü konumlandırmak için ne kadar esnek olduğunu gösterir. SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) robotları gibi bazı göreve özgü kobotlar, son efektörün yönünü sınırlayan 5 veya daha az DoFye sahiptir. Diğerleri 7 veya daha fazla DoFye sahiptir, bu da daha fazla konumlandırma esnekliği sağlar, ancak aynı zamanda daha karmaşık programlama gerektirir. Ancak, çoğu kobotun, son efektörün herhangi bir oryantasyona ulaşması için

gereken minimum 6 DoF'si vardır. Bu nedenle, DoF genellikle bir kobot seçerken belirleyici bir faktör değildir.

Çevresel Özellikler: Robotunuz sıvılarla sıçraması, tozla kaplanması veya diğer çevresel koşullardan etkilenme riski altındaysa, giriş Koruması (IP) derecesi önemli bir özelliktir. IP derecelendirmesi, robotun çevresel tehlikelere dayanma yeteneği ve ekstra koruma gereği hakkında bir fikir verir.

Robot Ömrü: Üreticiler, değişen çalışma koşulları çerçevesinde bir kobot ömrünün 30.000 ile 35.000 saat civarında olduğunu kabul ederler, bu da yaklaşık 4 ile 4,5 yıla karşılık gelmektedir. Ancak, CNC makinelerin yükleme işinde görevlendirilen robotlardan 10 yılı aşkın süredir servis verilenlerin sayısı azımsanamayacak kadar çoktur. Kobotların diğer önemli bir avantajı da kolay programlanabilir olmasıdır.

En İyi Son Efektör Nasıl Seçilir: Çoğu kobot kendi son efektörleriyle satılmaz. Nihai efektörlerin kobotların kullanılacakları uygulamalara göre seçilmesi gerekir.

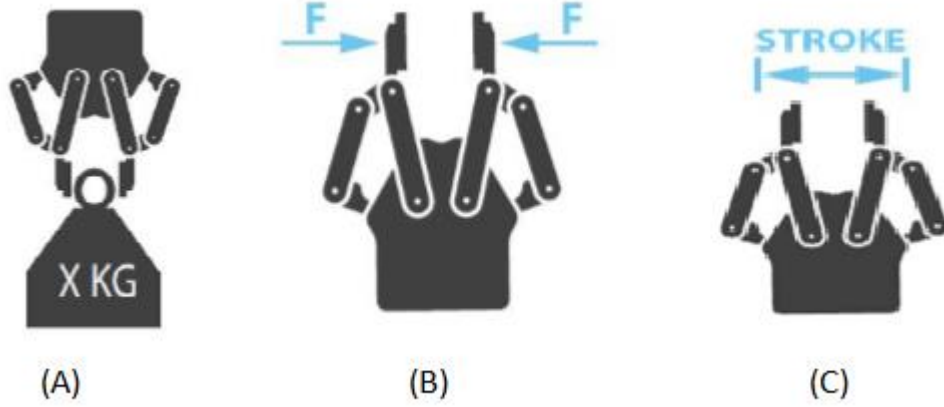
Nihai Efektör Tipleri: Aslında kullanılacak uygulamalara göre birçok çeşit nihai efektör mevcuttur, en yaygın kullanılanları;

- Tutucu, Çok amaçlı uç efektörler çoğu uygulama için uygundur (toplama ve yerleştirme, makine bakımı ve montaj dahil),
- Proses Takımları, Boya tabancaları, kaynak ataşmanları ve freze uçları gibi. Bunlar doğrudan iş parçası üzerinde çalışmak için kullanılır,
- Sensör ve kameralar, Teknik olarak bunlar aslında “son efektörler” olmasa da robotun kolunun ucuna bağlanırlar ve robota gelişmiş algılama yeteneği kazandırılırlar,
- Özel Uçlar, Müşteri isteği üzerine belli görevi yerine getirmek için üretilmiş uçlar,

Tutucular İçin Beş Önemli Özellik:

1. **Yük:** Kobotun tutabileceği/ kaldırabileceği maksimum yük ağırlığını ifade eder. Proses gereği tutucu ya malzemeyi tamamen kavrar ya da parmak uçlarıyla sürtünme kuvvetinden de faydalanarak, prosese devam eder. Robot kolunun kaldırma gücü 100 kg olsa bile eğer uç elemanın yani tutucu kollarının kavrama/tutma gücü 5 kg ise bu çalışma hücresinin kaldırma gücü 5 kg ile sınırlandırılmış demektir. **(Resim 1 (A))**

2. **Kuvvet:** Kavrama kuvveti, tutucunun bir nesneye uygulayabileceği sıkma kuvvetini belirtir. Nesneyi parmaklarının arasında tutan tek kuvvet budur. Ağır ve dayanıklı malzemeler için kuvvetin yüksek olmasında bir sakınca yoktur, ancak ağır olmayan veya kırılğan malzemelerde kavrama kuvvetinin düşük olmasına dikkat edilmelidir. Maksimum kavrama gücü tutucu parmaklarının uzunlukları ile de ilgilidir, bazı durumlarda uzun veya geniş parçaların kavranması istendiği durumlarda, özel parmak tasarımlarıyla, uygulanan kuvvet azaltılır. Ayarlanabilir kuvvet tutucular ile daha az kuvvet uygulanarak daha büyük kavrama değerleri elde edilebilir. Örneğin, bazı firmaların ürettiği ayarlanabilir tutucular ile daha küçük kuvvetler uygulayarak 0,92 N'dan 235 N'a (Informatiq firmasının 2F-85 tutucuları gibi) kadar değerler elde edilebilir. Ancak her firmanın ürettiği tutucularda bu özellik bulunamayabilir. **(Resim 1 (B))**
3. **Strok:** Tutucu ucundaki parmaklar arasındaki tamamen açık ile tamamen sıkıştırılmış durumlar arasındaki mesafeyi gösterir. Tutucu seçilirken, proses gereği kavranacak parçaların genişliğine göre seçim yapılır. 50 mm'lik bir strok, tutucunun 0 ile 50 mm arasındaki parçaları kavrayabildiğini belirtir. **(Resim 1 (C))**
- 4) **Ağırlık:** Robotun kapasitesi 5 kg ve tutucu ağırlığı 0,8 kg ise, robot tutucu kombinasyonu ancak 4,2 kg'lık parçaların prosesinde kullanılabilir demektir.
- 5) **Enerji Kaynağı:** Tutucunun enerji kaynağı, kullanabilecek kobotun türünü etkileyebilir. Robot, elektrik, pnömatik, manyetik, vakum veya hidrolik gibi bir tutucunun belirli enerji kaynağı ile uyumlu değilse, bunları birlikte kullanılabilmesi mümkün değildir. Bazı kobotlar önceden bağlı elektrikli veya pnömatik konektörlerle birlikte gelir. Bu, bu tip tutuculara daha uygun olacağı anlamına gelir. Genel olarak, elektrikli tutucular pnömatik olanlardan daha esnektir, çünkü ayrı bir basınçlı hava kaynağı gerektirmezler. (Owen, 2016)



Resim 1: Tutucu (kıskaç) çeşitleri ve özellikleri

2.1.6. Doğru Sensörlerin Seçilmesi

Günümüzde kullanılan birçok kobot, parçaları daha doğru tespit edebilmek için görme algılamasına ihtiyaç duyar. Robotik sisteme karmaşıklık eklemekten aynı etkiyi elde etmenin daha kolay yolu yoksa mutlaka görme algılaması olan sensörler kullanılmalıdır. Basit uygulamalarda belki hiçbir sensöre gerek olmayabilir ancak operasyon karmaşıklığına göre çeşitli özelliklerde sensör kullanmak gerekecektir. Sensör ilavesi bazı durumlarda sistem sadeleşmesini sağlarken, yanlış sensör seçimi sistemi daha karmaşık hale getirebilir. Ancak doğru seçilmiş her sensör uygulamayı daha sağlam ve güvenilir hale getirecektir. Sağlamlık bir esneklik biçimidir, planlanan değişikliklere uyum sağlama yeteneğini ifade eder. Örneğin, bir robota bir görüş sensörü eklediğinizde, kobotun rastgele yönlendirmelerde sunulan nesnelere algılama ve yakalama yeteneği artar. Sistem tasarımı sırasında, yeni bir sensör eklemek daha güvenilir bir çalışma ortamı oluşturabilir, ancak sistem biraz daha karmaşık hale geleceğinden, robotun entegrasyonu, programlaması ve bakımı zorlaşacaktır. Ayrıca, sensörlerin eklenmesi bazen sistemin çevikliğini (planlanmamış değişikliklere uyum sağlama yeteneği) azaltır, bu da kobotun bir görevden diğerine geçmesini zorlaştırır. Bu nedenlerden dolayı, genellikle yeni başlayanlar için kobot kullanıcılarının ek sensörler eklemelerini engellenir. Başlangıçta sistemi basit tutmaları ve fazla sensör kullanmamaları önerilir.

2.1.6.1 Sensör Tipleri

Robotlarla entegre edilebilen sensör türleri arasında barkod okuyucular, 3D Lazer tarayıcılar, ışık perdeleri, güvenlik paspasları ve fotoelektrik parça algılama sensörleri

sayılabilir. Sisteme yeni sensörler eklemek için aşağıdaki sorulara yanıt aramak yerinde olacaktır;

- Robotun hangi işlevleri önemli ise bu işleri önem sırasına göre sıralanmalı,
- Yeni eklenecek sensör, bu işlevlerin her birinin esnekliğini nasıl geliştirebilir?
- Yeni sensör, robotun genel çevikliğini hangi yollarla azaltabilir?
- Bu, sensörün farklı bir sürümü (örneğin farklı bir kamera sistemi) kullanılarak çözülebilir mi?
- Operasyonun başka bir bölümünün esnekliğini artırmak için sensörden başka hangi görevler de yararlanır?
- Esnekliğin bir işletmeye verebileceği en büyük avantajlar nelerdir?
- Robotun çevikliği üzerindeki etkisi işi nasıl etkileyebilir?
- Eklenecek sensör karmaşıklığı artıracığından güvenlik açısından herhangi bir sorun oluşturacak mıdır?

Ek sensörlerden yararlanabilecek uygulamalar; paletleme, makine destek, al ve yerleştir, dağıtım, parlatma/cilalama, montaj, kalite kontrol, kaynak, malzeme test olarak belirtilmektedir.

İş birlikçi Robotlar İçin En Çok Kullanılan 4 Sensör Tipi:

- Görme Sensörü,
- Kuvvet Sensörü,
- Parça Algılama Sensörleri,
- Kuvvet Sensörleri,

Her bir kobot üreticisi firma çeşitli uygulamalara için kendileri veya yan sanayileri aracılığıyla çeşitli sensörler geliştirmişlerdir, sensörlerin birbirlerine göre çeşitli avantajlı ve dezavantajlı yönleri mevcuttur. Görme sensörlerinin 2 ve 3 boyutlu olanları da kullanılacak uygulamalara göre seçilirler, bazı uygulamalarda sadece 2 boyutlu görüş sensörleri yeterli olurken, bazılarında ise güvenlik açısından mutlaka 3 boyutlu sensörlerin seçilmesi uygun olacaktır. 2 ve 3 boyutlu görüş sensörlerinin üstün yanları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Görme sensörü, kuvvet sensörü ve parça algılama sensörleri, güvenli bir iş birlikçi ortamın oluşturulmasına yardımcı olsalar da, daha çok üretimin sağlıklı yürümesi,

üretimde duruşların olmaması, bu duruşlardan dolayı üretimin aksamaması ve üretim kaybı olmaması için kullanılan sensörlerdir. İşbirlikçi ortamdaki güvenliğin sağlanması ve iş kazalarına neden olabilecek risklerin minimize edilmesi görevi daha çok güvenlik sensörlerinin iyi seçilmiş ve doğru çalışabiliyor olmalarına bağlıdır.

Parça algılama sensör tipleri; fotoelektrik sensörler, ultrasonik sensörler, lazer sensörler, endüktif sensörler, kapasitif sensörler, manyetik sensörler, mekanik sensörler ve güvenlik sensörleri olarak sınıflandırılmaktadır.

Görme, kuvvet ve parça algılama sensörlerinin aksine, güvenlik sensörleri robota fazla bir yetenek eklemesler. Bunun yerine, bir robotun insan işçileri için tehlike oluşturmamasını sağlamaya yardımcı olurlar. İşbirlikçi, robotlar insanlarla birlikte çalışmak üzere tasarlandıklarından, güvenlik sensörlerinin gerekli olmadığı düşünülebilir. Aslında güvenlik sensörleri, geleneksel endüstriyel robotlarda olduğu kadar hayati olmayabilir, ancak özellikle iş birlikçi çalışma alanında insan varlığının ve robota yakınlığının tespiti açısından oldukça önemli önemlidirler. Güvenlik paspasları, kızılötesi ışık perdeleri, lazer görme teknolojileri, ultrasonik ve fotoelektrik sensörler robotun veya başka bir şeyin sınırlandırılmış çalışma alanına girişleri hakkında sürekli bilgi vererek güvenlik açısından gündeme gelebilecek riskleri engellemeye çalışırlar. (Owen, 2016)

Güvenlik Sensörü Tipleri:

- **Işık Perdeleri** geleneksel güvenlik kafeslerinin sensör eşdeğeridir. Işık perdeleri iki veya daha fazla fotoselin olduğu uzman fotoelektrik cihazlardır. Bu sensörler reflektörlü veya karşılıklı olarak kullanılır. Işık perdesi sensörü, bir veya daha fazla ışın kırıldığında sınırlı bir alana girişi algılar.
- **Güvenlik Paspaları** basınca duyarlı paspaslar, kısıtlı bir bölgenin zeminine serilir ve birisinin üzerinde durduğunu tespit eder. Bir çarpışmanın ne zaman gerçekleştiğini tespit ederler.
Çevre ve Kenar Korumaları genellikle hareketli mobil robotlara bağlanan basınç sensörlü şeritlerdir,
- **Tek Işınlı Lazer** aralarında bir lazer ışını bulunan tek bir çift verici ve alıcı modülü içerir. Işının ne zaman kırıldığını tespit ederler.

- **Lazer Tarayıcılar** çalışma alanının 3 boyutlu görüntüsünü oluşturan bir tarama lazeri kullanır. Temel olarak 3 boyutlu vizyonda kullanılan teknolojiyle aynıdır, ancak nesnelere tespit etmek yerine, yalnızca çalışma alanına giren yabancı cisimleri tespit ederler,
- **Koruyucu Robot Kaplaması** bazı işbirlikçi robotlar, bir güvenlik sensörü görevi gören sensörlü bir dış kaplamaya sahiptir. Koruyucu kaplama bir şeyle çarpıştığında robot durur.
- **Kamera Bazlı Güvenlik Sensörleri** 3 boyutlu görme sistemlerinde olduğu gibi, hem lazer teknolojisi hem de kameralar güvenlik sensörü olarak kullanılabilirler, 3 boyutta işbirlikçi çalışma alanını izleyebilirler,

2.1.6.1.1. İşbirlikçi Robotlara Güvenlik Sensörü Eklemenin Yararları:

Güvenlik sensörlerinin faydaları sadece sistemin güvenliğini arttırmaları değildir. Bu sensörler ayrıca robotun performansını artırmaya yardımcı olabilir. Bu avantajlardan bazıları şunlardır;

- Çalışma alanında insan olmadığında robotun daha yüksek hızlarda çalışmasına izin verir,
- Sistemin çalışma alanındaki engellere tepki göstermesine izin vererek ekipmanın zarar görmesini önleyebilir,
- Kabul edilebilir genel sınırlar içinde kalmasına izin vererek, sistemin daha düşük bir risk altında olmasını sağlar,
- Geleneksel çit koruma ile karşılaştırıldığında robot için gerekli zemin alanını azaltma potansiyeline sahiptir,
- Aynı robotun hem işbirlikçi hem de işbirlikçi olmayan görevler için kullanılmasına izin verir. (Owen, 2016)

2.1.6.1.2. İşbirlikçi Robotlara Güvenlik Sensörleri Eklemenin Zorlukları

Görme gibi daha karmaşık sensörlerle karşılaştırıldığında, güvenlik sensörlerinin bir sisteme entegre edilmesi genellikle daha kolaydır. Bununla birlikte, güvenlik sensörlerini iş birlikçi robotlarla kullanırken hala bazı zorluklar söz konusudur;

Algılama, algılanan nesnenin boyutuna bağlıdır, bu nedenle daha küçük nesnelere tespit edilemeyebilir,

- İnce metal veya sac gibi bazı malzemeler, algılama teknolojilerinin bir kısmı tarafından tespit edilemezler,
- Çevredeki malzeme ve havadaki kirleticiler bazı sensörleri etkileyebilir,
- Birbirine çok yakın yerleştirilmiş yakınlık sensörleri birbirine müdahale edebilir, (Owen, 2016)

Risk Değerlendirmesi: Riski Azaltma ve Performansı Artırma

Risk değerlendirme, robotlarla birlikte çalışırken hayatın bir gerçeğidir. İşbirlikçi robotlar, insanlarla birlikte güvenli bir şekilde çalışacak şekilde tasarlanmış olsalar dahi, bunları kullanırken mutlaka bir risk değerlendirme yapılması gerekir. Güvenlik sensörleri, performansı düşürmeden bir robotla çalışma riskini azaltmanın iyi bir yolu olabilir. Hız ve ayırma izleme için güvenlik sensörleri kullanılarak, bazen iş birlikçi görevler için de endüstriyel robotlar kullanılabilir.

Bununla birlikte, riski azaltmak için sisteme sadece bir güvenlik sensörünün dahil edilmesi yeterli bir çözüm değildir. Robot yüksek hızlarda çalıştırıldığında, performansı artırmak için tercih edilebilir. Örneğin öngörülen çalışma hızı 250 mm/sn olan bir robota güvenlik sensörü ilavesiyle hız 750 mm/sn'ye çıkarılabilir. Çevresinde operatör olmadığı zaman robot bu hız değerinde çalışmasına devam eder.

2.2. Kobotlarda Güvenlik İçin Tasarımın Temel İlkeleri

Üretim tesislerinde daha önce çeşitli mekanik yöntemlerle, bazı makine ve aletlerin yardımıyla yapılan işler, hızla gelişen yeniliklerle birlikte otomatik makinelerle yapılmaya başlandı, teknolojinin daha çok kullanılmasıyla da birlikte evvelden insanlar tarafından yapılan birçok iş robotlarla yapılmaya başlandı. Aslında onlarca yıldır kullanılan endüstriyel robotlar, son on seneden beri de yerlerini kolaboratif robotlara terk etmeye başladı. Robotların daha hızlı, daha kaliteli ve verimli çalışmalara birçok işletme

sahibine çok çekici geldi. Robotların kullanımının artmasıyla birlikte, neden olabilecekleri olası iş kazaları ve tehlikelerle ilgili standart yönetmeliklerin de aynı hızda artmamış olması, kobotların tasarımı ve üretimi sırasında bazı risk değerlendirmelerinin yapılamamasını gündeme getirdi. Robot üreticileri her ne kadar tasarım sırasında olası riskler göz önüne alarak tasarım yapsalar dahi, daha sonra bir sisteme entegre olarak çalışacak robotun o işyerinde kendisine verilecek görevi yerine getirirken neden olabileceği olası risklere ilişkin değerlendirmeleri de mutlaka takip etmelidirler, ürettikleri standart kobot çok büyük bir olasılıkla entegre olduğu sistemde bir takım olumsuz tavırlar sergileyecektir.

Geleneksel endüstriyel robotlar, daha çok tehlike oluşturabilecek ağır işleri yaptıkları için mümkün olduğu kadar kendilerine çitlerle ayrılan çalışma hücreleri içerisinde çalışıyorlardı. Kobotların gündeme gelmesi ile birlikte robotların operatörlerle iş birliği içerisinde çalışmaları gerektiğinden, bu iş birlikçi çalışma sırasında her endüstriyel robotlarda gündeme gelmeyen kör noktaların ve robot/operatör temaslarının da incelenmesi gerekli oldu.

2.2.1. Kobot Risklerini Anlamak için Kaynaklar

Bu robotların “iş birlikçi” olarak adlandırılması ve insanlarla birlikte çalışma hücreleri içinde çalışan robotlar olarak faaliyet göstermesi, kobotların güvenli olduğu anlamına gelmez. Uygulama gereği, elinde bıçak tutan bir “iş birlikçi” robotun ek güvenlik önlemleri olmadan çalışması artık hiç de güvenli değildir. İşbirlikçi bir robotik hücreleri tasarlarlarken mühendisler, kobotun amaçlanan uygulamasını ve yerleştirilebileceği ortamı dikkate almalı, ardından her kullanım durumu için bir güvenlik planı geliştirmelidir.

ISO / TS 15066 ve RIA TR 15.606, bugün sektördeki iş birlikçi robotik hücreleri için geçerli olan en yeni ve en önemli güvenlik standartlarıdır. Bunlar, dört tür iş birliği robotik hücrelerinin her biri için güvenlik gereksinimlerini vurgular:

- Sınırlanmış güvenli duruş,
- Elle yönlendirme,
- Hız ve mesafe izleme,
- Güç ve kuvvet sınırlama,

Ek standartlar, iş birlikçi robotik hücrelerde bulunabilecek diğer tehlikeler hakkında ek bilgi sağlar.

- UL 1740 (Robotics and Robotic Equipment)
- ANSI RIA R15.06 (Industrial Robots and Robot Systems)
- CAN/CSA Z434 (Industrial Robots and Robot Systems)
- EN/ISO 10218-1
- EN/ISO 10218-2

2.2.2. Riskin Değerlendirilmesi

ISO / TS 15066 (RIA TR 15.606) dört farklı tipte iş birliği operasyonunu ana hatlarıyla belirtirken, bugün sektörde kullanılan temel iş birliği formu güç ve güç sınırlamasının öngörüldüğü uygulamadır. Robotla iş birlikçisi operatör arasındaki çarpışmada olası etki sınırlaması, tasarım sırasında, kendiliğinden veya robotun güvenlik dereceli bir kontrol ünitesiyle kuvvet veya hız parametrelerini ayarlama görevi robota kazandırılmıştır.

ISO / TS 15066 ve (RIA TR 15.606) tarafından gerekli görülen değerlendirme ilk adımı, EN / ISO 12100 uyarınca bir risk değerlendirmesi yapmaktır. Bu risk değerlendirmesi, iş birlikçi çalışma alanının tamamını, erişimi, açıklıkları ve bir operatörün robotla nasıl etkileşime gireceğini göz önünde bulundurmalıdır. Operatör ve robot arasındaki makul olarak öngörülebilir her temas durumu dikkate alınmalıdır. Değerlendirme sırasında, proseste herhangi bir sabit yapının dahil olup olmadığını ve robot ucundaki efektör ve iş parçası gibi diğer hususların dikkate almak önemlidir.

Risk değerlendirmesi, aşağıdaki iki durumdan her bir temas türünün niteliğini belirlemelidir:

Geçici Temas: Boş bir alanda robotun veya insanın ürküp geri çekileceği temas.

Yarı Statik Temas: Operatör ile robotun bir bölümü arasındaki temas. Bu durumda operatörün herhangi bir bölümü veya organı hareket halindeki robot kolu ile robot hücresi içerisindeki sabit veya hareketli bir makine parçası arsına sıkışabilir.

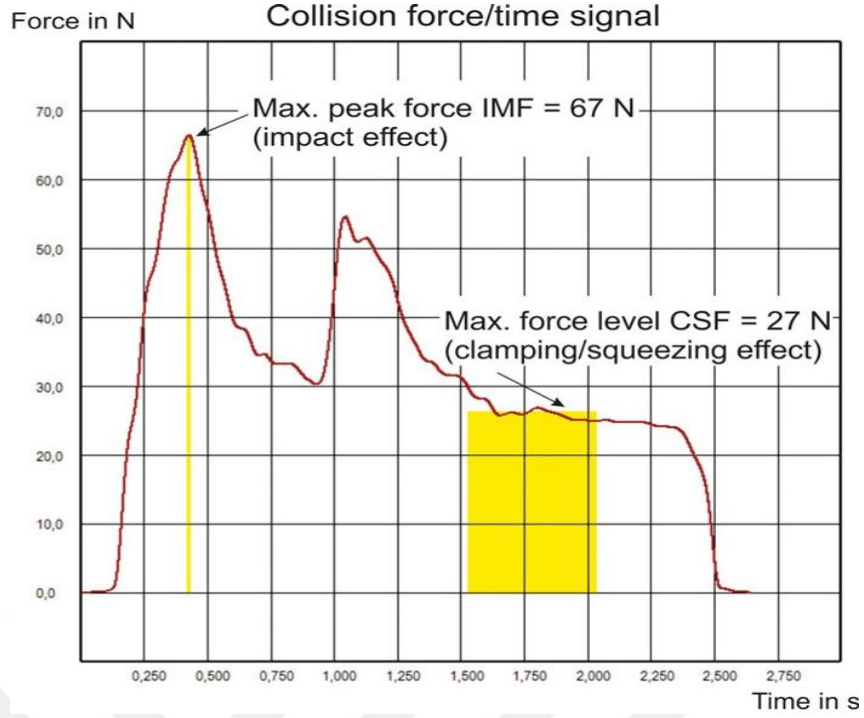
Temas türüne bağlı olarak, ISO / TS 15066 & (RIA TR 15.606) insan vücudunun her bir parçasına gelebilecek darbe veya sıkıştırmalar için bir darbe kuvveti ve basınç sınırı tavsiye eder. İnsan vücudunun çeşitli yerlerine temas sonucu uygulanan kuvvet sonrasında başlayan ağrı başlangıç seviyelerine ağrı eşiği adı verilir. Vücudun darbe alabileceği olası noktalar belirlendikten sonra bu noktalara çeşitli değerlerde kuvvet

uygulanır ve ağrı başlama değerleri belirlenir, her bir temas sonrasında temas durumu belirlenir, sınıflandırılır ve insan vücudunda test edilerek doğrulanır.

Yarı statik temas durumları için, insan vücudunun her bir parçasının temel özelliklerini taklit eden uygun bir test cihazı kullanılarak bu doğrulama yapılır. Test sırasında vücutta olası darbe bölgelerinde sertlikler de farklılık göstereceğinden, test sonucunda çıkarılacak olan ve basınç/ağrı eşiğinin işleneceği haritalarda bu hususa çok dikkat etmek gerekir. Test sırasında uygulanacak en küçük değerden en büyük değere kadar olan basınç değerleri ve vücudun buna olan etkisi haritalarda işlenmeli ve doğrulanmalıdır. Her bir çarpışmadan elde edilen veriler kaydedilir ve ISO / TS 15066 ve RIA TR 15.606'da yayımlanan sınır değerlerle karşılaştırılır.

Geçici temas durumları iki ayrı şekilde değerlendirilebilir. İlk yöntemde, robot sistem kütlesi ve de vücut bölgesi kütlesinin ikisi de hesaba katılmalıdır. Bu, test cihazının serbestçe hareket etmesini sağlayan bir cihaza takılması gerektiği ve ayrıca bu test cihazının da test edilen vücut parçasının etkili kütlesi ile aynı kütle olması gerektiği anlamına gelir. Etkin kütle, ISO / TS 15066'nın (RIA TR 15.606) tablo A.3'ünde tanımlanmıştır. Daha sonra yarı statik prosedürüyle aynı test prosedürü izlenir.

İkinci değerlendirme yönteminde, fiziksel testin aksine matematiği kullanılır. Her bir vücut bölgesi için izin verilen maksimum enerji transferi, ISO / TS 15066'nın (RIA TR 15.606) Tablo A.2'sinde verilen maksimum kuvvet veya maksimum basınç değerlerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir. Hesaplama, robotun verilen her durum için gidebileceği maksimum hızı gösterecektir.



Şekil 1: Robot çarpışmasının kuvvet/zaman sinyal grafiği

(Braman, 2019)

2.2.3. Kolaboratif Robot Risk Değerlendirmesi

Güvenlik standardı, kolaboratif robotu, tanımlanmış ortak çalışma alanı içinde bir insanla birlikte çalışmak üzere doğrudan etkileşim için tasarlanmış bir robot olarak tanımlar. Kolaboratif (İş birlikçi) çalışma alanı, robot sistemiyle ve bir insanın üretim prosesi sırasında iş birliği yaparak, aynı anda görevleri yerine getirmek üzere kendileri için ayrılmış çalışma boşluğudur (çalışma hücresi).

Çalışma hücresi, iş parçası, nihai efektör, fiksürler ve robot tarafından kontrol edilen herhangi bir cihazı içeren robot sistemini kapsar.

Robot ve Robot Sistemleri ve bunların güvenlik gereksinimlerine ilişkin daha fazla bilgi, ISO 10218 bölüm 1 &2 / ANSI RIA15.06-2012. ISO 10218 bölümler 1 & 2 ve ANSI RIA15.06-2012 harmonize (Harmonize standart, Avrupa Birliği uyum mevzuatının uygulanması için Avrupa Komisyonu tarafından yapılan talebe dayanarak kabul edilen standardı ifade eder) standartlarda mevcuttur.

Gereksinimler: Tüm endüstriyel iş birlikçi robot sistemleri için mutlaka risk değerlendirmesi yapılması gereklidir. Entegratör, ilk risk değerlendirmesinin tamamlanmasından sorumludur. Robot ve operatör(ler) arasında temas olabileceği

üzerinde dikkatlice durulmalıdır. Son kullanıcı tasarım sırasında yapılan ilk risk değerlendirmelerine ilişkin bilgileri korumalı ve çalışma sırasında mutlaka bu çalışmaya sadık kalınmasını sağlamalıdır. İşbirlikçi ortamda gerçekleştirilecek prosesin gerektirdiği güvenlik önlemleri ilk değerlendirmedeki bilgilerle birlikte kullanılabilir hale getirilecektir. Risk değerlendirmesi sırasında, üretim sürecinde yetkisiz kişilerin işbirlikçi çalışmaya ve sisteme yapabilecekleri gereksiz müdahalelere karşı alınması gereken koruyucu önlemleri de gündeme almak durumundadır. Bu değerlendirme sırasındaki kullanılacak detaylı bilgiler, ISO 10218 / ANSI RIA 15.06'da verilmiştir.

Görev Tanımı: Robot hareket etmese bile sistemdeki diğer birimler çalışma halinde olabilir, bu yüzden risk değerlendirmesi sırasında, robotun da içinde yer aldığı sistemin tümü ile birlikte dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır;

- Operatör hangi sıklıkta ve ne kadar süreyle işbirlikçi çalışma ortamında bulunacaktır,
- Robotun operatöre temas etme olasılığı, frekansı ve her temasın ne kadar süreceği. Eğer temasın baş ve boyunda olma olasılığı yüksekse uygulamanın mutlaka gözden geçirilmesinde yarar vardır.
- İşbirlikçi çalışma alanına giriş veya bu alandan çıkış prosesi ne ölçüde etkilemektedir.
- Eğer çalışma alanına birden fazla operatörün girmesi söz konusu ise sistemdeki kamera, sensör veya diğer algılayıcıların bu olasılık düşünülerek tasarlanması,
- Eğer üretim sürecinde, robota ek görevler verilecek ise sistemdeki izleme ve güvenlik görevleri gözden geçirilmeli, izleme verilecek ek göreve göre yapılmalı,
- Proses sırasında olası çarpmalar sonunda operatörde oluşabilecek sıkışma veya ezilmenin tehlikeli bölgelerde olma olasılığı mevcutsa, bu durum tasarımın yeniden gözden geçirilmesine neden olabilir, ek güvenlik önlemleri alınması düşünülebilir,
- Hangi olağan dışı durumlarda robotun elle kumanda edilmesi gerekebilir,
- Sistemi farklı hızlarda çalıştırma modları tehlike seviyelerini değiştiriyor mu?

- Her bir uygulamada proses gereği değerlendirilecek aşamalar da farklılıklar göstereceğinden, üretim prosesi ayrıntılı bir şekilde incelenip prosesin tehlikeye neden olabilecek kilit noktaları belirlenmiş mi?

Tehlike Tanımlama ve Risk Azaltma: Gerekli güvenlik önlemleri altında çalışan ve tehlike yaşanmayan geleneksel endüstriyel robotlar, iş birlikçi ortamlarda çalışmalarını söz konusu olduğunda yeni tehlikeler gündeme gelebilir. Bu yüzden de endüstriyel robotların iş birlikçi ortamda kobot olarak kullanılmaları sırasında robot kolu çatal veya kıskaç, fikstürü ve parça yönlendirme için tasarımın yeni konseptte göre yeniden yapılandırılması gerekir. Bu yeniden yapılandırma sırasında gözden geçirilmesi gereken hususlar şöyledir;

- İşbirlikçi ortamdaki çalışma sırasında, robot operatöre teması sırasında operatöre zarar verebilecek aşırı bir sıcaklık söz konusu mudur? Örnek olarak robot operatörün göz seviyesinde sıcak yapıştırma işlemi yapan bir tutkal tabancası ile iş yapıyor olabilir. Bu durumda sıcak tutkal tabancası hareketinin operatörün göz seviyesine uzak bir konumda çalışacak bir şekilde ve operatörün gözünü koruyacak bir KKD ile koruyacak şekilde tasarlanması gerekir.
- Robot kolu ucundaki kıskaç veya fikstürdeki kuvvet yaralanmaya neden olabilecek düzeyde ise bu kuvvetin azaltılması mümkün müdür? Bu durumdaki tasarım kriterleri, üretim sürecini robot ucundaki kelepçelerin açıp kapama işlemini operatör çalışma alanı dışındayken yapabilir şekilde veya operatörle herhangi bir temas olup operatörün bir kuvvet uyguluyor olması durumunda robot kolunu hemen geri çekebilecek bir şekilde tasarlamak gerekecektir. Bu durumda, daha yumuşak malzeme kullanılarak kenarlar yuvarlatılıp daha geniş temas yüzeyleri oluşturularak gelecek darbenin etkisi azaltılabilir.
- Olası kabul edilemez temas risklerini azaltmak için robot özellikleri ve operatör konumu nasıl değiştirilebilir? Robotun beklenmedik bir şekilde devreye girmesi operatörü ürkütüyor ise, başlama sinyalleri kullanılır veya tekrar başlatma görevi operatöre bırakılır.
- Bir parçanın düşmesi gibi, beklenen ve beklenmeyen her türlü hareket için operatörün olası hareketini düşünmeliyiz. Yorgunluk, stres, refleks, yetenek ve kesintilerde her insanın tepkisi aynı olmayacaktır.

- KKD operatörün çalışmasını etkileyebilir mi? Eldivenler veya operatörün elbisesinin robota dolaşması neticesinde, robotun kurtulmak üzere yapacağı ani hareket daha tehlikeli bir durumun oluşmasına neden olabilir mi, acil bir durdurma düğmesine gerek var mı?
- Operatör, kaynak kıvılcımları veya lazer kesici gibi kalkan gerektiren bir uygulamaya yakın mıdır? Üretim yapılan iş birlikçi hacmin yerleşim planını değiştirerek veya varsa uygulamaya yönelik koruyucular kullanarak operatörün bu tehlikelere maruz kalması önlenir mi?
- İşbirlikçi veya iş birlikçi olmayan çalışma hacimleri olarak tanımlanan bölgeler operatör tarafından tam olarak anlaşılmış mı ve gerektiği gibi kontrol altına alınmış mıdır?

Risk azaltma önlemleri yeterli koruma sağlamayabilir. Geleneksel sistemlerde risk azaltımı güvenlik koruma yöntemleriyle yapılır. İşbirlikçi uygulamalarda robotun tasarımı sırasında risk azaltımı da mutlaka tasarıma dahil edilir. Risk azaltımını sağlayarak operatörü yaralanmadan koruyacak başlıca önlemler, robotu durdurma, kuvvet ve hızı sınırlamadır. Örneğin, sınırlandırılmış sahaya yaklaşan operatör alanı izleyen tarayıcılar tarafından tespit edildikten sonra, robota sinyal göndermeye başlar ve robotun hızını azaltmasını sağlar. Burada geleneksel robot uygulamalarındakine göre farklı olan robotu durdurmak yerine hızını azaltmaktır. Bu işlemin eğitim ve işaret levhalarıyla desteklenmesi gerekir. Denetim grafiği hiyerarşisi tüm ortak uygulamalar için geçerli olmayabilir. Risk değerlendirmesi sırasında belirlenecek koruyucu önlemler arasında gerekli görüldüğü takdirde alan sınırlaması ve güvenlik dereceli yumuşak eksen gibi koruyucu önlemler de alınabilir.

Esas olan ezilme tehlikesine neden olabilecek etkenlerin yok edilmesi veya denetim altına alınmasıdır. ISO 10218 / ANSI RIA 15.06 'da robotla operatör arasında olması gereken minimum mesafe 500 mm olması veya koruyucu önlemler kullanılması önerilse de durum endüstriyel robotlara göre farklıdır. Ek gereksinimler, TS 15066'nin önerdiği, hız ve ayırma izleme ile güç ve kuvvet sınırlayıcı bölümlerdir. İşbirlikçi operasyonlar ile güvenlik denetleyicisinin denetimi durdurmaya devam edişi arasındaki geçiş süresi sınırını belirlemek için ISO 12100'nin tavsiyelerine uymak gerekir.

2.3. İSG Açısından Kolaboratif Robotlar ve Uygulamalar

2.3.1. Robot Seçimi Sırasında İş Güvenliği Açısından Alınması Gereken Önlemler

İş birlikçi robotlarda da iş sağlığı ve güvenliği açısından gündeme gelebilecek risk ve tehlikeleri bertaraf etmek veya minimize etmek için bu robotların kullanılacakları proseslerin çok iyi analiz edilmeleri gerekir. Bu nedenle de seçim sırasında risk analizlerinin yapılması ve bu konudaki standartların hassasiyetle incelenmesi büyük önem taşır.

Robot tasarımına geçmeden önce, herhangi bir prosesin incelenmesi sırasında;

- Robotun çalıştırılacağı ortamdaki sıcaklık,
- Proses sırasında robotun herhangi bir makine veya ekipmanla temas etmesi gerekiyorsa temas noktasındaki sıcaklık değerleri,
- Ortam nemliliğinin robotun çalışmasını olumsuz etkileyecek değerlerde olmaması,
- Robotun çalışacağı ortamda bulunabilecek parlayıcı, patlayıcı veya yanıcı kimyasallar,
- Proses gereği, robotun üretim sırasında herhangi bir kimyasalla temas etmesi söz konusu ise tasarımın buna göre yapılması,
- Çalışma ortamındaki yüksek akım veya gerilim kaynağı özel muhafazaya alınmalı,
- Mevcut topraklamanın yeterli olup olmadığı en az yılda bir ölçtürülmeli,
- Topraklama hattı korunmalı ve mekanik darbelere maruz kalmamalı,
- Kopması halinde sistem çalışır ancak çok büyük çarpılma riski oluşturur,
- Robotun çalışacağı kodun özellikle deniz seviyesinden 1000 metreden fazla olup olmadığı,
- Robotun çalışacağı zeminin oluşabilecek titreşime reaksiyonu,
- Eğer robotta uygulama gereği olarak görme sensörleri varsa çalışma ortamının tozlanmayı önleyecek şekilde tozsuzlaştırılması, ortamda yağlı uçucuların ve buharın olmaması, ek bir havalandırma veya tozsuzlaştırmaya gerek olup olmadığı,
- Robotun çalışacağı ortamın elektrifikasyonunun ve UPS hattının robot üreticisi firma tarafından önerildiği şekilde hazırlanması,

- UPS cihazı fazla yüklenmemesi için UPS hattı ayrı çekilmeli ve sadece kesinti istenmeyen özel makineler için kullanılması,
- Robotların çalışacakları ortamların, diğer makinelerin yüksek geriliminden etkilenmeyecek bir şekilde belirlenmesi,
- Robotların çalışacakları ortamların zeminleri son derece önemlidir. Bugünkü robotlar 7-8 eksende çalışmak üzere programlandıkları için, robotların çalışmaları sırasında zeminde çeşitli yönlerde gerilmeler olacaktır, zemin bütün bu gerilmeleri karşılayabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Zeminin statik hesapları yapılırken gerekiyorsa robotun bağlantı ayaklarına kalın plakalar yerleştirilmelidir. Bağlantı detayları mutlaka üretici firma önerileri doğrultusunda hazırlanmalıdır.
- Robotun özellikleri, çalışma ortamı, taşıma koşulları ve çalışma süreleri göz önüne alınarak uygun bir bakım programı tasarlanmalıdır,

Devreye Alma ve Bakım Sırasında Yapılması Gerekenler: Endüstriyel robotlarda olduğu gibi, kolaboratif robotun montajının tamamlanıp, robota enerji verilmeden önce robotun çalışma sahasında (robot kollarının çalışma sırasında süpüreceği alanda) hiçbir çalışan bulanmaması sağlanarak robota ilk enerji verilmelidir. Bu işlem mutlaka iki kişiyle yapılmalı, bir kişi makineye yol verirken diğeri acil stop düğmesinin başında durmalıdır. Bunun yanısıra robot kollarının planlanan dışında hareket etmesi durumunda montaj elemanının çalışma sahasını kolayca terk edebilmesi için koruyucu duvarların yerleştirilmemiş olması gerekir.

Robotun Kullanımı Sırasında Güvenliğin Sağlanması: Özellikle kolaboratif robotların seçiminde, mutlaka kullanacağımız uygulamada deneyimli üreticilerin seçilmesinde yarar vardır, zira hiçbir robot için %100 güvenlidir diyebilmek mümkün değildir. Bu durum özellikle, robotun ilk kurulum, devreye alınma ve operatörün deneyim kazanması sürecinde son derece önemlidir. Robotların kullanıldığı ortamlarda oluşan iş kazalarına baktığımız zaman, genellikle aşağıda belirtilen hususlar göz ardı edildiği takdirde kaza olasılığı artmaktadır.

- Robot, özellikle operatörsüz çalışmak üzere tasarlanmış ise, robot hiçbir zaman, çalışacağı alanda çalışan olmadığının onaylanmasından önce hareket etmemelidir.
- Eğer robot otomatik çalışma modunda ise, üzerindeki veya koruma çiti üzerindeki sensörler çalışma alanına birisinin girdiğini tespit edip operasyonu durdurmalıdır.

- Eğer robotun çalışma ortamı güvenlik çiti veya ışık bariyerleri tarafından denetleniyorsa, bu elemanların çalışır durumda olmaları gerekir,
- Bazı durumlarda, robotların aniden çalıştığı ve operatörlere zararlı olduğu durumlar olabilir, bu durumların olmaması için mutlaka çalışma prosedürlerinin ayrıntılı hazırlanması gerekir, bu tür kazaların ana nedeninin prosedür eksikliklerinden veya prosedürlere tam uyulmamasından kaynaklandığı bilinmektedir.

Yukarıda belirtilen iş kazalarının olmamasını sağlamak için;

- Son nesil robotlarda, birlikte çalışan operatörün kazara robota değmesi halinde bile robot duracaktır, ancak bu gerçekleşmediği takdirde çalışan bu temastan ciddi zarar görebileceği için, operatörlerin robotun çalışma sahasına girmemesi ve robota yaklaşmaması konusunda mutlaka uyarılmaları ve eğitilmeleri gerekir,
- Robot çalışmadığı durumlarda da aniden çalışması durumunda çevresine zarar verebileceği varsayılarak, mutlaka kilitlenmelidir.
- Her ne kadar, robotlar kendilerine öğretilen hareketleri hiç usanmadan günlerce, haftalarca yapabilme yeteneğine sahip olsalar da sürekli olarak hareketlerinin izlenmesi mutlaka yararlı olacaktır,
- Robotlar çeşitli eksenlerde, değişik eklemleri vasıtasıyla çalışmak üzere programlandıkları için birlikte çalışanların bu hareketler sırasında her an acil düğmesine basabilecek durumlarda olmaları gerekir. Gerekli durumlarda robot çevresinde acil durdurma düğmelerinin sayılarının da artırılması yararlı olacaktır.
- Robotlar mutlaka tasarlandıkları operasyonlar için kullanılmalıdırlar, tasarlandıklarında farklı operasyonlarda farklı aksesuarlarla kullanılmaları, yaralanmalı hatta ölümcül kazalara neden olabilecektir.
- Robotların çalışma sahalarında manyetik yoğunluk, gürültü ve titreşim robotların hafızalarını etkileyebileceğinden bu olumsuzluklar incelenerek gerekli önlemlerin alınması uygun olacaktır.
- Günümüzde robotlar 7 veya 8 eksene kadar çalışabildiklerinden çok miktarda ekleme sahiptirler, bu yüzden de robotlar üzerindeki eklemler kendilerine verilen görevleri yapabilmek için belirlenen zaman dilimi içerisinde sürekli konum değiştirirler. Özellikle süreç başlangıcında robota komutlar öğretilirken, operatörün eklemlerin çalışma alanı dışında olmaları gerekir.

- Tasarım yapılırken operatörün yüzünün robota bakar konumda olmasına dikkat edilmelidir.
- Bazı durumlarda prosesin gereği olarak robot kolları üzerinde optik gözler bulunabilir, optik gözün iyi çalışmaması robotun verilen görevi yapmasını engelleyebilir, o yüzden özellikle tozlu ortamlarda optik gözlerin temiz olmasına dikkat edilmelidir.
- Proses başlangıcında robota yapacağı işlerin öğretilmesi sırasında mutlaka hız düşük tutulmalı, çevrimin tamamen öğretilmesinden sonra gerekli hızla denemelere başlanır.
- İşbirlikçi robotların birçoğunda herhangi bir nedenle robotun durmasından sonra robot kaldığı yerden prosese devam edebilir, ancak bazı uygulamalarda, proses gereği, robot kolunun harekete başlarken başlangıç noktasına dönmesi gerekebilir. Bu durumun mutlaka iş birliği yaptığı operatör tarafından bilinmesi gerekir, robotun tekrar başlama işleminde operatör sesli ve ışıklı olarak uyarılır.
- Bazı durumlarda robot sistemindeki olası aksaklıklar sesli olarak operatöre bildirilir, robottan gelecek sesli uyarıların ne anlama geldiği operatör tarafından çok iyi bilinmelidir,
- İşbirlikçi alana girerken mutlaka o alan için öngörülen KKD'lerin kullanımına dikkat edilmelidir.
- Herhangi bir otomatik çalışmaya engel olmak için, robot programlanırken mutlaka, üzerine robotun programlandığına ilişkin levha asılmalıdır,
- Birden fazla operatörün bulunduğu çalışma alanında, el kumandası öğretimi yapan operatörün elinde olmalıdır, el kumandasından talimatlar sadece bir operatör tarafından verilmelidir,
- Büyük ve gürültülü bir fabrikada çeşitli operatörlerin birlikte çalışması gerekiyorsa, operatörlerin iletişimi için mutlaka sisteme entegre edilmiş kulaklıklar ve herkes tarafından bilinen el işaretleri kullanılmalıdır,
- Robotlara neler yapacağı öğretildikten sonra, robotun hareketleri veya normal dışı hareketleri ve bunlar karşısında operatörlere düşen görevler hakkında operatörler eğitilmeli ve yanlış hareketin bir kodlaması yapılmalıdır,
- Robot programlanırken veya bir müdahale sırasında, herhangi bir enerji dönüşümü durumunda, robot kolunun boşalma olasılığına karşı robot yükte bırakılmamalı, yüklü bir robot kolunun altında durulmamalıdır,

- Robotun programlanması yapıldıktan sonra, ilk deneme çalışmaları tasarlanan hızın altında yapılmalı, hiçbir sorun olmadığından emin olunduktan sonra normal hıza geçilmelidir,
- İlk deneme çalışmalarının sadece düşük hızda yapılması yeterli olmayabilir, çünkü bazı durumlarda üretim, program veya tasarımdan kaynaklanan sorunlar da olabilir, bu yüzden ilk deneme çalışmasından önce bütün bu kontroller yapıp herhangi bir eksiklik olmadığından emin olunduktan sonra deneme çalışmalarına başlanmalıdır,
- İlk deneme öncesi yapılan bütün kontrollerde hiçbir hata yapılmadığından emin olursa dahi, ilk hızları %5-10 mertebesinde seçip, daha sonra hız kademeleri artırılarak ilk denemeler tamamlanmalıdır.

2.3.1.1. Kolaboratif Robotlarda Kazaya Neden Olabilecek Beklenmedik Hareketler

Robot manipülatörünün, yukarıda belirtilen nedenlerin herhangi biri yüzünden planlanmadığı halde harekete geçip iş kazasına neden olabilecek olumsuz hareketler, tasarım sırasında daha sonrasında da risk değerlendirmesi sırasında detaylarıyla incelenmeli, sistemi denetleyecek bileşenle bu doğrultuda seçilmelidir. Bu hareketlerden en çok rastlananları:

- Başka bir operatör tarafından haber verilmeden yapılan değişiklikler,
- Kullanım hatası,
- Gürültü ve robotun çalışma koşulları nedeniyle manipülatörün olumsuz etkilenmesi,
- Program hataları veya çevredeki makinelerle veya diğer robotlarla olan etkileşimler,
- Robot kolu üzerindeki kumanda veya izleme ünitelerinde gündeme gelebilecek ani arızalanmalar,
- Kilitlenmeyi bekleyen ancak gerekli önlem alınmadığı için robot kısılacında oluşabilecek ani boşalmalar,

Robotların Otomatik Çalışma Düzenine Geçmesinden Sonra Alınması Gereken Güvenlik Önlemleri:

- Vardiya başlarında, çalıştırma öncesi belirlenen risk kontrol listesindeki önlemler gözden geçirilmelidir,
- Güvenlik çitleri üzerine iş birlikçi bölgeye girilmesinin yasak olduğunu belirtilen levhalar asılmalı robotun çalışmaya başlaması görsel olarak çevreye duyurulmalıdır,
- Otomatik başlama moduna girecek olan robot mutlaka çalışma bölgesinde operatör veya başka birinin olmadığı algılayabilecek donanıma sahip olmalıdır.
- Robota otomatik moda geçme talimatı verilmeden önce, robotun işleme başlayacağı program numarasından, adım numarasından ve robotun otomatik başlatma komutuna hazır olduğundan emin olunmalıdır,
- Herhangi bir nedenle robotun çalışma alanına girilmiş olması durumunda robot kendine öğretildiği gibi duracaktır, operatör kendisi için bulunması yasak olan bu bölgeyi terketmeden önce kesinlikle robota başla komutunu vermemeli, izleme sistemi de buna göre tanımlanmalıdır,
- Kolaboratif robotlar genelde, kaldıkları veya durduruldukları yerden itibaren çalışmaya başlarlar, bazı durumlarda durdukları konumda operatörün herhangi bir ölçüm veya arıza giderimi yapmak için robot kolu başka bir konuma çekilebilir, genelde ilk başlama komutuyla birlikte robot kolu önce durdurulduğu konuma gelecek ondan sonra sürecin geri kalan kısmını tamamlamak üzere harekete geçecektir. En tehlikeli duruşlardan biri olan bu durumlarda, operatörün bütün işini tamamladıktan sonra robot yörüngesi dışına çıkıp ondan sonra start düğmesine basması gerekir. (Sezai, 2015)

2.3.2. İnsan ve Robot İşbirliğinde Güvenlik ve Ergonomi

İş birlikçi robot (kobot veya hafif robot), İnsan-makine etkileşiminden (HMI) yeni paradigmlar sunarak, paylaşılan ve güvenlik çitleri olmayan hatasız bir çalışma alanında insanlarla fiziksel ve güvenli bir şekilde etkileşime girebilen özel bir endüstriyel robot türüdür. Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR), iş birlikçi endüstriyel robotları, endüstriyel ortamlarda çalışanlarla iş birliği içinde görevleri yerine getirebilenler olarak tanımlamaktadır (IFR 2019). İşbirlikçi çalışma alanı kavramı, “robot sistemi (iş parçası

dahil) ile bir insanın üretim operasyonu sırasında aynı anda görevleri yerine getirebileceği çalışma alanı içindeki alan” olarak özetlenebilir (ISO 2016, s. 8). Genelde, iş birlikçi robotik, Endüstri 4.0’ın ana siber-fiziksel etkinleştirici teknolojisidir ve tekrarlanabilirlik, doğruluk ve yük gibi tipik makine güçlerini esneklik, uyarlanabilirlik ve karar verme gibi insan becerileriyle eşleştirerek üretim performanslarını ve operatörlerin çalışma koşullarını iyileştirmeyi amaçlamaktadır.

İş birliğine dayalı robotiği tanıtırken, en önemli kısım emniyettir. Aslında, iş birlikçi ve geleneksel endüstriyel robotlar arasındaki temel fark, kobotların, robot çalışma alanını izole etmeye gerek kalmadan hibrit ve hatasız iş hücrelerinde fiziksel olarak robot/insan iş birliğine izin verecek şekilde tasarlanmasıdır. Geleneksel endüstriyel robotlar, ağır, güvenli olmayan ve tekrarlayan süreçleri gerçekleştirmede insan operatörlerin yerini alarak üretim verimliliğini artırmak için tasarlanmışlardı. Güvenlik gereksinimleri nedeniyle, geleneksel bir yüksek performanslı manipülatör, robot faaliyetlerini izole etmek ve dolayısıyla operatörleri beklenmedik ve istenmeyen temaslardan korumak için korumalara (fiziksel engeller veya optik cihazlar) ihtiyaç duyar. İşbirliğine dayalı uygulamalar doğrudan insan/robot iş birliğine izin verdiğinden geleneksel güvenlik çözümlerine gerek kalmamıştır. Sonuç olarak, operatörlerin iş güvenliğini ve ergonomisini sağlamak için diğer sistemlerin iş birlikçi robotun üzerine entegre edilmesi gerekli olmuştur. Bu sistemler, robot performansına ve etkileşim seviyesine bağlı olarak seçilmeli ve uygulanmalıdır, genel olarak geleneksel endüstriyel robotlardaki güvenlik çözümlerine göre daha zorlu ve karmaşıktır. Bu nedenlerden dolayı, iş birlikçi robotlarda, İSG gerekliliklerini sağlamak daha zor olacaktır, ama mutlaka insan/robot etkileşiminde veya iş birliğinde emniyet ve ergonomi koşullarının sağlanması gereklidir.

2.3.2.1. Endüstriyel Robot Güvenliğine Giriş

Tehlikelerin doğası dikkate alındığında, ISO 2010’a göre, endüstriyel makinelerle ilgili farklı türde mesleki tehlikeler mevcuttur.

Endüstriyel makineler için tanımlanmış tehlikeler; mekanik tehlikeler, elektrikten kaynaklanan tehlikeler, termal tehlikeler, titreşimden kaynaklanan tehlikeler, gürültüden kaynaklanan tehlikeler, radyasyon tehlikesi, malzeme ve maddelerden kaynaklanan tehlikeler, çalışma ortamından kaynaklanan tehlikeler, risklerin kombinasyonu olarak sıralanmaktadır.

Endüstriyel insan/robot iş birliği tanımında, iş birlikçi robotların ana tehlike/lerin mekanik yapıdan kaynaklanabileceği bir yapıda, emniyet çitinin olmadığı bir çalışma ortamında, görevlerin insan ve robotlar arasında paylaşıldığı anlaşılmaktadır. Aslında, hem insanların hem de robotların ortak bir çalışma alanında bir araya getirilmesi nedeniyle, operatör ile makinenin mobil parçaları arasında, özellikle robot kolu ve farklı tipte son efektörlerle işlevsel olmayan fiziksel etkileşimlerin oluşması olasıdır. İlgili mekanik riskler uygun şekilde tanımlanmaz, tahmin edilmez ve yönetilmezse, beklenmeyen ve istenmeyen temaslar farklı türde çarpışmalara ve ezilmelere neden olabilir. Özellikle mekanik tehlike, işçilerin doğrudan veya dolaylı olarak iş süreci ile ilgili nesnelere temas geçmesi durumunda ortaya çıkabilecek fiziksel bir tehlikedir. Etkiler genellikle hemen ortaya çıkar ve insanların yaralanmasına neden olabilir. Yoğunluk seviyesi, ilgili iş ekipmanının hız, kütle ve geometri gibi fiziksel özelliklerine göre değişebilir. Tipik mekanik tehlike, tezgahlar, tezgahta işlenen/işlenmemiş iş parçaları, ekipmanlar, üretim atıkları, üretim sırasında oluşan katı veya sıvı atıklardan kaynaklanan, ezilme, yaralanma, kesilme, sıkışma, çarpma, olasılığından kaynaklanmaktadır. Diğer temel mekanik tehlikeler, yüksek basınçlı sıvı fişkırtmasının yanı sıra kayma, takılma ve düşme nedeniyle oluşabilir.

2.3.2.2. Endüstriyel İnsan-Robot Etkileşiminde İş Güvenliğinin Temelleri

ISO 2010 a'ya göre, risk değerlendirmesi, risk azaltma hedeflerine ulaşıp ulaşılmadığını değerlendirmek için makine (limitler) spesifikasyonlarını tehlike tanımlaması ve risk tahminiyle (temel olarak risk olasılığını ve yerçekimini tanımlayan) birleştiren prosedürdür. Geleneksel ve iş birlikçi endüstriyel robotlar için risk değerlendirmesi farklıdır. Genel olarak, bileşenlerin standardizasyonu ve uygulamaların yaygınlaşması nedeniyle, geleneksel robotik hücrelerin mekanik risk açısından değerlendirilmesi daha kolaydır. Bu durumda, ortak ana risk özellikleri şunlardır:

- ✓ Robotik çalışma hücresi izole edilmiştir (doğrudan fiziksel insan/robot iş birliğine genellikle izin verilmez),
- ✓ Mekanik risk indeksleri yüksektir ve yüksek bir yerçekimi seviyesi ve düşük bir frekans seviyesi ile karakterize edilir (robot kolunun yüksek kütlesi ve hızı, yüksek kinetik enerji seviyelerini içerir),
- ✓ Güvenlik koruma sistemleri, önlemeye dayanır, bu da güvenlik önlemleri kullanılarak mekanik risk olasılığının sıfırlanması anlamına gelir,

- ✓ Spesifik robot tasarımı ve kontrolü sayesinde operatörler ve robotun mobil parçaları arasındaki beklenmedik temasları azaltma imkanı yoktur

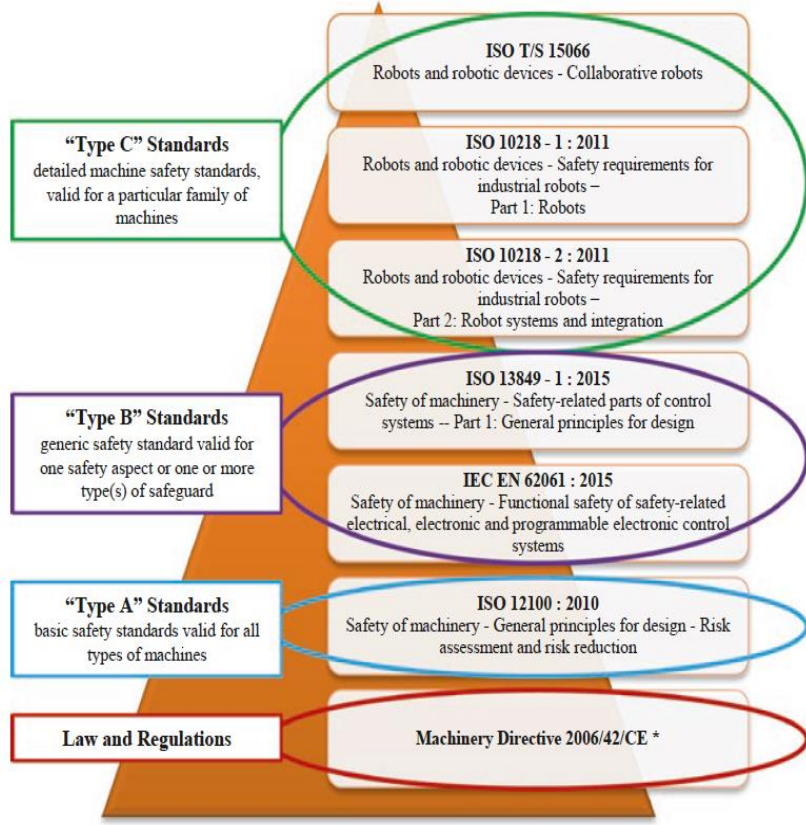
Bu nedenle mekanik risk yönetimi daha homojendir ve standartlaştırılmıştır, bu da belirli robotik hücre uygulamalarına daha az bağımlı olduğu anlamına gelir. Robot çalışma alanında işçi bulunmaması nedeniyle risk yönetimi basitleştirilmiştir. İşbirlikçi robotlar söz konusu olduğunda durum çok farklı ve daha karmaşık olacaktır. İşbirlikçi robotlarda ana risk özellikleri şunlardır:

- ✓ Robotik hücre iş birliğine dayanır (fiziksel insan/robot iş birliğine izin verilir),
- ✓ Mekanik risk endeksleri, uygulamaya ve potansiyel insan/robot iş birliği formuna bağlı olarak yerçekimi ve frekans açısından değişkendir. Aslında, genel uygulama sırasında tek operatör görevlerine bağlı olarak değişebilir,
- ✓ Beklenmedik insan-robot temaslarıyla ilgili daha olası ve daha az ciddi mekanik risklere izin verilir, bu da güvenlik sistemlerinin risk önleme ve azaltmanın bir karışımına dayandığı anlamına gelir.

Bu nedenle, risk yönetimi daha uygulamaya özgüdür, bu da heterojen, karmaşık ve oldukça zor standartlaştırılmış bir yapı oluşturur. (Gualtieri ve diğerleri, 2020)

2.3.2.3. Endüstriyel İşbirlikçi Robotik için Ana Güvenlik Standartları

İstenmeyen temas sırasında ortaya çıkabilecek mekanik riskler göz önüne alındığında, insan/ robot iş birliği için makine gereksinimlerinin güvenliğiyle ilgili genel uluslararası çıktıların kısa bir listesi vardır. (Şekil 2) 2016 yılında, üretim operatörleri ve güvenlik uzmanlarına için, güvenli paylaşılan çalışma alanlarının geliştirilmesinde ve risk değerlendirme sürecinde yardımcı olmak için yeni bir ISO teknik raporu olan ISO TS 15066 (ISO 2016) yayınlandı.



Şekil 2: Endüstriyel iş birlikçi robotlarla ilgili ana atandalar hiyerarşisi (Gualtieri ve diğerleri, 2020)

Bu rapor, ISO 10218 bölüm 1 ve 2'ye (ISO 2011a, b) dahil edilen endüstriyel robotlar için önceki güvenlik gereksinimlerini daha ayrıntılı olarak belirtir. Diğer yararlı belgeler arasında AB Makine Direktifi (Avrupa Parlamentosu 2006), risk değerlendirmesi için standartlar ISO 12100 (ISO2010a) ve fonksiyonel güvenlik gereksinimleri için ISO 13849 bölüm 1 (ISO 2015a) ve IEC EN 62061 (IEC 2015) bulunmaktadır. Ek olarak, robot sistemleri için kullanılan uç efektörlerin tasarımı ve entegrasyonu için güvenlik önlemlerine ilişkin ana yönergeleri tanımlayan bir belge yakın zamanda yayınlandı (ISO 2018).

2.3.2.4. Teknik Şartname ISO TS 15066 (2016) ve İşbirliğine Dayalı İşlemler

2016 yılında piyasaya sürülen ISO TS 15066 (ISO 2016) Teknik şartnamesi, 2011'de ISO 10218-1 (ISO 2011b) ve 10218-2 (ISO 2011a) standartlarında önceden tanıtılan iş birlikçi robotlarla ilgili gereksinimleri daha ayrıntılı olarak açıklayan bir duruma getirilmiştir. Şu anda bu şartname, özellikle mekanik risk açısından, iş birlikçi endüstriyel çalışma hücreleri için güvenlik gereksinimlerini belirten en ayrıntılı belgelerden birini

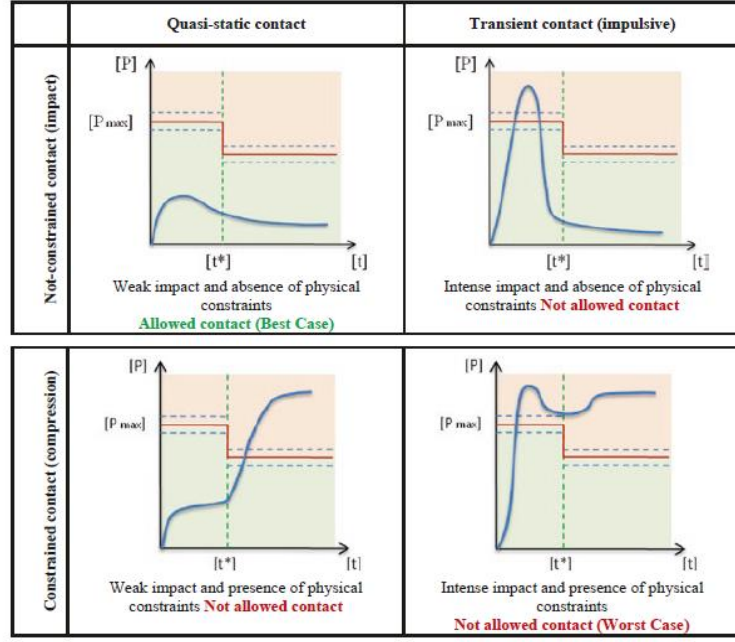
temsil etmektedir. Belirli uygulamalara ve etkileşim türlerine göre, iş birlikçi robotlar farklı türden güvenlik cihazlarıyla entegre edilmelidir. Güvenli iş birliğinin temel amacı, yerçekimi ve / veya olasılık açısından beklenmedik temaslardan kaynaklanabilecek mekanik riski en aza indirmektir. Daha önce de belirttiğimiz gibi, ISO TS 15066 (ISO 2016), güvenli insan/robot iş birliği için dört yöntem belirlemiştir;

1. Sınırlandırılmış Güvenli Duruş,
2. Elle Yönlendirme,
3. Hız ve Mesafe İzleme,
4. Güç ve Kuvvet Sınırlama,

Sınırlandırılmış güvenli duruş modu, insan/robot iş birliğinin gerçek bir uygulamasını temsil

2.3.2.5. İnsan Merkezli Tasarım (HCD/Human Centered Design) ve Ergonomi:

Dördüncü sanayi (Endüstri 4.0) devrimi sadece yeni imalat paradigmasını tanıtmakla kalmamış olup, aynı zamanda insanların oynadığı rolü de değiştirmiştir. İnsanlar, ileri teknolojiler tarafından bile kolayca değiştirilemeyen önemli bir rol oynamaktadır. Tersine, yeni teknolojilerin tanıtımı üretim sistemlerini karmaşıklaştırır ve yüksek vasıflı, iyi eğitilmiş çalışanlara olan ihtiyacı artırır. Bu nedenle, dördüncü sanayi devrimi, yeni teknolojileri tasarlamaya yönelik insan merkezli bir yaklaşımı yeniliyor, soruyu insanların nasıl değiştirileceğinden insanları nasıl daha iyi tamamlayıp onlara nasıl yardımcı olunacağına doğru değiştiriyor.



Şekil 3: İnsan – robot temasının sınıflandırması
(Gualtieri ve diğerleri, 2020)

Üretim sistemlerini tasarlamak için insan merkezli bir yaklaşım tanıtıldı. ISO 9241-210 (ISO2010b), İnsan Merkezli Tasarımı (HCD) “*sistemin kullanımına odaklanarak ve insan faktörleri / ergonomi ve kullanılabilirlik bilgi ve tekniklerini uygulayarak etkileşimli sistemleri daha kullanılabilir hale getirmeyi amaçlayan bir sistem tasarımı ve geliştirmesi yaklaşımı*” olarak tanımlar. Bu nedenle, böyle bir yaklaşım, kullanımdan kaynaklanan insan sağlığı, güvenliği ve performansı üzerindeki olası yan etkileri önlerken, kullanıcı memnuniyeti, sürdürülebilirlik ve erişilebilirlik ile birlikte insan refahını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. ISO 9241 bölüm 210, etkili ve zamanında İnsan Merkezli Tasarımı etkinliklerini belirlemek ve planlamak için süreçlerin nasıl yeniden tasarlanacağına ilişkin yönergeler sağlar ve aşağıdaki altı temel ilkeyi tanımlar;

- Kullanıcıların, görevlerin ve ortamların net bir şekilde anlaşılmasına dayalı tasarım,
- Tasarım ve geliştirme süresince kullanıcı katılımı,
- Tasarımı geliştirmek / iyileştirmek için kullanıcı merkezli değerlendirme,
- Yinelemeli süreç,
- Tüm kullanıcı deneyimine göre,
- Multidisipliner becerilerin ve bakış açılarının benimsenmesi,

İnsan Merkezli Tasarım yaklaşımı her türlü tasarım yaklaşımına dahil edilebilir (örneğin, nesne yönelimli, hızlı uygulama geliştirme vb). İnsan Merkezli Tasarımın doğru uygulanması için en önemli hususlardan biri ergonomik ilkelere saygıdır. ISO 26800 (ISO 2011c), ergonomiyi "*bir sistemin insan ve diğer unsurları arasındaki etkileşimlerin anlaşılması ile ilgili bilimsel bir disiplin ve insan refahını ve genel sistem performansını optimize etmek için tasarım için teori, ilke, veri ve yöntemleri uygulayan meslek*" olarak tanımlar. Böyle bir disiplin, bir işyerinin ve ilgili ekipmanın veya ürünlerin genel olarak insan kullanımı için optimize edilmesi amacıyla en iyi şekilde nasıl tasarlanacağını inceler. Ergonomik ilkelere dayalı bir tasarım, ağırlık, boy, yaş, işitme ve görme gibi çeşitli insan özelliklerini dikkate alır. Ergonomi bu nedenle genellikle insan faktörleri mühendisliği olarak adlandırılır.

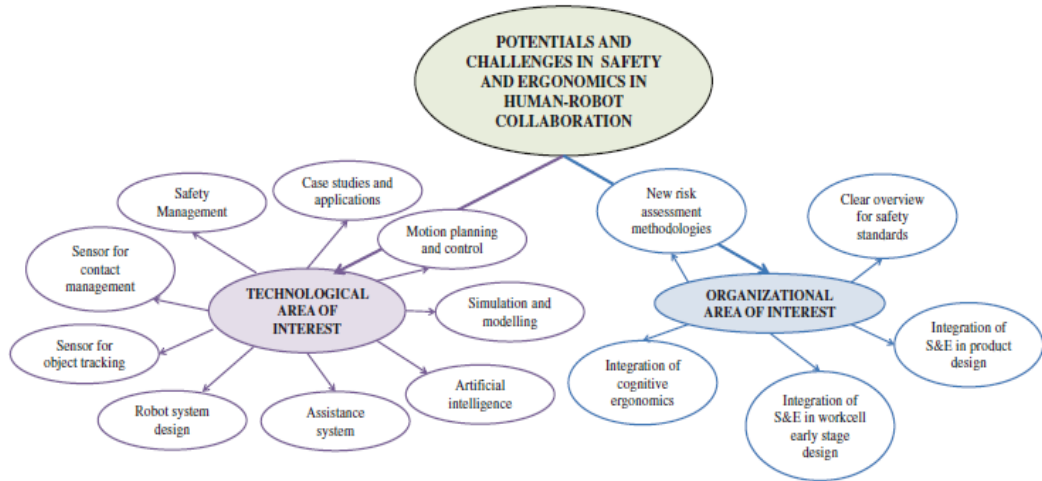
2.3.2.6. İnsan-Robot İşbirliğinde Ergonomi

İş birliğine dayalı robotik teknolojisinin altında yatan fikir, insanlara yardım edebilecek ve onları destekleyebilecek gelişmiş teknolojilere sahip olmaktır. Bu etkileşime bir örnek, kobotların bir işçi için bileşenleri kaldırmasıdır. Kobotlar işyerinin fiziksel ergonomisini iyileştirse ve dolayısıyla işçinin MSD'ye maruz kalmasını azaltabilse dahi, bilişsel ergonomi ilkeleri dikkate alınmazsa çalışanların zihinsel stresine ve psikolojik rahatsızlığına da neden olabilirler. Aslında, kobotlar operatörün beklentilerine göre davranmalıdır (Mayer ve Schlick 2012), onların varlığı insanlar için bir stres kaynağı olmamalı ve hatta bir tehlike olarak algılanmamalıdır. Kobotların insan tarafından kabul edilebilirliği, örneğin robot için antropomorfik yürüngeler uygulayarak geliştirilebilir (Kuz ve diğerleri 2014; Rojas ve diğerleri 2019). Standartlara uygun fiziksel ve bilişsel ergonomik ilkelere dayanan hibrit çalışma alanlarının endüstriyel bir uygulamasından hala uzak olsak da, bazı akademik sonuçlar mevcuttur. 2015'te Faber ve arkadaşları tarafından, geliştirilmiş ergonomi özellikleri ve esnekliği olan karma bir çalışma alanı tasarlandı. Bu tasarım, robot işletim sistemine (ROS/Robot operating system) ve bilişsel olarak otomatikleştirilmiş bir montaj planlayıcısına dayanmaktadır. Süreç görevlerinin bilişsel karmaşıklıklarına göre sınıflandırıldığı, çalışma alanı için insan merkezli bir tasarım 2018'de D'Addona ve arkadaşları tarafından sunulmuştur. Buna ek olarak, yine aynı yıl içerisinde, bir de çok kriterli bir yaklaşım ve aynı anda insan-robot hibrit hücre düzenini ve görevleri planlayabilen görev atamasına yönelik bir algoritma olarak sunulmuştur. Müller ve arkadaşları da (2016), beceriye dayalı bir görev

atama yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşım, bir montaj görevi tanımlama modeline dayanır ve insan / robot arasındaki görevleri gereksinimlerine göre becerilerini karşılaştırarak atar.

Peruzzini ve arkadaşlarına göre ise, Sanal gerçeklik, insan merkezli tasarım (HCD) için montaj görevlerinin simülasyonuna izin veren ergonomik bir çalışma alanının tasarımına yardımcı olabilir. Aslında, dijital üretim araçlarındaki farklı kurulumları değerlendirerek ve dijital insan modelleri ve diğer sanal kaynak modelleri ekleyerek insan duruşunu ve stresini iyileştirmek mümkündür (Caputo ve diğerleri 2018). Böyle bir yaklaşım duruş, iş yükü ve stres gibi ergonomik yönleri hesaba katarak işyerlerinde montaj görevlerini simüle edebilse de insan memnuniyeti ve duygu gibi daha yüksek insan merkezli yönleri ihmal eder. Ergonomik bir iş istasyonunun tasarımında ilerleme kaydedilmiş olmasına rağmen, tamamen insan merkezli ve tüm fiziksel ve bilişsel ergonomik ilkeleri karşılayan bir hibrit iş istasyonu tasarlama stratejisi henüz mümkün değildir.

İnsan/robot iş birliğinde güvenlik ve ergonomideki potansiyel ve zorlukları tanımlamak için temel organizasyonel ve teknolojik gelecek araştırma alanlarını tanımlamamız gerekir. Şekil 4'de genel bir sınıflandırmayı özetlemektedir.



Şekil 4: HRC güvenlik ve ergonomisinde potansiyel zorluklar ilişkin araştırma alanları (Gualtieri ve diğerleri, 2020)

İnsan/robot iş birliğinde güvenlik ve ergonomi için iki ana ilgi alanı vardır: teknolojik ve organizasyonel. İlki, robot performanslarını optimize ederken insan robot etkileşiminin (HRI/ Human Robot Interaction) güvenliğini artırmak için tekniklerin geliştirilmesiyle ilgilidir. İkincisi, iş birlikçi sistemlerde güvenlik ve ergonomi çözümlerinin daha iyi tasarlanması ve değerlendirilmesi için yönetim araçlarıyla ilgilidir.

Endüstriyel iş birlikçi robotikte güvenlik ve ergonomi için gelecekteki gelişmeleri, temel olasılıkları ve yenilikleri yorumlamak ve tartışmak için ana örgütsel araştırma alanları önerilmiştir. Aşağıdaki liste, Bolzano-Bozen Free Üniversitesi'nin akıllı mini fabrika (SMF/Smart Mini-Factory) laboratuvarında araştırmacılar tarafından elde edilen farklı araştırma sonuçlarına göre geliştirilmiştir (Gualtieri 2018).

2.3.3.Risk değerlendirmesi için yeni metodolojilerin geliştirilmesi

İnsanlar ve endüstriyel robotlar arasında doğrudan fiziksel etkileşim olasılığı, İSG alanında yeni bir paradigmayı temsil etmektedir. İşbirliğine dayalı sistemlerin tanıtımı, üretim açısından yeni olasılıkların yanı sıra operatör güvenliği ve ergonomi açısından yeni zorluklara da olanak tanır. Bu nedenle insanlar ve robotlar arasındaki etkileşim olasılığını da içererek yeni ve sağlam risk değerlendirme yöntemleri geliştirilmelidir. Mesleki risklerin değerlendirilmesi için çeşitli yöntemler vardır. Şu anda, makine risk değerlendirmesi için en gelişmiş yöntemlerden biri hibrit yöntemdir (ISO 2012). Bu yöntem, renklerle üç farklı risk koşulunu tanımlar: kırmızı, güvenlik önlemlerinin gerekli olduğu anlamına gelir, sarı, güvenlik önlemlerinin önerildiği anlamına gelir, yeşil, güvenlik önlemlerinin gerekli olmadığı anlamına gelir. Bu risk koşulları, beş nitel değişken üzerinden bir risk matrisi kullanılarak hesaplanır: Önem (Se/Severity), Sıklık (Fr/Frequency), Olasılık (Pr/Probability), kaçınma (Av/Avoidance) ve Sınıf (önceki endekslerin toplamı olan CI/Class). Bu endeksler (ISO 2012) ve (ISO 2016) 'da bulunan yönergelere göre tahmin edilmiştir. Yalnızca mekanik riskler göz önüne alındığında, iş birliğine dayalı robotik durumunda, ana potansiyel zararlar hafif veya orta şiddettedir. Genel olarak, Olasılık ve Sıklık endeksleri birbirleriyle daha alakalı değerlerdir. İşbirliğine dayalı uygulamalar için gerekli olan sınırlı robot hızı aralığı nedeniyle istenmeyen temaslardan kaçınmanın gerçek bir olasılığı olduğundan, kaçınma endeksi orta olabilir. Risk değerlendirmesinin nihai amacı, kabul edilebilir bir artık risk değerine ulaşmak için tasarımcı ve kullanıcı tarafından uygulanan koruyucu önlemlerin benimsenmesi yoluyla riskin azaltılması olacaktır. Risk azaltımı, güvenlik çözümlerinin

uygulanmasından önce (*CI*) ve sonra (*CI **) farklı risk sınıfı değerleri aracılığıyla değerlendirilebilir. İşbirliğine dayalı uygulamalarla ilgili emniyet gereksinimlerinin karmaşıklığından dolayı, uygun risk değerlendirmesi için burada anlatılana benzer genişletilmiş bir yöntemin kullanılması önerilen bir seçenektir.

Bilişsel Ergonomide Entegrasyon: Çalışma alanlarının paylaşımı ve insanlar ve endüstriyel robotlar arasındaki fiziksel etkileşim, ortak çalışmanın bilişsel ergonomisini etkileyebilir. Bu kapsamda hibrit operasyonlar sırasında oluşabilecek zihinsel stres ve psikolojik rahatsızlık durumlarının en aza indirilmesi zorunlu olacaktır. Güvenlik önlemleri iyi tasarlanmış ve uygulanmış olsa bile, robotun varlığı insanlar için bir tehlike veya stres kaynağı olarak algılanmamalıdır. Tasarımcılar, insan merkezli ve insan dostu iş birliği iş istasyonlarını psikolojik açıdan da geliştirmek için bu tür bilişsel ergonomi sorunlarını dikkate almalıdır.

İşbirlikçi Montaj için Tasarım (DFCA/ Design for Collaborative Assembly) tarafından erken aşama ürün tasarımında iş birliğine dayalı çalışma alanlarının güvenlik ve ergonomi entegrasyonu: Ortak alanların erken aşama tasarımında güvenlik ve ergonominin entegrasyonu için eşzamanlı mühendislik (CE/Concurrent Engineering) yöntemlerinin uygulanması, iş birliği sistemlerin optimizasyonu için çok önemli olacaktır. Eşzamanlı Mühendislik (CE), "*karmaşık ürünlerin entegre, eşzamanlı tasarımına ve geliştirilmesine ve bunlarla ilgili süreçlere yönelik kapsamlı, sistematik bir yaklaşımdır*" (yani üretim, lojistik, bertaraf, vb.) (Verhagen2015). Buradaki amaç, ürün geliştirmeyi ve pazara sunma süresini azaltarak üretkenliği artırmak ve üretim maliyetlerini düşürmektir. Bu metodoloji, ürün yaşam döngüsünün tüm erken aşama özelliklerinin, tasarımdan başlayarak bertarafı ile sonuçlanana dikkate alınmasını gerektirir (Verhagen 2015). Potansiyel olarak endüstriyel insan/robot etkileşimi ile ilgili olan risklerin doğası gereği, iş birliği bir sistemin eşzamanlı tasarımı, entegre ürünler ve süreç geliştirme için İSG gereksinimlerinin erken değerlendirilmesini gerektirir. Güvenli ve verimli çözümler geliştirmek için, endüstriyel bir makinenin (ve ilgili prosesin) genel tasarımı ve erken tasarım aşamalarında güvenlik sistemlerinin işlevsel sistemlerle entegrasyonunu ve optimizasyonunun dikkate alınması gerekir. Bununla birlikte, makineyi güvenlik gereksinimlerini dikkate almadan tasarlayıp geliştirmek ve ardından bunları gerçeğe dönüştürmek yaygın bir yoldur. Bu durum, özellikle iş birliği sistemler için tasarım sonuçlarını kaçınılmaz olarak daha verimsiz ve zaman alıcı hale getirir.

Mühendislik tasarımı açısından ürün tasarımı, eşzamanlı mühendisliğin diğer bir temel parçasıdır. Müşteri gereksinimlerini karşılamak için mühendislik tasarımı, fikirlerin ve kavramların oluşturulmasına ve işlevsel ürünlere ve süreçlere dönüştürülmesine izin verir. Şu anda, manuel işlemlerde yer alan optimize edilmiş ürünlerin büyük parçaları, manuel üretim ve montaj için tasarlanmıştır. Bu, özellikle manuel toplama, taşıma, montaj ve / veya üretim için tasarlanmış teknik özellikler ve üretim süreçleri sunduğu anlamına gelir. Ancak, bu bileşenler robotik veya otomatik işleme için uygun özelliklere sahip değildir. Endüstriyel iş birlikçi robot pazarının sürekli olarak büyüdüğü göz önüne alındığında, iş birliğine dayalı operasyonların yakın gelecekte ilginç bir zorluk olacağını söylemek hiç de zor olmayacaktır. Bu nedenle, iş birlikçi görevler sırasında insan-robot fiziksel etkileşimi için gereksinimleri göz önünde bulunduran yeni ürün tasarım yaklaşımları oluşturmak özellikle yararlı olacaktır. Bu nedenle, ürün tasarımı için yeni bir araştırma alanı, yeni bir "İşbirliğine Dayalı Montaj İçin Tasarım" (DFCA/ Design for Collaborative Assembly) yöntemi ekleyerek yaygın olarak bilinen "X İçin Tasarım" (DFX/Design for X) tekniklerini zenginleştirmek olabilir. Fiziksel insan /robot etkileşimi sırasında ortaya çıkabilecek mekanik riskin en aza indirilmesine göre ürün özelliklerinin tasarımını bazı olasılıklar içermelidir.

2.4. Robot Bilimde Siber Güvenlik Riskleri

Siber güvenlik, bilişim sistemlerinde elektronik verilerin kriminal veya yetkisiz kullanımına karşı korunma durumu, yaşamın, entegrasyonun, maddi veya manevi varlıklarımızın hatta elektronik ortamdaki verilerimizin güvenliğinin, bütünlüğünün ve gizliliğinin korunması şeklinde tanımlanabilir. Robotbilimde ise, kontrol sistemlerini, kritik altyapıları ve teknoloji taşıma sistemlerini içerebilecek bilgisayar sistemlerine yönelik saldırıları savunmaya çalışan bir alandır. Elektronik, bilgisayar ve ağ etki alanlarının gizliliği, bütünlüğü, kullanılabilirliği, özgünlüğü ve reddedilmemesi gibi beş güvenlik hizmeti sağlar. Resmi ve tüzel kurumların çoğu, çok miktarda gizli veri toplar, işler ve depolar ve ağlar üzerinden diğer sistemlere iletir. Siber güvenliğin en önemli nedenlerinden biri, güvenlik risklerinin sürekli gelişen doğasıdır. Geleneksel sistemlerin birçoğu önemli tehditlere karşı koruma konusunda başarılı olsa da, birçok olası tehdit hala keşfedilmemiştir. Siber saldırıların hacmi ve karmaşıklığı katlanarak arttıkça, ulusal güvenlikle ilgili olduğu kadar kişisel çıkarları ve internete bağlı makinelerle ilgili bilgileri de büyük bir titizlikle korumak gerekir.

Böylece bir teknoloji, süreç ve uygulama grubu, ağların, bilgisayarların, programların ve verilerin saldırı, hasar veya yetkisiz erişimden korunması için çalışır. Ulusal Bilim ve Teknoloji Enstitüsü (NIST/National Institute of Science and Technology), **siber saldırıyı, siber alanı bir bilgi işlem ortamını veya altyapısını bozmak, devre dışı bırakmak, yok etmek veya kötü amaçlı olarak kontrol etmek için kullanmak için bir araç** olarak tanımlar. Siber saldırı, verilerin bütünlüğünün yok edilmesine veya kontrollü bilgilerin çalınmasına yol açacaktır. Robot ortamında ise robotun istem dışı hareketler yapmasına neden olacaktır. Siber altyapı genellikle Elektronik Bilgi ve iletişim sistemleri, donanım ve yazılım, depolama, işleme ve iletişimden oluşur. Teknolojik operasyonların en büyük riski olan siber güvenlik, teknolojiyi neredeyse her alanda kullanabilmektedir.

İlk nesil robotlar sensörlerden yoksun sabit, programlanamayan, elektromekanik cihazlarla kontrol edilebiliyordu. Bunların yerini sensör ve kontrol cihazları ile gelen ikinci nesil robotlar aldı.

Üçüncü nesil robot, ikinci nesil robotun daha da rafine bir versiyonuydu ve birçok değişik özelliklerle doluydu, bu robotlar, sabit veya hareketli olabiliyor, konuşma, tanıma ve sentezle birlikte karmaşık programlama yeteneklerine sahip oldular. Bu gelişmelerle birlikte, robotun tanımı da sürekli olarak değişti, robot, hız ve hassasiyetin bir kaydını tutarak görevleri tekrar tekrar gerçekleştirmek için tasarlanan bir birim olarak tanımlanabilir hale geldi. Çekçe'de "zorla çalıştırmayı" anlamına gelen "robot" kelimesinden türeyen robot, günümüzde de hala bir operatörden ve bilgisayar sisteminden emir alarak çalışan iş gören durumundadırlar. Robotlar nasıl kontrol edildiklerine bağlı olarak başlıca iki grupta incelenirler;

1) Otonom Robotlar: Bunlar insan veya operatör müdahalesine ihtiyaç duymayan ve görevleri kendi başlarına gerçekleştirebilen robotlardır, Örn: Herhangi bir engelleme ile karşılaştığında yön değiştirerek çalışmasına devam eden robotlar. (Bump and Go).

2) Böcek Robotlar: Tek bir kontrolörün komutuyla çalışan bir grup robot, böcek robotları kategorisine girer. Filonun tamamının tek bir lideri takip ettiği bir böcek kolonisine benzer.

Bir robotun sahip olması gereken ana karakteristikleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

1) Hissetme: Bir robotun çevresinde olanları hissedebilir olması gerekir, bu amaçla ışık sensörleri, dokunma ve basınç sensörleri, kimyasal sensörler, sonar sensörleri ve tatma sensörleri ile donatılmıştır.

2) Hareket: Robotu etkin kılan en önemli özelliklerinden biri hareket yeteneğidir, hareket etmek için tekerleklere veya yürüme mekanizmaları ile mafsalları ile hareketlerini sağlar. Hareket, robotun pozisyonunda gerçek bir yer değiştirmeyi veya hareket etmek için robotun basit parçalarını gösterebilir.

3) Enerji: Bir robotun işlevlerini yerine getirebilmesi için gerekli miktarda enerji / güç ile donatılması gerekir. Bu enerjiyi, güneş pillerinden, pillerden veya elektrikten alabilir.

4) Zeka: Robotlar kendileri için hazırlanan spesifik programlarla çevreye uyum sağlayacak bir zeka düzeyine erişirler, akıllı robota dönüşürler. Akıllı robot, ortamından ve deneyiminden öğrenebilen ve bu bilgiye dayalı yeteneklerini geliştirebilen yapay bir zeka (AI/Artificial Intelligence) sistemidir.

Böylece, robot bir görevi yerine getirmek için aynı anda çalışan sensörleri, kontrol sistemlerini, manipülatörleri, güç kaynaklarını ve yazılımları içeren bir sistem olarak adlandırılabilir. Makine mühendisliği, fizik, elektrik ve yapı mühendisliği gibi alanlardan destek alır, matematik ve bilgisayar teknolojisi de katkıda bulunur. İnsanlarla paralellikleri nedeniyle, belirli gelişmiş robotlara Android adı verilir, böylece daha çok alanda insanlığa yardımcı olurlar. Robotların bir kısmı görevlerini kendi başlarına yaparlar. Diğer robotlar her zaman onlara ne yapacaklarını söyleyen bir kişiye sahip olmalıdır. Sonuç olarak robotik/ robot bilim, robotların tasarımı, üretimi ve işleyişi ile ilgilenen bir mühendislik dalı olarak, yapay zeka, nanoteknoloji ve biyomühendislikten büyük destek alır.

Robotiğin 3 ana kanununa göre;

- Robotlar asla insanlara zarar vermemelidir.
- Robotlar kuralı ihlal etmeden insanlardan talimatları takip etmelidir,
- Robotlar herhangi bir kuralı ihlalinden kendilerini korumalıdır.

2.4.1. Robotikte Siber Güvenliğinin Önemi

Hızlı değişim geçiren bir dünyada, inovasyon ve teknoloji, son birkaç on yılda robot biliminin sürekli gelişmesine neden oldu. Başlangıçta sadece üretim dünyası ile sınırlı olan robotbilim, günümüzde üretkenliği daha kısa sürede artıran, karmaşık işler yapabilen bir yapı haline geldi. Veri, sistemler ve insanlar dijital olarak bağlandıkça siber tehdit katlanarak artmaya başladı. Önümüzdeki on yıl içerisinde robotik ve otomasyon endüstrisinin 62 milyar dolardan 1.2 trilyon dolara çıkacağı tahmin ediliyor. Tüketici robot endüstrisinin 2019 yılına kadar 1,5 milyar doların üzerinde olduğuna inanılıyor. Ayrıca robotik, Bulut Bilişim Ortamı ile de ilişkilendirilebilir. Robotike (robotbilim) olan talep arttıkça, robotiklerle ilişkili riskler de artmaya, robotlardaki artan siber güvenlik ihlalleri robotik üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmaya başladı böylece firmalar finansal ve saygınlık açısından zarar görmeye başladılar. Saldırıya uğramış bir robot insanlara zarar vermek veya kasıtlı olarak arızaları gerçekleştirmek için kullanılabilir. Bu nedenle de, önümüzdeki yıllarda, bilgisayar korsanlarının endüstri korumalarını geçersiz kılabilmesi, hizmetleri bozabilmesi, ürünlere zarar verebilmesi ve önemli bilgileri çalabilmesi çok daha kolay hale gelecektir. Gerçek zamanlı kısıtlamaların çoğu robotik uygulamalarında genellikle çok önemli bir rol oynar. Yazılım hataları ve güvenlik açıkları dışında, robotik de iletişime eğilimlidir. Robotik alanında güvenlik ve gizlilik gerektiren birkaç uygulamadan bahsedecek olursak;

Savunma ve Uzak Endüstrisi: Askeri amaçlarla, gözetim ve savaşma amaçlı olarak kullanılabilen insansız hava araçları olarak da bilinen cihazların tanıtımında robotbilimden faydalanılmaktadır. Bu tür cihazların genelde şifrelenerek kullanılması gerekir. Şifrelenmedikleri takdirde, kötü niyetli birinin kontrolü ele geçirerek, şifrelenmemiş bir insansız hava aracını kolaylıkla istediği gibi kullanabilmesi mümkündür. İstediği takdirde, kontrolüne aldığı aracı rahatlıkla nüfusun yoğun olduğu bir bölgeye kötü amaçla yönlendirebilmesi mümkündür. Bunun dışında, bir kuruluşun hassas veri merkezlerine girerek kayıtları sabote eden bağlı robotların denetimini ele geçiren kötü niyetli saldırılar da olabilir.

Tıbbi Ameliyatlar: Robotlara komutlar vererek hastaların ameliyat edilmesinde potansiyel bir tehlike vardır. Robotun kullanıldığı bir ameliyatta, ameliyat sırasında robot cerrahla birlikte aynı iş birlikçi ortamı kullanmaktadır, sistemde herhangi bir şifreleme

veya kimlik doğrulama aşaması yoksa, sistem saldırıya açıktır ve yetkisiz bir kuruluş cerrahi robotun denetimini eline geçirdiği takdirde robot her türlü riske açık hale gelir.

Ev Robotları: Bu robotlar asistan veya evde çeşitli işlerde hane halkının günlük işlerinde yardımcı olabilir. Çalışmaları sırasında, işlerinin gereği olarak, çeşitli sensör ve kameralarla donatılmış oldukça büyük bir bilgi havuzuna sahip olabilirler. Ancak bu bilgilerin çok iyi korunuyor olmaları gerekir. Bazı robotlar ev işlerine yardımcı olurken bazıları da insanların sağlıkları ile bilgileri toplayabilirler. Bu tür hassas bilgiler dikkate alınmalıdır, ihmal, yetkisiz bir kişinin ev robotunu kontrol altına almasına ve hassas verilere erişmesine neden olabilir.

Afet Robotları: Günümüzde robotbilim teknolojisi afetlerde kurtarma çalışmalarında da kullanılmaya başlandı. Afet robotlarına, zararlı sistemlere veya maddelere erişme, bunları kırma, onarma ve bozma sorumluluğu verilebilmektedir. Diğer robot uygulamalarında olduğu gibi, robotlar aşırı tehlike oluşturabildiğinden, harici bir kuruluş tarafından erişilmemeleri gerekir. Örneğin herhangi bir nükleer tesiste yetkisi olmayan birinin robota erişebilmesi vb. gibi.

2.4.1.1 Robotikte Mevcut Güvenlik Durumu

Robotik cihazın verimli bir şekilde yönetilmesi ve kontrol edilebilmesi için sensörler, kontrol sistemleri, manipülatörler ile yazılımlar kullanır. Bileşen tabanlı yazılım mühendisliği robotikte önemli bir rol oynadığından, bileşenler protokolleri kullanarak birbirleriyle iletişim kuran bireysel bilgisayar programları gibi davranır. Robot İşletim Sistemi (ROS/Robot Operating System) ve Yine başka bir Robot Platformu (YARP/Yet Another Robot Platform), topolojiye bağlı birçok ana bilgisayarda bir dizi program içeren robotik odaklı mimarilerdir. Bileşen tabanlı yazılım mühendisliği robotikte önemli bir rol oynadığından, bileşenler protokolleri kullanarak birbirleriyle iletişim kuran bireysel bilgisayar programları gibi davranır. Robot işletim sisteminde iletiler şifrelenerek veya şifrelenmeden çeşitli protokoller kullanılarak iletilirler. MD5, veri bütünlüğünü sağlayan ve çeşitli kimlik doğrulama mekanizmalarının tanıtıldığı bir mesaj özet algoritmasıdır. Sistem şifrelenmediği takdirde, sistem çok kolay bir şekilde başka bir gücün kontrolüne geçebilir. YARP'ta sensörler, işlemciler ve aktüatörler yazılımlarla bağlantılıdır. Uygulama bozuk verilere açık olduğundan yüksek güvenlik riskine yol açar.

Robotik için siber güvenlik, sistemin mevcut güvenlik teknolojilerinin ötesinde esnek olmasını gerektirir. Örneğin, bir robot bir hedefe küçük bir paket teslim edecekse, birden fazla faktörü göz önünde bulundurmalıdır. Çevreyi akıllıca kontrol ederek hedefe güvenli bir şekilde yaklaşabilmelidir, hedefi belirleyip oraya doğru yönelirken kendisinin bulunduğu veriyolunun algılanmaması gerekir. Engellerden kaçınmak ve herhangi bir hasar meydana gelmesi durumunda uyarlanabilir olması için titiz olması önemlidir. Gerekirse yeniden yapılandırılması ve değiştirilmesi kolay olmalıdır. Bu özelliklere rağmen, başka güçlerinin kontrolüne girme riski yine de yüksektir. Akıllı cihazları ihlal ederek, kişisel bilgileri edinmek ve onları başka amaçlarla kullanabilmek mümkündür. Nitekim yapılan bir araştırmada son zamanlarda 69,000'den fazla akıllı cihaz kablosuz saldırıya uğramıştır. (Bolden, 2015)

Robotik etki alanında herhangi bir siber saldırı ya bir uç nokta uzlaşma sorunudur ya da bir ağ-iletişim tabanlı saldırıdır. Uç nokta uzlaşması, denetleyicinin robotu kontrol edemediğini görünürken, ağ iletişimi tabanlı saldırı, bir saldırganı ağa gizlice dinlemeye veya kötü amaçlı kod enjekte etmeye teşvik eder. İki saldırı vektörünün yoğunluğunu karşılaştıran bir faktör fiziksel erişimdir.

Ağ iletişimine dayalı saldırılara fiziksel erişim daha fazla olduğundan, uç nokta uzlaşma saldırılarına kıyasla çok daha fazla gündeme gelirler. Robotik ortam birçok risk ve güvenlik açığı tarafından tehdit altındadır.

Karar değişikliğinden kaynaklanan saldırılar: Bu tür saldırılar, kontrolör tarafından kumanda edilen bir robotun eylemlerini etkilemek için kasıtlı olarak gerçekleştirilir. Bu özel saldırı, paketler hala geçiş modundayken iletiyi değiştirmeyi amaçlamaktadır. Özellikle, paket üstbilgileri bir rakip tarafından paketleri başka bir hedefe yönlendirmek veya hedef makinelerde bulunan verileri değiştirmek için değiştirilir. Hizmet Reddi saldırıları, Bir Niyet Değişikliği saldırı sınıfı temsil eder. Bu tür saldırılarda, robotların ağ arayüzü Aktarım Katmanı Protokolü trafiği TCP (Transmission Control Protocol) ile engellenmiştir. Bu saldırıların da başlıca iki sonucu vardır;

Robotu Durdurma: Robotun hizmeti aksatma saldırısıyla boğulmuş olmasının fiziksel bir göstergesidir. Aynı zamanda robotun düzensiz hareketlerine yol açabilir. Robot tekrar tekrar ve farklı süreler için durdurabilir, hız da değişebilir.

Yön komutlarına yanıt vermede gecikme: Hizmet aksatma saldırısı altındaki bir robotta, düşük hızdan yüksek hıza geçiş sırasında gecikmeler görülür. Çeşitli navigasyon komutlarına anında yanıt veremeyebilir.

Hedef Saptırma /Kasıtlı Manipülasyon Atakları: Kasıtlı manipülasyon saldırısında, saldırgan robotlardan kontrolöre iletilen mesajı yeniden yapılandırır. Bunlar denetleyici tarafından verilen girişe bir yanıt olduğu için geri bildirim mesajları olarak da bilinir. Denetleyicinin amacı gerçek olduğundan, bu saldırıları gerçekleştirmek bir miktar zordur. Ancak, doğru yürütülürse, bu tür saldırıları algılamak veya önlemek zor olabilir. Manipüle edilen geri bildirim meşru olduğuna inanılırsa, olumsuz sonuçlara yol açabilir. Robotların çoğu iletişim ağları tarafından yönetildiği için manipülasyon saldırılarına karşı son derece savunmasızdırlar. Robottaki bileşenleri manipüle etmek ve herhangi bir insan müdahalesi olmadan ağa yaymak için bir solucan (Solucan virüsü kendisini bir bilgisayardan başka bir bilgisayara kopyalamak için tasarlanmıştır. Ancak bu işlem otomatik olarak gerçekleşir. İlk olarak bilgisayarda dosya veya bilgi ileten özelliklerin denetimini ele geçirir. Solucan bir kez sisteminize girdikten sonra kendi başına ilerleyebilir.) yazılabilir.

Bağlantıyı Ele Geçirme Saldırıları: Bu, düşmanın veya saldırganın iki uç nokta arasındaki iletişimi kontrol altına aldığı saldırı şeklidir. Eğer iki uç noktada denetleyici ve robot olduğu biliniyorsa, saldırgan denetleyiciyi devre dışı bırakarak etik olmayan bir şekilde robotun içinde olduğu sistemi ele geçirmeye çalışır. Bu el koyma işleminde, saldırgan, robotun kontrolünü geçici veya kalıcı olarak birkaç saatliğine veya geri dönülemez şekilde ele geçirebilir. Bu saldırılar iki şekilde gerçekleştirilebilir:

Ağ Gözlemcisi: Bir denetleyici ile robot arasında iletilen bilgileri dinleme veya gözetleme niyeti olan kötü niyetli biri. Bu kötü niyetli, bilgi toplama, iletişim ağına güvenilmez bilgiler sokma ve her iki tarafa da iyi niyetli görünen biri olabilir.

Ağ Aracısı: Kendini denetleyici ile robot arasında konumlandıran bir kötü niyetli, böylece uçlar arasındaki gizli iletişimi engelliyor.

2.4.1.2. Robotlar Arasında Siber Güvenlik Risklerinden Kaçınmak İçin Bazı Azaltma Stratejileri

Güvenlik ihlallerinin sınır tanımaması ve robotik alanının bu kadar güvensizliğe karşı savunmasız olması nedeniyle, bu tür saldırıların insanlara zarar vermeden önce mutlaka önlenmesi gerekir. Saldırıları tanımlamak ve bir sistemi güvence altına almak ve hafifletmek için çeşitli yöntemler ortaya konmuştur.

- **İletişimin Dayanıklılığı:** Komutların bir kumandadan robota iletilmesi ve robottan kumandaya geri bildirim için bir iletim ortamı gerekir. Saldırıların çoğuna karşı savunmasız olan bu iletim aracıdır. Aktarılan bilgiler için kanallar üzerinden bir güvenlik katmanı sağlanması kesinlikle olası güvensizlikleri azaltacaktır. İletişim adanmış olduğundan, iletilen veriler üzerinde kimlik doğrulama mekanizmalarının şifrelenmesi ve tanıtılması, değişiklik, manipülasyon ve saldırı saldırılarını kısıtlayacaktır.
- **Robot İşletim Sisteminde Veri Dağıtım Hizmeti:** Daha önce tartışıldığı gibi, Robot İşletim Sistemlerinde (ROS) mesajlar, gizli dinlemeyi teşvik eden şifreleme olmadan iletebilir. Ancak, veri Dağıtım Hizmeti'nin (DDS/Data Distribution System) bir aktarım katmanı olarak entegre edilmesi, kimlik doğrulama, erişim denetimi ve şifreleme sağlayan eklentilerin yüklenmesine yol açacaktır.
- **Başka Bir Robot Platformu (YARP/Yet Another Robot Platform)nda Kimlik Doğrulama Mekanizması:** YARP'tan yararlanıldığında tüm altyapı ortaya çıkabilir. Ancak, anahtar değişimi sağlanarak YARP'ta bir kimlik doğrulama mekanizması getirilebilir. Port izleme ve tahkim, iletilen verilerin uygun şekilde kodlanmasını ve kodunun çözülmesini sağlayabilir.
- **Bulut Güvence Altına Alma:** Bulut robotik, bulut bilişim ortamına gömülü robotiklere sahip bir yayılan alandır. Bulut depolama ve bulut altyapısının diğer internet teknolojilerine dayanır. Robotik uygulamalar için bellek, hesaplama gücü ve ara bağlantının geliştirilmesine yol açar. Veriler, sensörler tarafından toplanır ve ilgili bilgiler ağlarla iletişim merkezine yüklenir. Bilgiler işlenir ve diğer robotlarla paylaşılabilir.
- **Bilgisayarlar ve Bilgisayar Birimleri Arasındaki İletişim:** İletişim otobanı tarafından da güvenli iletişim sağlanabilir. Geleneksel iletişimin aksine, iletişim

otobanı Ethernet'e dayanır ve bu nedenle TCP/UDP/IP ile ilgili özelliklerden yararlanabilir.

1) Güvenli Uygulamalar Olarak Robotlar:

Robotik platformunun yapısı geleneksel bilgisayar sistemleri platformuna dayanmaktadır ve bu nedenle güvenlik sorunları her ikisi için de benzerdir. Robotik platformlar ağırlıklı olarak donanım ve yazılım bileşenlerinden oluşur. Genel amaçlı robotların popülerliğinin artmasıyla birlikte, robotlardan istediğimiz görevler de artmakta ve bununla ilgili olarak birçok uygulama ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle de robotların mutlaka güvenli hale getirilmesi gerekir. Gizlilik belirli erişim kontrol mekanizmaları tarafından elde edilebilir başka bir önemli endişe ise yüksek düzeyde soyutlamalar sistemi güvence altına almak için kullanılabilir. Kullanıcılar güvenli bir şekilde tanımlandıkça ve ayrıcalık düzeyleri verildiğinden, gizlilik sağlanır, bunun için de robotikte güvenliği sağlamak için özel yazılım mimarileri önerilmiştir. Üst düzey soyutlamalar robotlar için politikaları tanımlar. Çerçevenin ana bileşenlerini ayırmak ve bunlar arasında katı bir arabirim tanımlamak, sistemin kolayca güvence altına alınmasına olanak sağlayabilir. Bu durumda bileşenler arası iletişim, kolayca denetlenebilecek ortak bir mesaj geçirme ara yüzünden geçecektir. Verilen şekil, farklı iletilerin iletilmesinden sorumlu ince bir yazılım katmanında yaşayan bir mikrokernele (mikro çekirdek) benzeyen önerilen bir mimaridir. Yukarıdaki katmanlar, donanıma özgü özellikler, robot soyutlamaları ve uygulamalar için soyutlamalar uygular. Üstte çalışan uygulamalar, daha düşük seviyelerin taşıdığı soyutlamaları kullanır.

Robotlarda çok fazla güvenlik uygulaması vardır, bunlardan dört tanesini inceleyecek olursak;

- **Uzaktan gözetim için robotlar:** RoboSentry gibi otonom mobil platforma güvenen robotlar sadece tekerlekler yardımıyla hareket etmekle kalmıyor, aynı zamanda video, ses ve diğer hassas verileri de kaydedebilme özelliklerine sahiptirler. Özerk ve yüksek çözünürlüklü kameralara sahip olup uzaktan kumanda edilebilirler. Tehlikeli gazları tespit etme yeteneğine sahiptirler ve güvenlik ve Kapalı Devre Televizyon (CCTV/ Closed Circuit Television) sistemlerini entegre edebilirler.
- **Alarm Doğrulama Robotları:** Herhangi bir güvenlik kurulumu için yanlış alarm istenmeyen bir durumdur. Birçok robot alarm durumunu doğrulayabilme yeteneğine sahiptir. Robotlar mevcut güvenlik, erişim kontrolü ve CCTV sistemlerine entegre

edilebilirler. Alarm koşulları tespit edilirse, robotlar mümkün olan en kısa sürede uyarılabilirler. Uyarıyla birlikte, dahili sensörler ısı, duman ve alevlerin varlığını onaylayabilir ve aynı zamanda canlı ses ve görüntü mesajları gönderebilir. Merkezi istasyona gönderilen bir onay sinyali herhangi bir aksiliği önlenmesinde yardımcı olacaktır.

- **İzleme Robotları:** Otonom bir mobil platforma sahip belirli bir aralık göz önüne alındığında, bir robot Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID/Radio Frequency Identification) etiketli öğeleri izleyebilir ve bulabilir. Yerleşimdeki belirli bir öğenin geçerli konumu bir robot tarafından oluşturulabilir ve korunabilir. Ayrıca zaten var olan bir güvenlik sistemine entegre edilebilir.
- **Tesis Yönetimi için Robotlar:** Otonom bir mobil robot, bir tesisin son derece doğru, dinamik olarak korunan yerleşimini oluşturma ve koruma yeteneğine sahiptir. Bu harita bilgi toplamak için kullanılabilir. Örneğin, herhangi bir yerleşimdeki koridorlar, tıkanmış koridorlar, sıcaklık, wi-fi kapsama alanı, güvenlik aydınlatmasındaki arızalar ve cep telefonu kapsama alanı gibi parametreler bu robotlar tarafından saptanabilir. Robot tarafından tespit edilen ses ve video kayıtları ile anlık görüntüler tesis yönetimi için kullanılabilir.
- **Robotikte (Robotbilim) Etik:** Son gelişmelerle birlikte, robotik, araba sürme, tıbbi kayıtlar ve günlük faaliyetlerde günlük yaşantımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Ancak, bu işlemlerin çoğu internet ortamında yapıldığından, gizlilik ve güvenlik sorunu gündeme gelmiştir. Akıllı robotlar ve sürücüsüz arabalar etkilidir ama etik sorunları da beraberinde getirirler. Siber teknoloji, robot bilimin yaygın bir şekilde kullanılabileceği el aletleri, kişisel bilgisayarlar, ana bilgisayarlar vb. birçok cihazın üretiminde kullanılır. Siber etik, bilgisayar uzmanları tarafından gerçekleştirilen bilgi işlem makinelerinde etik konuların temelini oluşturur. Robotikte siber güvenlik etiği hem siberetik hem de teknolojik etikten oluşur. Siberetik, bilgisayarlara ilişkin etik ile ilgilenip, bilgisayar sistemlerinin davranış ve etkilerini göz önünde bulundurabilirken, teknolojik etik daha çok yeni teknolojinin geliştirilmesiyle ilgilenir. Robotik hem siber hem de teknolojiyi desteklediğinden, robot bilimindeki etik her iki alana da uygun olmalıdır.

Robotbilimde etik, insan davranışları, insanların nasıl tasarım yaptıkları, tasarımlarını nasıl inşa ettikleri ve onlara nasıl davrandıkları ile ilgilenir. Teknoloji ve siber uzay açısından robotik açıdan bazı etik zorluklar aşağıdaki gibi belirtebiliriz;

Telif Hakları: Etik kurallar sanatçıları yapımcıları etkilediği gibi robotun, bir parçası olduğu ülkelerdeki endüstrileri, ulusal hükümeti ve uluslararası ilişkileri etkileyebilir. Bu yüzden, yeni inovasyon yaratmak için telif hakkıyla korunan malzemelerin kullanımı kısıtlanmıştır.

Siber Suç: Teknoloji sosyal, kültürel ve ekonomik alanları etkiler. Çoğu zaman işletmeler telif hakkı ile ilgili hususları istismar etmek isterler. Siber suçlar hızla arttıkça, suçlular insanların özgürlüğünü tehdit etmek için dijital araçlar kullanabilirler.

Gizlilik ve Güvenlik (Havaalanlarında Tam Vücut Tarayıcıları Olgusu): Tam vücut X ışını tarayıcıları tanıtıldığından itibaren birçok kişi insanların gizliliğini sorgulamaya başladı. Güvenliği artırmak için, insanların dikkörtgen bir elektronik çerçevenin içerisinde durması istenip, insan üzerinde metal tespit etmek amacıyla, kişisel mahremiyet ve tevazu kötüye kullanılarak, istenirse alternatif dalga boyu kullanılarak insan vücudunu çıplak görüntüleyebilmek mümkün olabilmektedir.

Gizlilik ve Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS/Privacy and Global Positioning Systems) Teknolojileri: GPS cihazları Robotik evriminde önemli bir rol oynamıştır. Cep telefonu taşıyan kişilerin konumu, gizliliğe meydan okuyan GPS teknolojisi ile anında izlenebilir. Bu sadece vatandaşların devletleriyle olan etkileşimini değil, aynı zamanda işyerlerindeki çalışanların da etkileşimini etkiler. Ancak, birçok araç ve ekipman GPS'i destekleyerek sivil özgürlüklerle çelişmektedir. Bu tür teknolojik etkiler nedeniyle uygun gizlilik seviyeleri sorgulanmaktadır.

Kendi hedeflerini seçme için otonom robotlar: Otonom sistemler popüler hale gelmesiyle birlikte insanların özel alanlarına tecavüz etmeye başladılar, bu nedenle bunların kontrol edilme ihtiyacı gündeme geldi. Örneğin, otonom sisteme sahip bir araba insanların beklediği bir otoparkta park yerini almak için bekleyen araba kuyruğunu ihlal edebilir veya insanlar beklerken bir mağazadan sınırsız mal tedariki yapan sistemler olabilir. Otonom bir robotun kendi hedeflerini seçmesine izin verilmemelidir. Buradaki hedef etik kuralların dışına çıkmayacak ve çıkmasına izin verilmeyecek robotlar tasarlamaktır.

2.4.1.3. Robotikte Uyulması Gereken Bazı Etik Kurallar

Robotlar topluma birbirinden değişik çok fazla konuda hizmet ve yardım eder. Robotik teknolojisi ilerledikçe, bazı etik sorunlar ortaya çıkar. Siberetik ve teknolojik etik ile ilgili robotik etki alanı için, etiği tanımlamak üzere kesin ilkeler belirlenmelidir.

1) İnsan Onuruna ilişkin Hususlar:

- İnsanların duygusal ihtiyaçlarına her zaman saygı duyulacak,
- İnsanların mahremiyet hakkına her zaman saygı duyulacak,
- İnsanın kırılğanlığına her zaman, fiziksel ve psikolojik olarak saygı gösterilecek,

2) Tasarım Sırasında Dikkat Edilmesi Gerekenler:

- Robotik sistemlerin programlamasında azami şeffaflık sağlanacak,
- Robotik davranışta öngörülebilirlik arzu edilir,
- Güvenilir sistem tasarım ilkeleri bir robotun çalışmasının tüm yönleri için gereklidir,
- Makul tasarım hedeflenerek, kullanıcılara gerçek zamanlı durum göstergeleri sağlanmalıdır,
- Bariz devre dışı bırakma mekanizmaları, makul tasarım hedefleri ile büyük ölçüde tutarlı olmalıdır.

3) Yasal Hususlar:

- Bireylerin hakları ve korumaları ile ilgili tüm ilgili yasa ve yönetmeliklere uyulması gerekir,
- Bir robotun karar yolları dava ve uyuşmazlık çözümü amacıyla yeniden inşa edilmelidir,

4) Sosyal Hususlar:

- Robot tasarımı sırasında, ırkçı, cinsiyetçi, güçlü morfolojileri veya davranışlardan uzak durulmalıdır,
- İnsanların robotlara bağlanma eğilimi tasarım sırasında düşünölmelidir.

2.4.1.4. Siber Güvenliği Sağlamak İçin Gerekli Robotik Yasalar

Bir robotun tüm işlevlerini etik sınırları içinde yerine getirebilmesi için bazı yasalar getirilmiştir.

- 1) Otonom bir insansız hava aracının çarpması veya yanlış gitmesi veya otomatik bir aracın kazaya neden olması durumunda tasarımcının, programcının, üreticinin veya operatörün hatalı olup olmadığının belirlenmesi zorunludur. Sorumlulukları tahsis etmek için, otonom sistemlerde zamanı belirten kayıtlar bulunmalıdır, bu bilgiler gerektiğinde referans olarak gösterilmelidir.
- 2) Etik sistemler robotlara gömülmüşse, alınan kararların çoğu insan için haklı görülmesi gerekir. Bunun için deneysel felsefe de kullanılabilir.
- 3) Mühendisler, avukatlar ve etik politikalarını oluşturanlar arasında iş birliği, doğru bir sistemin tasarlanmasına yardımcı olacaktır, (Kaynak: Priyadarshini, 2017)

2.5. Kolaboratif Robotlarda Risk Azaltma ve Risk Değerlendirme

Daha önceki tanımlamalarımıza ek olarak, endüstride kullanılan robotlar için, endüstriyel otomasyon uygulamalarında kullanım için sabit veya hareketli olabilecek 3 veya daha fazla eksenle programlanabilen, otomatik olarak kontrol edilen, yeniden programlanabilir çok amaçlı bir manipülatör ifadesini kullanabiliriz. Gerek endüstriyel robotlar ve gerekse iş birlikçi olanları endüstrinin çeşitli sektörlerinde vidalama, monte etme, yerleştirme, kaynak, yükleme, boşaltma, yükleme ve boyamaya ek olarak tıpta ameliyatlarda bile kullanılır hale gelmişlerdir. Bunun yanı sıra, tehlikeli ve tekrarlayan görevlerde de rahatlıkla kullanılabilirler. Her gün daha fazla uygulamada yer alan robotlar, uygulamalar gerektiği gibi incelenmediği ve irdelenmediği durumlarda, ciddi ve ölümcül iş kazalarına neden olabilirler. Çalışmada, yatay enjeksiyon kalıplama makinesine yardımcı ekipman olarak kullanılan endüstriyel bir robotun güvenliğini içeren bir vaka çalışması, risk analizi veya buna ilişkin risk azaltma önlemleri üzerinde durulmakta, ana tehlikeler ve riskleri azaltmak için kullanılan genel yöntemler sunulmaktadır.

Endüstriyel Robotların Karıştığı Kazaların Nedenleri:

32 kazanın analizine dayanan bir çalışmada, robot operatörlerinin (%72), bakım işçilerinin (%19) ve programcılarının da (%9) eşitli yaralanmalara uğradığı görüldü. Bu yaralanmalarda, operatörün robotla bir nesne arasına sıkıştığı yaralanmalar %56, robotla

işçinin çarpıştığı kazalar ise %44'ü oluşturuyordu. Yaralanmaların nedenleri beklenmedik robot davranışı, insan hataları (örneğin, bir işçi robota yakinken robotu harekete geçiren ikinci bir işçi) ve beklenmedik yazılım sorunlarını içeriyordu. Hasar, kayıpsız hafif yaralanmalardan ölümcül yaralanmalara kadar değişmektedir. Fransa'da Charpentier ve arkadaşları. (Charpentier P, Sghaier A (2012) Industrial robotic: Accident analysis and human-robot coactivity. SIAS Conference.)1997 ile 2010 döneminde robot operasyonları ile ilgili 31 kazayı analiz etti, bunların 20 tanesinin operasyonlar 11 tanesinin de bakım faaliyetlerinden kaynaklandığını tespit etti. Bu kazalardan, 8 tanesi ölümcül 21 tanesi ise ciddi yaralanma idi. Yaralanma nedenleri arasında, amaçlanan göreve uygun olmadıkları için güvenlik önlemlerinin bulunmaması, yanlış yükleme veya görevlendirme en belirgin olanlar idi. Robotun hareket alanına ihlallerden 6 tanesi sabit emniyet çitleri 8 tanesi ise hareketli koruyucu çitler tarafından engellendi. 5 durumda ise koruyucu emniyet çitlerinin yetersiz kaldığını görüyoruz. Risk değerlendirmesi öncesi, güvenlikle ilgili sorunlar, yanlış kullanım, robotu bypas yapmaya zorlama, duruma uygun olmayan güvenlik ekipmanları kullanma, bozulmuş veya güvenlik ekipmanlarını devre dışı bırakma.

Makinelere İlişkin Risk Değerlendirmesi:

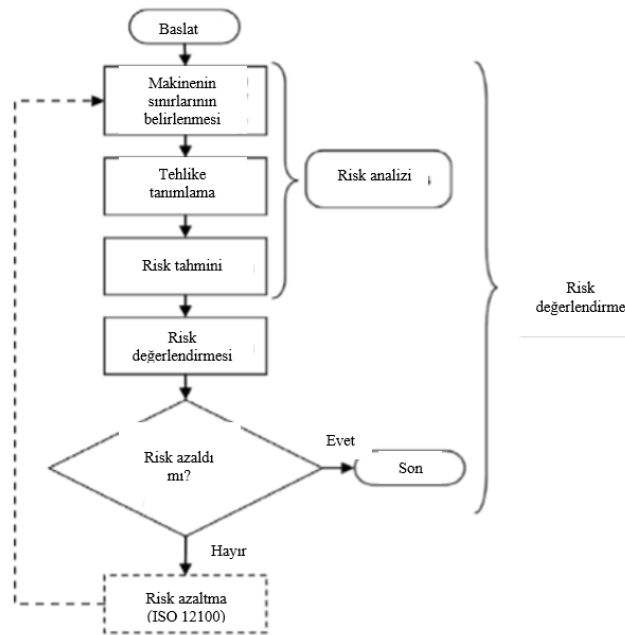
Makinelere bağlı risk ISO 12100 'de, **Makine güvenliği-Tasarım-Risk değerlendirilmesi ve risk azaltma için genel ilkeler, zararın şiddeti ve bu zararın oluşma olasılığının bir kombinasyonu** olarak tanımlanır. Makine risk değerlendirmesinin avantajları çoktur;

- Tehlikeler etkin bir şekilde tanımlanır ve daha iyi risk azaltma önlemleri uygulanabilir,
- Yaralanma ve ölümler önlenebilir,
- Para cezaları ve cezai kovuşturma önlenir,
- Mevzuata uygunluk sağlanır ve verimlilik artırılır,

Tehlike, zararın kaynağıdır. Makineler mekanik ve elektriksel tehlikelerin yanı sıra ısı, gürültü, titreşim, radyasyon ve tehlikeli kimyasal ve biyolojik maddelerden kaynaklanan tehlikelere sahiptir. ISO 12100, makine risk değerlendirilmesi ve azaltma ilkelerini belirtir Standart, risk değerlendirmesini Şekil 5' de gösterildiği gibi risk analizi ve risk değerlendirilmesi olmak üzere iki aşama olarak tanımlar.

Risk analizi, (i) Makine sınırlarının belirlenmesi, (ii) Tehlike tanımlaması ve (iii) Riskin tahmininden oluşur. Tespit edilen her bir tehlike ve tehlikeli durum için gerçekleştirilen risk tahmini adımı, sonuçları risk değerlendirmesini ve dolayısıyla risk azaltma yöntemlerinin seçimini ve önceliklendirilmesini belirleyeceği için önemlidir.

Robotun yaşam döngüsü boyunca çeşitli tehlike kaynakları mevcuttur. Örneğin tasarım, entegrasyon, kurulum, test, doğrulama, işletme, bakım ve eğitim için risk değerlendirmesi gereklidir. En önemli adımlardan bir tanesi tehlike, tehlikeli durum, tehlikeli olay ve olası zararı belirlemektir. Makine, elektrik, termal, gürültü, titreşim, radyasyon, malzeme, ergonomik gibi makine veya robotun kullanıldığı ortamla ilişkili farklı tehlikeler vardır. Tehlikeli durum, kişinin en az bir tehlikeye maruz kalması ve genellikle makine de veya robotta bir görevi yerine getirirken ortaya çıkan durumdur. Tehlikeli olay genellikle doğada, teknik veya insan eylemleri tarafından kaynaklanabilir. ISO 10218-1'in Ek A' sında, robotlar ve robot sistemleri için önemli tehlikelerin bir listesi verilmiştir.



Şekil 5: ISO 12100'e dayalı basitleştirilmiş risk yönetimi (Chinniah, 2016)

Risk Tahmin Araçları:

ISO 12100, riskin nasıl tahmin edileceğine ve hangi parametrelerin kullanılabilirliğine ilişkin yönergeler sağlar. Bu uluslararası standart, belirli bir tehlikeli durumla ilişkili riskin aşağıdaki iki ana unsura bağlı olduğundan bahseder;

- Zararın şiddeti,
- Bu zararın oluşma olasılığı,

Zarar olasılığı aşağıdakilerin bir fonksiyonudur;

- Kişi ve kişilerin tehlikeye maruz kalması,
- Tehlikeli bir olayın meydana gelmesi,
- Zarardan kaçınmanın veya sınırlandırmanın teknik ve insani olasılıkları,

Standart ayrıca Tablo 6’da özetlenen tüm bu parametrelerin nasıl tahmin edileceklerine ilişkin rehberlik yapar. Ayrıca, risk tahmin araçlarının çeşitli örneklerinin verildiği bir ISO teknik raporu yayınlanmıştır. ISO raporu, makineler için risk değerlendirmesinin yürütülmesi konusunda pratik rehberlik olanağı sağlar.

Tablo 6: ISO 12100’de tanımlanan risk tahmin parametrelerinin özeti (Chinniah, 2016)

Parametreler	ISO 12100 Referans	ISO 12100 tarafından verilen parametre tahmin edilirken dikkate alınacak faktörler
Zararın şiddeti	5.5.2.2	Yaralanma veya sağlığa verilen zararın ciddiyeti (örn. görme yeteneği, ölüm vb.) ve zararın boyutu (örn. bir veya daha çok kişi vb.)
Zarar görme olasılığı	5.5.2.1	Kişilerin tehlikeye maruz kalması, tehlikeli bir olayın meydana gelmesi ve zararı önlemek veya sınırlandırmak için teknik ve diğer olasılıklar
Tehlikeye maruz kalma sıklığı	5.5.2.3.1	Tehlike bölgesine erişim ihtiyacı, tehlike bölgesinde geçirilen zaman ve erişim gerektiren kişi sayısı ve erişim sıklığı
Tehlikeye maruz kalma süresi	5.5.2.3.1	
Tehlikeye maruz kalma olasılığı	5.5.2.3.2	Güvenilirlik ve diğer istatistiksel veriler; kaza geçmişi; sağlığa zararın geçmişi ve risk karşılaştırması
Zararı önleme ve sınırlandırma olasılığı	5.5.2.3.3	Tehlikelere maruz kalabilecek farklı kişiler (örn. Vasıflı veya vasıfsız); tehlikeli durumun ne kadar çabuk zarara yol açabileceği (örneğin aniden, hızlı veya yavaş); herhangi bir risk farkındalığı (örn. genel bilgi, kullanım bilgisi, doğrudan gözlem yoluyla veya makine üzerindeki uyarı işaretleri ve gösterge cihazları yoluyla, insanın zararı önleme veya sınırlama yeteneği (örn. refleks, çeviklik, kaçma olasılığı) ve pratik deneyim ve bilgi (örneğin, makine, benzer makine veya deneyim eksikliği)

Riskin Azaltılması:

Tasarımcılar, koruyucu önlemleri sağlamak için risk azaltma çalışmalarının yanı sıra risk değerlendirmesi de yapmalıdırlar. ISO 12100, ANSI B11-TR3 gibi standartlar risk azaltma için 3 adım yaklaşımını sunar,

- Doğal güvenli tasarım önlemleri (tehlike giderme),
- Koruma ve tamamlayıcı koruyucu önlemler (sabit korumalar, kilitli hareketli korumalar, güvenlik cihazları),
- Kullanım için bilgiler (makinelerin kullanımı için güvenli çalışma uygulamaları, artık risklerin uyarısı, tavsiye edilen kişisel koruyucu ekipman).

Artık risk, tasarımcı tarafından sağlanan kullanım bilgilerine dayalı olarak kullanıcı tarafından yönetilir.

Kullanıcı tarafından uygulanan koruyucu önlemler aşağıdakilerini kapsar;

- Güvenli çalışma organizasyonu lokavt, denetim, çalışma izni gibi prosedürler,
- Makinenin kullanım amacında tasarımcı tarafından öngörülme belirlenen bir işlem nedeniyle gerekli ek önlemlerin sağlanması ve kullanılması,
- Kişisel koruyucu ekipman kullanımı,
- Eğitim,

Robot güvenliğini sağlamak için, üreticiler ve kullanıcılar ISO 12100'de ayrıntılı olarak kullanılan 3 adım yöntemini uygularlar. ISO 10218-1'de spesifik risk azaltma stratejileri verilmektedir.

ISO 10218-1'in F ekinde, robot üreticileri için güvenlik gerekliliklerinin ve önlemlerin doğrulanması için gerekli araçlar listelenmiştir. Listelenen yöntemler;

- Görsel muayene,
- Pratik testler,
- Ölçüm,
- Operasyon sırasında gözlem,
- Uygulamaya özel şemaların, devre diyagramlarının ve tasarım malzemesinin gözden geçirilmesi,
- Görev bazlı risk değerlendirmesinin gözden geçirilmesi,

- Kullanım özelliklerinin ve bilgilerin gözden geçirilmesi,

ISO 10218-1'in Ek F'sinde güvenlik gereklilikleri aşağıdakileri kapsar;

- Genel gereksinimler (örn. sabit ve taşınabilir koruma malzemeleri),
- Kumandalar (ör. Durum ve gösterge ışığı,
- Güvenlikle ilgili kontrol (donanım ve yazılım),
- Robot durdurma fonksiyonları (örn. koruyucu durdurma fonksiyonları,
- Acil durdurma fonksiyonları,
- Azaltılmış hız kontrolü,
- Çalışma modları,
- Programlama cihazı kontrolü,
- Eşzamanlı hareketlerin kontrolü,
- İşbirlikçi çalışma gereksinimleri,
- Tekillik koruması,
- Eksen sınırlaması,
- Tahrik gücü olmadan hareket,
- Kaldırma ve elektrik konektörleri için hükümler,

ISO 13849 ve IEC 62061, makineler için güvenlik kontrol sistemlerinin tasarım ilkelerini belirler. Robotlar için kontrol sistemlerinin güvenlikle ilgili parçalarının güvenilir olması gerekir. Güvenilir güvenlik kontrol sistemleri yedek mimarileri içerir, denenmiş güvenlik bileşenleri kullanır, hata izleme ilkelerini içerir ve temel güvenlik ilkelerini kullanır. Kontrol sistemleri rasgele ve sistematik arızalara karşı dayanıklıdır. Genellikle, güvenilir güvenlik kontrollerini bypass yapmak veya değiştirmek zordur. Denenmiş güvenlik bileşenlerine ve temel güvenlik ilkelerine örnek olarak;

- Hareketli korumaların konumunu izlemek için sıradan emniyet anahtarlar yerine zorla açılıp kapanan tiplerin kullanılması,
- Güvenlik fonksiyonlarını kontrol etmek için elektronik programlanabilir sistemler kullanıldığı takdirde programda modifikasyon yapılmasına engel olunması.
- Güvenlik PLC'leri bu değişiklikleri kısıtlar ve ayrıca fazladan bir iç mimariye sahiptir.
- Sıradan röleler yerine, mekanik olarak bağlı emniyet rölelerinin kullanılması,
- Optik sensörler yerine güvenlik ışık perdelerinin kullanılması,

- Güvenlik kontrolü ve operasyon kontrolünün ayrılması ve böylece mekanikçi, elektrikçi ve programcılar tarafından güvenlik kontrol sistemine yaptıkları istenmeyen değişikliklerin oluşturabileceği sıkıntıların azaltılması,
- Güvenlik konum anahtarlarını ve güvenlik cihazlarını, onları bozabilecek ve erken aşınmaya ve hasara yol açabilecek zorlu ortamlardan korumak,

ISO 10218, performans gereksinimlerini yapı kategorisi 3 ile bir performans düzeyi d olarak belirler. ISO 10218 ayrıca donanımda tek bir hata toleransı ile SIL 2 ile uyumdan bahseder.

Robot uç efektörünün hızı seçilebilir hızlarda ve düşük hız kontrolü altında kontrol edilebilir olmalıdır, bu 250 mm / s'den daha düşük veya buna eşit bir hız anlamına gelir. Etkinleştirme/öğretme cihazları 3 konuma sahiptir. Operatör sürekli olarak merkez etkin pozisyonda kaldığında, cihaz robot hareketine kontrollü olarak ancak düşük hızda izin verir. Kumandanın kablosuz olması durumunda olası iletişim kaybında robotun kontrollü olarak durmasını sağlar.

İş Birlikçi Robotlar:

Kolaboratif (İş birlikçi) robotlar, tanımlanmış bir çalışma alanı içinde bir insanla doğrudan iş birliği içinde çalışmak üzere tasarlanmış özel amaçlı robotlardır. Operatör, üretim operasyonu sırasında eşzamanlı olarak görevleri yerine getirebilir. Tablo 7, bu tür robotlar için dört çalışma modunu göstermektedir. İşbirlikçi robotlar, üreticileri tarafından tesislerdeki operatörleri güçlendirici araçlar olarak sunulmaktadır. Operatörler robotların eğitimi ve denetiminden sorumludur.

Tablo 7: İş birlikçi robotların çalışma modları (Chinniah, 2016)

İş Birlikçi Robotların Çalışma Modları	Tanım	Güvenlik Hususları Üzerine Yorumlar
Durdurulmuş durum izleme veya sınırlandırılmış güvenli duruş	Çalışanın ortak çalışma alanına girmesi durumunda robot durmaktadır. Bu alan taranan bir alan olabilir. Çalışan ortamdan ayrılana kadar izleme devam eder. İşçi iş birlikçi alandan çıktığında robot otomatik çalışmaya devam eder.	İş birlikçi çalışma alanı olarak adlandırılrsa da, işçi kafese girdiğinde duran robot korumalı bir robotu andırır. Tek farkı işçi ortamdan ayrıldığında robotun çalışmaya devam etmesidir. Yardımlaşmadan çok iş birliği gibidir. (Örn. Manuel yükleme istasyonu)
Hız ve mesafe izleme	Çalışan robotun yanına yaklaşması durumunda robot yavaşlar. Çalışan robotun yakınına gelirse robot durabilir. Robot hareketine yalnızca çalışanla aradaki mesafe minimum mesafe üzerinde olduğunda izin verilir. Operatörün robota göre konumunu tespit etmek için farklı teknolojiler kullanılabilir. (Lazer tarayıcılar, güvenlik paspasları, görüş tabanlı sistemler)	Robot, kendisi ile işçi arasında belirli bir hız ve ayırma bariyeri sağlar. İşçinin ve robotun göreceli hızı, minimum mesafe gereksinimleri karşılar. (Örn. İşçinin parçaları yenilemesi) Güvenlik kontrol sistemlerinin güvenilir olması gerekmektedir.
Elle yönlendirme	İşçi robotla doğrudan temas halindedir. İşçi robotu yönlendirir ve eğitir. Robot, işçiye değil, robot tarafından bir kuvvet uygulandığı görevlerde işe yardımcı olur. Robotun hareketine yalnızca operatörün doğrudan girişi ile izin verilir.	El yönlendirici kısım, uç efektörüne yakındır ve etkinleştirme cihazı ile bir acil durdurmadan oluşur. Hız ve mesafe güvenliği uygulanır Bu durum, robot ve çalışanın iş birliğidir.
Güç ve kuvvet sınırlama	Robotun güç ve kuvveti sınırlıdır. Robot, insanla veya belirli bir kuvvet değerine sahip herhangi bir cisimle temas ettiğinde anında durur.	Robotun doğal bir tasarımı ve kontrolüdür. Robot, bir yükü kaldırmak ve hareket ettirmek için gereken miktarda gücü bilir. Bir çarpışmada olduğu gibi hareket için gerekli olan tork veya kuvvette bir artış algılandığında, robot kolu güvenli bir şekilde durur. Dışlinin mafsalsal ve çıkış tarafındaki sensörler kullanılmıştır. Kontrol sistemi güvenlik derecelidir (hataya dayanıklı). Robotlar hafif malzemeden yapılmıştır, düşük ataletlidir ve keskin veya kör kenarları yoktur. Bununla birlikte, robotla iş birliği yapan işçi, teması (çok az temas gücü olmasına rağmen) tekrar tekrar kabul etmeyebilir.

Robotların kullanılmasıyla beraber, ürünlerin kalitesinde ve genel verimlilikte bir artış gündeme gelmiştir. Uzun vadede, iş birlikçi robotların tekrarlayan görevlerle uğraşan operatörlerin yerini alması beklenmektedir, bu yüzden de bazı üreticiler kullanımıyla çok ilgilenmeyen küçük ve orta ölçekli işletmeleri hedeflemektedir. Bazı üreticiler özellikle geleneksel olarak robotların kullanımıyla çok ilgili olmayan küçük ve orta ölçekli işletmeleri (KOBİ) hedeflemektedir. Bazı robot üreticileri, teknik personelin programlanmasına ihtiyaç duyan nispeten ucuz robotlar üreterek, işletmelerde

otomasyonu ve düşük ücretli üretimle rekabet etmeyi hedeflemektedirler. Genel olarak, iş birlikçi robotlar, kendilerine görevlerinin kolayca öğretilmesine olanak sağlayan kullanıcı dostu özelliklere sahiptir, böylece gelişmiş programlama ihtiyacını da ortadan kaldırırlar, operatör robotun kolunu tutarak ve kullanılacak nesneye yönlendirerek ona gereken işlemi gösterir ve öğretebilir. Görme sistemleriyle nesneyi tanırlar ve operatör robota hangi görevleri yerine getirmesi gerektiğini söylemek için basit bir menü seti kullanır.

Tablo 8’te piyasadaki, benzer görevleri yapan çeşitli firmalara ait bazı robotlar yer almaktadır. İşbirlikçi robotların kullanımı, robotun neden olduğu stres, uzmanlık ve beceri kaybı, görevleri yerine getirmek için teknolojiye bağımlılık, iş kaybı korkusu ve azaltılmış özerklik nedeniyle kas-iskelet bozukluklarına yol açabilir. İşbirlikçi robotların kullanımı sırasında, koruma çitlerinin veya fiziksel engellerin olmaması, kapsamlı risk değerlendirmesi ve güvenlik kontrol sistemlerinin detaylı tasarımı ihtiyacını artırır. Robotlarla ilgili risklerin yanı sıra, robotların dahil olduğu ürünler veya proses de göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 8: İş birlikçi robotlar arasında karşılaştırma (Chinniah, 2016)

Robot Adı (Kullanılmaya başlandığı yıl ve ulaşılabilir olduğundaki maliyeti)	Tek kol veya Çift Kol	Eksen Sayısı	Robotun Ağırlığı (kg)	Yükleme Kapasitesi (kg/arm)	Hızı (m/s)	Tasarım Özelliği ve Uygulamaları
Baxter (2012, 22.000 to 40.000 USD)	Tek veya çift kol	Her kolda 6 veya 7 eksen mevcuttur	75	2.3	0.6	Esnek bağlantılar sağlayan seri elastik aktüatörler, insana benzer tekrarlayan görev, insan algılama için kamera sensörleri
Dexter dot (2013, over 100.000 USD)	Çift Kol	2 adet her bir kolda 7 eksenli döner gövde üzerine monte dilmiş	N/A	5 - 20	Yüksek hız	Süreç ve montaj için geleneksel robotların hassasiyeti; yüksek tekrarlanabilirlik
Kuka (2013)	Tek kol	7 Eksen kol	23	N/A	N/A	Güç ve kuvvet algılama, Kılavuzlu montajı zorlama.

Tablo 8: İş birlikçi robotlar arasında karşılaştırma (devam)

Universal Tobot (UR) (2009, 34.000 USD)	Tek kol	6 Eksen	UR5 için 18	5 veya 10	1.0	Güç ve kuvvet limitleme: Tekrarlayan görev, kurulum ve kullanım kolaylığı
ABB	Çift kol	14 Eksen	N/A	N/A	N/A	Elektronik sektöründe küçük parça montaj işlemi, parça konumu için kamera sensörleri

2.5.1. Quebec'ten Örnek Olay İncelemesi

OSHA web sitesinde, bir robot ve plastik enjeksiyon makinesinin karıştığı ölümcül bir iş kazasından bahsedilir. 13 Mayıs 2007'de, Kanada'da, plastik sektöründe çalışan bir çalışan, plastik kılıfları enjeksiyon kalıplama makinesinden çıkarmak için kullanılan robotik bir koldaki sorunu giderirken, başına ve kaburgalarına bir darbe aldı. Acilen, iki hafta sonunda, hayatını kaybettiği hastaneye nakledildi. Bu örnekte görüldüğü gibi, robotlar genellikle diğer makinelerle de etkileşime girebilirler bu yüzden de risk değerlendirmesi robotu ve yakın çevreyi içermelidir. Vaka çalışması, Quebec'teki büyük bir otomatik yatay plastik enjeksiyon kalıplama makinesinde ürünleri boşaltmak için kullanılan bir 6 eksenli robot için yapıldı. Şirket aynı zamanda bazı plastik parçalar içeren elektrik bileşenleri üretiminde uzmanlaşmış bir kuruluştur, her enjeksiyon döngüsünün sonunda, plastik enjeksiyon makinesinin kalıp alanı açılır, robotun kolu daha sonra kalıp alanına ulaşır ve özel uç efektörleri ile hassas bir şekilde doğrudan kalıptan küçük plastik parçaları alır. Robotun kolu, kalıp alanına operatör yönünden girer, enjeksiyondan çıkan parçaları alır döndürür ve plastik parçaları, kalite kontrolü için robotu çevreleyen korumadaki (örn. bir kafes) açıklıktan geçirerek parçaları yan tarafında bulunan bir konveyöre yerleştirir. Kalıp alanında kalan kullanılmayan plastik parçaları toplayan ikinci bir konveyör bulunur.

Enjeksiyon kalıplama presinin kalıplama alanı hem kapanış kalıbı hem de hareketli robot nedeniyle tehlikeli bir bölgedir. Enjeksiyon kalıplama makinesinin operatör tarafını koruyan orijinal hareketli koruyucu, robot prese entegre edildiğinde, robotun kalıp alanına girmesini engellediği için şirket tarafından kaldırılması gerekiyordu. Tablo 9'da

robot ve presle bağlantılı tehlikeler yer almaktadır. İşçiler kalıp alanı içinde veya çevresinde kurulum, ayarlamalar, gevşeme ve bakım faaliyetlerini gerçekleştirirken çeşitli tehlikelere maruz kalırlar.

Tablo 9: Mevcut risk azaltma yöntemlerini dikkate almadan pres ve robot sistemi için tehlike tanımlaması (Chinniah, 2016)

Tehlike	Tehlikeli Durum	Tehlikeli Olay	Olası Zarar
Robot kolunun işçinin yönündeki hareketi	Kola yakın işçi	Kolun vurması. Mekanik parçalara sıkışmak.	Kırıklar, ölüm
Kavrayıcının ve bunun gibi tutma işini yapan aletlerin işçinin yönündeki hareketi	Kavrayıcının ve bunun gibi tutma işini yapan aletlere yakın bulunan çalışan	Tutucu veya diğer tutma cihazı tarafından darbe veya sıkışmaya maruz kalma. Mekanik bir parçaya sıkışma	Kırıklar, yarılma, ezilme, ölüm
Nihai efektör depolanan enerji – yüksek basınç	Robotun bakımını yapan çalışan	Depolanan enerjinin serbest bırakılması ve hareketli park tarafından vurulması Yüksek basınçlı jetler	Kırıklar, ciltte kesilme, ezici yaralanmalar
Elektrik (baskı)	Çalışan parçaların yakınında çalışan-paneldeki sorunu gidermeye müdahale eden çalışan	Kısa devre veya yalıtım sorunu nedeniyle canlı parçalarla veya yanlışlıkla elektrik veren parçalarla temas	Elektriğe maruz kalma, elektrik çarpması
Robottan öngörülen nesne	Planlanan nesnenin yolu üzerinde bulunan çalışan	Fikstür veya tutucuların arızalanması, kırılması	Kırıklar, morarmalar, ölüm
Pres kalıbının kapanma hareketi	Kalıba yakın veya kalıplama alanı içinde bulunan çalışan	Kalıbın çarpması, Kalıplama alanında sıkışma ve ezilme	Kırıklar, ölümcül yaralanma,
Eriyen plastiğin yüksek sıcaklığı	Enjeksiyon ünitesinin nozulu ve kalıplama alanının içinde bulunan çalışan	Teknik bir problem veya insan hatası sonrasında sıcak erimiş plastiğin sıçraması	Ciddi yanıklar
Kalıp kapama sisteminde ve/veya kalıbın içinde depolanan enerji ve yüksek basınç (hidrolik veya pnömatik)	Pres ve/veya robotta bakım işini yapmakta olan çalışan	Depolanan enerjinin serbest bırakılması ve hareketli parçanın çarpması	Kırıklar, delinme yaraları, kangren, ezici yaralanmalar
Kalıbın içinde bulunması öngörülen nesne	Planlanan nesnenin yolunda bulunan çalışan	Kalıbın kapanması sırasında kalıpta kırılan veya sıkışan parçaların fırlaması	Kırıklar, morarma, ölüm

Tablo 9: Mevcut risk azaltma yöntemlerini dikkate almadan pres ve robot sistemi için tehlike tanımlaması (devam)

Yer çekimi	Prese tırmanmış bulunan çalışan	Kaygan parçalar veya korunmasız / yetersiz erişim nedeniyle denge kaybı ve yüksekten düşme	Kırık, ölüm (Baş bölgesi yaralanmaları)
------------	---------------------------------	--	---

Bir operatör, bir sıkışma veya pres ve/ veya robotun sorun giderme veya ayarlamaları için bir mekanik aşağıdaki kalıplama alanına girebilir. Bazı durumlarda, işçilerin sırtlarının robota dönük olduğu gözlemlendi (yani, kalıp alanının içinde kollarıyla çalışıyorlardı ve robotu göremiyorlardı).

Operatör, herhangi bir sıkışma, arıza bulma, presi veya robotun ayarı için kalıplama bölümüne girmek durumundadır. Bazı durumlarda, bu bölgelerde sadece kollarıyla çalışan operatörler, sırtlarını robota dönmüş olup, robotun olası hareketlerini fark edemiyorlardı. Bazı durumlarda, işçilerin sırtlarının robota dönük olduğu gözlemlendi (yani, kalıp alanının içinde kollarıyla çalışıyorlardı ve robotu göremiyorlardı). Tablo 9' da, tespit edilen her bir tehlike için ilgili tehlikeli durumlar, tehlikeli olaylar ve olası zarar verilmiştir. ISO 12100'de açıklandığı gibi, tehlike tanımlama aşaması, risk azaltma önlemleri dikkate alınmadan gerçekleştirilir. Bu yaklaşım, mevcut risk azaltma yöntemlerini daha iyi değerlendirmeyi ve gerekirse mevcut risk azaltma yöntemlerini geliştirmeyi veya değiştirmeyi sağlar.

Tablo 9'da açıklanan tehlike tanımlamasından sonra, her tehlike için risk tahmini gereklidir. Risk grafiği veya risk matrisi gibi bir tahmin aracı kullanmak gerekir. Zararın ciddiyetine ve olasılığına bağlı olarak, her tehlike için bir risk endeksi elde edilir ve bunu risk değerlendirmesi takip eder. Daha sonra risk azaltma stratejileri uygulanır ve kabul edilebilir riske ulaşıldığından ve yeni bir tehlikenin ortaya çıkmadığından emin olmak için risk azaltma önlemlerinin değerlendirilmesi gerekir (örn. Koruyucuda keskin bir kenar).

Kısaca, burada vaka çalışması için sadece ana risk azaltma önlemleri açıklanmaktadır. Koruyucu emniyet çitlerinin güvenli yükseklikte ve ölçülerde olması gerekir. Koruyucuları boyutlarını hesaplamak için standartlar vardır. Robot ve kalıp alanını çevreleyen koruyucuların kapıları (örn. kafes) birbirine kenetlenmişti, kapılar açıldığında robotun ve presin hareketine izin verilmezdi ve bir işçi tehlikeli bölgeye girdi.

Güvenilir kontrol sistemleri yedekli mimarileri içerir, iyi denenmiş güvenlik bileşenleri kullanır ve arıza izleme ilkelerini içerir. Rastgele ve sistematik arızalara karşı dayanıklıdır. Genellikle, güvenilir güvenlik kontrollerini bypas etmek veya değiştirmek zor olacaktır. Emniyet kontrol sisteminin temel emniyet prensiplerine ve denenmiş emniyet bileşenlerine göre tasarlanması gerekir. ISO 13849 ve IEC 62061, makineler için emniyet kontrol sistemlerinin tasarım prensiplerini sağlar.

Pres-robot sisteminde kullanılan test edilmiş güvenlik bileşeni ve temel güvenlik ilkeleri, temaslarının zorunlu olarak açılması ve olumlu monte edilmiş güvenlik konumu anahtarları idi. Bu emniyet anahtarları kafesin kapıları olan hareket ettirilebilir koruyucuların konumunu izliyordu. Ayrıca, güvenlik konumu anahtarları, onları bozabilecek ve erken aşınma ve hasara yol açabilecek zorlu ortamlardan korunmuştur. Ancak, basın-robot sisteminde çeşitli güvenlik ilkeleri uygulanmamıştır. Örneğin, güvenlik ilkesi güvenlik fonksiyonlarını veya kontrolleri ve operasyon kontrollerini ayırmaktır. Güvenlik kontrolü ve operasyon kontrolünün ayrılması, mekanik, elektrikçiler ve programcılar tarafından istenmeyen değişikliklerin güvenlik kontrol sistemine yapılması olasılığını azaltır. Bizim durumumuzda, böyle bir ayrılık yoktu. Güvenlik fonksiyonları, pres için aynı programlanabilir lojik kontrolörler (PLC'ler) ve operasyonel kontrol için kullanılan robotun işlevleri kullanılarak elde edildi. Hiçbir güvenlik PLC'si kullanılmadı. Güvenlik PLC'leri, güvenlik fonksiyonlarını kontrol etmek için elektronik programlanabilir sistemler kullanıldığında programda değişiklik yapılmasını önler. Güvenlik PLC'leri ayrıca gereksiz ve hataya dayanıklı dahili mimarilere (örneğin, farklı derleyiciler) sahiptir. Yazılım ayrıca katı kurallar kullanılarak programlanır ve test edilir. Aslında, pres-robot sistemi için güvenlik kontrol sistemi, performans seviyeleri veya PL (yani saat başına tehlikeli arıza olasılığı) açısından tasarlanmamıştır. İzleme ve güvenilirlik ilkeleri PL'leri hesaplamak için kullanılır. PL hesaplamaları devrenin giriş, mantık ve çıkış elemanlarını içerir. Örnekte, girişler emniyet şalterleri, mantık standart PLC'ler ve çıkışlar hidrolik valfler ve elektrik yüklenicileriydi. Pres-robot sisteminde PL hesaplamaları yapılmadı.

Makinelerdeki önemli bir tasarım özelliği, güvenlik önlemleri bypas edildiğinde, yani işçinin tehlikeli bölgede olması durumunda, bakım, kurulum gibi müdahaleler için kontrol modunu içerir. ISO 12100 ve makine direktifi, operatörün güvenliğinin aynı anda

4 koşulu karşılayan belirli bir kontrol modu kullanılarak sağlandığını belirtmektedir. İlk koşul, belirli kontrol modunun, başka bir çalışanın ekipmanı yeniden başlatmamasını sağlamak için makinedeki diğer tüm kontrol modlarını devre dışı bırakmasıdır. İkinci koşul, spesifik kontrol modunun, tehlikeli elemanların sadece bir etkinleştirme cihazının, iki elle kontrol cihazının veya bir çalıştır-çalıştır cihazının sürekli çalıştırılmasıyla sağlanmasına izin vermesidir. Bu özellik, çalışanın tehlikeyi tam olarak kontrol etmesini sağlar. Üçüncü koşul, spesifik kontrol modunun tehlikeli elemanların sadece düşük riskli koşullarda (örn. Düşük hız, düşük güç / kuvvet, sınırlı hareket kontrol cihazı kullanarak adım adım) çalıştırılmasına izin vermesidir. Bu durumun asıl amaç, zararın ciddiyetini sınırlamak, zarar görmesini önleyerek ve buna göre tepki vermek için yeterli zamana sahip olmaktır. Belirli kontrol modunun dördüncü şartı, makinenin sensörlerinde gönüllü veya istemsiz eylemle tehlikeli işlevlerin herhangi bir şekilde çalışmasını engellemesidir. Pres-robot sisteminde, bir işçi çalışma kafesinin içindeyken kablosuz bir kumanda kullanarak robotu kurabilir ve robotun yanındayken robotun 250 mm/sn hızla hareket etmesini sağlayabilir.

2.5.2 İşbirlikçi Robotik Uygulamalar için Risk Değerlendirme Süreci

Sadece robot sisteminin kendisini için değil, yerleştirildiği ortamı, yani işyerini değerlendirmek için kapsamlı bir risk değerlendirmesi gereklidir.

Tehlike tanımlama ve risk değerlendirme

- Robottan kaynaklanan tehlikeleri,
- Robot sistemi ile ilgili tehlikeler,
- Uygulama ile ilgili tehlikeleri kapsamalıdır.

Tehlikenin Tanımı:

- Robotun tehlikeli hareketi,
- Robot kısılacının tehlikeli hareketi,
- Çalışma hücresi içerisindeki makineler,
- Hareket halindeki bir robotun hareketine maruz kalma (isteyerek veya kazara)



Robotun hareketli mafsalla çarpması



Robot Kolunun Çarpması



Robot Kıskaçının Çarpması



Kıskaç Ucundaki Parçanın Çarpması

Sıkışma Tehlikeleri



Kıskaç ve Fikstür Arasında Sıkışma



Parça ile Fikstür Arasında Sıkışma



Robot Kolu ve Fikstür Arasında Sıkışma



Robot Kolu ile Hareketli Mafsal Arasında Sıkışma

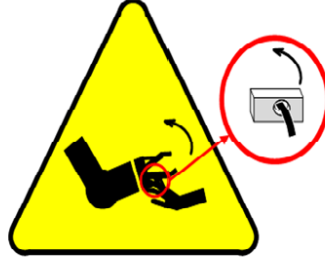


Parmakların Kıskaç ile İş Parçası Arasında Sıkışması

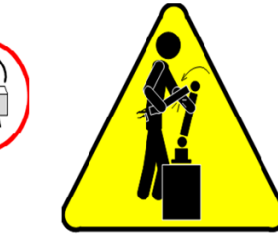
Tuzak/Kapma Tehlikeleri



Parmakları Kıskaçta veya Parça Boşluğuna Kaptırma



Parmakları Kıskaçta veya Parça Boşluğuna Kaptırma



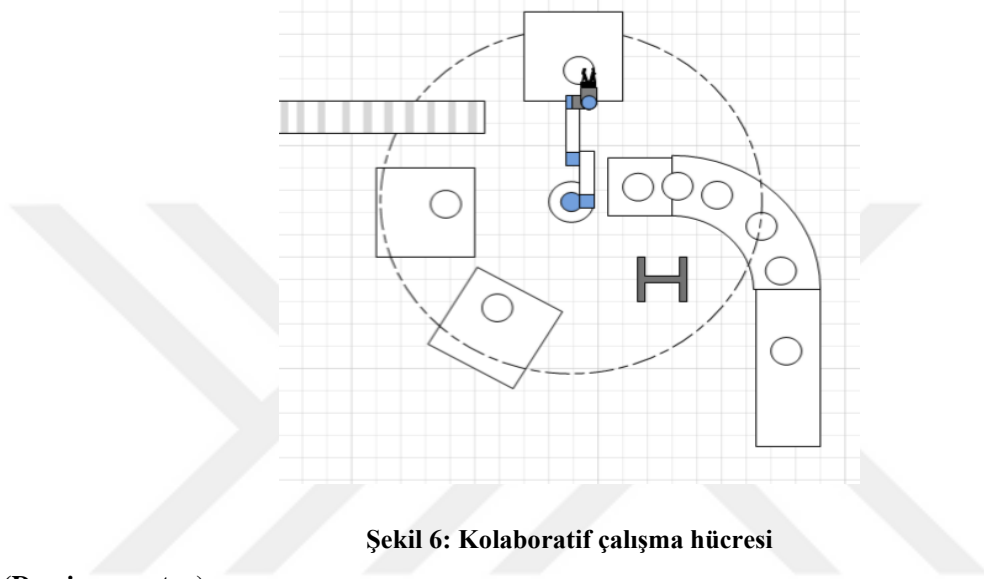
Robotun Kol Bağlantısına Kol veya Parmakları Kaptırma

Resim 2: Risk Kaynakları ve Çarpma Tehlikeleri (Dominguez , t.y.)

Diğer Tehlikeli Olasılıklar:

- Robotun beklenmeyen program dışı hareketi,
- Hız sınırlama hatası,
- Robotun programlanan kuvvet limitleri dışında çalışması,
- Proses ekipmanı üzerindeki kelepçe, hareketli kısımlar ve sıcak yüzeylerle temas,

Örnek Bir Kolaboratif Çalışma Hücresi:



Şekil 6: Kolaboratif çalışma hücresi

(Dominguez , t.y.)

Limitlerin Tanımlanması:

Kullanım Limitleri:

- Öngörülen kullanım-İşbirlikçi Çalışma hücresi, sınırlandırılmış kuvvet,
- Personel: Operatör, bakım ekibi, kalite,
- Çalışma sırasında uygulayabileceği kuvvet sınırlandırılmış iş birlikçi robot, 6 eksenle öngörülen taşıma gücü 10 kg,
- Üretilen makine parçalarının taşınması ve transferi işi,

Çalışma Boşluğu Limitleri:

- Çalışma ortamı temiz ve kuru, işin gereği olarak da çalışma alanı 3 X 3 X 2m.,

Zaman Limitleri:

- Oran 1/90 s, Görevin ömrü 20 yıl, Kullanım Oranı 5 gün/hafta, günde 2 vardiye, yılda yaklaşık 250 gün,

Normal Operasyon:

- Robot bağımsız olarak çalışır ancak,
- Operatör belirlenen çalışma alanı içerisinde robota çok yakın ve işin gereği periyodik olarak robota doğru hamleler yapıyor,
- Robotun çalışma alanında periyodik olarak kalite kontrol işlemleri yapılıyor,

Setup/Ayar:

Vardiye başına bir kez palet değişimi yeni parçaya göre ayarlanır,

Temizlik:

- Her vardiye başlangıcında 2 dakika boyunca çalışma alanında temizlik yapılır,

Çalışma Hücresindeki Robota İlişkin Genel Bilgiler:

- UR 10 tip kolaboratif robot,
- Kullanılacak yük 100- 250 N,
- Momentum denetimi mevcut,
- Hız sınırlayıcı,
- Eksen sınırlayıcı,
- Alan sınırlayıcı,

Ayarlanabilen Robotik yakalayıcı/Kıskaç:

- İki tırnağı ayarlanabilen elektrikli R 85 tip kıskaç,
- Ağırlık 5 kg,
- Uygulayabileceği kuvvet 5 – 220 N,

İş Parçasına İlişkin Bilgiler:

- Ağırlık 4 kg
- Alüminyum,
- 30 mm X 80 mm X 80 mm, kenar ve köşelerde radyüs 0,5 MM

Fikstür:

- Parçayı montaj yerine oturtan basit cep tipi,
- Ölçü 500 mm X 300 mm X 40mm
- Bütün kenarlarda radyüs 0,50 mm
- Parçalar yumuşak bir şekilde fikstüre oturur,

Tablo 10: Sürece ilişkin yapılan iş ve riskler (Dominguez , t.y.)

İş	Risk
Kapma sırasında sıkışma	Boş kısıkaç ve parça arasında ezilme
Kapma sırasında sıkışma	Robot dirseği ve fikstür, konveyör, tezgah arasında ezilme
Kapma sırasında sıkışma	Robot dirseği ve parça arasında ezilme
Robot turuna/yoluna yaklaşma	Robot koluyla çarpışma
Robot turuna/yoluna yaklaşma	Robot dirseği/mafsalıyla çarpışma
Robot turuna/yoluna yaklaşma	Kısıkaçla çarpışma
Robot turuna/yoluna yaklaşma	Kısıkaçtaki iş parçasıyla çarpışma
Robotun hareket yoluna yaklaşma	Kısıkaç, fikstür, konveyör, iş parçası arasında ezilme
Kısıkaç çenesinin gevşemesi	Kısıkaç, fikstür, konveyör, robot kolu arasında ezilme
Kısıkaç çenesinin gevşemesi	Kısıkaç, robot mafsalı, fikstür ve tezgah arasında ezilme
Kısıkaç çenesinin gevşemesi	Robot mafsalı, fikstür, konveyör ve tezgah arasında ezilme
Sürece ilişkin kalite denetimi	Kısıkaç, fikstür, konveyör, robot kolu arasında ezilme
Sürece ilişkin kalite denetimi	Kısıkaç, robot mafsalı, fikstür ve tezgah arasında ezilme
Sürece ilişkin kalite denetimi	Robot mafsalı, fikstür, konveyör ve tezgah arasında ezilme
Doğru parça yönü	Kısıkaç, fikstür, konveyör, robot kolu arasında ezilme
Doğru parça yönü	Kısıkaç, robot mafsalı, fikstür ve tezgah arasında ezilme
Doğru parça yönü	Robot mafsalı, fikstür, konveyör ve tezgah arasında ezilme

Tablo 10: Sürece ilişkin yapılan iş ve riskler (devam)	
Robota dokunma veya robotu kavrama	Robot kolu veya mafsalı ile birbirine dolanma/sarma
Robota dokunma veya robotu kavrama	Kıskaç ile parçanın birbirlerine dolanması/sarması

2.5.3 İş birlikçi Robotlarda Risk Değerlendirmesi

İnsan-Robot iş birlikçi (HRC) uygulamalarında, operatörler ve robotlar ortak bir alanda çalıştıklarından, yakın etkileşimleri, operasyonların özünden veya operatörün hatalarından (talimatları yanlış anlamasından, kötü niyetinden) dolayı doğrudan fiziksel temas olasılığını artırır, bu istenmeyen fiziksel temaslar da operatör için tehlikeli durumlara yol açabilir. Bu tür durumları mümkün olduğunca tanımlamak ve önleyebilmek için, aşağıdaki insan robot iş birliği uygulamalarının güvenlik değerlendirmesi için kapsamlı bir yaklaşım tanımlamalı ve geliştirilmelidir.

- Risk analizi ve robotik güvenlik standartlarına uymak,
- Resmi doğrulama ile sistemlerin tasarımı sırasında öngörülemeyen tehlikeli durumların olmamasını sağlamak,
- Operatörlerin davranışlarından kaynaklanan tehlikelere odaklanmak,
- Tehlikeleri otomatik olarak tanımlamak yerine, iş birlikçi robotla çalışan operatörün, operasyonel bakış açısı ve deneyimlerini inceleyerek olası riskleri incelemek,
- Tanımlanan tehlikenin ciddiyetinin tüm sistemin ayrıntılı analizine (örneğin, neden olduğu yaralanmanın şiddeti) dayanarak hesaplanan risk adı verilen niceliksel bir değer olarak tahmin edilmesi,
- Riski ihmal edilebilir bir eşiğe indiren Risk Azaltma Önlemleri olarak bilinen uygun çözümleri önermek,

Yukarıda belirtilen faktörleri sağlama yaklaşım, sistem özelliklerinin spesifikasyonu ve doğrulanması için resmi yöntemleri kullanır ve aşağıdaki adımlara odaklanır.

- Robotik çevrelerle, güvenlik gereksinimleri, tehlikeler ve bunlara ilişkin çözümler hakkında ortak bir anlayış elde etmek için gerçek bir (HRC insan robot iş birliği) vaka çalışması gözlemlenir,

- Uygulamaları tanımlamak ve minimum düzeyde güvenlik sağladıklarını doğrulamak için tutarlı bir metodoloji tanımlanır,
- Üçlü metrik zamansal mantığın çözülebilir bir parçasını kullanarak vaka çalışmasının modüler bir modelini oluşturulur ve Zot (sınırlı bir doğrulama denetleyicisi) aracını kullanarak tanımlanan metodolojiye göre yinelemeli bir doğrulama uygulanır,
- Model geliştirilir, böylece gerekli olan en az sayıda değişiklik ile farklı vaka çalışmalarına uyarlanacaktır,
- Yeni vaka çalışmaları ile modelin metodolojisini ve genelliğini değerlendirilir,
- Güvenlik mühendislerinin bir sistemi tasarlamasına yardımcı olacak bir çerçeve oluşturulur ve tasarımı güvenilir hale getirmek için mümkün olduğunca çok kez yinelemeli olarak donatılır,
- Sistemi izlemek, tehlikeleri tespit etmek ve uygun aksiyonu zamanında devreye almak için güvenlik mühendislerine yardımcı olacak şekilde çerçevenin kullanımını çalışma süresine genişletilir,

2.5.4 İnsan-Robot İşbirliğinde Resmi Doğrulama Yoluyla Güvenlik Analizi

İnsan-Robot iş birliği (HRC) uygulamalarında, robot ve operatör arasındaki yakınlık ve doğrudan etkileşim kaçınılmaz olduğundan, operatör için güvenlik sağlamak daha fazla çaba ve daha titiz bir yaklaşım gerektirir. Bu nedenle, makine güvenliği ile ilgili otoriteler, HRC uygulamalarında önemli tehlikelerin bir listesini, operatör için potansiyel tehlike kaynaklarını, olası kökenlerini ve robotik çözümlerin tasarımına ve dağıtımına rehberlik etmek için güvenlik düzenlemelerini içeren çeşitli standartlar yayınladılar. Özellikle, ISO standardı 10218-2, insanlar ve endüstriyel robotlar arasındaki dört olası iş birliği modunu tanımlar. Bunlardan Güç ve kuvvet sınırlaması (PFL), gerçek fiziksel teması içeren ve insan vücudu üzerindeki etkileri sınırlamak için basınç ve kuvvet eşikleri açısından sıkı güvenlik gereklilikleri ile ilişkilidir.

HRC uygulamaları, operatörün kasıtlı veya bilinçsiz hataları nedeniyle mevcut tehlikeleri ve istenmeyen durumlarını tanımlamak ve niceliksel risk değerleri açısından ölçülen sonuçlarını önlemek için ISO standardı 12100 'de belirtilen analiz yoluyla değerlendirilmelidir.

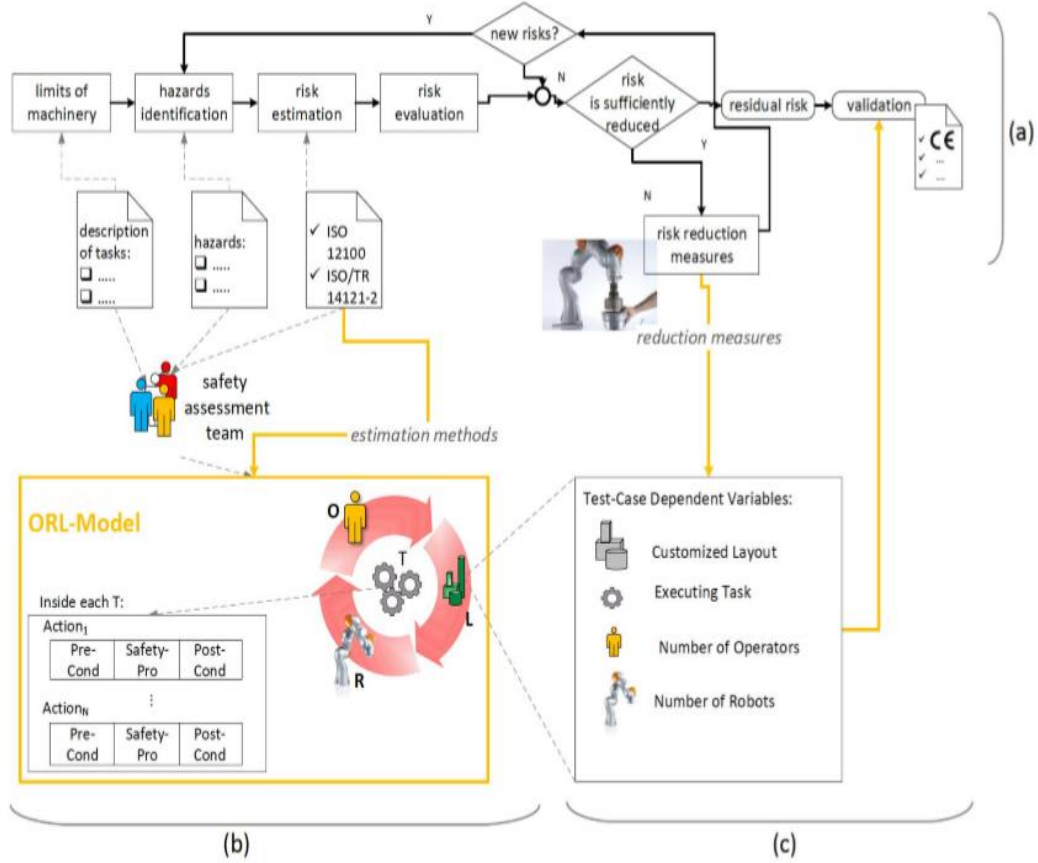
Şekil 7, standart yinelemeli risk analizinin aşamalarını göstermektedir (Avrupa direktifleri durumunda CE işaretine yol açmaktadır).

- Makinenin Sınırları: Robotun istenen görevleri ve makine düzenlemeleri ve kısıtlamaları belirlenir.
- Tehlikelerin Tanımlanması: ISO 10218-2 gibi ürüne özgü standartlarda listelenen tehlikelerin (ve bunların kombinasyonlarının) varlığı belirlenmiştir,
- Risk Tahmini: Önceki adımda tanımlanan tehlikelerle ilişkili risk değerleri ölçülür. Belirlenen puanlama yöntemine göre, bunların tümü zararın ciddiyetiyle olasılığını birleştirir.
- Risk Değerlendirme: Her tehlikenin önemi değerlendirilir. (ISO14121-2:2007, Safety of machinery - Risk assessment - Part 2)'de bildirilen yöntemler, risk skorları için kabul edilebilirlik aralığını belirlemeye yardımcı olur.
- Riskin Azaltılması: Risk değeri ihmal edilebilir değilse, uygun güvenilirlik ve kullanılabilirlik gereksinimlerine göre doğrulanması gereken, ya tehlikeyi ortadan kaldırmak için sistemi yeniden tasarlayarak ya da bir güvenlik fonksiyonunun tanıtılması yoluyla örneğin, bir koruma sensöründen gelen bir sinyal durumunda tam durdurma), her riski azaltmak için uygun önlemler (yinelemeli olarak) uygulanır.

Süreç, yeni bir risk tanımlanana ve artık risk değeri kabul edilene kadar yinelemeli olarak devam eder. Risk azaltma önlemleriyle ilgili tehlikeler veya bu tür önlemlere tepki olarak operatör davranışları nedeniyle yeni riskler ortaya çıkabilir. Cihazlar ve koruma önlemleri eylemlerin gidişatını değiştirebilir (kullanım ve yanlış kullanım).

HRC uygulamalarında resmi doğrulama yoluyla güvenlik analizi (SAFER-HRC Safety Analysis through Formal vERification in HRC applications), hedef sistemin davranışının resmi yöntemlerine dayanan kapsamlı bir araştırma yoluyla tehlikeleri, ayrıntılı ve kapsamlı bir şekilde tanımlama olanağı veren, biçimsel yöntemlere, hedef sistemin davranışına dayanan bir metodolojidir. Farklı tehlike türleri arasında (örneğin, elektrik, ergonomik), bu çalışma, insan-robot etkileşimlerinden kaynaklanana göre özel bir odaklanma ile operasyonel tehlikeleri ele almaktadır. SAFER-HRC bir sistemdeki tüm olası tehlikelere ulaşmasa bile, metodolojinin dayandığı kapsamlı araştırma, hiçbir önemli tehlikeli durumun dikkate alınmadan bırakmaz. Operatörün tüm olası davranışlarını öngörmenin imkansızlığı nedeniyle, operatörün ve sistemin tüm olası

etkileşimlerinin dikkate alındığı iddia edilemez, bununla birlikte, resmi doğrulama tekniklerine dayanan yinelemeli bir metodoloji, sonuçta tüm önemli olanların kapsamlı bir analizini sağlayabilir. Her yinelemede, tasarım istenen güvenlik gereksinimlerini karşılamazsa, yeni risk azaltma önlemleri eklenerek geliştirilir. Bu metodoloji, "döngüde insan" yaklaşımına dayanır ve risk azaltma önlemlerini otomatik olarak seçmez.



Şekil 7: Güvenlik analiz metodolojisine genel bakış (a); standart prosedür (b) SAFER-HRC'nin Temel Modeli (c) Senaryo İyileştirme (Askarpour ve diğerleri, 2016)

Şekil 7 (b)'de gösterildiği gibi, güvenlik stratejisi, değerlendirilen uygulamanın uzmanlarından ve kullanıcılarından oluşan bir grup tarafından tasarlanır ve onaylanır (güvenlik değerlendirme ekibi). Önerilen metodolojinin temel yönü, kısıtlamaların ve bunların olası ihlallerinin uygulamanın tüm aşamalarında sistematik olarak doğrulanmasıdır. Doğrulamanın titizliği, seçilen güvenlik stratejisinin sorunsuz olmasını sağlar. SAFER-HRC, iş birlikçi görevlerin gayri resmi, hedefe yönelik açıklamalarından başlar ve bunları mantıksal formüller üzerine inşa edilmiş, güvenlik gereksinimlerinin karşılanıp karşılanmadığını kontrol etmek için resmi doğrulama teknikleri uyguladığı,

resmi modellere dönüştürür. Model, operatör ve robot için ayrı formaliteler içerir; bu nedenle de, doğrulama aşaması, fiziksel ortamdan nasıl etkilendiklerini dikkate alarak etkileşimlerini de kontrol eder. Ana model iyice analiz edildikten sonra, HRC uygulaması için farklı senaryoları incelemek için değiştirilebilir ve yeniden kullanılabilir (örneğin, farklı güvenlik işlevlerinin kombinasyonları, operatör tarafından olağandışı eylemler).

Yapılan çalışmada, metodolojinin temel katkıları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Operatörün varlığı, sistem davranışının öngörülebilirliğini olumsuz yönde etkilediği, HRC uygulamalarının güvenlik değerlendirmesine biçimsel yöntemlerin uygulanması, aynı zamanda titizlikle çalışılması gereken zorlu güvenlik standartlarını da uygular.
- Güvenlik değerlendirme ekibinin farklı tasarım varsayımlarını derinlemesine keşfetmesini destekleyen esnek bir yaklaşım sağlamak, böylelikle insan anlayışını biçimsel doğrulamanın gücüyle tamamlar.

SAFER-HRC Metodolojisine genel bakış:

SAFER-HRC, iş birlikçi robotik sistemlerin tasarımı sırasında ISO 10218' de belirtilen güvenlik gereksinimlerinin ihlalini çıkarmak için resmi doğrulama tekniklerinden yararlanan yarı otomatik bir doğrulama metodolojisi. Şekil 7 (b) ' de gösterildiği gibi, SAFER-HRC'nin merkezinde bir güvenlik değerlendirme ekibi (SATeam) bulunur. Robotik ve biçimsel yöntemler uzmanlarını içeren SATeam, makinelerin sınırlamalarını ve hedef robotun görevlerini inceler ve olası insan-robot etkileşimlerini tahmin eder. Ayrıca ISO 12100'de listelenen tehlikelerden hangisinin ortaya çıkabileceğini de belirler ve ISO standardı 14121'de tanımlanan risk düzeyine dayalı teknikleri değerlendirir. SAFER-HRC'de SATeam, bu faaliyetleri desteklemek ve sistematize etmek için HRC uygulamasının resmi bir modeline dayanır. Daha doğrusu, SATeam görevlerin gayri resmi, metinsel tanımlarından başlar ve daha sonra UML diyagramlarını resmi gösterime doğru bir köprü olarak oluşturur.

Genel O-R -L Modeli:

Biçimsel model, mantık formülleri aracılığıyla sırasıyla operatörü, robotu ve düzeni resmen tanımlayan üç ana öge, O, R ve L arasındaki ilişkiler açısından sistemde meydana gelen etkileşimlerin dinamiklerini yakalar. O, operatörün vücut parçalarının resmi bir modelidir ve her biri ISO / TC 184 / SC standardında açıklanan kritik güvenlik

gereksinimlerine sahiptir. R robotu, hareketlerinde bir dereceye kadar serbestliğe sahip kenarları tanımlayarak modeller; bu modelin doğası büyük ölçüde robot tipine ve şekline bağlıdır. O ve R, gerçekçi olmayan vücut şekillerini veya robot yapılarını göz önünde bulundurmaktan kaçınmak için kısıtlamalar içerir (örneğin, operatörün başı çalışma alanının bir köşesinde, eli diğer köşede vb). L, herhangi bir anda O ve R'nin fiziksel özelliklerinin konumunu tanımlamamıza izin veren sistemin düzeninin bir yerleşimini ve temsilini gösterir. O-R-L modeli, tüm HRC uygulamalarında ortak olan bazı unsurları ve kısıtlamaları içerir (örneğin, vücut parçalarının açıklaması), diğer parçaları (örneğin, robotun özellikleri) bunun yerine spesifik HRC uygulamasına bağlı olarak somutlaştırılır.

O-R-L Modeli ayrıca, R'de modellenen robotun gerçekleştirilmesi beklenen görev havuzuyla ilgili bir bölüm içerir. Her görev, gereksinimleri ve düzenlemeleri T adlı bir unsurda modellenmiştir. Her görev T'nin tanımı, O-R-L öğeleri arasındaki etkileşimlerin türünü ve sıklığını belirler. Bir görevin yürütülmesi, her bir O-R-L öğesi çifti arasında işlevsel bir ilişki içerir. Bu ilişkiler fiziksel olanlar (örneğin, robot kolu ile operatör arasındaki temas, operatörün ve robotun düzende ortak bir alanda varlığı) veya bilgilendirici (örneğin, operatör tarafından robota verilen girdiler) olabilir. Örneğin, robot efektörünün delme işlemi yaptığı sırada, operatörün kafasının robota çok yakın olmaması gerekir.

Model, delme işleminin yapıldığı düzende alana karşılık gelen bir değeri (Ldrill), son efektörün konumunu yakalayan bir değişkeni (EF/End Effector) tanımlar ve operatörün kafasının pozisyonu için bir tane daha (OPHead); daha sonra, T, delme görevi ile ilişkili aşağıdaki kısıtlamayı içerir ve delme işlemi sırasında OPHead'in Ldrill alanında olamayacağını belirtir:

$$\text{Drillingstate} = \text{exe} \Rightarrow \neg(\text{OPHead} = \text{Ldrill}) \wedge (\text{EF} = \text{Ldrill})$$

Genellikle bir görevin tanımı hedefe yönelik bir görünüme sahiptir ve birden fazla küçük yürütme birimi içerir. Bir görevi mümkün olan en küçük fonksiyonel birimlere, yani temel eylemlere ayırmak, SATeam'in O-R-L unsurları arasında daha önce bahsedilen ilişkileri çıkarmasını sağlar ve ayrıca yalnızca daha yüksek bir analiz seviyesinde kalırsa gözden kaçabilecek tehlikeleri belirlemeye yardımcı olur. Bireysel eylemleri ayırt etmenin bir başka avantajı, farklı eylem dizileriyle aynı hedefe ulaşmanın mümkün olması ve operatörün hangi diziyi kullanacağına anında karar verme yeteneğine sahip

olması durumunda, her dizinin neden olduğu farklı tehlike kümelerinin tanımlanmasıdır. Ayrıca, robot uç-efektörü ile temas halinde olan veya yakın olan insan vücudu parçaları, bir görev içindeki ayrı eylemler için farklılık gösterebilir ve bu da tehlikelerin olasılığını ve kritikliğini etkileyebilir. SAFER-HRC, ilgili görevin T modeli içindeki temel eylemlerin her birini üç ana özellik ile karakterize eder; ön koşullar, son koşullar ve güvenlik özellikleri (Şekil 7 (b)). Bu özellikler, her eylemin yürütülmesinden önce, sonra ve sırasında sırasıyla tutulması gereken TRIO formüller olarak biçimlendirilir. Ayrıca, her eylemin, diğer eylemlere göre yürütme tercihini tanımlayan öncelik adlı bir özelliği vardır. Daha doğrusu, bir anda hem actioni hem de actionj'nin ön koşulları sağlanırsa, daha yüksek önceliğe sahip olan uygulamaya başlar. Mevcut model, sistemlerin maksimum paralellik seviyesinde çalıştığını göz önünde bulundurur; yani, etkinleştirilenler arasında en yüksek önceliğe sahip olan tüm eylemler paralel olarak yürütülmeye başlar. Her eylem, nihai biçimlendirmeye dahil edilen ek kısıtlamalara ve zamanlama gereksinimlerine de sahip olabilir. Her an aşağıdaki durumlardan birinde bir eylem gerçekleşir.

- Ön koşullar henüz yerine getirilmedi: Başlamadı (ns /not started),
- Ön koşullar yerine getirilir, ancak yürütme veya bekleme modunda daha yüksek önceliğe sahip başka bir eylem vardır. Bekleme (wait),
- Yürütme altında (yalnız veya diğer eylemlerle eşzamanlı olarak). Yürütme (exe/executing),
- Yürütmenin bir noktasında, güvenlik özelliklerinin ihlal edilmesiyle yürütme duraklatılır (Pause/ps),
- Yürütme sonlandırıldı (dn/done),

Modelin Uyarlanması:

Bir sistem için güvenlik analizini gerçekleştirmek için SAFER-HRC uygularken, SA Team'nin öncelikle O-R-L modelini aşağıdaki aktiviteleri gerçekleştirmeye karşılık gelen uygun robot modelini ve uygulama parametrelerini seçerek hedef HRC uygulamasına uygun hale getirmesi gerekmektedir. (Şekil 7)

- Robotun gerçekleştireceği görevleri seçilir,

- Operatörlerin ve robotların sayısı ayarlanır, uygulamanın her kategori için birden fazla öge gerektirmesi durumunda, SAFER-HRC, R ve O öğelerinin birden fazla ayrı örneğini oluşturur,
- Yerleşim konfigürasyonu, bölge sayısı, robot(lar) ve operatör(ler) için her bölgenin erişilebilirliği ve engellerin veya diğer fiziksel özelliklerin özellikleri açısından tanımlanır,

Bu noktada, SAFER-HRC, bu şekilde uyarlanmış modelin istenen güvenlik gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığını resmi bir Zot doğrulama aracı ile kontrol eder. Bir güvenlik özelliği ihlal edilirse, Zot sistemde bir veya daha fazla tehlikenin varlığını işaret eden bir karşı örnek üretir. İhlaller aşağıda nedenlerden kaynaklanabilir; (i) Sistem hala tehlikeli durumları içerir veya operatör hatalarına veya amaç dışı yanlış kullanımlara izin verirse veya (ii) sistem, tespit edilen tehlikeler için uygun azaltma önlemlerine sahip değilse. Tasarımcı daha sonra sistem modelini, ihlalden kaçınması gereken TRIO formüllere karşılık gelen uygun risk azaltma önlemleri ekleyerek veya önceki analizde tespit edilmeyen tehlikeleri yakalamak için yeni formüller ekleyerek geliştirmelidir. Daha sonra, geliştirilmiş model üzerinde yeni bir doğrulama gerçekleştirilmelidir.

Biçimlendirilmiş O-R-L Modelinin Güvenlik Analizi:

SAFER-HRC metodolojisinin bu adımında SATeam, ilk modelde dikkate alınmamışlarsa, yerleşim ve görevin gerçekleştirilmesi sırasında, ciddi sorunlara neden olabilecek operatör hatalarını bulmak için yinelemeli bir analiz gerçekleştirir. Analiz, yukarıda açıklanan O-R-L modelinin her eyleminin güvenlik özelliklerine karşı resmi olarak doğrulanmasıyla yapılır. Doğrulama, Zot sınırlanmış tatmin denetleyicisinin değiştirilmiş eklentisi kullanılarak birkaç saniye içinde tamamlandığından, doğrulama çalışmaları için yürütme süresi bu örnek çalışmada önemli değildir. Aşağıda, SAFER-HRC'nin çalışmasının O-R-L modelinde bulunduğu sorunlara ilişkin örnekler verilmiştir.

- 1) Eylem9 (action9) yürütülürken, vidalama işlemini daha iyi görebilmek için operatör palete gereğinden fazla yaklaşıyor, eylem10(action10) başladığı sırada robot yüzüne çarpıyor. Bu, yüz ve göz bölgesinde ciddi yaralanmalara neden olabileceğinden, eylem9 (action9)'un güvenlik özelliği paketi modifiye edildi. El dışında vücudun başka hiçbir bölgesinin palete yakın olmasına izin verilemeyeceğinden, operatörün benzer bir hata yapması durumunda, güvenlik

özelliği ihlali edileceğinden, eylemin yürütülmesi, aşağıdaki formülde belirtildiği gibi durdurulur.

- 2) Yukarıda belirtildiği gibi, eylemlerin eşzamanlılığı, önceliklerinin değerlerine bağlıdır. Bazı durumlarda, işlem sırasında meydana gelebilecek tutarsızlıklar, uygun ön / son koşulların tanımlanması yoluyla, eylemlerin eşzamanlı olarak yürütülmesi tasarımıla önlenmiştir. Ancak, bu sorun eylem9 ve action5 arasındaki ilk modelde ele alınmamıştır. Aslında, eylem5'in güvenlik özelliği tatmin edici değildir ve Zot'un döndürdüğu karşı örneğe göre, eylem9'un yürütüldüğu, ancak iş parçasının operatör tarafından tutulmadığı sistem yapılandırılmaları mevcuttur. Bu durum iki önemli konuyu vurgular: (i) Operatör bir hata yapabilir ve vidalama işlemi sona ermeden önce iş parçasını serbest bırakabilir, (ii) eylem9, her zaman eylem5 ile eşzamanlı olarak yürütülmelidir. Bunu aşmak için, eylem9'un güvenlik özellikleri, bunlara eylem5 = exe formülü eklenerek güncellenir. Değişiklik ayrıca eylem8, eylem10 ve eylem11'e de uygulanır.

2.5.5 İşbirlikçi Robotlar ve Risk Analizi

Geleneksel robotlar, çeşitli koruyucu çit ve elektronik önlemler altında uzunca yıllar oldukça ağır işler yapmışlar, ancak çalıştıkları alana hiçbir canlının girmesine izin verilmediğinden, kendilerine ayrılan bölgede hep yalnız başlarına çalışmışlardır. İşbirlikçi robotların devreye girmesiyle birlikte, çalışma ortamı tamamen değişmiş, robotun çalıştığı ortamı çevreleyen koruyucu çitler, ışık perdesi ve benzeri koruyucu elemanlar devre dışı kalmış, buna ek olarak ta çalışma alanlarında insanlarla iş birliği içerisinde çalışır hale gelmişlerdir.

Geleneksel robotlarda, robot yalnız çalıştığından ve de risk oluşturabilecek her objenin robotun çalışma alanına girmesi engellendiğinden, iş kazası riskleri, iş birlikçi robotlara göre çok daha azdı, zira iş birlikçi robotun iş birlikçi alanda sürekli olarak operatörle birlikte olması insanın da karışabileceği kaza riskini büyük ölçüde artırmıştır. Bu nedenle, riskleri minimize edebilmek için, çalışan için yaralanma şiddeti ve oluşma olasılığı, farklı parametrelerle belirlenmesi, robotik sistem ve çevresinin de, iş birlikçi çalışma açasından güvenli kabul edilmeden önce belli güvenlik seviyelerini karşıladığının saptanması gerekir.

Potansiyel bir tehlikenin güvenlik için kabul edilebilir standartları aşp aşmadığının belirlenebilmesi için tek yol bir risk değerlendirmesi yapmaktır. Uygun bir risk değerlendirmesi yapmak için, iş birlikçi robotun yani kobotun, çalışacağı ülkenin ilgili standartlarının ve düzenlemelerinin mutlaka doğrulanması gerekmektedir. Bunun için de en çok işletmedeki robot integrasyonu yapacak olan firmanın desteği önemlidir.

ISO / TS 15066 teknik şartnamesinin son sürümü ile birlikte, iş birlikçi robotlar için Risk Analizi'nin güncellenmiş bir versiyonu gerekiydi. Geleneksel robotlardaki bazı spesifikasyonlar, yeni parametrelerle ve güvenlik gereksinimleriyle harmanlanarak kobotlar için sürekli revizyonları da içeren ISO / TS 15066 oluşturulmuştur.

Günümüzde, kolaboratif robotlar, endüstrinin hemen hemen bütün dallarında yaygın bir şekilde pazarlanırken, bunlara ilişkin olası güvenlik sorunları ve endişeler hakkında da ayrıntılı bilgi vermek gerekli olmuştur. ISO/TS 15066 teknik spesifikasyonunun ortaya çıkmasıyla birlikte, iş birlikçi robot uygulamalarının insanlarla birlikte kullanım için güvenli olduğundan emin olmak için birçok veri, hesaplama ve metodoloji geliştirilmiştir. Bununla birlikte, teknik şartnamenin robotun sertifikasyonu ve uygulaması üzerinde hiçbir etkisi yoktur, bu yüzden de robot üreticileri robotlarını akredite etmek için üçüncü taraflardan destek almak zorundadırlar. Bu, belirlenmiş bazı harici güvenlik organlarına göre, belirli koşullar altında robotun bir araç olarak güvenli olduğunun teyidi ve sertifikalandırılması anlamına gelir. Bu belgenin anlamı, uygulamanın otomatik olarak güvende olacağından daha çok, uygulamanın bütünüyle bir risk analizi gerektirdiği anlamına gelir. Bu yüzden, işletmedeki herhangi bir yeni durum için yeni bir risk analizi oluşturmak için geçmiş deneyimlerin kullanabilmesini sağlamak adına güvenlik açısından bir iç bilgi oluşturulması gerekir.

Her ne kadar, her türlü makine ve ekipmanın üretimi, yönetimi ve güvenliği, o makine veya ekipmanın kullandığı norm ve yönetmelikler doğrultusunda sağlanmak durumunda olsa da, bu standartlar, dünya çapında kabul gördüğü, onaylandığı, ilahtan robot güvenliğine kadar her türlü ürünün normlarını oluşturan Uluslararası bir Standart Organizasyonu (ISO) tarafından yönetilmektedir. Bu kuruluş, tasarım, malzeme, ürün, süreç, hizmet, sistem ya da kişilerin kullanımı ve performansı hakkında yol gösterir.

Standartlar, kalite, ekoloji, güvenlik, ekonomi, güvenilirlik, uyumluluk, birlikte çalışabilirlik ve verimlilik gibi mal ve hizmetler için temel özelliklerin tutarlılığını sağlar.

Dolayısıyla standartlar, temelde belirli bir ürün veya üretim süreci için güvenlik yönergeleri dahilinde şeyler üretmek için izlenmesi gereken bir kılavuzdur diyebiliriz. Bununla birlikte, bir standart yasal olarak bağlayıcı olmayıp, ancak gerçekte genellikle hukuk etkisine sahip düzenlemelerdir. Bu yüzden de standartlar yasa olmasa da, yasaları tamamlamak için kullanılabilirler ve bu nedenle çoğu zaman bunlara dahil edilirler. Dolayısıyla, bir yönetim örgütü bir yasayı yayınlıyorsa, muhtemelen tamamen yeni bir standardı yeniden icat etmek yerine, dünya uzmanları tarafından halihazırda oluşturulmuş ISO veya başka bir standarda atıfta bulunmayı tercih ederler. Daha sonra farklı mevcut yasalar birleştirilebilir ve halihazırda izlenmekte olan standartlara atıfta bulunularak, yasanın karmaşıklığı azaltılabilir. ISO dışında, aynı zamanda standartları belirleyen Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC/International Electrotechnical Commission) gibi robot hücresine göre standartlar sağlayabilecek kuruluşlar da vardır.

Standartları yayınlayan bazı kuruluşlar aşağıda belirtilmiştir:

ISO (The International Organization for Standardization): Uluslararası Standardizasyon Örgütü, çeşitli ulusal standart kuruluşlarının temsilcilerinden oluşan uluslararası bir standart belirleme organıdır. Kuruluş, dünya çapında tescilli, endüstriyel ve ticari standartları teşvik etmektedir.

OSHA (The Occupational Safety and Health Administration): Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi, Amerika Birleşik Devletleri Çalışma Bakanlığı'nın bir kurumudur. Görevi, standartlar belirleyip uygulayarak, sosyal yardım, eğitim ve yardım sağlayarak çalışan erkekler ve kadınlar için güvenli ve sağlıklı çalışma koşulları sağlamaktır.

ANSI (The American National Standards Institute): Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ürünler, hizmetler, süreçler, sistemler ve personel için gönüllü konsensüs standartlarının geliştirilmesini denetleyen, kar amacı gütmeyen özel bir kuruluştur.

CSA (The Canadian Standards Association): CSA Group'un bir bölümü olan Kanada Standart Kurumu, 57 alanda standartlar geliştiren, kar amacı gütmeyen bir standartlar kuruluşudur. CSA, basılı ve elektronik ortamda standartlar yayımlar ve eğitim ve danışmanlık hizmetleri sağlar ve endüstri, hükümet ile tüketici gruplarından temsilcilerden oluşur.

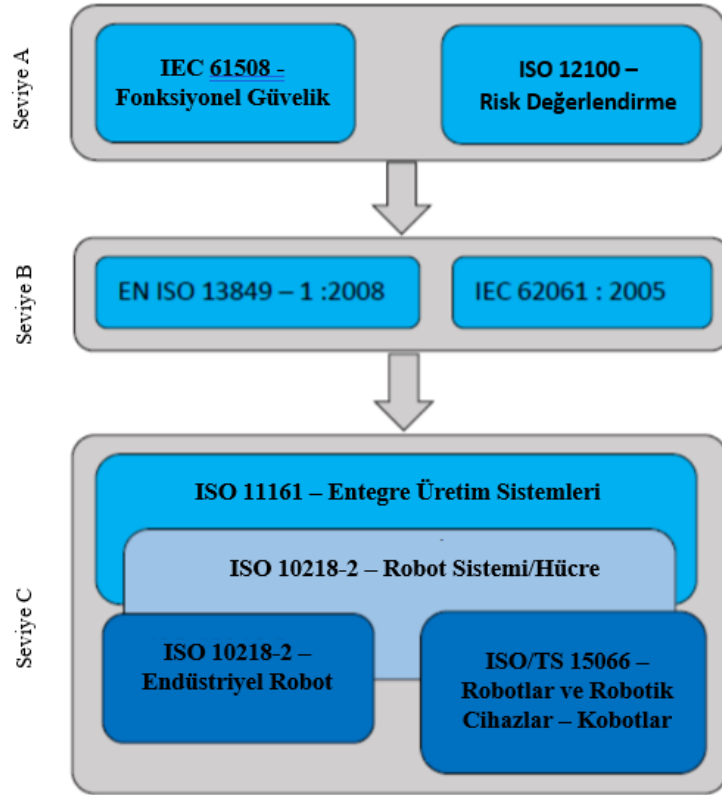
Bunun dışında, her ülke veya bölge kendi kanunları veya yönetmelikleri için hangi standardı kullanacağına karar verebilir. Bununla birlikte, Conformité Européenne (CE) gibi diğer kuruluşlar, tüm Avrupa Birliği için direktifler uygulamaktadır. Bu organizasyon standartlar yazmamakta, ancak Avrupa Birliği ülkelerinde üretilen veya ithal edilen ürünlere yasal yönergeler sağlamaktadır.

ISO standartları, üst seviye standardı ilk referans olacak şekilde oluşturulmuştur. Çeşitli standart seviyeleri arasında, robotlar, endüstriyel robotlar, kolaboratif robotlar için geçerli olacak en spesifik güvenlik standartları da yer almaktadır.

Aslında, **A-Seviye standartlar** en yüksek düzey standarttır. Temel güvenlik bilgisi, temel tasarım özellikleri ve genel makine yönleri için geçerlidirler. **B-Seviye** standartları, farklı makine türlerinde bulunabilen belirli cihazlara daha özeldir. Yine de genel bir standarttır, ancak belirli güvenlik özelliklerine girer. **C- seviye** standartları, belirli bir makine türü, örneğin bir robot için özel güvenlik gereksinimleridir. Tablo 1'deki diyagramda aşağıya inerken, ürünün veya süreç için daha fazla spesifik maddelere rastlarız. Örneğin, ISO 12100 - Makine güvenliği, tüm makine türleri için risk değerlendirmeleri ve risk azaltma gibi farklı temel kavramları tanımlar. Ancak, ISO 10218-Robotlar ve robotik cihazlar, özellikle robotik için yazılmıştır ve endüstriyel robotlar için güvenlik gereksinimlerini detaylandırmak için robotik örnekler kullanır. Her iki standart da hemen hemen aynı işlevi, yani makine emniyetini sağlar, ancak ISO 10218 tamamen robotlara özgüdür.

2014 yılında yayınlanan ISO 13482, yakın insan robot etkileşimi ve hatta insan robot teması sağlayan Kişisel Bakım Robotlarına özeldir.

Tablo 11: Standart seviyeleri (Bélanger, 2016)



Revize edilmiş ISO 10218 standardı Bölüm 1 ve 2 ve ISO / TS 15066 Teknik Şartnamesi, robotlar ve özellikle iş birlikçi robotlar için güvenlik gereksinimlerini tanımlar.

Robotun kendisinin yanı sıra, bu bağlamda iş birlikçi robot, son efektörünü (yani robotun görevleri yerine getirdiği robot koluna takılı araç ile onun tarafından taşınan nesnelere, çevresi ve tüm potansiyel etkileşimleri içerir. İşbirlikçi robot ile operatör arasındaki yakın veya doğrudan temas, çarpışma olasılığını tanım gereği doğurur. Robot üreticisinin risk analizi bu nedenle amaçlanan endüstriyel çalışma alanını da kapsamalıdır.

- **Teknik Şartname:**

Teknik Şartname, bir teknik komite üyeleri arasındaki bir anlaşmayı temsil eder ve bu komite üyelerinin %66'sı tarafından onaylanırsa yayına kabul edilir. Teknik şartnamenin içeriği, bir ISO komitesi içindeki teknik fikir birliğini temsil eden normatif bir belgedir. ISO/TS 15066, iş birlikçi robotlarla doğrudan ilgili çok fazla bilgiye sahip olmayan ISO 10218 için daha fazla veri ve destek sağlamak amacıyla piyasaya sürüldü.

TS (Teknik Şartname) terminolojisine sahiptir, çünkü daha fazla uygulama bilgisi ve verisi standart olarak akredite edilmeden önce analiz edilmelidir, hala üzerinde yeni çalışmalar yapılmaktadır. İşbirlikçi robotlar için bir kuvvet/enerji/hız sınırı oluşturmak için gelecekteki herhangi bir standardın tasarımında kabul edilebilir ağırlık düzeyleri ve vücut parçası ataleti gibi önemli veriler göz önünde bulundurulmalıdır.

Risk Analizi:

Risk değerlendirmesinin gerçek tanımını; **“Bir duruma dahil olan risk seviyelerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve tahmin edilmesi, bunların, kıyaslamalar veya standartlarla karşılaştırılarak kabul edilebilir bir risk seviyesinin belirlenmesi.”** olarak yapabiliriz. Robotik ortamda, potansiyel riskleri değerlendirmek ve daha sonra robotik bir sistemin çalışması sırasında bir işçiye olası zarar verme riskinin kabul edilebilir seviyelere ulaşması amacıyla bunları azaltmak için bir risk değerlendirmesi kullanılır. ISO standardına uymak, tüm makinelerin güvenli olduğundan emin olmak için bir risk değerlendirmesinden geçmesi gerekir. Bazı cihazlar üreticileri veya üçüncü bir tarafça zaten onaylanmıştır ve bu, örneğin robot aktüatör gibi belirli parçaların güvenlik seviyesini doğrulanması gerektiğinden risk değerlendirme sürecini basitleştirecektir. Ancak, robotun dahili bileşenleri ve yazılımı onaylanmış olsa bile bu, çevresindeki ortama göre güvenli olduğu anlamına gelmez. Özellikle endüstriyel uygulamalarda kullanım o kadar çeşitlidir ki, bir parça üreticisinin herhangi bir süreci onaylaması imkansızdır. Risk değerlendirmesinin devreye girdiği yer burasıdır. Sistem/ler söz konusu olduğunda, her bir cihazı ayrı ayrı değil, her endüstriyel uygulamayı bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekir. Sertifikalı bir robot tarafından kullanılan keskin bir parça veya bıçak örneğini alırsanız, bu, her parça kendi içinde ve kendi başına güvenli olsa bile uygulamanın güvenli olduğu anlamına gelmez.

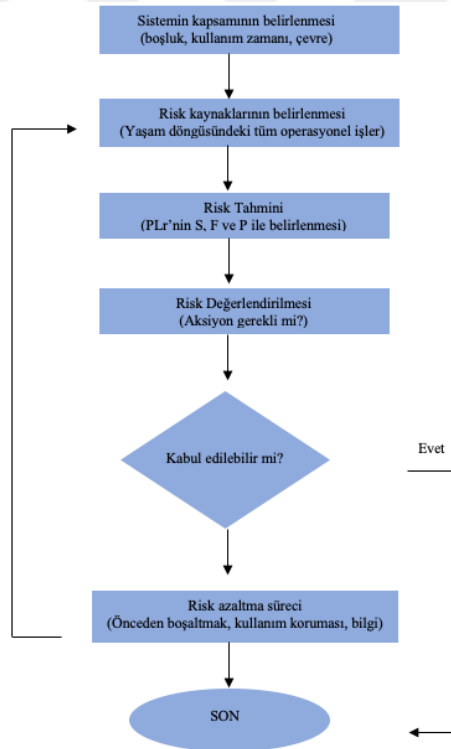
- **Risk Analizine Neden Gerek Vardır?**

Çalışanın güvenliğini sağlamak işverenin sorumluluğundadır. Risk analizi, işçi güvenliğini sağlamaya yönelik bir araçtır. Dünyanın bazı bölgelerinde, yerel yasalar ve düzenlemeler, fabrikada kurulan herhangi bir makine için bir risk değerlendirmesi yapmayı zorunlu kılar. Yönetim bölgelerinin tümü standartlara uyulmasını gerektirmez, ancak çoğu güvenlik kurumunun güvenlik standartlarını içeren veya bunlara atıfta bulunan kanunları olacaktır. Bu durum, genellikle kendi güvenlik yönergelerine sahip

olan büyük şirketler için de geçerlidir. Bu nedenle, robotun kullanılacağı ülkedeki yasalara uymak ve işçi güvenliğini sağlamak için robotik hücreyi entegre ederken ve tasarlarken o ülkeyle ilgili bazı standartlara, ISO veya diğerlerine uymak gereklidir. Risk analizi, daha sonra, ya ülke ya da küresel düzeyde işyeri güvenliğini sağlamak için seçilmiş standartlar doğrultusunda gerçekleştirilir. Robotik hücrenin güvenliğinin sağlanması istenen durumlarda, seçilmiş standartların gerektirdiği tüm noktalara göre testler yapmak ve çalışma hücrelerini güvenli hale getirmek gerekecektir. Ayrıca hücrenin performansı da bu standarda göre belgelenmelidir.

- **Risk Analizi Süreci:**

Robotik hücrelerde kullanılan çoğu cihaz zaten belirli bir performans seviyesine sahip olacağından, son kullanıcı veya entegratör için risk değerlendirmesi çoğunlukla uygulamanın kendisiyle ilgili olacaktır. Sürece ilişkin aşamalar aşağıdaki şemada belirtilmektedir.



Şekil 8: Risk değerlendirmesi süreci (Bélanger, 2016)

Kapsamın Belirlenmesi:

- Risk değerlendirmesinin bu bölümü, makinenin kullanım bağlamının bir açıklamasıdır.

- Robot nerede (hangi proste) kullanılacak?
- Proses sırasında hangi takımlar kullanılacak?
- Hangi nesnelere operasyonun bir parçası olacak?

sorularına yanıtlar aranır. Ayrıca, robotun maksimum hızı, ivmesi, uzanma mesafesi, kaldırabileceği yük kapasitesi ve parça ağırlıkları da bu çalışmaya eklenmelidir. Risk değerlendirmesinin gerçekçi olabilmesi için bu değerler çok önemli olup, belki buna diğer bazı bilgileri de eklemek gerekebilecektir.

Risk/lerin Belirlenmesi:

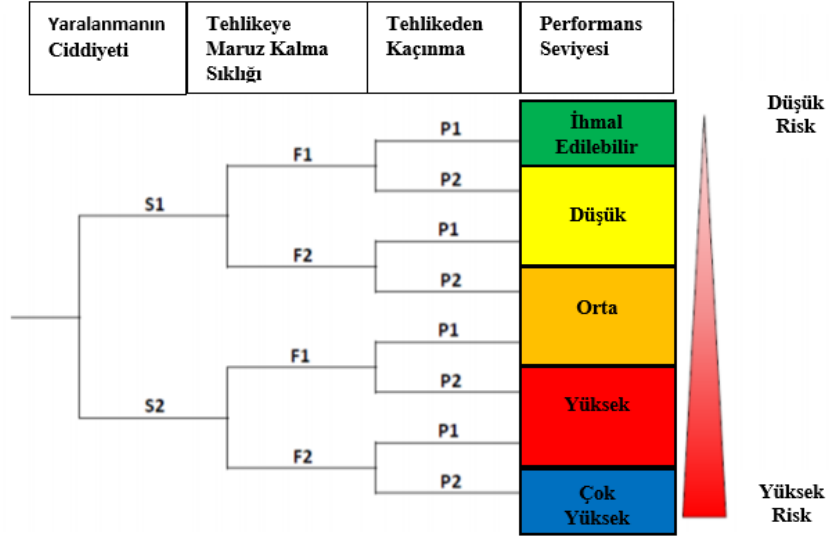
Tehlike oluşturabilecek her türlü işlemin listelenmesi gereklidir. Bu işlemler yalnızca robotun çalışmasını değil, robotun kamyonundan teslim edildiği andan hizmetten çıktığı ana kadar her şeyi içerir. Analizin bu kısmı biraz abartılı görünebilir, ancak bazen küçümsenebilir. Geçtiğimiz yıllarda, bir robotun kurulum sürecinde bir işçiyi ezip öldürdüğü trajik bir vakayı hatırlarsak, bu yapılan işlerin hiç de abartılı olmadığını rahatlıkla görebiliriz. Dolayısıyla, bir risk analizi, robotun ömrü boyunca farklı hareketlerini ve eylemlerini analiz edecek ve her işlemi daha fazla analiz için basitçe bölecektir. Bu sürece göreve dayalı risk analizi adı verilir.

Risk/lerin Tahmini:

Risk tanımlama analizi sırasında yapılan gözlemlere göre, verilen hareketlerin risklerini derecelendirilmesi gerekir. Bir riski izlemenin veya derecelendirmenin çeşitli yolları vardır. Açıklamayı basitleştirmek için, ISO 13849-1: 2006'da kullanılan örnek kullanılabilir.

Risk, Performans Seviyesi derecelendirmesi (**PLr**) terminolojisi kullanılarak tahmin edilir. Bu analiz, üç farklı parametre kullanır: yaralanmanın şiddeti (**S**), bir tehlikeye maruz kalma sıklığı (**F**) ve tehlikeden kaçınma olasılığı (**P**).

Dolayısıyla, bir riski tahmin etmenin temel yolu, her bir parametreyi derecelendirmek ve risk seviyesinin ne olduğunu görmek için bir risk tahmin ağacından geçmek olacaktır. Risk değerlendirme ağacında, en üstteki durum en düşük riski ve en alttaki durum en yüksek riski temsil eder.



Şekil 9: Risk tahmin diyagramı (Bélanger, 2016)

PLr'yi ölçmek için aşağıdaki parametrelerin değerlendirilmesi gerekir.

S: Yaralanmanın şiddeti,

- **S1:** Hafif (normal geri döndürülebilir yaralanma),
- **S2:** Ciddi (normalde geri döndürülemez yaralanma veya ölüm),

F: Tehlike sıklığı ve / veya maruz kalma süresi,

- **F1:** Nadiren daha az sıklıkta ve / veya kısa maruz kalma süresi,
- **F2:** Sık sık ve / veya sürekli ve / veya uzun maruz kalma süresi,

P: Tehlikeden kaçınma veya zararı sınırlama olasılığı,

- **P1:** Belirli koşullar altında mümkündür,
- **P2:** Nadiren mümkün,

Bazı tanımlamalar, parametreleri iki yerine üç veya daha fazla farklı yoğunluğa böler. Bu, riskin daha kesin bir tahminini verecektir. Her durumda amaç, robotik hücre için riskin çok yüksek olup olmadığını belirlemektir. Bu da bizi risk analizinin bir sonraki adımı olan risk değerlendirmesini gündeme getirir.

Risk/lerin Değerlendirilmesi:

Proseste saptanan riskleri belirledikten sonra bu riskleri azaltmak için gereken eylemlerin üzerinde çalışılmalıdır. Performans Düzeyi Derecelendirmesi (PLr) ile genel Performans

Düzeyi (PL) arasındaki bağlantılar gözden geçirilmelidir. Bunu yeniden ifade etmek için, çalışma hücresinin veya uygulamanın yüksek bir riske sahip olduğunu tahmin ediliyorsa ($PL_r = \text{yüksek}$), bu uygulamanın Performans Seviyesi de d ($PL \geq d$) 'ye eşit veya daha büyük olacaktır. Bu durumda d veya e . Bu, riskin mevcut tehlike seviyesini kabul edebilecek bir cihaz tarafından izlenmesini veya güvence altına alınmasını sağlar.

PL_r	PL
İhmal Edilebilir	a
Düşük	b
Orta	c
Yüksek	d
Çok Yüksek	e

Şekil 10: Risk değerlendirme (Bélanger, 2016)

Çoğu durumda, çalışanların güvende olduğundan emin olmak için düşük ya da ihmal edilebilir kategoride olmak istenir. Bu kabul edilebilir kategori dışında olunması durumunda, çeşitli kademelere başvurulmalıdır. Risk değerlendirmesi potansiyel olarak yüksek bir risk veriyorsa; bu risklere odaklanmak ve bunları azaltmak veya ortadan kaldırmak gereklidir. Riskler azaldıkça, risk analizi için risk tanımlama zincirinin yedeklenmesi ve indirilen riskin başka bir risk oluşturmadığından emin olmak için tüm süreci yeniden tamamlamak gerekir. Diyelim ki çarpışmaları önlemek için bazı korumalar entegre edilmek isteniyor, ancak bu koruma, bakım işlemleri sırasında bir çalışanın ezilme olasılığını artırıyorsa, bu durumda bu korumanın yapılandırmasını tekrar gözden geçirerek konfigürasyonun değiştirilmesi gerekir. Herhangi bir konfigürasyon değişikliğinde sistemin tamamını gözden geçirmek gerekir.

Risk Azaltma Süreci:

Bir önceki bölümde belirtildiği gibi, risk sınırlamasının, azaltmanın veya önlemenin robot hücresinin diğer yönleriyle çatışmadığından veya robot hücresi uygulamasında başka bir yerde çalışanlar için daha büyük bir risk oluşturmadığından emin olmanız gerekir. Bu süreç gerçekten yinelemelidir ve zincire geri dönerken her potansiyel riski göz önünde bulundurarak ve yeniden değerlendirerek çok dikkatli bir şekilde yapılması gerekir.

- **İşbirliğine Dayalı Uygulamalar için Risk Analizi Nedir?**

Dört tür iş birliğine dayalı (kolaboratif) uygulama vardır;

- Sınırlandırılmış güvenli duruş,
- Elle yönlendirme,
- Hız ve mesafe izleme,
- Güç ve kuvvet sınırlama,

Sınırlandırılmış Güvenli Duruş:



Şekil 11: Sınırlandırılmış güvenli duruş yöntemi

(Kobotlarla Çalışmaya Hemen Başlayın, t.y.)

Başka bir deyişle, operatör iş birliği alanına girdiğinde robot durur. Robot bir lazer tarayıcı, güvenlik anahtarları veya bir insanın varlığını algılayan bir görme sistemi tarafından izlenir, sistem daha sonra ihlal eden operatörün zarar görmemesini sağlamak için tüm robot hareketlerini kapatır. Robot güvenlik açısından tüm hareketlerini durdurmuş olsa dahi, tüm konumları izlemeye devam eder ve tamamen kapanmamıştır. Bir kazayı önlemek için, bir işlemci robotun olması gereken yerde olup olmadığını analiz eder. (Güvenlik Seviyesi 3). Bu tür bir iş birliği, robotun bir işçiye yakın çalışıyor olması gerektiği, örneğin bir robotun ağır bir şeyi kaldırması ve operatörün parça üzerinde ikinci bir işlem yapması gerektiği durumlarda kullanılabilir. Robotun genellikle, operatör ortak çalışma alanına girmeden önce durdurulması gerekir.

Elle Yönlendirme:

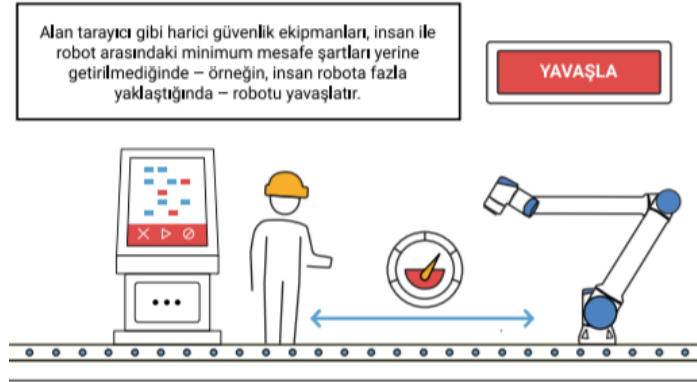


Şekil 12: Elle yönlendirme yöntemi

(Kobotlarla Çalışmaya Hemen Başlayın, t.y.)

Bu yöntemde, robotun hareketleri, yalnızca operatörün doğrudan verdiği komutlar kullanılarak mümkündür. Yani robota nereye gideceği ve neler yapacağı tam olarak öğretilmiştir. Bu tür iş birlikçi robotların kendilerine uygulanan gücü algılama yetenekleri vardır. Bu uygulamaları gerçekleştirmek için robot bileğindeki veya robot aktüatöründeki kuvvet tork sensörleri kullanılabilir.

Hız ve Mesafe İzleme:



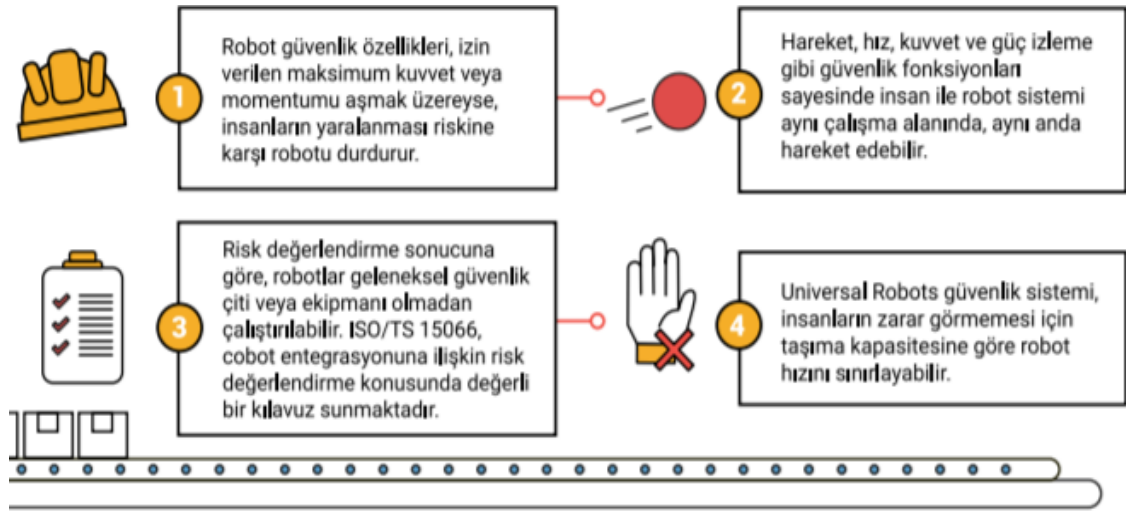
Şekil 13: Hız ve mesafe izleme yöntemi

(Kobotlarla Çalışmaya Hemen Başlayın, t.y.)

Bu tür bir iş birliği, robot çalışma alanında farklı güvenlik bölgeleri sınırlandırıldığında elde edilir. Bazı bölgelerde robot için maksimum hıza izin verilirken, bazı bölgelerde operatörün potansiyel yakınlığı nedeniyle daha düşük hızlar gereklidir. Diğer bölgeler, genellikle operatör robota çok yakın olduğu için robotu tamamen

durdurur. Güvenlik bölgesinin izlenmesi, çoğunlukla görüş izleyen farklı izleme sistemleri tarafından yapılır. Güvenlik bölgesi herhangi bir boyutta ve geometride olabilir, kullanıcı farklı bölgeler belirleyecek ve operatörün robottan hiçbir koşulda zarar görmemesini sağlamak için bu bölgelerle farklı hızlanma ve hız ayarlarını ilişkilendirecektir. Bu, insan ve robot arasındaki iş birliğinin sabit olmadığı ve robotun çoğu zaman tek başına tam hızda çalışacağı durumlarda meydana gelebilir. Bu şekilde süreç hızlandırılabilir ve yine de operatör robot iş birliğine izin verilebilir.

Güç ve Kuvvet Sınırlama:



Şekil 14: Güç ve kuvvet sınırlandırma yöntemi

(Kobotlarla Çalışmaya Hemen Başlayın, t.y.)

İçsel tasarım ve kontrol sayesinde robot, gövdesine uygulanan anormal bir kuvveti hissedebilir. Dolayısıyla, temas durumunda, robot yalnızca sınırlı statik ve dinamik kuvvetlerle tepkisini gösterir. Başka bir deyişle, bir şeye çarptığında, aktüatörler ve frenler, çarpma yönünde daha az enerji (atalet) sağlayacak şekilde hareket eder. Bazı robotlar basitçe duracak ve diğerleri çarpmanın tersi yönde hareket ederek tepki vererek, iş birliği içinde çalışmak için büyük uyum gösterirler.

Yukarıda bahsedilen çalışma yöntemlerinin uygulanması sırasında aşağıdaki durumlara yönelik risk değerlendirmelerinin yapılması gerekmektedir.

- **Tam Durmadan Önceki Mesafe:** Bu parametre, iş birlikçi çalışma ortamlarında hız ve duruş izleme operasyonu için kullanılır. Robotun insanlarla birlikte çalışması durumunda, robotun hızını sınırlamak için bu parametrenin ayarlanması ve onaylanması gerekir. Teknik Şartnamedeki, hesaplama, ilgili farklı hızları

(robot ve operatör) ve bunları ayıran mesafeyi ve ayrıca uygulama için gereken durma süresini, mesafeyi ve hızı hesaplamaya olanak tanıyan birkaç başka parametreyi içerecektir.

- **Hız Koşulları:** Teknik Şartnamenin bu kısmı genellikle emniyetle izlenen durmalar için kullanılır. Aslında, risk analizinin bu bölümünde robotun hangi hızlarda ve koşullarda çalıştırabileceği, ne zaman durması gerektiği listelenecektir. Bu nedenle, belirli koşullarda robot tam hızda çalıştırabilir, diğer sıralanmış durumlarda, robot tamamen yavaşlamalı veya tamamen durmalıdır (yine de güçlü kalmaya devam edebilir).
- **Kuvvet:** İnsan robot iş birliği büyük olasılıkla insan robot temasını içereceğinden, bir robotun insanlara zarar vermeden ulaşabileceği sınırın ne olduğuna dair verilere sahip olmak önemlidir. Teknik özellik, insan ağrı seviyelerini analiz eden ve bu çalışmanın farklı verilerini kullanarak bir insana kalıcı zarar vermeden dayanabileceği kabul edilebilir güç eşikleri oluşturan bir çalışma kullanır. Oluşturulan grafik, tüm vücut parçalarını listeler ve ortak çalışma sırasında hiçbir zaman ihlal edilmemesi gereken kesin kuvvet eşikleri içerir. Bu veriler yalnızca güç kullanımı ve sınırlı robotları zorlamak için değerlidir. Aslında endüstriyel robotlar, iş birliğine dayalı bir çalışmada kullanılsalar bile asla normal çalışma hızlarında insanlarla temas etmelerine izin verilmez.
- **Basınç:** Basınç, uygulanan kuvvetin, basıncı uygulayan parçanın yüzey alanına bölünmesiyle elde edilir. Robot, çalışan üzerinde belirli kuvvetler oluşturabildiğinden (daha çok kuvvet ve güç sınırlandırılmış uygulamalarda), robotun kabul edilebilir basınç seviyelerini aşmadığından emin olmak için basınç alanının geliştirilmesi gerekebilir. Bu, çok büyük miktarda basıncın uygulanmamasını sağlamak için yüzey alanının iyileştirilmesi ve belki de tamponlanması veya uyumlu hale getirilmesi gerekebileceği anlamına gelir.
- **Geçici ve Yarı Statik Kuvvetler:** Yeni teknik şartname, robotların kullanımında ihlal edilmemesi gereken maksimum kuvvetlerin (dolayısıyla basıncı) listesini sunar. Bununla birlikte, statik ve dinamik kuvvet arasında küçük bir fark vardır. Aslında, bir etki, her nesnenin göreceli hızıyla hesaplanır. Robotla operatör aynı yönde hareket ediyorsa, çarpma, hareketsizken veya ona doğru hareket ederken ki çarpışma kadar güçlü olmayacaktır. Her bir temas türünün kısa bir tanımını yaparsak;

- **Yarı Statik Temas:** Bu tür darbe, vücudun bir bölümünün robotun hareketli bir parçası ile robot hücresinin sabit veya hareketli bir parçası arasında sıkıştığı veya ezilme durumlarında olur. Bu durumda, operatör bedeninin, robotla hücrenin bir kısmına sıkışmış olan bölgesine, robot etkisiz hale getirilene kadar bir süre kuvvet ve basınç uygulanmaya devam edilir. Bu tür bir temas, ağrı eşiğine ulaşmak için daha küçük bir kuvvet gerektirir.
- **Geçici Temas:** Bu tür bir etki, "dinamik etki" olarak adlandırılır ve hareketli robotun, robot ile insan vücudu parçası arasında kenetlenme veya sıkışmadan geri çekilme veya geri tepme olasılığı olan bir insan vücuduna çarptığı bir durumu tanımlar. Bu tür bir etki kısa süreli olarak kabul edilir. Geçici temas, robotun ataletine, vücut kısmının ataletine ve bunlar arasındaki göreceli hıza bağlıdır.

- **Risk Analizini Kim Yapmalıdır?**

Aslında, son kullanıcılar kendi tesislerinde risk analizleri yapabilirler. Robotla sistemin entegrasyonunu yapan entegratörler bu analizleri yapmaya alışkındır ve bu da genellikle tüm süreci sıfırdan öğrenmek zorunda kalmaktan daha hızlıdır. Entegratörler prosese göre şablonlar kullanarak ve tasarım aşamasında bir riski azaltmak için ilk önce ne yapacaklarını tam olarak planlayacaklardır. Karmaşık sistemlerde, uygulamaya yönelik risk analizinin akredite kuruluş tarafından yapılması çok daha doğru olacaktır.

- **Üretici Sertifikası:**

Robotik hücrenin tamamı için bir risk analizi gereklidir. Bu ortamda robot önemli bir rol oynayacaktır, ancak sistemdeki diğer tüm cihazlar da risk hesaplamasına dahil edilmelidir. Nihai sistemde yer alacak her bileşenin üreticisi tarafından yapılacak risk analizleri, nihai kullanıcının işini büyük ölçüde kolaylaştıracaktır. Örneğin sıradan bir elektrikli ev aletini örnek verecek olursak, üreticinin uyarıları doğrultusunda kullanılmadığı takdirde, mutlaka bir kazaya neden olabilecektir. Bu nedenle, bu aleti üreten firmanın, nihai kullanıcının bu aletin kullanması sırasında gündeme gelebilecek tehlikelerin neler olduğunu saptamak için mutlaka bir risk analizi yapması gereklidir. Bu yüzden de aletin ekindeki kullanma talimatında risk analizinde elde etmiş olduğu bilgiler doğrultusunda bir dizi uyarılarda bulunacaktır. Eğer bu alet Avrupa ülkelerinde kullanılacak ise, üretim sırasında CE tavsiyelerine de uyulması istenecektir. Bu gereksinimler, üçüncü taraflarca değil, üreticinin kendisi tarafından onaylanmıştır. Bu standartlar, Avrupa ülkelerinde kullanılması gereken minimum standartlardır. Bununla

birlikte, ürünün belirli bir standarda uyması isteniyorsa, ürünü onaylatmak için üçüncü bir tarafa başvurulabilir. Bu durumda robot piyasaya sürülmeden önce, üçüncü taraf olarak, bir sigorta şirketi veya tarafsız bir akreditasyon kuruluşunun onayı alınabilir. Bu kuruluş/lar, güvenlik açısından muhtemelen en katı standartları uyguladığını belirterek, robotun en üst düzey ve güvenilir güvenlik sertifikasına sahip olmasını sağlayabilirler. Daha sonra bu belge farklı ülkelerde kullanılabilir, ancak yine de şüphesiz karşılayacağı yerel normlar tarafından da onaylanması gerekir. Genelde, üretici piyasada en güvenilir ürünü sattığını belgelemek amacıyla, piyasada kabul görmüş güvenilir bir belgeyi ürünün evraklarına mutlaka eklemeyi de tercih edecektir.

- **Performans Gereklilikleri:**

Robotik bir çalışma hücresinde nelerin kabul edilebilir derecede güvenli olduğu konusunda daha derin ayrıntılara girersek, **ISO 10218-1: 2011'in 5.4.2 Performans gereksinimi** bölümünü referans almak uygun olacaktır.

Kontrol sistemlerinin güvenlikle ilgili parçaları, **ISO 13849-1:2006**'da açıklandığı gibi **kategori 3** (makinelerin güvenliği) **PL 'd'** ile uyumlu olacak şekilde tasarlanmalıdır,

- Bu parçaların herhangi birinde tek bir arıza, güvenlik fonksiyonunun kaybına yol açmaz,
- Makul bir şekilde uygulanabilir olduğunda, tek arıza, güvenlik işlevi üzerine bir sonraki talepte veya daha önce tespit edilmelidir,
- Tek hata oluştuğunda, güvenlik işlevi her zaman gerçekleştirilir ve tespit edilen hata düzeltilene kadar güvenli bir durum sürdürülür.
- Makul olarak öngörülebilir tüm hatalar tespit edilecektir.

ISO standartlarına uymak için, tüm ekipman veya makinelerin belirli bir güvenlik düzeyine uyması gerekir. Bu seviye, Performans Seviyesi, test edilen ekipmanın arıza olasılığı ile ilgili olarak belirlenir. Tablo 12'de ISO 13849-1'de belirtilen farklı performans seviyelerini açıklanmaktadır.

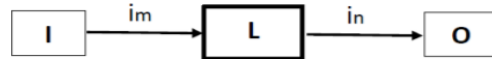
Tablo 12: Performans seviyesi (PL)

(Barette, 2016)

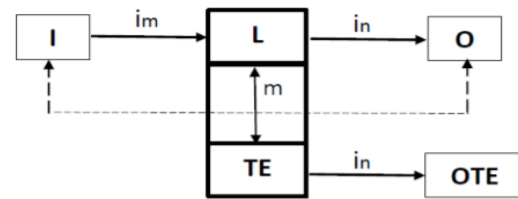
PL	Mean Time to Dangerous Failure per hour 1/h
a	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ to $< 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$

Yapısal kategori, cihazın kullandığı yedeklilik miktarına bağlıdır. Bunu başka bir deyişle, tek bir kanal donanımı varsa (örneğin kodlayıcı) robotun konumunun olması gereken yerde olduğundan emin olmak için birbirini iki kez kontrol eden çift kodlayıcı kullanan bir sistemden daha düşük bir fazlalık düzeyine sahip olabilmek mümkündür. Aşağıdaki diyagramda farklı kategori düzeyleri gösterilmektedir.

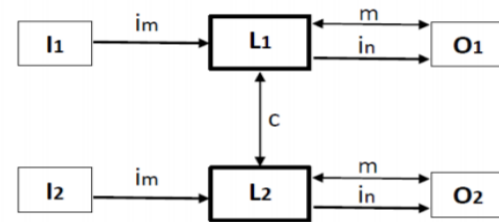
Category 1



Category 2



Category 3-4



Şekil 15: Kategori seviyeleri

(Barette, 2016)

Şemayla ilgili tam ayrıntıya girmeden, Kategori 1, basit bir tek kanallı güvenlik donanımı içerecektir. Örneğin, kapatılan bir anahtar (giriş veya I) Mantıksal cihaz (L) tarafından yönlendirilecek ve bir durdurma (çıkış veya O) ile sonuçlanacaktır.

Kategori 2 cihazı, ana sistem için her zaman giriş ve çıkışın (OTE Test Ekipmanı Çıkışı) geçerliliğini doğrulayacak ve bir arıza meydana geldiğinde tepki verecek ikinci bir cihaz (TE veya Test ekipmanı) içerecektir. Acil durdurma özelliğine sahip bir cihazı Kategori 2 güvenlik cihazı olarak düşünebiliriz.

Kategori 3 veya 4 cihazı, bağımsız olarak hareket edecek, ancak aynı sinyale sahip olduklarından emin olmak için her zaman birbirlerini iki kez kontrol edecek iki paralel cihaz içerecektir. Bu şekilde, tek bir arıza meydana gelebilir ve ikinci kanal hala bir arıza olduğunu görebilir. Bu, bir kanalın başarısız olması durumunda sistemin hala bir kusuru okuyabilmesine olanak sağlayacaktır.

Dolayısıyla, başka bir yerde farklı isimlendirmeyi görmüş olabileceğimiz gibi, PL = d kategori 3; artık ne anlama geldiğini bilinmektedir, çoğu güvenlik cihazı (Güvenlik röleleri, anahtar anahtarları, stoplar, vb.) bu isimlendirmede derecelendirilecektir. Daha önce belirtildiği gibi, iş birlikçi robot hücresine dahil olacak tüm cihazlar, ISO standartlarına uymak için en az PL = d kategori 3 olarak derecelendirilmelidir.

2.5.6 İşbirlikçi Robotlarla Çalışırken Çarpışma ve Yaralanma Kriterleri

İnsanların robotlardan ve makinelerden maruz kaldıkları tehlikeler, geleneksel olarak çitler, kilitleme ve kordon altına alma yöntemleriyle kontrol edilmektedir. Günümüzde, çalışma alanını daha yakın mesafeden paylaşabilen, insan ve robotun birbirine daha yakın şekilde çalışabilmeleri için tasarlanmış daha yeni bir iş birlikçi robotlar/kobotlar geliştirilmiştir.

Bu da insanlar ve robotlar arasında güvenli bir aralığın sürdürülmesi ve robotlarla çalışan insanların iş birlikçi robot sistemlerinin sağlık ve güvenliği tehdit eden risklerinden yeterince koruyabilecek standartların belirlenmesi için yeni yaklaşımlar gerektirmektedir. Bu nedenle, ISO tarafından kabul edilebilir risk seviyeleri, risk değerlendirmesi ve karşı önlemler konusunda rehberlik sağlayacak bir Teknik Şartname taslağı hazırlanması gündeme gelmiş, bu taslak kolaboratif robotlarla ilgili olarak aşağıdaki sorulara cevap bulmaya çalışmıştır;

- Taslakta tanımlanan kuvvet sınırlarının güvenli ve gerçekçi olup olmadığı,
- Kuvvet sınırlarını test etmek için önerilen yöntemlerin, iş birliği robot sistemlerinin gerçek risk değerlendirmesi için güvenilir, gerçekçi ve pragmatik olup olmadığı;
- Önerilen yaklaşımın insanları risklerden yeterince koruyup koruyamayacağı,

İşbirliğine dayalı robotların geliştirilmesi ve uygulanması, sağlık ve güvenlik kısıtlamaları olan veya olmayan endüstrilerde gerçekleşmektedir. Uygulamalara ilişkin yeterli güvenlik seviyeleri belirlenirken, kurallı gerekliliklerin savunmasız hatlar yaratmasından kaçınmak gerekir. İş birliğine dayalı robotların kullanımı, endüstri tarafından beklenen önemli baskılarla birlikte olası bir büyüme alanı olarak görülmektedir. Güvenliğe ilişkin öneriler, ciddi kazaların gelişmesine engel olurken çalışma alanının gelişmesini ve olgunlaşmasını da sağlamalıdır.

2.5.6.1 ISO Teknik Şartname Taslağına İlişkin Gelişmeler:

Çalışmalar sırasında, ilk başta ISO/TS 15066 ve Kolaboratif Robotlar başlığı altında büyük oranda yenilenmiş bir taslak hazırlandı. Bu çalışmaların çok büyük bir kısmında, ISO-10218-1 ve ISO 10218-2 'de tanımlanan Kolaboratif Robotların Çalışma Alanlarındaki Mekanik Tehlikelere İlişkin Risk Değerlendirmesi- Kolaboratif Robotların Operasyonları Sırasında Güvenlik Gereksinimleri ilk taslakta teknik şartnameler olarak belirlenmiş ve ISO dökümantasyonunu güncellemek için gerekli çaba sarf edilmiştir.

2.5.6.2 Çarpma ve Yaralanma Kriterlerinin Tanımı:

Operatörün küçük yüzey yaralanmalarından ölümcül yaralanmalara kadar, iş birliği robot sistemlerinden yaşayabileceği çeşitli vücut yaralanmaları bir sınıflandırma sistemine sokulabilir. Kolaboratif ortamda vücut hasarının türü ve derecesinin tanımı için, öncelikle yaralanma kriterlerinin belirlenmesi gerekir. ISO / TS 15066 taslağında tanımlandığı şekilde bir yaralanma kriteri, tanımlanmış bir yaralanma şiddetine karşılık gelen seçilmiş biyomekanik eşiktir. Çarpışma kriterleri, belirli bir yaralanma seviyesine yol açan bir insan-robot çarpışmasının özellikleridir. Çarpışma kriterleri genellikle, belirli bir yaralanma türüne ve derecesine yol açan bir vücut bölgesine etki eden basınç, darbe ve kesme kuvvetlerinin bir sonucudur.

Yaralanma kriteri, “deneysel gözlemlerle etkileşime giren bazı ölçülebilir fiziksel parametreler ile doğrudan bu etkileşimden kaynaklanan yaralanma oluşumu arasındaki

resmi olarak bir ilişkiyi tanımlayan ampirik gözlemi temel alan matematiksel bir ilişkidir” olarak tanımlanmaktadır. Aynı kaynak, tolerans seviyesinin yaralanma kriteri ile ilgili tanımını; “Yaralanma toleransı, zarar verici olmayan bir olayı zarar verici bir olaydan ayırdığı bilinen bazı yaralanma kriterlerinin değeri, veya belirli bir ciddiyette yaralanmaya neden olma olasılığı ile ilişkili minimum değer” olarak yapmıştır.

Robot-insan çarpışmaları için çeşitli kuvvet sınırları önerilmekte, bunların güvenli ve gerçekçi görünüp görünmediğinin değerlendirilmesi istenmektedir. Bunun için de önerilen önlemlerin pratik olarak uygulanıp uygulanamayacağına dair bir değerlendirme de 3 amaçla gruplandırılmaktadır.

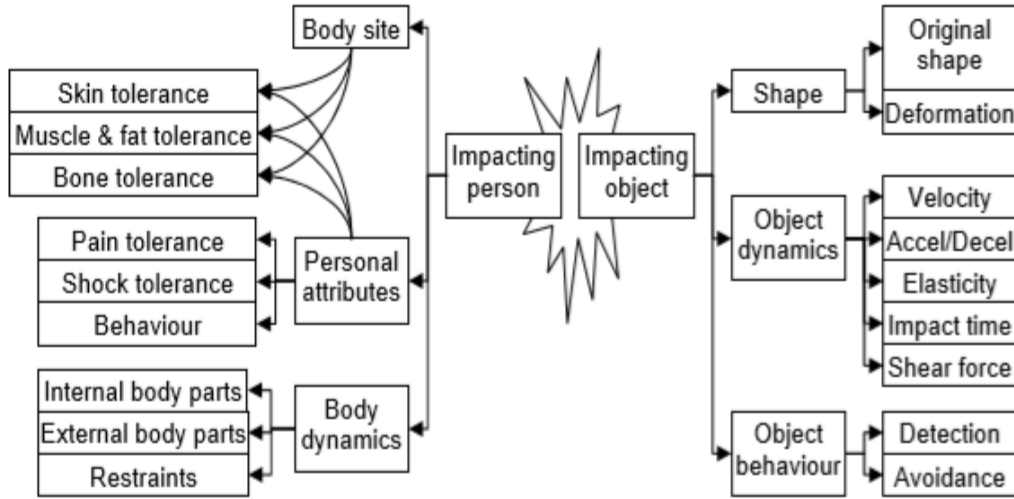
- Çeşitli vücut bölgeleri için ezilme / kıştırma / kesme kuvveti sınırları ile ilgili mevcut araştırmalar incelenerek varsa yapılan mevcut ölçümlerle karşılaştırılır. Standardın ilk taslağının birincil yaratıcılarıyla yapılan tartışmalar da dahil olmak üzere, önerilen kuvvet sınırlamalarının hangi araştırmaya dayandığı saptanır.
- Vücut bölgelerini ve kuvvet sınırlarını tanımlama yaklaşımını ile öngörülen gerçekçi senaryolar izlenir. Önerilen kuvvetlerin ve önlemlerin güvenli ve gerçekçi olup olmadığı ya da bunu oluşturmak için hangi adımların atılması gerektiğine dair görüşler belirtilir.
- Kuvvet ölçüm enstrümanları ve maliyetlerinin teknolojik sınırları göz önüne alındığında, robot tasarımcılarının ve montajcılarının önerilen yaklaşımı uygulayıp uygulayamayacaklarına dair bir ön değerlendirme yapılır Mevcut ölçüm araçları ve gerçekçi ölçüm yöntemlerini oluştururken gereken diğer adımları / araştırmaları ile gerçekçi çarpışma senaryoları ve taslak standartta önerilen yaklaşımın pragmatik olup olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. (Rayne ve Patel, 2001)

- **İşbirlikçi Robotların Güvenliği**

Şekil 16’da iş birlikçi robotların güvenliği için üzerinde durulması gereken kriterler, Şekil 17’de ise insanlar ve robotların çarpışmaları durumunda ortaya çıkabilecek olası riskler yer almaktadır.

İş Birlikçi Robotların Güvenlik Araştırması – Konu Alanları			
Çarpışma ve Yaralanma Kriterleri	Risk Değerlendirmesi		Risk Kontrolü
	Robot Çarpışmasını Ölçme	Potansiyel Çarpışma ve Risk Senaryolarını Değerlendirme	
Çarpışma yaralanması verileri	Biofidel test kuruluşları, sensörler & enstürmanlar	Kaza/olay datası – riskler hakkındaki dersler	Robot & Hücre dizaynı & güvenlik teknolojisi
Çarpışma yaralanması verileri (ezme / kıştırma / kesme / darbe kuvvetleri)	Pratik güvenilir ölçümler	Robot çalışma hücresi ve iş tasarımı riskleri	İnsan ve & organizasyonel faktörler
Psikolojik yönleri		Şirketteki / organizasyonel seviyedeki riskler	Düzenleme, rehberlik ve denetim <ul style="list-style-type: none"> - Standartlar & kılavuzlar - Güvenlik kanunu & Düzenleme - Denetim yöntemi
KKD'lerin etkileri (koruma/ zarar verme kuvveti/ güvenilirlik)		İnsan özelliklerinden ve davranışlarından kaynaklanan riskler	
Kabul edilebilirlik (Toplumsal, ulusal, endüstri sektörü, kişisel)			

Şekil 16: İş birlikçi robotlarda güvenlik araştırması için taslak yapı (HSE, 2012)



Şekil 17: İnsan-robot çarpışmasına Bakış

(HSE, 2012)

- İşbirlikli Robotlarla Yaralanma Kriterleri İçin Önerilen Kuvvet Değerleri

ISO/TS 15066 için hazırlanan Uluslararası Standardizasyon Teknik Şartnamesi taslağındaki kuvvet sınırı değerleri, bu çalışma sırasında bulunan diğer değerlerle karşılaştırıldığında oldukça güvenilir görünmektedir, ancak bu kesin olarak değerlerin güvenli ve gerçekçi olduğu anlamına gelmemelidir, zira bu alanda iyi veri elde etme ile ilgili etik ve pratik konular nedeniyle insan vücudunun tolerans sınırları hakkında herhangi bir araştırma eksikliği olmamalıdır. Kuvvet limitlerinin geliştiricileri (Almanya'daki bir araştırma enstitüsündeki çalışmaya göre) kuvvet değerlerinin mevcut verilerin kapsamlı bir incelemesine dayandığını doğrulamıştır, ancak kuvvet değerleri, önerildiği gibi ciltte derin çizikler olmaksızın ciltteki ezilmeleri sınırlasa bile, belirli bir çarpışma sıklığı için hangi yaralanma seviyelerinin kabul edilebilir olduğuna dair verilerin belirlenmesi gerekir.

Taslak ISO / TS 15066'daki yaralanma limitleri Kısaltılmış Yaralanma Ölçeği (AIS/Abbreviated Injury Scale) seviye 1'i aşmayacak şekilde ayarlanmıştır, bu kuvvetler iskelet hasarına neden olmamalıdır.

Bununla birlikte, AIS seviye 1 yaralanma kriterlerinin bir kırık kaburganın kabul edilebilir olduğunu belirtmektedir, bu nedenle özelleştirilmiş bir yaralanma kriterlerinin

ve sınıflandırma sisteminin faydalı olup olmayacağı sorusunu gündeme getireceğinden, AIS ölçek kriterleri tamamen uygun görünmemektedir.

Vücudun bazı bölgeleri için mevcut veri eksikliğine dair kanıt verildiğinde ve tüm vücut bölgeleri için değişken kaliteden bahsedildiğinde, öngörülen kuvvetlerin olası çeşitli gerçek çarpışma koşulları altında vücudun tüm alanlarını yeterince koruyup koruyamayacağına dair bazı şüpheler vardır.

Önerilen kuvvet değerleri çeşitli gerçek kişiler üzerinde test edilmedikçe ve olası tüm değişkenleri kapsamadıkça (çarpma bölgesi, çarpma açısı, çarpma hızı vb.) öngörülemeyen farklı riskler gündeme gelecektir. Buna ek olarak, kuvvet değerlerinin her insanda aynı derecede etki olamayacağı için insanların yaralanmaya karşı toleransları ve çarpışmalardan veya düşmelerden kaçınma gibi değişkenler (reaksiyon hızları ve aşırı dengelenmekten kaçınma yetenekleri) vardır.

- **Limitleri gerçek risk değerlendirmelerine uygulamak**

Standart enstrümantasyon ve test yöntemlerine eklemeler yapılmadığı takdirde, taslakta belirtilen limitlerin güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi mümkün değildir. Zaten, ISO / TS 15066 taslağında, robot çarpışmalarını test etmek amacıyla standart ekipmanların geliştirildiği de belirtilmektedir. Standartlaştırılmış enstrümanlar kullanıma hazır olduğunda, karmaşık insan/ robot çevrimindeki uygun test noktalarından emin olmak ve daha önceden planlanmayan hareket ve çarpışmalara neden olacak yanlış hareketlerde neler yapılacağı konularındaki olasılıkları da önceden düşünmek gerekli olacaktır.

Önerilen kuvvet sınırları, insan ve robot arasında güvenli bir mesafeyi koruması gereken sistemler herhangi bir nedenle istenmeyen bir durum (temas) ortaya çıktığında uygulanacak şekilde tasarlanmıştır. Robotik sistemler, sürekli tekrar eden programlanmış bir hareket modelini hassas bir şekilde izlemede başarılıdırlar, ancak bu görevi insanlar yerine getirdikleri zaman sistem güvenliği düşüktür. Meydana gelen kazalar göstermiştir ki öngörülemeyen insan davranışı ve hareketleri, kazalara neden olan etkenlerin başında gelmektedir.

Robotik sistemin insanla arasındaki güvenli mesafeyi koruyabilmesi için, çevresindeki insanların potansiyel değişken ve güvenilir olmayan davranışlarını ve hareketlerini hassasiyetle izleyip yönetebilmesi gerekir. Robotik sistemler insan

temasından kaynaklanacak çarpışmaları önlemek için izleme ve önleme sistemleri kullanıyorsa, bu durum robota hareket zenginliği kazandıracaktır.

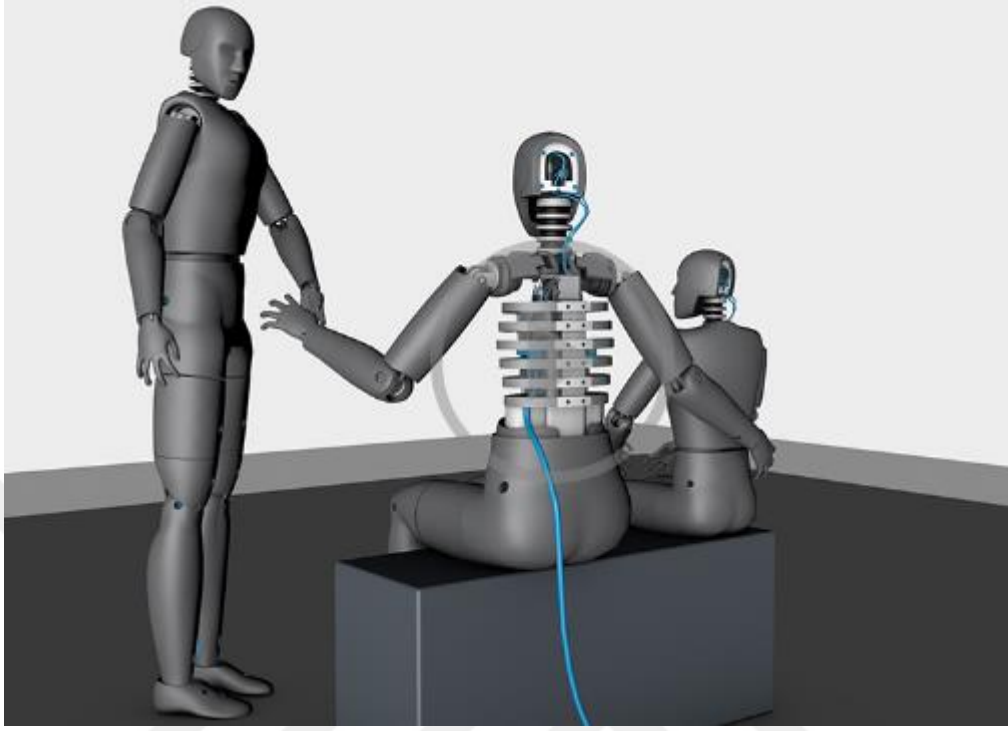
İnsan ve robotun göreceli hareketleri potansiyel olarak karmaşık ve değişken olduğundan, insan ve robotun herhangi bir çarpışmadaki temas anında koşullar da büyük bir olasılıkla karmaşık olacaktır. Bu durum da o çarpışmaya ilişkin ölçümünü ve risk değerlendirmesini bazı sistemler için karmaşık bir görev haline getirecektir. Kişi ve robot hızlarının bir arada karmaşık bir durum yarattığı durumlar için çarpışma senaryolarının tahmin edilip hazırlanması oldukça zor olacaktır.

Her ne kadar belirli robot sistemlerinin hareketi programlanmış ve normal olarak öngörülebilir olsa da farklı robot kurulumlarında meydana gelebilecek robot hareketlerinin çeşitliliği büyük ölçüde değişebilecek, bu yüzden de bu çeşitliliği dikkate alabilecek kriterler ve ölçüm yaklaşımları bulmak zor olabilecektir. Ayrıca, bazı robot kurulumları uzun bir dizi hareket rotasıyla (örneğin bir palete istifleme) programlanmış veya değişken görevlerle geçici destek sağlayabilmeleri her bir alt proses aşamasında sık sık yeniden programlanmaları söz konusu olabilecektir. Herhangi bir kurulumda robotların hareket çeşitliliğini arttırmasının beklendiği, farklı hareketler ve görevler için, geliştirilen kolayca yeniden programlanabilen iş birlikçi robotlar, küçük ve orta ölçekli işletmelerde daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Bu yüzden de ISO'nun taslağında, mevcut ve yeni ortaya çıkan robot sistemlerinin çeşitliliğiyle başa çıkabilmek için, çeşitli sistem ve koşullarda kapsamlı denemeler yapmak gereği doğmuştur.

Özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılmak üzere, bu denemelerde yaralanma riskinin değerlendirilmesi ve gerçekçi yaralanma kriterlerini saptamak için biofidel test mankenleri geliştirilmiştir. Sonuçta ortaya çıkan test mankenleri, yalnızca otomobilin çarpma senaryolarında kullanım için geçerlidir, çünkü bunlar otomobilin çarpmalarına ilişkin ölçümleri toplamak üzere uyarlanmıştır.

Otomobil endüstrisi ile karşılaştırıldığında, iş birlikçi robot endüstrisi için pratik biofidel test mankenleri ve yaralanma kriterleri geliştirmek, insan ve robot görevleri, hareketleri ve etkilerinin potansiyel çeşitliliği nedeniyle ek karmaşıklık gösterebilir, çünkü herhangi bir otomobil içerisinde, deney mankeni emniyet kemeri ve daha sonrasında da direksiyonda, kapılarda ve ön paneldeki hava yastıkları korunduğundan

hareketleri, iş birlikçi çalışma ortamına göre, çok daha kısıtlı olacağından standartlaştırılması da kolay olacaktır.



Resim 3: Kistler, ölçüm, analiz, yenilik

(HSE, 2012)

Pratik bir risk değerlendirmesi yapabilmek için, robotun ve insan performansının çeşitli potansiyel arıza senaryolarının belirlenmesi ve üzerinde detaylandırılması gerekir. İş birlikçi robotların çalışma ortamı için yapılacak risk değerlendirmesinin en zor taraflarından biri, insan/robot karmaşasında, herhangi bir çarpışma sırasında, başarısızlık senaryolarının ne olabileceğini ve başarısızlığın olasılığını, boyutlarını ve sonuçlarını nasıl belirleyeceğini belirlemektir.

2.6. Kolaboratif Robotlarda Standartlar, Teknik Şartnameler ve Mevzuat

2.6.1 Kolaboratif Uygulamalardaki Standartlar

İlk defa 2011 yılında gündeme gelen 4. Endüstri Devriminin, bütün dünyaya hızla yayılmasıyla beraber, geleneksel otomasyonun en belirgin temsilcilerinden olan endüstriyel robotlar da yerlerini kolaboratif robotlara bırakmaya başlamışlardır. Her ne kadar daha hızlı, seri ve kaliteli ürünlerin üretildiği tesislerde tercih edilir olmalarının yanısıra, kolaboratif robotların, insanların çalışmasının maliyetli, yorucu, hatta tehlikeli

olduğu ortamlarda kullanılan otomasyon işçileri olarak tanımlanması, kolaboratif robotları en küçük ölçekli fabrikalardan dev üretim tesislere kadar her yerde popüler hale getirmiştir. Kolaboratif robotların yalnız başlarına çalıştırılmayıp, entegre sistemin bir parçası durumuna gelmeleri, iş birlikçi ortamlarda operatörlerle birlikte çalışmaları ancak komutları tamamen otomatik ve siber ortamdan almaları, kullanımlarının optimizasyonu, fizibilitesi ve çalıştıkları iş birlikçi ortamın emniyet ve güvenlik konularının daha detaylı incelenmesini gerektirmiştir.

2.6.2 Robotlarla İlgili Mevzuat ve Standartlar:

Şu anda, ülkemizde, kolaboratif robotlarla ilgili hazırlanmış özel bir mevzuat ve standart yoktur, robotların yurt dışında üretilip getirilmesi nedeniyle, genelde bu konuda uluslararası standartlar kullanılır, ancak robotların kendi başına bir makine değil bir üretim hattına entegre üniteler olmaları nedeniyle, Makine emniyet Yönetmeliğine göre kısmen tamamlanmış makine olarak kabul edilmektedirler. Bu yüzden de bir robot kendi başına CE işareti almaya yeterli görülmemektedir, ancak robotun kullanıldığı hattın, entegrasyonu tamamlanmış bir üretim hattı haline geldikten sonra, yönetmeliklerde istenen çeşitli uyumluluk değerlerini karşılayacak durumdaysa CE işareti almaya hak kazanabilmektedir. Bunlara ek olarak bu robotların, üreticiler ve entegratörler tarafından kullanıma verilebilmeleri için, İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği ve Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğindeki gereklilikleri de karşılamaları gerekir.

Kolaboratif robotlar, kendilerine verilen görevleri çok seri bir şekilde yapmalarının istenmesi nedeniyle ve çalışma sırasında da bazı uygulamalarda çok hızlı çalışıyor olmaları, çoğu zamanda, iş birlikçi ortamlarda operatörlerle iş birliği içerisinde olmaları yüzünden ölüme kadar varan iş kazalarına neden olabilmektedirler. Bu yüzden ki hem makine tasarımında hem de makine üretime verilmeden önce, Makine Emniyet Yönetmeliğinin de bir parçası olan, detaylı bir risk değerlendirme yapılması gereklidir.

2.6.3 Makine Emniyeti Çalışmaları:

Tablo 13: 10218, ISO/TS 15066 standartlarına göre iş birlikçi çalışma türleri (Matthias, 2017)

ISO 10218-1, Fıkrası	İş Birliği Operasyon Tipleri	Risk Azaltmanın Ana Yolları	
5.10.2	Sınırlandırılmış güvenli duruş (örn. Manuel yükleme istasyonu.)	Operatör iş birlikçi çalışma alanında robotun hareket etmemesi	
5.10.3	Elle yönlendirme (örn. yardımcı cihaz olarak çalıştırma.)	Robotun sadece operatörün yönlendirmesiyle hareket etmesi	
5.10.4	Hız ve mesafe izleme (örn. yedek parça konteynırları.)	Robotun minimum uzaklığı sağladığında hareket etmesi	
5.10.5	Doğal tasarım veya güç ve kuvvet sınırlama	Temas olaylarında, robot yalnızca sınırlı statik ve dinamik kuvvetler vermesi	

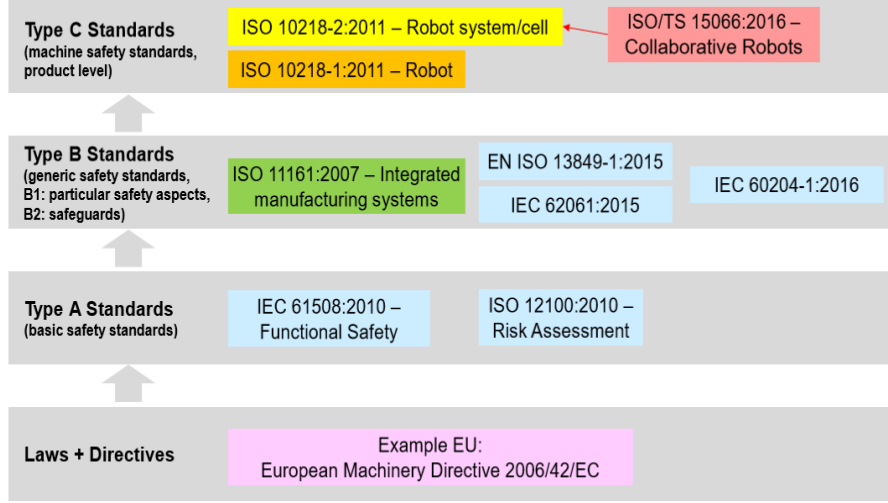
Diğer makinelerde olduğu gibi, robotlarda da emniyet ihtiyaçlarını belirlemek için mutlaka risk değerlendirmesi yapılmalıdır. Bu risk değerlendirmesi sırasında, robotun tasarımından kullanılacağı prosese kadar tüm aşamalar teker teker ele alınır, bu aşamalar arasında olası kontrol sistemi arızalarından iş birlikçi çalışma ortamının yerlerinin varsa kaygan malzemelerden arındırılmasına kadar bütün olasılıklar ele alınır. Bu çalışmalara rehberlik sağlamak amacıyla, A tipi bir standart olan EN ISO 12100 ile başlanır. Bunun dışında, robot emniyeti ile ilgili başlıca standartlar;

- EN ISO 10218-1 Robotlar ve Robotik Cihazlar-Endüstriyel Robotlar İçin Güvenlik Gereksinimleri-Bölüm 1: Robotlar,
- EN ISO 10218-2 Robotlar ve Robot Cihazları-Endüstriyel Ortamlar İçin Robotlar-Güvenlik Kuralları-Bölüm 1: Robot Sistemleri ve Entegrasyonu, C tipi standarttır.

Yukarıdaki standartlardan birincisi kendi başına çalışan endüstriyel robotlarda kullanılan standartlardır, ikincisi ise (EN ISO 10218-2) robotların entegre edildiği kolaboratif ortamlar için kullanılan dökümanlardır. Kolaboratif robotlar için genelde EN

ISO 10218-2 kullanılıyor olmasına karşın, detaylar ISO/TS 15066 teknik spesifikasyonlarının bulunduğu dökümanlara başvurulur.

Tablo 14: Güvenlik ve insan – robot iş birliği: ilgili standartlar + direktifler
(Matthias, 2017)



2.6.4. Kolaboratif Robot Sistemlerinde Emniyet Kuralları:

EN ISO 10218-2 standardında, her C tipi standartta olduğu gibi, B sınıfı standartlarla da ilişkilendirmeler yapılmaktadır.

A, B veya C tipi standartlar hakkında bir bilgi vermek gerekirse;

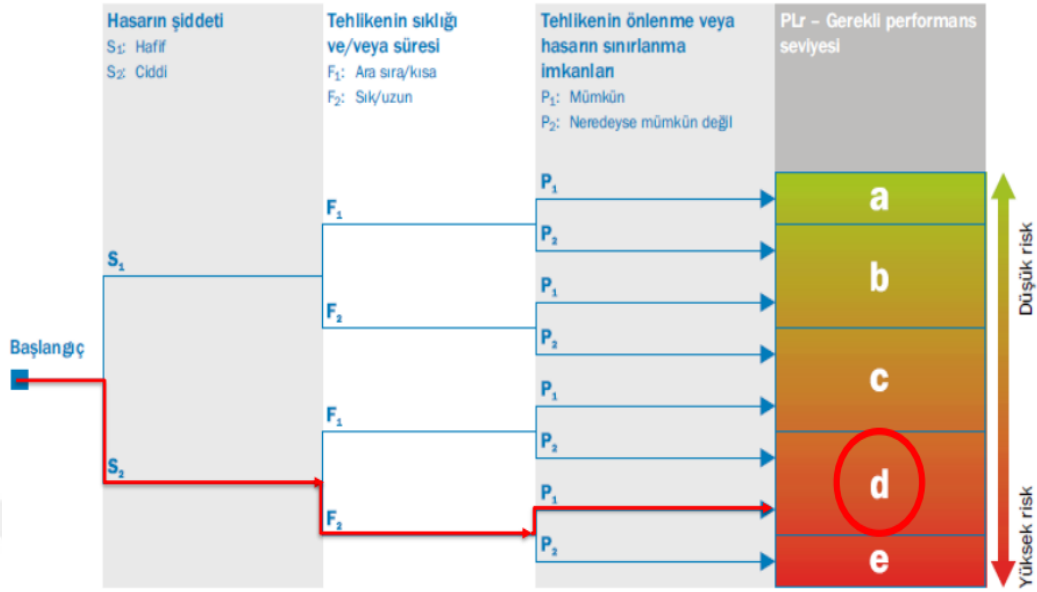
- **A tipi standartlar**, tüm makinelere uygulanabilecek temel kavramlar, tasarım ilkeleri ve genel hususları kapsayan temel emniyet standartlarıdır,
- **B Tipi standartlar**, makinelerin geniş bir yelpazesinde kullanılabilen korumanın emniyet hususları veya bir türünü kapsayan genel emniyet standartlarıdır. Bununla birlikte, **B standardının** belirli emniyet hususları için B1 Tipi standartlar ve korumalar için B2 Tipi standartlar olmak üzere iki tipi vardır,
- **C Tipi standartlar**, belirli bir makine veya makine grubu için ayrıntılı emniyet gereksinimlerini ele alan makine emniyet standartlarıdır,

Standartlardan gelen gereklilikler 3 ana başlık altında toplanabilir;

1. Robot Sisteminin Emniyet Bileşenleriyle ve Denetim Sistemiyle İlgili Gereklilikler:

Robot sistemlerinde ve özellikle kolaboratif robotlarda, kontrol sisteminden veya yanlış seçilmiş emniyet ekipmanlarından kaynaklanan bazı tehlikeler oldukça sinsi ve tehlikelidir, bu nedenle de bu sistemlerdeki tehlikeleri engellemek veya yok etmek

için, sistemin emniyeti ile ilgili aşağıdaki ihtiyaçların optimal düzeyde saptanması gerekir,



Şekil 18: ISO 13849-1 standardı gerekli performans seviyesi

(Matthias, 2017)

ISO 13849-1 Standardı: Gerekli Performans Seviyesi (PLr)

- EN ISO 13849-1 Standardı'nda da belirtildiği gibi, bu gruba tanımlanmış makinelerde, a' nın en düşük e'nin ise en yüksek risk değerleri ifade ettiği Performans Seviyesi'nin (PL/ Performance Level) optimal değerlerde belirlenmesi gerekir. EN ISO 10218-2'de Kolaboratif Robotlardaki kontrol sistemlerinin PL seviyesinin d değerini karşılaması gerektiği tavsiye edilmektedir. EN ISO 10218- 2'de sistemin PL/d ve Kategori 3 gerekliliklerini karşılaması önerilmektedir. Performans seviyesinin değerlerini etkileyen faktörlerden bazılarını, arıza teşhis yeteneği, sistemde bulunan bileşenlerin arızaya geçme olasılıkları ile bunların birbirleriyle olan bağlantıları olarak sayabiliriz. Bu faktörler, sürece ve sürecin karmaşıklığına göre değişkenlik gösterebilirler, ancak değerlendirme, sürecin tehlike gamına göre en yüksek güvenilirlik amaçlanarak yapılmalıdır.
- İşyerinin durumuna göre, doğru çözünürlükte ışık perdeleri seçilmeli EN ISO 13855 Standardı'nda önerildiği şekilde konumlandırılmalıdır.

Konumlandırma, robotun durma süresi ve bu sürede ne kadar hareket ettiğinin belirlendiği ESPE ölçümü ile yapılır. Ancak bu ölçümler sonrasında iş birlikçi ortamın emniyetini sağlayacak ışık perdeleri yerleştirilebilir, ESPE ölçümü yapılmadan yerleştirilen ışık perdelerinden sistemin beklediği emniyet ve güveni beklemek mümkün değildir. Bu durumda çok büyük bir olasılıkla, ışık perdeleri yanlış yerlere konumlandırılacak, bunu bilmeyen ve ışık perdelerinin konumlarından emin olan operatörler de önceden kestirilemeyen iş kazalarına neden olacak ve beklemedikleri tehlikelerle karşı karşıya kalacaklardır.

- ESPE ölçümleri, ışık perdelerinde olduğu gibi, üç boyutlu emniyet kamera sistemlerinin denetlediği kolaboratif alan tarayıcılar için de yapılmalıdır,
- Işık perdelerinin tasarlanmasında ve montaj sonrasında muting (geçici olarak devre dışı bırakma) ve blanking (ışık perdesi ile korunan iş birlikçi alanının parçalarının içine opak bir malzemenin sokulmasına makinenin durmasına neden olmadan izin verilen güvenlik ışık perdelerinin yardımcı fonksiyonu) hassas bir şekilde kurgulanmalı, robot ve operatörün bulunduğu iş birlikçi ortamdaki sistemin bu alan giren çıkan malzemelerle insan uzvunu ayırt edebilecek yeteneğe sahip olduğundan emin olunmalıdır.
- İşbirlikçi ortamın izlenmesi ve denetlenmesi için seçilecek her türlü sensör veya kameranın bu alanda yapılacak işin niteliğine uygun olmasına dikkat edilmelidir. Örneğin bu alanda yapılan işte kıvılcım veya alev sünmesi gibi durumlarda söz konusu optik izleme ve koruma bileşenlerin seçimi özenli bir şekilde yapılmalıdır.
- Kendi başlarına PL d'yi sağlayamadıkları için, izlemeli kapılarda mekanik dilli sviçler kullanılmamalıdır.
- Kontrol sistemleri, iş birlikçi alanda yapılan işin niteliğine göre seçilmekle beraber, bu seçim sırasında aynı işi yapıyor olsalar dahi işletme kültürlerindeki farklılıkların detaylı bir şekilde irdelenmesinde yarar vardır. Bazı işletmelerde, izleme kapıları ikinci bir aktüatör veya eşit/tam kodlu izleme sistemleriyle izlenirken farklı bir işletmede süreç aynı olsa dahi izleme, alan tarayıcılar, üç boyutlu emniyet kamerası veya emniyet paspasları ile gerçekleştirilmektedir.

- Robotların öğrenme sürecinde, komutlar sadece o iş için aktifleştirilmiş el kumandaları ile yapılmalıdır ve öğrenme sırasında robotlar komutu tek bir kumandadan almalıdırlar. Eğitim sırasında deneme yapmak için dahi olsa robotun hızı hiçbir zaman 250 mm/s değerini aşmamalı, herhangi bir acil durum sırasında aktif el kumandası yanı sıra, acil stop düğmeleri de hazır durumda olmalıdır.

2. Robot Donanımı ve Çevresi ile İlgili Emniyet Gereklilikleri:

Robot donanımının sahip olması gereken minimum emniyet gerekliliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Robot kollarının bağlandığı ana gövde bağlantıları prosesin gerektirdiği mukavemet değerlerine sahip olmalıdır,
- Bilindiği gibi robota verilen komutlar, elektrik, vakum, hidrolik veya pnömatik yollarla yerine getirilir. Tasarım sırasında, bunların her birinin kullanım değerleri limitlere çok yakın seçilmemelidir. Robot kolunun durması sırasında operatörün yüklü robot kolunun altına girme durumu izlenmelidir.
- Proses sırasında operatörün kolaboratif çalışma alanına girmesi prosesin bir parçası ise, bu girişin mutlaka ihlal girişleri ile farklı kodlarla tanımlanmasına dikkat edilmelidir.
- Robotun çeşitli eksenlerde hareket etmesini sağlayan tahrik milleri ve aktarma ünitelerinin prosese göre seçilmesi ISO 14120 tavsiyelerine göre yapılmalıdır.
- Robot çalışırken gündeme gelebilecek, topraklama, depolanmış enerji, kablo veya panolardan kaynaklanacak istenmeyen olumsuz durumlara engel olmak için sistemde seçilen her türlü elektrikli ünite ve bileşenlerin IEC 60204-1 tavsiyelerine uygun olmasına özen gösterilmelidir,
- Robot çalışırken herhangi bir ihlal veya teknik nedenle devreye girecek olan kapamalar EN ISO 14120 Standart'ına uygun olmalıdır.

3. Robotun Entegre Edildiği Sistemle İlgili Olarak Alınması Gereken Diğer Önlemler:

Robotların çalışmalarına ilişkin tek bir uygulama olmadığından, risk değerlendirmesi yaparken proses detayları ile incelenmeli, çalışma ortamından da gelebilecek olası olumsuzluklar göz önüne alınarak değerlendirme tamamlanmalıdır.

Bu nedenle Makine Emniyeti ile ilgili standartların bazı ek tavsiyelerini aşağıdaki gibi belirtebiliriz;

- EN ISO 14118 standartları, robot ve bulunduğu sistem üzerinde, işletme çalışanları tarafından da benimsenmiş etiketleme ve kilitleme prosedürü olması gerektiğini belirtir. Bunun için de robot ve içerisinde yer aldığı sistemin enerji noktaları ve şemaları teker teker incelenmeli, sistemin enerji değerleri açısından tehlikesiz bir durma noktasına gelen kadar nasıl bir yol izlemesi gerektiği bu prosedürlerde belirtilmelidir.
- Robotların yalnız veya iş birlikçi ortamlarda çalışması sırasında gündeme gelen en yaygın iş kazası nedenlerinden biri de operatörün veya bakım ekibinden birinin iş birlikçi alana proseste tanımlanmadığı halde kısa süreli girmesi ve emniyet kapısının da çalışanın arkasından kapanmasından kaynaklanmaktadır. Bunu önlemek için yapılacak en basit çözüm emniyet kapısının asma kilitle kontrol altına alınmasıdır. Ancak bu çözüm her uygulamada pratik olmayabilir, özellikle robotun operatörle birlikte çalışması istendiği veya giriş çıkışların proses gereği daha sık olması istenen çalışma hücrelerinde alan tarayıcıları, emniyet paspasları veya üç boyutlu güvenlik kamerası kullanmak daha uygun olacaktır.
- Sistemde teknik olarak alınan bütün önlemlere rağmen mutlaka gerekli yerlere, çalışanların rahatlıkla görebileceği şekilde, EN ISO 7010'un tavsiye ettiği, gerekirse ışıklı uyarıcı levhalar asılmalıdır,
- Çalışma ortamına her türlü uyarıcı levha asılmasına ve gerekli tüm teknolojik önlemler alınsa dahi, özellikle iş birlikçi ortama girme olasılığı olan her personelin koruyucu donanımlarını veya robota sinyal veren yeleklerini giymesi gereklidir,
- Robot veya robotların çalıştıkları ortamda, yeni değişiklikler veya iyileştirmeler yapılmassa dahi bu ortama girme olasılığı bulunanlar periyodik olarak eğitime tabi tutulmalı ve iş birlikçi alanlarda nelere dikkat etmeleri gerektiği hatırlatılmalıdır.

2.6.5. Geleneksel Robotlardan Kolaboratif Robotlara Geçiş Süreci

Kolaboratif robotların tarihi geleneksel robotların tarihi kadar eskilere dayanmıyor, özellikle 2011’de Endüstri 4.0’ın başlamasıyla birlikte kolaboratif robotlara dönüşüm hız kazanırken yeni üretim hatlarının büyük bir kısmında kolaboratif robotlar (kobot) kullanılmaya başlanmıştır. İlk başlarda EN ISO 10218-2’de kolaboratif robotlardan detaylara girmeden bahsedilmişti, ancak kolaboratif robotlarda yeni ekipman ve bileşenlerin kullanılmasıyla beraber bu standardın yetersiz kaldığı görülmüştür. Yeni standartların oluşturulması zaman alacağından ISO/TS 15066 Robotlar ve Robotik Cihazlar-Kolaboratif Robotlar başlığı altında ilk tanımlamalar yapılarak, iş birlikçi çalışma ortamında robotla operatörün iş birlikçi alanda çarpışmalarına ilişkin çeşitli güvenlik değerleri risk değerlendirmesi yapacakların dikkatlerine sunulmuştur.

2.6.6. Kolaboratif Robot Tasarımı için 15066’nın önerileri

Kolaboratif (iş birlikçi) robotların standartlarıyla temel bilgiler, ISO 10218-2 standartlarında belirtilmiş olsa da asıl detaylar ISO/TS 15066’da anlatılmaktadır. Bu standartta anlatılanlar ve risk değerlendirmesi robot sisteminin yanı sıra aşağıdaki hususları da kapsar;

- Operasyon sırasında robot tarafından parçaları kavrayan tutucuların, parça fırlamasını engelleme yönetimi,
- Sanal çitlerin güvenliğini doğrulamak için bilgilerin robota gönderildiğinden emin olmak,
- Robot hücresinin ve fobot üzerindeki keskin kenarların belirlenmesi,
- Robota insan veya herhangi bir cisim temasıyla ilgili güvenli mesafenin hesaplanması,

Kolaboratif robotlarda risk değerlendirme yöntemi olarak PL değerlendirme (Standart 13849-1 ve SIL (Standart) 62061 kullanılır, bunlar genelde aşağıdaki kriterlerden oluşur;

- Maruziyet sıklığı,
- Üzerine durulan riskin nasıl bir yaralanmaya neden olabileceği,
- Söz konusu riskten korunma olasılığı,

- Robot üreticisi firma, robot üzerindeki komponentleri, robotun doğasında olan ve de robotun çalışacağı uygulamada söz konusu olabilecek riskleri göz önüne alarak seçmelidir, bütün komponentler risk değerlendirmesi sonucunda ortaya çıkacak güvenlik seviyesi (SIL Standart 62061/PLStandart 13849-1) ile uyumlu olmalıdır.

EN 62061 'e göre riski aşağıdaki değerlere göre tahmin ederek hesaplama yapabiliriz.

1. Maruz kalma sıklığı ve süresi (**Fr**)
2. Zararı önleme ya da azaltma olasılığı (**Av**)
3. Tehlikeli bir olayın meydana gelme olasılığı (**Pr**)
4. Yaralanma Şiddeti (**Se**)

SIL (Emniyet Performans Bütünlüğü Seviyesi) ve PL (Performans Seviyesi) yukarıda belirtilen standartlarla IEC/EN 6149-1 standardının uygulanmasıyla standart hale getirilmiş değerler olarak risk değerlendirmesi açısından oldukça önemli kolaylık sağlarlar.

Şunlara uygun olarak uygulamalarda kullanılabilir	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4
EN ISO 13849-1		PL c	PL d	PL e
EN/IEC 62061		SIL 1 ve SIL CL 1	SIL 2 ve SIL CL 2	SIL 3 ve SIL CL 3

Şekil 19: EN ISO 13849-1 veya EN/IEC 62061 göre SIL

(Matthias, 2017)

EN ISO 13849-1 veya **EN/IEC 62061** standartlarına uygun olarak yapılacak tasarım ve uygulamalarda **SIL/PL bağlantıları** 10/5/2015 itibariyle AB'de yasal hale getirilmiştir. Bu standartlar, sektöre ait özel standartları da içerir ve tasarımdan uygulama başlangıcına kadar olan tüm detayları kapsar.

EN 62061 'e göre riski aşağıdaki değerlere göre tahmin ederek hesaplama yapabiliriz.

- Maruz kalma sıklığı ve süresi (**Fr**),
- Zararı önleme ya da azaltma olasılığı (**Av**),
- Tehlikeli bir olayın meydana gelme olasılığı (**Pr**),
- Yaralanma Şiddeti (**Se**)

Aslında robotların kullanımı oldukça eski olup, yukarıda belirtilen standartlara baktığımız zaman bunların birçoğunun temelini geleneksel endüstriyel robotlar için oluşturulan temel bilgilerden kaynaklandığını görürüz. İşbirlikçi robotlarda ise her ne kadar çalışan bir robot var ise de aslında tanımlanan, bir sistemdir. EN ISO 10218-1’de kolaboratif robotlar hakkında detaya girmeden oldukça genel bilgiler verilmiştir. Ancak sistemlerin tasarımında üretici firmaların tasarımda kullandıkları değişken sayısının çok yüksek olması nedeniyle, yeni bir standart olmasa bile üreticilere yol gösterici olmasını sağlamak amacıyla, IS/TS 15066 Robotlar ve Robotik Cihazlar rehberi hazırlanmıştır. Bu belgede iş birlikçi robotların tasarımında kullanılacak birimlere ait temel bilgiler verilirken, insanlarla birlikte çalışması düşünülen bu robotların birlikte çalıştıkları insanlara çarpmaları sırasında kabul edilebilir koşulların neler olabileceği ayrıntılarıyla belirtilmiştir.

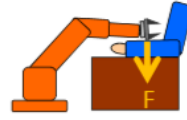
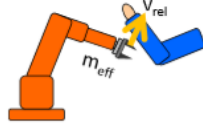
ISO/TS 15066’ya göre dört çeşit kolaboratif çalışma yönteminden bahsedilmektedir. Daha önceden de belirtildiği gibi ilk 3 yöntem geleneksel endüstriyel robotlarda kullanılan yöntemler idi, güç ve kuvvet sınırlama yöntemi 15066 ile birlikte doğrudan iş birlikçi robotlar için tasarlanmış bir yöntemdir. Bu nedenle, endüstriyel robotlarla ilgili çalışma yöntemi ve standartlara yönelik ayrıntılar başka bölümlerde verildiğinden burada sadece güç ve kuvvet sınırlama yöntemine ilişkin ayrıntılar üzerinde durulacaktır.

- **Güç ve kuvvet sınırlama (power and force limiting) Yöntemi:**

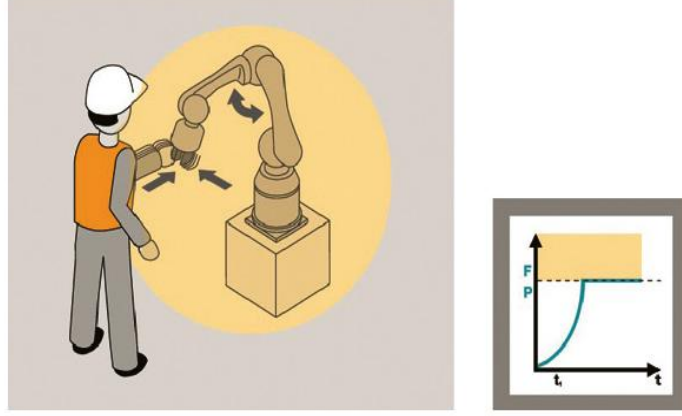
İlk üç yöntemde, operatörle kolaboratif robotun aynı anda iş birlikçi alanda hareket halinde olmasına izin verilmiyor, izleniyor, engelleniyordu, bu nedenle de robotla operatörün çalışma olasılığı da yok denecek kadar azdı. Ancak, bu yöntemde iş birlikçi alanda, proses gereği olarak, robotla operatörün iş birlikçi çalışma alanında hareket halinde olmaları gerekiyor, bu yüzden de bu yöntemde ikisi için temas veya çarpışma riskinin mutlaka değerlendirilmesi gereklidir. İlk üç robot sisteminde, izlemek ve sistemi güvenlik altında tutmak için geleneksel robotlarda kullanılan bileşenler yeterli olabilmekteydi ancak iş birlikçi robotlarda bu güvenlik düzeyi yeterli olmayıp 15066’nın da hazırlanmasına neden olan güç ve hız sınırlama yöntemiyle ilgili teknik şartname gündeme gelmiştir.

Tablo 15: İnsan – robot teması (Matthias, 2017)

	Geçici Temas	Yarı Statik Temas
Tanım	İletişim etkinliği kısa ($50 < ms$) İnsan vücudu kısmı geri tepebilir	Temas süresi “uzatıldı” İnsan vücudu geri tepemez
Limit Kriteri	Tepe kuvvetleri, basınçları, gerilmeler Enerji transferi, güç yoğunluğu	Tepe kuvvetleri, basınçları, gerilmeler
Tasarım ve Kontrol Erişimi	Etkili kütle (robot poz, yük) Hız Temas alanı, maruziyet süresi	Kuvvet (Eklem torkları, poz) Temas alanı, süresi



Çarpışmanın etkisini azaltmak, çarpışma sırasında robotun hızını ve uyguladığı kuvveti düşürmek için çeşitli sensörlerden faydalanmak gerekecektir. Aslında kolaboratif çalışma ortamı tanımına en uygun olan bu yöntemde, kazayı önlemekle beraber, kaza sonrasında robotun operatöre vereceği zararları en aza indirmek için sistem tasarımının ve risk değerlendirmesinin kolaboratif / iş birlikçi çalışmaya en uygun şekilde yapılması gereklidir. Örneğin, robot üzerinde, sıkışma olasılığı olan yerlerde ezilmeyi azaltmak için kolay sökülebilir üniteler, emniyet svitçeleri veya soft mafsalları denilen ve sıkışma sırasında operatöre daha az zarar verecek parçalar kullanılmalıdır. Sıkışma sırasında robotların operatörlere uygulamalarına izin verilebilecek kuvvet limitleri ve insan vücudunun maruz kalabileceği kuvvet değerleri ISO/TS 15066 dökümanlarında verilmiştir. Tasarım sırasında varsayılan bu değerler sistem devreye alınmadan yerinde ölçülmeli ve doğrulanmalıdır.



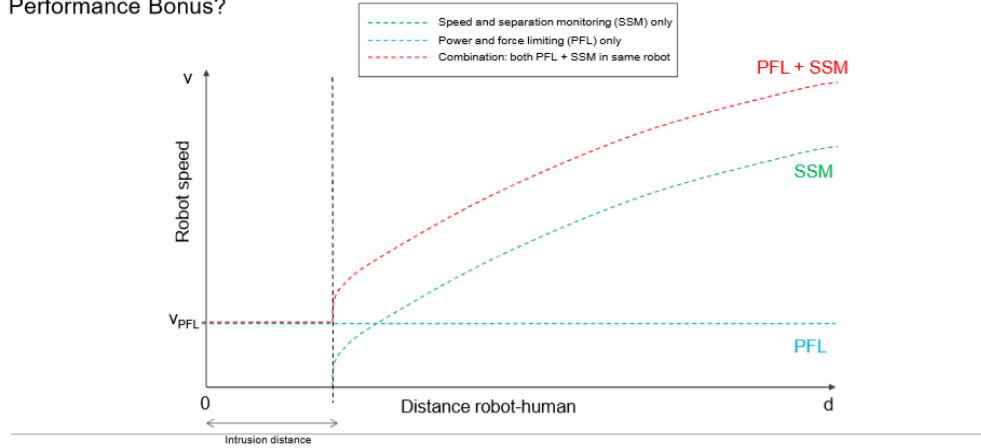
Resim 4: Güç ve kuvvet sınırlama yöntemiyle ilgili temsili resim

(Matthias, 2017)

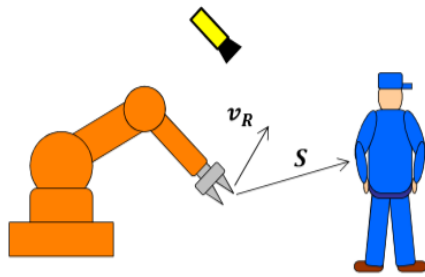
Bu ölçümler, tasarım sırasında kurgulanan senaryo doğrultusunda yapılmalı, ölçüm sonunda azami çalışma hızı ve bir kaza anında robotun operatöre uygulayabileceği maksimum emniyetli kuvvetler belirlendikten sonra sisteme bu bilgiler tanıtılmalıdır. Yapılan bu ölçümler her bir üretim prosesi için farklı olduğundan üretim gamı değiştikten sonra ölçümler doğrultusunda belirlenen yeni değerler yeni prosese tanıtılmalıdır. Yüksek hız istenen, ağır keskin veya sivri parçaların üretim vb. proseslerde iş birlikçi robotların kullanımı uygun olmayabilir, o yüzden sipariş öncesi robot tasarımı yapan firmayla robota yaptırılacak işlerin detaylı bir şekilde tartışılması, prosesin iş birlikçi robot için uygunluğunu doğrulanması yararlı olacaktır. Riskli ve karmaşık proseslerde genelde bu yöntem tercih edilir ancak bazı proseslerde yukarıda belirtilen sistemlerden ikisinin bir arada kullanılması mümkündür. Örneğin, senaryo doğrultusunda, risk değerlendirmesi yapılırken, güvenlik açısından düşük hızlar uygun görülebilir, bu da düşük üretim hızı demektir, ancak proseste zorunlu olmadıkça operatörün iş birlikçi çalışma alanına girmemesi sağlanırsa, o zaman hız da artırılabilir, bazı karmaşık üretim proseslerinde kolaboratif robotlar kullanılabilir. Ancak bütün tasarımda mutlaka emniyet ön planda olmalıdır.

Combination of SSM and PFL

Performance Bonus?



Şekil 20: Sınırlandırılmış güvenli duruş ile güç ve kuvvet sınırlama sistemleri kombinasyonu (Matthias, 2017)



Effective approach speed (closing speed):

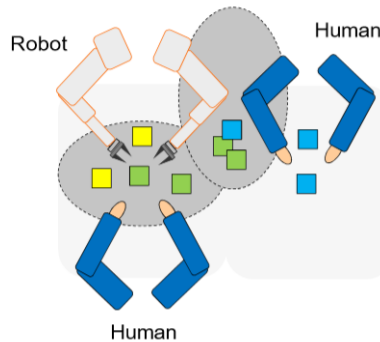
$$v = v_R \cdot \frac{S}{|S|}$$

Risk assessment

- Describe use cases
- Identify hazards, i.e. any sort of physical contact with manipulator, tool, work piece; **these are to be avoided: no contact with moving robot**
- For each hazard, determine
 - severity, probability of occurrence, frequency of exposure, possibility to avoid at occurrence
- Evaluate risk (e.g. ISO/TR 14121-2)
- If risk level not acceptable, determine and implement risk reduction measures. **For SSM applications, this means in real time, measuring S, adjusting speed v_R , pausing motion if needed, modifying path if needed, triggering stopping function if needed to prevent moving contact, consider possible motion of operator.**
- **Proper design and verification needed to confirm viability of application. Consider stopping distance (current load, pose, speed), condition of brakes (to hold manipulator + load), behavior of operator. Derive measures of economic performance such as floor space usage, average application throughput, initial investment, etc.**

Şekil 21: Planlama ve devreye almadaki zorluklar –(hız ve mesafe izleme SSM)

(Matthias, 2017)



Risk assessment

- Describe use cases
- Identify hazards, i.e. **describe possible contact cases**
 - **Exposed body regions, associated loading limit criteria**
- For each hazard, determine
 - severity, probability of occurrence, frequency of exposure, possibility to avoid at occurrence
- Evaluate risk (e.g. ISO/TR 14121-2)
- If risk level not acceptable, determine and implement risk reduction measures. **For PFL applications, this means a suitable combination of change application layout, reduce speed, if possible increase contact surface areas. Note that manipulator, end-effector, work pieces, environment must all be considered.**
- **To confirm application viability, use verification tools incl. simulation to establish safety configuration (e.g. speed limits, safeguards, sensors, etc.) and economic performance of overall application (e.g. average production throughput, etc.)**

Şekil 22: Planlama ve devreye almadaki zorluklar – (PFL güç ve kuvvet sınırlama)

(Matthias, 2017)

3.GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Sistem Güvenliği ve Risk Değerlendirmesine İlişkin Metodoloji ve Yaklaşımlar

3.1.1. Daha Güvenli Bir İnsan Robot Etkileşiminin Tanımına Sistemik Yaklaşım

Akıllı fabrikalar, son derece yüksek derecede esnek bir yapı kurup, üretim maliyetlerini ve üretim sürelerini kısaltarak, yeni üretim trendleriyle yüzleşmek ve başa çıkmak için süreçlerini hızlandırmalıdır. Bu tür sorunlar, karışık insan-robot çalışma ortamında insanlar ve robotlar arasındaki iş birliği ile ele alınabilir. Robotlar, mekansal hassasiyet ve tekrarlanabilirliğin yanı sıra tanımlanmış kuvvetleri uygulama becerisine de sahiptirler. Öte yandan insanlar, özellikle karmaşık manipülasyonlar ve değişen görev gereksinimlerine uyum konusunda yeteneklidirler. Ortak paylaşılan çalışma ortamında ve sürekli insan-robot etkileşimi olan bu karmaşık senaryoda, olası yaralanmaları veya ölümcül kazaları önlemek için, güvenlik stratejileri önemli bir gerekliliktir. Bu yaklaşım, operatörler ve robotlar arasında kontrollü ve güvenli bir ortamda etkin bir etkileşim sağlayan sürekli ve yeniden yapılandırılabilir bir ortak paylaşım senaryosunu garanti etmeyi amaçlayan birden fazla algılama kaynağını, gereksiz iletişim protokollerini ve yazılım karar mekanizmalarını birleştirir ve yönetir. Ayrıca, insan-robot etkileşim senaryolarında daha güvenli bir işyeri tanımı için yeni teknolojik çözümler ve yenilikçi metodolojiler sunulmaktadır.

- **Bilimsel ve Endüstriyel Motivasyonlar:**

Karmaşık ürün ailelerinin üretimine, kısa ömürlü ve çok değişken üretim özelliklerine sahip olmaları ile karşı karşıya kalma ihtiyacı, fabrikaların hızlı bir şekilde evrilebilmesini ve yeniden yapılandırılabilmesini gerektirir. Bu yeniden yapılandırılabilir fabrikalar, içsel ve dışsal olaylara güçlü bir modülerlik ve adaptasyon sergilemelidir. Üretim dinamiklerine uygun olarak, fabrikalar içindeki işyerlerinin tasarımı mevcut sosyal ve demografik eğilimleri (örn. ortalama yaşam beklentisi ve emeklilik yaşının artması) dikkate almalıdır. Güvenlik, eğitim ve ergonomi gibi konulara dikkat etmek, fabrikanın verimliliğini ve karlılığını artırmak için de önemli bir unsur olabilir.

Geleneksel olarak, fabrika tasarımı, operatörlerin ve otomatik ve/veya robotik üretim hücrelerinin rolleri ve uzmanlık alanları arasında açıkça ciddi bir ayrım yapmıştır. Bu operasyonel model tepki veremediği ve küresel pazardan kaynaklanan fırsatlara hızla uyum sağlayamadığı için günümüz koşullarına ayak uyduramamaktadır. Bu yeni

senaryoda, verimli ve güvenli bir çalışma ortamı sağlayan, aynı zamanda çalışanlar için konforlu ve teşvik edici yenilikçi paradigmlar sağlamak çok önemlidir. İnsanlar ve otomatik cihazlar arasında iş birliği yapan yeni fabrikalar, kısa ömürlü ve yüksek değişkenliğe sahip ürünlerle karakterize edilen zorlu üretim senaryolarıyla baş edebilecek ve böylece üretim kapasitesinin hızlı bir şekilde uyarlanmasını ve yeni bilgilerin geliştirilmesini gerektirecektir.

Bu bölümde sunulan araştırma, özellikle insan ve robot iş birliği sistemlerini tasarlama ve uygulama konusunu ele almaktadır. Özellikle, güvenli ve verimli bir insan-robot etkileşimini garanti etmek için tasarım yöntemleri, teknolojileri ve cihazları araştırılmıştır. Bu amaçla, insan-makine etkileşimlerinin incelenmesi, dolayısıyla gelişmiş algılama sistemleri kullanılarak robotların çalışma alanlarının ve algılarının model alınması ile ilgili temaların ele alınması ve böylelikle de güvenli karma çalışma ortamları yaratılması gerekmektedir. Bir robot ile bir işçi arasında tamamen güvenli bir ortamda güçlü bir etkileşimin sağlanması, algılama teknolojisi, sistem mimarisi ve uygun bilişsel modeller dahil olmak üzere uygun bir çerçevenin geliştirilmesine dayanır. Bir sensör ağı, çevreye ilişkin olarak robota yeterli miktarda bilgi sağlamalı ve bu veriler doğru davranışları benimsemek için makine tarafından güvenilir bir şekilde iletilmeli ve yorumlanmalıdır. Ayrıca, uygun algılama teknolojisi paylaşılmalıdır ve çalışanın işyerinde rahatça çalışabilmesi için taşınabilir, hafif ve kullanımı kolay olmalıdır.

Farklı çalışma süreçleri boyunca, farklı çalışmalarını değerlendirerek gerçekleştirilen sorunsuz bir montaj / sökme senaryosu yaklaşımında, özellikle demontaj işlemlerinde, yerel iş akışına göre birçok farklı görev yerine getirilmekte, genel ve yerel hareket / etkileşim planlaması için kontrol ayarları yüksek düzeyde uyarlanmaktadır. Operatör ve robotların yeteneklerini birleştirerek oluşturdukları karmaşık bir yapı içerisinde, operatörlerin kendilerine verilen değişik görevleri yaparken görevleri gereği proses alanına girip çıkmaları sırasında, robotların da güvenli davranışı, dinamik bir modifikasyon gerektirmektedir. Bu da yaralanma veya beklenmedik düzensiz robot davranışları olasılığını önler. Bu bağlamsal analiz, yüksek düzeyde uyarlanabilirlik ve proseslerin değişkenliklerini, parçaların, üretim koşullarının, spesifik mekanik parametrelerin ve daha kritik olarak insan-robot ilişkilendirme modların ve atamaların, destekli / iş birlikçi mekanik üretimini birleştirip önemli bir çalışma alanını temsil eder.

Önerilen yenilikçi yaklaşım, aynı zamanda fabrikanın uzay-zaman ortamının algılanması, temsil edilmesi ve otomatik karar ve eylem süreçlerinin uygulanması için algoritmaların ve bilişsel sistemlerin geliştirilmesiyle de karşı karşıya kalacaktır.

- **Güncel Teknoloji:**

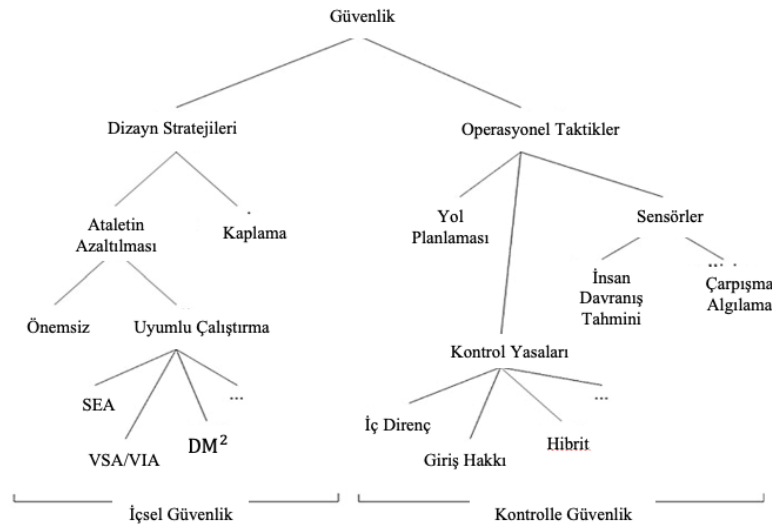
Daha güvenli bir insan makine ortamının tanımlanması için sistemik bir yaklaşım oluşturmak gerekir, bu yüzden de ilk katman, konumla ilgili sürekli bir geri bildirim sağlamak amacıyla hem robot hem de çalışan üzerinde, çalışanın hareketleri ve görevi hakkında bilgi vermek amacıyla konuşlandırılan farklı sensör kaynaklarını en üst düzeye çıkarma ve çeşitlendirme olasılığına dayanır. Bununla birlikte, özellikle bir robotun çalıştırılması düşünülen bir işyerinde, çeşitli malzemelerin, iletken, yalıtım veya manyetik gibi çeşitli malzemelerin bulunması ve bunun sonucu olarak elektromanyetik spektrumdaki anormal emilim ile ilgili sorun, robot için güvenilir bir veri kümesi oluşturulmasında hala kritik bir yönü temsil etmektedir. Aslında yıllar içinde, bu sorunların üstesinden gelmek için birçok farklı algılama çözümü önerilmiştir ve bunların çoğu çoklu kamera ve mikrofon kullanımına dayanmaktadır. Bu teknolojiler ilişkili kameranın görüş hattı ile sınırlı veya robot için yorumlanması zor sinyaller ürettiklerinden olası başka bir çözüm, işçi ile robot arasındaki özel çalışma mesafesini (kısa ve uzun menzilli) dikkate alır. Uzun menzilli algılama teknolojisi durumunda, radyo frekansı tanımlama teknolojisi (RFID/Radio-Frequency Identification Technology) son zamanlarda üretim maliyetleri, güç tüketimi, sensörlerin giyilebilirliği, tepki süresi vb. Çalışan akıllı giysilerdeki (eldiven, kıyafet, vb.) gömülü etiketler, çalışanın çalışmasını engellemeden izlenen bir hareket hakkında güvenilir bir bilgi sağlayabilir. Robotlar, RFID algılama teknolojisinden gelen sinyalleri, işçinin hareketlerini uygun şekilde yorumlamak ve sonuç olarak davranışlarını uyarlamak için kullanabilir. Bununla birlikte, RFID teknolojisinde, belirli bir açıda sinyal algılamasından ve etiket ile yerleştirme işlemine katılan okuyucu arasındaki belirli mesafeden farklı sorunlar ortaya çıkabilir ve sinyal robot tarafından yanlış yorumlanabilir.

Tüm algılama ağları tarafından üretilen verileri düzgün bir şekilde yönetmek ve iletmek için sağlam bir kablosuz altyapının benimsenmesi gerekir. Bu durumda, tanımlama / tanıma sistemi, güvenli kablosuz kanalların ve güvenli olmayan düşük güçlü kablosuz iletişim protokollerinin birleşimini (the Ultra-low power Bluetooth and Zigbee) kullanarak operatörün robot alanındaki konumunu ve konumunu tanımlar. Bu süreç hem

robot alanındaki erişim noktaları ile doğrudan operatör gövdesindeki birimler arasındaki iletişim bağlantısının varlığını elde ederek hem de operatör ünitesinden gelen sinyal alma gücüne dayalı olarak operatörün coğrafi referanslı konumunu içeren bir algoritma uygulayarak çalışır. İletişimin fiziksel karakteristikleri üzerinde yapılacak ayrıntılı bir analiz, robot ve birlikte çalışacağı operatör arasında güvenilir bir veri alışverişini sağlamak için, güç tüketimi, güç yönetimi, güç tanıma sistemlerinin kolaylığı, alıcı/verici entegrasyonu, kullanılabilirlik ve sağlamlık gibi hususları göz önünde bulundurmalıdır.

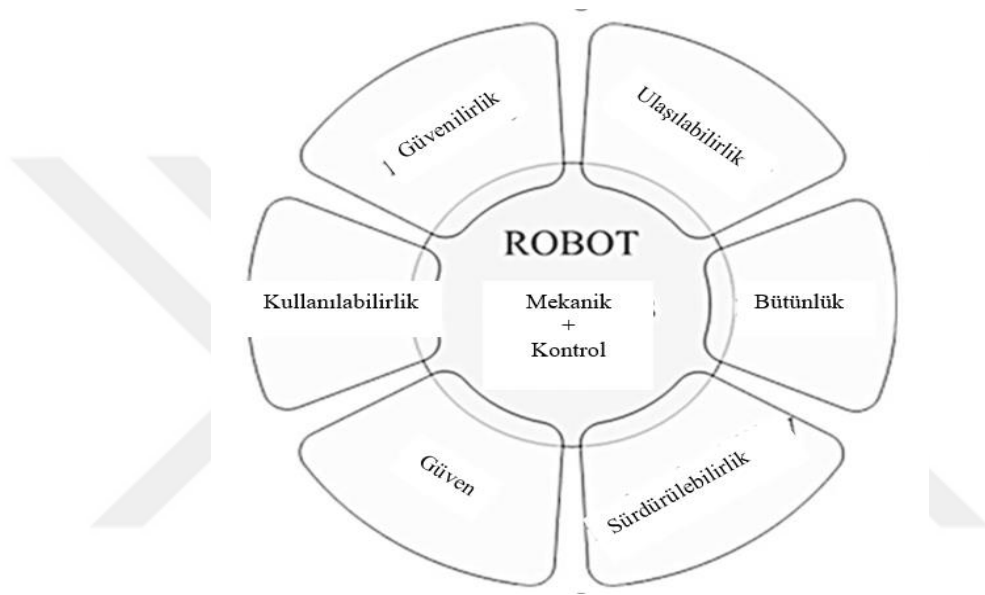
Özellikle manuel görevlerin robotlar tarafından desteklenebildiği esnek / yeniden düzenlenebilir üretim, yapılandırılmamış dinamik ortamlarda güvenli bir davranışı garanti edebilen iş birlikçi robotik metodolojiler tarafından dikkate değer şekilde desteklenmektedir.

Bu görevler için özellikle fiziksel İnsan-Robot Etkileşimi (pHRI/Physical Human Robot Interactions) için tasarlanmış hafif çözümler kullanılabilir. Yıllarca, gerek robot üreticileri ve gerekse akademik çevreler, robot ve birlikte çalıştığı operatörler arasında güvenilir bir iş birliği ortamı oluşturmak için büyük çaba sarfetmişlerdir. Küçükten büyük manipülatörlüye kadar (örn., antropomorfik, kartezyen, paralel vb.) endüstriyel robotlar, hala tasarımda veya kontrol edilerek, güvenlik özelliklerini geniş ölçüde göstermez. (Şekil23). Bununla birlikte, bu tür platformların mutlaka, hem makine hem de tesis düzeyinde güvenli kurulumlara entegre edilmesi gerekir.



Şekil 23: Robot sistemleri güvenliğinde donanım ve tasarım stratejileri haritası (Pecora ve diğerleri, 2019a)

Normal olarak, en yeni standartlar insan-robot iş birliği modlarını tanımlar ve fonksiyonel güvenlik kavramını tamamen kapsayan makine ve robotikteki konsolide standartlaştırma girişimlerinin üzerine uygulanır. Güvenlik açıkça prosedürel, mantıksal ve teknolojik yönleri donanım, algoritmalar ve ağlar arasında yayılmış entegre bir kavramdır. Cihazların güvenlik seçenekleri, konsolide düzenlemeler ve entegrasyon açısından kısıtlı ihtiyaçlar nedeniyle, her şeyden önce teknoloji tedarikçileri tarafından kendiliğinden ele alınanlar arasında, güvenlik sertifikasyon derecesini ciddi, ölçüde engelleyebilir.



Şekil 24: Güvenilirlik tablosu (Pecora ve diğerleri, 2019a)

Robotikteki etkileşim kavramı, uzak fonksiyonel etkileşimden yakın temasa kadar farklı uzamsal koşulları kapsayabilir. Temassız etkileşim, görev iş birliğinde ve aynı çalışma alanının aynı anda ziyaret edildiği senaryolarda yer almaktadır. Temaslı etkileşim planlı veya kazara oluşabilir.

Öncelikle, uyumlu kontrollerin önemli bir ayar sınıfını temsil ettiği manipülasyon, taşıma, montaj vb. gibi düşük güçlü görevlerin çoğunda yer alır. İkincisi, emniyetin normatif gereklilikleri, çok geniş ölçekli çarpışma önleme algoritmaları vb. ile bağlantılı olarak tartışılması ve resmileştirilmesi gereken ana konu olarak kabul edilmiştir.

Tüm etkileşim seviyelerinde iş birliği yapan robotlar şeffaf olmalı, doğal olarak etkileşen bir uyum sağlamalı, tüm hantal yapılandırmaları veya erişim modlarını,

düzensiz hareketler veya rotaları yok saymalıdır. Bu davranış, etkileşim sırasında kolaylık, güven ve kullanıcıya güvenme desteği olarak kabul edilen güvenilirlik kavramı ile formüle edilebilir. Bu tür geleneksel soyut bir kavram altında, güvenilirlik, robot kontrolü ve sonuçta ortaya çıkan davranış üzerinde büyük bir etkiye sahip olan, açıkça tanımlanmış bir dizi ham bilgiyi içerir. (Şekil 24)

Kullanıcı güveni, aşağıdaki etkenlere bağlıdır;

- Öğrenmenin ve/veya robot hareketini belirlemenin hissini, rahatlığını ve kolaylığının ölçebildiği kullanılabilirlik,
- Esas olarak hizmetin sürekliliğini ele alan nadiren beklenmeyen istisnaları atarak veya nadiren hatalar sunan, güvenilirlik,
- Bu tür bir hizmetin hazır olduğunu hesaba katan, kullanılabilirlik,
- Sistem değişikliğinden ve uygunsuz değişikliklerin yokluğundan kurtulabilme yeteneği olan bakım ve bütünlük,
- Daha önce de tartışılan güvenlik,
- Güvenilirlik alt özelliklerinin çoğu, tüm sistem düzeyinde bir değiş tokuş olarak yerine getirilebilir.

Etkileşimdeki güvenilirlik ve robot davranışının dinamik dağılımı üzerindeki etkileri, insan robot etkileşiminin bilişsel yönlerine dayanır. Yetkin bir insan / robot iş birliğinin etkili bir iletişime ihtiyacı vardır. (Hoffman ve Breazeal, 2007) çalışmasında, insanın iş birliği yaptığı robotik bir ortamda öngörülen eylemlerin yararının, reaktif bir davranışa kıyasla görev verimliliğinde önemli bir iyileşme gösterdiğini kanıtlamıştır. İnsan ve robot yeteneklerinin ortak olarak temsili, görevleri çalışma grubundaki ortaklara düzgün bir şekilde atamak için kullanılabilir olmalıdır. Eşler arası ağlarla ilgili (p2p/peer-to-peer) (P2P için, bilgisayarları birleştirip veri paylaşımına açar, böylece sistem sınırsız kaynaktan veri sunumu yapabilir, P2P sayesinde bir veriyi tek tek göndermek yerine, tek seferde bir veriyi milyonlarca alıcıya gönderebilmek mümkün) yaklaşımları kullanılan insan robot iş birliği, robotikte önemli bir araştırma konusudur. Mobil sistemin bir baş üstü kamera ve iki kollu bir manipülatörden oluştuğu çok ajanlı kontrol mimarisini kullanan bir insan-robot ekibi tasarlamışlardır. Burada, hareket sırasında, niyetlerin tanınmasına dayanan proaktif bir iş birliği önerilmiştir. Niyet, insanın doğrudan ölçülemeyen bir zihin halidir. Bununla birlikte, insan eylemi niyetin bir sonucudur, bu nedenle bu belirsizliklerle başa çıkmak için dinamik Bayes ağları (DBNs/ **Dynamic**

Bayesian Networks) kullanılabilir. (Rickert ve diğerleri, 2007) çalışma içerisinde ahşap bir uçak modeli oluşturmak için, iki kollu robot ile birlikte çalışan robot sisteminin, yüksek düzeyde bileşenler girişi, yorum, temsil, muhakeme ve çeşitli fonksiyonel modüller içeren bir senaryodan bahsetmektedir. Montaj yapılan bir çalışma hücresinde etkileşimli görevlerin yürütülmesi, sistem ve kullanıcı bilgilerini yönlendiren dağıtılmış sensörlerin ölçümlerine dayanır. (Pecora ve diğerleri, 2019b),

- **Problem Bildirimi ve Önerilen Yaklaşım:**

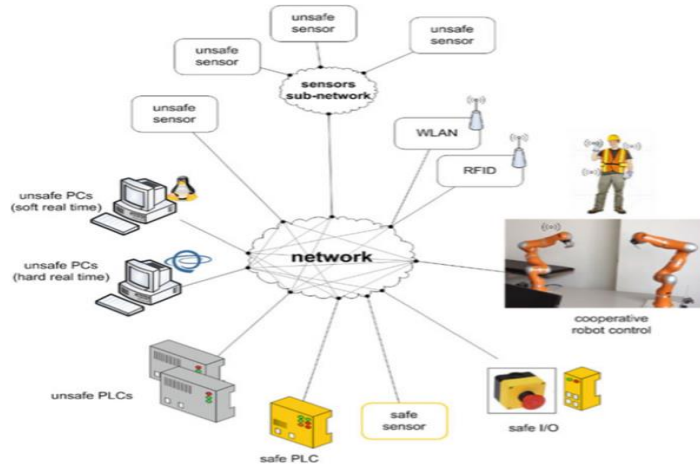
Önerilen robot kontrol mimarisi, çalışma alanını paylaşan veya operatörle fiziksel olarak etkileşime giren robotların güvenli iş birlikçi davranışlarını sağlamayı amaçlamaktadır. Robotlar ile çok modelli bir iş birliği (yani temassız veya fiziksel etkileşim) sağlamak için teknolojik sınırlar, esas olarak paylaşılan çalışma alanları içinde insanların gerçek zamanlı, arızalara karşı emniyetli izleme eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, güvenlikle ilgili tüm işlevlerin fonksiyonel güvenlik gerekliliklerine uyması gerekir. **Güvenli Çalışma Alanı** paylaşım problemini çözme yaklaşımı daha sonra temel olarak gerekli tüm algılama / kontrol cihazlarının entegre edildiği ve senkronize edildiği bir mimarinin tasarımına dayandığından güvenli özellikleri görüntüleyebilmelidir.

Somut verilerin, sensörler, fonksiyonel uygulama bilgilerinin detaylandırılması için çeşitli hesaplama ajanları ve depolanan verilerle olası karşılaştırmalar da dahil olmak üzere heterojen bir kaynak düzenlemesi ile verildiği yerlerde, merkezi altyapı, robotik ağa bağlı bir kontrol sistemidir (NCS/Networked Control System). (Şekil 25) NCS, güvenlik sınıfı olmayan bileşenler de dahil olmak üzere genel cihazları entegre etmek için bir altyapı sağlar. NCS mimarisinin korumalı yapısından kaynaklanan özellikleri, tehlikeli hataların herhangi bir tespitini kaçırma olasılığını azaltmak için çeşitli çapraz kontrol katmanlarına ve paket doğrulama verilerine dayanmaktadır. Fonksiyonel güvenlik ile ilgili olarak, hedef, saatteki tehlikeli arıza olasılığını (PFHd/ Probability of Dangerous Failures per Hour), özellikle endüstriyel robotlar için genel olarak normatif gereklilik olan ISO 13849 P1'd'e karşılık gelen ihmal edilebilir seviyelere düşürmektir. Bir NCS'deki öğelerin bağımsız modda güvenli olması gerekmez, ancak verileri çevrimiçi olarak izlenmeli ve doğrulanmalıdır.

Bu yaklaşım, bu algoritmalar her zaman veri veya protokol hatalarından korunduğu sürece robot davranışında şeffaf ve sürekli değişiklikler yapılmasına izin verir.

Uzun menzilli sensör teknolojisi kullanılması durumunda, düşük güç tüketimine ve insan konumlandırmasının hassasiyetine dayanan gereksinimler, Alınan Sinyal Gücü (RSS/Received Signal Strength) ölçümü ile mesafe tahmininin kullanılması seçimini birlikte ele alır. Bu ölçüm, düğümler arasındaki mesafeyi tahmin etmek için en rahat erişilebilir iletim parametresini temsil eder.

Esnek ince film germanyum algılama tabakasına sahip fotorezistörler bazlı giyilebilir kızıllötesi cihazlar, kısa menzilli sensörler içinde yer alacaktır. Sistem, bir kızıllötesi kaynağı veya robotun birden fazla kızıllötesi kaynağını barındırarak ve fotorezistörleri doğrudan bir iş parçasına entegre edecek şekilde tasarlanmıştır. Sistem, sıcaklık değişimlerini otomatik olarak dengeler ve yayılan LED dizisinin kızıllötesi uzamsal dağılımını dikkate alır.



Şekil 25: Robotik NCS şeması

(Pecora ve diğerleri, 2019a)

*Safe-grade nodes (CPUs and sensors) are represented in yellow; CPU's can run different Operating Systems; sensors can be grouped in subnets.

3.1.2. STPA ve FTA ile Çok Robotlu Mobil Sistem Kontrolünün Sistem Güvenliği Yaklaşımı

Yüksek riskli fabrikalarda ve laboratuvarlarda mobil robot kullanımı günümüz araştırmacılarının karşılaştığı en büyük zorluklardan biridir. Robotların, iş birlikçi ortamlarda, bazen kendi başlarına bazen de çoklu olarak zehirli, patlayıcı, yanıcı kimyasalları taşıdıkları ortamlar, prosesi özellikle güvenlik açısından daha da karmaşık

bir duruma getirir. Bu karmaşık ortam aynı zamanda makineleri ve iş birlikçi ortamda çalışan insanları da içerir. İki risk analizi yönteminin bir kombinasyonu kullanılarak çok robotlu yörünge (taşıma yolu) için geçerli olan tehlike analizi çalışması yapılan bir kimyasal laboratuvarında, yüksek düzeyde karmaşık sistemlerin tehlikelerini analiz etmek için kullanılan Sistem Teorik Süreç Analizi (STPA/System Theoretic Process Analysis) ve öngörülen tehlike senaryolarını netleştirmek için Hata ağacı analizi (FTA/ Fault Tree Analysis) uygulanabilir. Bunun için önce STPA ve FTA tanımı yapılarak konuyla olan ilgileri anlatılarak daha sonra da STPA/FTA uygulamasına ek olarak sonuçlar ve açıklamalar ve önerilere yer verilmelidir.

Diferansiyel tekerleklere sahip çok hareketli robotlarla tehlikeli kimyasallar (zehirli, yanıcı, patlayıcı) taşıyan karmaşık bir iş birlikçi çalışma, Resim 3’ de gösterildiği gibi kimyasal analiz laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Resim 5: Analiz laboratuvarında iş birlikçi mobil robot çalışması senaryosu
(Bensaci ve diğerleri, 2020)

3.1.2.1 Sistem Teorik Süreç Analizi (STPA/System-Theoretic Process Analysis)

STPA, sistem ve kontrol teorisi kavramlarını kullanan bir süreç ve kaza modeli olan STAMP üzerine inşa edilen yeni bir analiz tekniğidir. STAMP, W.Young, N.G.Leveson, (Inside risks an integrated approach to safety and security based on systems theory applying a more powerful new safety methodology to security risks, communications of the acm) ve N.G.Leveson, (Engineering a safer world: systems thinking applied to safety)’e göre üç önemli konseptte dayanır:

- Güvenlik kısıtlamaları,

- Hiyerarşik güvenlik kontrol yapısı,
- Süreç modelleri,

STAMP'de sistemler, geri besleme kontrol döngüleri ile dinamik denge durumunda tutulan birbiriyle bağlantılı bileşenlerdir. Sistem bileşenleri ve operatörler arasındaki etkileşimler, denetleyicinin aldığı/gönderdiği eylem veya komutlardan ve denetleyicinin denetlenen işlemde aldığı yanıt veya geri bildirimden oluşan kontrol döngüleri olarak modellenir.

STPA, bir sistemde bulunan kontrol üniteleri arasındaki fonksiyonel etkileşimden kaynaklanan riskleri ve ayrıca bileşen arızalarının neden olduğu riskleri araştıran bir risk analizi yöntemidir. Güvenlik STPA'da acil bir sistem özelliği olarak ele alınır, sadece sistemin çeşitli bileşenlerinin birbiriyle etkileşime geçmesiyle ortaya çıkar.

STPA ile analiz iki ana adımda ele alınabilir:

Kontrol yapısı oluşturulduktan sonra, STPA analizinin ilk adımı, aşağıdaki dört anahtar kelimeyi kullanarak potansiyel olarak tehlikeli kontrol eylemlerini tanımlamaktır.

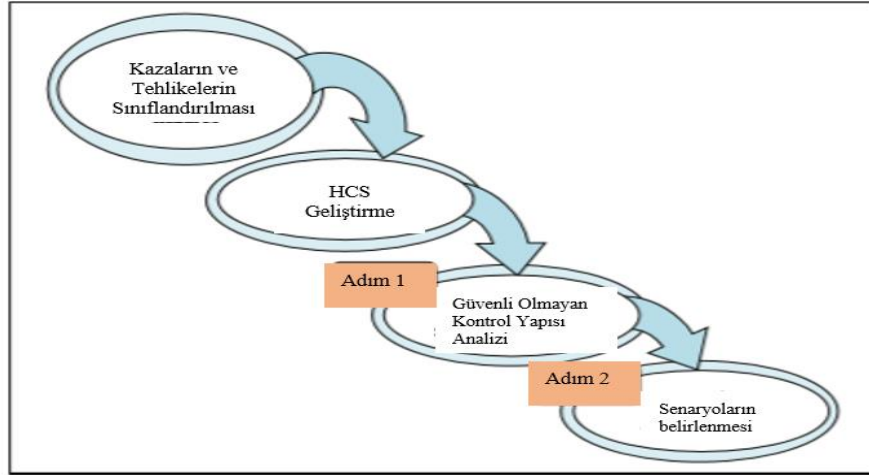
- Tehlikeye yol açan bir kontrol eylemi sağlamak,
- Bir tehlikeyi önlemek için gerekli bir kontrol önlemi sağlamak,
- Denetim eylemini çok erken veya çok geç veya sırasız sağlama,
- Bir denetim eylemine çok uzun süre devam etme veya çok erken durdurma,

İkinci adım, güvenli olmayan kontrol eylemlerinin nedensel faktörlerini belirlemek için sistemin kontrol döngülerini (yapılandırılmış ve güdümlü bir süreç kullanarak) incelemektir. Bir dizi tehlikeli senaryo oluşturmak için, STPA FTA, FMEA, HAZOP gibi geleneksel analiz yöntemleri ile aynı hedeflere sahiptir, ancak STPA, hata oluşmayan ancak sistem bileşenleri arasındaki güvensiz ve istenmeyen etkileşimler nedeniyle sorunlar ortaya çıkan senaryolar da dahil olmak üzere daha geniş bir potansiyel senaryolar kümesi içerir. HAZOP, FMEA, FTA gibi en fazla risk ve güvenlik açığı analizi teknikleri, işlevsiz (güvensiz) davranışlar, daha geniş sosyal ve örgütsel faktörler yerine fiziksel başarısızlıklara odaklanırlar. Bu nedenle STPA, güvenilirlik teorisinden çok sistem teorisine dayanan bir risk analizi tekniğidir, bu yüzden de STPA Analizi'nde odak noktası " hataları önleme" den "sistem davranışına güvenlik kısıtlamaları uygulama" ya

doğru kayar. Güvenlik kısıtlamalarının uygulanması bileşen hatalarının işlenmesini gerektirse de diğer istenmeyen ve belirlenen nedenler de kontrol edilmesi gereklidir.

3.1.2.2 STPA ve FTA'nın uygulanması:

STPA yöntemini sisteme uygulayabilmek için Şekil 26'daki adımlar izlenmelidir;



Şekil 26: STPA metodolojisi (Inel ve diğerleri, 2020)

STPA'nın bir sisteme uygulanmasına başlamak için hiyerarşik kontrol yapısının (HCS/Hierarchical Control Structure) geliştirilmesi gerekir.

Hiyerarşik Kontrol Yapısı (HCS / The hierarchical control structure):

Analiz edilecek sistemin öncelikle basit bir modelleme kuralı kümesi kullanılarak hiyerarşik bir denetim yapısı olarak tanımlanması gerekir, bu da sistemi daha belirgin hale getirir. Bütün HCS'ler 4 ana kavramdan oluşur: Kontrol birimleri, kontrol eylemleri, geri bildirim ve kontrollü işlem.

Burada en önemli şey, laboratuvar robotik ekibi iş birliği içinde mükemmel bir şekilde yürütülebilen, çarpışma olmayacak şekilde, düzgün bir çoklu robot hareketi için tekerleklerin hareketini ve hızlarını güvenli bir şekilde kontrol etmektir. Bu nedenle STPA'nın ilk adımı, sistem kontrol yapısını analiz etmek ve STPA'nın ikinci adımında güvenli olmayan kontrol eylemlerinden ortaya çıkarabilecek yanlış davranışları belirlemek olacaktır, buna ilişkin tehlike senaryolarının belirlenerek her bir güvenli olmayan kontrol eyleminin veya istenmeyen proses reaksiyonunun nedensel faktörlerinin belirlenmesi gerekecektir. Son olarak, hata ağacı analizi FTA ile aynı ilke ile bir ağaçta tanımlanan senaryoları düzenlenecektir.

STPA analizinin sonuçları Tablo 16 ve Tablo 17'de gösterilmiştir.

Tablo 16'da güvenli olmayan kontrol eylemleri kümesini (UCA/Unsafe Control Actions)) ve bunların nedensel faktörlerine ait bilgiler, Tablo 17'de de her UCA'nın Tehlike tanımlaması, olası kaza ve kayıpları belirtilmiştir.

Tablo 16: STPA tehlike analiz tablosu

(Inel ve diğerleri, 2020)

Unsafe control actions (UCAs)	Number of UCA	Causal factors (Scenarios)
The robot does not avoid a dynamic or static obstacle (like other robots loaded by chemicals, workers, analysis machines, wall ...)	UCA1	<ul style="list-style-type: none"> - Wrong/ no sensing of the distances between obstacles and the robot or the position of obstacles (small obstacles, shining surfaces, measurement inaccuracies). - Sensors failure / inappropriate calibration. - Failure of communication components (robot receiver). - Inadequate control algorithm of the robot. - Inadequate control parameters. - Memory card saturation of the robot. - Motors failure. - Wheels lock up - Conflicting control action from actuator.
The controller issues a false order	UCA2	
Command stopped too soon or applied too long	UCA3	
The controller does not choose the appropriate velocity for the robots (very high)	UCA4	
The controller provides an order after a delay time	UCA5	
The controller changes the velocity value in an incorrect time	UCA6	

Tablo 17: Her güvenli olmayan hareket kontrol eylemi (UCA) için tehlikelerin, kazaların ve kayıpların belirlenmesi

(Inel ve diğerleri, 2020)

UCAs	Hazards	Probable Accidents	losses
UCA1	<ul style="list-style-type: none"> - Robots violate the safer distance between them. - Robots enter Dangerous area. - Chemicals spill. 	<ul style="list-style-type: none"> - Collision of robots loaded with chemicals. - Collision between robot and human worker. - Robot loaded with chemicals crash to wall or falling down. - Chemical spill on the worker. - Mixing of incompatible chemicals. - Fire broke out in the laboratory. - An explosion might be occurred in the laboratory. 	<ul style="list-style-type: none"> - Workers killed or become injured - Installation, machines and robots damaged - Loss of chemicals - Reduced production - Environment contaminated - Toxic effects of chemicals spill, fire smoke, toxic gases, vapors and dust.
UCA2	<ul style="list-style-type: none"> - Robot enters uncontrolled state or unsafe attitude. 		
UCA3	<ul style="list-style-type: none"> - Robot enters uncontrolled state or unsafe attitude. 		
UCA4	<ul style="list-style-type: none"> - Robot enters dangerous state. 		
UCA5	<ul style="list-style-type: none"> - The robot can not respond quickly in hazardous situations (when there are obstacles). 		
UCA6	<ul style="list-style-type: none"> - Robot enters unsafe attitude. 		

Tablo 17’de gösterilen STPA analiz sonuçları bir dizi istenmeyen olayın açıkça ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Hata ağacı analizi (FTA) kullanarak bu tehlikelerin olası nedenlerini daha derinden yansıtmak için en tehlikeli olan patlama, yangın, işçi ölümü veya yaralanma seçildi. Burada kullanılan hata ağacı analizi geleneksel hata ağacı analizinden farklıdır, buradaki örnekte sadece hata ve arızalardan değil, diğer nedenler de göz önüne alınmıştır. Örnekteki hata ağacında, tüm kontrol hiyerarşisi (yönetmeliklerden son işleme kadar) ve hataların yanı sıra işçilerin ve robotların uygunsuz davranış nedenleri de dikkate alınmıştır.

3.1.3. Kolaboratif Çalışma Tesisi İçin Risk Değerlendirmesi ve İş Güvenliği Analiz Yaklaşımı

Operatör ve robotların kendilerine verilen görevleri birlikte gerçekleştirebilmek amacıyla görev süresince iş birliği yaptıkları tanımlanmış bölgenin güvenliği son derece önemlidir. Bu bölgenin güvenli olması ve çalışma verimi açısından yüksek bir performans göstermesinin üç önemi mevcuttur.

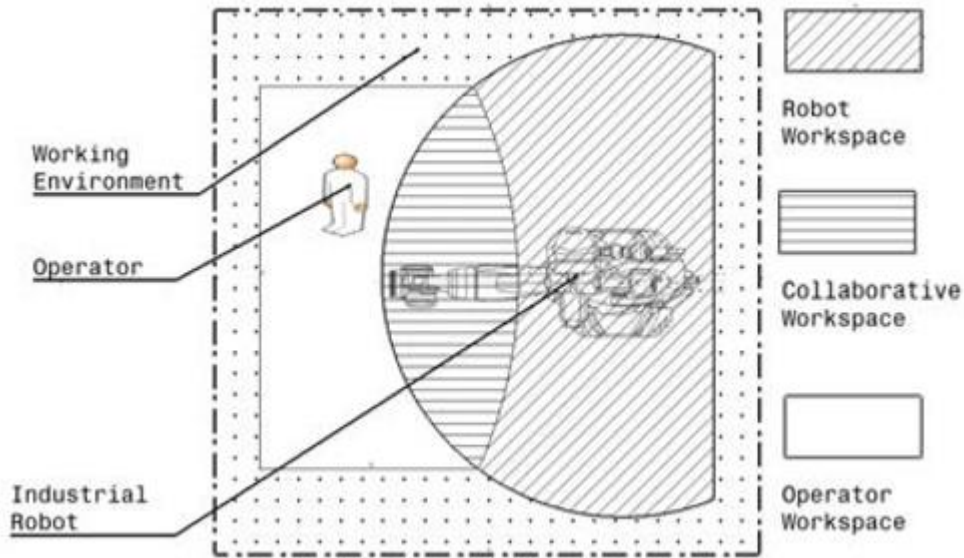
- Piyasadaki dalgalanmalara uyum sağlama yeteneği,
- Verimin artırılması,
- Ergonomik ve teknik olarak çalışma koşullarını geliştirmesi ve iş kazası risklerini azaltması,

İş birlikçi çalışma ortamlarında, robotun herhangi bir nedenle yapacağı yanlış bir hareketten dolayı, operatöre çarpması ciddi bir yaralanmaya neden olabileceği için, operatörün güvenliği önemli bir endişe kaynağı olarak karşımıza çıkar. Uluslararası güvenlik standartlarına göre, risk değerlendirmesi, tehlikeli çalışma ortamını anlama ve ortadan kaldırma anlamında atılması gereken ilk adımdır. İşbirlikçi çalışma ortamı olmayan, operatörlerle robotların aynı belirlenmiş alanlarda çalışmadığı ortamlar için birçok risk değerlendirmesi yapılmıştır. Bu alanlarda robotlar kendileri için belirlenmiş alanlarda otomatik modda çalışırlar, çalışma alanına istenmeyen giriş çıkışlar olması durumunda da robot, durumu hissederek durma yeteneğine sahiptir. Buralarda genellikle, çarpışma olasılığını ortadan kaldırarak operatörün güvenliğini sağlamak için güvenlik çitleri gibi fiziksel engeller kullanılmıştır.

İş birlikçi robot sisteminin en önemli amaçlarından biri de robotlar ve kendileri ile birlikte çalışanlar arasında daha yakın bir etkileşim sağlayabilmek için bu engelleri

kaldırmaktır. Bu nedenle de risk değerlendirmesi yapılırken, çalışma alanının katılımcılarının robot ve operatör olduğunu varsayarak, hem operatörün güvenliği hem de robotun verimliliği ve robotun olası kaza nedenlerini göz önüne almak gerekir. Öncelikli çalışan güvenliğine odaklanan uluslararası güvenlik standartları, tanımlanmış iş birlikçi çalışma alanının sadece robotla birlikte çalışan operatöre ait olduğunu belirtir ve risk değerlendirmesinin buna göre yapılmasını önerir. Güvenlik standartları Güvenliğin sağlanması ve robot/operatör görev paylaşımını sağlamak için robotla operatörün iş birlikçi çalışmasının sürekli olarak izlenmesini ön planda tutar, bu yüzden de çalışma alanı görüntüleme sistemi ve yakınlık sensörü (proximity switch) gibi güvenlik elemanlarıyla izlenir. Bu elemanlar seçilmeden ve kurulmadan önce, sistematik bir risk değerlendirmesi uygun cihazların seçilmesini ve ilgili prosedürlerin uygulanmasını sağlayacaktır.

Çarpışmalar önemli bir yaralanma ve hasar nedeni olduğundan, risk değerlendirmesi sırasında iş birlikçi alanda, robot ve operatörün yaptığı işler, bir metodoloji çerçevesinde ele alınır, alt görevler belirlenir ve ortaya çıkan risklerle ve bunlara ilişkin çözüm önerileri belirlenir. (Şekil 27)



Şekil 27: İş birlikçi çalışma hücresinin üç katılımcısı arasındaki etkileşimin temsili şeması (Gopinath ve Johansen, 2016)

Kolaboratif robot sistemlerinde risk analizi yapmak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu analizler arasında en çok tercih edilenlerden ikisi FTA (Fault Tree Analysis- Hata Ağacı Analizi) ve FMEA (Failure Mode and Effect Analysis – Hata Türü ve Etkileri Analizi)'dir. Bazı kuruluşlar, operatör görevlerinin göz önünde bulundurulması gereken uygulama alanlarında risk değerlendirmesi yapmak için İş Güvenliği Analizinin yapılmasının daha uygun olabileceğini belirtirler. Robotların neden olduğu hatalardan kaynaklanabilecek kazaları değerlendirebilmek için, Kantitatif Hata Ağacı Analizi, bu hatalara ilişkin olası nedenler hakkındaki bilgilere ihtiyaç duyar. Kalitatif FMEA ise, olası tüm arızaları (ve etkilerini) anlamak ve belgelemek için kullanılır, böylece arıza kaynaklarını azaltmak için düzeltici eylemler önerebilir. FMEA, her arıza modunu ve etkisini, arıza olasılığı ve olası çözümleri ile birlikte belgelemeye çalışır.

Kolaboratif Çalışma (Hücresi) Alanı:

Belirlenmiş bir alanda, tanımlanmış bir görevi yapmak üzere, görevlendirilmiş katılımcıların her birinin, kendileri için tanımlanmış görevleri yerine getirdikleri bölüme *Kolaboratif Çalışma Hücresi* adı veriyoruz. Bu hücrenin tanımlamasının temel amacı, görevler ve bu tanımlanmış bu bölgede çalışanların etkileşimlerinin haritalanmasıdır.

- **Kolaboratif Çalışma Hücresindeki Çalışma Alanı:** Uluslararası standartlar bu hücrede üç tane çalışma alanı tanımlamaktadırlar:
 - **Robotun Çalışma Alanı:** Robot çalışma alanında, endüstriyel bir robot nominal hızda otomatik modda hareket edecek şekilde programlanır bu alana izinsiz bir giriş durumunda robot durmalıdır. Geleneksel olarak, robot çalışma alanı fiziksel çitler veya güvenlik önlemleri kullanılarak dış etkileşimden kapatılır
 - **Operatörün çalışma Alanı:** Operatöre görevini yapmak için atanan bu alan, operatör çalışma alanı olarak adlandırılır, güvenlik açısından sürekli izlenen bu bölümde, operatörün robota yaklaşması durumunda robotun hızı düşer, tanımlanan sınır yaklaşma mesafesini de geçerse robot otomatik olarak durur.
 - **Kolaboratif (İş birlikçi) Çalışma Alanı:** Bu alan robotla operatörün birlikte çalıştıkları alandır. Bu ortak çalışma alanı, robotun ve operatörün birlikte çalışmasına izin verir, bu da robotun ve operatörün ortak bir çalışma alanını kendilerine verilen görevler doğrultusunda paylaştıkları anlamına gelir. Robot, ortak çalışma alanı içinde otomatik modda hareket ettirilebilse de robotun hızı

sınırlıdır. Bu alanda robot/insan kombinasyonu öngörüldüğü için, bu ortak çalışmada, her ikisinin de yapılması gereken iş konusunda tanımlanan ortak görevlerinin olduğunu bilmeleri gerekir.

İş birliği bir çalışma hücresinin üç tane katılımcısı vardır;

- **Endüstriyel Robot Sistemi:** Güvenlik standartlarında tanımlanan endüstriyel robot sisteminde, uyumlu bir şekilde çalışmak üzere tasarlanmış manipülatör, uç elemanı ve harici sensör sistemi bulunur. Bu parçalar ilgili güvenlik gerekliliklerine uygun olmalı ve iş birliği modunda operatörlerle güvenli çalışacak şekilde tasarlanmalıdır.
- **Operatör:** Operatör, robot hücresini paylaşması beklenen eğitimli personeldir, ancak çalışma hücresinin yakınlarında bulunan diğer personeli de içerebilir. Acil duruşlarda, çalışma hücresinin sorumluluğunu almaları ve sistemi durdurmaları beklenir.
- **Çalışma Ortamı:** Harici müdahaleler yaralanmaya veya üretim gecikmesine neden olabileceğinden, çalışma ortamı da robotik güvenlik standartlarını karşılamalıdır. Çalışma ortamında, robot hücresinin amaçlanan işlevselliğine müdahale edebilen ekipmanlar bulunur.

Kolaboratif Çalışma Hücresi İçin İş Güvenliği Analizi (JSA):

Risk analizi, operatör için güvenli ve üretken bir robotik çalışma hücresinin tasarımını değerlendirmek için kullanılabilir. Bu nedenle, çalışma hücresinin temel işlevselliği sağlanıp katılımcıların görevleri tanımlandıktan sonra, sürekli yinelenen bir sürecin başlayacağı anlaşılmalıdır.

Katılımcılar (robot ve operatör/ler) ve görevleri arasındaki etkileşimleri tanımlayan çalışma süreci şu şekilde tanımlanabilir;

1. Üretim hücresinin gerçekleştireceği fonksiyonlar, ayrık ve sıralı alt görevlere dönüştürülebilir. Her bir alt görev, bunları ayrılan bir çalışma alanı içinde gerçekleştirecek katılımcılara tanımlanır. Böylece ilk adımda, robot ve operatörün görevleri alt görevlere bölünür ve herbir alt görev için katılımcı ve çalışma alanı oluşturulur.

2. (JAS) İş Güvenliği Analizi, kritik alt görevlerin tehlikeler açısından analiz edilmesini önerir. İkinci adımda amaç, katılımcıların her birine tahsis edilen alt görevleri analiz etmektir. Olası tüm tehlikeleri tahmin etmek için, her bir katılımcı ve katılımcıların birbirleriyle olan kritik ilişkileri analiz edilir. Örneğin T1, bir operatör tarafından gerçekleştirilecek bir alt görevse, analiz, T1'in robotun yanı sıra Çalışma Ortamı üzerindeki etkileşimini de saptayıp incelemelidir.

3. Bu adımda ise, her bir risk için, olası risk oluşum faktörünün neden olabileceği tehlikeler belgelenmelidir. Bu risklerin olası etkileri, riskleri ortadan kaldırma çözümlerinin hesaplanmasında kullanılacaktır. Olası çözümler, robot sisteminin tasarımında kullanılacak olan, çalışma hücresi izleme çözümleri, tasarım güvenliği ve emniyet standartlarıdır.

3.1.4. Üretim Ortamları İçin İşbirlikçi Robotik Siber Fiziksel Sistemlerin Geliştirilmesi Metodolojisi

Bilindiği gibi Endüstri 4.0'daki temel özellik, çok küçük lotlardaki ürünlerdeki, müşterinin gerçek zamanlı değişken talebini karşılamaktır. Bu da robotun çalışacağı üretim veya montaj hattında, kurulum, ayar ve hattın yeniden yapılandırılması için zaman kaybetmeden, müşterinin bir çok talebini karşılama imkanı verecektir. Akıllı üretim uygulaması, katılan her bir bileşenin belirli bir IP adresine sahip olduğu nesnelerin interneti (IoT) kavramı ile gerçekleşebilir. IoT'de büyük verilerin mevcut olması nedeniyle, kestirimci bakım, tasarımın güvenilir olması ve uyarlamalı lojistik gibi parametreler hassas bir şekilde tahmin edilebilir.

Endüstri 4.0 kapsamında robotlardan oluşan bir akıllı fabrikanın tasarımı gelecekteki üretkenlik ve esneklik düşünülerek yapılır.

Bununla başa çıkmak için de robotlar gelecekteki üretimdeki iş paylaşımında işlerin büyük bir çoğunluğunu üstlenirler, insanlar ise ya denetim rolündedirler ya da şimdilik, robotların eğitilemediği görevler için çalışma alanında görevlendirilirler. Akıllı robotun çalışma alanında veya yakınında sürekli insan varlığı, güvenlik konusunda bir endişeye veya riske yol açabilir. Geleneksel yaklaşımda, operatörlerin, robotun çalışma alanını ihlali durumunda, makinedeki kontrol sistemi, makinenin tam olarak durmasını ve operatörün güvenliği sağlayarak uzun süre robotun hamlesine maruz kalmasını önler. Üretim hızını düşüren bu durum, hem üretimde durmalara hem de sürecin kaldığı yerden

tekrar başlatılabilmesini sağlamak için süreci yenden tanımlama gereksinimin ortaya çıkmasına neden olur. Bu konudaki en son yaklaşım, robotun ve operatörlerin birlikte var olabileceği ve güvenli bir şekilde iş birliği yapabileceği robotik bir ortamı uygulamaya sokabilmektir. Bu uygulamalarda, robotlar aynı çalışma alanını iş birlikçi meslektaşlarıyla paylaşır ve hammadde elleçleme, montaj ve ambalajlama gibi çeşitli görevleri yerine getirir.

Bu durum, günümüz üreticileri için de çok çekici gelmekte, maliyet, kalite ve iş kazalarının azalması avantajları nedeniyle, şu anda çeşitli endüstri kollarında çalışan bir milyonu aşkın endüstriyel robot büyük bir hızla görevlerini kolaboratif (iş birlikçi) robotlara terk etmektedir. Büyük finansal yükler getireceğinden, bütün bu robotların iş birlikçi sisteme dönüşmesi yakın bir zamanda oldukça zor görünmektedir. Günümüzde geleneksel endüstriyel robotların kolaboratif robotlara çevrilmesindeki en popüler yaklaşım, robotlarla operatörlerin birlikte çalıştıkları alanlara sensörler yerleştirerek ve iş birlikçi operatörlerin hareketlerini izleyerek iş birlikçi çalışma alanını daha akıllı duruma getirmektir. Bu yöntemle birçok endüstriyel robot, iş birlikçi robot olarak operatörlerle birlikte çalışabilecek duruma gelecektir. Böylece birçok üretici büyük yatırımlar yapmadan, daha makul harcamalarla endüstriyel robotlarını daha güvenli iş birlikçi ortamlarda kullanma imkanları bulacaklardır.

Bu tür bir iş birlikçi ortam oluşturabilmek için, sistemin tüm elektronik, güvenlik, emniyet ve sensör ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir siber fiziksel sistem (CPS/Cyber Physical System) oluşturulmalıdır.

Bu yolla, iş güvenliği açısından sıkıntı yaratabilecek 15 kg ağırlığında parçaların bile iş birlikçi ortamlarda güvenli bir şekilde monte edilmesi, taşınabilmesi, ambalajlanması vb. mümkün olabilecektir. Operatör ile iş birlikçi robot arasındaki gerçek senaryoyu andıran sanal bir parça, robot ile operatör arasındaki uzaklığı hesaplamak için kullanılır. Gerçek zamanlı mesafe hesaplamasına dayanarak, harici bir modül tarafından, robot denetleyicisi sistematik olarak hızı azaltmakla görevlendirilir.

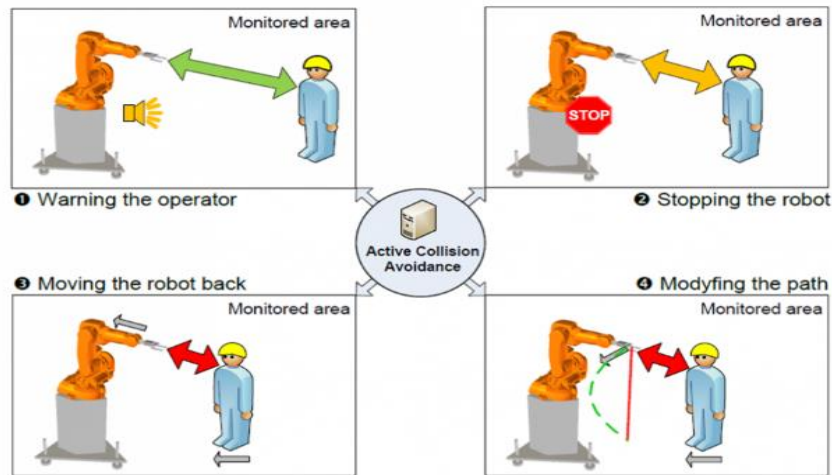
İş birlikçi robot teknolojisindeki son gelişmeler:

İşbirlikçi robotların geliştirilmesinde, son yirmi yılda yapay zeka, insansı robot ve dış gövdede bugüne kadar ki gelişimler kullanılmıştır. Bu tür insansı robotların temel amacı, engelli ve yaşlıların ihtiyaçlarını karşılamak için ev ve tıbbi uygulamalarda

çalışmaktadır. Endüstriyel iş birlikçi uygulamalarda robotların kendi başlarına çalışmalarını yerine, endüstriyel bir ortamda insanlarla birlikte güvenli bir şekilde çalışmalarını esas alınmıştır. Hızla gelişmekte ve yaygınlaşmakta olan iş birlikçi robot sektörünün 2020 yılı sonunda 2 milyar \$'ı aşacağı belirtilmektedir. Bu büyüme daha çok, küçük ve orta ölçekli montaj ve elektronik malzeme üreticilerinde gerçekleşmektedir. Bu tür esnek üretim teknolojileri arayan endüstriler için, robot üreticileri, küçük ve orta boy ürün işleme ve diğer işlemler için uygun iş birlikçi robot tasarımları geliştirmektedirler.

Şekil 28'de değişik açılarda hareket edebilen yetenekli robotlar yer almaktadır.

Çoğu durumda, robot ucundaki efektör, en gelişmiş iş birlikçi robotlardaki yinelebilirlik yeteneğini gösterir. Tüm bu robotlar, eklemlerdeki iç kuvvet sensörleri ile geliştirildiğinden kolaboratif alanda operatörlerle hafif bir temas olması durumunda bile rahatlıkla çalışabilirler. Güvenli bir izlenebilirlik sağlamak için robot kolları ve uçları, yüksek çözünürlüklü hatta 3D kameralarla donatılmıştır. Bazı uygulamalarda, işi tamamlamak için robotun ihtiyaç duyduğu konumlar için hızlı tanıma ve izleme için görsel sensörler kullanılır. Tüm robotlar, kendilerine verilecek yeni görev için eğitilebilecek şekilde programlanabilir uyumluluğa sahiptirler. Bu robotların taşıma kapasiteleri, yaygın olarak 0,5 ile 14 kg arasındadır. Çarpışmayı anında tespit ve çalışma alanının ihlali durumunda anında robot kolunun hızının azaltılması kolaboratif robotlarda yaygın olarak kullanılan teknoloji özellikleridir.



Şekil 28: Aktif çarpışmadan kaçınma

(Gopinath ve Johansen, 2016)

Genel olarak incelediğinde, endüstride ve hizmet sektöründe geleneksel endüstriyel robotlar yerine çoğunlukla kolaboratif robotların tercih edildiğini kolaylıkla görülebilir.

Ayrıca, bu son gelişmeler insan-robot iş birliğinde (HRC) küçük ila orta ölçekli yük taşıma proseslerinde, özellikle iş sağlığı ve güvenliğinin ön planda geldiği uygulamalarda kolaboratif robotlara çok rağbet edildiğini gösterir. Bu uygulamaları, önümüzdeki yıllarda daha ağır parçaların kolaboratif ortamlarda montajı veya ambalajlanması işlerinin bir ön hazırlığı olarak da nitelendirmek mümkündür. Bazı robot üreticileri, ISO 10218-1:2011 ve performans seviyesi (PL) (d) güvenlik kurallarına göre 35 kg yük taşıma kapasitesi olan iş birlikçi robotları 2021 başında kullanıma verebilecekleri belirtilmektedir (FANUC).

Bu aşamada üreticilerin iki konuya çok dikkat etmeleri gerekmektedir, bunlardan birincisi, iş birliği planlarını tanımlamak ve resmi bir derecelendirme sistemi oluşturmak; ikincisi ise, endüstriyel senaryolarda insan-robot iş birliği için bir Siber Fiziksel Sistem (CPS/Cyber Physical System) tanımlamak ve tanımlanmış bir endüstriyel senaryoda sensör seviyesine kadar en uygun çözümlere ulaşabilecek bir metodoloji geliştirmektir. CPS yöntemiyle de hem geleneksel robotlardan kolaboratif robotlara geçilmiş hem de kolaboratif robotlarla daha ağır iş parçalarının proste yer alma imkanı olacaktır.

Böylelikle kolaboratif robotlar için donanımlı bir dış ortam için daha ayrıntılı hususlar, istenen senaryo gereksinimi ve iş birliği düzeyine göre önceden tanımlanmış güvenli CPS'den türetililebilecektir. Bu konudaki, yaklaşım, uygulanan robot güvenlik şemalarını inceleyerek ve sonra etkili iş birliği şemalarını geliştirerek başlatılır. İş birliği düzenleri sıralandığında, endüstriyel iş birliği senaryolarının seçilen birkaç sensör örneği ile resmi olarak sınıflandırılması için bazı temel göstergeler sunulur. Belirli bir endüstriyel senaryo için sensör seviyesi gereksinimlerini tanımlamak için bir iş birliği örneği varsayımı hazırlanmalıdır.

İnsan Robot İşbirliğinde CPS:

Önerilen yaklaşım güvenlik çitleri gibi pasif güvenlik mekanizmaları olmadan güvenli bir HRC (Human Robot Collaboration) iş birlikçi ortam yaratmaktır. Bunu gerçekleştirmek için iş birlikçi bir Siber Fiziksel Sistem (CPS/Cyber Physical System) veya İş birlikçi Robotik Siber Fiziksel Sistem(CRCPS/collaborative robotic cyber-physical system) için ek güvenlik ve koruma önlemlerinin uygulanması gerekir. Bu güvenlik ve emniyet (koruma) gereksinimleri, verimliliği artırmak için, çalışma alanındaki insan/lar ile robot/lar arasındaki etkileşim düzeyine bağlıdır. Güvenlik ayrıca

emniyetle yakından ilişkilidir, çünkü bu sistem düzeyi özelliklerinin her ikisinin de rekabetçi olarak çok iyi değerlendirilmesi gerekir. Güvenlik esas olarak sistemleri insanların saldırılarından korur ve emniyet ise insanları fiziksel olarak sistemlerden korur (örn. Çarpışmalardan kaçınma). Aslında, CRCPS tasarımıdaki yaklaşım, endüstriyel faaliyetlerin tasarımı, denetimi ve risk değerlendirmesi sırasındaki olası güvenlik ve emniyete ilişkin endişeleri beraber ele almaktır.

CPS, gerçek değişkenlerin değişen durumunu kontrol etmek ve algılamak için sayısal ve fiziksel sistemlerin entegre edildiği akıllı bir sistemdir. Bu tür CPS'nin başarısı, sensör ağı ile güvenilir ve emniyetli iletişim teknolojilerine dayanır. CPS'de, tüm fonksiyonel bileşenler (komponentler) modüller halindedir ve üretim hattında veya akıllı fabrikada birbirine (wireless) kablosuz olarak iletişim halindedir. Hatta üretim hattındaki hammadde ve makineler bile insan-makine etkileşim sistemleri (HMI/human machine interaction system) aracılığıyla insan çalışanlarla iş birliği içinde olan ağa bağlanır. Özellikle imalat ve işleme sektöründe CPS, elektronik, bilgi işlem, iletişim, algılama, çalıştırma veya robot, gömülü sistemler ve sensör ağlarından oluşabilir. HMI teknolojileri ve diğer tipik CPS modüllerine ek olarak, montaj işlerinde CPS, üretim sisteminin esnekliği, üretim senaryosu ve değişen montaj görevlerinin uyarlanabilirliği gibi diğer kaynaklara da ihtiyaç duyar. HRC'deki uygulama için, tam ölçekli bir CPS dağıtımını insanı sistemin doğal bir parçası olarak açıklar ve hesapların ona göre yapılmasını öngörür.

- İnsan bileşeni (HC/human component),
- Fiziksel bileşen (PC/physical component),
- Hesaplama bileşeni (CC/computational component) üç ana entegre varlığı temsil eder

Bu üç bileşen arasındaki etkileşimin kalitesi, etkinleştirici adaptör teknolojilerinin güvenlik düzeylerine bağlıdır. HC, farklı adaptör teknolojileri ile iyi bağlanmıştır, örn. Doğru insan pozisyonu izleme teknolojisi CRCPS'de temel adaptördür.

CRCPS, kompozit elemanlar arasındaki sınırları ortadan kaldırdığı ve operasyonel etkileşimleri tercih ettiği için oldukça otomatik bir sistemdir.

İnsanların görme, akustik ve dokunma duyularına hitap eden çeşitli İnsan Makine Arayüzü (Human Machine Interface/HMI) teknolojileri mevcuttur. Önerilen CRCPS'te,

çalışanların (operatörlerin) algılanması, izlenmesi ve hareketlerinin doğrulanması için görme sistemini kullanabilir. Robotlar insanlardan gelen ses kontrolü gibi akustik sinyallerle kumanda edilebildiği gibi, çeşitli sensörler ve aktüatörler aracılığı ile İnsan Bileşeni (Human Component/ HC), Siber Bileşeni (Cyber Component/ CC) ve Fiziki Bileşen (Physical Component/PC) arasındaki etkileşimi de rahatlıkla sağlayabilir. Bu role katkıda bulunan bileşenler arasında gösterilen standart etkileşimler vardır. Genelde sistemde kullanılan bağdaştırıcılar (adaptör) senaryoya göre, tak / çalıştır aygıtları olarak görev yaparlar. Bunun dışında, senaryo gereği, standart bileşenler ve CRCPS'deki adaptörlerle isteğe bağlı etkileşimler de sağlanabilir.

CRCPS, CPS'nin bir uzantısıdır ve bu nedenle bir CPS'nin sistem düzeyi özelliklerine uyumu göstermelidir. Bunun için de CRCPS kendi içinde bir kararlı ve bütünlük özellikleri göstermeli, komutları kesin olmalıdır. Aynı zamanda, CRCPS uyarlanabilir, otonom ve yüksek derecede otomasyon yeteneğine sahip olmalıdır. CRCPS için bütünlük, fonksiyonel bileşenlerinin öğrenme ve adaptasyon gibi kendi kendini organize eden görevleri yerine getirmek için iyi entegre olduğu anlamına gelir. Bir örnek verecek olursak, eğer iki CRCPS yakın fiziksel mesafede çalışıyorlar ise, CRCPS'lerden birinin bağlı olduğu robot, diğer CRCPS'ye bağlı operatörle güvenli bir iletişim içerisinde olacaktır. Konum, ortamın mekânsal özelliklerine bağlı olarak CPS'nin hesaplama, insani ve fiziksel yeteneklerini belirleyecektir. CPS'nin uyarlanabilir karakteristik özelliği, sistemi kendiliğinden organize eder ve geliştirir. Özerklik ise, fonksiyonel bileşenlerin rolünü ve CPS'nin kendi başına bağımsız kararlar verebildiğini ifade eder.

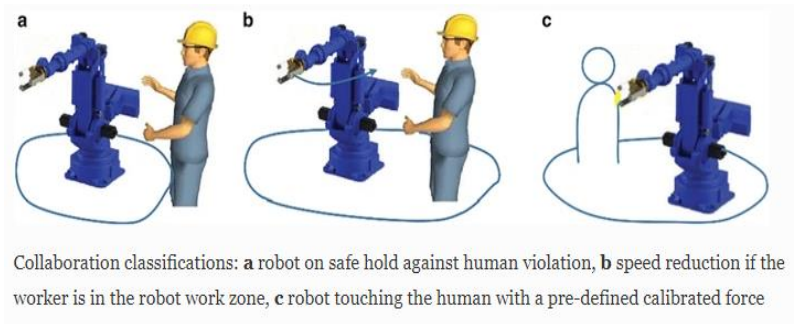
İş birliği Sınıflandırılması:

CRCPS endüstriyel ortamında, robotların ve insanların çalışma alanı bölgelerinin sorunsuz bir şekilde örtüşmesi düşünülür. Normal olarak, insan/robot iş birliği iki taraf arasındaki etkileşim düzeyini belirler. Etkileşim düzeyi, iki varlık (insan/robot) arasındaki mesafeye ve bu iki varlık arasındaki karşılıklı görevlerin karmaşıklığına göre hesaplanabilir. Verilen görev veya aksine yapılan insan aktivitelerinin tahmini veya aynı zamanda gerçekleşen iş birlikçi insan/robot hareketleri ile artırılmış gerçeklik ortamındaki risk öngörülere çalışma hücresi içerisinde interaktif bir ortam oluşturacaklardır.

Tüm güvenlik ve koruma protokollerinin uygulanmasına rağmen, robot kullanımının yoğun olduğu ülkelerde yine de ölümler rapor edilmektedir. Örneğin, Almanya'da, 2005 ila 2012 yılları arasında yılda 3 ila 15 arasında işçi bu yüzden hayatını kaybetmiştir, ancak bu kazaların hiçbiri iş birlikçi ortamlarda olmamıştır. Bu kazalarda robot ve insanın fiziksel etkileşiminin yanı sıra insanlar üzerindeki zihinsel baskılar oldukça etkili olmuştur. Yapılan araştırmalarda, çalışma alanına girişin ve robot hızının kısıtlanması bile operatördeki zihinsel baskıların hafiflemesi için yeterli olmuştur. Buna ek olarak, robot hareketlerine ilişkin detayların önceden bilinmesi operatör üzerindeki baskıların azalmasını sağlamıştır. HRC risk seviyesini de düşürmek için, mutlaka iş birliği seviyesini iyi ve taşıma yüklerinin gerçekçi bir şekilde sınıflandırılması gerekir.

Güvenlik şemaları, konum tahmini ve robotlar etrafındaki akıllı ortam koşullarına göre düzenlenmelidir. Akıllı ortam, robot ortamını konum, insan, güvenlik bölgesi ve mesafe hakkında bilgilendirmek için uygun izleme sensörleriyle donatmak anlamına gelir. Bununla birlikte, robotlarla gerçekleştirilecek iş birlikçi çalışmaya ilişkin güvenlik korumasının dört temel ilkesi detaylarıyla incelenmelidir.

Küçük boyutlu robotlar kullanılırken yaygın yaklaşım, ya manuel olarak yönlendirmek veya robot hızını gerektiği gibi azaltmaktır. Manuel yaklaşım, açık döngüdür, algılama olmadan, yüksek HRC seviyesine sahiptir, küçük boyutlu robotlarla sınırlıdır ve yetenekleri tanımlanan risk değerlendirmesine bağlıdır. Bu temel güvenlik yaklaşımı 'tam izolasyon' olarak adlandırılabilir. Bu yaklaşımda, kontrol altında tutulması gereken çalışma alanı, lazer tarayıcı veya yakınlık sensörleri ile donatılmıştır. Bu yaklaşımda robotlar çalışma alanına birisinin girmesi durumunda durmalıdır. Bu sistemler sensöre bağımlı olup kapalı döngüdür ve HRC seviyesi kazanımı yok denecek kadar azdır.



Şekil 29: İş birliği sınıflandırmaları

(Khalid ve diğerleri, 2016b)

Üçüncü yaklaşım, görerek veya hız izleyen sensörlerle sistemin denetlenmesidir. Bu durumda işçinin tehlikeli bölgeye girmesiyle birlikte hız yavaşlatma ve gerekiyorsa robotun durdurulması sağlanır. Bu güvenlik konsepti HRC için, bu teknikte hızlı ve güvenli bir eş zamanlı izlemeyi gerçekleştirebilmek için çoklu entegre ve füzyon özelliği olan bir sensör kullanılır. Bu teknikle, yüksek HRC seviyesine ulaşmak mümkündür, ancak izleme fonksiyonundaki olası bir arıza durumunda risk değerlendirmesinde zorluklar yaratır. Dinamik izleme ilkeleri doğrultusunda, iş birlikçi ortamda çalışan operatörlerin olası hatalı hareketlerini saptamak için kullanılan algoritmalar, hız ve ayırma modülleri ile entegre edilmelidirler.

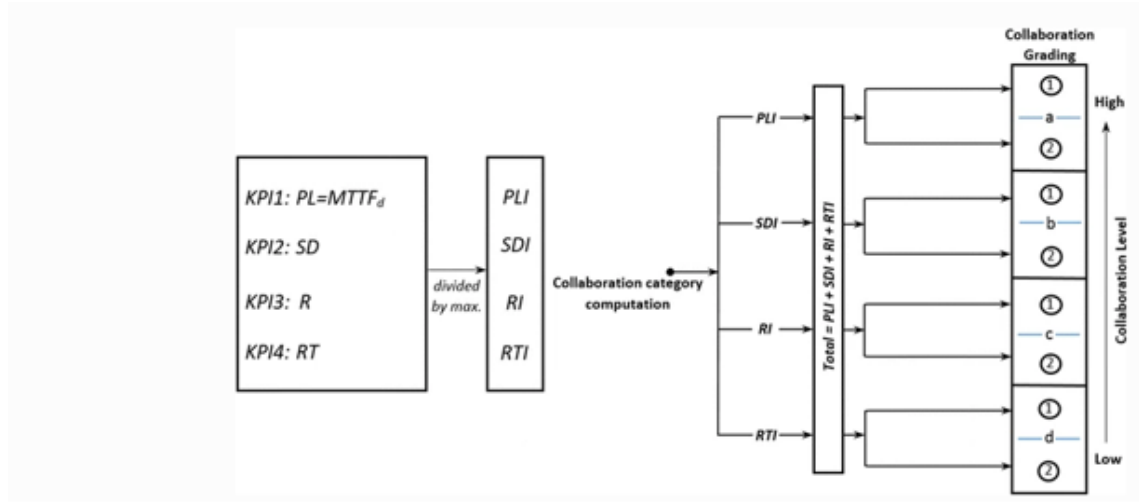
Kolaboratif alanda, operatörün bulunabileceği alan belirlenmiş olup, sürekli olarak hareketleri kontrol edilir, robot kendisine öğretildiği gibi aktif olarak bu alan içinde kalmaya zorlanır, kuvvet sensörleri ile de robotun belirlenen kuvvet değerlerinin üzerine çıkmaması sağlanır. Bu sistem aynı zamanda, iş birlikçi çalışma alanında insan olması durumunda robotu yönlendirecek görüş sensörleri ve kameralardan da destek alır. Buna ek olarak iş birlikçi alanda robotun operatörün bedenine temas şiddetine göre, robot hızı ve ivmesi azalır. Bu nedenle, izleme sistemlerinde, sensör teknolojisine ek olarak kuvvet sensörlerinin entegrasyonunu gerektirir. Böylelikle en yüksek HRC kazanımı sağlanmış olur, ancak izleme sürecindeki herhangi bir hatadan dolayı risk değerlendirmesinde de birtakım zorluklar gündeme gelebilir.

Genel HRC derecelendirme programına katkıda bulunmak için dört eşit ağırlıklı anahtar performans göstergesi (KPIs/Key Performance Indicators) vardır. Bu endeksler **PL**, emniyet mesafesi (**SD/ Safety Distance**), risk (**R**) ve reaksiyon süresi (**RT Reaction Time**) 'dir. **PL**, 'Tehlikeli Arızaya Kadar Geçen Ortalama Süre' (**MTTFd/ Mean Time to Dangerous Failure**) olarak alınır, EN ISO 13849-1'a göre sistem bileşenlerinin bir yıllık ortalama döngüsünün %10'u tehlikeli duruş/arıza olarak tanımlanır.

Denklem1: $MTTF_d = \frac{1}{10} E_x \quad x = \min [P(\text{failure of part} * \text{cycle} / \text{year}) = 1]$

E, bileşenlerin %10'unda tehlikeli bir arıza olana veya bileşen çalışma süresi **E** ile sınırlı olana kadar geçen ortalama süredir. Bu göstergenin birimleri yıl cinsinden ifade edilir, örn. Elektromekanik bileşenler için MTTFd aralığı 100-200 yıldır. Bu, bileşenin MTTFd değerinin %10'una ulaşmasından sonra değiştirilmesi gerektiği anlamına gelir.

Bileşen değiştirme süresi olarak 20 yıllık bir süre standarda göre bir hedef olarak belirlenir ve bu gösterge için maksimum değer olarak alınabilir.



Şekil 30: HRC kademelendirme şeması

(Khalid ve diğerleri, 2016a)

*Sol tarafta 4 KPI, sağ tarafta ise not hesaplaması bulunmaktadır.

İkinci gösterge, insan (Operatör) ve çalışan bir robot arasında hesaplanan SD'dir. Endüstriyel bir robotla çalışan bir insan için SD formülü EN ISO 13855'te verilmiştir.

Denklem 2: $SD = (K.T) + C$

SD, riskli bölgeden minimum SD'yi hesaplar. **K**, robotla çarpışmak üzere olan operatörün hızıdır (mm / s). **T**, frenler uygulandığında robotun tamamen durması için (s) saniye cinsinden takip süresidir. **C**, güvenlik uyumluluğu için sensörün kapasitesine veya çözünürlüğüne bağlı olarak ek mesafedir (mm). Sistemde birden fazla sensör kullanılması durumunda, herhangi bir sensör füzyon tekniği kullanılmadığı takdirde, en düşük çözünürlüğe sahip sensör genel sistemin çözünürlüğünü belirlemektir. Çeşitli sensörlerle yapılan hesaplar göstermiştir ki, en hızlı sensörlerle dahi $SD = 0,5$ m değerine ulaşabilmek mümkün değildir. Ancak, SD değerinin yaklaşık 2 m'den daha yüksek olması durumunda, hiçbir kolaboratif çalışma sisteminden bahsetmek mümkün değildir. 3. gösterge, robotu üreten firmanın, spesifikasyonlarında belirtilen güvenli olmayan bileşen sayısına göre belirlenir ve **R** ile gösterilir.

Denklem 3: $R = \frac{U}{U+S}$

Güvenli olmayan bileşen sayısının (U/Unsafe components) toplam bileşen sayısına oranı risk olarak adlandırılır, burada (S/Safe components), sistemde kullanılan güvenli bileşenlerin sayısıdır Denklem 3. Yukarıda belirtilen PL aralığına göre, yani 100 yılın altındaki MTTF'd'nin elektromekanik bileşeni güvenli değildir. Ayrıca, her sensör, kullanılan güvenli ve güvensiz bileşenlerin sayısına bağlı olarak tanımlanabilir.

CRCPS perspektifinden bakıldığında ise, kullanılan tüm sensör bileşenleri ve ekipmanı güvenli veya güvensiz olarak işaretlenebilir. Minimum risk ancak, kullanılan tüm bileşenler güvenli olduğunda belirlenebilir. Maksimum risk ise, bir karşılaştırmaya, tasarımcının önerilerine veya ISO 12100: 2010'a göre yapılan risk değerlendirmeye göre kontrol edilebilir.

İş birliği etkinliğini ölçen dördüncü indeks, ise sensörlerin veri gecikme oranı (D_i /delay rate)'dir. (bkz. Denklem 4).

Tasarlanmış bir CRCPS'de kullanılan sensörlerin çeşitliliği, eş zamanlı olmayan veri iletim hızlarına neden olabilir. Herhangi bir sensör füzyon tekniğinin kullanılmadığı bir durumda, yanıt vermek için RT sistemindeki tüm sensörlerden gelen gecikme süresi, veri gecikme hızları (ms/delay rates) açısından önemlidir. Böylece, sistemin genel gecikme süresi, herhangi bir tehlikeyi önlemek için robotun güvenlik protokolünü zamanında başlatmasını sağlayan kilit göstergedir. Daha uzun gecikme süresi robotun RT'sini olumsuz etkileyebilir ve bu da etkili HRC kazanımının azalmasına neden olacaktır.

Diğer değişken, CPS sistemine takılan sensörlerin (N) sayısıdır. Sistemin, bir dizi heterojen sensörden oluştuğu durumlarda ise, bu değişken en yavaş sensörlerin sayısını temsil eder. Bu durumda k sabit olup, tamamen yalıtılmış k değeri sistemler için sıfır ve diğer tüm izlenen sistemler için birdir

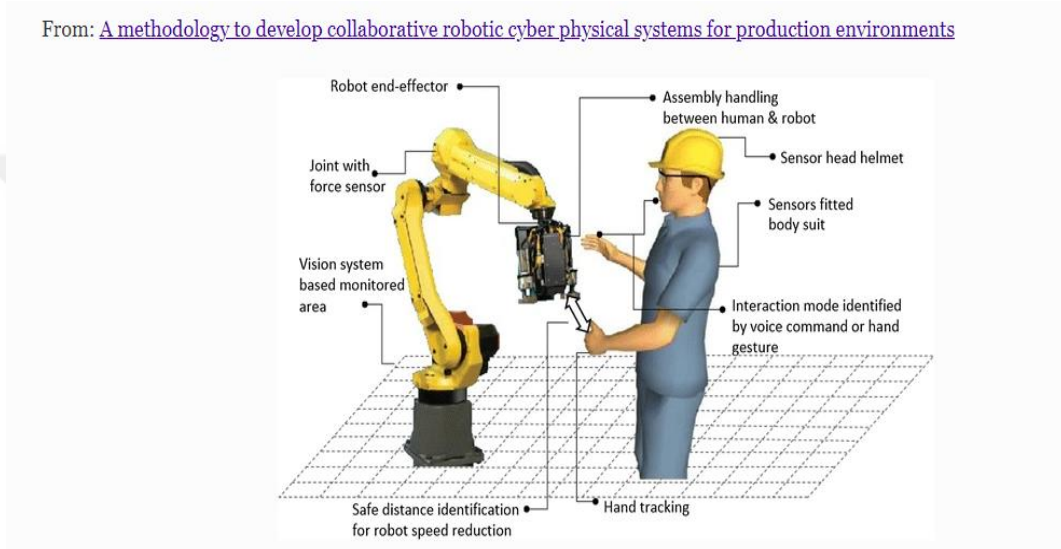
Denklem 4: $RT = k (D_i \cdot N)$

Farklı iş birliği tekniklerine ve performans göstergelerine baktıktan sonra, iş birliği derecelendirme şemasını resmileştirebiliriz. Şekil 30, HRC'nin düşükten yükseğe derecelendirme modelini göstermektedir. Şekil 30, sağ tarafta ise, HRC dereceleri, burada **a1** en yüksek HRC kazanım seviyesini ve **d2** en düşük seviye olarak belirtilir.

Yukarıda belirtilen göstergelerin tümü, 0–1 ölçeğinde ilgili endekslere dönüştürülür. (en iyi KPI değerine bölünür)

Denklem 5: $I_j = \frac{KPI_j}{(KPL_j)_b}$

SDI ve RTI durumunda, en iyi değerler en küçük olduğu için ters ölçek kullanılır, örneğin SD hesaplaması için 0,5 m'ye ulaşmak çok zordur. Şekil 30 sağ tarafta, iş birliği derecelendirme eşit ağırlığa sahip dört endeksin toplamına dayanarak belirlenir ve maksimum 4 puan elde edilir. Burada "a", "b", "c" ve "d", sırasıyla 3-4, 2-3, 1-2 ve 0-1 ölçeğine karşılık gelir. Bu şekilde, iş birliği kazanımı, her kategori iki alt kategoriden oluşmak üzere dört büyük kategoriye ayrılır.



Şekil 31: CRCPS tasarımında

(Khalid ve diğerleri, 2016a)

Şekil 31'de de görüldüğü gibi gerek robot ve gerekse de operatör üzerine konumlandırılmış sensörler operatörün ne kadar yaklaşması gerektiği konusunda güvenli mesafe limitlerini denetlerler.

Hız veya ivme azaltma evreleri, iş birlikçi ortamda tehlikeli bir durumun tanımlanması üzerine aniden başlatılabilir ve işçi çalışma alanında güvenli mesafe sınırını terk edinceye kadar robotun tamamen durmasına neden olabilir. Tehlike geçtikten sonra, robot kaldığı yerden işine devam edecektir. Bunun dışında, sisteme ayrıca, robotu eğitmek için ellerin veya çalışan sesinin kullanılabilceği bir etkileşim modu eklenebilir. Bunun için, farklı el hareketleri kullanılarak, robotu etkileşimli ortamda eğitmek gerekecektir. Kuvvet izleme sistemi için, SD limitine ulaşıldığında kuvvet azaltma yaklaşımı aniden uygulanır. Robotun, operatöre dokunması durumunda kuvvet sensörleri, ek tepkiler verebilir. Ancak, bu tür sistemleri tasarlamak için farklı vücut organları için

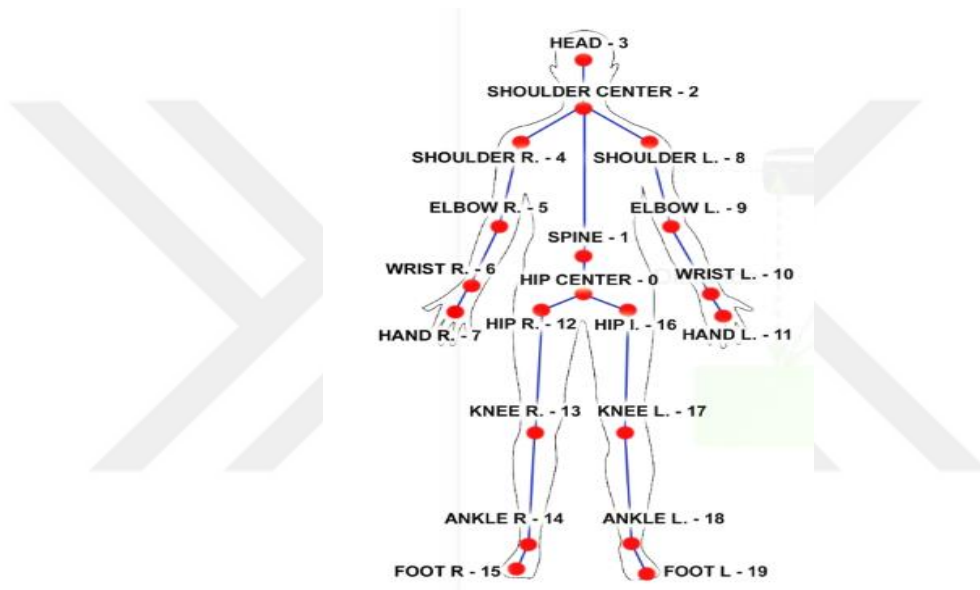
maruz kalabilecekleri kuvvet değerlerinin kalibrasyonun yapılması gerekir. Yeni iş birlikçi robotların eklemleri kuvvet sensörleri, tork sensörleri ve bir kuvveti elektrik sinyali haline dönüştürmek için kullanılan yük hücreleri ile donatılmıştır. Eklemlerinde kuvvet sensörü olmayan geleneksel robotlar, kuvvet azaltma ve izleme yaklaşımında kullanılamaz. İşbirlikçi robotlar, operatörle çarpıştıktan sonra bu çarpışmayı algılama ve operasyonu yavaşlatma/durdurma kapasitesine sahiptir. Bu robotların, insan ağrı seviyesinin herhangi bir eşiğinin altındaki çarpışma kuvvetlerine göre kuvvet kalibrasyonu gereklidir. Bununla ilgili olarak, bu temas kuvvetleri ile ilgili olarak, değerlendirmelere ve tasarıma yardımcı olabilecek biyomekanik deney sonuçları mevcuttur.

Böyle bir CRCPS'de, insandan kaçınma ve çoklu duyuşal verilerin akıllı kullanımı, insan izlemesi yapabilen çoklu sensör entegrasyonu kullanılabilir. Bazı durumlarda, kaynağın kapsamlı yapısı nedeniyle, yerleşik sistemlerde gerçek zamanlı ve yazılım sorunları ortaya çıkabilir. Ürünün ömrü boyunca, gömülü sistem yazılımı, karmaşıklığı tanıtan, gerçek zamanlı sistemin performansını sınırlayan ve tehlikeye atılan siber güvenlik nedeniyle ortaya çıkan sorunlarda, siber ve fiziksel katman arasındaki entegrasyonun iletişimine ve senkronizasyonuna ihtiyaç duyar. Bu tür sorunlara cevap verebilmek için sistemin, genel kontrol ve kendi kendine doğrulama yaklaşımları vardır. Bu yaklaşımlar, CPS modülleri içindeki olağandışı sistem davranışları ile başa çıkmak ve arızanın gerçek nedenini bulmak için yararlı olabilir. CPS araştırmasındaki bu sistem entegrasyonu yaklaşımları, akıllı sensör füzyon teknikleri, akıllı modüler senkronizasyon ve izin verilen ek yüke bağlı olarak farklı koruma kontrol katmanları ve doğrulama şemalarını içerir.

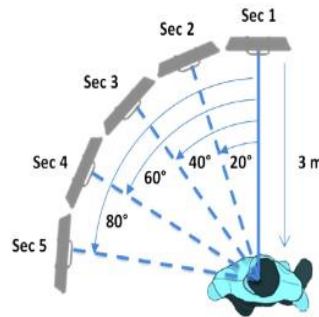
3.1.5. İş birlikçi Bir Çalışma alanında Güvenli İnsan- Robot İş birliği İçin Siber Fiziksel (CPS / Cyber Physical System) Yaklaşımı

İnsan-robot etkileşiminde ön etki güvenliğini sağlamak için çok sayıda çalışma ve sınıflandırma mevcuttur. Bunların en önemlilerinden bir tanesi, tehlike indeksine dayalı insan-robot etkileşimi için gerçek zamanlı bir güvenlik sistemi üzerinde A. Sanderud, T. Thomessen, H. Osumi, M. NiitsumaA. Sanderud (A proactive strategy for safe human-robot collaboration based on a simplified risk analysis) tarafından yapılan bir çalışmadır. Bu çalışmada, tehlike indeksini hesaplamak için anahtar faktör robot ve insan arasındaki mesafedir. Benzer bir yaklaşımda, robot yörünge kontrolünün eşlik ettiği

bir operatörün çalıştığı alana dayalı bir risk minimizasyon stratejisi yaklaşımı C. Morato, K.N. Kaipa, B. Zhao (S.K. Gupta Toward safe human robot collaboration by using multiple kinects based real-time human tracking) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, insan ve robotu temsil eden küre tabanlı geometrik modeller kullanılmıştır. Ancak, bu yaklaşımda sistemin tepki süresi saniye düzeyindeydi. A.M. Zanchettin, N.M. Ceriani, P. Rocco, H. Ding, B. Matthia ise (Safety in human-robot collaborative manufacturing environments: metrics and control) çalışmalarında, insan-robot iş birliği senaryosunda gerçek zamanlı insan takibi için birden fazla Kinect yaklaşımı üzerinde çalışmışlardır.



Şekil 32: Kinect ortak izleme algoritması tarafından algılanan noktalar (Nikolakis ve diğerleri, 2018)



Şekil 33: Kaydedilen her hareket için sensörün konumu (Nikolakis ve diğerleri, 2018)

Bu çalışmada, ayırma alanının önemi ve gerektiğinde robotun tamamen durdurulmasını içeren proaktif veya çarpma öncesi çarpışmayı önleme stratejisinin uygulanmasına yönelik değerlendirme vurgulanmaktadır.

Robot ile insan arasındaki mesafe metriğine dayalı olarak robot hızı için bir kontrol stratejisi ile ilgili yaklaşım ise K. Jackson, K. Efthymiou, J. Borton tarafından (Digital manufacturing and flexible assembly technologies for reconfigurable aerospace production systems) çalışmasında yapılmıştır. Bu çalışmada, mesafe, insan-robot iş birliği senaryosunda proaktif veya çarpışma öncesi çarpışmadan kaçınma için önemli ölçümlerden biri olsa da sunulan uygulamaların yanıt süresi gerçek zamanlı kısıtlamaları karşılamıyor gibi görünüyor savı benimsenmiştir. Halbuki, üretim mekanlarının artan karmaşıklığı ve birbirine bağlı sistemler gereksinimine bakılırsa, gerçek dünya koşullarına yaklaşan uygulamalara ve düşük yanıt sürelerine ihtiyaç vardır.

Çalışma zamanında insan güvenliğini sağlamak için, robotun davranışı, insan eylemlerine bağlı olarak uyarlanabilir hale gelmelidir, bu da operasyona yeni bir karmaşıklık getirmektedir. Bu karmaşıklığı çözmek için, çalışma zamanı işlemlerini simüle etmek, izlemek ve denetlemek için veri, sensör ve iletişim hizmetleri için yeni bir entegre çerçeve gereklidir. Bu entegre çerçeve, sürekli olarak operasyonu değerlendirerek ve gerçek dünya koşullarına göre ayarlayarak, varlıklarının etkileşimini ve iş birliğini sağlar. Bu da analitik ve fiziksel yönleri birleştiren akıllı bir sistemin oluşturulmasına neden olur. Birbirlerine bağlı bilgisayar sistemleri ve dünya arasındaki etkileşimleri gerçekleştiren bu akıllı sisteme CPS (Cyber Physical System) adı verilir. İnsan-robot iş birliği ve birlikte yaşamayı sağlayan robotik CPS, uyarlanabilir, özerk ve yüksek otomasyonlu olmalıdır. Fiziksel sistemler, çeşitli elektronik, bilgisayar, iletişim, algılama, harekete geçirme, gömülü sistemler ve sensör ağları aracılığıyla gerçek dünyadaki değişkenlerin değişen durumunu algılar. Robotik CPS'nin tasarımı ve insan operatörler açısından güvenlik yönlerini kapsayan risk değerlendirmesi sonucu CPS üç bölümden oluşmaktadır.

- İnsan bileşeni (HC/ Human Component),
- Fiziksel bileşen (PC/Physical Component)
- Sayısal bileşen (CC/ Computatioanl Component).

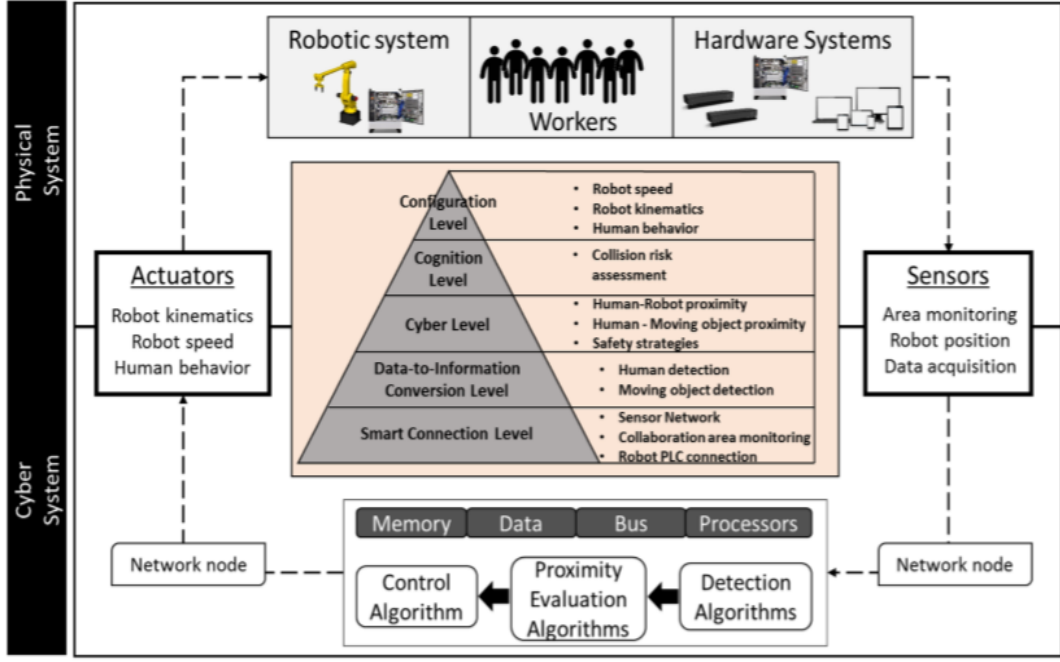
Robotik CPS'nin ana kontrol parametresi insan güvenliği mesafesidir, yüksek düzeyde bir insan-robot iş birliğinin gerçekleştirilmesi için önemli bir konu, sensör veri hızlarında üst düzey bir insan-robot iş birliğinin gerçek zamanlı kısıtlamalara ilişkin teknik sınırlamalardır. Operatörler operasyonlar sırasında, yüksek zihinsel zorlanmalar yaşar veya başka bir deyişle, robota olan mesafeleri azaldığında veya robot yüksek bir hızda kendilerine doğru hareket ettiğinde kendilerini daha az güvenli hissederler.

İnsanlarla robotların bir arada çalıştıkları iş birlikçi çalışma alanlarında çalışma alanları çakışır. Etkileşim ve iş birliği düzeyi, insan ve robot varlıkları arasındaki mesafe, iş birliğinin karmaşıklığı ve çalışma alanının paylaşım düzeyine göre biçimlendirilebilir. Yapılandırılmak istenen mimaride, tüm işletim kaynakları CPS'nin fiziksel kısmına aittir, çünkü hepsi birbirleriyle veya bağımsız olarak etkileşim kurabilir, veri alışverişinde bulunabilir ve davranışları siber bölümde bir kontrol algoritması tarafından özelleştirilebilir. İzlenen gerçek koşullara bağlı olarak, mimaride, böyle bir iş birliğinin gereklerini ve kısıtlamalarını bir çalışma alanındaki tüm işletme kaynaklarının üretim özellikleriyle birleştirerek sorunsuz bir insan-robot iş birliği sağlamayı hedeflenmektedir. İnsanın robota olan yakınlığına bağlı olarak hareket eden kapalı döngülü bir kontrol sisteminin oluşturulmasıyla insan güvenliği sağlanabilir. Bir çarpışma riski algılama modülü kullanılarak ve uygun çarpışma önleme stratejisi belirlenir. Görme ve dağıtılmış izleme sistemleri, gerçek zamanlı güvenlik değerlendirmesi ve çarpışma önleme stratejilerinin gerçekleşmesine olanak tanıyan düşük işlem ve değerlendirme süreleri sağlar.

Robotik ortamlarda çalışan operatörlerin, robotlarla iş birliği halinde veya etkileşimde olmaları durumunda kazalara karşı korunabilmeleri için aşağıdaki kombinasyonlara ihtiyaçları vardır.

- Çalışma alanına ait gerçek dünya koşullarına ilişkin bilgiler,
- Faaliyet gösteren kuruluşlardan veri toplama mekanizmaları,
- Zamanında veri alışverişi için iletişim hizmetleri,
- CPS varlıklarının durumunu kontrol etme ve yeniden yapılandırma yeteneğine sahip yazılım bileşenleri.

CPS ile ilgili varlıklar operatörler ve robot kollarıdır. Yaklaşımındaki otomasyon düzeylerine ilişkin yaklaşım her düzeyde bileşenler Şekil 34'de gösterilmiştir.



Şekil 34: CPS yaklaşımının implamantasyonu sırasındaki hiyerarşik diyagram (Nikolakis ve diğerleri, 2018)

- En düşük seviye, gerçek çalışma koşullarını almak ve yeniden yapılandırmak için donanım bileşenlerini (işletim alanını izlemek için sensör sistemleri, siber parçaya bir iletişim arabirimini destekleyecek insan mobil cihazları, fiziksel robot(lar) ve denetleyicisini) içerir.
- Veri alışverişi için iletişim hizmetleri, alan verilerini siber parçanın gerektirdiği bilgiye dönüştürerek, insana yakınlığını değerlendirmeye ve böylece robota ve ikinci olarak da hareket eden herhangi bir nesneye çarpma riski kadardır.
- Üçüncü ve orta seviye, fiziksel varlıkların veri işleme, değerlendirme ve kontrolü için gerekli tüm algoritmaları içerir. Bu noktada, fiziksel kısma herhangi reaksiyon gerçekleştirmek, bu düzeyde değerlendirme ve veri işlemenin, kısa sürede yapılması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.
- Biliş düzeyinde, insan (lar) ın çarpışma riski, insanın hareketli bir nesneye yakınlığı arasındaki mesafe olarak değerlendirilir.
- Üst katmanda, yapılandırma düzeyi reaksiyon stratejilerini ve fiziksel parçanın hareketlerini kontrol eden veya etkileyen algoritmalar içerir, örneğin robota acil bir durdurma tetikleme veya insan operatörünün mobil cihazına bir uyarı sinyali gönderilmesi gibi.

Referans verilen piramidin beş katmanında bulunan mekanizmalar, bağlı bir CPS, operatörler, robotik manipülatörler, Bilgi ve İletişim Teknolojisi (ICT / Information and Communication Technology) ve Yapay Zeka (AI/Artificial Intelligence) bileşenleri ile köprü kurmayı amaçlar ve sensör sistemleri ile gömülü bileşenler ham veri akışlarını (sensör verileri, zaman bilgileri, robot denetleyici verileri) siber kısma aktarırlar. Daha sonra, siber bölümde uygulanan bir kontrol stratejisi, zaman bilgileri, referansları ve bunların kaynağına göre verileri toplar ve ilişkilendirir. Daha sonra, verilerin işlenmesi gerçek çalışma koşullarını değerlendirmek için gerçekleşir. Denetleyiciler, sabit kablolu güvenlik durdurma, robotik PLC komutları, monitörler veya mobil cihazlar gibi yakındaki sabit veya uzak cihazlara gönderilen ve fiziksel sistemlerin davranışını etkileyebilecek robotik güvenlik önlemleri olabilir bu da Şekil 34'deki grafikte gösterilmiştir.

Önerilen CPS'nin hedeflerinin sağlanmasına yönelik olarak, insan ve robot davranışını yansıtan veriler, CPS tarafından kontrol edilen, her iki tarafın davranış/eylemleri ile birlikte kullanılmalıdır.

Son yirmi yıl boyunca imalat sanayiinin evrimini gösteren çeşitli paradigmlar vardır. Üretim sistemleri seri üretimden müşteri odaklı üretime ve kişiselleştirmeye geçiş deneyimi yaşamaktadırlar. Günümüzün üretim şirketleri küreselleşmiş, birbirine bağlı ve değişken bir pazarda performanslarını artırmak için çalışıyor. Sonuç olarak, birçok montaj hattı/istasyonu, insan müdahalesini ve karar almalarına katılımını azaltmak için insan zekasını otomasyon çözümlerine entegre etmeye odaklanmıştır ve verimliliği artırmayı hedeflemektedir. Robotla birlikte çalışan operatör potansiyel bir sistem belirsizliği olarak ele alınır böylece rolü kısıtlanır ve bir güvenlik açığı olarak kabul edilir. Öte yandan, robotlar, çalışmalarında, yapılandırılmamış değişken ortamlara kısıtlama ve / veya yapılandırılmamış değişken ortama pahalı adaptasyon, karmaşık programlama, yetersiz kullanılabilirlik, değiştirilebilir ve azalan üretim gibi fonksiyonel sınırlamalarla ilişkilendirilir. İnsan becerilerinin modern otomasyon çözümleriyle birleşimi, gerçek zamanlı bağlam farkındalığı ve güvenlik mekanizmalarının entegre edilmesi, piyasaların gereksinimlerini karşılayabilecek çevik bir üretim paradigmasının yaratılmasına yol açabilir. İşçilerle paylaşılan bir ortamda çalışan robotlar, insan güvenliğinin korunmasının büyük önem taşıdığı yeni bir hibrit (karma) üretim konseptini mümkün kılmaktadır, çünkü robotlar birlikte çalıştıkları insanlarda ciddi ve ölümcül yaralanmalara

neden olabilir. Bu gibi durumlarda, robotun hızı zararlı çarpışmaları önlemek için düşük tutulur. Ancak, çarpışma riski en aza indirilmişse, robot üretim süresinin büyük bir kısmında daha yüksek çalışma hızına izin verilebilir.

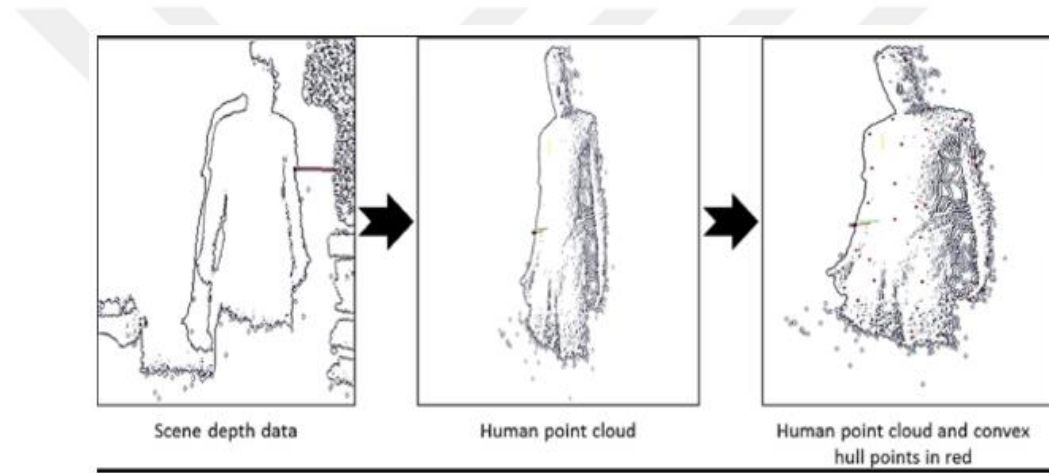
Güvenlikle ilgili uygulamalar, özellikle insan-robot iş birliği dahil olmak üzere, en sonuncusu, işçileri kazalardan ve yönetimi yasal yaptırımlardan koruyan çeşitli endüstriyel güvenlik standartları ile tanımlanmaktadır. İnsan-robot iş birliği için siber fiziksel sisteme göre emniyet ve güvenlik gereksinimleri, verimliliğin artırılması için çalışma alanındaki insanlar ve robotlar arasındaki etkileşim düzeyine dayanmaktadır. İnsan ve robotlar arasındaki iş birliğinin, el ile çözüme kıyasla temas süresini azaltmak açısından, bireysel karmaşık montaj süreçlerinin verimliliğini artırıcı olduğu belirtilmiştir. Pasif hareket yönlendirme tekniği, insan güvenliğinin korunması için sınırlı bir güç yardımı ile birleştirilir, manuel hücreye göre, iş birlikçi çalışma hücrelerinde daha düşük döngü sürelerinin olduğu görülür. Bu arada operatörün görsel takibi ile birlikte kuvvet ve tork ölçümleri de sağlanır. Eşik değerlerine dayalı bir güvenlik algoritması uygulanarak insan eli ile robot üzerindeki takım arasındaki ara mesafeye bağlı olarak güvenlik politikaları (robot güvenlik durdurma veya insan elinden uzaklaşma) belirlenir, ortak fiziksel etkileşim için nicel modellerin hesaplanması ve Markov Karar Süreci'nin kullanımıyla etkinleştirilmiş bir sonraki eylem beklentisi stratejisi ile öngörülebilir kantitatif değerlendirmeler yapılır.

Genel olarak, güvenli insan-robot iş birliğine yönelik yaklaşımlar iki kategoriye ayrılabilir: etki öncesi ve sonrası. Etki öncesi yöntemler robot ve insan ayırımına dayanır ve ayırım önceden belirlenmiş bir güvenlik eşiğinin altında olduğunda önleyici eylemlere olanak sağlar. Öte yandan, tepki sonrası yaklaşımlar, özellikle insanla teması tespit ederek tehlikeli seviyenin altındaki insanlar için temas kuvvetlerini azaltıp çarpışmaları tespit etmeye ve tepki vermeye odaklanır. İkinci kategori, insan operatörü için doğal bir risk de dahil olmak üzere bir çarpışmayı gerektirirken, ilki, yeterince doğruysa, güvenlik reaksiyonlarını önceden uygulayarak bu riski en aza indirir. Ancak, bu durum daha düşük verimliliğe yol açabilecektir. Özellikle karmaşık işlerin yapıldığı, iş birlikçi ortamlarda insan güvenliğinin korunmasına yönelik yaklaşımların, risk analizi ve azaltma önlemleri de dahil olmak üzere ayrıntılı bir risk değerlendirmesinin mutlaka yapılması gerekli görünmektedir. (Y Chinniah Robot safety: overview of Risk assessment and reduction). Bu konuda yapılan risk değerlendirme stratejilerinin ortak bir özelliği, güvenlik

politikaları ve standartları ya insan yakın olduğunda robotun hızını düşük veya sıfır seviyelerde tutmak ya da robotu insandan uzaklaştırmak ve böylece aralarındaki mesafeyi korumaktır.

Robotu kontrol eden, Programlanabilir Mantık Denetleyicisi (PLC/ Programmable Logic Control) robotun o andaki konumu, hızı ve eklem koordinatlarını yansıtan bilgiler sağlar. Bu veriler, kontrol birimine gönderilen uygun komutlar aracılığıyla davranışlarının izlenmesini ve kontrol edilmesini sağlar. Hız adaptasyonu ve robot hareketlerinin yeniden yapılandırması insan güvenliği ile ilgili kritik işlevlerdir. Benzer bir yaklaşımda, operatörler iletişim servisleri tarafından desteklenen mobil cihazlar ve uygun yazılım arayüzleri aracılığıyla CPS ile etkileşime girebilir. Çalışma süresi boyunca, işçiler, akıllı bir sistem aracılığıyla mobil cihazlar aracılığıyla, talimatlar, rehberlik, görev atamaları ve çarpışma riski bildirimleri şeklinde, daha dikkatli olmaları ve/veya faaliyetlerini ayarlamaları konusunda uyarılarak verilen görevleri gerçekleştirmek için destek alabilirler. Ek mobil varlıkları destekleme bağlamında, paylaşılan çalışma alanında çalışan ve çalışanlar ve robotlarla etkileşime giren bir izleme sistemi vardır. Önerilen yaklaşımda, derinlik veri alımını desteklemek için kullanılan Kinect v2 optik sensörler kullanılmaktadır. Derinlik verileri, çalışma alanı ve içinde gerçekleşen faaliyetler hakkında 3D/3 boyutlu bilgi sağlar, böylece insan / nesne algılama ve izlemeyi mümkün kılar. 3D veri akışları, karmaşık ve zaman alıcı işlem gerektiren yüksek miktarda dijital bilgi içerir, ancak insan fiziksel vücut hacmine dayalı insan güvenliği senaryolarında önemli olarak kabul edilen herhangi bir değerlendirmeyi etkinleştirebilir. PLC, derinlik sensörleri ve mobil cihaz donanımlarının kombinasyonu, paylaşılan çalışma alanı koşulları hakkında dijital bilgi şeklinde gerekli bilgileri sağlar. Kurulan ağ bağlantıları ve iletişim kanalları aracılığıyla, gerçek çalışma koşulları hakkında bilgi içeren veriler, analiz ve alt süreçler için CPS'nin fiziksel kısmından siber bölüme aktarılır. CPS'nin siber bölümünde, derinlik sensörleri tarafından birden fazla düzenden (frame) elde edilen derinlik verileri, insanların ve hareketli nesnelere tanımlanması için işlenir. Hareket ardışık sahne düzeneklerinin karşılaştırılması ile algılanır. Bu karşılaştırma ortak bilgilerin çıkarılmasıyla gerçekleştirilir. Bir derinlik sensörü tarafından üretilen veriler bir nokta bulutu biçimindedir, yani üç boyutlu uzayda Kartezyen koordinat noktaları olarak adlandırılırlar. İş birliği sırasında insan güvenliği için zamanında insan algılama ve izleme süreci sağlanmalıdır. Kinect v2 sensörünün iki veri akışını desteklediği göz önünde bulundurulmalıdır; derinlik verileri ve iskelet yapısı

verileri. Kinect v2 sensörünün iki veri akışını desteklediği göz önünde bulundurulmalıdır; derinlik verileri ve iskelet yapısı verileri. İnsana özgü derinlik bilgileri, iki veri akışı ve böylece oklüzyonlar(tıkanmalar-aksamalar) nedeniyle, insan tespitinin doğruluğunu arttırmak ilişkilendirilerek ortaya çıkarılabilir. Derinlik haritasının oluşturulması ile beraber uzaydaki Kinect konumu referans olarak kabul edilerek, üç boyutlu uzayda çok sayıda nokta içeren insan noktası bulutu üretilerek, nokta bulutunun, yerel sensörüne göre koordinat referans sistemine sahip olduğu belirtilmelidir. Gerçek zamanlı ve insanlarla ilgili yakınlık değerlendirmesini mümkün kılmak için, insanın 3D noktalarına ilişkin veri kümesinin dışbükey gövdesinin oluşturulmasıyla boyutu küçültülür. Sonuç olarak, operatöre ait bulut zarfı üzerindeki noktalar daha fazla değerlendirilmek üzere hafıza tutulur. (Şekil 35)



Şekil 35: Temas sırasındaki kuvvetin cilt yüzeyinde hissedilen (Nikolakis ve diğerleri, 2018)

Birden fazla sensörün birlikte çalışması, izlenen alandaki kör noktaların en aza inmesini kolaylaştırır. Deneysel kurulum için, bir robotik denetleyicide ve kablosuz bir ağ tarafından etkinleştirilen bir Android cihazında senkronize bir TCP / IP soketleri bulunur. Veri aktarım gecikmelerinin en aza inmesi için, ağ, sınırlı bir alan üzerinde ve az bir sayı düğümü için kurulur. Robotik denetleyicideki soketler, robot ucu efektör koordinatlarının denetim altında tutulması ve yavaşlatma /durdurma gibi hızla ilgili komutların iletilmesi için güvenlik stratejilerine bağlı olarak kullanılır. Ayrıca, android cihazdaki soket aracılığıyla, çalışma alanındaki çalışanlar herhangi bir hareket eden cismin sınırlandırılmış alana doğru hareket ettiği konusunda sesli olarak uyarılır. Mevcut uygulamanın temel işlevlerinden birisi ise ölçeklendirilebilir olmasıdır. Bir sensör

kullanılması durumunda, siber parçanın tüm hesaplamaları tek bir bilgisayarda yerel olarak gerçekleştirilir. Ancak, birden çok sensör sistemi kullanıldığında,

Derinlik veri işleme adımları, koordinatların dönüşümü ve mesafe hesaplaması çeşitli düğümler arasında dağıtılır. Daha sonra, sonuçlar CPS fiziksel varlıkların (insan ve robot) kontrolünden sorumlu merkezi bir düğüme aktarılır. Daha sonra, hesaplanan mesafelerin ortalama değerlerine göre seçilen güvenlik ilkelerini uygular. Sensörlere bağlı bilgisayar sistemleri, 3D grafik işleme ile ilgili bazı minimum gereksinimleri karşılamalıdır. Böylece, bu yaklaşım kısa hesaplama süreleri ile sistemin hızlı karşılık vermesini sağlar.

Mesafe hesaplama bileşeni, daha önce belirtilen ve bağımsız bir windows uygulaması olarak dağıtılan tüm işlevlerle sarılmıştır. TCP/IP soketleri aracılığıyla iletişim sağlanır, böylece gerçek çalışma koşullarına uygun kontrol stratejilerinin neredeyse gerçek zamanlı olarak seçilmesine dayalı karar alma olanağı sağlanmış olur. Ek olarak, uygulama robot simülasyonları ve sensör sistemlerinin nokta bulutları ve dışbükey gövdeleri ile etkileşim için kullanılabilen Unity çerçevesiyle sınırlı etkileşimi destekler. Unity, bir veya daha fazla robotun sensör bilgilerini okur ve robotun bir oyuncu olduğu gerçek çalışma koşullarını içeren modeli oluşturur, yapay zeka davranışı Unity tarafından sağlanır, bu davranış daha sonra bu davranışı gösterecek olan fiziksel robota geri gönderilen komutlara çevrilir.

Şekil 36'da Unity görselleştirmesi ile çalışan uygulamanın ekran görüntüsü görünmektedir. Bu Şekilde, insan noktası bulutu kırmızı, konveks gövde ise yeşil olarak belirmektedir. Görselleştirme arayüzü sadece denetim amaçlıdır, bu nedenle robotun yakınındaki insan varlığını görselleştirmek için insan noktası bulutunun ve dışbükey gövdenin sınırlı bir alt kümesi kullanılır. Birlik grafikleri yüksek kalitededir ve sahnenin çalışma zamanında güncellenmesini zorlaştırır. Daha net görselleştirme için daha hafif bir aracın seçilmesi veya 2D bir arayüzün benimsenmesi gelecekteki araştırmaların ana hedefi olacaktır.



Şekil 36: Geliştirilen uygulama aracılığıyla kullanım örneği görselleştirilmesi (Nikolakis ve diğerleri, 2018)

4.BULGULAR

Tezde endüstriyel ve kolaboratif robotlar, uygulamalar ve uygulamalar sırasında gündeme gelebilecek çeşitli riskler hakkında bilgi verilmekte ve risklerin azaltımı ile risklerin oluşumuna hakkında yapılması gereken risk analizlerinde dikkat edilmesi gereken hususlar ile bunlar için alınması gereken önlemlerin neler olabileceği konusunda bilgiler verilmektedir. Risk analizleri yapılırken, özellikle ISO/TS 15066'nın tavsiyelerine göre hareket edilerek, burada verilen limitler üzerinden hareket edilmiş, risk analizi ve risk azaltma önlemleri özetlenmiş, riskleri azaltmak için kullanılan genel yöntemlerin yanı sıra ana tehlikeler de hakkında da bilgi verilmiştir. Bu bölümde, yapılan çeşitli araştırmalarda, robot/insan iş birliği sırasında robot insan temasında, tehlike yaratabilecek unsurlar ele alınmış, özellikle ISO/TS 15066 tarafından verilen eşik değerlerle uyumları ele alınacaktır.

Kobot/operatör iş birliği için yapılacak risk analizlerinde çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır, ancak analiz sonuçları her bir robotun kullanıldıkları uygulamalarda aynı neticeyi vermediği anlaşılmıştır. FMEA ve FTA gibi geleneksel yaklaşımların, insan faktörleri ve tehlike kombinasyonları nedeniyle her zaman tehlikeyi yakalayamadıklarından HRC için uygun olmadıkları görülmüştür. Bu yüzden de robotik uygulamalarda tehlike tanımlamasını iyileştirmek için resmi doğrulama yöntemleri tercih kullanılmaktadır. Bu yöntemler, operatör, ekipman veya verimlilik ile ilgili potansiyel tehlikeleri belirlemek ve değerlendirmek için bir dizi toplantı ve beyin fırtınası sürecinden oluşan HAZOP gibi teknikleri tamamlamak için uygulanabilir. Buradaki amaç deneyimli kullanıcılardan ve deneyimli güvenlik mühendislerinden mümkün olduğunca fazla bilgi almaktır. Bazı durumlarda, kontrolle ilgili kusurları tanımlamak için, sistemin kontrol yapısının bir modelini oluşturan STPA kullanılıp, yarı resmi veya resmi çözümlerin bir kombinasyonu halinde robotik konulardaki güvenlik sorunları ele alınabilir. STPA ve HAZOP gibi yaygın kullanılan yaklaşımlar ise her ne kadar biçimsel çözümlerle birlikte kullanılırlarsa da ancak tehlike tanımlama ve güvenlik tasarımı için genel bir çerçeve oluşturabilirler. Robotun davranışını tanımlamak için durum çizelgeleri kullanılarak, HAZOP'la birlikte, potansiyel tehlikeleri, nedenlerini ve ciddiyetlerini belirlemek için UML modellerine ilişkin diyagramların da kullanıldığı örnekler mevcuttur.

HRC uygulamalarında, güvenlik analizlerinde kullanılan yaklaşımlardan biri de SAFER-HRC metodolojisi. Metodoloji, operatörler ve robotlar arasındaki öngörülebilir

istenen ve istenmeyen etkileşimleri (hatalar) araştırmak için resmi doğrulama tekniklerine dayanmaktadır.

2012 yılında İngiltere’de yapılan ve hazırlanan (HSE) Health and Safety Laboratory for the Health and Safety Executive Report’ta yayınlanan Collision and Injury Criteria When Working With Collaborative Robots başlıklı makalede, robotun insana çarpması sırasında insan üstündeki koruma ekipmanını test etmek için CEN/TC 162, elektrikli kapılar için kabul edilebilir çarpma değerlerini içeren BS EN 12453:2001 standartlarından faydalanılarak, çarpışma sırasında, insan vücudundaki, darbe kuvveti, sıkışma, darbe, ezilme veya kırılma konusundaki tavsiyeleri incelenmiş ve basınç, etki, darbe, kırma kuvvetleri üzerine araştırmaların mevcut durumu ve çarpma sonrasında vücut bölgelerindeki etkilerine ilişkin değerlendirmeler üzerinde durulmuştur.

Tablo 18’de, ISO/TS 15066 taslağından alınan değerlerin, CEN/TC 162 taslağından alınan değerlerle karşılaştırmasını göstermektedir. ISO / TS 15066 taslağı için seçilen değerlerin, CEN / TC 162’de önerilen değerlerin neredeyse hepsinden daha düşük olduğu görülebilir, bu da kuvvet seviyelerinin temkinli seçildiğini gösterir. ISO / TS 15066 taslağında insan vücuduna ilişkin çeşitli kategorilerin, CEN / TC 162 belgesinde birebir eşdeğerlerinin olmadığı görülür, CEN/ TC 162 sadece vücut bölgelerindeki kırılma / başarısızlık verilerini kullanma eğilimindeyken, ISO / TS 15066 ağrı eşiklerini ve cilt / et hasarını dikkate almaktadır. CEN/ TC 162’deki değerler, standarttaki referanslar listesinin Ek 1’inde olduğu gibi, verilen referanslarla bir dizi araştırma kaynağından toplanmıştır.

Tablo 18: Taslak CEN/TC – 162 ve taslak ISO/TS-15066'dan kuvvet sınır değerlerine yönelik bazı karşılaştırma değerleri

(HSE, 2012)

Body area	Level of injury resulting from impact force ranges (N)		
	CEN/TC-162 Severe / moderate	CEN/TC-162 Slight or no injury	ISO/TS 15066* Injury criteria
Skull top / forehead impact	600 to 11000N	<1000N	175N
Face	900 to 5500	<100	90
Neck (front/larynx)	700	<100	35
Chest / ribs	580 to 8500	<500	210
Belly / abdominal organs	1000 to 4000	800 to 2000	160
Back	2000 to 5000	<2000	250
Upper arm / elbow joint	2000 to 4000	1700	190
Lower arm / hand joint	500 to 3800	500	220
Thigh / knee	2600 to 10000	1000 to <5000	250
Lower leg	900 to 8000	<1000	170
Feet / toes / joint	130 to 1300	Not listed	160

**Level of injury is defined in ISO/TS 15066 as: 'In the established main and individual body regions according to Table 1, only those stresses on the skin and underlying connecting or muscle tissue may occur where there was no deeper skin/tissue penetration accompanied by lacerations or abrasions, fractures or other skeletal damages. ... Under no circumstances a risk for injuries with higher severity than category 1 of the Abbreviated Injury Scale (AIS1) and more severe than with the codifications for surface injuries of the ICD-10-2006 can be tolerated.'*

ISO / TS 15066 taslağı sınır değerlerinin, Yolcu Koruma ve Raylı Sistemlerde Çıkış (OPERAS) projesi için raporda bulunan tolerans değerleri ile bazı karşılaştırmaları Tablo 2'de verilmiştir. Örneğin, ISO / TS 15066 'da kuvvet değerleri Newton olarak verilirken, OPERAS projesi, toleransı g-kuvvet veya maksimum fiziksel yer değiştirmeyi mm cinsinden vermiştir.

Tablo 19: Taslak ISO/TS-15066 ve diğer literatür kaynaklarından kuvvet sınır değerlerinin karşılaştırılması

(HSE, 2012)

<i>Value from Draft ISO/TS 15066¹</i>		<i>Value from OPERAS report</i>	
<i>Criteria description</i>	<i>Value (N)</i>	<i>Criteria description</i>	<i>Value⁴ (mixed units)</i>
Skull/Forehead CSF ²	130N	No skull fracture	<2200N
Skull/Forehead IMF ³	175N	AIS 0-1, no concussion	<55g for 3ms
Face CSF	65N	AIS 0-1, no facial injury	<250N
Chest CSF	140N	AIS 0, no rib fracture	<=58mm chest deflection
Chest IMF	210N	Minor injury, sternum	3300N
Chest IMF	210N	25% chance of AIS 4 injury	5500N
Belly CSF	110N	AIS 0, no injury	<20mm deflection
Pelvis IMF	250N	AIS 0, no fracture, lateral	<4000N
Uppr arm/Eblw joint IMF	190N	Humerus, bending, female	1710N
Lwr arm/Hand joint IMF	220N	Ulna, bending, female	810N
Lwr arm/Hand joint IMF	220N	Radius, bending, female	670N
Hand/finger IMF	180N	No hand fracture	<5m/s impact velocity
Thigh / knee IMF	250N	Femur, bending, female	2580N
Thigh / knee IMF	250N	No dislocation	<8mm lng shear displacement
Lower leg IMF	170N	Tibia, bending, female	2240N
Lower leg IMF	160N	Fibia, bending, female	300N

¹ See Table 1 for a description of the injury criteria for the ISO/TS 15066 force values;

² CSF = Clamping / squeezing force

³ IMF = Impact force

⁴ Some values are not directly comparable because of the difference in the units, but are provided for making a qualitative comparison. Even where units are the same, the exact method and site of measurement is likely to be different, which limits comparisons.

Elektrikli kapılar ve kapılar için BS / EN 12453: 2001 standardı, zaman içinde değişen bir kuvvet limiti sağlar - 0.75 saniye boyunca maksimum 400N başlangıç kuvvetine izin verilir, bundan sonra kuvvet, 5.0 saniye boyunca 150 N'yi geçmemelidir, statik kuvvetin 25 N'u geçmesine de izin verilmez. Bu durumda kuvvet hiçbir zaman 50 N'a ulaşmayacak ve 5 saniye içerisinde de kapı geriye itilecektir.

Standartlar arasında, verilen kuvvet sınırlamaları arasındaki farklılıklardan dolayı bu durumlarda karmaşık bir durumun çıkması gündeme gelebilir. Zaman içindeki bu değişken kuvvet limiti 50 ila 500 mm'lik boşluklar için geçerli olup, değerler vücudun

çoğu kısmı için geçerli gibi görünmektedir. Bununla birlikte, bu kuvvet sınırları için yaralanma kriterlerinin açıkça tanımlanmadığı, yani sınırın, ölümü, ciddi yaralanmayı veya hafif yaralanmayı önleyecek şekilde tasarlanıp tasarlanmadığı çok belirgin değildir.

Vücudun bir bütün olarak dinamik karmaşıklığına bir başka örnek, bir nesne ile çarpışmadan sonra başın veya vücut parçalarının hızlı hareket etmesi nedeniyle boyundaki kuvvetlerdir. Örneğin, mankenlerin kullanıldığı çeşitli çarpışma /darbe testlerinden başa gelen darbe kuvvetlerinin boyuna aktarılabilmesi görülmüştür. Test mankeninden alınan kuvvet ölçümleri, test sırasında kafaya verilen darbe değerleri için boyuna gelen kuvvetler incelendiğinde, çevredeki nesnelerin kısıtlamalarının boyuna aktarılan kuvvetleri nasıl önemli ölçüde etkileyebileceğini görülebilmektedir. Kafa ve gövde için kabul edilebilir bir darbe kuvveti koyma girişimi, boyunda kabul edilebilir vuruş kuvvetlerinin dikkate alınmasını gerektirecektir. Sonuç olarak, kafa ve gövde için verilen kabul edilebilir darbe kuvvetini belirlerken, bu kuvvetlerin boyunda oluşturabileceği darbe değerlerinin sınırlarını da belirleyeceği saptanmıştır, ancak bu tip vuruş kuvvetlerinin ISO / TS 15066 taslağı içindeki kuvvet sınırlarında dikkate alınmadığı taslağı hazırlayanlarla karşılıklı teyit edilmemiştir.

- İnsan Davranışının Güvenilirliği

İşbirlikçi çalışma ortamında robot operatör teması mutlaka ortak çalışma alanında olacaktır. Robotun hareket eden kısmının konumu çok önemlidir, çünkü değişken veya bilinçsiz bir operatör hareketinde, vücuttaki temas eden noktaya göre yaralanma veya ezilmenin seviyesi de farklı olacaktır. Bu istemsiz ve güvenilmez operatör davranışlarının detaylı bir şekilde açıklanması gereklidir.

Kolaboratif robotlarda, geleneksel robotlardaki çitlerin kalkmasıyla beraber, insan/robot temas olasılığı daha çok arttığından, risk değerlendirmeleri yapılırken insan performans güvenilirliğinin de mutlaka değerlendirilmesinin gerekli olduğu görülmüştür. Çitlerin kalkmasıyla birlikte insanlarla robotların birlikte çalışıyor olmalarına rağmen daha aza temas olduğu gözlenmiştir, çünkü çitlerdeki temasların veya kazaların birçoğunda istemeyerek te olsa insanların performansları etkili olmaktadır.

- Güvenli Çalışma Alanı Paylaşımı İçin Temassız Modlar:

ISO/TS 15066:2016, iş birlikçi çalışma alanında hareket eden robotlar için ISO 13855'te önerilen minimum güvenlik mesafelerinin dikkate alınmasını önermektedir. Her

ne kadar, tasarım sırasında 15066'da önerilen sensörler kullanılıyor olmasına rağmen, yapılan çalışmalarda, birden fazla robot ve operatörün çalışmasının söz konusu iş birlikçi alanlarda, tasarım sırasında mutlaka robot ve operatörlerin göreceli konumları, hızları ve güvenli mesafeleri izleyip denetleyebilecek kademeli sensörlerin kullanılmasının gerekli olduğu saptanmıştır.

Yapılan başka bir risk analizinde, tozlu veya değişken ışık koşullarındaki, çalışma ortamlarında yetersiz görünürlük, iş birlikçi alanda çalışan gerek operatörlerin ve gerekse robotların mesafeleri ve konum bilgilerini algılamakta zorlandıklarını göstermiştir. Bu durumlarda kullanılan sensörlerin, seri, ani ve hassas tepkiler verebilecek özelliklerde olması gerektiği anlaşılmıştır. Robotların bu alanlarda, bir sisteme entegre vaziyette çalışmaları nedeniyle, buradaki sistemin de mutlaka EN ISO 13849-Bölüm 1 ve 2 ve EN ISO 13855 gibi ilgili güvenlik standartlarını karşılaması gerekir. Şekil 37'de görüldüğü gibi, birden fazla operatör ve robotun çalıştığı iş birlikçi ortamlarda, güvenlikle ilgili bileşenlerin uygun ortama göre seçilmiş, ve hareketleri seri bir şekilde izleyebilir olmaları gerekir.



Şekil 37: Birden fazla Tanımlamaya ihtiyaç duyulan çok katılımlı bir iş birlikçi çalışma alanı senaryosu

(Khalid ve diğerleri, 2016a)

5.TARTIŞMA

Son çalışmaların birçoğunda, yarı resmi çözümler veya yarı resmi ve resmi çözümlerin bir kombinasyonu kullanılarak insan müdahalesi ile robotik uygulamalarda güvenlik sorunları ele alınmıştır. Örneğin, durum çizelgeleri önce robotun davranışını tanımlamak için kullanılmış ve daha sonra da HAZOP, potansiyel tehlikeleri, nedenlerini ve ciddiyetlerini belirlemek için Birleşik Modelleme Dili (UML/Unified Modeling Language) modelleri kullanılarak çalıştırılmıştır.

Machin, M., Dufoss'e, F., Blanquart, J., Guiochet, J., Powell, D., Waeselyneck, H., Specifying safety monitors for autonomous systems using model-checking. In: Proc. of SAFECOMP, konulu çalışmalarında, tehlikeleri UML ve HAZOP'UN bir kombinasyonu ile tanımlamış, daha sonra CTL' Hesaplama Ağacı Mantığında (CTL/Computation Tree Logic) resmileştirmiştir. Daha sonraki bir çalışmada aynı yazarlar bir dizi eğer-ise-değilse güvenlik kısıtlamasını hesaplayıp, daha sonra tahmin edilen tehlikeleri önlemek için bunları sistemin mantıksal modeline eklemişlerdir. Ancak, uygulama etki alanları iş birlikçi robotlardan ziyade yardımcı robotlardan oluşur ve bu nedenle operatör, anında kararları veya hataları belirleyici bir gerçek olarak kabul edilmeyen pasif bir unsur olarak kabul edilir. Guiochet, J., Hazard analysis of human-robot interactions with HAZOP-UML. Safety Science 84, 225–237 (2016) çalışmasında, HAZOP ve UML'İN eşleştirilmesini sistematize eder ve resmi bakış açısını ortadan kaldıran ve gayri resmi bir çözüme odaklanan iş birlikçi senaryolar için de çeşitli sonuçlar sunar.

Risk analiz süreci, endüstriyel makine kullanan işçileri korumak için tasarlanmıştır. Robotik söz konusu olduğunda, robot ve aksesuarları ile bir işlem gerçekleştirirken robotik hücre kullanıcılarının güvende olmasını sağlamak için uygulanır. Risk analizleri, robot entegrasyonunu standartlaştırmak ve robotik hücre tarafından belirli bir güvenlik düzeyine ulaşıldığından emin olmak için uygulanır. Ancak risk analizi süreci, hücrenin entegre olduğu yerlerde geçerli olan yasa ve mevzuata uygun olarak da yapılmalıdır. Robot ve robotik cihaz üreticileri, cihazları için güvenlik gereksinimleri (PL = d kategori 3) oluşturmuş olsalar bile, robotlar ve insanlar arasında doğrudan veya yakın temas meydana geldiği için uygulama ve ortamın kendisi dikkate alınarak, risk analiz sürecinde hala işlenmesi gereken önemli noktalar mevcut olabilir.

Risk değerlendirmeleri sırasında, insan robot arasındaki dinamik çarpışma sırasında insan vucudu üzerinde çeşitli olumsuz etkiler yaratabilir, örneğin bir çarpma sonunda çarpma hızlı olmasa bile kafanın hızla dönmesi sırasındaki bir çarpışma kafatası ve beyin için oldukça zararlı olabilir. ISO / TS 15066 taslağında, kafa için darbe sınır değerleri belirtilmesine karşın, bunun beyne vereceği olası zararlar üzerinde fazla durulmamıştır. NATO için yapılan bir araştırmada, çarpma sonunda beyin hasarı oluşmadan önce baş ve boyunda oluşabilecek hayati hasarların oluşabileceğinden bahsedilmiştir, ancak konuyla ilgili diğer kaynaklar bunu teyit etmemiş bazıları da aksini ileri srmuşlerdir.

Çeşitli vucut yaralanmalarına neden olan kuvvetler hakkında bilimsel veri elde etmenin etik zorlukları nedeniyle, kuvvet değerleri için birçok veri kaynağı geç ve çok formda nüfus türleri, kadavralar veya bilgisayar modelleri ile çalışmalara dayanmaktadır. Elde edilen veriler düzensizdir ve yaş aralıklarında ve vucut özelliklerindeki değişkenlerle uygulanması zordur. Araştırmalar, kemik ve yumuşak dokuların esnekliğinin yaşla birlikte önemli lde düştüğünü ve bunun büyük lde değişebileceğini göstermiştir (rn. 20 ila 80 yıl arasında esneklikte %20'lik bir azalma mümkündür). İyi veri eksikliği nedeniyle, ISO / TS 15066'da gösterilen değerler kısmen temkinli görünebilir, ancak taslakta kullanılan bilimsel verilerin kesin doğasının taslak ISO geliştiricileri ile doğrulanması gerekir.

ISO /TS 15066'da, risk analizlerinde esas alınacak değerler olarak, vucut bölgelerinden, sadece boyunla beraber baş, göğüs, karın, kalça, leğen kemiği, st kol, dirsek, el parmakları diz, ayak ve bacak için sınırlı veriler mevcut olup, bunun dışındaki bölgeler tanım dışı bırakılmıştır.

ISO / TS 15066'nın ilk taslağında, birincil hedefin çarpışmayı önlemek ve kişi ile robot arasında güvenli bir mesafeyi korumak olduğu ve ISO / TS 15066'da belirtilen kuvvet sınırlarının, güvenli mesafeyi korumak için tasarlanmış sistemler arızalandığında geçerli olduğu açıkça ortaya konmamış olmasına rağmen bunun son taslakta düzeltildiğini görüyoruz. Bu önemli bir noktadır, nk güvenli bir mesafeyi koruyamama olasılığı, kobotla birlikte çalışan iş birliklerinin maruz kaldığı risk seviyelerini ve kabul edilebilir yaralanma kriterlerinin ne olması gerektiğini belirgin bir şekilde etkiler. İnsanların yeterince korunup korunmayacağı büyük lde çarpışma olasılığına ve çarpışma kuvvetlerine bağlıdır. Bu nedenle, iş birlikçi robotların

kullanımında emniyet yönetimi açısından, operatörü çarpışmaya karşı koruyan arıza modları ve arıza oranları çok önemli etkenlerdir. Ancak bu arada çarpışma olasılığına ilişkin frekansı da hesaplarda göz ardı etmemek gerekir. Taslakta tüm vücut bölgelerine ait sınırlar mevcut olmayıp, temas halinde neler olacağına ilişkin tüm vücut bölgelerine ilişkin senaryolar üzerinde de çalışılmamıştır. Bu arada, iş birlikçi ortamlarda robotlarla iş birliği yapacak operatörlerin olası bir çarpışmada minimal düzeyde etkilenmelerini sağlamak için çeşitli KKD'ler kullanılması önerilmiş, ancak herhangi bir temas, çarpışma veya sıkışmada bu koruyucuların kuvvete maruz kalmaları durumunda bu temasın operatöre nasıl yansıtacağı konusunda detaylı bir bilgi verilmemiştir.

Özellikle temas sonrasında vücudun çeşitli yerlerinde maruziyet süresi ile maruz kalınan güç ve kuvvetin değerlerine bağlı olarak neden olabilecek ezilme, yaralanma veya kırılmayı tahmin edip değerlendirebilmek için çeşitli senaryolar hazırlamak gerekecektir. Bu senaryoların değerlendirilmesi sırasında, daha önce de belirtildiği gibi, STPA, FTA, FMEA veya HAZOP gibi aynı hedefe sahip geleneksel yöntemler kullanılabilir., ancak bunlardan STPA, hata oluşmayan ancak sistem bileşenleri arasındaki güvensiz ve istenmeyen etkileşimler nedeniyle sorunlar ortaya çıkan senaryolar da dahil olmak üzere daha geniş bir potansiyel senaryolar kümesi içerir. Diğerleri ise, en fazla risk ve güvenlik açığı analizi teknikleri, işlevsiz (güvensiz veya güvensiz) davranışlar, daha geniş sosyal ve örgütsel faktörler yerine fiziksel başarısızlıklara odaklanırlar. STPA, güvenilirlik teorisinden çok sistem teorisine dayanan bir risk analizi tekniğidir. Güvenlik kısıtlamalarının uygulanması bileşen hatalarının işlenmesini gerektirse de diğer istenmeyen ve belirlenen nedenler de kontrol edilmesi gereklidir.

Olası risk bilgilerinin daha önceden doğru tespit edildiği durumlarda, FMEA ve FTA analizlerinde doğru risk analizleri yapılabilir, yeni bir iş birlikçi çalışma alanı tasarımı için, eğer olası riskler hakkında detaylı bir ön bilgi mevcut değilse bu iki yöntem çok ta başarılı olamayabilecektir. Bu yöntemler, gerçekleştirilmesi gereken görevleri dikkate almadığından, risk değerlendirmesi yapmak için JAS (İş Güvenliği Analizi) daha iyi bir seçenek olacaktır. Burada asıl yapılması gereken, alt görevleri tehlike açısından analiz etmek ve bu tehlikelerin etkilerini azaltmak veya geçersiz kılmak için yöntemler veya prosedürler önermektir.

Bu tehlikelerin etkilerini azaltmak veya geçersiz kılmak için yöntemler veya prosedürler önermektedir.

Robotlar da dahil olmak üzere, her türlü endüstriyel makine ve bunların bir üretim tesisinde kullanılması güvenlik standartlarına uygun olmak zorundadır. Robotlar ve endüstriyel makinelerin hepsinin çalışması sırasında birtakım riskler mevcuttur, ancak insanlarla birlikte çalışan iş birlikçi robotlara baktığımızda ek birtakım risklerin gündeme geldiğini görürüz. Yapılacak risk değerlendirme sırasında kullanılacak yöntemler aşağıda belirtilen standartların koşullarını karşılayabilecek nitelikte olmalıdır.

Efektör, enerji sağlayıcı veya dış enerji bağlantıları Genel Makine Güvenlik Standartlarının SS-ISO- 12100:2010 'da belirtilen ve risk değerlendirme sırasında kullanılacak bilgileri içermelidir.

Endüstriyel robotların emniyet tasarımlarının SS-ISO 10218-1:2011'de belirtilen öneriler ışığında yapılması gerekir. Bu bölümde robot ve entegre çalıştığı sistemdeki robotların güvenliklerinin neler olması gerektiği gibi hususlar üreticiye tavsiye edilir.

Yeni çıkan ISO/TS 15066'da ise doğrudan Kolaboratif (İşbirlikçi) Robotlardan söz edilir ve bu robotların güvenlik gereksinimlerinin yanı sıra operatörlerle birlikte çalıştıkları alanın güvenliği için neler yapılması gerektiği belirtilir.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Robotik alanında mevcut güvenlik analizi araştırmaları üzerine kapsamlı bir literatür araştırması yapıldı ve bunların hiçbirinin operatörü proaktif bir faktör olarak tanımadığı bulundu. Genel olarak insan faaliyetlerinin ve robotlarla etkileşimlerinin neden olduğu güvenlik ihlallerine odaklanılmamaktadır. Ayrıca, uluslararası standartlar ve robotik camia ile uyumluluk yoktur.

İşbirlikçi çalışmada operatörlerin davranışlarını belirleyen bilişsel ve görev analitik modeller olmak üzere iki kavram mevcuttur. Bunlara ek olarak tekrarlama, yanlış sıralama ve izinsiz giriş gibi bilişsel-akla yatkın insan davranışları üreten ilkelerin tanımlanması ve bunlara ilişkin bilişsel psikolojiden biçimlendirilmiş şablonların oluşturulması gerekir. Bilişsel şablonlar insan yaratıcılığından kaynaklanan makul hatalarla ilgilenmediğinden robotun hareketinin izlenmesi sırasında ön ve son koşulların denetim altında tutulması gerekir.

Risk analiz süreci, endüstriyel makine kullanan işçileri korumak için tasarlanmıştır. Robotik söz konusu olduğunda, robot ve aksesuarları ile bir işlem gerçekleştirirken robotik hücre kullanıcılarının güvende olmasını sağlamak için uygulanır. Robot entegrasyonunu standartlaştırmak ve robotik hücre tarafından belirli bir güvenlik düzeyine ulaşıldığından emin olmak için risk analizleri de uygulanır. Ancak risk analiz süreci, hücrenin entegre olduğu yerlerde geçerli olan yasa ve mevzuata uygun olarak da yapılmalıdır. Robot ve robotik cihaz üreticileri, cihazları için güvenlik gereksinimleri (PL = d kategori 3) oluşturmuş olsalar bile, uygulama ve ortamın kendisi dikkate alınarak, risk analiz sürecinde hala işlenmesi gereken önemli noktalar mevcuttur. Robotlar ve insanlar arasında doğrudan veya yakın temas meydana geldiği için iş birlikçi uygulamalar çok ciddiye alınmalıdır.

Bundan sonraki risk analizlerinde daha sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek için ISO/TS 15066 taslağına aşağıda belirtilen hususların yararlı olacağı görülmektedir;

- Kuvvet sınırı değerlerini ve taslak ISO belgesindeki genel yaklaşımı geliştirmek için kullanılan araştırma ve bilgilerin bir listesinin dahil edilmesi (veya referans olarak verilmesi), mevcut sürümü geliştirmek için hangi malzemenin kullanıldığı ve bu nedenle standardın gözden geçirilmesi gerektiğinde hangi yeni araştırma ve bilgilerin ilgili olabileceği daha açık hale gelmiş olacaktır,

- İnsanların çalışma alanındaki tipik hareket hızlarının dahil edilmesi, robotların insanlarla çarpıştığında güçlerin doğasının nasıl değiştirebileceğini gösterecektir,
- Yaralanma şiddetinden daha çok, çarpışma kriterlerinin bir parçası olarak robotlar ve insanlar arasındaki potansiyel çarpışma ve yaralanma sıklığının dahil edilmesi,
- Risk değerlendirme süreci için grafiksel akış şeması yol haritasının kullanımı,
- Kabul edilebilir çarpışma kriterleri tanımlanırken psikolojik konuların dikkate alınması gerekip gerekmediği, yani bir çarpışma sonrasında psikolojik etkiler ve bunun iş birlikçi robotlarla çalışırken güveni / performansı nasıl etkileyebileceğini değerlendirme,
- Bir robot yüzeyi ile bir kişi arasındaki hareket açısının, belirli bir çarpışma kuvveti için herhangi bir yaralanmanın doğasını nasıl değiştirebileceği (örneğin, cilt yüzeyine belli bir açı ile uygulandığında kabul edilebilir olarak nitelenecek bir kuvvetin cilde dik olarak gelmesi durumunda). Bu faktör taslak ISO / TS 15066 taslağı kapsamında görünmemektedir ve çok az bahsedilmiştir,
- İnsan hareketinin insan-robot çarpışma senaryolarına ekleyebileceği potansiyel ek kuvvetlerin niceliği ve KKD'nin insan-robot çarpışma senaryoları üzerindeki etkilerinin nicelleştirilmesi / nitelendirilmesi,
- Kişinin (iş birlikçinin) robota doğru potansiyel hareketine dikkat edilmesi gerekebilir, çünkü bu, robot hızı ile birleşerek çarpışma kuvvetlerini daha büyük hasara neden olan seviyelere yükseltebilir. İnsan hareketinin bir çarpışma durumuna hangi kuvvetleri ekleyebileceğini belirlemek bu çalışmanın kapsamı dışındaydı. Eğer kuvvet sınırlarının amacı yaralanmayı kabul edilebilir yaralanma düzeyleriyle sınırlamaksa, o zaman kişinin olası hareketleri ciddi bir şekilde incelenmelidir.
- Önerilen çarpışma ölçüm sistemleri bunu dikkate almadığından taslak hazırlayıcıları ile daha fazla temas edip, görüşlerini alıp bilgileri doğrulamak uygun bir yol olacaktır. İnsanın robota göre hareketi nispeten öngörülebilir ve insan hareketinin değişkenliği ve ilgili hızlar risk değerlendirmesini çok daha zor hale getirebilir. ISO / TS 15066 taslağında verilen kuvvet değerlerinin kişinin hareketi için herhangi bir şarta izin verip vermediği açık değildir. Geleneksel makine emniyeti standartları, insanların hareket hızını dikkate alan tehlikeli bölgelerde güvenli mesafelerin oluşmasını sağlar;

- Standartlarda görülen odur ki, çok sayıda araştırma genç nüfuslu erkekler ve kadavralar üzerinde yapıldığından, bu sonuçları daha geniş nüfusa genelleyerek sınırlı örneklem büyüklüklerine ve popülasyonlarına dayandırılması gerekir.
- ISO/TS 15066 taslağında, boyun, omuz veya dizlerdeki eklemelerde, uzun süreli sağlık komplikasyonlarına neden olabilecek travmalara neden olabilecek kuvvetleri göz önüne aldığı konusunda bir teyit bulunmamaktadır.
- Bu tür yaralanmalar taslak ISO / TS 15066'da belirtilen maksimum tolere edilebilir sınırların üzerindeki çarpmalarda görünmektedir, çünkü belgede ICD-10-2006'nın yüzey yaralanmaları için yapılan kodlamaları dışındaki şiddetin tolere edilemeyeceği belirtilmektedir. İçten hasar görmüş bir diz, sadece yüzey yaralanmasından daha ciddi bir yaralanma kategorisi olan ICD-10 2006 kodlama sisteminin S83 Çıkığı, burkulması ve eklem ve diz bağlarının gerilmesi altında sınıflandırılır,
- ISO / TS 15066 taslağı, Kısaltılmış Yaralanma Ölçeği (Abbreviated Injury Scale /AIS) kategorisi 1 olarak kabul edilebilen maksimum yaralanma seviyesini belirtmektedir, AIS yaralanma kategori 1'i tamamen uygun bir yaralanma kriteri değildir, çünkü tek bir kaburga kırığı kategori 1, Küçük yaralanma olarak sınıflandırılır ve bu nedenle iş birliği robot güvenliğine uygulama için ek uyarılar gerektirir. Ayrıca, AIS sistemi, daha sonra Seviye-1 yaralanmalarından kaynaklanan bazı komplikasyonları içermediğinden, kabul edilebilir çarpışmalar için görme hasarı, boğulma veya kronik eklem hasarı vb. uygun kriter olarak kabul edilebilir, başka bir deyişle, Seviye-1 yaralanması olay sırasında kabul edilebilir olsa da, ortaya çıkan daha uzun süreli sağlık komplikasyonlarını kabul edilebilir. AIS ve ICD-10 gibi standartlar, acil tıbbi tedavi ve klinik kayıt sistemi için geliştirildiklerinden, iş birliği robot yaralanmalarında yeterince yararlı olamayabilirler, bu yüzden de daha doğru bir risk değerlendirmesi için özelleştirilmiş ve kapsamı genişletilmiş yaralanma kriterleri ve sınıflandırmasına başvurulması gerekecektir. Özelleştirilmiş kriterler ve sınıflandırma sistemi, ağrı eşiklerini, psikolojik sorunları ve oluşabilecek cilt hasarlarının çeşitliliğini kapsayabilir, ancak bu faktörlerin şu anda AIS ve ICD sistemleriyle ele alınması pek mümkün görülmemektedir.

- Kazalardan elde edilen kanıtlar, robot-insan çarpışmalarından kaynaklanan ölümlerin bazen tuzaklardan boğulmaya bağlı olduğunu göstermektedir. Bu mevcut çalışma boğulmaya yol açabilecek kuvvet sınırları hakkında bilgi ortaya koymamıştır (boynuna veya göğsüne basarak). Bu tür değerlerin mevcut olup olmadığını veya ISO / TS 15066'nın çekme kuvveti sınırlarında belirtilen değerlerin mutlaka yeni çalışmalarla doğrulanması gereklidir.
- Kişinin (iş birlikçinin) robota doğru potansiyel hareketine dikkat edilmesi gerekebilir, çünkü bu, robot hızı ile birleşerek çarpışma kuvvetlerini daha büyük hasara neden olan seviyelere yükseltebilir. İnsan hareketinin bir çarpışma durumuna hangi kuvvetleri ekleyebileceğini belirlemek bu çalışmanın kapsamı dışındaydı. Eğer kuvvet sınırlarının amacı yaralanmayı kabul edilebilir yaralanma düzeyleriyle sınırlamaksa, o zaman kişinin olası hareketleri ciddi bir şekilde incelenmelidir. Önerilen çarpışma ölçüm sistemleri bunu dikkate almadığından taslak hazırlayıcıları ile daha fazla temas edip, görüşlerini alıp bilgileri doğrulamak uygun bir yol olacaktır. İnsanın robota göre hareketi nispeten öngörülebilir ve insan hareketinin değişkenliği ve ilgili hızlar risk değerlendirmesini çok daha zor hale getirebilir. ISO / TS 15066 taslağında verilen kuvvet değerlerinin kişinin hareketi için herhangi bir şarta izin verip vermediği açık değildir. Geleneksel makine emniyeti standartları, insanların hareket hızını dikkate alan tehlikeli bölgelerde güvenli mesafelerin oluşmasını sağlar.

Robotla ilgili kaza araştırmalarında ortaya çıkan ortak bir tema, robot çalışma bölgesinde olduklarının ve robot hareketlerinin farkında olmalarına rağmen çarpışan robot parçasının konumunun yaralı kişiyi şaşırtmasıdır. İnsanın güvenli bir 3 boyutlu bölgede kalmamasının öngörülebilir olduğu ve risk değerlendirmelerine dahil edilmesi gerektiği noktasında bu durum çok önemlidir. Bu durum insan-robot çarpışmaları için kabul edilebilir yaralanma seviyelerinin seçimini büyük ölçüde etkileyecektir, çünkü insanların robotlarla iş birliği yaparken hata yapmaları öngörülecektir bu yüzden de değişken ve güvenilmez insan davranışlarının açıklanması gerekecektir.

Makine tasarımcıları, tasarım sırasında, robotla birlikte çalışacak olan operatör hareketlerinin güvenli olmadığını varsayarak koruyucu çitlerden, risk azaltıcı her türlü koruyucu önlem ve bunların olası performanslarını ISO / TS 15066'daki çarpışma ve yaralanma kriterlerini dikkate alması gerekecektir.

İşbirlikçi bir robot koruma sistemi engellendiğinde, ortaya çıkan durumun bertarafı zor veya kolay arasında çeşitli derecelerde olabilir, o yüzden her bir kademenin çok detaylı bir şekilde incelenmesi gerekecektir.

İnsan davranışının ve performansının, geleneksel makinelere kıyasla iş birlikçi robot sistemleriyle ilgili olarak daha az mı yoksa fazla mı sorun çıkaracağı proses bazında ele alınmalıdır. Son çalışmalar, insan /robot etkileşimlerinin ek komplikasyonlara neden olabileceğinden bu detaylar çözülene kadar robotların bazı endüstriyel uygulamalar için henüz kullanıma hazır olmadığını göstermektedir.

İnsanlar, olası çarpışma sırasında robot hareketi ve buna tepki olarak kaçınma reflekslerini alışılmış beklentilerle güvenli hale getirmek için çalışırken, başarısızlık halinde hangi senaryoların gündeme gelebileceği üzerinde de durmalıdırlar.

ISO/TS 15066 taslağı, geliştirilmekte olmasına rağmen, belirtilen tüm testleri gerçekleştirebilecek bir enstrümantasyon bulunmadığını belirtmektedir. Otomotiv endüstrisinde yaralanma riskinin değerlendirilmesi için yaralanma kriterleri ve 'biyofidel' test mankenleri geliştirilmiştir. Ancak robot çarpışmaları test etmek için gerekli olabilecek test enstrümantasyonu daha basit gibi görünmektedir, çünkü otomotivdeki yaralanma senaryoları daha az değişken (koltuklar, yolcu ve çarpışma gibi) içermektedir. Bunlara ek olarak, eğer bu çarpışmalarda kullanılan KKD'ler var ise çarpışma sonunda bu KKD'lerin kendilerine gelen kuvveti robot ne ölçüde iletmediği veya darbeyi sönümleme yeteneği de araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

Askarpour, M., Mandrioli, D., Rossi, M. ve Vicentini F. (2016). SAFER-HRC: Safety Analysis Through Formal vERification in Human-Robot Collaboration. Italy.

Barette, M. (2016). Collaborative Robots/Risk Assessment, an Introduction. Robotiiq.

Beaupre, M. (t.y.). Collaborative Robot Technology and Applications. Erişim Adresi: https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/4-KUKA_Beaupre.pdf

Bélangier, M. (2016). Collaborative Robots Risk Assessment, An Introduction Rev. 1.1

Bensaci, C., Zennir, Y. ve Pomorski D. (2020). A New Approach to System Safety of humanmulti-robot mobile system control with STPA and FTA, Algerian Journal of Signals and Systems (AJSS). France

Bolden, C. (2015). Cybersecurity Challenges for Manned and Unmanned Systems, American Military University, Homeland Security

Braman, R. (2019). The Basics of Designing for Safety with Collaborative Robots

Chinniah, Y. (2016). Robot Safety: Overview of Risk Assessment and Reduction, Advances in Robotics & Automation, Canada

Dağlı, M. (2019). İnsan Robot İş birliği: Kolaboratif Robotlar. Mühendis ve Makine

Dominguez, E. (t.y.). Risk Assessment Process for Collaborative Robotic Applications, Pilz Automation Safety. Ria. USA

Fryman, J. ve Matthias, B. (2012). Safety of Industrial Robots: From Conventional to Collaborative Applications. Conference Paper, ABB

Gopinath, V. ve Johansen, K. (2016). Risk Assessment Process for Collaborative Assembly – A Job Safety Analysis Approach, 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS). Sweden

Gualtieri, L., Palomba, I., Wehrle, E. J. ve Vidoni R. (2020). The Opportunities and Challenges of SME Manufacturing Automation: Safety and Ergonomics in Human–Robot Collaboration, Industry 4.0 for SMEs Challenges, Opportunities and Requirements, Matt.D., Modrák V., Zsifkovits H. (s: 105 - 138).

HSE. (2012). Collision and injury criteria when working with collaborative robots, Health and Safety Laboratory. England.

Hoffman, G. ve Breazeal, C. (2007). Effects of anticipatory action on human-robot teamwork: efficiency, fluency, and perception of team.

Inel, F., Zennir, Y. ve Adlene, R. (2020). A New Approach to System Safety of humanmulti-robot mobile system control with STPA and FTA. Algerian Journal of Signals and Systems (AJSS)

Khalid, A., Kirisci, P., Ghrairi, Z., Thoben, K. ve Pannek J. (2016a). A methodology to develop collaborative robotic cyber physical systems for production environments

Khalid, A., Kirisci, P., Ghrairi, Z., Thoben, K. D. ve Pannek, J. (2016b). Safety Requirements in Collaborative Human Robot Cyber Physical Systems

Khalid, A., Kirisci, P., Ghrairi, Z., Thoben, K. D. ve Pannek, J. (2017). Towards Implementing Safety and Security Concepts for Human-Robot-Collaboration in the context of Industry 4.0

Kobotlarla Çalışmaya Hemen Başlayın, Universal Robot

Matthias, B. (2017). Human-Robot Collaboration, Industrial Applications and Open Challenges. Dagstuhl Seminar on "Computer-Assisted Engineering for Robotics and Autonomous Systems", ABB

Matthias, B. (t.y.). Collaborative Robots – Power and Force Limiting, ABB, Ria. Germany, Erişim Adresi: <https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/7-Bjorn.pdf>

Matthias, B. ve Reisinger T. (2016). Example Application of ISO/TS 15066 to a Collaborative Assembly Scenario/ ABB, Germany

Matthias, B., Kock, S., Jerregard, H., Källman, M. ve Lundberg, I. (2011). Safety of Collaborative Industrial Robots, ABB. Sweden

Matúšová, M., Bučányová, M. ve Hrušková E. (2019). The future of industry with collaborative robots. Slovak University of Technology, Faculty of Material Science and Technology, Institute of production systems. Slovak Republic.

Mihelj, M., Bajd, T., Ude, A., Lenarčič, J., Stanovnik, A., Munih, M., Rejc, J. ve Šlajpah S. (2019). Robotics (2nd. ed.), Springer. Slovenia

Nikolakis, N., Maratos, V. ve Maksis, S. (2018). A cyber physical system (CPS) approach for safe human-robot collaboration in a shared workplace. Greece

Owen, A. (2016). How to do Even more with Collaborative Robots, Lean Robotics

Part 1: Kick Starting Your Project Part 2: Shopping for a Robot, Getting started with collaborative robots. Lean Robotics

Payne, A.R. ve Patel, S. (2001). Occupant Protection & Egress In Rail Systems project (OPERAS): Injury Mechanisms & Injury Criteria. MIRA, UK

Pecora, A., Maiolo, L., Minotti, A., Ruggeri, M., Dariz, L., Giussani, M., Iannacci, N., Roveda, L., Pedrocchi, N. ve Vicentini F. (2019a). Factories of the Future. Springer Open.

Pecora, A., Maiolo, L., Minotti, A., Ruggeri, M., Dariz, L., Giussani, M., Iannacci, N., Roveda, L., Pedrocchi, N. ve Vicentini, F. (2019b). Systemic Approach for the Definition of a Safer Human-Robot Interaction, Factories of the Future (173-196). Italy

Pilz The Spirit of Safety, t.y. Erişim Adresi: <https://www.pilz.com/tr-TR/iec-en-61496-1>

Priyadarshini, I. (2017). Cybersecurity risks in Robotics

Rickert, M., Foster, M. E. ve Giuliani, M. (2007). Integrating Language, Vision and Action for Human Robot Dialog Systems. International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction, HCI International. China

Sezai, T. (2015). Endüstride Kaynak Robotları, Proseslerin İncelenmesi ve Geliştirilmesi. Gedik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi

Shea R.N. (t.y.). ISO/TS 15066 Introduction. Universal Robots. Erişim adresi (robotics.org/userAssets/riaUploads/file/12-TR15066Overview-SafetyforCollaborativeApplications-RobertaNelsonShea.pdf)

Wang, L., Schmidt, B. ve Nee A. Y.C. (2013). Vision-guided active collision avoidance for human-robot collaborations.

