



ENDÜSTRİYEL AMAÇLI YENİ BİR ANALİTİK RİSK TANIMLAMA YÖNTEMİ ÖNERİSİ

Gülin Feryal CAN^{*1}, Özgün CAN²

¹ Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

² Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Analitik Risk Tanımlama,
Etki Özellikleri,
Risk Tanımlama,
Risk Kombinasyonları,
Endüstriyel.*

Özet

Risk analizi çalışmalarının en önemli adımlarından birisi, incelenen sistemlerde hangi tür risklerin ortaya çıkabileceğinin belirlenmesidir. Uzun süredir çalışan sistemlerde meydana gelen arıza ya da tehlike yaratan durumların riskleri tecrübeli kullanıcıların ve uzman risk analizcilerinin geçmiş deneyimleriyle kayıt altına alınarak belirlenebilmektedir. Ancak yeni tasarlanan, yeni kullanılmaya başlanan ya da geçmiş kullanım sürecine ilişkin yeterli bilgi elde edilemeyen sistemlerde oluşabilecek risk türleriyle ilgili belirsizlikler oluşmaktadır. Bu çalışmada, oluşabilecek riskler hakkında yeterli bilgi ve tecrübenin olmadığı durumlarda, olası risklerin tanımlanabilmesi için analitik bir yöntem geliştirilmesini amaçlanmaktadır. Bu kapsamda ilk adımda; incelenen sisteme çevre sistemlerden gelebilecek mekanik, elektriksel, kimyasal, ısı, vd. etkiler ve özellikleri tespit edilmektedir. Bir sonraki adımda çevre sistemler ile oluşturduğu ara yüzler ve bu ara yüzlere ait özellikler bulunmaktadır. Bir sonraki adımda sistemin içinde bulunduğu mekanik, elektriksel, kimyasal, ısı, vd. durumlar belirlenmektedir. Son olarak sistemin maruz kaldığı etkiler, ara yüz özellikleri ve içinde bulunduğu durum arasındaki etkileşimler bir risk belirleme matrisi üzerinde eşleştirilerek meydana gelebilecek risk kombinasyonları tanımlanmaktadır. Önerilen yaklaşım, sistemin çalıştığı proses adımları için tüm olasılıkları dikkate alarak sistematik bir risk belirleme yöntemi oluşturmayı amaçlanmaktadır. Buna rağmen, geçmiş dönemler için yapılan araştırma çalışmalarından, iş güvenliği uzmanlık bilgisi ve tecrübesinden yararlanma gerekliliğini ortadan kaldırmamakta, bunun yerine, tasarımcı ya da kullanıcıya, risklerin belirlenmesi için destek sağlamaktadır. Çalışmada önerilen yaklaşım, örnek olarak bir eksenli bir robotun, tehlikeli kimyasal içeren plastik bidonları bir taşıma hattından diğerine aktarma prosesine uygulanmıştır.

A PROPOSAL FOR A NOVEL ANALYTICAL RISK IDENTIFICATION METHOD FOR INDUSTRIAL PURPOSES

Keywords

*Analytical Risk Identification,
Effect Properties,
Risk Identification
Risk Combinations,
Industrial.*

Abstract

One of the most substantial steps in Risk Analysis is the determination of risks in the system which is being considered. In situations where; the system in question has been in service for a long time or malfunctions and hazards have been monitored and recorded by experienced operators and risk analysis specialists, potential risks can be mostly identified most of the time. However in cases where systems are newly designed, newly commissioned or adequate information as to the operational background is missing, uncertainty about possible risks is encountered. This study aims to devise an analytical method to identify the risks, when information and experience on the system is not available. In this context, primarily; mechanical, electrical, chemical, thermal etc. effects coming from the surrounding systems on the system under scrutiny, are determined. Then, interfaces between effects and the system and properties of interfaces and the system are laid out. Consequently possible risks are found out from the combinations of effect, interface and system properties. This study proposes to devise a systematical risk identification method, taking in to consideration all the effect-interface-system possibilities, nevertheless does not mean to discard the need for utilizing statistical information, rather provides support for the risk analyzer using past information. The proposed method

* İlgili yazar / Corresponding author ,gfc@baskent.edu.tr, +90-312-246-6666-1357

is used in a sample application, comprising a single axes robot arm which transfers a plastic drum containing a hazardous liquid chemical from a conveyor line to another.

Alıntı / Cite

Can G. F., Can Ö., (2018). Endüstriyel Amaçlı Yeni Bir Analitik Risk Tanımlama Yöntemi Önerisi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(ÖS: Ergonomi2017), 14–31

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Gülin Feryal CAN, 0000-0002-7275-2012

Özgün CAN, 0000-0002-3828-2379

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date 03.12.2017

Revizyon Tarihi / Revision Date 19.03.2018

Kabul Tarihi / Accepted Date 06.06.2018

Yayın Tarihi / Published Date 24.12.2018

1. Giriş

Endüstriyel tesislerde yapılan risk analizi çalışmalarının en önemli adımlarından birisi, incelenen üretim alanı veya süreçte hangi tür risklerin ortaya çıkabileceğinin belirlenmesidir. İncelenen bir üretim alanı ya da süreçte oluşabilecek tehlikeli durumların tümü tanımlanabildiği takdirde oluşabilecek bütün riskler için düzeltici tedbirlerin alınması mümkün olabilecektir. Ancak risk analizi çalışmalarında hangi risklerin dikkate alınacağı genellikle iş sağlığı ve güvenliği uzmanları, işveren ya da çalışanlar arasında yüz yüze görüşmeler ya da kaza/ramak kala olay kayıtlarının incelenmesi yoluyla yapılabilmektedir. Sistemlerin uzun süredir çalışmakta olduğu, ortaya çıkan tehlikeli durumların gözlemlenerek kayıt altına alındığı, tecrübeli kullanıcıların ve uzman risk analizcilerinin geçmiş deneyimlerinden faydalanılabildiği durumlarda potansiyel riskler bu yöntemlerle büyük ölçüde tanımlanabilmektedir.

Ancak yeni tasarlanan, yeni kullanılmaya başlanan ya da geçmiş kullanım sürecine ilişkin yeterli bilgi bulunmayan sistemlerde, oluşabilecek risklerin tümü belirlenememekte ve bu riskler sistem içinde varlığını sürdürmektedir. Endüstriyel tesislerde bulunan makine ve ekipmanlara ait dokümanlarda, oluşabilecek riskler yeterli ölçüde tanımlanmamakta, daha çok genel İş Sağlığı ve Güvenliği kurallarına ve arıza giderme amaçlı bilgilere yer verilmektedir. Birçok ekipman için, özel yada resmi kurumların internetteki açık kaynaklarında, oluşabilecek riskler ya da meydana gelebilecek kazalara ait bir veri tabanı mevcut değildir. Çalışanlar arasında risklerin tespit edilmesine yönelik olarak yapılan kurum içi çalışmalar ise tatmin edici sonuçlar vermemektedir. Böyle durumlarda ekipmanlardan, süreçlerden ve İSG'den sorumlu teknik personel analitik bir risk tanımlama yöntemine ihtiyaç duymaktadır.

Bu çalışmada, oluşabilecek riskler hakkında yeterli bilgi ve tecrübenin olmadığı durumlarda, olası risklerin tanımlanabilmesi için analitik bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümü benzer konularla ilgili olarak bilimsel yazında yer alan çalışmalar hakkında özet bilgi içermektedir. “Materyal ve Yöntem” başlıklı üçüncü bölümde önerilen risk tanımlama yönteminin sekiz adımı açıklanmaktadır. Dördüncü Bölümde önerilen yöntemin, içi tehlikeli sıvı ile dolu plastik bidon ve tek eksenli bir robot kolunu içeren bir endüstriyel prosese uygulanması incelenmiştir. Beşinci Bölüm sonuç ve tartışmaya ayrılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Literatüre bakıldığında, risk değerlendirme kapsamında farklı yaklaşımların geliştirildiği, risk tanımlama amacıyla yapılan çalışmaların belirli makine ve üretim süreçleri için tutulan kaza kayıtlarının analizlerine dayandığı görülmektedir. Kaza kayıtları ve veri tabanlarının mevcut olmadığı durumlarda potansiyel risklerin nasıl tespit edilebileceğine dair herhangi bir çalışma mevcut değildir.

Okun vd. (2001) Amerika Birleşik Devletlerindeki, yüksek İSG riskine sahip küçük ölçekli işletmeleri, yaralanmalı ve ölümlü kaza istatistiklerini kullanarak tanımlamıştır. Flin vd. (2000), İngiltere'deki endüstriyel tesislerde yaptıkları araştırmaların sonucunda “Güvenlik iklimini (Safety Climate)” belirlemiştir. Jocelyn vd. (2017) bantlı konveyör kaza soruşturma raporlarından elde edilen verilerin mantıksal analizi ile ortaya çıkarılan ve, kaza ve risk faktörü kombinyonlarını içeren senaryoları temsil eden örüntüleri esas alan bir yöntem geliştirmiştir. Chinniah (2015), hareketli makine parçalarının yol açtığı yaralanma ve ölümlü kazaları inceleyerek kaza sebeplerini araştırmıştır. Karwowski ve Mital (1986) bulanık küme teorisinin endüstriyel iş güvenliği mühendisliği alanına uygulanmasının getirdiği faydaları ortaya koymuş, risk analizinin, dilsel değişkenleri kapsamından dolayı bulanık yönleri olduğunu belirtmiştir. McCauley–Bell ve Badirru (1992) bulanık mantığı temel alan uzman bir sistem geliştirerek farklı işler ve farklı işçiler için risk seviyelerini tanımlamıştır. McCauley–Bell ve Crumpton (1997) bulanık bir model kullanarak, kişisel ve organizasyonel risk faktörleri arasındaki ilişkiyi karpal tünel sendromu açısından araştırmıştır. Maiti

ve Bhattacharjee (1999) ikili logit modeli ve multinomial logit modeli kullanarak kömür madencilerinin yaralanma riskini düşürmeye çalışmıştır. Sii vd. (2001) iş ortamındaki tehlike kaynaklarına ait risk derecelerini düşürmek için bulanık IF-THEN kurallarını kullanmışlardır. Pakoradi (2002) bulanık mantığın risk analizindeki önemini ve katkısını vurgulamıştır. Markowski ve Mannan (2008) risk analizi girdileri olarak, iş ortamındaki kaza türleri ve sıklıklarını içeren bir bulanık mantık risk matrisi önermiştir. Güranlı ve Müngen (2009) bulanık risk analizi kullanarak tünel inşaatlarındaki riskleri değerlendirmiştir. Jeong vd. (2010) nükleer santral çalışanlarının karşılaşılabileceği nükleer ve nükleer olmayan riskleri değerlendirebilmek için bulanık çıkarım mantığını temel alan bir risk matrisi önermiştir. Nieto-Moroto ve Ruz-Villa (2011) risk analizinde bulanık çıkarım algoritmasını kullanmışlardır. Beriha vd. (2012) daha az yaşamsal öneme sahip değişik türlerdeki kazaları tahmin edebilmek için bulanık mantığı kullanmıştır. Samantra vd. (2017) bir yeraltı kömür madenindeki iş sağlığı tehlikelerini değerlendirmek için, tekil bir hiyerarşik yapıya sahip bulanık çok kriterli karar verme yöntemi geliştirmiştir. Karakhan ve Gambatase (2017) Amerika Birleşik Devletlerinde, inşaat sektöründe yürütülen sürdürülebilir projelerin inşaa, işletme ve bakım faaliyetlerine ait iş sağlığı ve güvenliği bilgilerini; riskleri değerlendirme, sayısallaştırma ve sınıflandırma yoluyla arttırmaya çalışmış, elde ettiklerini sürdürülemez benzer projelerde karşılaşılan risklerle karşılaştırmıştır.

3. Materyal ve Yöntem

Çalışmada önerilen risk tanımlama yöntemi, incelenen sistemin belirlenmesi, proses adımlarının ve ara yüzlerin belirlenmesi, etki, ara yüz ve durum özellikleri ve değerlerinin tanımlanması, risk kombinasyonlarının oluşturulması, riskli kombinasyonların belirlenmesi, riskli kombinasyonların analizi, kök neden analizi ve düzeltici tedbirlerin alınması olmak üzere sekiz adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar; Şekil 1'deki iş akış şemasında gösterilmiş ve ilerleyen bölümlerde alt başlıklar halinde anlatılmıştır.

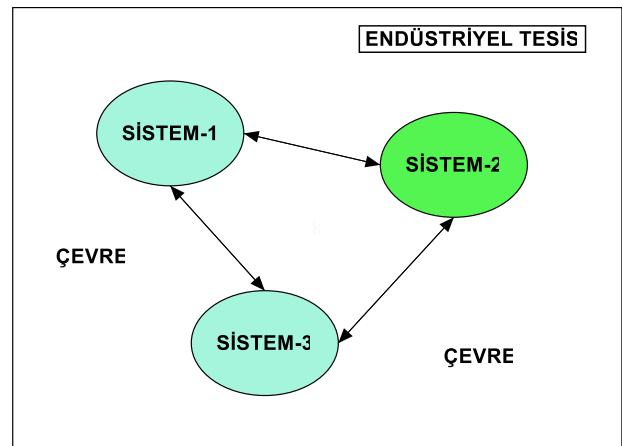
Yöntem Adımı-1: İncelenen Sistemin Belirlenmesi

Endüstriyel üretim yapılan tüm tesislerde, birbiriyle etkileşim içinde olan çok sayıda sistem, cihaz, ekipman, bileşen ve parçadan oluşan karmaşık yapılar bulunur. Çalışmada tüm sistem, cihaz, bileşen ve parçalar "sistem" olarak adlandırılacaktır. Tehlike ve risklerin belirlenmesi sırasında, bu yapıların bir bütün olarak incelemeye alınması, risk belirleme sürecini analizci için karmaşık bir hale getirecektir. Bu durum, analizcinin bütünsel yapı içinde hangi sistemi seçerek inceleyeceğine karar vermesi gerekliliğini

beraberinde getirmektedir. Buna göre, seçim yapılırken tehlike yaratma olasılığı yüksek olan sistemler seçilerek, çalışma bunlarla sınırlandırılmalıdır. Şekil 2'de endüstriyel bir tesisi oluşturan sistemler arasında yapılan seçim görülmektedir.



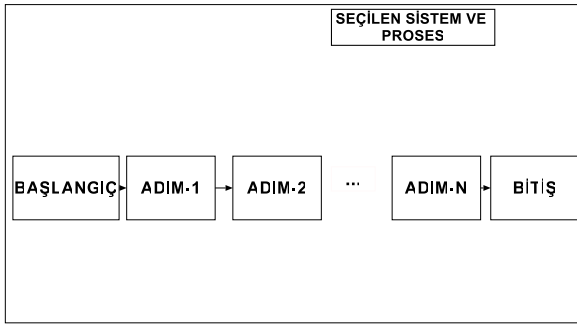
Şekil 1. Yöntem adımları



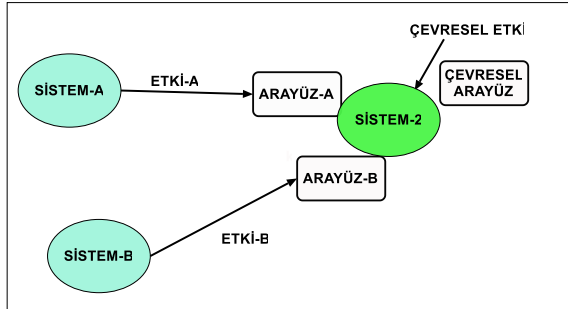
Şekil 2. İncelenen sistemin seçimi

Yöntem Adımı-2: Proses Adımlarının ve Ara yüzlerin Belirlenmesi

Sistemlerin çalışmaları, baştan sona kadar ardışık proses adımlarından oluşur. İncelenen sistem, her bir proses adımında farklı fiziksel, kimyasal, elektriksel şartlar taşıyabilir, farklı ara yüzlere sahip olabilir, ya da farklı etkilere maruz kalabilir. Dolayısıyla her bir proses adımı farklı bir problem olarak ele alınmalı ve analiz edilmelidir. Buna göre, tespit edilen her bir proses adımı için; incelenen sistemin komşu sistemlerle ve çevresiyle meydana getirdiği ara yüzler belirlenir. Şekil 3'te seçilen sistemi oluşturan proses adımları, Şekil 4'te ise sistem, ara yüz ve etki ilişkisi görülmektedir.



Şekil 3. Sistemi oluşturan proses adımları



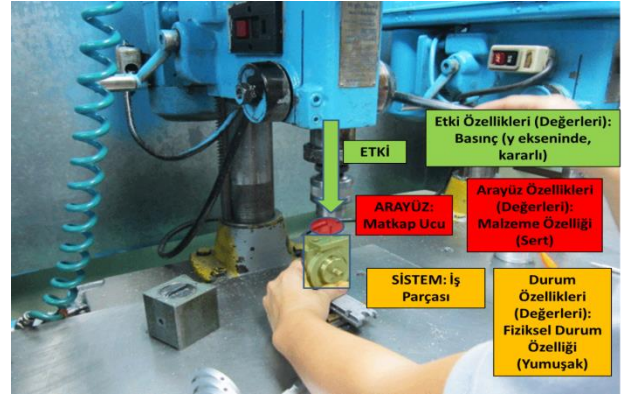
Şekil 4. Sistem, ara yüz ve etki ilişkisi

Yöntem Adımı-3: Etki, Ara yüz, Durum Özellikleri ve Değerlerinin Tanımlanması

Her bir proses adımına ait tüm ara yüzler için; etki özellikleri ve değerleri, ara yüz özellikleri ve değerleri ve incelenen sisteme ait durum özellikleri ve değerleri belirlenir. İncelenen sistemin dışarıdan ara yüzler vasıtasıyla maruz kaldığı etkilerin sahip olduğu özelliklere "Etki Özellikleri", bu özelliklerin alabileceği değerlere "Etki Özellik Değerleri" adı verilir. "Ara yüz Özellikleri" incelenen sisteme dış etkileri ileten son fiziksel birimin özellikleridir. Bu özelliklerin alabileceği değerler "Ara yüz Özellik Değerleri" olarak adlandırılır. İncelenen sisteme ait özellikler ve bunların alabileceği değerler sırasıyla "Durum Özellikleri" ve "Durum Özellik Değerleri" olarak tanımlanır. Tüm sistemler için jenerik olarak kullanılacak olan "Etki Özellikleri" "Ara yüz

Özellikleri" ve "Durum Özellikleri" tabloları Tablo-1, Tablo-2 ve Tablo-3 ile gösterilmiştir. İncelenen sisteme göre bu tablolara yeni özellikler ve değerler eklenebilir. Şekil 5'te etki, ara yüz ve durum özelliklerine ilişkin matkapla delik delme için örnek verilmiştir.

Etki, Ara yüz ve Durum Özelliklerinden hangilerinin kullanılacağına, incelenen sistem hakkında yaptığı araştırma sonucunda gerekli bilgileri toplayan analizci tarafından karar verilir. Tüm özelliklerin mevcut olduğunun varsayılması analiz sürecini karmaşık hale getirecektir. Örneğin, bir perçinleme prosesinde kimyasal bir etki olmadığı için "Kimyasal Etkiler" özelliği analiz sürecine dahil edilmeyebilir. Ancak özellikler bir kere seçildikten sonra, o özelliklere ait değerlerin tümü, aralarında seçim yapılmadan kullanılmaktadır. Değerlerin tümünün dikkate alınması, sistem normal işleyişinin dışına çıktığında ortaya çıkabilecek beklenmeyen durumların analize katılmasına olanak verecektir.



Şekil 5. Etki, ara yüz ve durum özellikleri

Yöntem Adımı-4: Risk Kombinasyonlarının Oluşturulması

Risk Kombinasyonlarını oluşturabilmek için önce "Etki Özellik Değer Kombinasyonları", "Ara yüz Özellik Değer Kombinasyonları" ve "Durum Özellik Değer Kombinasyonları" belirlenmelidir. Bu kombinasyonlar oluşturulurken, özelliklerin sisteme uygun olarak seçileceği, özellik değerlerinin ise eleme yapılmadan tümüyle hesaba katılacağı unutulmamalıdır. "Etki Özellik Değer Kombinasyonları" belli bir proses adımının belli bir ara yüzünde, sistemin maruz kaldığı etkilere ait özellik değerlerinin kombinasyonudur. "Ara yüz Özellik Değer Kombinasyonları" belli bir proses adımının belli bir ara yüzüne ait özellik değerlerinin kombinasyonudur. "Durum Özellik Değer Kombinasyonları" ise, belli bir proses adımında sistemin sahip olduğu özellik değerlerinin kombinasyonudur. Aşağıda Eşitlik (1)'de Etki Özellik Değer Kombinasyonlarının oluşturulma şekli gösterilmektedir.

$$E\ddot{O} = KA \times AE \times BE \times eMDoH \times eMD\ddot{O}H \\ \times eGDoH \times eGD\ddot{O}H \times D \times SE \\ \times EA \times MA \times IE \times KE \quad (1)$$

Burada;

KA: Kütle Akışı etki özelliğinin alabileceği değerler.
AE: Ağırlık etki özelliğinin alabileceği değerler.
BE: Basınç etki özelliğinin alabileceği değerler.
eMDoH: Mutlak doğrusal hareket etki özelliğinin alabileceği değerler,
eMDöH: Mutlak döngüsel hareket etki özelliğinin alabileceği değerler,
eGDoH: Görelî doğrusal hareket etki özelliğinin alabileceği değerler,
eGDöH: Görelî döngüsel hareket etki özelliğinin alabileceği değerler,
D: Darbe etki özelliğinin alabileceği değerler,
SE: Statik elektrik etki özelliğinin alabileceği değerler,
EA: Elektrik akımı etki özelliğinin alabileceği değerler,
MA: Manyetizm etki özelliğinin alabileceği değerler,
IE: Isıl etkiler, etki özelliğinin alabileceği değerler
KE: Kimyasal etkiler, etki özelliğinin alabileceği değerler olarak tanımlanmaktadır.

Ara yüz Özellik Değer Kombinasyonları Eşitlik (2)'deki gibi elde edilmektedir.

$$A\ddot{O} = BA \times M \times E\ddot{I} \times MNA \times IE \times ESA \times DSA \\ \times EYA \times KT \quad (2)$$

Burada;

BA: Bağlantı ara yüz özelliğinin alabileceği değerler,
M: Malzeme ara yüz özelliğinin alabileceği değerler,
Eİ: Elektriksel iletkenlik ara yüz özelliğinin alabileceği değerler,
MNA: Manyetizm ara yüz özelliğinin alabileceği değerler,
İİ: Isıl iletkenlik ara yüz özelliğinin alabileceği değerler,
ESA: Erime sıcaklığı ara yüz özelliğinin alabileceği değerler,
DSA: Donma sıcaklığı ara yüz özelliğinin alabileceği değerler,
EYA: Elektrik yükü ara yüz özelliğinin alabileceği değerler,
KTA: Kimyasal tepkime ara yüz özelliğinin alabileceği değerler olarak tanımlanmaktadır.

Durum Özellik Değer Kombinasyonları ise Eşitlik (3) kullanılarak elde edilmektedir.

$$D\ddot{O} = FD \times AD \times S \times BD \times H \times EYD \times MND \times \\ KTD \times ESD \times DSD \quad (3)$$

Burada;

FD: Fiziksel Durum özelliğinin alabileceği değerler,

AD: Ağırlık durum özelliğinin alabileceği değerler,
S: Sıcaklık durum özelliğinin alabileceği değerler,
BD: Basınç durum özelliğinin alabileceği değerler,
H: Hareket durum özelliğinin alabileceği değerler,
EYD: Elektrik yükü durum özelliğinin alabileceği değerler,
MND: Manyetizm durum özelliğinin alabileceği değerler,
KTD: Kimyasal tepkime durum özelliğinin alabileceği değerler,
ESD: Erime sıcaklığı durum özelliğinin alabileceği değerler,
DSD: Donma sıcaklığı durum özelliğinin alabileceği değerler olarak ifade edilmektedir.

Risk Kombinasyonları Eşitlik (4) kullanılarak elde edilmektedir.

$$RK = E\ddot{O} \times A\ddot{O} \times D\ddot{O} \quad (4)$$

Şekil 6'da risk kombinasyonlarının belirlenmesine yönelik bir örnek yer almaktadır. Şekil 6'nın en sol kısmında; bir kütle akışı etkisine ait kırmızı renkle işaretlenen hızlı, y eksenî yönünde, kararlı zamansallıkta ve parçacıklı değerlerinden oluşan Etki Özellik Değerleri Kombinasyonu gösterilmektedir. Hemen sonra akuple bağlantılı ve kırılğan bir malzemedden oluşan ara yüzün Ara yüz Özellik Değerleri Kombinasyonu bulunmaktadır. Şeklin en sağ kısmında ise belirtilen etkiye, ara yüz vasıtasıyla maruz kalan, katı fiziksel durumunda ve sert malzeme özelliğine sahip sistemin Durum Özellik Değerleri Kombinasyonu kırmızı renkle işaretlenerek verilmiştir. Oluşturulan Etki Özellik Değerleri, Ara yüz Özellik Değerleri ve Durum Özellik Değerleri Kombinasyonları yeşil renkli oklarla bağlantılandırılarak Risk Kombinasyonları oluşturulmuştur.

Yöntem Adımı-5: Risk Kombinasyonlarının Değerlendirilmesi

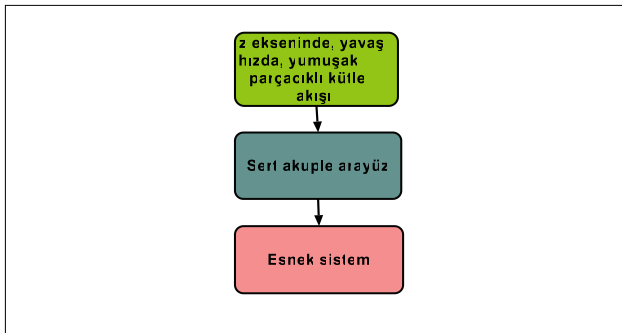
Elde edilen Risk Kombinasyonları incelenerek, her bir Etki-Ara yüz-Sistem Durumu kombinasyonunun risk yaratıp yaratmadığı belirlenir. Risk yaratmayan kombinasyonlar elenir ve diğerleri bir sonraki adımda analiz edilmek üzere ayrılır. Etki-Ara yüz-Durum kombinasyonlarının sistemin normal işleyişi esnasında oluşup oluşmayacağına bakılmaz. Şekil 7 ve 8'de risk kombinasyonların değerlendirilmesine yönelik örnekler yer almaktadır.

KOMBİNASYON	SONUÇ	RİSK	DEĞERLENDİRME
İncelenen yüksek sertlik özelliğine sahip sistemin, kırılgen akuple ara yüz üzerinden, y ekseninde, hızlı, parçacıklı kütle akışına maruz kalması.	Yüksek hızlı parçacıkların kırılgen ara yüzü parçalaması ve kırılgen ara yüz parçacıklarının sert sistemi aşındırması.	Aşınma dolayısıyla yerinden kurtulan sistemin yüksekten düşerek yaralanma ve ölüme yol açması.	ANALİZ EDİLECEK



Şekil 7. Risk yaratan kombinasyon

KOMBİNASYON	SONUÇ	RİSK	DEĞERLENDİRME
Esnek özelliğe sahip incelenen sistemin, sert bir akuple ara yüz üzerinden, z ekseninde, yavaş hızda yumuşak parçacıklı kütle akışına maruz kalması.	Yavaş ve yumuşak parçacıkların ara yüzde yada sistemde herhangi bir etki yapmayacağı öngörülmektedir.	YOK	ANALİZ EDİLMESİNE GEREK YOK



Şekil 8. Risk yaratmayan kombinasyon

Yöntem Adımı-6: Risk Yaratan Kombinasyonların Analizi

Tehlikeli sonuçlara ve risklere neden olabileceği belirlenen risk kombinasyonlarının etki, ara yüz ve durum özellik değerleri tek tek incelenir. Her bir özellik değerinin sistemin normal işleyişi sırasında olup olmayacağına bakılır. Normal işleyişe ait olağan

Tablo 1. Etki Özellikleri ve değerleri

	MEKANİK ETKİLER								ELEKTRİK/ELEKTROMANYETİK ETKİLER			ISIL ETKİLER	KİMYASAL ETKİLER
	KÜTLE AKIŞI	AĞIRLIK	BASINÇ	MDoH	MDöH	GDoH	GDöH	DARBE	STATİK ELEKTRİK	ELEKTRİK AKIMI	MANYETİK ALAN	ISI TRANSFERİ	TEPKİME
ETKİ ÖZELLİK DEĞERLERİ	Şiddet	Şiddet	Şiddet	Şiddet	Şiddet	Şiddet	Şiddet	Şiddet	Yüksek Yük	Yüksek Amperaj	Yüksek Alan Kuvveti	Yüksek Isı Transferi	Yüksek Tepkime
	Hızlı	Ağır	Yüksek	Hızlı	Hızlı	Hızlı	Hızlı	Yüksek	Alçak Yük	Alçak Amperaj	Alçak Alan Kuvveti	Alçak Isı Transferi	Alçak Tepkime
	Yavaş	Hafif	Alçak	Yavaş	Yavaş	Yavaş	Yavaş	Alçak					
	Yön	Yön	Yön	Yön	Yön	Yön	Yön	Yön					
	x	x	x	x	x	x	x	x					
	y	y	y	y	y	y	y	y					
	z	z	z	z	z	z	z	z					
	Zamansallık	Zamansallık	Zamansallık	Zamansallık	Zamansallık	Zamansallık	Zamansallık	Zamansallık					
	Kararlı	Kararlı	Kararlı	Kararlı	Kararlı	Kararlı	Kararlı	Kararlı					
	Periyodik	Periyodik	Periyodik	Periyodik	Periyodik	Periyodik	Periyodik	Periyodik					
	Düzensiz	Düzensiz	Düzensiz	Düzensiz	Düzensiz	Düzensiz	Düzensiz	Düzensiz					
	Anlık	Anlık	Anlık	Anlık	Anlık	Anlık	Anlık	Anlık					
	Fiziksel Durum												
	Katı Yekpare Sert												
	Katı Yekpare Yumuşak												
	Katı Yekpare Kırılgan												
	Katı Yekpare Esnek												
	Katı Parçacıklı												
	Katı Toz												
	Sıvı Yüksek Visk.												
Sıvı Düşük Visk.													
Gaz İnert													
Gaz Aktif													

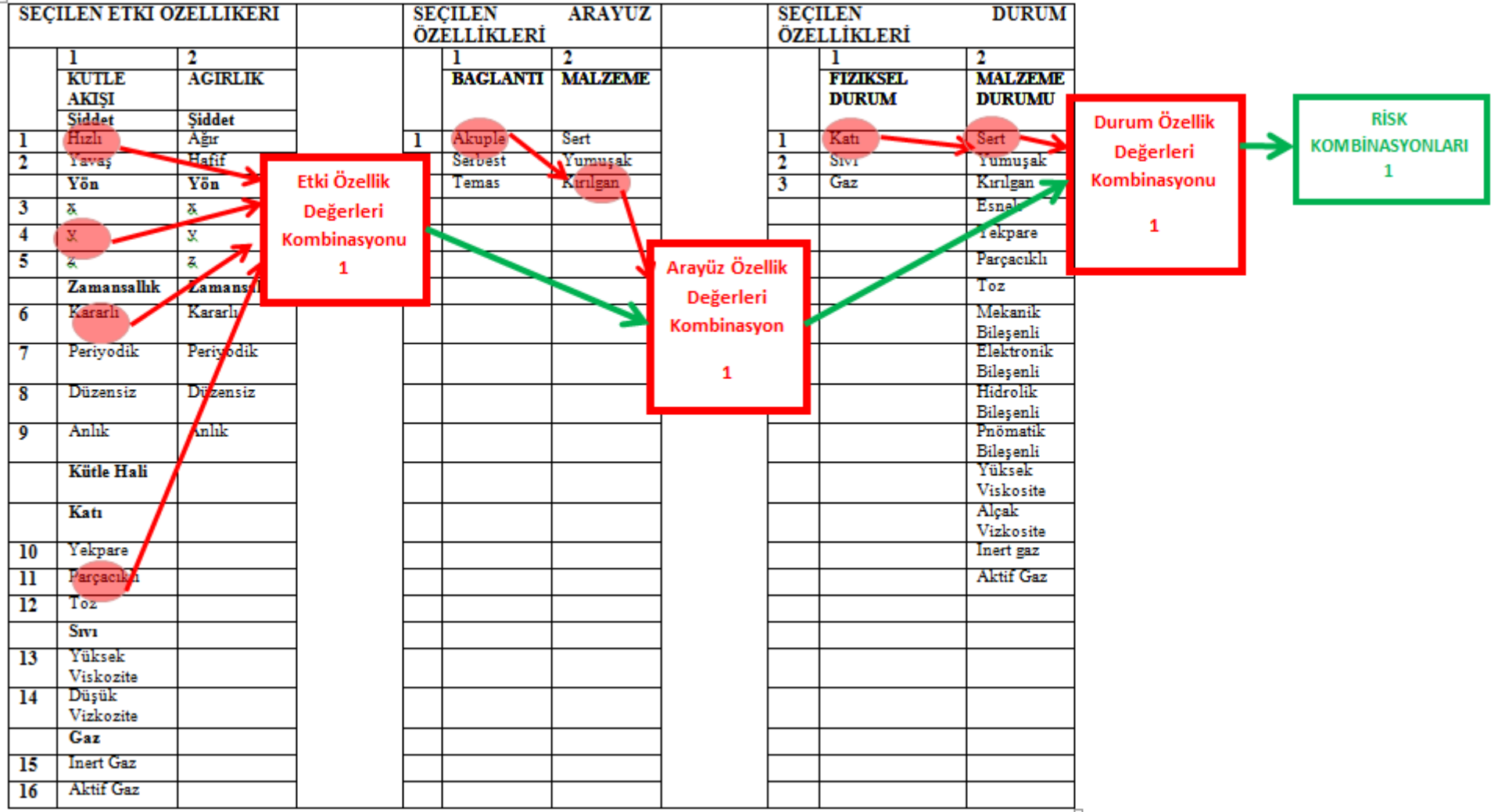
Tablo 2. Ara yüz özellikleri ve değerleri

ARAYÜZ ÖZELLİKLERİ	MEKANİK ÖZELLİKLER		ELEKTRİK/MANYETİK ÖZELLİKLER			ISIL ÖZELLİKLER			KİMYASAL ÖZELLİKLER
	BAĞLANTI	MALZEME	İLETKENLK	ELEKTİK YÜKÜ	MANYETİZM	İLETKENLİK	ERİME SICAKLIĞI	DONMA SICAKLIĞI	AKTİF
ARAYÜZ ÖZELLİK DEĞERLERİ	Akuple	Sert	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
	Serbest	Yumuşak	Alçak	Alçak	Alçak	Alçak	Alçak	Alçak	Alçak
	Temas	Kırılğan							
		Esnek							

Tablo 3. Durum özellikleri ve değerleri

DURUM ÖZELLİKLERİ	FİZİKSEL DURUM	AĞIRLIK	SICAKLIK	BASINÇ	HAREKET	ELEKTRİK YÜKÜ	MANYETİZM	KİMYASAL TEPKİME
DURUM ÖZELLİK DEĞERLERİ	Katı Yekpare Sert	Ağır	Yüksek	Yüksek	Sabit	Yüksek	Yüksek	Yüksek
	Katı Yekpare Yumuşak	Hafif	Düşük	Alçak	MDoH (x)	Alçak	Alçak	Alçak
	Katı Yekpare Kırılğan				MDoH (y)			
	Katı Yekpare Esnek				MDoH (z)			
	Katı Parçacıklı				MDöH (x)			
	Katı Toz				MDöH (y)			
	Katı Mek.Bileşenli				MDöH (z)			
	Katı Elektr.Bileşenli				GDoH (x)			
	Katı Hid.Bileşenli				GDoH (y)			
	Katı Pnö.Bileşenli				GDoH (z)			
	Sıvı Yüksek Vis.				GDöH(x)			
	Sıvı Alçak Vis.				GDöH (y)			
	Gaz İnert				GDöH (z)			
	Gaz Aktif							

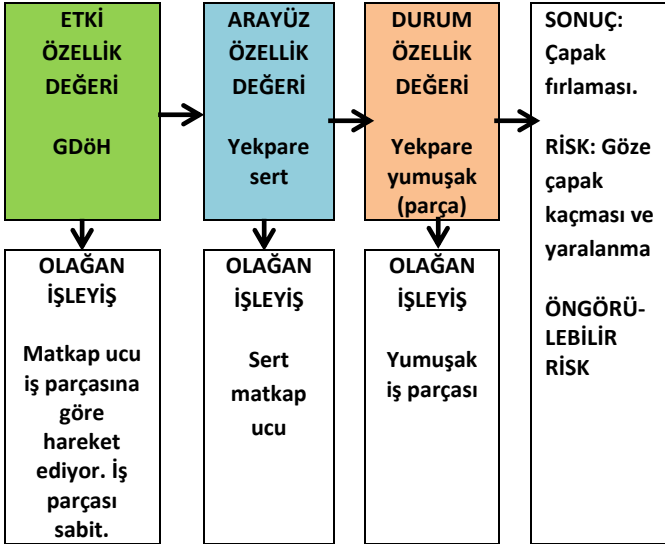
RİSK KOMBİNASYONLARININ OLUŞTURULMASI



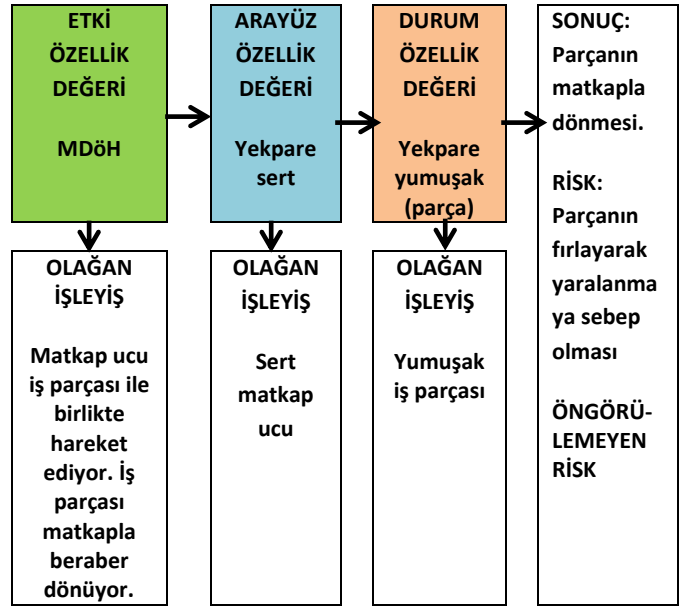
Şekil 6. Risk kombinasyonların belirlenmesi

Özellik değerleri öngörülebilir riskleri yaratırlar ve bu riskler için düzeltici tedbirler adımına geçilir. Sistemin normal işleyişi esnasında mevcut olması beklenmeyen olağan dışı değerler ise öngörülemez riskleri meydana getirirler ve ayrıntılı olarak incelenmeleri gerekir. Bu adımda, bu değerlerin fiziksel ya da mantıksal olarak oluşmasının mümkün olup olmadığına bakılır. Fiziksel veya mantıksal olarak ortaya çıkması mümkün görünmeyen değerlerin içinde bulunduğu kombinasyonlar elenir. Sistemin rutin işleyişi içinde oluşması beklenmeyen ancak fiziksel/mantıksal olarak oluşması mümkün değerlerin içinde bulunduğu kombinasyonlar için bir sonraki adım işlemleri uygulanır.

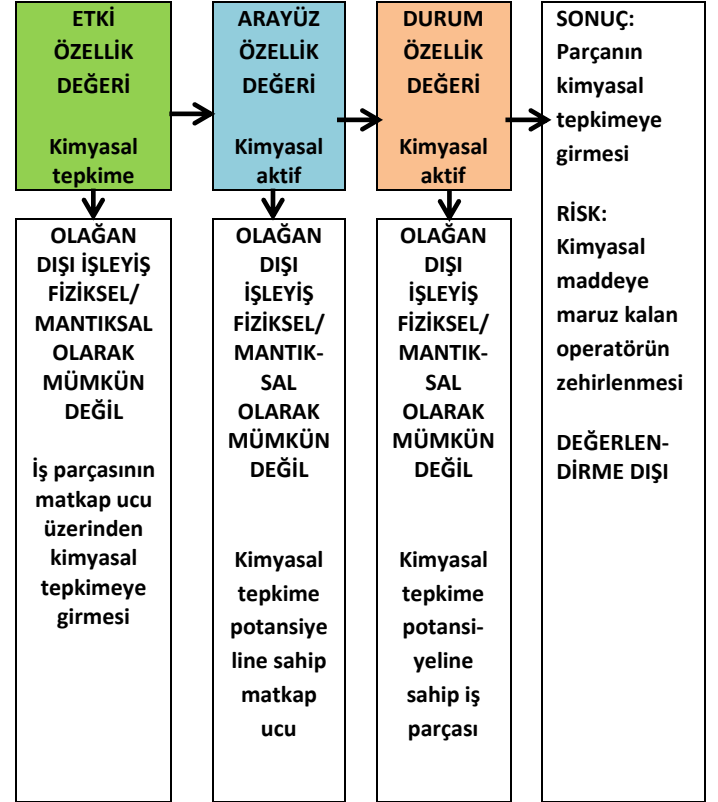
Örneğin, bir matkapla delme işleminde parça (sistem) ve matkap ucu (ara yüz) arasında MDöH (Mutlak Döngüsel Hareket) (etki) beklenmez. Çünkü döner matkap sabit parça üzerinde işlemektedir ve beklenen etki özelliği GDöH (Görelî Döngüsel Hareket)'tir. Ancak parçanın tezgâha uygun şekilde bağlanmaması parçanın matkap ucuyla beraber dönmesi yani MDöH etkisi yaratabilecektir. Bu durum sistemin normal işleyişi sırasında beklenmez ancak fiziksel/mantıksal açıdan mümkündür ve bir riske işaret eder. Böyle bir kombinasyon bir sonraki adımda incelenmelidir. Ancak tezgâha bağlı parçanın matkap yoluyla kimyasal etkiye maruz kalması fiziksel/mantıksal olarak olası görülmez ve elenir. Şekil 9, 10 ve 11'de öngörülebilir, öngörülemez, fiziksel/mantıksal olarak mümkün olmayan risklere sahip kombinasyonlara ilişkin örnekler sunulmaktadır.



Şekil 9. Öngörülebilir risk kombinasyonu



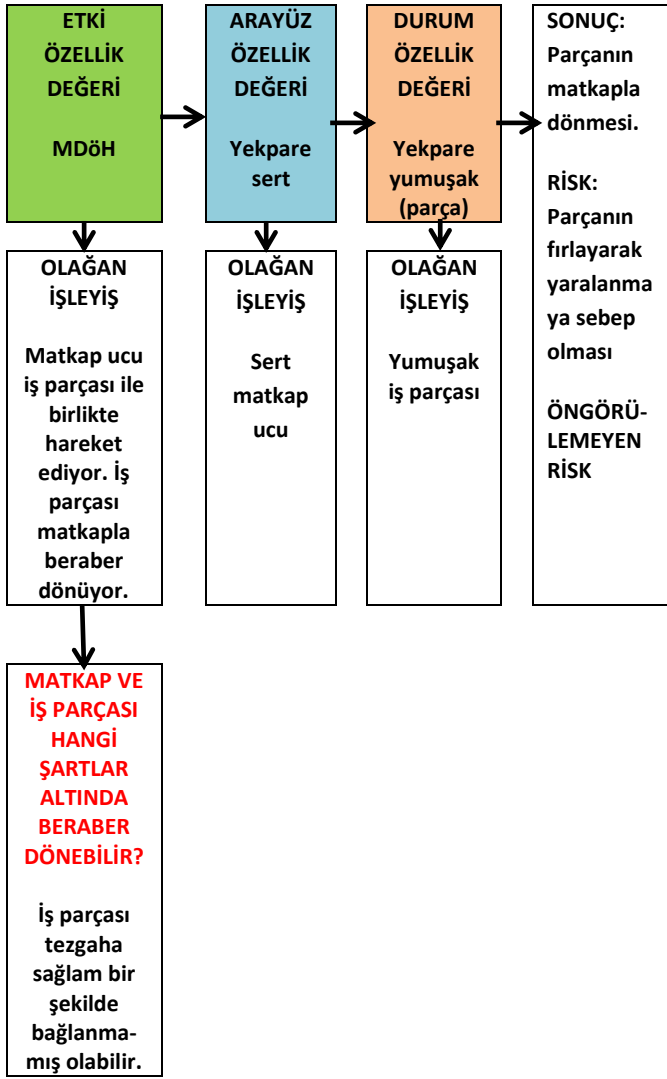
Şekil 10. Öngörülemez risk kombinasyonu



Şekil 11. Fiziksel/mantıksal olarak mümkün olmayan risk kombinasyonu

Yöntem Adımı-7: Kök Neden Analizi

Bir önceki adımda seçilen, olağan dışı işleyiş koşulları sebebiyle oluşan, risk yaratabilecek etki-ara yüz-durum özellik değerleri incelenir. Bu değerlerin hangi olağan dışı koşullarda meydana gelebileceği ve nedenleri araştırılır. Şekil 12'de kök neden analizine ilişkin bir örnek yer almaktadır.



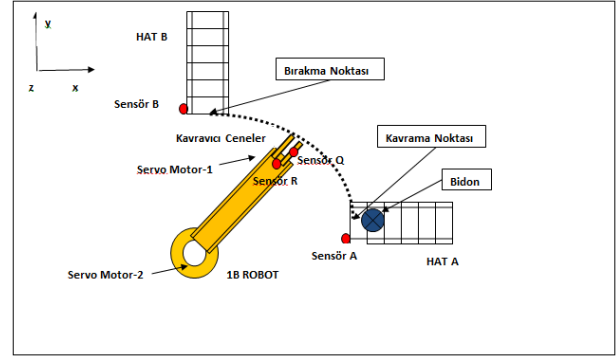
Şekil 12. Kök neden analizi

Yöntem Adımı-8: Düzeltici Tedbirlerin Alınması

Risk ve tehlikelere neden olan etki-ara yüz-durum özellik değerlerini yaratan koşulların ortadan kaldırılması için tedbirler geliştirilir.

4. Uygulama

Önerilen yöntem, içi tehlikeli sıvı ile dolu ve ağzı açık bir plastik bidonun, tek eksenli bir robot kolu tarafından bir konveyör hattından alınarak başka bir konveyör hattına taşındığı endüstriyel bir uygulama üzerinde denenmiştir. Şekil 13'te uygulamanın yapıldığı endüstriyel süreç gösterilmektedir.



Şekil 13. İncelenen endüstriyel süreç

Yöntem Adımı-1: İncelenecek Sistemin Belirlenmesi

Uygulama kapsamında incelenecek sistem tehlikeli kimyasal içeren bidon olarak belirlenmiştir.

Yöntem Adımı-2: Proses Adımlarının ve Ara yüzlerin Belirlenmesi

Aşağıda tehlikeli kimyasal içeren robotun içinde yer aldığı proses adımları ve bu proses adımlarındaki ara yüzler sıralanmıştır.

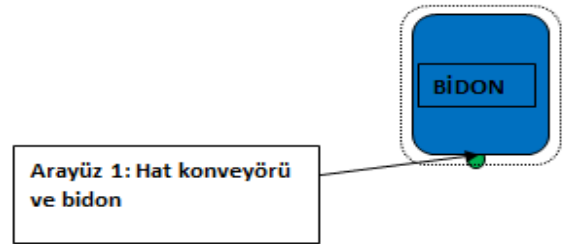
Proses Adımı-1:

Robot kolu kavrama noktasında sabittir ve kavrayıcı çeneler açık pozisyonundadır.

Hat B konveyörü hareketsizdir.

Hat A konveyörü bidonu kavrama noktasına getirmektedir.

Şekil 14'te proses adımı 1'e ait ara yüz gösterilmektedir

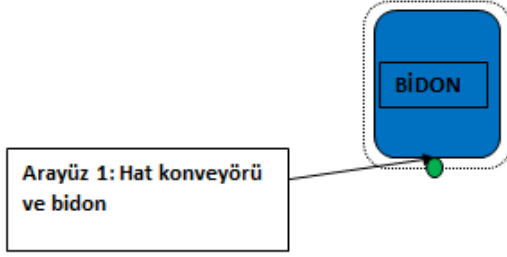


Şekil 14. Proses adımı 1'e ait ara yüz

Proses Adımı-2:

Sensör A bidonu görmekte ve Hat-A konveyörü durmaktadır.

Şekil 15'te proses adımı 2'ye ait ara yüz gösterilmektedir.



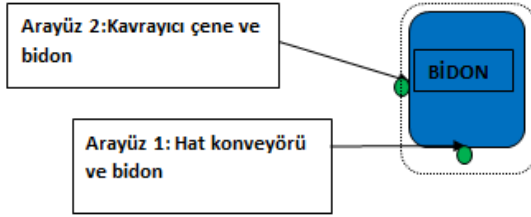
Şekil 15. Proses adımı 2'ye ait ara yüz

Proses Adımı-3:

Sensör R bidonu görüp kavrayıcı çenelere kapanma komutu vermekte ve Servo Motor-1 çalışmaktadır.

Kavrayıcı çeneler arasındaki mesafe bidon çapına göre ayarlanan değere gelince, Sensör Q Servo Motor-1'i kapatarak kavrayıcı çeneleri durdurmaktadır. Bidon robot tarafından kavranmış durumdadır.

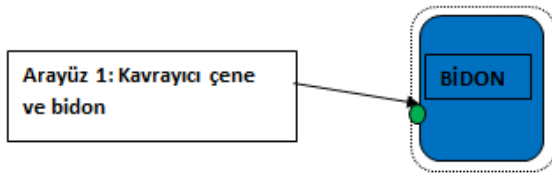
Şekil 16'da proses adımı 3'e ait ara yüzler gösterilmektedir.



Şekil 16. Proses adımı 3'e ait ara yüz

Proses Adımı-4:

Robot kolu x-y düzleminde, Servo Motor-2 vasıtasıyla dönerek bidonu Hat B'deki bırakma noktasına doğru hareket ettirmektedir. Şekil 17'de proses adımı 4'e ait ara yüz gösterilmektedir.



Şekil 17. Proses adımı 4'e ait ara yüz

Proses Adımı-5:

Sensör B bidonu görerek robot kolunu bırakma noktasında durdurmaktadır. Şekil 18'de proses adımı 5'e ait ara yüzler bulunmaktadır.



Şekil 18. Proses adımı 5'e ait ara yüz

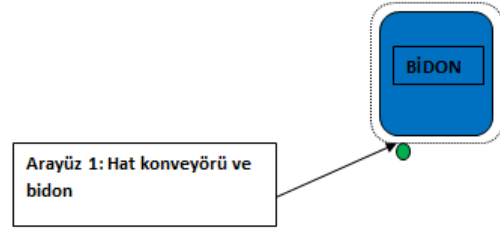
Proses Adımı-6

Sensör B çenelere açılma komutu vermekte ve Servo Motor-1 çalışmaktadır.

Kavrayıcı çeneler arasındaki mesafe bidonu serbest bırakacak şekilde önceden ayarlanmış değere gelince, Sensör Q Servo Motor-1'i durdurmaktadır.

Hat B Konveyörü hareket etmektedir.

Şekil 19'da proses adımı 6'ya ait ara yüz gösterilmektedir.



Şekil 19. Proses adımı 6'ya ait ara yüz

Yöntem Adımı-3: Etki, Ara yüz Ve Durum Özellikleri ve Değerlerinin Tanımlanması

Her bir proses adımı için etki, ara yüz, durum özellikleri ve değerleri tanımlanır.

Proses Adımı-1

Tablo 4'de proses adımı 1'e ait etki, ara yüz, durum özellikleri ve değerleri verilmektedir.

Tablo 4. Proses adımı 1'e ait etki, ara yüz-1, durum özellikleri ve değerleri

Ara yüz-1: Hat konveyörü ve bidon		
Etki Özellikleri	Ara yüz Özellikleri	Durum Özellikleri
MDoH	Fiziksel Temas	Fiziksel Durum
Statik Elektrik	Elektrik/Manyetik	Malzeme Durumu
Elektrik Akımı		Ağırlık
		Hareket
		Kimyasal

Proses Adımı-2

Tablo 5’de proses adımı 2’ye ait etki, ara yüz, durum özellikleri ve değerleri verilmektedir.

Tablo 5. Proses adımı 2’ye ait etki, ara yüz-1, durum özellikleri ve değerleri

Arayüz-1: Hat konveyörü ve bidon		
Etki Özellikleri	Ara yüz Özellikleri	Durum Özellikleri
Statik Elektrik	Fiziksel Temas	Fiziksel Durum
Elektrik Akımı	Elektrik/Manyetik	Malzeme Durumu
		Ağırlık
		Hareket
		Kimyasal

Proses Adımı-3

Tablo 6 ve 7’de proses adımı 3’e ait etki, ara yüz, durum özellikleri ve değerleri verilmektedir.

Tablo 6. Proses adımı 3’e ait etki, ara yüz-1, durum özellikleri ve değerleri

Arayüz-1: Hat konveyörü ve bidon		
Etki Özellikleri	Ara yüz Özellikleri	Durum Özellikleri
Statik Elektrik	Fiziksel Temas	Fiziksel Durum
Elektrik Akımı	Elektrik/Manyetik	Malzeme Durumu
		Ağırlık
		Hareket
		Kimyasal

Tablo 7. Proses adımı 3’e ait etki, ara yüz-2, durum özellikleri ve değerleri

Arayüz-2: Kavrayıcı çene ve bidon		
Etki Özellikleri	Ara yüz Özellikleri	Durum Özellikleri
Basınç	Fiziksel Temas	Fiziksel Durum
Statik Elektrik	Elektrik/Manyetik	Malzeme Durumu
Elektrik Akımı		Ağırlık
		Hareket
		Kimyasal

Proses Adımı-4

Tablo 8’de proses adımı 4’e ait etki, ara yüz, durum özellikleri ve değerleri verilmektedir.

Tablo 8. Proses adımı 4’e ait etki, ara yüz-1, durum özellikleri ve değerleri

Arayüz-1: Kavrayıcı çene ve bidon		
Etki Özellikleri	Ara yüz Özellikleri	Durum Özellikleri
Basınç	Fiziksel Temas	Fiziksel Durum
MDoH	Elektrik/Manyetik	Malzeme Durumu
Statik Elektrik		Ağırlık
Elektrik Akımı		Hareket
		Kimyasal

Proses Adımı-5

Tablo 9 ve 10’da proses adımı 5’e ait etki, ara yüz, durum özellikleri ve değerleri verilmektedir.

Tablo 9. Proses adımı 5’e ait etki, ara yüz-1, durum özellikleri ve değerleri

Arayüz-1: Hat konveyörü ve bidon		
Etki Özellikleri	Ara yüz Özellikleri	Durum Özellikleri
Statik Elektrik	Fiziksel Temas	Fiziksel Durum
Elektrik Akımı	Elektrik/Manyetik	Malzeme Durumu
		Ağırlık
		Hareket
		Kimyasal

Tablo 10. Proses adımı 5’e ait etki, ara yüz-2, durum özellikleri ve değerleri

Arayüz-2: Kavrayıcı çene ve bidon		
Etki Özellikleri	Ara yüz Özellikleri	Durum Özellikleri
Basınç	Fiziksel Temas	Fiziksel Durum
Statik Elektrik	Elektrik/Manyetik	Malzeme Durumu
Elektrik Akımı		Ağırlık
		Hareket
		Kimyasal

Proses Adımı-6

Tablo 11’de proses adımı 6’ya ait etki, ara yüz, durum özellikleri ve değerleri verilmektedir.

Tablo 11. proses adımı 6’ya ait etki, ara yüz-1, durum özellikleri ve değerleri

Arayüz-1: Hat konveyörü ve bidon		
Etki Özellikleri	Ara yüz Özellikleri	Durum Özellikleri
MDoH	Fiziksel Temas	Fiziksel Durum
Statik Elektrik	Elektrik/Manyetik	Malzeme Durumu
Elektrik Akımı		Ağırlık
		Hareket
		Kimyasal

Yöntem Adımı-4: Risk Kombinasyonlarının Oluşturulması

Her bir proses adımına ait ara yüzler için Etki Özellik Değerleri Kombinasyonları, Ara yüz Özellik Değerleri Kombinasyonları ve Durum Özellik Değerleri Kombinasyonları, Mathematica yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Bu 3 kombinasyon grubu kullanılarak Risk Kombinasyonları belirlenmiştir

Etki Özellik Değer Kombinasyonları:

Tablo 12'de Proses Adımı-1'e ait etki özellik ve değerleri verilmektedir.

Tablo 12. Proses Adım-1'e ait etki özellik ve değerleri kombinasyonları

Etki Hareket Şiddeti	Etki Hareket Yönü	Etki Zamansallık	Etki Statik Elektrik	Etki Elektrik Akımı
hızlı	x	kararlı	alçak yük	yüksek amperaj
hızlı	x	kararlı	alçak yük	alçak amperaj
hızlı	x	kararlı	yüksek yük	yüksek amperaj
hızlı	x	kararlı	yüksek yük	alçak amperaj
hızlı	x	periyodik	alçak yük	yüksek amperaj
hızlı	x	periyodik	alçak yük	alçak amperaj
hızlı	x	periyodik	yüksek yük	yüksek amperaj
hızlı	x	periyodik	yüksek yük	alçak amperaj
hızlı	x	düzensiz	alçak yük	yüksek amperaj
hızlı	x	düzensiz	alçak yük	alçak amperaj
hızlı	x	düzensiz	Yüksek yük	yüksek amperaj

Ara yüz Özellik Değer Kombinasyonları:

Tablo 13'de Proses Adımı-1'e ait ara yüz özellik ve değerleri verilmektedir.

Tablo 13. Proses Adımı-1'e ait etki özellik ve değerleri kombinasyonları

Arayüz Şekli	Bağlı Malzeme	Arayüz Elektriksel İletkenlik
akuple	sert	yüksek elektriksel iletkenlik
akuple	sert	düşük elektriksel iletkenlik
akuple	yumuşak	yüksek elektriksel iletkenlik
akuple	yumuşak	düşük elektriksel iletkenlik
akuple	kırılgan	yüksek elektriksel iletkenlik
akuple	kırılgan	düşük elektriksel iletkenlik
sebest	sert	yüksek elektriksel iletkenlik
sebest	sert	düşük elektriksel iletkenlik
sebest	yumuşak	yüksek elektriksel iletkenlik
sebest	yumuşak	düşük elektriksel iletkenlik
sebest	kırılgan	yüksek elektriksel iletkenlik
sebest	kırılgan	düşük elektriksel iletkenlik
temas	sert	yüksek elektriksel iletkenlik
temas	sert	düşük elektriksel iletkenlik
temas	yumuşak	yüksek elektriksel iletkenlik
temas	yumuşak	düşük elektriksel iletkenlik
temas	kırılgan	yüksek elektriksel iletkenlik
temas	kırılgan	düşük elektriksel iletkenlik

Durum Özellik Değer Kombinasyonları:

Tablo 14'de Proses Adımı-1'e ait durum özellik ve değerleri verilmektedir.

Tablo 14. Proses Adımı-1'e ait durum özellik ve değerleri kombinasyonları

Durum Fiziksel	Durum Ağırlık	Durum Hareket	Durum Tepkime	Kimyasal
kati sert yekpare	ağır	aMDöHx	yüksek kimyasal tepkime	
kati sert yekpare	ağır	aMDöHx	düşük kimyasal tepkime	
kati sert yekpare	ağır	aMDöHy	yüksek kimyasal tepkime	
kati sert yekpare	ağır	aMDöHy	düşük kimyasal tepkime	
kati sert yekpare	ağır	aMDöHz	yüksek kimyasal tepkime	
kati sert yekpare	ağır	aMDöHz	düşük kimyasal tepkime	
kati sert yekpare	ağır	aMDöHx	yüksek kimyasal tepkime	
kati sert yekpare	ağır	aMDöHx	düşük kimyasal tepkime	
kati sert yekpare	ağır	aMDöHz	yüksek kimyasal tepkime	
kati sert yekpare	ağır	aMDöHz	düşük kimyasal tepkime	
kati sert yekpare	ağır	aGDoHx	yüksek kimyasal tepkime	
kati sert yekpare	ağır	aGDoHx	düşük kimyasal tepkime	
kati sert yekpare	ağır	aGDoHy	yüksek kimyasal tepkime	

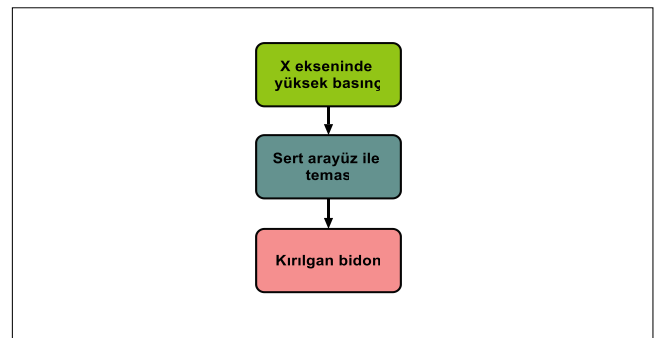
Bu üç kombinasyon grubu kullanılarak elde edilen Risk kombinasyonları bir sonraki adımda incelenmiştir.

Yöntem Adımı-5: Riskli Kombinasyonların Belirlenmesi

Bir önceki adımda elde edilen kombinasyonlar incelenmiş ve risk oluşturan ve oluşturmayan etki-ara yüz-durum özellik değerleri saptanmıştır.

Risk oluşturan kombinasyonlar Şekil 20, 22 ve 23'de, risk oluşturmayan örnek bir kombinasyon Şekil 21'de verilmiştir.

KOMBİNASYON	SONUÇ	RİSK	DEĞERLENDİRME
İncelenen kırılğan özellikli kimyasal bidonunun, kendisine temas eden sert kavrayıcı ara yüz üzerinden, x ekseninde yüksek basınca maruz kalması	Kırılğan bidonun yüksek basınç altında parçalanması.	Saçılan tehlikeli kimyasalın çalışanlarda yanık, zehirlenme vs. yol açması.	ANALİZ EDİLECEK



Şekil 20. Risk oluşturan kombinasyon

KOMBİNASYON	SONUÇ	RİSK	DEĞERLENDİRME
İncelenen esnek özellikli kimyasal bidonun kendisine temas eden sert kavrayıcı ara yüz üzerinden y ekseninde düşük basınca maruz kalması	Düşük basınç esnek bidonu etkilemeyecektir.	YOK	ANALİZ EDİLMESİNE GEREK YOK



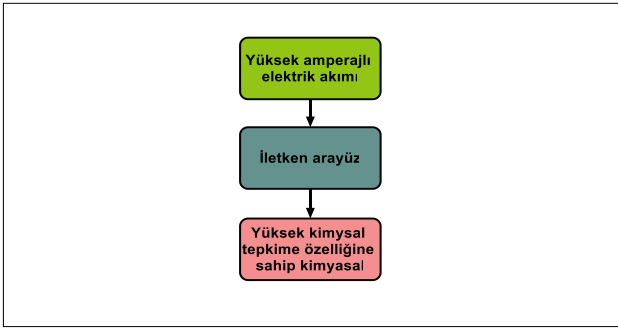
Şekil 21. Risk oluşturmeyen kombinasyon

KOMBİNASYON	SONUÇ	RİSK	DEĞERLENDİRME
İncelenen ağır özellikli bidonun kendisini serbest şekilde tutan ara yüz üzerinden, x ekseninde anlık doğrusal harekete maruz kalması	Anlık hareketin etkisiyle serbest (gevşek) bir şekilde tutulan ağır bidonun robot kolunun kavrayıcısında n kurtulması ve düşmesi.	Tehlikeli kimyasalın saçılarak operatöre zarar vermesi	ANALİZ EDİLECEK



Şekil 23. Risk oluşturan kombinasyon

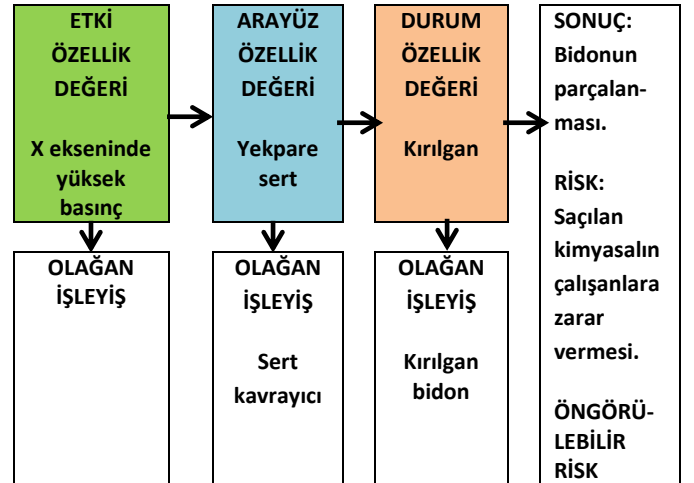
KOMBİNASYON	SONUÇ	RİSK	DEĞERLENDİRME
İncelenen yüksek kimyasal tepkime özelliğine sahip kimyasal bidonun iletken ara yüz üzerinden yüksek amperajlı elektrik akımına maruz kalması	Kimyasal'ın yüksek amperajlı elektrik akımına maruz kalması sonucu zehirli gazlar salgılanması	Gazların solunarak zehirlenme meydana gelmesi.	ANALİZ EDİLECEK



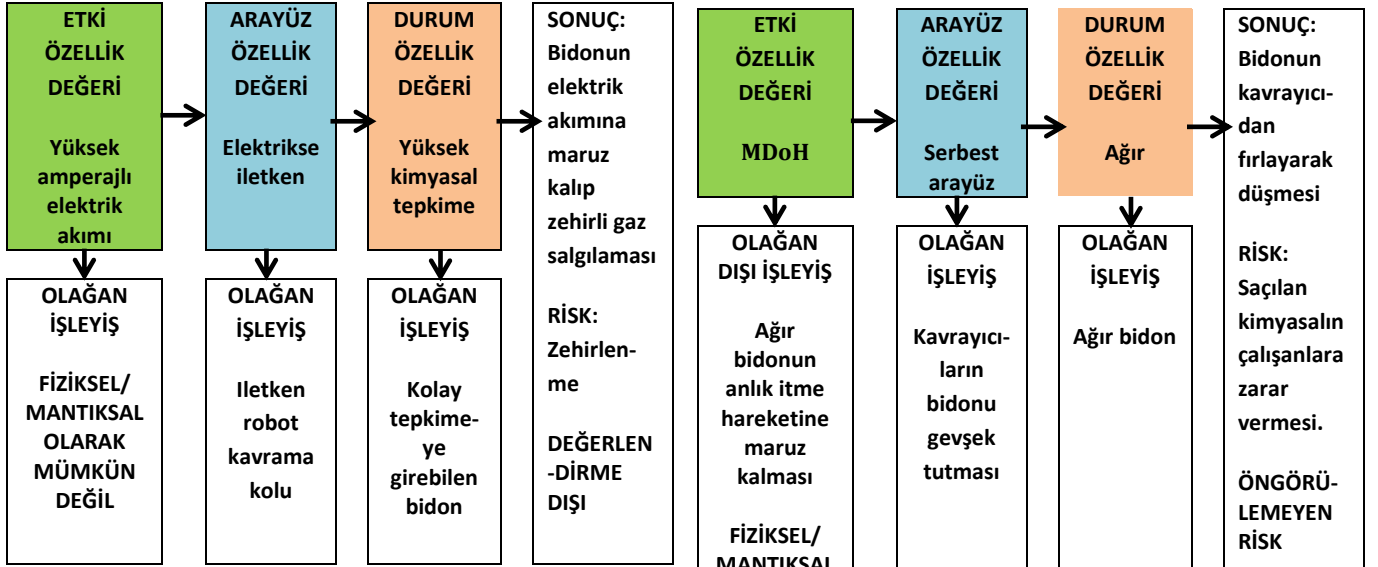
Şekil 22. Risk oluşturan kombinasyon

Yöntem Adımı-6: Riskli Kombinasyonların Analizi

Sistemin normal işleyişine ait riskli etki-arayüz-durum özellik değerleri Şekil 24'te verilmiştir. Risk teşkil eden ancak fiziksel ya da mantıksal olarak meydana gelmesi mümkün olmayan özellik değerleri Şekil 25'te sunulmuştur. Şekil 26'da ise sistemin olağan işleyişinde meydana gelmesi öngörülmeyen ancak fiziksel ya da mantıksal olarak mümkün olan diğer kombinasyonları yer almaktadır.



Şekil 24. Sistemin normal işleyişine ait risk değerleri



Şekil 25. Fiziksel/Mantıksal olarak mümkün olmayan değerler

Yöntem Adımı-7: Kök Neden Analizi

Şekil 27'de robot kolu sisteminin normal işleyişi dışında ortaya çıkabilecek risklerin kök neden analizine ilişkin bir örnek verilmiştir.

Yöntem Adımı-8: Düzeltici Tedbirlerin Geliştirilmesi

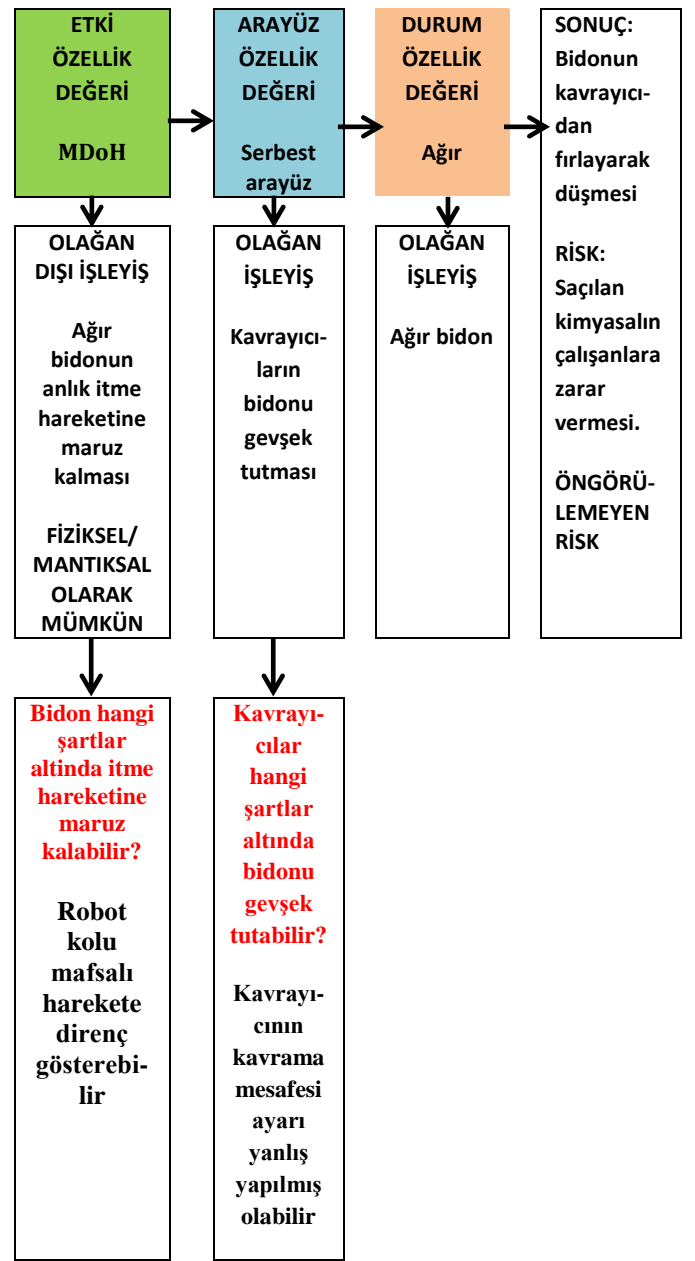
Şekil 27'de gösterildiği gibi Robot kolu için periyodik bakım planının uygulanması ve her operasyon öncesi sensör mesafe ayarlarının kontrol edilmesi yukarıda belirlenen risklerin önlenmesi için alınabilecek tedbirlerdir.

5. Sonuç ve Tartışma

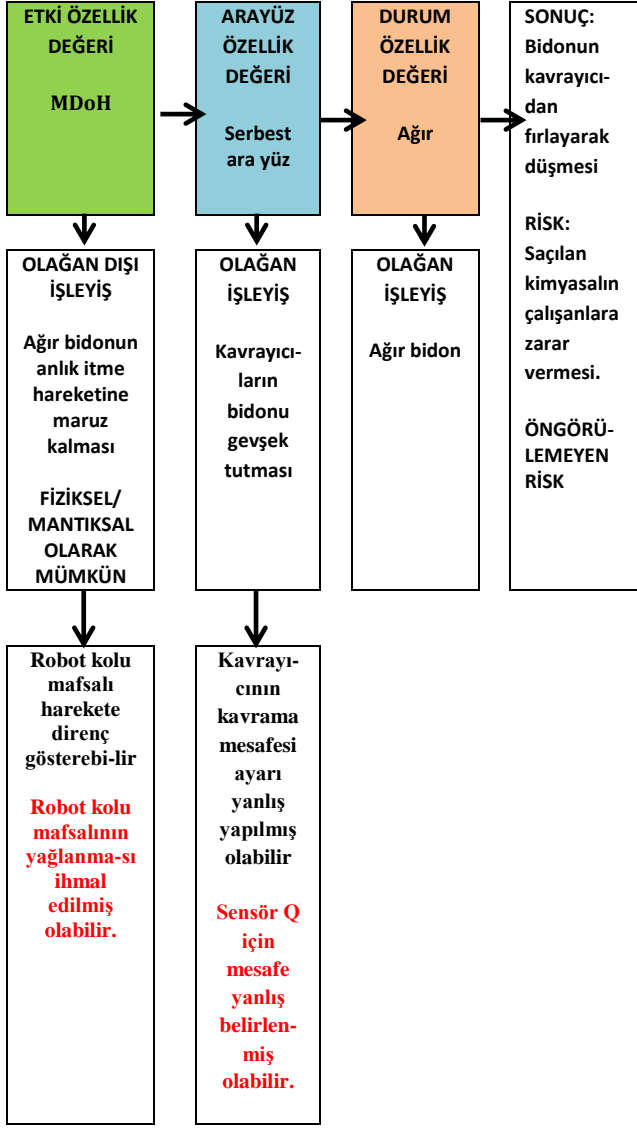
Risk analizi çalışmalarında çoğunlukla çalışanların deneyimleri ve kaza kayıtlarına bağımlı kaldığı için geçmişe dönük bilgilerden bağımsız olarak analitik bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır. Önerilen yöntem söz konusu ihtiyaca cevap vermek için tasarlanmıştır.

Önerilen yöntem, mevcut haliyle; incelenen sistemlerin, bu sistemlerin maruz kaldıkları etkilerin ve ara yüzlerin alabilecekleri özellik değerlerine ait kombinasyonların tek tek incelenmesine dayanmaktadır.

Birinci proses adımında mutlak doğrusal hareket etki özelliğine ait 2 adet (hızlı,yavaş) değer, yön etki özelliğine ait 3 adet (x,y,z) eksen değeri ve zamansallık özelliğine ait 4 adet (kararlı, periyodik, düzensiz, anlık) değer, toplam 24 (2x3x4=24) etki değeri kombinasyonu meydana getirmektedir. Statik Elektrik etki özelliği, (alçak yük, yüksek yük) olarak 2 değere,



Şekil 26. Sistemin normal işleyişi dışında fiziksel/mantıksal olarak meydana gelmesi mümkün değerler



Şekil 27. Sistemin normal işleyişi dışında meydana gelen risklerin kök-neden analizi

Elektrik Akımı etki özelliği, (yüksek amperaj, alçak amperaj) olmak üzere 2 değere sahiptir. Sonuç olarak birinci proses adımında sistem üzerinde $24 \times 2 \times 2 = 96$ etki değeri kombinasyonu oluşmaktadır. Aynı şekilde; Bağlantı Arayüz özelliğine ait (akuple, serbest, tems) değerleri, Mazeme Arayüz özelliğine ait (sert, yumuşak, kırılğan) değerleri ve Elektriksel İletkenlik özelliğine ait (yüksek elektriksel iletkenlik, düşük elektriksel iletkenlik) değerleri $3 \times 3 \times 2 = 18$ arayüz özellik değeri kombinasyonu meydana getirmektedir. Sisteme ait durum özellik kombinasyonlarının sayısı aynı yöntemle 512 olarak hesaplanmıştır. Böylece; etki, arayüz ve durum özelliklerine ait kombinasyonların kombinasyonu alındığında $96 \times 18 \times 512 = 884736$ adet risk kombinasyonu elde edilmektedir.

Bu durum yöntemin etkinliğini azaltmaktadır. Gelecekte; elde edilen tüm kombinasyonları değerlendirmeye tabi tutarak elemeyen geçirdikten sonra analizcinin incelemesine olanak verecek yapıyı

zekâ ve benzeri yaklaşımların uygulanmasıyla yöntemin etkinliğinin artırılacağı değerlendirilmektedir.

Önerilen yöntem, sistemin çalıştığı proses adımları için tüm olasılıkları dikkate alarak sistematik bir risk belirleme yöntemi oluşturmayı amaçlamakta ancak geçmiş dönemler için yapılan araştırma çalışmalarından, iş güvenliği uzmanlık bilgisi ve tecrübesinden yararlanma gerekliliğini ortadan kaldırmamaktadır. Ancak ilave bir yetenek olarak, tasarımcı ya da kullanıcıya, risklerin belirlenmesi için destek sağlayarak hiçbir riskin gözden kaçırılmamasını beraberinde getirmektedir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Chinniah Yuvin, 2015. Analysis and prevention of serious and fatal accidents related to moving parts of machinery. Safety Science, 75, 163-173.
- Flin R., Mearns K., O'Connor P., Bryden R., 2000. Measuring safety climate: identifying the common features. Safety Science 34(1-3), 177-192.
- Jocelyn Sabrina, Ouali Mohamed-Salah, Chinniah Yuvin, 2017. Improving machinery-related risk identification and estimation with accident reporting and logical analysis of data. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. 61(1), 1659-1663.
- Karwowski W. & Mital A., 1986. Potential applications of fuzzy sets in industrial safety engineering. Fuzzy Sets and Systems., 19, 105-120.
- McCauley-Bell M.S.P., Badiru A.B., 1992. A fuzzy linguistics model for job related injury risk assessment. Computers and Industrial Engineering, 23(1-4), 209-212.
- McCauley-Bell MSP, Crumpton L., 1997. A fuzzy linguistic model for the prediction of carpal tunnel syndrome risks in an occupational environment. Ergonomics, 40(8), 790- 799.
- Maiti J., & Bhattacharjee A., 1999. Evaluation of risk of occupational injuries among underground coal mine workers through multinomial logit analysis. Journal of Safety Reserachs, 30(2), 93- 101.
- Okun Andrea, Lentz Thomas J., Schulte Paul, Stayner Leslie, 2001. Identifying high-risk small business industries for occupational safety and health

- interventions. American Journal of Industrial Medicine, 39(3), 301-311.
- Sii, H.S., Ruxton T., Wang J.A. 2001. Fuzzy-logic-based approach to qualitative safety modelling for marine systems. Reliability Engineering and System Safety, 73(1), 19-34.
- Pokoradi L. 2002. Fuzzy logic-based risk assessment. AARMS, 1(1), 63-73.
- Markowski A.S.M., & Mannan S., 2008. Fuzzy risk matrix. Journal of Hazardous Materials, 159(1), 152-157.
- Gurcanli G.E., & Mungen U., 2009. An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets. International Journal of Industrial Ergonomics, 39(2), 371-387.
- Jeong K-S, Lee K-W, Lim H-K. 2010. Risk assessment on hazards for decommissioning safety of a nuclear facility. Annals of Nuclear Energy, 37(12), 1751-1762.
- Nieto-Morote A, Ruz-Vila F. A., 2011. Fuzzy approach to construction project risk assessment. International Journal of Project Management, 29(2), 220-231.
- Beriha G.S., Patnaik B., Mahapatra S.S., et al., 2010. Assessment of safety performance in Indian industries using fuzzy approach. Expert Systems with Applications, 39(3), 3311-3323.
- Samantra, C., Datta, S., Mahapatra, S.S., 2017. Analysis of occupational health hazards and associated risks in fuzzy environment: a case research in an Indian underground coal mine., International Journal of Injury Control and Safety Promotion, 24(3), 311-327.
- Karakhan, A. A., & Gambatese, J. A. 2017. Identification, quantification, and classification of potential safety risk for sustainable construction in the United States. Journal of Construction Engineering and Management, 143(7).