



FORKLİFT KAZALARINI ÖNLEMEK İÇİN BİR
RİSK ALGILAMA SİSTEMİ TASARIMI VE BİR
UYGULAMA

Ayhan ASLAN

Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs - 2018

FORKLİFT KAZALARINI ÖNLEMELİK İÇİN BİR RİSK ALGILAMA SİSTEMİ TASARIMI
VE BİR UYGULAMA

Ayhan ASLAN

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi İhsan EROZAN

Mayıs - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ayhan ASLAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı Forklift Kazalarını Önlemek İçin Bir Risk Algılama Sistemi Tasarımı ve Bir Uygulama başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

18.05.2018

Prof. Dr. Önder Uysal
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Doç. Dr. Özden Üstün
Bölüm Başkanı, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi İhsan Erozan
Danışman, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Doç. Dr. Özden Üstün
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa Öteyaka
Eskişehir Meslek Yüksek Okulu, Osmangazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İhsan Erozan
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 11 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İhsan EROZAN

Ayhan ASLAN

FORKLİFT KAZALARINI ÖNLEMELİK İÇİN BİR RİSK ALGILAMA SİSTEMİ TASARIMI VE BİR UYGULAMA

Ayhan Aslan

Endüstri Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi İhsan Erozan

ÖZET

Bu tez çalışmasında forklift kazalarını kaza olmadan önce önlemek için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yeni yaklaşım iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; bakım durumu ve operatör durumudur. Sistemin kesin girdileri olarak kullanılan bakım durumu ve operatör durumu, önerilen matematiksel model kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan bu girdiler bulanık mantık modeli ile bulanık kümelere dönüştürülmüştür. Bulanık mantık modeli, karar vericilerin forkliftlerin olası kaza risklerini algılamalarına, tahmin etmelerine ve değerlendirmelerine yardımcı olmaktadır. Önerilen yaklaşımın performansı bir vaka çalışması ve bir simülasyon çalışması ile test edilmiş ve çalışma sonuçları önerilen yaklaşımın forkliftlerin kaza risklerini önceden algılayabildiğini göstermiştir. Bu yaklaşımın, özellikle uygulayıcılar için, kazalar meydana gelmeden önce kaza risklerini tahmin etmede iyi bir araç olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: İş Kazası, Bulanık Mantık, Forklift Güvenliği, Risk Değerlendirme

A NOVEL APPROACH FOR FORECASTING POSSIBLE RISKS OF FORKLIFT ACCIDENTS USING FUZZY LOGIC AND A CASE STUDY

Ayhan Aslan

Industrial Engineering, M.S. Thesis, 2018

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. İhsan Erozan

SUMMARY

This paper presents a novel approach to prevent the occurrence of forklift accidents. The approach consists of two stages. In the first stage, the crisp inputs of the approach, which are the maintenance status and operator status, are calculated through the proposed mathematical models. Later, the inputs are converted to fuzzy sets through a fuzzy logic model. The fuzzy logic model will help decision-makers to perceive, forecast, and evaluate possible accident risks of forklifts. The performance of the proposed approach was tested with a case study and a simulation study. The results of the studies showed that the proposed approach can perceive forklift accident risks. Especially for practitioners, it is thought that the approach will be a good tool to predict accident risks before accidents occur.

Keywords: Forklift Safety, Fuzzy Logic, Risk Evaluation

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---|
| ÖZET | v |
| SUMMARY | vi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | Hata! Yer işareti tanımlanmamış. |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | x |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 4 |
| 2.1. Forklift Kazalarının İncelenmesi..... | 7 |
| 3. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNDE RİSK DEĞERLENDİRMESİ VE RİSKİN ALGILANMASI..... | 14 |
| 3.1. Risk Algılama | 16 |
| 3.2. Risk Değerlendirmesi..... | 20 |
| 3.2.1. Risk Tespiti ve Risk Değerlendirmesinde Kullanılan Geleneksel Metotlar..... | 21 |
| 3.3. Bulanık Mantık | 27 |
| 4. FORKLİFT GÜVENLİĞİ İÇİN BİR RİSK ANALİZ SİSTEMİ TASARIMI VE BİR UYGULAMA | 39 |
| 4.1. Önerilen Sistem Tasarımı..... | 42 |
| 4.1.1. Önerilen bulanık sistem..... | 48 |
| 4.2. Önerilen sistemin testi..... | 56 |
| 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME..... | 64 |
| KAYNAKLAR DİZİNİ | 68 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.1. Örnek bir forklift | 7 |
| 3.1. Risk yönetimine genel bir bakış. | 15 |
| 3.2. Mesafe algılayıcı sensörlerin çalışmasına örnek..... | 17 |
| 2.3. Kırmızı alan ve mavi ışık teknolojisi..... | 20 |
| 3.4. Başlangıç tehlike analizi süreci..... | 22 |
| 3.5. Bulanık üyelik fonksiyonu örneği..... | 29 |
| 3.6. Üçgen üyelik fonksiyonun gösterimleri..... | 29 |
| 3.7. Bulanık sistemlerin temel çalışma yapısı | 30 |
| 3.8. Bir bulanık mantık modelinin aşamaları..... | 30 |
| 3.9. Mamdani bulanık çıkarım yöntemine örnek | 32 |
| 3.10. Mamdani bulanık mantık modelinin çalışma şekline örnek | 33 |
| 3.11. Takagi-Sugeno çıkarım metodunun çalışma şekline örnek | 33 |
| 3.12. Tsukamoto metodunun çalışma yapısına örnek | 34 |
| 3.13. Larsen metodunun çalışma yapısına örnek | 34 |
| 3.14. En büyük üyelik yöntemi ile durulama işlemi | 35 |
| 3.15. En büyüklerin ortalaması yöntemi ile durulama işlemi | 36 |
| 3.16. En büyüklerin ortalaması yöntemine bir örnek..... | 36 |
| 4.1. Bakım örneğinin açıklanması..... | 51 |
| 4.2. Matlab ile bakım güvenilirlik durumu (GD) için bulanıklaştırma | 53 |
| 4.3. Matlab ile operatör güvenilirlik durumu (OD) için bulanıklaştırma | 55 |
| 4.4. Kaza risk durumu (KRD) için bulanıklaştırma | 55 |
| 4.5. Matlab fuzzy logic toolbox | 57 |
| 4.6. Matlab'da önerilen sistemin girdi, çıktı ve metodunun tanımlanması..... | 57 |
| 4.7. Matlab'da bakım güvenilirlik durumu (GD) için üyelik fonksiyonunun tanımlanması | 58 |
| 4.8. Matlab'da operatör durumu (OD) için üyelik fonksiyonunun tanımlanması | 58 |
| 4.9. Matlab'da kaza risk durumu (KRD) için üyelik fonksiyonunun tanımlanması..... | 59 |
| 4.10. Matlab'da önerilen sistem için kuralların eklenmesi | 59 |
| 4.11. Matlab'da oluşturulan kuralların incelenmesi | 60 |
| 4.12. Vaka örneğindeki ilk forklift için bulanık çıktı..... | 63 |
| 4.13. Vaka örneğindeki ikinci forklift için bulanık çıktı..... | 63 |
| 5.1. Bu tez çalışmasında önerilen genel forklift kaza önleme prosedürü..... | 66 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1. Forklift vb. yükleme boşaltma yapan araçların operatörlerinin sebep olduğu iş kazalarının yıllara ve cinsiyete göre dağılımı | 9 |
| 2.2. Amerika’da 1991-1992 yıllarında forklift kaynaklı ölümlü iş kazalarının sayısı ve kazanın gerçekleşme şekli | 9 |
| 3.1. Tehlikeli olayın şiddet değeri..... | 16 |
| 3.2 Tehlikeli olayın olasılık değeri..... | 16 |
| 3.3. Bir Olayın Gerçekleşme İhtimali | 24 |
| 3.4. Bir Olayın Gerçekleştiği Takdirde Şiddeti..... | 24 |
| 3.5. Risk Skor (Derecelendirme) Matrisi (L Tipi Matris) | 24 |
| 3.6. Sonucun Kabul Edilebilirlik Değeri | 25 |
| 3.7. Kural tablosunun oluşturulması | 31 |
| 4.1. Türk medyasından bazı forklift kaza haberleri | 40 |
| 4.2. Tasarlanan sistemde yer alması önerilen tesis ile ilgili önlemler | 43 |
| 4.3. Tasarlanan sistemde yer alması önerilen forklift ile ilgili önlemler..... | 43 |
| 4.4. Tasarlanan sistemde yer alması önerilen operatörle ile ilgili önlemler | 44 |
| 4.5. Tasarlanan sistemde yer alması önerilen anlık kazaları önleme sistemleri..... | 45 |
| 4.6. Forklift hareketleri ile ilgili verilerin toplanmasını sağlayan sistemler | 47 |
| 4.7. Önerilen sistemin girdileri ve çıktısı | 48 |
| 4.8. Haftalık, aylık, 3 aylık ve 6 aylık bakımların genel içerikleri (Dinler, 2000)..... | 49 |
| 4.9. Önerilen sistem için oluşturulan kural tablosu | 56 |
| 4.10. Çeşitli girdiler için sistemin tepkisi..... | 64 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Kısaltmalar</u> | <u>Açıklama</u> |
|--------------------|--|
| AA | Anadolu Ajansı |
| DHA | Doğan Haber Ajansı |
| EN | European Standart |
| ETA | Event Tree Analysis |
| FMEA | Failure Mode and Effects Analysis |
| FTA | Fault Tree Analysis |
| GD | Bakım Güvenilirlik Durumu |
| ISO | International Organization for Standardization |
| İHA | İhlas Haber Ajansı |
| İSG | İş Sağlığı ve Güvenliği |
| JSA | Job Safety Analysis |
| KDS | Karar Destek Sistemi |
| KRD | Kaza Risk Durumu |
| OD | Operatör Durumu |
| OSGB | Ortak Sağlık Güvenlik Birimi |
| OSHA | Occupational Safety and Health Administration |
| OWAS | Ovako Working Postures Analysing System |
| PHA | Peliminary Hazard Analysis |
| RÖS | Risk Öncelik Skoru |
| RULA | Rapid Upper Limb Assessment |
| SAS | System of Active Stability |
| SGK | Sosyal Güvenlik Kurumu |
| TS | Türk Standartları |

1. GİRİŞ

İş sağlığı kavramı Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından yalnız hastalık ve sakatlığın olmaması değil, bedensel, ruhsal ve sosyal yönden tam bir iyilik hali olarak tanımlanmaktadır. İş güvenliği kavramı ise kişinin hizmet veya mal üretmek üzere faaliyette bulunması sırasında kullandığı malzemeden veya işin yapılış şekline kaynaklanan maddi veya manevi sonuçları olan zararlardan korunması olarak ifade edilmektedir (Özkılıç, 2005:5). İşletmelerde iş sağlığı ve iş güvenliği kavramları genelde birlikte ele alındığı için tek bir kavram olarak "iş sağlığı ve güvenliği (İSG)" ifadesinin kullanımı tercih edilmektedir.

İSG sanayileşmeye paralel olarak ve teknolojik gelişmelerin ışığında önem kazanan ve sürekli gelişen bir kavramdır. Her ne kadar sanayileşme insanlık için vazgeçilmez olsa da, sanayinin gelişmesi ile üretimde kullanılan yeni teknolojiler ve kimyasallar insan sağlığı ve çevre açısından yeni sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunların ortadan kaldırılması sanayinin gelişimi önünde bir engel gibi görülse de çalışanların sağlığı ve güvenliğinden ödün vererek gerçekleşen bir sanayileşme kabul edilemez (Çakar, 2014).

İSG günümüzde sadece çalışan sağlığının korunmasına yönelik çalışmaların değil ayrıca firmalar için rekabet koşullarının iyileştirilmesi ve verimliliğin artırılması için de önemli bir araçtır. Artan rekabet ortamına ek olarak iş süreçlerinin de karmaşıklaşması çalışma ortamında iş gücü verimliliğinin artırılması için ilave faktörlerin düşünülmesini gerektirmiştir. Çalışma ortamında çalışanların işlerini güvenli, düzenli ve sürekli şekilde yapabilmeleri sadece iş yapısının verimli hale getirilmesine değil ayrıca işyeri çalışma şartlarının iyileştirilmesine de bağlıdır. Bu bağlamda İSG; işgücü verimliliğinin ve işgücünün iş yerine bağlılığının artırılmasında da önemli bir rol oynamaktadır.

Firmaların çalışma ortamlarında çalışanlarının sağlığı ve güvenliği açısından çıkarılan yasalar gereği uymak zorunda oldukları kurallar bulunmaktadır. Bunların bir kısmının uygulanması devlet kurumları tarafından zorlanırken bazıları da belirli sınırlar içinde firmanın inisiyatifine bırakılmıştır. İSG'nin çalışan performansı üzerindeki etkisinin bilincinde olan firmalar bu konuda sıkı çalışmalar yürüttükleri gibi çalışanlarını eğitmek gibi faaliyetler de yürütürler. Bir firmanın bu konuda yürüteceği en önemli çalışmalardan biri İSG ile ilgili riskleri önceden tespit etmektir. Eğer bu risk algılama çalışması ile riskler çalışanın güvenliğine ve sağlığına etki eden bir olay olmadan önce tespit edilebilirse hem büyük maliyetlere katlanılmamış olur, hem çalışanlar daha uzun süre ve daha verimli çalışmış olur hem de çalışanların hayat kalitesi artırılmış olur. İSG kapsamında yapılan çalışmalar sayesinde işçilerin

işgünü kayıpları, hammadde malzeme kayıpları ve sağlık harcamaları azaltılabilir ve alınan siparişlerdeki gecikmeler engellenebilir. Sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı ile çalışanların işyerine bağlılıkları artırılabilir, daha güvende ve daha mutlu çalışmaları sağlanabilir. Ekonomik olarak bakıldığında iş kazaları ve meslek hastalıklarının neden olduğu işgünü kayıpları oldukça fazladır. İş kazaları ve meslek hastalıkları İSG'nin çalışma alanı içine girip uygun metotlarla belirli olasılıklar içinde tespit edilebilirler.

Ülkemizde İSG konusunda birçok mevzuat ortaya konulmuştur. Uygulamaya bakıldığında tek başına mevzuat çalışmalarının İSG sorunlarına ışık tutması imkânsız gibi görünmektedir. Bu durum İSG çalışmalarına bilimsel açıdan yaklaşılması zorunluluğuna işaret etmektedir. Ayrıca teknolojik gelişmelerin sürekli ve hızlı bir şekilde yaşandığı günümüzde iş yeri ortamı koşullarının ve üretim metotlarının değişmesi sebebi ile İSG çalışmalarının da bu gelişme ve değişime ayak uydurması zorunluluğu doğmaktadır (İşler, 2013). Bu noktada en önemli konu bilimsel araştırmalar ışığında riskin tanımlanmasıdır. Eğer bir risk önceden tespit edilebilirse önlem almak için zamana sahip olunabilir. Aksi halde riskin ortaya çıkardığı maliyete katlanılmak zorunda kalınır. Bazı durumlarda para ile karşılanamayacak sorunlarda ortaya çıkabilir (sakat kalma, ölüm vb.). İşte bu hayati problemlerin önlenmesinde risk tespiti önemli bir rol oynamaktadır.

Günümüzde yeni geliştirilen metotlar sayesinde belirli bir olasılık dahilinde birçok faaliyet alanında risk tespiti yapılabilmektedir. Örneğin hastalıkların tespiti (kanser vb.), ekonomik krizlerin tespiti ve büyük kazaya yol açacak arızaların tespiti için son zamanlarda geliştirilen bazı metotlarla risk derecelendirmesi yapılabilmektedir. Bu metotlar literatür araştırması kısmında detaylı bir şekilde incelenecektir. Risklerin tespiti ve derecelendirmesi İSG faaliyetlerinde önleyici çalışmaların yapılabilmesi için oldukça önemli bir faaliyettir. Risklerin tespit ve derecelendirilmesindeki mevcut metotlar incelendiğinde daha ziyade geleneksel yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir. Bu yaklaşımların basitlik ve kullanım kolaylığı avantajı yanında; birçok faktörü dikkate almaması, riskleri tam olarak tespit edememesi, derecelendirmedeki zorluklar ve yorumlanmasındaki güçlükler gibi dezavantajları da mevcuttur. Günümüzde bu dezavantajlar sezgisel, meta-sezgisel ve yapay zekâ teknikleri ile aşılmaya çalışılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, işyerlerinde sıkça kullanılan ve forklift adı verilen taşıma araçlarında meydana gelebilecek kazaları önlemek için bir risk algılama sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde işyerlerinde forklift kazaları olmadan önce gerekli tedbirlerin (eğitim, bakım vb.) alınmasına yönelik bir uyarıcı sistem geliştirilmiş olacaktır. Çalışmada risklerin

tespiti için yapay zekâ tekniklerinden biri olan bulanık mantık (fuzzy logic) metodu kullanılmıştır. Bu metodun en önemli avantajı eksik ve belirsiz verilerin olduğu ortamlarda insan düşüncesine yakın çözümleri hızlı bir şekilde üretebilmesidir. İşletmelerde İSG ile ilgili verilerin özellikleri düşünüldüğünde bulanık mantığın bu çalışmada hedeflenen risk tespit sistemi için uygun bir metot olduğu düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasının kalanı şu şekilde organize edilmiştir; ikinci bölümde konu ile ilgili literatür araştırması yapılmış ve bazı önemli çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde günümüzde forkliftler üzerinde kullanılan risk algılama teknolojilerine değinilmiş ayrıca günümüzde sıkça kullanılan geleneksel metotlardan bazıları açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise önerilen risk analizi sisteminin tasarım aşamaları anlatılmış ve tasarlanan sistem örnek hesaplamalarla desteklenmiştir. Beşinci ve son bölümde ise önerilen sistemin çıktıları üzerinden değerlendirmelerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Forkliftlerin üretim işletmelerinde sıkça kullanılmaya başlanması ile beraber bu araçlarla yaşanan iş kazalarında önemli bir artış olmuştur. Özellikle dar ve kapalı ortamlarda kullanılan forkliftler birçok potansiyel riski de beraberinde getirmiştir. Bu nedenle son zamanlarda forkliftler ile ilgili kaza istatistikleri tutulmaya başlanmış, kazaların ve tehlikelerin önlenmesi için çeşitli düzenlemeler getirilmiştir.

Forkliftlerdeki risklerin algılanması ve risklerin tespiti konusunda son zamanlarda çeşitli çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalardan bazılarında bu bölümde değinilmiştir.

Solman (2002) yaptığı çalışma ile insan ve makineler arasındaki etkileşimleri analiz etmeyi amaçlamış ve bunun için bir metodoloji önermiştir. Bu çalışmada bir depo içerisinde bulunan "sürücü-transpalet sistemi" deneysel değerlendirme için bir vaka olarak kullanılmıştır. Bu çalışma üç deneysel çalışmadan ve bir istatistiksel veri analizinden oluşmaktadır. İki dağıtım şirketinde gerçekleştirilen çalışmalarda toplam 29 transpalet sürücüsü üzerinde; performans, güvenlik, öznel deneyimler, fiziksel ve zihinsel etkilerin, etkileşim kalitesinin göstergesi olarak kullanıldığı bir çerçeve önerilmiştir. Sonuç olarak en çok karşılaşılan yaralanmalar el ve ayak sıkışmaları olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bazı sürücülerin paleti iterek transpaleti hareket ettirdikleri gözlemlenmiş bunun ise ayak ve bacak yaralanmaları açısından yüksek riskli hareketler olduğu tespit edilmiştir.

Horberry ve arkadaşları (2004) Avustralya'daki iki üretim sahasında güvenliğin geliştirilmesine, uygulanmasına ve değerlendirilmesine yardımcı olmak için bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, çalışma öncesindeki ve sonrasındaki vaka incelemeleri sunulmuştur. Değerlendirme için forklift ve yaya hareketleri incelenmiş ve çalışan anketleri kullanılmıştır. Sonuç olarak yapılacak bazı müdahaleler ile forkliftleri kapsayan potansiyel tehlikeli etkileşimlerin sayısının azaltılması bakımından olumlu etkiler saptanmıştır.

Hoy ve arkadaşları (2005) forklift sürücülerini için forkliftten kaynaklanan titreşim ve vücut duruşu risklerini incelemiştir. Yazarlar çalışmalarını için yüz yüze anket tekniğini ve analizler için OWAS(Ovako Working Postures Analysing System) ve RULA(Rapid Upper Limb Assessment) tekniklerini kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda forklift sürücülerini arasında sırt ağrısının diğer çalışanlara göre daha yaygın olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Costa ve Arezes (2009) elektrikli forkliftlerdeki titreşim maruziyetini analiz etmek ve ağırlık, yaş, deneyim, eğitim ve beceriden bağımsız olarak bireysel özelliklerin forkliftin titreşim maruziyetini nasıl etkilediğini anlamak için bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada bireysel anket yöntemi kullanılarak, farklı beceri ve tecrübe seviyesindeki 10 kişiye anket çalışması uygulanmıştır. Sonuç olarak bu araçların sürülmesinde, beceri ve tecrübenin titreşime maruz kalma düzeylerini arttırdığı gözlemlenmiştir.

Naieni ve arkadaşları (2012) forklift gibi araçlarla yapılan kazalarda, risk değerlendirmesi ve tahmini için bulanık mantık ve kural tabanlı bir metodoloji kullanmışlardır. Yazarlar çalışmalarında, sorununun farklı değişkenleri ve farklı senaryoları için forklift kazalarının oluşma ihtimalini tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak 14 gerçek kaza verileri sisteme girilmiş ve 14 senaryonun tümünün sonucu gerçeğiyle aynı olarak tahmin edilebilmiştir.

Saric ve arkadaşları (2013) Avustralya'nın belirli bir bölgesinde 2000-2012 tarihleri arasında meydana gelen forklift kazaları ile ilgili bir çalışma yürütmüşlerdir. Araştırmacılar yaralanmaya neden olan forklift kazalarını sınıflandırarak daha önce yapılan çalışmalarla bir kıyaslama yapmışlardır. Çalışma sonucunda forklift kazalarının azaltılması yolunda pozitif etkiye sahip girişimler vurgulanmış ve bu konuda yapılacak geliştirme imkanları tartışılmıştır.

Rislund ve arkadaşları (2013) forklift kabinindeki direksiyon sistemlerinin sürücülerin boyun, omuz, kol ve bilek üzerindeki fiziksel yük etkisini nicel olarak ölçerek değerlendirmişlerdir. Çalışma için on iki erkek denek, üç direksiyon tipi (normal, eğik ve minyatür) ile aynı test döngülerini gerçekleştirmişler ve sürücüler üzerindeki fiziksel yükü açı ölçer, eğim ölçer ve elektromiyografi (sinir ve çizgili kasların elektrik potansiyelinin incelenmesine dayanan bir nörolojik tetkik yöntemi) kullanılarak değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda normal direksiyon simidini ile eğik direksiyon simidi arasında önemli bir fark tespit edilememiştir.

Bu çalışmada kullanılan bulanık mantık metodu hem risk değerlendirmede hem de risk algılamada sıkça kullanılan bir metottur. Bulanık mantık metodu pratik olmaması ve teknik bilgi gerektirmesinden dolayı İSG çalışmalarında çok sık kullanılsa da aslında geleneksel metotlara kıyasla birçok avantaja sahiptir. Bu nedenle özellikle 2000'li yıllardan itibaren İSG konularına bulanık mantık metodu kullanılarak çözümler üretilmeye çalışıldığı görülmektedir. Risk değerlendirmesi ve/veya risk tespiti konusunda bu metotla yapılmış bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur:

Manohar (2005) çalışmasında konut ve küçük ölçekli ticari yapılara odaklanarak yapı söküm projelerinde güvenlik konularını ele almayı amaçlamıştır. Yazar, tehlike tanımlama süreci ve saha güvenliği değerlendirmesi karmaşık olduğundan, karar verme sürecini kolaylaştırmak için bir yazılım programı geliştirmiştir. Yazar çalışmasında, güvenlik algısı bireylere göre değiştiği ve güvenlik terimi bulanık olduğu için bulanık mantık yaklaşımını bir değerlendirme aracı olarak kullanmıştır. Sonuç olarak çalışma, yapı söküm projelerinde güvenli bir ortamın sağlanmasında standartlar geliştirmek için bazı temel unsurları ortaya koymuştur.

Kuruoğlu ve arkadaşları (2007) inşaat sektöründe iş yaşamı, sağlık ve güvenlik anketi düzenlenmişlerdir. Daha sonra yazarlar, bu anket sonuçlarını kullanarak bulanık mantık (fuzzy logic) yöntemiyle inşaat sektöründe riskleri tespit edebilmek için bir model önermişlerdir. Çalışma sonucunda yapılan risk analizi çalışmasından inşaat sektörünün iş yaşamı, iş güvenliği ve iş sağlığı açısından %51,94 oranında risk taşıdığı tespit edilmiştir.

Markowski ve arkadaşları (2009) kaza risk değerlendirmesinde kullanılan hata ve olay ağacı analizi gibi temel araçlar için bulanık mantığın uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Yazarlar, bu inceleme için bir vaka analizi üzerinde geleneksel yaklaşım ile bulanık metodu yaklaşımının karşılaştırmasını sunmuşlardır.

Pinto ve arkadaşları (2012) şantiye alanlarında kolayca toplanabilecek bir dizi pratik öngörüden yola çıkarak bir model ile iş kazalarının şiddetini belirlemiş ve mevcut şiddetin gelişimini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmanın amacı mesleki risk değerlendirme kalitesini iyileştirmek ve iş kazalarının şiddet düzeyini belirlemektir. Yazarlar bu çalışmada bulanık mantık yaklaşımını kullanmışlardır. Sonuç olarak çalışmanın pratik verilerle anlamlı sonuçlar verdiği düşünülmektedir.

Grecco ve arkadaşları (2014) endüstriyel kuruluşların güvenlik performanslarındaki değişiklikleri tahmin edebilmek ve güvenlik kültürü değerlendirmesi yapabilmek için bulanık bir model oluşturmuşlardır. Bu çalışmada, göstergeleri modellemek ve bunların sonuçlarını değerlendirmek için bulanık küme teorisi kullanılmıştır. Çalışmada yazarlar, bulanık uzman görüşlerini toplamış ve bu görüşlerin benzer ve farklı yönlerini değerlendirerek ideal bir güvenlik kültürü kalıbı geliştirmişlerdir. Önerilen model, bir kuruluşta denenmiştir. Sonuç olarak model, güvenlik kültürünün güçlü ve zayıf noktalarını belirleyebilmiştir.

Rivero ve arkadaşları (2015) demir işleri ile ilgili bir tesiste ergonomik sorunlarla ilgili risk değerlendirmesi yapmak için RULA metodunu kullanmışlardır. Yazarlar, çalışan sayısının aşırı fazla olmasından dolayı bu metodun kullanışsız olduğu tespit etmişler ve bulanık mantık

yaklaşımını tercih etmişlerdir. Bulanık mantık yaklaşımı sayesinde, RULA metodu ile her çalışan için ergonomik değerlendirme süreci en küçüklenmeye çalışılmıştır.

2.1. Forklift Kazalarının İncelenmesi

Forklift kullanımının ve forklift sayısının artması ile bu konuda İSG problemlerinin ortaya çıkması, forklift kazalarının incelenmesine neden olmuştur. Bu incelemeler sonucunda forkliftlerin bakımı ve kullanımı ile ilgili yasal düzenlemeler yapılmış ve istatistikler düzenli olarak tutulmaya başlamıştır.

Forkliftler; yüksek bir kütleye sahip oldukları, katı ve dayanıklı bir yapıda oldukları ve genellikle yayalara yakın yerlerde çalıştıkları için tehlikeli araçlardır. Buna ek olarak, yükler genellikle çatallar üzerinde basitçe desteklenerek (yani aracın üzerine doğrudan sabitlenmez) taşınırlar.



Şekil 2.3. Örnek bir forklift (Toyota forklift, 2016).

Forklift kazaları ile ilgili literatürde birçok araştırma mevcuttur. Çalışmalar incelendiğinde kazaların daha çok toptan satış yerlerinde, depolarda ve nakliyecilerde gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca kazaların %45 gibi büyük bir oranı yayalara forkliftin çarpması olarak gerçekleşmektedir. Kazalardan en sık etkilenenler; depolarda çalışan işçiler, forklift sürücüleri ve nakliyecilerdir (Rechnitzer ve Larsson, 1992).

Ülkemizdeki forklift kazalarının büyük kısmı forklift operatörlerinin hız limitlerine uymamasından kaynaklanmaktadır. Ülkemizde forkliftler için hız sınırı karayollarında 20 km/saat'tir (Karayolları Trafik Yönetmeliği, Madde 100). Ancak uygulamada tesislerin kapalı bölümlerinde 5 km/saat, açık tesis bölgelerinde ise 10 km/saat olarak sınırlandırmaların olduğu görülmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri merkezli OSHA (Occupational Safety and Health Administration) forklift kazalarına yönelik güvenli bir sürüş pratikleri kılavuzu yayınlamıştır. Bu kılavuza göre forkliftlerle güvenli sürüş için yapılması gerekenler aşağıda gibi listelenmiştir (OSHA, 2016):

Gereklikler ve Önerilen Uygulamalar:

- Harekete devam etmeden önce her zaman her yön kontrol edilmelidir
- Her zaman seyahat yönüne bakılmalıdır. Yük, görüşü engelliyorsa, ters hareket edilmeli, açık bir görüş sağlanmalıdır
- İzin verilen tesis hızı sınırları da dahil olmak üzere tüm trafik kurallarına uyulmalıdır
- Öndeki araçla arada emniyetli bir mesafe uzunluğu tutulmalı ve istif aracı her zaman kontrol altında tutulmalıdır.
- Acil durumlarda ambulanslar, itfaiye araçları veya diğer araçlara geçiş hakkı verilmelidir.
- Aynı yönde seyahat eden diğer forkliftler; kavşaklar, kör noktalar veya diğer tehlikeli noktalardan geçerken sollanmamalıdır.
- Tüm yolculuk koşullarında istif aracının güvenli bir şekilde durmasına izin verecek bir hızda çalıştırılmalıdır.
- Forklift kullanırken şakalaşma yapılmamalıdır.
- Islak ve kaygan zeminlerde yavaşlanmalıdır.
- Yükleme rampasından geçerken rampa levhasının düzgün sabitlendiğinden emin olunmalıdır. Forkliftler yükleme rampalarından geçerken dikkatli ve yavaş kullanılmalı ve belirtilen yükleme rampası kapasitelerini asla aşmamalıdır.
- Asansörlere yavaşça yaklaşılmalı ve asansör kabini düzgünce tesviye edildikten sonra kare şeklinde girilmelidir. Asansöre bindikten sonra, kumandalar etkisiz hale getirilmelidir, güç kesilmeli ve frenleri ayarlanmalıdır.
- Mümkün olduğunca forklift ve yaya trafiği ayrı tutulmalıdır. Korkulukla çevrilmiş yaya geçitlerini kullanılmalıdır
- Forklift ile asla yolcu taşınmamalıdır.
- Kollar veya bacaklar aracın sınırları içinde tutulmalıdır.
- Küçük bir darbe bile yükün çatallardan düşmesine neden olabileceği için yüzey engelleri izlenmelidir
- Forklift asla bir bankın veya herhangi bir sabit nesnenin önünde olan herhangi birisine doğru sürülmemelidir.

- Forkliftin öne yatması, frenlerin tutmaması veya yanlış kolun itilmesi sonucunda herhangi birinin, forklift ile başka bir nesne arasına kalabileceği bir konuma geçilmemelidir.

Ülkemizde forkliftlerin neden olduğu iş kazalarının istatistikleri 2013 yılına kadar makinelerin sebep olduğu kazalar başlığı altında toplanmaktadır. 2012 yılı verilerine göre makinelerin sebep olduğu kaza sayısı 13401 adet olarak tespit edilmiştir. Ancak bu kazaların kaç tanesinin forklift operatörleri tarafından gerçekleştirildiği belirtilmemiştir. 2013 yılından sonra bu bilgi detaylı olarak belirtilmiştir. Türkiye’de SGK (Sosyal Güvenlik Kurumu) istatistiklerine göre 2013-2016 yılları arasında gerçekleşen forklift kazalarının sebep olduğu iş kazaları ve ölen sayıları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Forklift vb. yükleme boşaltma yapan araçların operatörlerinin sebep olduğu iş kazalarının yıllara ve cinsiyete göre dağılımı (SGK, 2017).

| Yıllar | İş kazası geçiren sigortalı sayısı | | | İş kazası sonucu ölen sigortalı sayısı | | |
|--------|------------------------------------|-------|--------|--|-------|--------|
| | Erkek | Kadın | Toplam | Erkek | Kadın | Toplam |
| 2016 | 1534 | 21 | 1555 | 8 | 0 | 8 |
| 2015 | 1333 | 18 | 1351 | 7 | 0 | 7 |
| 2014 | 1146 | 7 | 1153 | 10 | 0 | 10 |
| 2013 | 985 | 6 | 991 | 6 | 0 | 6 |

Amerika’da 1991-1992 yıllarında forklift kaynaklı ölümlü iş kazalarının sayısı ve kazanın gerçekleşme şekli aşağıdaki tablodaki gibi belirtilmiştir.

Çizelge 2.2. Amerika’da 1991-1992 yıllarında forklift kaynaklı ölümlü iş kazalarının sayısı ve kazanın gerçekleşme şekli (Bureau of Labor Statistics, 2016).

| Oluş şekli | Sayı | Yüzde |
|--|------|-------|
| Forkliftin devrilmesi | 41 | 24 |
| Forkliftin bir şeye çarpması veya yükleme rampasından geri kaçması | 13 | 9 |
| İşçilerin nesnelere arasında sıkışması | 19 | 11 |
| İşçilere malzeme çarpması | 29 | 17 |
| İşçilerin forkliftten düşmesi | 24 | 14 |
| İşçilere forkliftin çarpması | 24 | 14 |
| İşçilerin forklift tamiri sırasında ölmesi | 10 | 6 |
| Diğer kazalar | 10 | 6 |
| Toplam | 170 | 100 |

Forklift kazalarının sebepleri daha detaylı bir şekilde incelendiğinde temel olarak aşağıdaki sebeplere bağlı olarak kazaların oluştuğu görülür (Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2016):

- Forklift operatörlerinin eğitiminin yetersiz veya hiç eğitim almamış olması
- Hız veya stres gibi üretim faktörleri (üretimin hızlandırılması taşıma araçlarının hızlandırılmasını gerektirir)
- Uygun aparatların ve aksesuarların eksikliği (forkliftlerde her işe uygun farklı aparatlar kullanılmaktadır)
- Forkliftlerin bakımlarının eksik ya da hiç yapılmamış olması (fren arızası, direksiyon arızası, hidroliklerdeki sorunlar)
- Forkliftin ekonomik ömrünü doldurmuş olması
- Aşırı hızlı sürüş
- Yük havada iken sürüş
- Uygun olmayan dönüş, frenleme veya hızlanma
- Forklift yakınında çalışanların yanlış uyarılması
- Forklift ve çalışanların ortak çalışma alanlardaki iletişim yetersizliği
- Aşırı gürültülü ortamda forkliftlerin fark edilememesi
- Forklift yükünün üzerine binmek veya birini bindirmek
- Forkliftin uygunsuz şekilde park edilmesi
- Sarsıntılı, düzensiz sürüş
- Şakalaşma
- Forkliftin kalabalık, karmaşık, dar koridorlarda kullanılması
- Kavşaklar ve kapılardaki uygun olmayan engeller
- Çalışma alanındaki trafik hacmi
- Forklift operasyonlarının genel alanında yürüme ve çalışma
- Farklı yüzeylere sahip rampalar ve yükleme rampalarının durumu
- Yükün palette zayıf istiflenmiş olması
- Bakımsız, onarılmamış paletler
- Yükün kapasitenin üzerinde ağır olması (devrilme, yan yatma)
- Yükün dengesiz olması
- Taşınan yükün görüşü engellemesi
- Eksik, yetersiz veya arızalı güvenlik aygıtları
- Kör noktaların veya engellerin sürücünün görüşünü engellemesi

Amerika'daki OSHA'nın da geliştirmiş olduğu gibi ülkemizde de forklift kazalarının önlenmesi için mevzuatlar geliştirilmiştir. Bu bağlamda 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında "İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık Ve Güvenlik Şartları

Yönetmeliği" yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğin ilgili kısımları (EK I-II-III) forklift kullanımı ile ilgili aşağıdaki maddeleri içermektedir:

İş Ekipmanlarında Bulunacak Asgari Gerekler (EK- I)

1- İş ekipmanlarında bulunacak asgari genel gerekler

A- İş ekipmanında bulunan ve güvenliği etkileyen kumanda cihazları için asgari gerekler;

- İş ekipmanında bulunan ve güvenliği etkileyen kumanda cihazları açıkça görülebilir ve tanınabilir özellikte olur. Gerektiğinde uygun şekilde işaretlenir. Kumanda cihazları, istem dışı hareketlerde tehlikeye neden olmaması gerekir

- Operatör, ana kumanda yerinden tehlike bölgesinde herhangi bir kimsenin bulunmadığından emin olması gerekir. Bu mümkün değilse makine çalışmaya başlamadan önce otomatik olarak devreye girecek sesli ve ışıklı ikaz sistemi bulunur.

B- İş ekipmanlarının çalıştırılması, bu amaç için yapılmış kumandaların ancak bilerek ve isteyerek kullanılması ile sağlanır.

C- Parça fırlaması veya düşmesi riski taşıyan iş ekipmanları, bu riskleri ortadan kaldırmaya uygun güvenlik tertibatı ile donatılır.

- Gaz, buhar, sıvı veya toz çıkarma tehlikesi olan iş ekipmanları, bunları kaynağında tutacak veya çekecek uygun sistemlerle donatılır.

D- İş ekipmanının çalışılan veya bakımı yapılan bölge ve operasyon noktaları, yapılacak işleme uygun şekilde aydınlatılır.

E- İş ekipmanına ait ikaz donanımları kolay algılanır ve anlaşılır olur.

F- İş ekipmanı sadece tasarım ve imalat amacına uygun işlerde ve şartlarda kullanılır.

G- Bütün iş ekipmanları, çalışanların doğrudan veya dolaylı olarak elektrikle temas riskinden korunmasına uygun olur.

2. Özel tipteki iş ekipmanında bulunacak asgari ek gerekler

A- Kendinden hareketli veya bir başka araç vasıtasıyla hareket edebilen iş ekipmanları için asgari gerekler;

- Üzerinde çalışan bulunan iş ekipmanı, ekipmanın bir yerden bir yere götürülmesi sırasında tekerleklere veya paletlere takılma veya temas etme riski de dahil çalışanlar için oluşabilecek bütün riskleri azaltabilecek uygun sistemlerle donatılır.

- Çarpma veya sıkışma riski önlenemiyorsa, çalışanların olumsuz etkilenmemesi için gerekli önlemler alınır.
- İş ekipmanında; devrilmesi halinde, üzerinde bulunan çalışanın ekipman ile yer arasında sıkışarak ezilmesini önleyici koruyucu yapı veya sistem bulunur.
- Üzerinde bir veya daha fazla çalışanın bulunduğu forkliftlerin devrilmesinden kaynaklanan risklerin azaltılması için;
- Sürücü için kabin bulunur veya
- Forklift devrilmeyecek yapıda olur veya
- Forklift devrildiğinde yer ile forkliftin belirli kısımları arasında taşınan çalışanlar için, yeterli açıklık kalmasını sağlayacak yapıda veya
- Forklift, devrilmesi halinde sürücünün forkliftin parçaları tarafından ezilmesini önleyecek yapıda olur.
- Kendinden hareketli iş ekipmanı hareket halinde iken kişiler için risk oluşturuyorsa aşağıdaki şartları sağlar:
- Yetkisiz kişilerce çalıştırılmasını önleyecek donanım bulunur.
- Sürücünün görüş alanının kısıtlandığı durumlarda, güvenliğin sağlanması için görüş alanını iyileştirecek uygun yardımcı araçlar kullanılır.
- Gece veya karanlık yerlerde kullanılmak üzere tasarlanmış iş ekipmanında, yapılan işi yürütmeye uygun ve çalışanların güvenliğini sağlayacak aydınlatma sistemi bulunur.

B- Yüklerin kaldırılmasında kullanılan iş ekipmanları için asgari gerekler

- Yüklerin kaldırılması için kullanılan makinelerde, kaldırılacak maksimum yük açıkça görünecek şekilde işaretlenir, makinenin değişik şekillerde kullanımında da maksimum yükü gösteren levhalar veya işaretler bulunur.
- Kaldırma için kullanılan aksesuarlar da güvenli kullanım için gereken özelliklerini gösterecek şekilde işaretlenir.
- İnsan kaldırmak ve taşımak için tasarlanmamış iş ekipmanları, amacı dışında kullanımını önlemek için uygun bir şekilde ve açıkça işaretlenir.

İş Ekipmanının Kullanımı ile İlgili Hususlar (EK- II)

A- Kendinden hareketli veya bir başka araç vasıtasıyla hareket edebilen iş ekipmanlarının kullanımı ile ilgili hükümler

- İş ekipmanı bir çalışma alanı içinde hareket ediyorsa, uygun trafik kuralları ile hız sınırları konulur ve uygulanır.
- Kendinden hareketli iş ekipmanının çalışma alanında, görevli olmayan çalışanların bulunmasını önleyecek gerekli düzenleme yapılır.
- İşin gereği olarak bu alanda çalışan bulunması zorunlu ise, bu çalışanların iş ekipmanı nedeniyle zarar görmesini önleyecek uygun tedbirler alınır.
- Teknik zorunluluk olmadıkça kaldırılan yükün altında insan bulunmaması için gerekli tedbir alınır. Çalışanların bulunabileceği korunmasız çalışma yerlerinin üzerinden yük geçirilmez. Bunun mümkün olmadığı hallerde uygun çalışma yöntemleri belirlenir ve uygulanır.

Bakım, Onarım ve Periyodik Kontroller ile İlgili Hususlar (EK- III)

- İş ekipmanlarının bakım, onarım ve periyodik kontrolleri, ilgili ulusal ve uluslararası standartlarda belirlenen aralıklarda ve kriterlerde, imalatçı verileri ile fen ve tekniğin gereklilikleri dikkate alınarak yapılır.
- İş ekipmanlarının bakımları (günlük, haftalık, aylık, üç aylık, altı aylık ve benzeri), ilgili standartlarda belirlenen veya imalatçının belirlediği şekilde, imalatçı tarafından yetkilendirilmiş servislerce veya işyeri tarafından görevlendirilmiş kişilerce yapılır.
- İş ekipmanlarının, her çalışmaya başlamadan önce, operatörleri tarafından kontrollere tabi tutulmaları sağlanır.
- Test, deney ve tahribatsız muayeneler dışında iş ekipmanı günlük muayeneden geçirilir. Kullanım sırasında ekipman, çatlak, gevşemiş bağlantılar, parçalardaki deformasyon, aşınma, korozyon ve benzeri belirtiler bakımından gözle muayene edilir.
- Çatlak, aşırı aşınma ve benzeri tespit edilen herhangi bir iş ekipmanı daha ayrıntılı muayene için kullanım dışı bırakılır. Gözle muayene, operatör veya iş ekipmanını ve işlevlerini bilen personel tarafından yapılarak kayıt altına alınır.

3. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNDE RİSK DEĞERLENDİRMESİ VE RİSKİN ALGILANMASI

Gerçek hayat problemlerinde büyük bir belirsizlik hakimdir. Bu nedenle bu problemlerle ilgili kesin yargılarda bulunmak çoğu zaman imkansızdır. Bu tip problemlerde elimizde bol miktarda veri olmasına rağmen bazen bu belirsizliği ortadan kaldırmak çok zordur (Hao vd., 2017). Risk tespiti ve risk değerlendirme bu belirsizliğe sahip problem sınıfına girmektedir. Bu ana başlık altında risk tespiti ve risk değerlendirme konusu detaylı bir şekilde incelenmiştir.

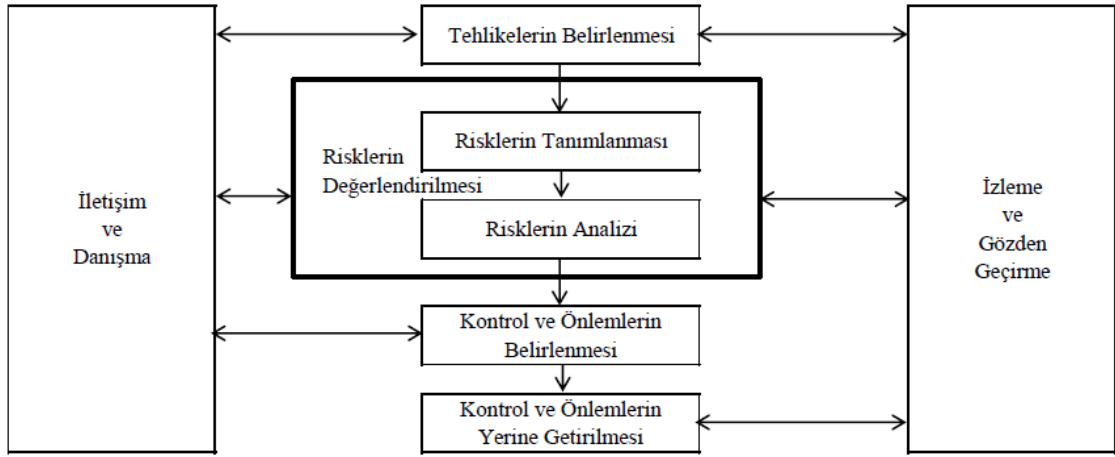
Risk değerlendirme tanım olarak, bir maruziyetten dolayı oluşacak bir ters etkinin ölçülmesi olarak ifade edilebilir. Bu tanımdaki *risk*, bir olumsuz etkinin şiddetini veya olasılığını ölçen bir ölçümü ifade etmektedir. Bir başka ifade ile risk değerlendirme bir kazanın/tehlikeli bir durumun olma ihtimalini ölçme işlemidir (National Safety Council, 2016).

Risk değerlendirme, bir karar verme aracı ve riski yönetme sürecinin bir parçası olarak düşünülebilir (Hester ve Harrison, 1998). Risk değerlendirme süreci ile bir sistemin, bir sürecin, bir insanın veya bir malın zarara uğrama tehlikesi ve bunların doğurabileceği sonuçları değerlendirilmeye çalışılır. Tehlikeli durumların tespiti risk değerlendirmenin en önemli hedeflerinden biridir. Böylece insan sağlığına, çevreye, sürece ya da sisteme zarar verme olasılığı bulunan olaylar bir kazaya neden olmadan önce tespit edilebilir. İSG çalışmalarının başarısı, tehlikelerin ve bunlardan doğabilecek risklerin kontrol altında tutulmasına bağlıdır. Bu nedenle risk değerlendirme, risklerin kontrol altında tutulması için önemli bir yaklaşımdır.

Risk değerlendirme, risk yönetiminin bir parçasıdır. Bu bağlamda olası tehlikeler tanımlandıktan sonra risk analizi sürecine geçilir. Yani önce tehlikeler belirlenir, daha sonra risk analizi yapılır. Çünkü risk, tehlikeler sonucunda ortaya çıkan durumları ifade eder. Risk değerlendirmesinden sonra, ilgili riskler için önlem ve kontrol faaliyetleri yürütülmelidir. Bu süreçlerin hepsi temelde gözlem, izleme ve çevreyle iletişime dayanır. Risk yönetiminin sistematik olarak yapılan faaliyetlerden oluştuğu unutulmamalıdır (Özkılıç, 2005:5). Aşağıdaki şekilde risk yönetim süreci ve risk değerlendirmenin bu süreçteki yeri gösterilmektedir. Risk değerlendirme risk yönetiminin kalbini oluşturur. *Risk yönetimi* temel olarak aşağıdaki adımlardan oluşur:

- Tehlikelerin belirlenmesi
- Risklerin tanımlanması ve risk analizi (risklerin değerlendirilmesi)
- Kontrol ve önlemlerin belirlenmesi

- Kontrol ve önlemlerin gerçekleştirilmesi
- İzleme, denetim, kontrol
- Dokümantasyon



Şekil 3.1. Risk yönetimine genel bir bakış (Vasvári, 2015).

Tehlikelerin tanımlanması sürecinde; sistemde, süreçte veya bir işyerinde var olan tüm tehlikeler tanımlanır. Önemli tehlikelerin eksiksiz olarak tespit edilmesi risk değerlendirme süreci için hayati bir öneme sahiptir. Tehlikeler tanımlandıktan sonra bu tehlikelerin yol açacağı riskler belirlenmelidir. Risk değerlendirme sürecinde süreçte var olan her bir tehlikenin riske dönüşme olasılığı ve şiddeti tahmin edilir. Bu olasılık ve şiddet değeri kullanılarak bir risk skoru hesaplanır. Risk skoru belirli bir tehlikeli olayın meydana gelme olasılığı ile bu olayın sonuçlarının ortaya çıkardığı zarar veya hasarın şiddetinin çarpımı ile elde edilir.

$$\text{Risk} = \text{Tehlikeli olayın olma olasılığı} \times \text{Tehlikeli olayın şiddeti} \quad (\text{Formül 1})$$

Bir tehlikeli olayın meydana gelme olasılığı olayın ortaya çıkış sıklığı (frekansı) ile ilişkilidir. Bir tehlikeli olay ne kadar sık ortaya çıkıyorsa meydana gelme olasılığı o kadar yüksektir. Aşağıda riskin hesaplanması için bir örnek verilmiştir.

Farklı risk değerlendirme yöntemleri için farklı RÖS (Risk öncelik skoru) değerleri hesaplanmaktadır. Bu hesaplar için bir "tehlike olasılık" ya da "sıklık" skalası ve "şiddet" skalası belirlenir. Bu skaladan, ilgili tehlikeye ilişkin değerler bulunur ve çarpılır. Bazen formüle fark edilebilirlik değeri de eklenebilir. Örneğin forkliftin yayaya çarpması durumu için olasılık değeri 3 ve şiddeti 5 ise Risk = 5 x 3 = 15 tir.

Çizelge 3.1. Tehlikeli olayın şiddet değeri.

| Tehlikeli olayın Şiddeti | Şiddet değeri |
|--------------------------|---------------|
| Çok Yüksek | 5 |
| Yüksek | 4 |
| Orta | 3 |
| Düşük | 2 |
| Çok Düşük | 1 |

Çizelge 3.2. Tehlikeli olayın olasılık değeri.

| Tehlikeli olayın gerçekleşme sıklığı | Olasılık değeri |
|--------------------------------------|-----------------|
| Çok Sık | 5 |
| Sık Tekrarlanan | 4 |
| Ara sıra olan | 3 |
| Nispeten az olan | 2 |
| Olası olmayan | 1 |

Riskler hesaplandıktan sonra son olarak riskler önem sırasına göre derecelendirilir ve böylece risk değerlendirme süreci sona erer. Bu süreçten sonra belirlenen risklerin ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesi için gerekli önlemler belirlenir ve bu önlemler uygulanır. Daha sonra risklerin kabul edilebilir düzeylere inip inmediği kontrol edilir. Kabul edilebilir risk, yasalara veya işletme politikasına uygun olan ve kaza, kayıp veya yaralanma oluşturmayacak risk seviyesidir. Risk değerlendirme ile risklerin kabul edilebilir risk seviyesinin üzerine çıkmaması amaçlanır.

Risk değerlendirme ile ilgili bir diğer önemli konu ise riski algılamadır. Risk algılama, riske yola açabilecek faktörlerin çeşitli teknolojiler kullanılarak tespit edilmesidir. Birçok risk algılama sistemi, elde ettiği veriyi kullanarak risk değerlendirme de yapabilmektedir. Risk algılama aşağıdaki başlık altında ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.1. Risk Algılama

Risk algılama (risk detection) riskin miktarını veya riskteki değişimi fark edebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Eğer bir sistem risk algılama yeteneğine sahip değilse kabul edilebilir risk seviyesinden uzaklaşmayı sürekli olarak kontrol edemez (Vasvári, 2015). Böyle bir sistem, kabul edilebilir risk seviyesinde meydana gelebilecek sapmaları kontrol edebilmek için belirli aralıklarla risk değerlendirmesi yapmalıdır. Bu durumda şu tip bir problem ortaya çıkmaktadır: Kabul edilebilir risk seviyesinden sapma meydana gelip risk değerlendirmesi yapana kadar geçen zamanda kaza veya tehlike riski artar, hatta kazalar meydana gelebilir. Risk değerlendirmeleri arasındaki zaman uzadıkça bu riskler artar. Özellikle ülkemizde iş güvenliği uzmanları iş yerlerine mevzuat gereği aylık belirli sürelerle hizmet vermektedirler. Ancak ay

içerisinde iş güvenliği uzmanlarının işyerinde bulunmadığı saatlerde birçok riskli iş yapılmaktadır. Bu da iş güvenliği uzmanlarının bazı riskleri kontrol altında tutmasını zorlaştırmaktadır. Risk algılama sistemlerinin temel amacı, çeşitli teknolojiler sayesinde süre kısıtlaması olmadan ilgili riskli olayları inceleyerek tehlikelere karşı önceden tedbir alabilmektir.

Risk algılama sistemleri çeşitli teknolojiler sayesinde görevlerini yerine getirmektedirler. Forklift sistemleri için bu teknolojilerden bazıları aşağıdaki gibidir:

- *Operatör algılama sistemi*: Operatör ağırlığı algılanmadığında tüm sistemler devre dışı kalır. Bu sistem Forkliftin sürücüsüz hareket edip etmediğini kontrol eden bir sistemdir.
- *Çatal güvenlik algılama sistemleri*: Çatalların hidrolik sistemlerindeki sorunları algılayan sistemlerdir. Bu sistem bir arıza durumunda çatalların düşmesini önler.
- *Viraj kontrol ve algılama sistemi*: Operatörün virajdan sarsıntısız ve forklifti devirmeden dönmesine yardımcı olan bir sistemdir. Ayrıca bu sistem dar koridorlardan rahatça dönülmesine de yardımcı olur.
- *Yaya ve engel algılama sistemi*: Mesafe algılayıcı sensörlerle çalışan bu sistemler etraflarındaki engelleri algılayarak engelin yönünü operatöre bildirebildiği gibi sesli ve ışıklı uyarılarla etraflarına da uyarılar verebilmektedir.



Şekil 3.2. Mesafe algılayıcı sensörlerin çalışmasına örnek (Sis-safety, 2017).

- *Denge kontrol sistemleri*: Sensörlerle çalışan bu sistemler, genelde dinamik olarak çalışmaktadırlar. Bu sistemler sürekli olarak forkliftin hareketlerini gözlemleyerek forkliftin ya da yükün dengesini bozacak bir hareket hissettiğinde düzeltici ya da önleyici tedbiri otomatik olarak alır. Toyota Forklift SAS (system of active stability) güvenlik sistemi bu tip sistemlere bir örnektir (Toyota Forklifts, 2017).

- *Forklift çarpışma (kaza) önleme sistemi*: Çarpışma önleme sistemi, takip edilen forklift ve diğer araçların birbirleri ile veya personel ile çarpışmalarını engelleyen sistemlerdir. Bu sistemler sayesinde herhangi bir araç veya personel, başka bir aracın güvenlik alanına girdiğinde; aracın sürücüsüne sesli ve görsel uyarı gönderilir.
- *Forklift takip sistemi*: Çalışma yerlerindeki forklift gibi operasyon araçlarının anlık olarak koordinat bazında takip edilmesini sağlayan sistemlerdir. Forklift takip sistemleri sayesinde; (1) çalışma süresince forkliftlerin yaptıkları hareketler izlenebilir, (2) çalışma saatleri dışında oluşabilecek ihlaller tespit edilebilir, (3) çalışma anında oluşacak kazalar hakkında anlık bilgi elde edilebilir ve (4) forkliftlerin hangi saatler arasında çalıştığı takip edilebilir.
- *Arıza ve bakım takip/algılama sistemleri*: Oluşabilecek olası arızaları önceden algılayabilen ve bakım kontrolleri için uyarı verebilen sistemlerdir.
- *Sürücü davranış kontrol sistemi*: Forklift ile ilgili anlık hız, sürüş karakteristiği ve kullanım denetimi gibi özellikleri kontrol edebilen sistemlerdir.
- *Kartlı takip veya algılama sistemleri*: Bu sistemler, sadece yetki verilen kullanıcının aracı kullanması ve araçla ilgili kullanım verilerinin toplanmasını sağlar. Araç kullanım yetkisi, atanmış kart veya parmak izi tanımlayan sistemlerle verilebilmektedir.
- *Hareket algılama sistemleri*: Engel tanıma sistemleri genelde duran cisim veya yayaları algılamaktadır. Hareket algılama sistemleri ise kamera veya diğer başka türlü sensörlerle hareket eden veya kendine risk olabilecek hareketli sistemleri algılayarak kullanıcıya uyarılar verebilen sistemlerdir. Bu sistemlerin algılama alanı genelde engel tanıma sistemlerine göre daha geniştir.
- *Arka mil kilidi*: Forkliftin bozuk zeminlerden geçerken oluşan sarsıntıyı azaltmaya yarayan çift salıncaklı arka süspansiyonu, keskin dönüşlerde forkliftin devrilmesine neden olabilmektedir. Arka mil kilidi salıncakları kilitleyerek forkliftin sağa yada sola yatıp devrilmesini engellemektedir.
- *Hız kontrol sistemleri (hız sabitleyici veya ağırlığa göre hızı ayarlayan sistemler)*: İşletmeler yaptıkları işin çeşidine bağlı olarak yasal hız sınırlarının altında olmak şartıyla, forkliftler için daha düşük hız sınırları belirleyebilirler. Bu sistemler forkliftlerin belirlenen hız limitleri içinde kalmaları için sesli ve/veya görüntülü ikaz veren sistemlerdir. Ayrıca bunların yanında hız düşürücü sistemler de mevcuttur.
- *Çatal kontrol sistemi*: Forklift taşıdığı yükü bıraktıktan sonra boş çatallar manevra esnasında kişilere ya da nesnelere çarpabilmektedir. Bunu engellemek için ya forklift

yükünü bıraktıktan sonra çatallar yukarı yönde katlanmaktadır veya çatallar forkliftin altına doğru geri çekilmektedir.

Risk algılama sistemlerinin çalışması bazı özel durumlara bağlıdır. Bu durumlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Riskin tanımlanmış olması gerekir. Risk algılama sistemleri kendi kapasitelerinin dışındaki riskleri algılayamaz. Sadece sistemce bilinen riskler algılanabilir.
- Sistem aldatılmamalıdır. Sistemdeki kullanıcılar bu konuda eğitilmelidirler. Örneğin günümüzün modern araçlarında emniyet kemeri alarmı vardır. Eğer kullanıcı emniyet kemeri başlığı kullanırsa algılama sistemi devreden çıkmış olur.
- Sistem kullanıcılarla etkileşim halinde olmalıdır. Işıklı, görüntülü ve/veya sesli ikazlar bu konuda kullanılmalıdır.
- Sistemin algılayıcılarının doğru şekilde çalıştığından emin olunmalıdır.
- Mümkünse risk algılayıcı sistem önlem de alabilmelidir.
- Mümkünse risk algılayıcı sistem riskin sonuçları ile ilgili bilgiler de vermelidir.

Risk algılama sistemleri sayesinde birçok forklift kazası engellenebilir veya bu kazaların olası etkileri azaltılabilir. Ayrıca bu sistemler sadece anlık risklerle değil gelecekte olabilecek risklerle ilgili de çıkarımlarda bulunabilirler. Risk algılama sistemleri forkliftler için aşağıdaki amaçlarla kullanılabilir:

- İnsanların, forkliftin bulunduğu alanlara girmesini önlemek
- Forkliftleri engellerden uzak tutmak
- Forkliftlerin öne devrilmesini önlemek
- Virajlarda forkliftlerin yana yatmasını önlemek
- Yaya-forklift kazalarını önlemek
- Forkliftlerin dar koridorlarda kaza yapmasını önlemek
- Forkliftlerin hızlı kullanımından dolayı oluşacak kazaları azaltmak
- Çatalların neden olacağı kazaları önlemek
- Yaya trafiğinin yoğun olduğu alanlardaki kazaları önlemek
- Forklift kapasitesini aşan işlerin yapılmasını önlemek
- Sadece eğitimli kullanıcılara sürüş yetkisi verilmesini sağlamak
- Bakımsızlıktan veya ani arızlardan dolayı oluşacak kazaları önlemek
- Görüş yetersizliğinden oluşacak kazaları önlemek
- Forkliftlerin yükleme hatalarını tespit etmek
- Çalışma zamanı dışında forkliftlerin kullanılmalarını tespit edebilmek

- Forkliftlerin yerinin tespit edilmesini sağlamak

Yukarıda belirtilen otomatik risk algılama sistemlerine ek olarak kullanıcıların veya yayaların bireysel olarak riski algılamasına yardımcı olan forklift donanımları da mevcuttur. Bu donanımların mevcut olmaması halihazırda bir kaza riskine işaret etmektedir. Bu donanımlardan önemli olanları aşağıda verilmiştir:

- Geniş görüş açısı saylayan aynalar (dikiz aynaları ve çok açılı aynalar)
- Engel sensörleri
- Aydınlatma sistemleri
- Sesli ve ışıklı ikaz sistemleri
- Geri vites ikaz kornası
- Kırmızı alan ve mavi ışık teknolojisi



Şekil 4.3. Kırmızı alan ve mavi ışık teknolojisi (Forklift training systems, 2017).

Kırmızı alan ve mavi ışık teknolojisi etrafında görünür bir tehlike bölgesi yaratır ve çalışma ortamının daha güvenli bir hale gelmesini sağlar. Bu teknolojinin amacı, güvenli mesafe alanını görüntülemek ve görselleştirme seviyesini yükseltmektir. Bu teknoloji ile birlikte yayalar kendileri ile ve forkliftler arasındaki güvenli mesafeyi görsel olarak tespit edebilirler.

3.2. Risk Değerlendirmesi

Risk tespiti ve risk değerlendirme için literatürde birçok metot önerilmiştir. İş sağlığı ve iş güvenliği açısından düşünüldüğünde literatürdeki metotların daha ziyade hatanın tekrarlanma sıklığına, kontrol listelerine ve basit olasılıklara dayalı teknikler oldukları görülmektedir (hata türleri ve etki analizi ve çeklist kullanılarak birincil risk analizi vb.). Bu metotlar basit olmakla birlikte uygulanması ve anlaşılması da kolay metotlardır. Ancak gerçek

hayat problemlerinin yapısı incelendiğinde geleneksel yaklaşımların bazı sorunlara sahip oldukları görülür. Bu sorunlardan bazıları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Analistin deneyimine ve konuya hakimiyetine göre metodun başarı oranının değişmesi
- Bazı metodların disiplinli bir takım çalışması gerektirmesi
- Metodların yorumlanmasının analistten analiste değişmesi
- Verilerin eksik ve/veya hatalı olmasının analizin sonucunu etkilemesi
- Problemlerin tespiti ve bu problemlerin risklerinin değerlendirmesi arasındaki bağlantının zayıf olması

İş güvenliğinde gerçek hayat problemleri ise temel olarak aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Bu problemler yapısı gereği yorumlamada büyük belirsizliklere sahiptirler
- Hızlı değerlendirilmeleri gerekir
- Kısa sürede risklerin algılanması ve yorumlanması gerekir
- Çok sayıda kriterin aynı anda değerlendirilmesini gerektirirler

İş güvenliğinde gerçek hayat problemlerinin yapısı incelendiğinde bulanık mantık metodunun riskin değerlendirilmesinde etkili bir metod olduğu görülmektedir. Bu nedenle literatürde bu konuda çok sayıda çalışma bulunmaktadır. (Urbina, 2017; Naieni, 2012; Wulan, 2012; Rivero, 2015; Markowski, 2009) kaynaklarında bu konuda yapılmış bazı örnek çalışmalar verilmiştir. Bu ana başlık altında öncelikli olarak geleneksel metodlar kısaca incelenecek sonrasında ise bu tez çalışmasında kullanılacak "bulanık mantık" metodu açıklanacaktır.

3.2.1. Risk Tespiti ve Risk Değerlendirmesinde Kullanılan Geleneksel Metodlar

Risk tespiti ve risk değerlendirmesinde kullanılan geleneksel metodlar, kullanımlarının kolay olması ve kolayca anlaşılabilirliklerinden dolayı İSG çalışmalarında sıkça tercih edilmektedirler. Bu metotlardan en sık kullanılanları aşağıda verilmiştir.

- Birincil (Ön) Tehlike Analizi-PHA
- İş Güvenliği Analizi-JSA
- Olursa Ne Olur? (What if ...?)
- L Tipi Matris
- Hata Ağacı Analizi Metodolojisi-FTA
- Hata Modu Etkileri Analizi-FMEA
- Olay Ağacı Analizi-ETA

Birincil Tehlike Analizi – PHA (Preliminary Hazard Analysis)

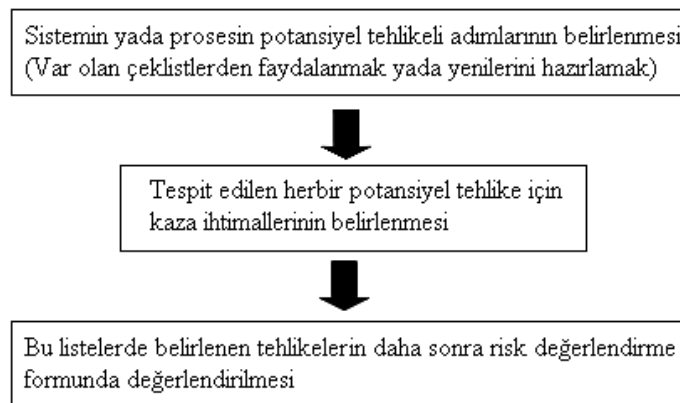
Birincil tehlike analizi ile ilgili ilk uygulamalar, 1966 yılında, Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nın ürün geliştirme aşamasında güvenlik ile ilgili yaptırdığı çalışmalar sırasında başlatılmıştır (ABD askeri standardı MIL-STD-882, 1969) [MIL-STD-882d, 1999).

Birincil veya ön tehlike analizinin amacı ilgili sistemin potansiyel tehlikeli parçalarını tespit ederek bu parçalara bir değer biçmek ve tespit edilen her bir potansiyel tehlike için belirli bir oranda kaza ihtimali belirlemektir (Seber, 2012). Birincil tehlike analizi; başlangıç aşamasında ve kısıtlı süreç bilgilerinden sistemdeki tehlikelerin tanımlanması, toplanması ve sistem ön güvenlik gereksinimlerinin oluşturulmasını sağlayan bir metottür. Genel olarak bu metodun amacı, güvenlik açısından sistemi veya süreci mümkün olduğunca erken etkilemektir (Ericson, 2005).

Birincil tehlike analizi yapan bir analist mevcut tehlikeler için çeklistler hazırlar. Çeklistlerle çalışmanın dezavantajı çeklistlerin amacına ulaşması için yüksek tecrübe gerektirmesidir. Bu şekilde çalışmanın avantajları ise;

- Kontrol edilecek hususların atlanılmasını engeller,
- Listelerindeki sorular işletmeye ve yapılan işe özel olarak hazırlandığı için risk değerlendirmesi yapılan tesisin eksiklikleri saptanır,
- Listelerde belirlenen noksanlıklar için birincil risk analizi uygulanarak gerekli önlemler tespit edilir (Özkılıç, 2005:104).

Birincil tehlike analizi sürecini şekil üzerinde göstermek istersek, yukarıda anlatılanlar ışığında aşağıdaki adımlar ortaya çıkar:



Şekil 3.4. Başlangıç tehlike analizi süreci.

İş Güvenliği Analizi–JSA (Jop Safety Analysis)

Bu analiz işletmelerdeki iş görevleri üzerine yoğunlaşır. Her bir iş ve görev için alt görevler analiz edilir ve bu görevlerin yerine getirilmesi sırasında oluşabilecek problemler ortaya konulur. Bu durumlar analiz edilirken normal çalışanlar ve olağandışı görevlerde çalışanlar dikkate alınır. Bu analiz aşağıdaki dört aşamadan oluşur (Özkılıç, 2005:105):

- 1- Görev adımlarının ve alt görevlerin numaralandırılarak analiz edilmesi
- 2- Tehlikelerin tanımlanması
- 3- Risklere değer biçilmesi
- 4- Güvenlik ölçüsü önerisi

Olursa Ne Olur? (What if ...?)

Bu teknik, kazalara veya sistem performans problemlerine neden olabilecek olası sapmalar hakkında bilgi üretir, korunma önlemlerini açıklar ve kazaları önlemeye yönelik uygun tedbirler için öneriler listesi sunar. Bu teknik, genellikle farklı geçmişleri ve deneyimleri olan bir veya daha fazla uzman ekibi tarafından gerçekleştirilir (Mullai, 2006:114). Bu metot, genel soru olan “Olursa ne olur” sorusuna verilen cevaplara dayanır. Aksaklıklar ve muhtemel sonuçları bu soruların yanıtlarına göre belirlenir ve aksaklıkların giderilmesi için öneriler sunulur.

Risk Değerlendirme Karar Matris Metodolojisi

En sık kullanılan yaklaşımlardan birisi olan risk değerlendirme matrisi, ABD askeri standardı MIL_STD_882-D olarak ta bilinen sistem güvenlik program gereksinimi karşılamak amacıyla geliştirilmiştir. Matris diyagramları iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi analiz etmekte kullanılan bir değerlendirme aracıdır (Özkılıç, 2005:105). En sık kullanılan L tipi matris metodudur.

L Tipi Matris

5x5 matris diyagramı (L tipi matris) özellikle sebep-sonuç ilişkilerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu metot basit olması nedeniyle tek başına risk analizi yapmak zorunda olan analistler için son derece uygundur. Ancak değişik süreçler içeren veya birbirinden farklı akış şemasına sahip işlerin hepsi için tek başına yeteli değildir. Bu metodun başarısı analistin birikimine göre değişir ve bu bir dezavantajdır. Bu metot ile öncelikle bir olayın gerçekleşme ihtimali ile gerçekleşmesi durumunda sonucunun derecelendirilmesi ve

ölçümü yapılır. Risk skoru ihmal ve zarar derecesinin çarpımından elde edilerek çizelgedeki yerine yazılır (Özkılıç, 2005:113-114).

$$\text{Risk Skoru} = \text{İhmal} \times \text{Zarar Derecesi}$$

Çizelge 3.3. Bir Olayın Gerçekleşme İhtimali.

| İHTİMAL | ORTAYA ÇIKMA OLASILIĞI İÇİN DERECELENDİRME BASAMAKLARI |
|------------|--|
| ÇOK KÜÇÜK | Hemen hemen hiç |
| KÜÇÜK | Çok az (Yılda bir kez), sadece anormal durumlarda. |
| ORTA | Az (yılda birkaç kez) |
| YÜKSEK | Sıklıkla (Ayda bir) |
| ÇOK YÜKSEK | Çok sıklıkla (Haftada bir, her gün) normal çalışma şartlarında |

Çizelge 3.4. Bir Olayın Gerçekleştiği Takdirde Şiddeti.

| SONUÇ | DERECELENDİRME |
|-----------|---|
| ÇOK HAFİF | İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektiren |
| HAFİF | İşgücü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi ilk yardım gerektiren |
| ORTA | Hafif yaralanma, yatarak tedavi gerektirir |
| CİDDİ | Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı |
| ÇOK CİDDİ | Ölüm, sürekli iş görememezlik |

Çizelge 3.5. Risk Skor (Derecelendirme) Matrisi (L Tipi Matris).

| İHTİMAL | ŞİDDET | | | | |
|-----------------|------------------|--------------|--------------------|--------------|-----------------------|
| | 1 (Çok Hafif) | 2 (Hafif) | 3 (Orta Derece) | 4 (Ciddi) | 5 (Çok Ciddi) |
| 1 (Çok Küçük) | Anlamsız 1 | Düşük 2 | Düşük 3 | Düşük 4 | Düşük 5 |
| 2 (Küçük) | Düşük 2 | Düşük 4 | Düşük 6 | Orta 8 | Orta 10 |
| 3 (Orta Derece) | Düşük 3 | Düşük 6 | Orta 9 | Orta 12 | Yüksek 15 |
| 4 (Yüksek) | Düşük 4 | Orta 8 | Orta 12 | Yüksek 16 | Yüksek 20 |
| 5 (Çok Yüksek) | Düşük 5 | Orta 10 | Yüksek 15 | Yüksek 20 | Tolere Edilemez 25 |

Çizelge 3.6. Sonucun Kabul Edilebilirlik Değeri.

| SONUÇ | EYLEM |
|---|--|
| Katlanılamaz Riskler (25) | Belirlenen risk kabul edilebilir bir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Gerçekleştirilen faaliyetlere rağmen riski düşürmek mümkün olmazsa, faaliyet engellenmelidir. |
| Önemli Riskler (15,16,20) | Belirlenen risk azaltılınca kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Risk işin devam etmesi ile ilgiliyse acil önlem alınmalı ve bu önlemler sonucunda faaliyetin devamına karar verilmelidir. |
| Orta Düzeydeki Riskler (8,9,10,12) | Belirlenen riskleri düşürmek için faaliyetler başlatılmalıdır. Risk azaltma önlemleri zaman alabilir. |
| Katlanılabilir Riskler (2,3,4,5,6) | Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol proseslerine ihtiyaç olmayabilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürüldüğü denetlenmelidir. |
| Önemsiz Riskler (1) | Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için kontrol prosesleri planlamaya ve gerçekleştirilecek faaliyetlerin kayıtlarını saklamaya gerek olmayabilir |

Hata Ağacı Analizi Metodolojisi-FTA (Fault Tree Analysis)

Hata ağacı, tanımlanmış istenmeyen olay veya durumun nedenlerinin mantıksal kombinasyonunun grafiksel ifadesidir. Hata ağacı analizi kavramı (FTA), 1962 yılında Bell telefon laboratuvarlarında, Minutemen kıtalararası Balistik füze hedefleme kontrol sisteminin güvenlik değerlendirmesini gerçekleştirmek amacıyla dizayn edilmiştir. Hata ağacı metodolojisi, sistem hatalarını ve sistem bileşenlerinin hatalarındaki özgül sakıncalı olaylar arasındaki bağlantıyı gösteren mantıksal diyagramlardır. Özellikle hiçbir işlem geçmişi olmayan yeni teknik proseslerin kullanımında çok yararlı olur (Özkılıç, 2005:124).

Ağaç yapısı, olayların ortaya çıkma biçimlerini göstermek için yeterli kabul edilir. Bir hata ağacı oluşturmak için en yaygın kullanılan temel unsurlar şunlardır (Mullai, 2006:117):

- En üstteki olay, analiz edilen, bir dikdörtgenle temsil edilen olaydır
- Ara olaylar, sistem durumları veya kazaya katkıda bulunan ve dikdörtgenlerle temsil edilen olaylardır
- Temel olaylar, çemberlerle gösterilen fay ağacındaki en düşük çözünürlük düzeyidir
- Gelişmemiş olaylar, fay ağacında daha fazla gelişmiş olmayan, elmaslarla temsil edilen olaylardır
- "AND" kapıları - bu geçit ile ilişkili çıkış olayı, yalnızca tüm giriş olaylarının aynı anda olması durumunda ortaya çıkar.

- "VEYA" kapıları - giriş olaylarından en az biri varsa bu kapı ile ilişkili çıkış olayı var.

FTA prosedürleri aşağıdaki temel adımları içermektedir:

- Sistem faaliyetinin tanımı
- En üstteki veya ilk etkinliğin tanımı
- Ağacın üst yapısının tanımı
- Ağacın her dalını ayrıntılı olarak incelemek
- Olası olay kombinasyonları için hata ağacını çözmek
- Önemli başarısızlıkların tanımlanması
- Nicel analiz ve tavsiyeler

Hata Modu Etkileri Analizi – FMEA (Failure Mode Effects Analysis)

Hata Modu ve etkileri Analizi (FMEA), bir sistemin veya sistem bileşenlerinin performans problemlerine nasıl neden olabileceğini araştırmak için kullanılan niteliksel, sistematik ve yüksek yapılandırılmış bir tekniktir. Analiz sürecinin ana adımları şunları içerir:

- Nedenlerin tanımlanması ve katkıda bulunan faktörler;
- Yerde korunma araçlarının tanımı;
- Gerçek ve potansiyel etkilerin tanımlanması;
- Riskleri yönetmek için öneriler listesi.

Sistem seviyesi ve bileşen seviyesinde bir risk analiz tekniği olarak kullanılabilen FMEA, özellikle gemi tahrik, direksiyon veya yangın söndürme sistemleri gibi mekanik ve elektrik sistemlerinin değerlendirilmesi için iyi tanımlanmış herhangi bir sistem için geçerlidir. Çoğu zaman, sistemin bakımını planlamak ve optimize etmek için kullanılır. Bu teknik aynı zamanda nicel frekans ve/veya sonuç tahminleri ve sıralamaları sağlayabilir (Mullai, 2006:114).

Olay Ağacı Analizi–ETA (Event Tree Analysis)

Olay Ağacı analizi, başlangıçta seçilmiş olan olayın meydana gelmesinden sonra ortaya çıkabilecek sonuçların akışını diyagram ile gösteren bir yöntemdir. Hata ağacı analizinden farklı olarak bu metodoloji tümevarımlı mantığı kullanır.

Kaza öncesi ve kaza sonrası durumları gösterdiğinden sonuç analizinde kullanılan başlıca tekniktir. Diyagramın sol tarafı başlangıç olay ile bağlanır, sağ taraf fabrikadaki/işletmedeki hasar durumu ile bağlanır en üst ise sistemi tanımlar. Eğer sistem başarılı ise yol yukarı, başarısız ise aşağı doğru gider.

Olay ağcı analizinde kullanılan mantık, hata ağcı analizinde kullanılan mantığın tersinedir. Bu metot; sürekli çalışan sistemlerde veya “standby” modunda olan sistemlerde kullanılabilir (Özkılıç, 2005:150).

ETA prosedürleri aşağıdaki temel adımlardan oluşur:

- Sistem veya ilgi konusu faaliyetin tanımı
- Üstün veya başlama olaylarının tanımlanması
- Güvence ve fiziksel olay çizgilerinin tanımlanması
- Kaza senaryolarının tanımı
- Kaza sonuçlarının analiz edilmesi
- Tavsiyeler.

Hem FTA hem de ETA teknikleri benzer temel usulleri paylaşır. FTA nedenleri ve katkıda bulunan faktörleri analiz etmek için kullanılır. Sistemin nasıl başarısız olabileceğini gösterir. Öte yandan, ETA olayların sonuçlarını analiz etmek için kullanılır (Mullai, 2006:114).

3.3. Bulanık Mantık

Bu tez çalışmasında incelenen problemin yapısı gereği bulanık mantık metodu kullanılmıştır. Bulanık mantık (fuzzy logic) metodunun kullanılmasının temel nedenleri aşağıda verilmiştir:

- Risk değerlendirmenin muğlak bir kavram olması ve bulanık mantığın buna iyi cevap verebilmesi
- Bulanık mantık metodunun eksik ve belirsiz verilerin olduğu ortamlarda insan düşüncesine yakın çözümleri hızlı bir şekilde üretebilmesi
- Bulanık mantığın iyi bir kontrol sistemi olması
- Doğrusal ve doğrusal olmayan problemlere uygulanabilmesi.

Bulanık kümeler yaklaşımı ve bulanık mantık metodu 1960'lı yılların ortalarında Lotfi Aliasker Zadeh tarafından geliştirilmiştir (Bojadziew, 1995). Bulanık mantık ile kontrol konusundaki ilk uygulama 1974'te Mamdani tarafından buhar makinesinin kontrolü ile gerçekleştirilmiştir (Mamdani, 1974:1585-1588). Bulanık mantık bir endüstriyel bir sürece ise ilk kez Danimarka'da bir çimento fırınının kontrolü amacı ile uygulanmıştır (Munakata ve Jani, 1994:69-76).

Klasik küme teorisi veya klasik mantık, Aristo mantığı veya 0-1 mantık da denir, dünyayı keskin kümelere ayırmaktadır. Klasik mantıkta bir eleman bir küme ya aittir ya da ait

değildir. Ara değerler kabul edilmez. Elektrik devreleri klasik mantığa çok iyi bir örnektir. Düğmeye bastığımız zaman lamba ya yanar ya da yanmaz, arası bir durum gerçekleşmez. Bulanık küme teorisinde klasik küme teorisinden farklı olarak ara değerlere de izin verilir. Bunu yapabilmek için bulanık mantıkta her elemana $[0,1]$ aralığında belirli bir üyelik derecesi atanır. Bulanık mantıkta her bir varlığın bir üyelik derecesi vardır. Üyelik derecesi (degree of membership) bir elemanın bir kümeye aitliğinin derecesini gösterir. Üyelik derecesi bir olasılığı ifade etmez. Çünkü üyelik derecesi ile bir üyelik kesin olarak mevcuttur. Üyelik derecesi bu üyeliğin derecesini veya miktarını göstermektedir. Sürekli bir değişken olarak üyelik derecesi üyelik fonksiyonuyla ifade edilir. Bir kümenin üyelik fonksiyonu $\mu(x)$ ile gösterilir. “A” ile ifade edilen bir bulanık küme $A = \{(x, \mu_A(x) \mid x \in X\}$ ile ifade edilirse bunun anlamı $\mu_A(x)$ ifadesinin “A” kümesinin üyelik fonksiyonu olduğudur. Burada ifade edilen üyelik fonksiyonu, X ile gösterilen nesnelere uzayının her bir elemanına 0 ile 1 arasında bir üyelik değeri atar. Ayrıca $\mu_A(x)$, üyelik fonksiyonundaki bir x noktasının “A” bulanık kümesindeki üyelik derecesidir. Üyelik fonksiyonu sayesinde bulanık mantık, bir elemanın bir kümeye kısmi üyeliğine imkân tanır. Klasik mantıkta bu durum olmaz. Klasik mantıkla bulanık mantık arasında bir ilişki de vardır. Bulanık mantık $\mu_A(x)=1$ ve $\mu_A(x)=0$ durumuna izin verir. Birinci durumda x elemanı A bulanık kümesinin kesin bir elemanı iken ikinci durumda kesinlikle elemanı değildir. Klasik mantıkta bu durum tüm elemanlar için bir şart iken bulanık mantıkta bu durum bir alternatiftir. Bu nedenle klasik mantık bulanık mantığın bir alt kümesi gibi düşünülebilir.

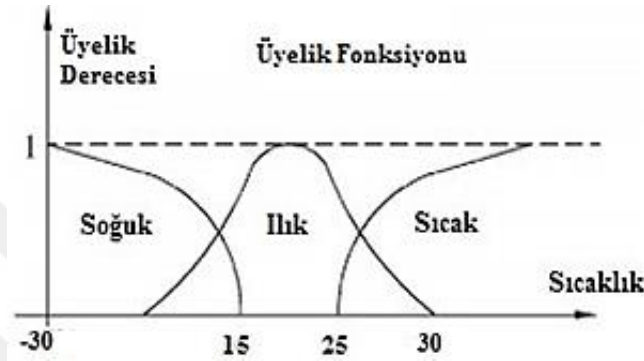
Bulanık mantık klasik mantıktan farklı olarak aşağıdaki temel özelliklere sahiptir:

- a) Bulanık mantık sayılar yerine dilsel ifadeleri kullanır.
- b) Bulanık mantık çıkarım kurallarına göre çalışır (McNeill ve Freiburger, 1994).
- c) Bulanık mantık tasarımcısının kabiliyeti kadar iyi çözüm üretir

Dilsel değişkenler (veya dilsel ifadeler) bulanık mantığın temel yapıtaşlarından biridir. Dilsel değişkenler, kesin rakamların yerine konuşma dilindeki ifadeleri kullanarak hesaplamaların yapılabilmesine imkân sağlar (Eminov ve Ballı, 2004). Dilsel değişkenlerin bulunduğu sistemler matematiksel yöntemlerle işlenemez. Bu nedenle bu sistemleri işleyebilmek ve bu problemlere çözüm üretebilmek için dilsel değişkenler kullanılır. Ayrıca bulanıklığın gösterilmesi için de dilsel değişkenlerin kullanılması gerekir. Dilsel değişkenler belirlenirken; değişken sayısı ve değişken aralıkları doğru olarak tanımlanmalıdır. Genelde bu tanımlamalar deneyim ve testlere bağlı olarak yapılır. Tanımlamalarda yapılacak hatalar bilgi kaybına neden olarak çözümdeki hassasiyeti ortadan kaldırabilir. Dilsel değişkene hava sıcaklığı

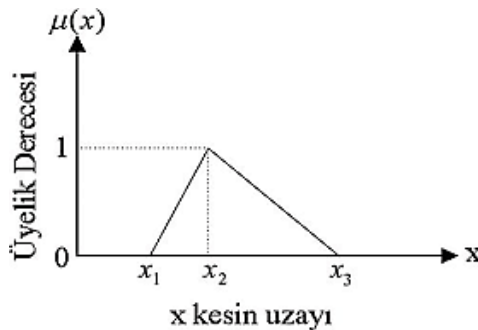
açısından şu örnek verilebilir: S(sıcaklık) kümesi için; S(sıcaklık)={çok soğuk, soğuk, ılık, sıcak, çok sıcak}.

Bulanıklaştırma için dilsel değişkenlerin ve bu dilsel değişkenlerin üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gereklidir. Dilsel değişkenlerin sayısı genelde 3, 5 ve 7'dir. Üyelik fonksiyonları nadiren başka sayıda dilsel değişkenlerden de oluşabilir. Dilsel değişken sayısı belirlendikten sonra bu değişkenlerin üyelik fonksiyonları belirlenmelidir.



Şekil 2.5. Bulanık üyelik fonksiyonu örneği.

Üyelik fonksiyonları değişik şekillerden oluşabilir. En sık kullanılan üyelik fonksiyonu şekilleri; üçgen, yamuk ve gauss üyelik fonksiyonlarıdır. Aşağıda üçgen şekilli bir üyelik fonksiyonu örneği verilmiştir. Bu örnekte üyelik fonksiyonunda x_1 ve x_3 kesin değerlerinde üyelik derecesi $\mu = 0$ olur, x_2 değerinde ise üyelik derecesi $\mu = 1$ değerini alır. x_1 ve x_3 aralığında üyelik derecesi, x_1 'den x_2 'ye doğru gidildikçe 0'dan 1'e doğru yükselir, x_2 'de 1 değerini alarak en büyük değere ulaşır, x_2 'den x_3 'e doğru gidildikçe 1'den 0'a sıfıra doğru azalmaya başlar.



(a)

$$\mu(t) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } t = x_1 \text{ ise} \\ (0,1] & \text{eğer } x_1 < t < x_3 \text{ ise} \\ 0, & \text{eğer } t = x_3 \text{ ise} \end{cases}$$

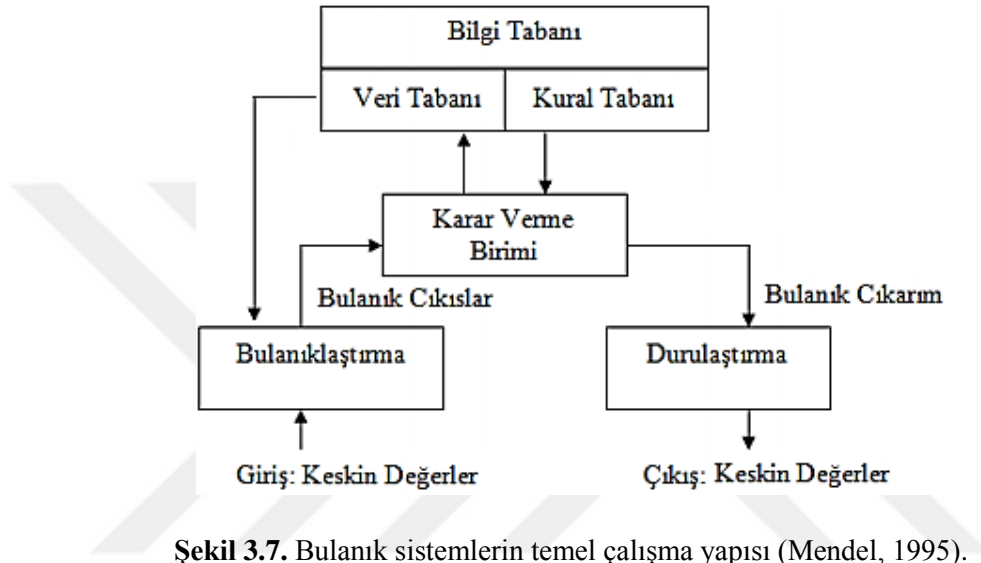
(b)

Şekil 3.6. Üçgen üyelik fonksiyonunun gösterimleri.

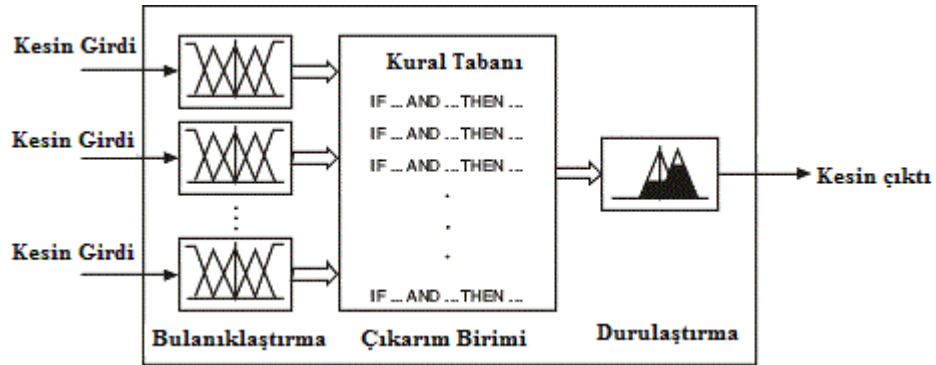
Bir bulanık mantık sistemi temel olarak aşağıdaki üç elemandan oluşur:

- Bulanıklaştırma (fuzzification) birimi
- Çıkarım birimi ve bilgi tabanı (kural tabanı, veritabanı)
- Durulaştırma (netleştirme) birimi

Bulanık sistemlerin temel çalışma yapısı aşağıda verilen iki şekildeki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.7. Bulanık sistemlerin temel çalışma yapısı (Mendel, 1995).



Şekil 3.8. Bir bulanık mantık modelinin aşamaları (National Instruments, 2017).

Bulanıklaştırma birimi (fuzzifier), üyelik fonksiyonunu kullanarak dışarıdan alınan kesin (crisp) giriş değerlerine üyelik derecesi ve dilsel değişkenler atar. Bulanıklaştırma birimi sayesinde sisteme giren kesin değerler ölçek değişikliğine uğrayarak bulanıklaştırılır. Bulanıklaştırma biriminin çıktısı olan bulanık bilgiler çıkarım ünitesine gider.

Çıkarım birimi, veri tabanı ve kural tabanı olarak iki kısımdan oluşan bilgi tabanından iki tür içerik çeker. Bilgi tabanı içinde yer alan veritabanından üyelik fonksiyonları ile ilgili

bilgiler (dilsel değişkenler ve üyelik fonksiyonları sınırları vb.), kural tabanından ise giriş değerlerine uygun olan kontrol çıkışları çekilir. Bilgi tabanındaki veritabanı ayrıca bulanıklaştırma birimine de içerik sağlar. Kural tabanındaki kurallar konu ile ilgili bir uzman tarafından oluşturulur ve oluşturulan bu kurallar kural tabanında saklanır. Kurallar basit "EĞER..... İSE (if), O HALDE (then)" yapıları ile oluşturulur. Tanımlanan her bir kural, verilen bir giriş aralığının bir bulanık ilişkisini tanımlar ve çıkış aralığında tanımlı bir bulanık kümeye eşleme yapar. Kurallar oluşturularak bir kural tablosu elde edilir.

Çizelge 3.8. Kural tablosunun oluşturulması.

| | Öncül | Ardıl |
|----------------|----------------------------|-------------------------------|
| Kural 1 | EĞER yemek kaliteli İSE | Müşteri memnuniyeti YÜKSEKTİR |
| Kural 2 | EĞER yemek az kaliteli İSE | Müşteri memnuniyeti DÜŞÜKTÜR |
| | | |
| Kural n | | |

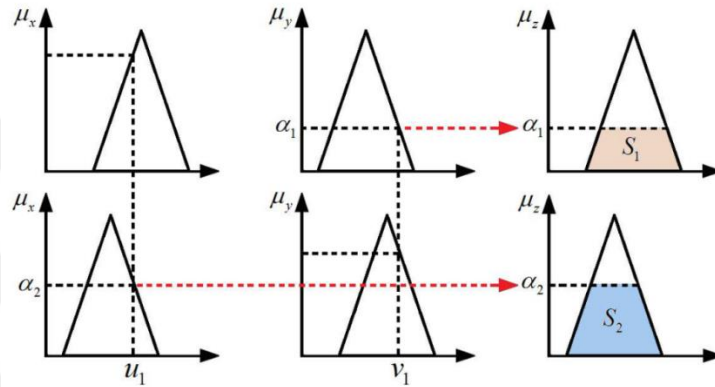
Oluşturulan kural sayısı ve kuralların doğruluğu sistemin performansını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Kural sayısı arttıkça sistemin tutarlı sonuç üretme ihtimali artar. Eğer olası tüm kurallar girilirse, sistem her türlü duruma cevap üretebilir. Ancak büyük boyutlu problemlerde kural sayısı çok fazla olacağı için en önemli kurallar girilerek çözüme başlanmalıdır. Daha sonra sistem test edilerek mevcut kural sayısı ile sistemin ürettiği çözümlerin kalitesi karşılaştırılmalıdır. Sonuçlar iyi değilse kural sayısı artırılmalıdır. Bazen tüm kuralları girmek oldukça maliyetli olmaktadır. Bu nedenle sisteme uygun çözümleri üretebilecek hayati öneme sahip kurallar girilerek te çözüme gidilebilir. Klasik optimizasyon problemlerinde böyle bir veri eksikliği kabul edilemez. Bu özellik bulanık mantığın bir avantajıdır. Maksimum kural sayısı hesaplanırken, girdilerdeki dilsel değişkenlerin birbirileri ile etkileşimleri dikkate alınmalıdır. Ayrıca kurallar oluşturulurken tüm dilsel değişkenlerin kullanılmasına gerek yoktur.

Bir diğer dikkat edilmesi gereken durum da kuralların doğruluğudur. Kural sayısı ne kadar çok olursa olsun kurallar doğru değilse bulanık mantık sistemi tutarlı sonuçlar üretmez. Kuralların doğruluğundan; (1) kuralların sonuçlarının beklenildiği gibi doğru olması, (2) birbiriyle çelişen kuralların olmaması, (3) gereksiz kuralların kural tabanından çıkarılması anlaşılmalıdır. Kuralların doğruluğunun garanti edilebilmesi için bir uzman tarafından oluşturulması veya bir uzman tarafından kontrol edilmesi gerekir.

Çıkarım birimi, bilgi tabanından çektiği kuralları işleterek (birleştirerek) bulanık çıktılara dönüştürür. Aşağıda sunulan şekil 6'da bir çıkarım mekanizmasının çalışma yapısını

göstermektedir. Çıkarım biriminde kuralların işletilmesi için literatürde dört önemli teknik kullanılmaktadır. Bu teknikler aşağıda sunulmuştur:

- Mamdani metodu
- Takagi-Sugeno (T-S) metodu
- Tsukamoto metodu
- Larsen metodu



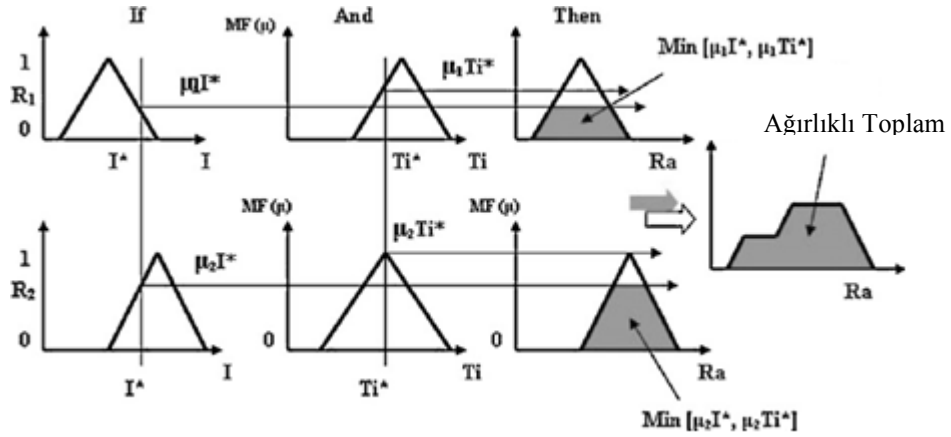
Şekil 3.9. Mamdani bulanık çıkarım yöntemine örnek (Saade ve Diab, 2004).

Mamdani metodu adını, bulanık mantık ile kontrol konusunda ilk uygulamayı gerçekleştiren Prof. Ebrahim H. Mamdani'den almıştır (Mamdani, 1974). Bulanık çıkarımda en popüler olan metot, Mamdani metodudur. Bu metot ayrıca *max-min* metodu olarak ta isimlendirilmektedir. Bulanık mantık işlemlerinde çeşitli operatörler kullanılmaktadır. Bu operatörlerden VE operatörü "min" işlemini (\wedge sembolü ile gösterilir), VEYA operatörü ise "max" işlemini (\vee sembolü ile gösterilir) göstermektedir. Mamdani metodunda çıkarım işlemi iki girdili bir sistem için *max-min* işlemi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\mu_{\text{Çıkış}} = \max\{\min[\mu(x), \mu(y)]\}$$

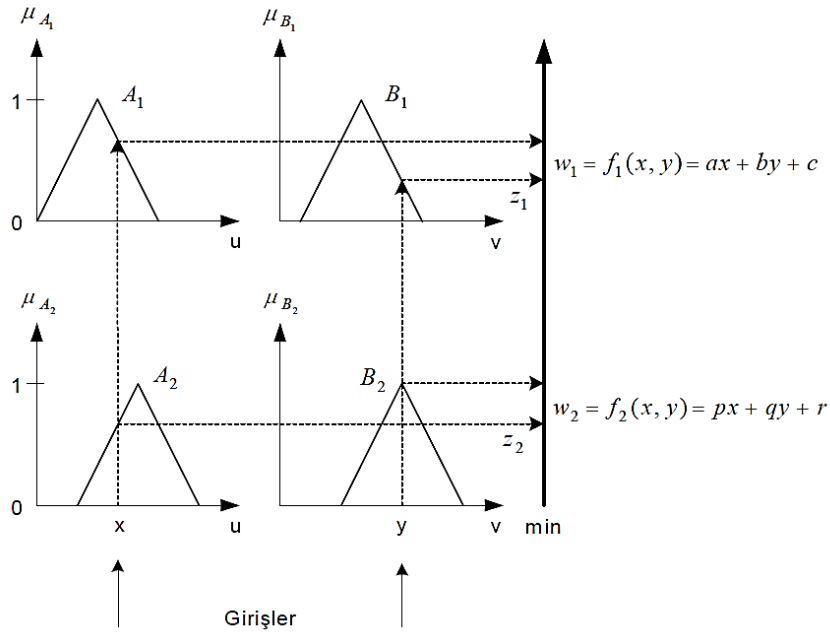
Mamdani metodu uygulanırken öncül kısımdan gelen üyelik derecelerinden en küçük olan (min) kullanılır ve ardındaki bulanık kümenin üstü bu en küçük üyelik derecesinden itibaren kesilir. Çıkış sayısal değeri için ise kuralların ağırlıklı ortalaması (max) alınır. Mamdani metodunda girdi ve çıktı bulanık küme olarak ifade edilir. Mamdani bulanık mantık modelinin çalışma şekli aşağıdaki örnekte gösterilmiştir. Bu metot, hem tek girdili tek çıktılı hem de çok girdili çok çıktılı sistemlerde kullanılabilir.

Mamdani metodunda kural yapısı: EĞER (x=A) İSE (y=B)'dir



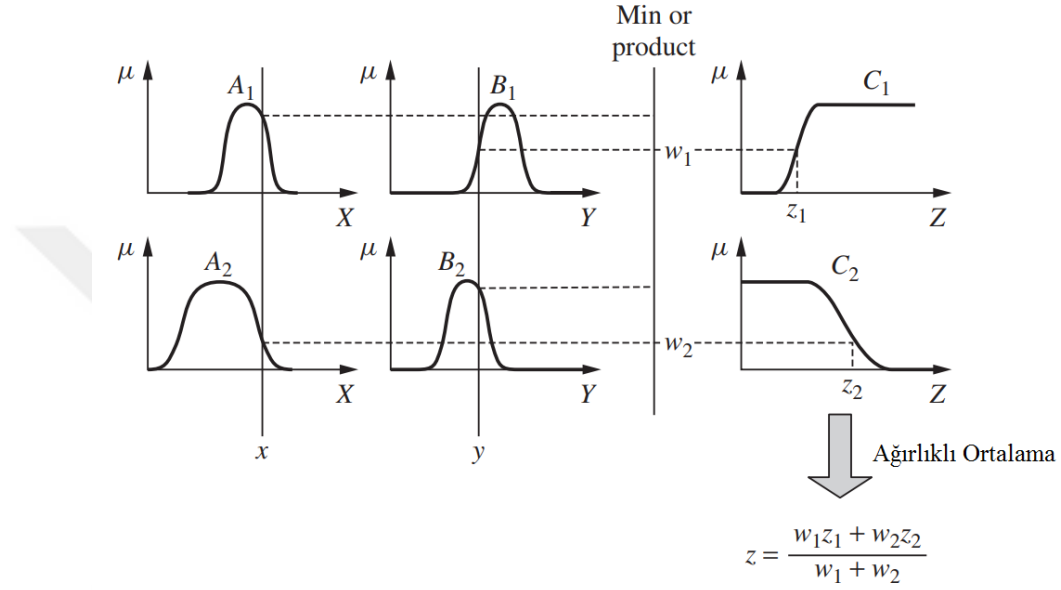
Şekil 3.10. Mamdani bulanık mantık modelinin çalışma şekline örnek (Shabgrd vd., 2013:32).

Takagi-Sugeno (T-S) çıkarım metodu, Mamdani yönteminden farklı olarak, bulanıklaştırma biriminden gelen üyelik seviyelerini polinom tabanlı çıkış üyelik fonksiyonları ile ilişkilendirir. Bunun anlamı, *Takagi-Sugeno* modelinde çıkış üyelik fonksiyonun üçgen, yamuk gibi bir şekle sahip bir bulanık küme olmadığıdır. Takagi-Sugeno çıkarım yönteminde, Mamdani çıkarım yönteminden farklı olarak çıkış için polinom fonksiyonlar kullanılmaktadır (Jang vd., 1997). *Takagi-Sugeno* metodunda kural yapısı: EĞER ($x=A, \dots$) İSE, $Z=f(X, \dots, Y)$ şeklindedir.



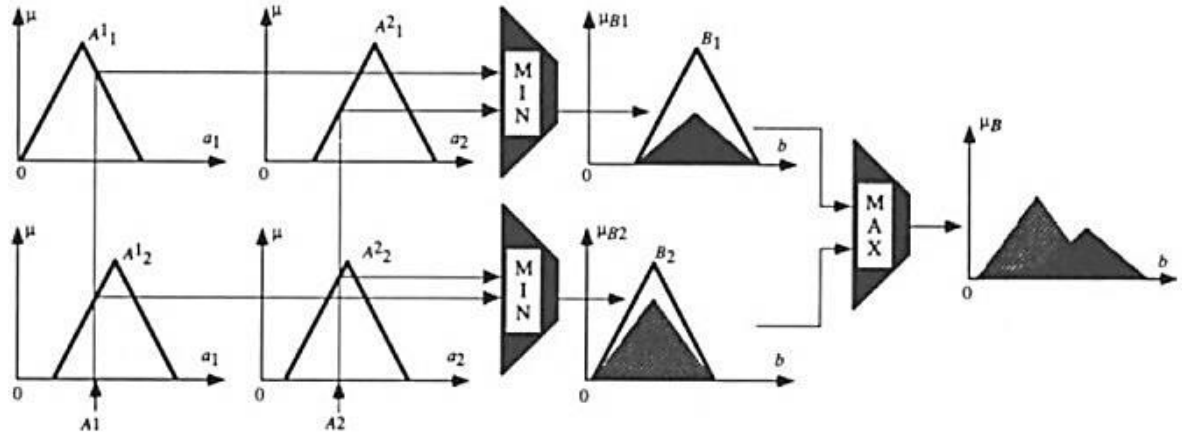
Şekil 3.11. Takagi-Sugeno çıkarım metodunun çalışma şekline örnek (Yılmaz, 2007).

Tsukamoto metodu, Mamdani ve Takagi-Sugeno metodu kadar açık veya anlaşılır bir metot olmadığı için sıkça kullanılan bir metot değildir. Bu metodun uygulanabilmesi için her kuralın sonucunun bir monoton üyelik fonksiyonu olması gerekir. Bu metotta çıktıların toplamı, her kuralın çıktısının ağırlıklı ortalaması ile bulunur. Böylece durulama için ilave süre harcanmaz.



Şekil 3.12. Tsukamoto metodunun çalışma yapısına örnek (Ross, 2017).

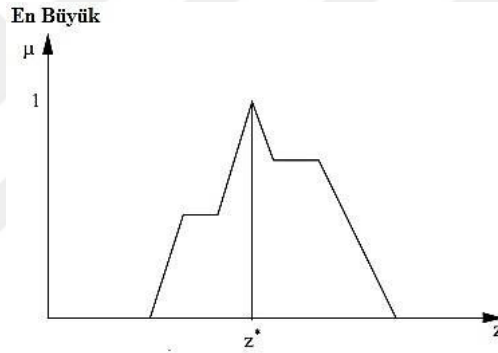
Larsen metodu (max-dot) 1980'li yıllarda P.M. Larsen tarafından geliştirilmiş bir metottur. Mamdani yöntemi ile benzer özelliklere sahiptir. Bulanık çıkarım fonksiyonunda Larsen metodu çarpım operatörünü kullanır. Bu metotta kuralın çıkışındaki bulanık küme yeniden ölçeklendirilir. Bu ölçeklendirmeye aşağıdaki şekilde örnek verilmiştir.



Şekil 3.33. Larsen metodunun çalışma yapısına örnek (Patyra ve Mlynek, 1996).

Çıkarım birimi sonuç olarak bulanık çıktılar üretir. Bu çıktılar, tekrar kesin değerlere dönüştürülmesi için *durulaştırma birimine* gönderilir. Çıkarım biriminden gönderilen bulanık değerlerin tekrar keskin değerler haline dönüştürülmelerine *durulaştırma (defuzzification)* denir. Durulaştırma, çıkış verisi özellikle başka sistemlerden tarafından kullanılıyorsa hayati bir öneme sahiptir. Durulaştırma işlemi, çıkarım biriminin bulanık çıktılarını diğer sistemlerin anlayabileceği değerlere dönüştürür. Literatürde durulaştırma işlemi için çok sayıda yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları aşağıda verilmiştir.

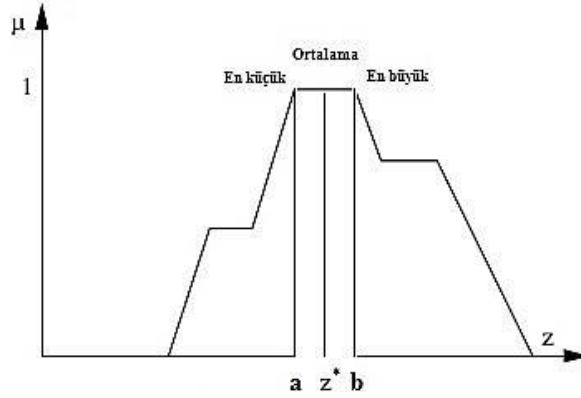
- *En büyük üyelik yöntemi (max membership)*: Yükseklik (height) yöntemi olarak ta bilinen bu yöntemde aktif kurallardan en büyük üyelik dereceli olanı dikkate alınır. Fakat birden fazla maksimum değer olması halinde bu yöntem ile karar vermek güçleşir. Bu nedenle bir tane en büyük değer olması durumunda kullanışlı bir metottur.



Şekil 3.44. En büyük üyelik yöntemi ile durulama işlemi (z^* çıkış değeridir).

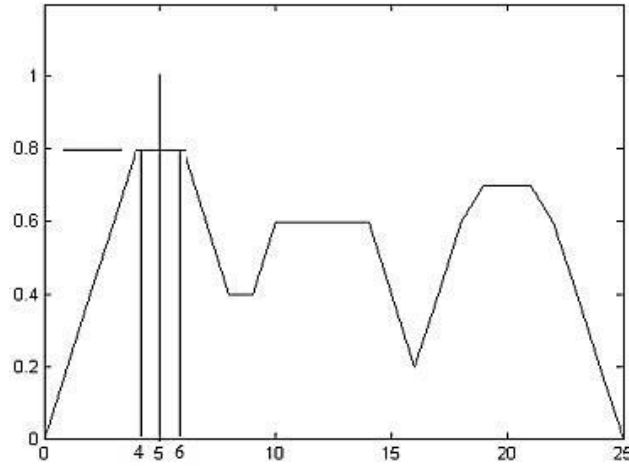
- *En büyüklerin ortalaması yöntemi (the mean of maxima-MOM)*: Literatürde sıkça kullanılan yöntemlerden biridir (Ross, 2010). Bu yöntem eğer en büyük üyelik değeri bir tane değilse, yani birden fazla maksimum nokta olması halinde kullanışlı olan bir yöntemdir. Bu nedenle en büyük üyelik yönteminin dezavantajını ortadan kaldıran bir yöntemdir. Bu yöntem en büyük üyelik yöntemine benzese de burada maksimum olan üyelik, bir nokta değil plato gibi bir düzlüktür. Aşağıdaki şekildeki durulama işleminde çıktı değeri z^* aşağıdaki formülasyonla bulunur (Saade ve Diab, 2004). Eğer a ve b noktaları arasında birden fazla nokta varsa hepsinin ortalaması alınır.

$$z^* = \frac{a + b}{2}$$



Şekil 3.55. En büyüklerin ortalaması yöntemi ile durulama işlemi (z^* çıkış değeridir).

Durulama işleminde en küçük ve en büyük maksimum noktanın ortalaması alınarak durulama işlemi yapılır. *En küçük maksimum*, çıkış bulanık kümesinde maksimum seviyeye sahip çıkış üyelik fonksiyonunun sola yakın kenarını (orijine yakın olan); en büyük maksimum ise çıkış bulanık kümesinde maksimum seviyeye sahip çıkış üyelik fonksiyonunun sağa yakın kenarını ifade eder. En büyüklerin ortalaması yönteminin anlaşılması için aşağıdaki örnek incelenebilir. Bu örnekte en büyük üyelik 0,8 noktasındadır ve 0,8 üyeliğine sahip bölge bir nokta değil bir düzlüktür. Bu durumda en büyüklerin ortalaması yöntemi artık kullanılabilir. z^* değeri $(4+5+6) / 3 = 5$ bulunur.



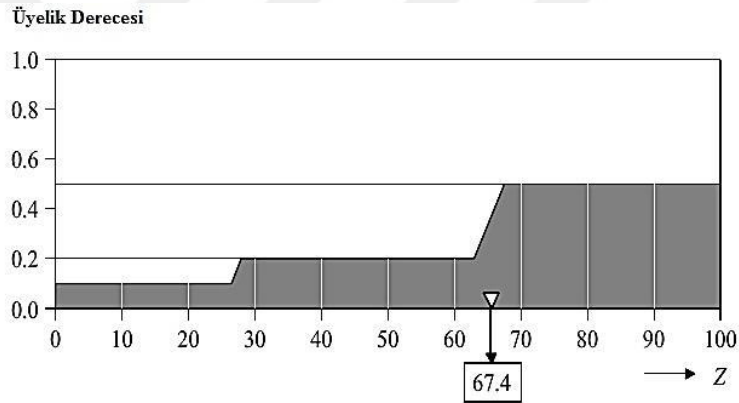
Şekil 3.66. En büyüklerin ortalaması yöntemine bir örnek.

- *Ağırlık merkezi (Center-of-Area-COA veya Center of Gravity-COG) yöntemi*: Bu metot en çok kullanılan durulama metotlarından biridir. Bu metodun en önemli dezavantajı hesaplanmasının diğer metotlara göre biraz zor olmasıdır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için çıktı üyelik fonksiyonlarının eğrisel olmaması sağlanabilir veya bazı genellemeler yapılabilir. Bu metotta

çıktı üyelik fonksiyonları tarafından sınırlanan alanın ağırlık merkezi bulunur (Saade ve Diab, 2004). Ağırlık merkezinin apsis ile kesiştiği yer kesin değeri (crisp) verir. Eğer çıktı üyelik fonksiyonları eğrisel ise ağırlık merkezi (a)'daki gibi, eğer çıktı üyelik fonksiyonları kesikli ise ağırlık merkezi (b)'deki gibi hesaplanır:

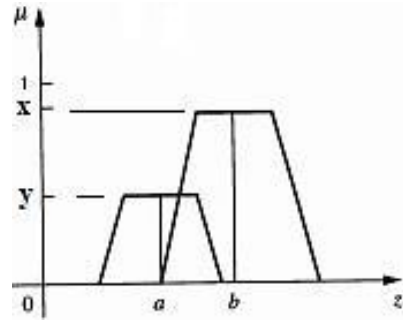
$$z^* = \frac{\int z \cdot \mu_C(z) dz}{\int \mu_C(z) dz} \quad (a) \quad z^* = \frac{\sum_{i=1}^q z_i \cdot \mu_C(z_i)}{\sum_{i=1}^q \mu_C(z_i)} \quad (b)$$

Yukarıdaki formüllerde z^* değeri bulanıklaştırılmış keskin değeri; z , çıktı değişkenini ve $\int \mu_C(z)$ ise bulanık çıktıların toplanmış üyelik fonksiyonunu göstermektedir. Ağırlık merkezi ile durulama metodu aşağıdaki örnekle açıklanabilir. Bu örnekte kesikli bir toplam söz konusu olduğu için yukarıda verilen (b) formülü kullanılır.



$$COG = \frac{(0 + 10 + 20) \times 0,1 + (30 + 40 + 50 + 60) \times 0,2 + (70 + 80 + 90 + 100) \times 0,5}{0,1 + 0,1 + 0,1 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5} = 67,4$$

– *Ağırlıklı ortalama (Weighted Mean of Maximum-WMM)*: Bu metot daha ziyade simetrik üyelik fonksiyonlarının bulunması durumunda kullanışlıdır. Bu bir dezavantaj olmakla birlikte hesap basitliği bu yöntemin en önemli avantajıdır. Bu metottaki ağırlık, her bir simetrik üyelik fonksiyonunun merkez değeridir. Durulama işlemi, her bir simetrik üyelik değerinin tepe noktası değeri belirlenip ortalamaların alınması ile yapılır. Bu işlem için aşağıdaki formül kullanılır. Bu formülasyonda \bar{z} , her üyelik fonksiyonunun merkezi, $\mu_C(\bar{z})$ ise \bar{z} değerine ait üyelik değeridir.



$$z^* = \frac{\sum \mu_c(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu_c(\bar{z})}$$

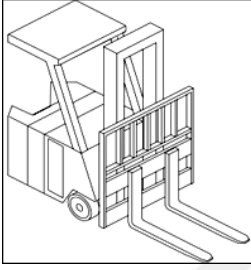
$$z^* = \frac{a \cdot y + x \cdot b}{x + y}$$

– *Diğer yöntemler:* Durulama amaçlı başka yöntemler de mevcuttur. Bu metotlar şu şekilde ifade edilebilir: En küçük maksimum yöntemi, en büyük maksimum yöntemi, açığortay yöntemi, geniş alan merkezi yöntemi.

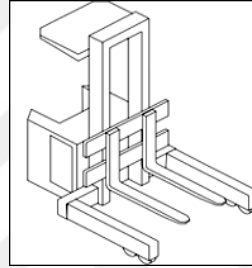
4. FORKLİFT KAZALARININ ÖNLENMESİNE YÖNELİK BİR SİSTEM TASARIMI

Forkliftler gerek açık gerekse de kapalı alanlarda en çok kullanılan taşıma araçlarıdır. Forkliftler güç kaynaklarına göre; benzinli, dizel, LPG'li ve akülü (bataryalı) olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Tahrik mekanizmalarına göre ise debriyajlı, tork konverterli (otomatik vitesli sistem), hidrostatik (şanzımsız, kapalı devre yağ basıçlı sistem) ve elektrik motorlu olmak üzere yine dörde ayrılmaktadır (Erel, 2015). OSHA'nın kabul ettiği sınıflandırma ise şu şekildedir (OSHA, 2018):

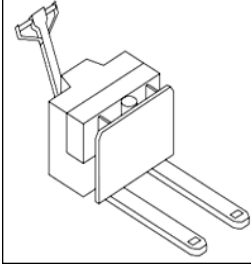
Sınıf-I Elektrik motorlu binicili forkliftler



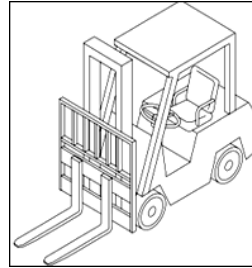
Sınıf-II Elektrik motorlu dar koridor forkliftleri



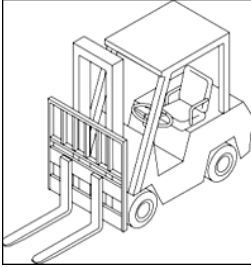
Sınıf-III Elektrik motorlu yaya-kumandalı forkliftler



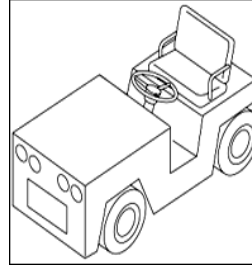
Sınıf-IV İçten yanmalı motorlu dolgu lastikli forkliftler



Sınıf-V İçten yanmalı motorlu havalı lastikli forkliftler



Sınıf-VI Elektrik motorlu ve içten yanmalı motorlu çekiciler



Sınıf-VII Açık arazi forkliftleri



Yoğun kullanım ihtiyacı, taşımada zamanla yarışma, kullanıcıların eğitimsiz olması, bakım sorunları ve tesis tasarımındaki sorunlar gibi nedenlerden dolayı son zamanlarda forklift kazaları ile ilgili birçok haber ülkemiz medyasında kendine yer bulmuştur. Bu haber başlıklarından bazıları aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Bu tablodaki veriler yasal istatistikler olmamakla beraber forklift kazalarının sıklığını ve sonuçlarını göstermesi açısından önemlidir.

Çizelge 4.4. Türk medyasından 2014-2018 yılları arasında yaşanan bazı forklift kaza haberleri.

| Haber Başlığı | | Yıl | Haber Kaynağı | Kaza Nedeni | Sonuç |
|---------------|--|------|---|--|--------------------------|
| 1 | Adıyaman'ın Kahta İlçesi'nde, devrilen forkliftin altında kalan kişinin sol ayağı koptu | 2014 | İHA | Forklift ile rampadan inme | Ayak kopması |
| 2 | Bursa'da korkunç forklift kazası! | 2015 | İHA | Geri manevra yaparken işçiye çarpma | Ağır yaralanma |
| 3 | Bursa'da forklift kazası can aldı | 2015 | www.kupurhaber.com | Malzemenin ağır gelmesiyle öne doğru devrilme ve kişiye çarpma | Ölüm |
| 4 | Kocaeli'nde ambalaj kapağı üretimi yapan bir fabrikada feci forklift kazası | 2016 | DHA | Forkliftin kontrolden çıkması | Ayağın parçalanması |
| 5 | İzmir'in Karabağlar İlçesi'nde, kontrolden çıkan forklift devrildi | 2016 | DHA | Sürücüsünün kontrolünden çıkma | 1 hafif yaralı 1 ölüm |
| 6 | Kütahya Domaniç'te forklift kazası | 2016 | AA | Kontrolden çıkarak yayaya çarpma | Ölüm |
| 7 | Konya'da forklift kazası | 2017 | Konhaber | Forkliftin çarpması sonucu duvarın kişi üzerine yıkılması | Ölüm |
| 8 | Konya Beyşehir'de İş Kazası | 2017 | İHA | Forkliftin devrilmesi | Ağır yaralanma |
| 9 | Sahibi olduğu fabrikada forklift tarafından ezildi | 2017 | AA | Manevra yapan forkliftin kişiye çarpması | Ölüm |
| 10 | Anamur'da sulama sistemi işi yapan firmada forklift kazası | 2017 | www.anamurekspres.com | Direksiyon hakimiyetini kaybetme | Ölüm |
| 11 | Antalya'da yeni işe başlayan adam kullandığı forkliftin altında kalarak yaşamını yitirdi | 2017 | İHA | Forkliftle çukura düşme | Ölüm |
| 12 | Elazığ'da iş kazası: 1 ölü | 2017 | http://www.elazigsonhaber.com | Forkliftin işçi üzerine devrilmesi | Ölüm |
| 13 | Devrilen Forklift Can Aldı! | 2017 | http://www.gazeteulus.com | Forkliftin devrilmesi | Ölüm |
| 14 | Demir profiller işçilerin üzerine devrildi. | 2018 | Hürriyet | Forkliftin taşıdığı demir profillerin düşmesi | 1 yaralanma, 1 ölüm |
| 15 | 4 tonluk makine işçinin üzerine devrildi | 2018 | Hürriyet | Forkliftin kaldırırken makineye çarparak makineyi devirmesi | Ağır yaralanma |

Ülkemizde yaşanan forklift kazalarının sayısının artması ve bu kazaların ölüm ve ağır yaralanma gibi sonuçlarının olması bu konuda önleyici sistemlerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Ülkemizde son zamanlarda iş güvenliği ile ilgili yasal mevzuatlar geliştirilmesine rağmen özellikle forklift kazalarının sayısında bir artış eğilimi görülmektedir. Her sektörde görülen bu forklift kazalarının medyada eskisine göre daha fazla yer bulması, sanki forklift

kazalarının artış eğiliminde olduğu izlemine de doğurabilir. Bu konuda eski ile karşılaştırılabilecek veriler olmadığı için bu tespit hakkında bu tez çalışmasının kesin bir yargısı yoktur.

Ülkemizdeki işletmelerin ve çalışanların durumu düşünüldüğünde, forklift kazalarının nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir. Bu nedenler, ülkemizde geniş zaman aralığında detaylı istatistikler tutulmadığı için yabancı kaynaklara (Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2017; Lifschultz ve Donoghue, 1994), haberlere ve deneyimlere bağlı olarak ortaya atılmıştır.

- Yetkisiz kişilerin forklift kullanması
- Forklift kullanımı için eğitime gerek olmadığı düşünülmesi
- Forklift kullanıcılarının özel şartlarda forklift kullanımı için eğitim almamış olması
- Forkliftlerin bakımlarının düzenli olarak yapılmaması
- Forklift bakımlarının herkes tarafından yapılabileceğine inanılması
- Forklift kullanıcı eğitimi ve forklift bakımı için masrafa katlanılmak istenmemesi
- Forkliftlerin insan taşıma aracı olarak kullanılması
- Forkliftlerin kullanım amacı dışındaki ve kullanım sınırları dışındaki yerlerde kullanılması (ör: fabrika dışında ana yolda taşıma amaçlı kullanım)
- Forkliftlerin çok farklı departmanlar tarafından kullanılmasından dolayı çok sayıda kişiye forklift eğitimi verilmesinin maliyetli olacağı düşünülmesi
- Anlık ihtiyaçlardan dolayı yetkisiz kişilere forklift kullanma izninin verilmesi
- Bazı iş dallarında forklift operatörü istihdam edilmek istenmemesi
- Forklift kullanıcılarının, amirleri tarafından zaman baskısı altında tutulması
- Eğitimsizlikten ve yoğun iş temposundan dolayı forkliftin dengesiz veya yanlış yüklenmesi
- Bazı işler için yanlış forklift tipinin kullanılması (ör: mermer taşımak için güçsüz forkliftlerin kullanılması)
- Kullanıcıların forkliftlerin kapasitesini aşırı zorlaması (hız ve yük kapasitesi bakımında vb.)

Yukarıda sunulan maddelerin sayısı artırılabilir. Özellikle ülkemiz dışında alkol gibi nedenler de bu maddelerin içerisinde yer almaktadır. Ülkemizde forklift ile ilgili iş kazasının olduğu her işletmede bu nedenlerden biri veya birkaçı görülebilmektedir. Görüldüğü gibi forklift kazaları diğer iş makineleri kazalarında olduğu gibi önemli bir can ve mal kaybına neden olmaktadır. Bu tez çalışmasının ana hedefi bu kazaların önceden tespit edilebilmesi için

bir risk algılama sistemi tasarlamaktır. Bu tasarımın özellikle Ortak Sağlık ve Güvenlik Birimleri (OSGB) tarafından kullanılması veya bu birimlerin dikkatini çekmesi de amaçlanmaktadır.

4.1. Önerilen Sistem Tasarımı

Bu tez çalışmasında önerilen sistemin tasarımında Naieni ve arkadaşlarının 2012 yılında yayınladıkları makale çalışması temel alınmıştır (Naieni vd., 2012). Yazarlar çalışmalarında bir forklift kazasını dört nedene bağlamışlardır: (1) Operatör yeteneklerindeki sorunlar, (2) güvenlik prosedürüne uymama, (3) ekipman güvenliği ile ilgili sorunlar ve (4) çevresel sorunlar ve hava şartları. Yazarlar ayrıca bu ana nedenleri alt nedenlere de ayırmışlardır. Operatör yeteneği ile ilgili kazalar; eğitim süresi ve iş deneyimine bağlanmıştır. Yazarlar, güvenlik prosedürüne uymamak ile ilgili kazaları yönlendirme hatalarına, çatal ağız ile yer arasındaki uzaklığa ve aşırı hıza bağlamışlardır. Güvenlik prosedürüne uymama alt sınıflandırması içindeki özellikle forkliftin aşırı hızlı kullanımı, ülkemizdeki kazaların temel nedenlerinden biridir. Yazarlar, ekipman güvenliği ile ilgili kazaları günlük bakımların yapılmamasına, tekerlerin kullanım ömürlerinin dolmasına ve fren bakımlarının yapılmamasına bağlamaktadırlar. Bu problemler ülkemizde de forkliftlerin kaza nedenleri arasındadır. Yazarlar son olarak çevresel sorunlar ve hava şartlarına bağlı kazalar üzerinde durmuşlardır. Bu nedenler ülkemiz açısından birincil nedenler olmasa da bu faktörlere bağlı forklift kazaları da ülkemizde görülmektedir.

Bu tez çalışmasında önerilecek risk algılama sisteminin, ülkemizdeki forklift kaza potansiyelini önceden belirli bir olasılıkla tespit edebilmesi için Naieni ve arkadaşlarının çalışmalarından (Naieni vd., 2012) farklı bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Öncelikle önerilen sistem, forklift kullanıcısı (operatör) ve yayalar olmak üzere iki gurubun yol açabileceği kazalara yönelik olmalıdır. Bu tez çalışması bu kazalar için aşağıdaki üç önlem grubunu önermektedir:

- Genel önlemler
- Anlık kazalar için önlemler
- Önceden tahmin veya tespit edilebilecek kazalar için önlemler

Genel önlemler, forklift kazalarının önlenmesi için güvenlik kurumlarının dikkat etmesi gerektiği temel önlemleri içermektedir. Önerilen sistemde genel önlemler; tesis ile ilgili, forkliftle ilgili ve operatörle ilgili olmak üzere üç kısımda incelenmiştir.

Tesis ile ilgili önlemler

Çizelge 4.2. Tasarlanan sistemde yer alması önerilen tesis ile ilgili önlemler.

| Önlem | | Önlemesi Düşünülen Durumlar |
|-------|---|---|
| 1 | Uygun forklift yollarının belirlenmesi | Kişiyeye çarpma, malzemeye çarpma, devrilme |
| 2 | Forklift yollarının işaretlenmesi ve ikaz ve kontrol araçları ile donatılması | |
| 3 | Zeminin forkliftler için uygun hale getirilmesi | Yana devrilme, yükün kayması, yükün düşmesi, forkliftin kayması |
| 4 | Uygun olmayan zemine (bozuk zemin, yüksek eğimli zemin vb.) sahip tesis kısımlarına forkliftlerin girişinin engellenmesi | |
| 5 | Keskin virajların işaretlenmesi ve aynalarla donatılması | |
| 6 | Forklift yüksekliğine uygun geçiş alanlarının oluşturulması | Devrilme, malzemeye veya makineye çarpma |
| 7 | Yakıtlı forkliftler için ortam havalandırmasının uygun hale getirilmesi | Operatörün zehirlenmesi ve operatörde bilinç kaybı |
| 8 | Tesiste forkliftler için uygun park alanlarının oluşturulması | Uygun olmayan yerlere yapılan park sonucu oluşacak kazalar |
| 9 | Forklift yollarına veya bu yolların çok yakınına engel veya malzeme konmasının/istiflenmesinin önlenmesi | Malzemeye çarpma, devrilme |
| 10 | Forklift yollarındaki trafik yükünün tespiti, kaza ihtimali yüksek ve trafiğin yoğun olduğu bölgelerde özel önlemlerin alınması | Kişiyeye çarpma, malzemeye çarpma |
| 11 | Tesisteki forklift çalışma alanlarının uygun şekilde aydınlatılması | Düşük görüş nedeniyle malzemeye, makineye veya kişiyeye çarpma |
| 12 | Tesisteki forklift çalışma alanlarında iletişimi engelleyecek gürültü ve toz/duman düzeyinin önlenmesi | Gürültü ve düşük görüş nedeniyle kazaların meydana gelmesi |

Forklift ile ilgili önlemler

Çizelge 4.3. Tasarlanan sistemde yer alması önerilen forklift ile ilgili önlemler.

| Önlem | | Önlemesi Düşünülen Durumlar |
|-------|---|---|
| 1 | Operatörün günlük genel kontrol yapması | Gözle görülen sorunların önlenmesi |
| 2 | Periyodik bakımların (hidrolik, çatal ağız, yönlendirme ve şanzıman vb.) düzenli olarak yapılması | Beklenmeyen kazaların önlenmesi |
| 3 | Fren bakımının düzenli olarak yapılması | Kişiyeye, duvara veya malzemeye çarpmayı ve devrilmeyi önleme |
| 4 | Tekerlerin kullanım süresinin kontrolü | Devrilmeyi önleme |
| 5 | Sesli ve ışıklı ikaz cihazlarının kontrolü | Kişiyeye çarpmayı önleme |
| 6 | Uygun yükseklikte bir üst koruyucunun bulunması | Devrilme sonucu araç altında sıkışmayı önleme |
| 7 | Yakıtlı forkliftlerin uygun emisyonla sahip olması | Zehirlenmeyi önleme |
| 8 | Tip etiketi ve yük çizelgesi mevcudiyetinin veya okunabilirliğinin kontrolü | Her türlü kazanın oluşmasının önlenmesi |

Operatör ile ilgili önlemler

Çizelge 4.4. Tasarlanan sistemde yer alması önerilen operatörle ilgili önlemler.

| Önem | | Önemesi Düşünülen Durumlar |
|------|--|--|
| 1 | Forklifti sadece yetkilendirilmiş ve eğitilmiş kişilerin kullanması (Karayoluna çıkılacaksa G ehliyetine sahip olanlar, sadece iş yerinde kullanılacaksa operatörlük eğitimi alıp belgeye sahip olanlar) | Her türlü kazanın oluşmasının önlenmesi |
| 2 | Operatörün günlük temel bakım ve kontroller için eğitilmesi | Mevcut gözle görülen sorunların önlenmesi |
| 3 | Tazeleyici eğitimlerin yapılması | Eski alışkanlıklara geri dönülmesinin önlenmesi |
| 4 | Operatörlerin yükleme kurallarına hâkim olması | Devrilmenin önlenmesi |
| 5 | Forklift operatörlerinin uygun kıyafetler giymesinin sağlanması (görünebilir renkte ve vücuda oturan şekilde) | Kıyafetlerin forkliftin dönen parçalarına sıkışmasının önlenmesi |
| 6 | Operatörün çevresi ile kolay iletişim kurmasının sağlanması (ilgili eğitimlerin verilmesi) | Çarpma gibi kazaların önlenmesi |

Anlık kazalar ilgili önlemler gelecekte oluşabilecek kazaları önlemekten daha ziyade, dalgınlık ve dikkatsizlik gibi nedenlerle anlık olarak oluşabilecek kazaları veya bu kazaların etkilerini azaltmaya odaklanırlar. Bu kazalara, iyi eğitim almayan veya eğitimsiz çalışanlarla beraber deneyimli ve eğitilmiş çalışanlar da yol açabilir. Bu tip sistemlere sahip forkliftler, kullanıcılarına veya etraftaki diğer insanlara ikaz uyarıları gönderirler, böylece operatör ve yaya hatalarını en küçüklerler. Bu sistemlerden bazıları forkliftler üzerinde standart olarak bulunmayan sistemler oldukları için temini ilave maliyete neden olabilir. Ayrıca bu sistemlerin hepsinin aynı anda bir forklifte bulunmasına da gerek yoktur. Operatörlerin eğitim seviyesine ve tesisin durumuna göre bazı sistemler kullanılmayabilir. Ancak ülkemizdeki forklift kazaları incelendiğinde operatör algılama sistemi, sesli ve ışıklı ikaz sistemi ve yaya/engel algılama sisteminin forkliftlerde bulunması birçok olası kazayı önleyecektir. Anlık kaza önleme sistemlerinden bu tez çalışması kapsamında önerilenleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Tasarlanan sistemde yer alması önerilen anlık kazaları önleme sistemleri.

| Önlem | | Önlemesi Düşünülen Durumlar |
|-------|--------------------------------|---|
| 1 | Operatör algılama sistemi | Bu sistemler, operatör forklifte değilken aracı durdururlar. Böylece aracın kendi kendine hareket ederek kişi veya nesnelere çarpmasını önlerler. |
| 2 | Sesli ve ışıklı ikaz sistemi | Dalgın olan veya olmaması yerde duran kişileri uyaran sistemlerdir. Çarpmaları ve ayak ezilmelerini azaltan sistemlerdir. |
| 3 | Hız kontrol sistemi | Operatörlerin belirlenen hızları aşmasını önleyen sistemlerdir. Hız özellikle devrilmenin en önemli nedenidir. |
| 4 | Çatal kontrol sistemi | Forklift yükü bıraktıktan sonra boş çatalların manevra esnasında kişilere ya da nesnelere çarpmasını önleyen sistemlerdir. Bu sistemler özellikle bacak yaralanmalarını önlerler. |
| 5 | Yaya ve engel algılama sistemi | Mesafe algılayıcı sensörlerle çalışan bu sistemler etraflarındaki engelleri algılayarak engelin yönünü operatöre bildirirler. Ayrıca sesli ve ışıklı uyarılar da verirler. Bu sistemler özellikle yüklü forkliftlerin kısıtlı görüş alanından dolayı kaza yapmalarını önlerler. |
| 6 | Denge kontrol sistemi | Özellikle yüklü forkliftlerin devrilmesini önlerler. |
| 7 | Viraj kontrol sistemi | Hız ile viraj açısı arasında ilişki kurarak forkliftlerin virajlarda devrilmesini önlerler. |

Bu tez çalışmasının ana konusu olan *önceden tahmin veya tespit edilebilecek kazalar*, belirli dönemler içinde belirli veya belirsiz bir sıklıkla meydana gelerek gelecekteki olası bir kazanın tespitine veya tahminine izin veren kazalardır. Eğer bu kazaların ön belirtileri iyi bir şekilde izlenip analiz edilebilirse kaza olmadan önce gerekli önlemler alınabilir. Bu çalışmada böyle bir önlem grubunun oluşturulmasının temel nedenleri aşağıdaki gibidir:

- Forklift bakımlarının düzenli yapılmaması sonucunda forkliftin kritik parçalarının yıpranması hızlanmakta ve bunun sonucunda beklenmeyen arızaların ortaya çıkması (Örneğin, düzenli yağlanması gereken hareketli parçaların zamanında yağlanmaması sonucu aşınmaların artması ve değişmesi gereken zamandan önce bozularak arıza vermesi)
- Verilen eğitimlerin etkisinin zamanla zayıflaması ve eskiye dönüşün başlaması nedeniyle eski hataların tekrar edilmesi. Burada konusu geçen esas sorun çalışanların kolay unutulması sorunudur.
- Zamanla işi yetiştirmenin iş güvenliğinin önüne geçmesi nedeniyle riskli hareketlerin yapılmaya başlanması
- Bazı operatörlerin iş güvenliğini sadece prosedür olarak görmesi ve kurallara uymak istememesi nedeniyle riskli hareketler yapması
- Ciddi hasarlı birçok kazanın önceden tahmin edilebilen grupta olması
- Bu gruptaki kaza risklerinin tespit edilmesi ile önemli maliyetlerin önlenmesi
- Bu gruptaki kaza risklerinin tespit edilmesi ile eğitim sıklıklarının planlanabilmesi

- Bu gruptaki kaza risklerinin tespit edilmesi ile eğitime ihtiyaç duyan çalışanların belirlenebilmesi
- Bu gruptaki kaza risklerinin tespit edilmesi ile olası kazalar için risk derecelendirmesi yapılabilmesi

Bu tez çalışmasında, bu sınıflandırmadaki kazalar için aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır:

- Bazı kazaların ön belirtisi vardır
- Bu ön belirtilerin izlenmesi ile bu kazaların önlenebileceği varsayılır
- Bu sınıftaki kazaların önlenmesi için uzun vadeli veri toplanması gereklidir
- Genel önlemlerin alındığı varsayılır
- Bakımlar birbirinden bağımsızdır. Hiçbir bakımın yapılmamış olması mevcut zamandan itibaren ilk yapılacak bakımı etkilemez. Bu durum bakım güvenilirliğinde bir miktar değişime neden olabilir
- Bütün bakımların önem derecesi eşit kabul edilmiştir. Forkliftlerin bakımlarının düzenli yapılması ile son bakımlarının düzenli yapılması eşit sonuçta güvenilirlik üretmez. Bu nedenle bakımları düzenli yapmaya zorlamak için böyle bir varsayım kabul edilmiştir.

Bu tez çalışmasında, bu sınıftaki kazaların önlenmesi için aşağıdaki iki tip sistemin kullanılması önerilmiştir:

- a) *Forklift hareketleri ile ilgili verilerin toplanması*: Verilerin toplanması, çeşitli alt sistemler aracılığı ile gerçekleştirilir. Bu sistemler genelde sensörler ve diğer algılayıcılardan oluşurlar. Ülkemiz şartları düşünüldüğünde bu sistemlerin çoğunun sadece çok büyük kurumsal firmalarda kullanıldığı görülmektedir.

Çizelge 4.6. Forklift hareketleri ile ilgili verilerin toplanmasını sağlayan sistemler.

| Sistem Adı | Önlediği Durumlar |
|--|---|
| Forklift takip sistemi | <ul style="list-style-type: none"> - Çalışma saatleri dışında oluşabilecek ihlaller izlenebilir. Böylece bu tip kazaların önlenmesini sağlayabilir. - Çalışma saatleri içinde yapılan sürüş ihlalleri tespit edilebilir. Böylece ihlallerin alışkanlık haline getirilmesi önlenir. - Çalışma saatleri içinde ve dışında forkliftin hareketleri operatöre bağlı olarak izlenebilir. Bu verilere göre operatör eğitimleri tazelenir. - Çalışma alanında oluşan kazalar hakkında anlık bilgi elde edilebilir. Böylece kazaların nedenleri tespit edilebilir. |
| Sürücü davranış kontrol sistemi | <ul style="list-style-type: none"> - Forklift ile ilgili anlık hız, sürüş karakteristiği ve kullanım denetimi gibi özellikleri kontrol edebilen sistemlerdir. - Hatalı kullanımdan dolayı oluşan kazaları önler. |
| Kartlı takip veya algılama sistemleri | <ul style="list-style-type: none"> - Bu sistemler, sadece yetki verilen kullanıcının aracı kullanmasını ve araçla ilgili kullanım verilerinin toplanmasını sağlar. - Yetkisiz kişilerin forklift kullanması ile oluşabilecek kazaları önlemeye çalışan sistemlerdir. |
| Arıza ve bakım takip/algılama sistemleri | <ul style="list-style-type: none"> - Oluşabilecek olası arızaları önceden algılayabilen ve bakım kontrolleri için uyarı verebilen sistemlerdir. - Arızalardan kaynaklanan kazaları önlemeye çalışan sistemlerdir. |

b) *Risk algılama ve analiz sistemleri*: Bu sınıftaki sistemler, anlık kazalara tepki üretmekten daha ziyade potansiyel kazaları tespit etmeye odaklanırlar. Ancak bu sistemlerin gelecekte olabilecek anlık kazaları da önleyebileceği düşünülmelidir. Çünkü varsayımımıza göre kazaların bazıları, kaza olmadan önce birçok basit hata veya yanlış eylemle kendisini gösterir. Bu belirtilerin tespiti ile gelecekteki birçok kaza önlenir. Yine varsayımımıza göre bu belirtilerin tespiti için uzun vadeli veri toplanması gerekir. Literatürde çok sayıda risk değerlendirme/analiz metodu veya sistemi bulunmaktadır. Bu metotlar farklı durumlardaki riskleri değerlendirmek için geliştirilmiştir. Ancak durumlar, ortam, senaryolar veya diğer değişkenler değiştiğinde bu sistemlerin riski değerlendirme performansı da değişmektedir. Bu nedenle Naieni ve arkadaşlarının çalışmalarının (Naieni vd., 2012) ülkemizdeki kazaları tespit etme performansının aşağıdaki nedenlerden dolayı düşük olacağı düşünülmekte ve bulanık mantıkla ülkemize uygun bir sistem tasarlanması amaçlanmaktadır.

- Çevresel faktörlerin ülkemizdeki kazalar üzerindeki etkisinin nispeten az olması
- Yazarların belirlediği bazı faktörlerin birbiri ile ilişkili olması nedeni ile bu faktörlerin beraber düşünülmesi gerekliliği (ör: forkliftin hızlı kullanılmasının operatör eğitimi ile alakalı olması vb.)
- Yazarların belirlediği bazı faktörlerin ülkemizdeki kazaların temel nedenleri arasında olmaması (ör: forklift kulesinin yüksekliği vb.)

4.1.1. Önerilen bulanık sistem

Bu bölümde önerilen bulanık sistemin ülkemizdeki bazı temel forklift kazalarının önceden tespitinde başarılı olacağı düşünülmektedir. Bu bulanık sistemle tespit edilebilecek kaza türleri aşağıda verilmiştir:

- Bilinçli olarak yapılmayan kazalar (sabotaj benzeri kazalar bu çalışmanın konusu dışındadır)
- Dış etkilere bağlı olmayan kazalar (patlama, yangın ve sel gibi kazalar bu çalışmanın konusu dışındadır)
- Veri toplama ile tespit edilebilecek kaza türleri (sensörlerle tespit edilemeyen veya verileri saklanan veya tutulmayan kazalar bu çalışmanın konusu dışındadır)

Önerilen bulanık sistem iki girdili ve tek çıktılı bir sistemdir. Önerilen bulanık sistemin *bakım durumu* ve *operatör durumu* olmak üzere iki girdisi bulunmaktadır. Sistemin çıktısı ise *kaza risk durumunu* göstermektedir.

Çizelge 4.7. Önerilen sistemin girdileri ve çıktısı.

| Girdi | Çıktı |
|-----------------|------------------|
| Bakım durumu | Kaza risk durumu |
| Operatör durumu | |

İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği Madde 2.2.4'e göre forkliftlerde azami bakım periyodu "1" yıldır. Bunun anlamı, forkliftlerin yılda en az 1 kez periyodik bakıma girmesi gerektiğidir. Bu bakımlar TS 10689, TS EN ISO 3691-5, TS ISO 5057, TS 10201 ISO 3184, TS ISO 1074 ve FEM 4.004 standartlarında belirtilen kriterlere uygun olarak yapılmalıdır. Bununla beraber bazı kaynaklarda (Dinler, 2000) forkliftlerin bir yıl içinde günlük, haftalık, aylık, 3 aylık ve 6 aylık periyodik bakım faaliyetlerinden bahsedilmektedir. Periyodik bakımların düzenli ve sık yapılmaması, gelecekte oluşabilecek kazalara davetiye çıkarmaktadır. Düzenli olarak bakımları yapılan forkliftlerin çalışma sırasında bozularak veya diğer teknik nedenlerden dolayı kazaya yol açmaları çok düşük bir ihtimaldir. Bu nedenle bu tez çalışmasında haftalık, aylık, 3 aylık ve 6 aylık periyodik bakım faaliyetleri bakım güvenilirlik durumu girdisini temsil edecektir. Günlük bakımlar genelde operatörlerce yapılan basit bakım faaliyetlerinden oluştuğu için operatörlere verilen eğitimlerle bu bakımların yapılacağı varsayılacaktır. Bu tez çalışmasında, bakım aralığı uzadıkça bakımın öneminin artacağı varsayılmaktadır.

Çizelge 4.8. Haftalık, aylık, 3 aylık ve 6 aylık bakımların genel içerikleri (Dinler, 2000).

| | |
|--|---|
| Haftalık Bakım (50 saate kadar) | Hidrolik yağının ve hortumunun kontrolü |
| | Akü kontrol |
| | Kaldırma zincirlerinin bakımı |
| Aylık Bakım (250 saate kadar) | Motor yağının kontrolü |
| | Varsa yakıt filtresinin kontrolü |
| | Dingillerin kontrolü |
| | Kayışların kontrolü |
| | Kaldırma sistemlerinin kontrolü |
| | Frenlerin kontrolü |
| | Direksiyon sisteminin kontrolü |
| | Elektronik devrelerin kontrolü |
| 3 Aylık Bakım (500 saate kadar) | Kaldırma sistemlerinin kontrolü |
| | Direksiyon sisteminin kontrolü |
| | Hidrolik sistemin kontrolü |
| | Güvenlik sistemlerinin kontrolü |
| | Frenlerin ve debriyaj sisteminin kontrolü |
| 6 Aylık Bakım (1000 saate kadar) | Yakıt sisteminin kontrolü |
| | Kapsamlı motor bakımı |
| | Kaldırma sistemlerinin kapsamlı kontrolü |
| | Elektronik sistemlerin kapsamlı kontrolü |
| | Yağ ve yakıt filtrelerinin kontrolü |
| | Lastiklerin ve direksiyon sisteminin kontrolü |
| | Güvenlik sistemlerinin kapsamlı kontrolü |
| | Frenlerin ve debriyaj sisteminin kontrolü |
| Basınç testlerinin yapılması | |

Bu tez çalışmasında bu dört bakım türü için aşağıdaki gibi bir denklem oluşturulmuş ve daha sonra bu denklem bulanıklaştırılmıştır. Oluşturulan bu denklem, kaza yapmama yani bakım güvenilirlik durumunu göstermektedir.

Bakım Güvenilirlik Durumu =

$$\begin{aligned}
 & \alpha \left(\frac{a_1}{50_1} + \dots + \frac{a_n}{50_n} \right) + \beta \left(\frac{b_1}{250_1} + \dots + \frac{b_k}{250_k} \right) + \gamma \left(\frac{c_1}{500_1} + \dots + \frac{c_l}{500_l} \right) \\
 & \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Haftalık bakım}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Aylık bakım}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{3 aylık bakım}} \\
 & + \theta \left(\frac{d_1}{1000_1} + \dots + \frac{d_m}{1000_m} \right) \\
 & \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{6 aylık bakım}}
 \end{aligned}$$

Bakım için gecikildiğinde güvenilirliğin azalması bu denklemin temelini oluşturmaktadır. Eğer tüm bakımlar zamanında yapılırsa bakım yapılmamaktan dolayı kaza

ihtimali sıfıra yaklaşır. Bununla beraber beklenmeyen problemlerin oluşması her zaman olasıdır. Bu denklem her forklift için ayrı ayrı hesaplanır.

Denklemde, $\alpha, \beta, \gamma, \theta$ sıra ile haftalık, aylık, 3 aylık ve 6 aylık bakımın önem katsayılarıdır ve bakımın nispi önemini, a, b, c, d ise sırasıyla haftalık, aylık, 3 aylık ve 6 aylık saat cinsinden bakım gecikme süresini gösterir. Bu tez çalışmasında $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,2$; $\gamma = 0,3$; $\theta = 0,4$ olarak kabul edilmiştir ve $\alpha + \beta + \gamma + \theta = 1$ şartı sağlanmalıdır. Denklemde önem katsayılarının çarpıldığı ifadeler, bakımın gecikmesinden dolayı ilgili bakım türü için güvenilirlik durumunu göstermektedir. Bu ifadelerdeki paylar, dönemlik bakımlar için gecikmeyi; paydalar (n, k, l, m) ise dönemlik bakım sayısını ifade etmektedir. Payda yer alan kesirli ifadelerdeki pay, dönemlik gecikme için bir sayaçtır ve her gecikme saati için 1 saat çıkarılır. Bakım için gecikme arttıkça güvenilirlik durumu azalır.

Örnek olarak haftalık bakım için pay ifadesi aşağıdaki eşitlikteki gibi açıklanabilir:

$$\frac{a_1}{50_1} = \frac{\text{Bir sonraki bakıma kadar mevcut saat} - \text{Bakım için gecikilen saat}}{\text{Bir sonraki bakıma kadar mevcut saat}}$$

Önerilen denklemde n, k, l , ve m sıra ile haftalık, aylık, 3 aylık ve 6 aylık periyodik bakım sayıdır. Bakım sayıları çalışma saatine bağlı olup aşağıdaki gibi hesaplanırlar:

$$n = \frac{\text{Toplam çalışılan saat} - \text{İlk haftalık bakım saati}}{50}$$

$$k = \frac{\text{Toplam çalışılan saat} - \text{İlk aylık bakım saati}}{250}$$

$$l = \frac{\text{Toplam çalışılan saat} - \text{İlk 3 aylık bakım saati}}{500}$$

$$m = \frac{\text{Toplam çalışılan saat} - \text{İlk 6 aylık bakım saati}}{1000}$$

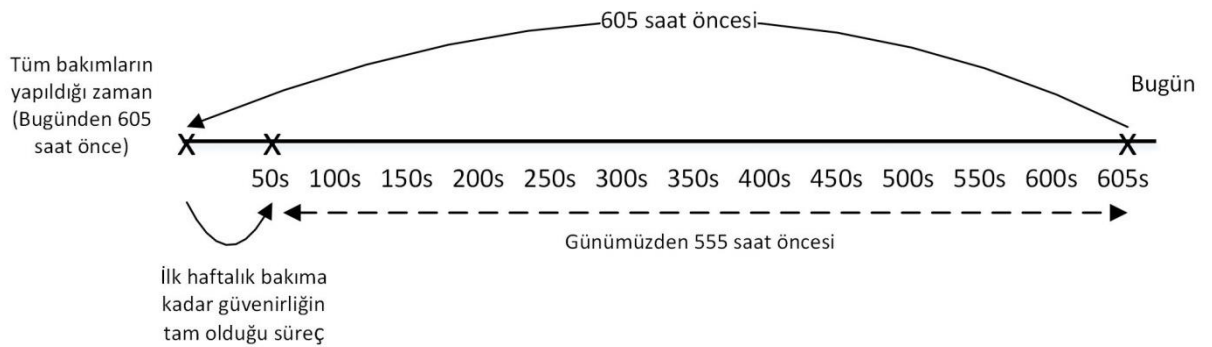
Yukarıdaki eşitliklerde, forkliftin geçmişteki belirli bir zamandan günümüze kadar çalıştığı süreyi saat olarak, *ilk dönemlik bakım saati* ise forklift için toplam çalışılan saatten dönemlik (haftalık, aylık bakım vb.) ilk bakıma kadar geçen süreyi saat olarak ifade etmektedir.

n, k, l ve m için eğer (Toplam çalışılan saati < İlk dönemlik bakım saati) ise henüz ilk dönemlik bakım saati gelmemiş demektir ve bu nedenle bakımın önem katsayıları ($\alpha, \beta, \gamma, \theta$) "1" ile çarpılır.

Yukarıdaki güvenilirlik modelinde aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır:

- 50 saatlik çalışma haftalık bakıma, 250 saatlik çalışma aylık bakıma, 500 saatlik çalışma 3 aylık bakıma, 1000 saatlik çalışma 6 aylık bakıma eşittir.
- Farklı bakım dönemlerinde (haftalık, aylık gibi) farklı türdeki bakım faaliyetlerinin yapıldığı varsayılır.
- Dönemlik bakımlar (haftalık, aylık, 3 aylık vb.) için güvenilirlik durumu, bir sonraki döneme (haftalık, aylık, 3 aylık vb.) kadar hesaplanır.
- Bakımlar birbirinden bağımsızdır, daha önceki bakımların yapılmamış olması mevcut bakımı etkilemediği varsayılacaktır.
- Bir bakım türü için bakım süresi gelmedikçe veya bakım süresi gelmekle birlikte gecikme yaşanmadıkça güvenilirliğin tam (yani "1") olduğu varsayılır.
- Çalışma saatine bağlı olarak bir dönem içinde birden fazla bakım faaliyeti yapılabilir (örneğin haftada 100 saat çalışan bir forklifte bir hafta içinde 2 defa haftalık bakım yapılır).
- Kaza veya beklenmeyen arızalardan dolayı yapılan bakımlar bu modelde dikkate alınmaz.
- Güvenilirlik durumu 1 yıllık süre için ölçülür. Bu dönemin başında tüm bakımlar yapılmışsa güvenilirlik "1"dir.
- n , k , l ve m ondalıklı çıkarsa bir üst tam sayıya yuvarlanır.

Örnek olarak haftada 100 saat çalışan ve en son haftalık bakımı 605 saat önce yapılan ve o zamandan bugüne başka bakımı yapılmayan forkliftin güvenilirlik durumunu önerilen denkleme dayalı olarak inceleyelim. Örnekte, 605 saat önce tüm bakımların eksiksiz yapıldığı ve hesap başlangıcının 605 saat önce olduğu kabul edilecektir. Öncelikle bakım sayılarının hesaplanması gerekir. En son 605 saat önce haftalık bakım yapıldığına göre günümüzden 555 saat önce ilk haftalık bakım yapılmalıydı.



Şekil 4.1. Bakım örneğinin açıklanması.

Bakım sayıları (n, k, l, m) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$n = \frac{\text{Toplam çalışılan saat-İlk haftalık bakım saati}}{50} = \frac{605-50}{50} = 11,1 \approx 12 \text{ adet haftalık bakım}$$

$$k = \frac{\text{Toplam çalışılan saat-İlk aylık bakım saati}}{250} = \frac{605-250}{250} = 1,42 \approx 2 \text{ adet aylık bakım}$$

$$l = \frac{\text{Çalışılan saat} - \text{İlk 3 aylık bakım saati}}{500} = \frac{605 - 500}{500} = 0,21 \approx 1 \text{ adet 3 aylık bakım}$$

$$m = \frac{\text{Çalışılan saat-İlk 6 aylık bakım saati}}{1000}, 605 < 1000$$

olduğu için 6 aylık bakım henüz gelmemiştir. Yani 605 saat içinde 6 aylık bakım yapılmayacaktır.

Bakım Güvenilirlik Durumu =

$$0,1 \left(\frac{0}{50_1} + \dots + \frac{45_{12}}{50_{12}} \right) + 0,2 \left(\frac{0}{250_1} + \frac{145_2}{250_2} \right) + 0,3 \left(\frac{395_1}{500_1} \right) + 0,4(1) = 0,7025 = \%70,25$$

Önerilen bakım modeli için bir başka örnek ise şu şekildedir: Aynı forklift için 800 saat hiçbir bakım yapılmamışsa ve en son haftalık bakımın bugünden 800 saat önce yapılacağı varsayılsaydı forkliftin güvenilirlik durumunu inceleyelim. Haftalık çalışma süresi yine 100 saat kabul edilsin ve bütün bakımların sürelerinin haftalık bakımla aynı zamanda yapılacağı varsayılsın. Yukarıdaki ilk örnekten farklar, çalışma süresinin 800 saat olması ve bu örnekte ilk bakım için bekleyeme ihtiyaç duyulmamasıdır. Yani bugünden 800 saat önce bakım yapılmadıysa, bakım için gecikme başlamıştır. Öncelikle bakım sayılarının hesaplanması gerekir. İlk haftalık bakımın 800 saat önce yapılması gerektiğine göre toplam çalışma saati ile ilk dönemlik bakım saati arasındaki fark sıfırdır, yani ilk dönemlik bakım saati "0" dır.

$$n = \frac{\text{Toplam çalışılan saat-İlk haftalık bakım saati}}{50} = \frac{800-0}{50} = 16 \text{ adet haftalık bakım}$$

$$k = \frac{\text{Toplam çalışılan saat-İlk aylık bakım saati}}{250} = \frac{800-0}{250} = 3,2 \approx 4 \text{ adet aylık bakım}$$

$$l = \frac{\text{Çalışılan saat} - \text{İlk 3 aylık bakım saati}}{500} = \frac{800 - 0}{500} = 1,6 \approx 2 \text{ adet 3 aylık bakım}$$

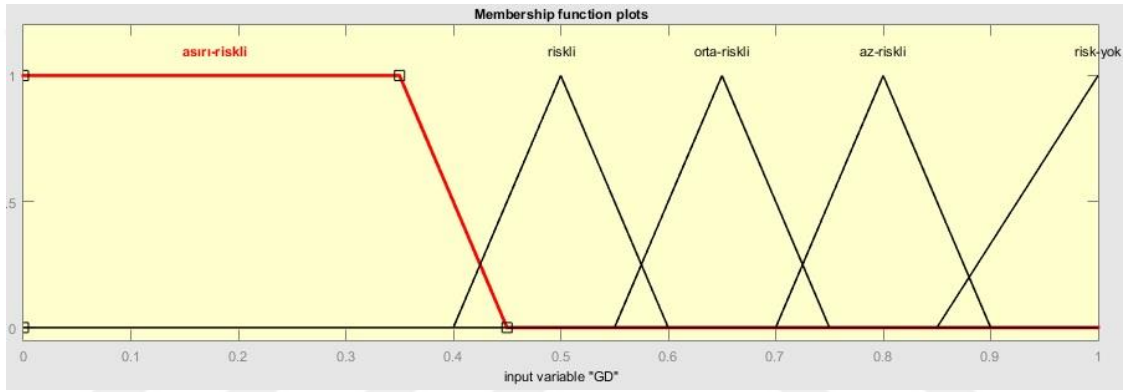
$$m = \frac{\text{Çalışılan saat-İlk 6 aylık bakım saati}}{1000}, 800 < 1000$$

olduğu için 6 aylık bakım henüz gelmemiştir. Yani 800 saat içinde 6 aylık bakım yapılmayacaktır.

Bakım Güvenilirlik Durumu =

$$0,1 \left(\frac{0}{50_1} + \dots + \frac{0}{50_{16}} \right) + 0,2 \left(\frac{0}{250_1} + \frac{0}{250_2} + \frac{0}{250_3} + \frac{200}{250_4} \right) + 0,3 \left(\frac{0}{500_1} + \frac{200}{500_2} \right) + 0,4(1) = 0,5 = \%50$$

Bakım güvenilirlik durumu (GD) için matematiksel model örneklerle açıklandıktan sonra, bu model aşağıdaki gibi bulanıklaştırılmıştır. Bulanıklaştırmada 5 dilsel değişken kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Matlab ile bakım güvenilirlik durumu (GD) için bulanıklaştırma.

Operatör durumu girdisi için aşağıdaki gibi bir model geliştirilmiştir. Bu model iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım forklift operatörlerinin periyodik eğitim durumunu, ikinci kısım ise operatörlerin hatalı hareketlerinden aşırı hız durumunu temsil etmektedir. İkinci kısım için stres, yorgunluk, dikkatsiz çalışma, dengesiz yükleme, kapasiteyi aşan yük yüklemek ve uygun olmayan dönüşler gibi kriterler de olmasına rağmen gerek bu kriterlerin tespitinin zor olması gerekse de aşırı hızın birçok kazanın nedeni olmasından dolayı sadece hız kriteri kullanılmıştır. Forklift kazalarının büyük çoğunluğuna yayaların karıştığı gerçeği hız faktörünün önemini altını çizmektedir. Ayrıca aşırı iş yükü ve aşırı stres hızlı forklift kullanım nedenlerinden biridir. İşletmede birden fazla forklift bulunması durumunda, tüm forkliftler için aynı operatör durumu girdisi kullanılır. Çünkü aşağıda verilen varsayım gereği operatörler tüm forkliftleri kullanabilirler. Ancak istenirse model, forklift kullanıcılarına özgü olarak güncellenebilir. Operatör durumu modeli için aşağıdaki varsayımlar kabul edilecektir:

- 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 17(3) Maddesi'nde belirtildiği gibi "Mesleki eğitim alma zorunluluğu bulunan tehlikeli ve çok tehlikeli sınıfta yer alan

işlerde, yapacağı işle ilgili mesleki eğitim aldığını belgeleyemeyenler çalıştırılmaz". Bu nedenle bu modelde operatörlerin eğitilmiş ve operatörlük belgesine sahip kişiler olduğu varsayılmaktadır. Bu konuda işletme gerekli önlemleri almalıdır.

- Modeldeki verilerin düzenli olarak tutulduğu veya toplanabildiği varsayılmıştır.
- Modelin ikinci kısmı için ilgili sensörlerin mevcut olduğu varsayılmıştır.
- Her operatörün istediği forklifti kullanabileceği varsayılmıştır.

$$\text{Operatör Güvenilirlik Durumu} = \underbrace{\varepsilon \left(\frac{x - (a + b)}{x} \right)}_{\text{Periyodik eğitim}} + \underbrace{\rho \left(\frac{t - g}{t} \right)}_{\text{Aşırı hız}}$$

Model ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir:

ε ve ρ : Önem katsayılarıdır. $\varepsilon + \rho = 1$ şartı aranır ve bu çalışmada $\varepsilon = 0,4$ ve $\rho = 0,6$ olarak kabul edilecektir.

x : Bir işletmede forklift operatörlük belgesine sahip çalışan sayısı

a : İşletmedeki forklift operatörlerinden daha önce hiç periyodik eğitim almamış çalışan sayısı

b : İşletmedeki forklift operatörlerinden daha önce periyodik eğitim almış ve yineleme eğitimi yapılmamış çalışan sayısı

t : Belirli bir dönemdeki toplam çalışma süresi (dakika veya saat)

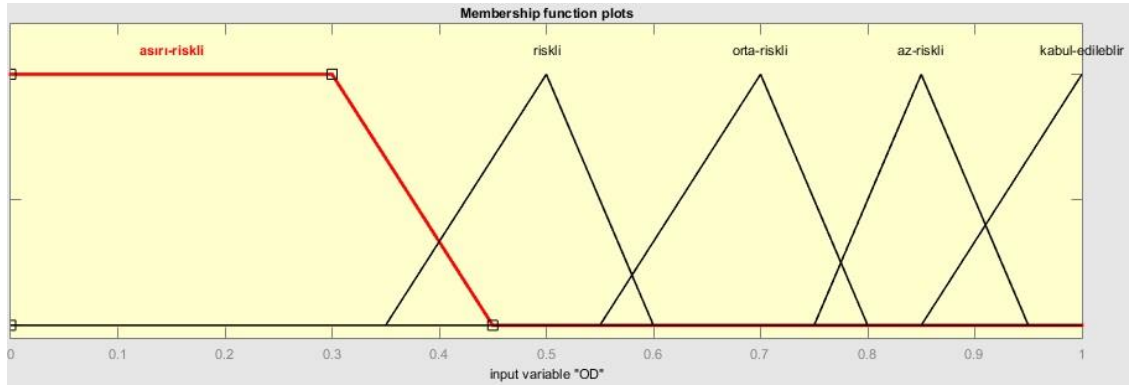
g : t saati içinde hız sınırı aşılın toplam süre (dakika veya saat)

Örneğin bir işletmede 10 kişi forklift operatörlük belgesine sahip olsun ve 2 tanesi geldiğinden beri hiç bir yineleme eğitimi almamış olsun, ayrıca daha önce eğitim almış 2 kişinin de yineleme eğitimi gecikmiş olsun. Mevcut 2 adet forklift, toplam 1000 saat çalışmış olsun ve toplam 200 saat hız sınırı aşılmış olsun. Bu durumda operatör durumunu inceleyelim. Bu örnek için operatörlerin periyodik eğitim durumuna 0,4, aşırı hız durumuna da 0,6 önem katsayısı atansın.

$$\text{Operatör Güvenilirlik Durumu} = 0,4 \left(\frac{10 - (2 + 2)}{10} \right) + 0,6 \left(\frac{1000 - 200}{1000} \right)$$

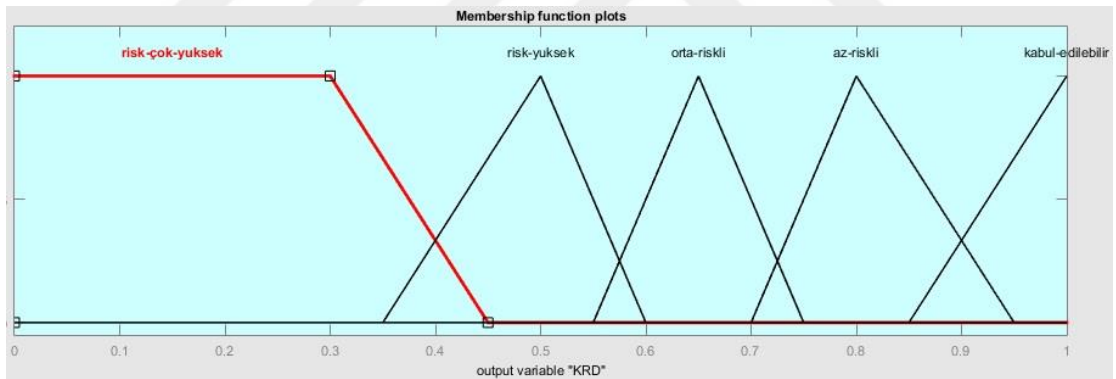
$$\text{Operatör Güvenilirlik Durumu} = 0,4 \times 0,6 + 0,6 \times 0,8 = 0,72 = \%72$$

Operatör güvenilirlik durumu (OD) aşağıdaki gibi bulanıklaştırılmıştır:



Şekil 4.3. Matlab ile operatör güvenilirlik durumu (OD) için bulanıklaştırma.

Önerilen sistemin girdileri bulanıklaştırıldıktan sonra, Mamdani metodu kullanılacağı için sistemin çıktısı olan kaza risk durumunun (KRD) da bulanıklaştırılması gerekmektedir. Önerilen sistemin çıktısı aşağıdaki gibi bulanıklaştırılmıştır.



Şekil 4.4. Kaza risk durumu (KRD) için bulanıklaştırma.

Önerilen sistem için kural tablosu aşağıdaki gibi tablodaki gibi oluşturulmuştur. Kuralların oluşturulmasında hem uzman görüşü hem de mevcut kazalar dikkate alınmıştır. Kuralların oluşturulmasında kısaltma amacı ile bakım güvenilirlik durumu "GD", operatör durumu "OD" ve kaza risk durumu "KRD" olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 4.9. Önerilen sistem için oluşturulan kural tablosu

| | Eğer Girdi 1 | Eğer Girdi 2 ise | O zamandır |
|-----------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Kural 1 | GD aşırı riskli ise | OD aşırı riskli ise | KRD çok yüksektir |
| Kural 2 | GD aşırı riskli ise | OD riskli ise | KRD yüksektir |
| Kural 3 | GD aşırı riskli ise | OD orta riskli ise | KRD yüksektir |
| Kural 4 | GD aşırı riskli ise | OD az riskli ise | KRD çok yüksektir |
| Kural 5 | GD aşırı riskli ise | OD kabul edilebilir riskli ise | KRD yüksektir |
| Kural 6 | GD riskli ise | OD aşırı riskli ise | KRD çok yüksektir |
| Kural 7 | GD riskli ise | OD riskli ise | KRD yüksektir |
| Kural 8 | GD riskli ise | OD orta riskli ise | KRD yüksektir |
| Kural 9 | GD riskli ise | OD az riskli ise | KRD orta risklidir |
| Kural 10 | GD riskli ise | OD kabul edilebilir riskli ise | KRD orta risklidir |
| Kural 11 | GD orta riskli ise | OD aşırı riskli ise | KRD yüksektir |
| Kural 12 | GD orta riskli ise | OD riskli ise | KRD yüksektir |
| Kural 13 | GD orta riskli ise | OD orta riskli ise | KRD orta risklidir |
| Kural 14 | GD orta riskli ise | OD az riskli ise | KRD orta risklidir |
| Kural 15 | GD orta riskli ise | OD kabul edilebilir riskli ise | KRD az risklidir |
| Kural 16 | GD az riskli ise | OD aşırı riskli ise | KRD yüksektir |
| Kural 17 | GD az riskli ise | OD riskli ise | KRD orta risklidir |
| Kural 18 | GD az riskli ise | OD az riskli ise | KRD kabul edilebilir risklidir |
| Kural 19 | GD az riskli ise | OD kabul edilebilir riskli ise | KRD kabul edilebilir risklidir |
| Kural 20 | GD az riskli ise | OD orta riskli ise | KRD orta risklidir |
| Kural 21 | GD risk yok ise | OD aşırı riskli ise | KRD yüksektir |
| Kural 22 | GD risk yok ise | OD riskli ise | KRD yüksektir |
| Kural 23 | GD risk yok ise | OD orta riskli ise | KRD az risklidir |
| Kural 24 | GD risk yok ise | OD az riskli ise | KRD kabul edilebilir risklidir |
| Kural 25 | GD risk yok ise | OD kabul edilebilir riskli ise | KRD kabul edilebilir risklidir |

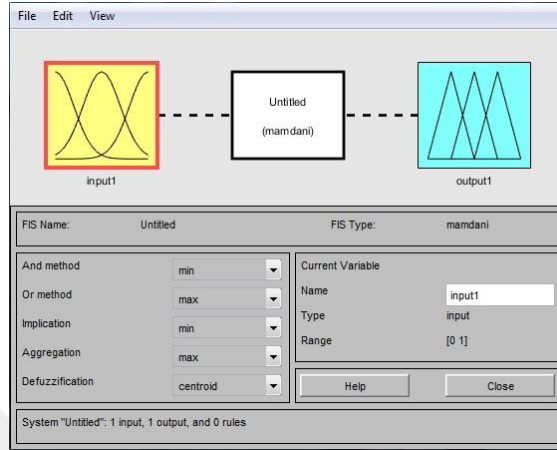
Önerilen sistemin Matlab'da kodlanması ve test edilmesi bir sonraki bölümde anlatılmıştır.

4.2. Önerilen sistemin testi

Bu bölümde, bu tez çalışmasında tespit edilen problemi çözmek için oluşturulan bulanık sistem test edilmiştir. Önerilen sistemin testi Matlab paket programı içinde bulunan fuzzy logic aracı ile yapılmıştır. Test sonucunda temel beklenti; forkliftlerden oluşan bir sistemin kazaya yol açmadan "kaza risk durumu yüksek" ve "kaza risk durumu çok yüksek" olarak sınıflandırılabilmesidir. Kaza risk durumunun "orta" olması ise potansiyel kazalarla ilgili ilk belirtilerin ortaya çıkmaya başladığını ifade edecektir. Bu sistemde, kazaların önceden tespit edilebilmesi için sistemi kullanan kullanıcıların önerilen sistem girdilerini elde edebilmesi gerekmektedir. Önerilen sistem, bu girdilerin elde edilebildiğini varsaymaktadır.

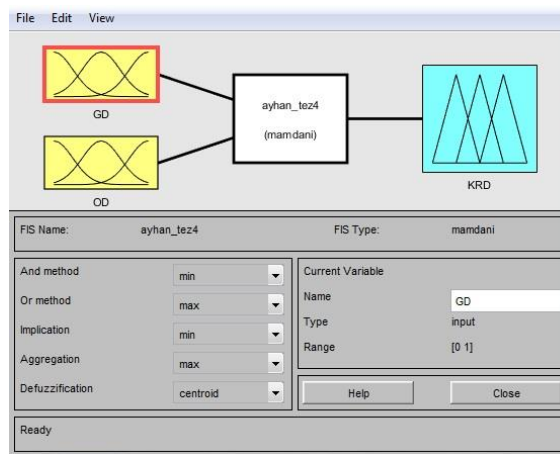
Matlab, bulanık mantık problemlerini çözmek için aşağıdaki gibi bir ara yüze sahiptir. Bulanık mantık hesaplamalarının yapılabilmesi için bu ara yüz üzerinden girdilerin, çıktılarının, bunların üyelik fonksiyonlarının ve uygulanacak metodun özelliklerinin tanıtılması gereklidir. Önerilen bulanık sistemde Mamdani metodu ve durulaştırmada ağırlık merkezi metodu

kullanılmıştır. İlgili Matlab girişleri aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibi yapılmıştır. Şekil 4.5'te Matlab programında girdi ve çıktılarının tanımlandığı kısmın ekran görüntüsü görülmektedir.



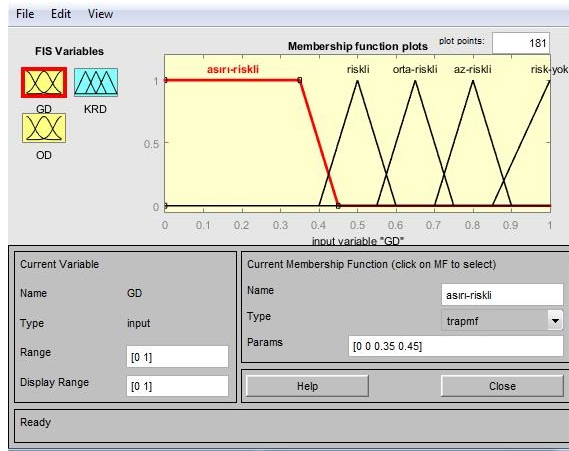
Şekil 4.5. Matlab fuzzy logic toolbox.

Şekil 4.6'da Matlab'da iki adet girdi ve bir adet çıktı üyelik fonksiyonunun tanımlandığı ekran görüntüsü görülmektedir.



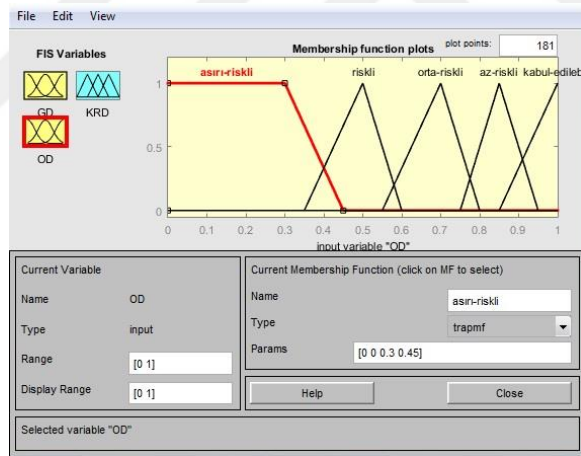
Şekil 4.6. Matlab'da önerilen sistemin girdi, çıktı ve metodunun tanımlanması.

Şekil 4.7'de bakım güvenilirlik durumu için tasarlanan üyelik fonksiyonunun Matlab'da tanımlanmasına ait ekran görüntüsü yer almaktadır.



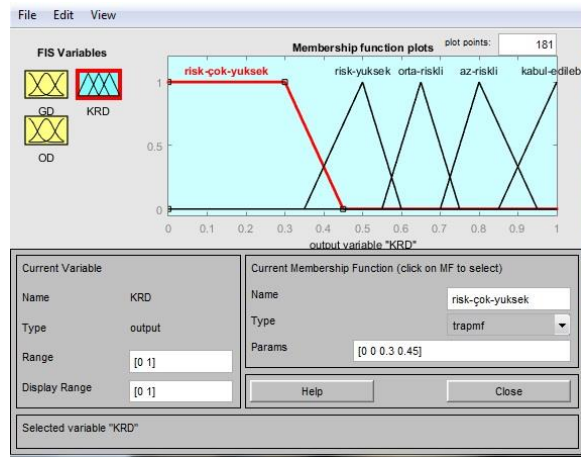
Şekil 4.7. Matlab'da bakım güvenilirlik durumu (GD) için üyelik fonksiyonunun tanımlanması.

Şekil 4.8'de operatör durumu için tasarlanan üyelik fonksiyonunun Matlab'da tanımlanmasına ait ekran görüntüsü yer almaktadır.



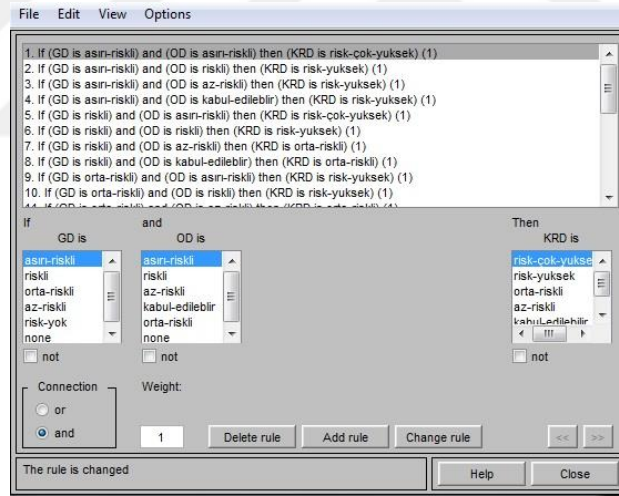
Şekil 4.8. Matlab'da operatör durumu (OD) için üyelik fonksiyonunun tanımlanması.

Şekil 4.9'da kaza risk durumu için tasarlanan üyelik fonksiyonunun Matlab'da tanımlanmasına ait ekran görüntüsü yer almaktadır.



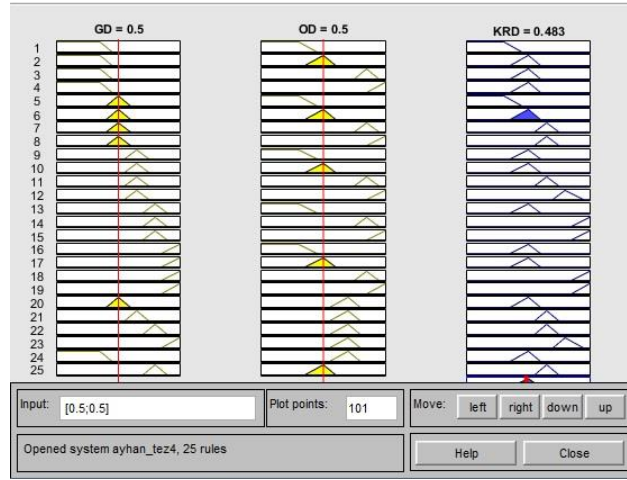
Şekil 4.9. Matlab'da kaza risk durumu (KRD) için üyelik fonksiyonunun tanımlanması.

Şekil 4.10'da önerilen sistem için Matlab programına girilen kuralların ekran görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.10. Matlab'da önerilen sistem için kuralların eklenmesi.

Şekil 4.11'de $GD=0,5$ ve $OD=0,5$ değerleri için Matlab programının elde ettiği sonuç değeri ve işlettiği kurallar görülmektedir.



Şekil 4.11. Matlab'da oluşturulan kuralların incelenmesi.

Önerilen sistemin Matlab girişleri yapıldıktan sonra sistemin nasıl çalıştığının ve tutarlı sonuçlar üretip üretmediğinin incelenmesi gereklidir. Mevcut kazaların önerilen bulanık metotla değerlendirilebilmesi için bu kazalara ait önerilen sistem girdilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Mevcut kazalarla ilgili detaylı istatistik bulunmaması nedeniyle geçmişe dönük olaylar için bir kaza değerlendirmesi yapılması (modelin geçmişteki olaylar için kaza riskini belirleyebilmesi) imkânsız gibi görünmektedir. Bu nedenle önerilen sistemin testi, gerçek hayatta sık karşılaşılan bir vaka örneği ile yapılacaktır.

Vaka örneği:

Bir işletmede iki forklift mevcut olsun. İlk forklift haftada 100 saat çalışsın ve en son haftalık bakımı 605 saat önce yapılmış olsun. Bu forkliftin 605 saat önce tüm bakımlarının eksiksiz yapıldığı ve o zamandan bugüne başka bir bakımının yapılmadığı bilinsin. İkinci forklift te haftada 100 saat çalışsın ve 800 saat hiçbir bakım yapılmamış olsun. İkinci forklift için en son haftalık bakımın bugünden 800 saat önce olduğu ve bütün bakımların bu haftalık bakımla aynı zamanda yapılması gerektiği varsayılınsın. Bu işletmede 3 tane de operatörlük belgesine sahip forklift operatörü çalışsın. Bunlardan biri işe yeni başladığı için daha önce bir işletme içi eğitim almamış olsun, bir diğeri yenileme eğitimi gelmesine rağmen eğitiminin yapılmadığı ve son operatörün de düzenli olarak yenileme eğitimlerinin yapıldığı düşünölsün. Bu işçilerden ilki 120 saat çalışmış olsun ve 20 saat hız sınırını aşmış olsun, ikinci işçi 200 saat çalışsın 35 saat hız sınırını aşmış olsun, üçüncü işçi 150 saat çalışsın ve bu süre içinde hız sınırını hiç aşmasın. Bu işletmedeki forkliftler için kaza durumu önerilen sistemle aşağıdaki gibi değerlendirilecektir. Önerilen bulanık sistemle vaka örneğinin testi aşağıda sunulmuştur:

Örnek sistemde iki forklift bulunduğu için her bir forkliftin kaza risk durumu ayrı ayrı değerlendirilecektir. Bu değerlendirmede her forklift için ayrı ayrı bakım güvenilirlik durumu (GD) hesaplanacak, daha sonra hesaplanan operatör durumu (OD) verisi her iki forklift için ortak olarak kullanılacaktır.

İlk forklift için hesaplamalar aşağıdaki gibidir:

İlk forklift için bakım güvenilirlik durumu (GD) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$n = \frac{\text{Toplam çalışılan saat-İlk haftalık bakım saati}}{50} = \frac{605-50}{50} = 11,1 \approx 12 \text{ adet haftalık bakım}$$

$$k = \frac{\text{Toplam çalışılan saat-İlk aylık bakım saati}}{250} = \frac{605-250}{250} = 1,42 \approx 2 \text{ adet aylık bakım}$$

$$l = \frac{\text{Çalışılan saat - İlk 3 aylık bakım saati}}{500} = \frac{605 - 500}{500} = 0,21 \approx 1 \text{ adet 3 aylık bakım}$$

$$m = \frac{\text{Çalışılan saat-İlk 6 aylık bakım saati}}{1000}, 605 < 1000$$

olduğu için 6 aylık bakım henüz gelmemiştir. Yani 605 saat içinde 6 aylık bakım yapılmayacaktır.

Bakım Güvenilirlik Durumu hesabı

$$0,1 \left(\frac{0}{50_1} + \dots + \frac{45_{12}}{50_{12}} \right) + 0,2 \left(\frac{0}{250_1} + \frac{145_2}{250_2} \right) + 0,3 \left(\frac{395_1}{500_1} \right) + 0,4(1) = 0,7025 = \%70,25$$

İlk forklift için operatör durumu (OD) verisi ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

Operatör Güvenilirlik Durumu =

$$0,4 \left(\frac{3 - (1 + 1)}{3} \right) + 0,6 \left(\frac{((120 + 200 + 150) - (25 + 35 + 0))}{120 + 200 + 150} \right) = 0,66$$

İkinci forklift için hesaplamalar aşağıdaki gibidir:

İkinci forklift için bakım güvenilirlik durumu (GD) verisi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$n = \frac{\text{Toplam çalışılan saat - İlk haftalık bakım saati}}{50} = \frac{800 - 0}{50} = 16 \text{ adet haftalık bakım}$$

$$k = \frac{\text{Toplam çalışılan saat - İlk aylık bakım saati}}{250} = \frac{800 - 0}{250} = 3,2 \approx 4 \text{ adet aylık bakım}$$

$$l = \frac{\text{Toplam çalışılan saat - İlk 3 aylık bakım saati}}{500} = \frac{800 - 0}{500} = 1,6 \text{ adet 3 aylık bakım}$$

$m = \frac{\text{Toplam çalışılan saat-İlk 6 aylık bakım saati}}{1000}$, 800<1000 olduğu için 6 aylık bakım henüz gelmemiştir.

Bakım Güvenilirlik Durumu =

$$0,1 \left(\frac{\frac{0}{50_1} + \dots + \frac{0}{50_{16}}}{16} \right) + 0,2 \left(\frac{\frac{0}{250_1} + \frac{0}{250_2} + \frac{0}{250_3} + \frac{200}{250_4}}{4} \right) + 0,3 \left(\frac{\frac{0}{500_1} + \frac{200}{500_2}}{2} \right) + 0,4(1) = 0,5 = \%50$$

İkinci forklift için operatör durumu (OD) verisi ise (ilk forklift ile aynı olarak) aşağıdaki gibi hesaplanır:

Operatör Güvenilirlik Durumu =

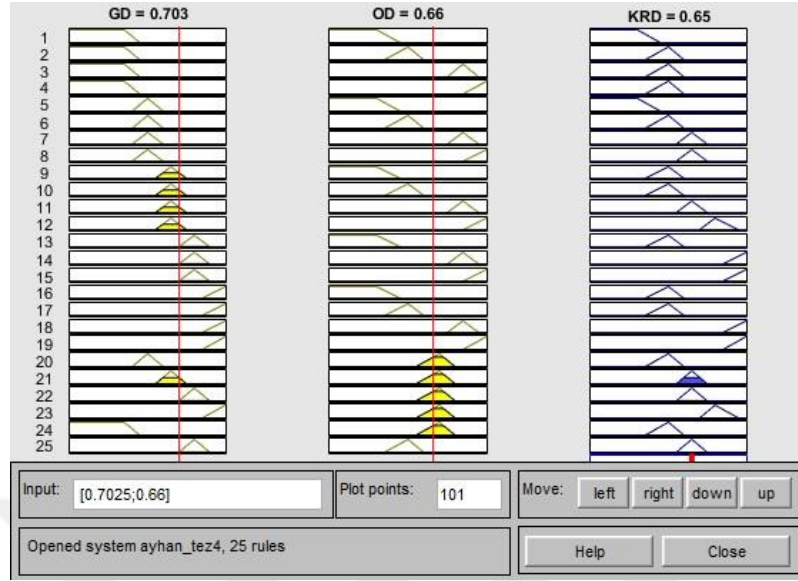
$$0,4 \left(\frac{3 - (1 + 1)}{3} \right) + 0,6 \left(\frac{((120 + 200 + 150) - (25 + 35 + 0))}{120 + 200 + 150} \right) = 0,66$$

Matlab ile forkliftlerin kaza risk durumlarının analizi için elde edilen girdiler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

İlk forklift için girdi değerleri: GD=0,7025 ve OD=0,66

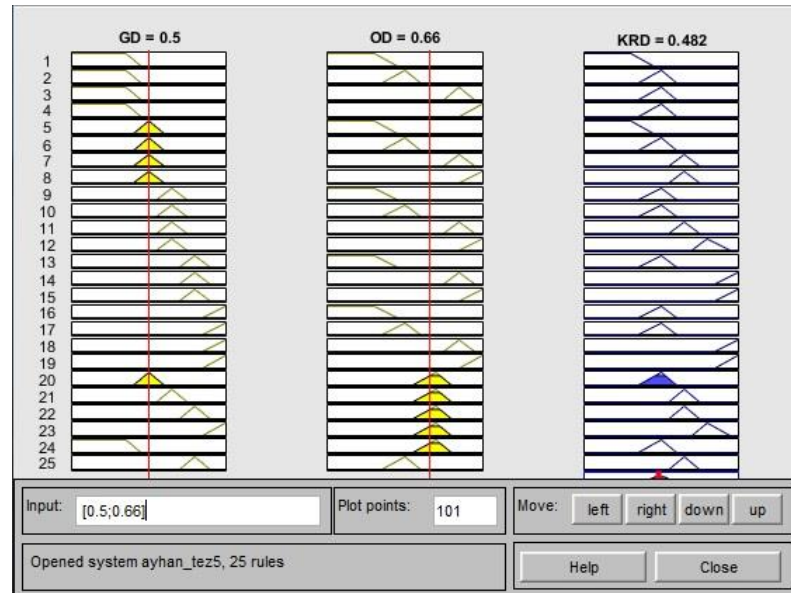
İkinci forklift için girdi değerleri: GD=0,50 ve OD=0,66

Önerilen bulanık sistem, ilk forklift için aşağıdaki şekildeki gibi bir çıktı üretmiştir. Kaza risk durumunun üyelik fonksiyonuna göre ilk forklift "orta seviye" bir risk durumuna sahiptir. Yani kaza riski için ilk belirtiler başlamıştır.



Şekil 4.12. Vaka örneğindeki ilk forklift için bulanık çıktı.

Önerilen bulanık sistem, ikinci forklift için aşağıdaki şekildeki gibi bir çıktı üretmiştir. Kaza risk durumunun üyelik fonksiyonuna göre ikinci forklift "riskli" bir risk durumuna sahiptir. Yani kaza riski için önemli belirtiler görülmektedir ve her an bir kaza olabilir. Bu nedenle acilen gerekli önlemler alınmalıdır.



Şekil 4.13. Vaka örneğindeki ikinci forklift için bulanık çıktı.

Verilen bu kapsamlı örneğe ek olarak önerilen sistemin farklı girdiler için verdiği tepkiler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Bu tablodaki sonuçlar incelendiğinde önerilen sistemin farklı girdiler için doğru tepkiler vererek kaza durumlarını doğru tahmin ettiği görülmüştür.

Çizelge 4.10. Çeşitli girdiler için sistemin tepkisi.

| Girdi (GD) | Girdi (OD) | Çıktı | Yorum |
|------------|------------|-------|-----------------------|
| 0,5 | 0,5 | 0,483 | Kaza riski yüksek |
| 0,2 | 0,4 | 0,289 | Kaza riski çok yüksek |
| 0,4 | 0,4 | 0,289 | Kaza riski çok yüksek |
| 0,9 | 0,4 | 0,479 | Kaza riski yüksek |
| 0,3 | 0,75 | 0,481 | Kaza riski yüksek |
| 0,1 | 0,7 | 0,483 | Kaza riski yüksek |
| 0,7 | 0,1 | 0,481 | Kaza riski yüksek |
| 0,5 | 0,9 | 0,650 | Kaza riski orta |
| 0,9 | 0,9 | 0,939 | Kabul edilebilir risk |
| 0,7 | 0,7 | 0,65 | Kaza riski orta |
| 0,0 | 0,7 | 0,483 | Kaza riski yüksek |
| 0,35 | 0,55 | 0,481 | Kaza riski yüksek |

Bu tez çalışmasında, önerilen sistemin gerçek hayat testi için hali hazırda veri bulunmadığından Türkiye’de faaliyet gösteren bir firmada daha önce yaşanmış forklift kazası incelenmiştir. Yaşanan kaza ile ilgili firmada görevli iş güvenliği uzmanından kazaya konu olan forklift ve operatör hakkında izin verilen miktarda bilgi alınmıştır. İlgili kazada, forklift operatörü forklifti kullanırken yasal hız sınırını aştığı için forklift yana devrilmiştir. Operatör emniyet kemeri takmamış ve kaza anındaki refleks ile devrilme yönünde forkliftten atlamış ve forkliftin altında kalarak ezilerek yaşamını yitirmiştir. Kazaya karışan operatör ve forklift ile ilgili bu çalışmada önerilen sisteme girdi olan veriler aşağıdaki gibidir:

- Forklift haftada 105 saat çalışmakta,
- Forkliftin kazanın yaşandığı ana kadar 315 saat bakım yapılmamıştır.
- Firmada operatörlük belgesi olan 10 kişi, forklift operatörü olarak görev yapmakta,
- Forklift operatörlerinden birincisi kazanın yaşandığı ay içinde 110 saat çalışmış ve bunun yaklaşık 40 saatinde hız sınırını aşmıştır, ikinci operatör de 115 saat çalışmış ve bunun yaklaşık 50 saatinde hız sınırını aşmıştır. Üçüncü operatör 110 saat çalışmış ve 55 saat hız sınırını aşmıştır, dördüncü operatör ise 75 saat çalışmış ve 20 saat hız sınırını aşarak çalışmıştır. Bu veriler iş güvenliği uzmanları ile görüşmelerden elde edilmiştir.

- İşi zamanında yetiştirme hız sınırını aşmanın temel nedeni olarak tespit edilmiştir
- Operatörlerin hepsi periyodik eğitimlerini tamamlamışlardır ancak 4 operatör yenileme eğitimi almamıştır

Toplanan veriler ışığında aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır:

- Periyodik eğitimleri almayan işçilerin sayısı= 0 kişidir.
- Yenileme eğitimi almayan işçilerin sayısı = 4 kişidir.
- Kazanın yaşandığı ay içerisinde operatörlerin toplam çalışma süresi= 410 saattir.
- Kazanın yaşandığı ay içerisinde operatörlerin toplam hız limitini aşma süresi= 165 saattir. Bu değerleri formülümüzde yerine yazarsak;

$$\text{Operatör Güvenilirlik Durumu} = 0,4 \left(\frac{10-(0+4)}{10} \right) + 0,6 \left(\frac{(410-165)}{410} \right)$$

$$\text{Operatör Güvenilirlik Durumu} = (0,4 \times 0,6) + (0,6 \times 0,6) = 0,6 = \%60$$

Kazaya konu olan forkliftin kaza anına kadar geriye dönük tüm bakımları 315 saat önce yapılmıştır. Forkliftin bakımları yapıldıktan sonra haftalık bakım için 50 aylık bakım 250 saat bakımlı olduğu ve güvenilir olduğu kabul edildiği için bu süreler bakım yapılmayan toplam süreden düşülür. Forklift 315-50= 265 saat yani yaklaşık 6 haftalık bakımı eksik olarak çalışmıştır. Aylık bakım için ise yine aynı şekilde 315-250= 65 saattir, buda yaklaşık 1 aylık bakım eksikliği demektir.

Bakım sayıları (n, k, l, m) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$n = \frac{\text{Toplam çalışılan saat-İlk haftalık bakım saati}}{50} = \frac{315-50}{50} = 5,3 \approx 6 \text{ adet haftalık bakım}$$

$$k = \frac{\text{Toplam çalışılan saat-İlk aylık bakım saati}}{250} = \frac{315-250}{250} = 0,26 \approx 1 \text{ adet aylık bakım}$$

315 saat çalışıldığı için 3 aylık ve 6 aylık bakım henüz gelmemiştir. Yani bu bakımlar yapılmayacağı için değeri 1 olarak alınacaktır. Elde edilen değerler yerine yazıldığında forkliftin bakım güvenlik durumu 0,86 olarak bulunur.

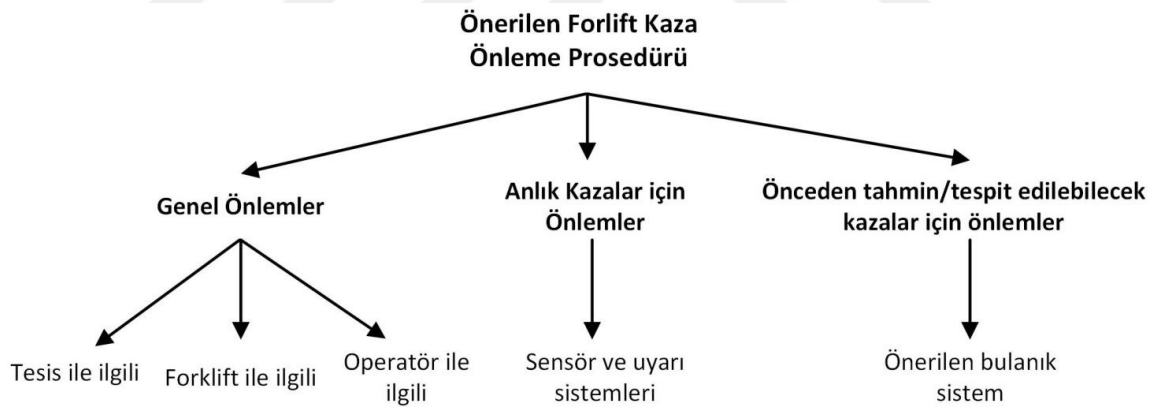
$$0,1 \left(\frac{0}{50_1} + \dots + \frac{35_6}{50_6} \right) + 0,2 \left(\frac{185_1}{250_1} \right) + 0,3(1) + 0,4(1) = 0,86 = \%86$$

Matlab ile forkliftin kaza risk durumunun analizi için elde edilen girdiler OD= 0,6 ve BD= 0,86'dır. Sistemin bu girdilerle ürettiği çıktı değeri 0,68 yani kaza riski değeri "orta"dır. Kaza riskinin "orta" çıkması kaza ihtimallerinin belirginleşmeye başladığını göstermektedir. Bu verinin ışığında işletmede önerilen sistem kullanılsaydı İSG uzmanı kazanın gerçekleşmemesi için gerekli tedbirleri alabilecekti.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde gerçekleşen forklift kazaları incelendiğinde kazaların daha çok; forklift bakımının yapılmamasından, operatör eğitimsizliğinden, operatör veya çalışan dikkatsizliğinden, tesisin forklift için yapılandırılmamasından ve forkliftin gerekli uyarı ekipmanına sahip olmamasından kaynakladığı görülmektedir. Günümüzde bu kaza nedenlerini ortadan kaldırmak için çeşitli sistemler ve yaklaşımlar geliştirilmektedir. Bu tez çalışmasında da bulanık mantık temelli bir yaklaşım ve bir kaza önleme prosedürü önerilmiştir.

Bu tez çalışmasında önerilen genel forklift kaza önleme prosedürü aşağıdaki şekilde gibidir. Bu prosedürün eksiksiz uygulanması ile; forklift bakımının yapılmamasından, operatör eğitimsizliğinden, operatör veya çalışan dikkatsizliğinden, tesisin forklift için yapılandırılmamasından ve forkliftin gerekli uyarı ekipmanına sahip olmamasından kaynaklanan kazaların önleneceği düşünülmektedir.



Şekil 5.1. Bu tez çalışmasında önerilen genel forklift kaza önleme prosedürü.

Bu tez çalışmasında önerilen prosedür üzerinde odaklanılan temel nokta, önceden tespit veya tahmin edilebilecek kazalardır. Bu amaçla, tahmin açısından uygun bir metot olan bulanık mantık metodu ile bir risk algılama sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem Matlab programı ile test edilmiş ve kazaların önceden tahmini için kabul edilebilir sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Bu tez çalışmasında, önerilen sistemin gerçek bir olayda test edilmesi için Türkiye’de faaliyet gösteren bir firmada daha önceden yaşanmış bir forklift kazasına ait veriler önerilen sisteme girilmiş ve sonuçta çıktı olarak “kaza riski orta” bulgusu elde edilmiştir. Bu çıktı bize

kaza olmadan önce forklift ile çalışma risklerinin artmaya başladığı, kaza belirtilerinin belirginleşmeye başladığını göstermektedir. Önerdiğimiz sistem işletme içinde uygulanmış olsaydı, elde etmiş olduğumuz veri ile kaza öncesi gerekli tedbirlerin alınması için yeterli zaman bulunabilecekti ve kaza önlenebilecekti.

Bu tez çalışmasında yapılan çalışma ileride bu konuda bir karar destek sistemi (KDS) tasarlanabilmesi için bir ön çalışma olarak kabul edilebilir. Bu tip bir karar destek sistemi için önerilen model ve sistem üzerinde aşağıdaki iyileştirme ve eklemeler yapılabilir:

- Forkliftlerin çalışma süresi ile operatör çalışma süresi arasında ilişki kurulabilir. Ayrıca işten ayrılan operatörlerin de etkisi dikkate alınabilir.
- İlave dilsel değişkenlerin eklenmesi ile sistemin yorumları daha hassas hale getirilebilir.
- İhtiyaçlara göre modelin girdi sayısı artırılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Bojadziev, G., Bojadziev, M. (1995). Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications. *World Scientific Publishing*.

Bureau of Labor Statistics, Fatal Workplace Injures in 1992, Report 870. (Erişim:06.09.2017)

Costa, N., Arezes, M. (2009). The influence of operator driving characteristics in whole-body vibration exposure from electrical fork-lift trucks. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39 (1) 34-38.

Çakar, E. (2014). İşçi sağlığı ve iş güvenliğinde günümüz gelişmelerine çok yönlü bir bakış, 55(655), 11-19.

Dadone, P. (2001). Design Optimization of Fuzzy Logic Systems. Doctor of Philosophy in Electrical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Dinler, G. (2000). *Forklift Bakım ve Kullanım El Kitabı*, Şişecam.

Eminov M., Ballı S., (2004). Karmaşık Problemler İçin Belirsizlik Altında Çok Kriterli Bulanık Karar Verme. Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği-XXIV Ulusal Kongresi, Gaziantep, Adana, Türkiye.

Ericson, C.A., II. (2005) *Hazard Analysis Techniques for System Safety (1)*, John Wiley&Sons, Inc., New Jersey.

ESİN, A. (2014). *İş Güvenliği Uzmanı El Kitabı 1. Cilt.* (Birinci Baskı). Ankara: ODTÜ Yayıncılık, 120.

Grecco, C. H. S., Vidal, M. C. R., Cosenza, C. A. N., Santos I. J. A. L., Carvalho, P. V. R. (2014). Safety culture assessment: A fuzzy model for improving safety performance in a radioactive installation. *Progress in Nuclear Energy* 70 (1) 71-83

Hao, Z., Xub, Z., Zhaoc, H., Su, Z. (2017). Probabilistic dual hesitant fuzzy set and its application in risk evaluation, *Knowledge-Based Systems* 127 (2017) 16–28.

Hester, R.E., Harrison, R.M. (1998). Risk Assessment and Risk Management, *Royal Society of Chemistry*.

Horberry, T., Larsson T. J., Johnston I., Lambert, J. (2004). Forklift safety, traffic engineering and intelligent transport systems: a case study. *Applied Ergonomics* 35 (6) 575-581.

Hornai, G., Kockázat és kockázatkezelés. (2001). Risk and Risk Management. A Magyar Villamos művek közleményei. 4(2001), 40-46.

Hoy, J., Mubarak, N., Nelson, S., Sweerts de Landas, M., Magnusson, M., Okunribido, O., Pope, M. (2005). Whole body vibration and posture as risk factors for low back pain among forklift truck drivers. *Journal of Sound and Vibration* 284(3-5) 933–946.

http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari, erişim tarihi 15.06.2017.

<http://www.sis.cypag.com>, (Erişim Tarihi: 16.06.2017)

<https://toyota-forklifts.eu/why-toyota/about-us/news-and-editorials/system-of-active-stability/>, (Erişim Tarihi: 17.06.2017)

https://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/forklift/accident.html, (Erişim Tarihi: 05.09.2017)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

<https://www.forklifttrainingsystems.com/Red-Zone-Danger-Area-Warning-Light>, (Erişim Tarihi: 05.09.207)

<https://www.osha.gov/SLTC/etools/pit/operations/maneuvering.html>, (ErişimTarihi:09.06.2017)

https://www.zone.ni.com/reference/en-XX/help/370401J-01/lvpidmain/fuzzy_controllers (Erişim Tarihi: 09.06.2017)

İşler, M. C. (2013). İş sağlığı ve güvenliği eğitimleri ile güvenlik kültürünün iş kazası ve meslek hastalıklarının önlenmesindeki etkisi, İş Müfettişi Yardımcılığı Etüdü, ÇSGB İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, Ankara.

Jang J-S.R., Sun C-T., Mizutani E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*, New Jersey, USA, Prentice Hall.

Kuruoğlu, Y., Akyıldız, B., Kuruoğlu, M. (2007, Ekim). Fiziksel Güce Dayalı Çalışan İnşaat İşçilerinin İş sağlığı ve Güvenliği kapsamında bulanık Mantıkla Risk Analizi. 4. İnşaat Yönetimi Kongresi, İstanbul.

Lifschultz, B.D., Donoghue, E.R. (1994). Deaths due to forklift truck accidents, *Forensic Science International* 65(2), 121-134.

Mamdani, E.H., (1974). Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant. *Proc. IEEE*, 121(12), 1585-1588.

Mamdani, E.H., Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13.

Manohar, M. (2005). A fuzzy logic approach to model and evaluate safety of workers in deconstruction projects, Yüksek Lisans Tezi, Ohio Üniversitesi.

Markowski, A.S., Mannan, M.S., Bigoszevska, A. (2009). Fuzzy logic for process safety analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22 (6) 695–702.

McNeill, D., Freiburger, P. (1994). *Fuzzy Logic Touchstone Book*.

Mendel, J. M. (1995). Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83(3).

Mullai, A. (2006). *Risk Management System, Risk Assessment Frameworks and Techniques*. DaGoP Publication, 114.

Munakata, T., Jani, Y. (1994). Fuzzy Systems: An Overview. *Communications of the ACM*, 37(3), 69-76.

Naieni, Gh. R. J., Makui, A., Ghousi, R. (2012). An Approach for Accident Forecasting Using Fuzzy Logic Rules: A Case Mining of Lift Truck Accident Forecasting in One of the Iranian Car Manufacturers. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research* 23(1), 53-64

National Safety Council, (2003). Course material for Principles of Occupational Safety and Health. Itasca.

Özkılıç, Ö. (2005). *İş Sağlığı Ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri Ve Risk Değerlendirme Metodolojileri*. Ankara: Türkiye İşveren Sendikaları Yayını.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Patyra, M.J., Mlynek, D.J. (1996). *Fuzzy Logic: Implementation and Applications*, John Wiley & Sons.
- Pinto, A., Ribeiro, R. A., Nunes, I. L. (2012). Fuzzy approach for reducing subjectivity in estimating occupational accident severity. *Accident Analysis and Prevention* 45 281- 290.
- Rechnitzer, G., Larsson, T.J. (1992). Forklift Trucks And Severe Injuries: Priorities For Prevention. *Safety Science*, 17(4) 275-289.
- Rislund, C., Hemphälä, H., Hansson, G., Balogh, I. (2013). Evaluation of three principles for forklift steering: Effects on physical workload. *International Journal of Industrial Ergonomics* 43 (4) 249-256.
- Rivero, L.C., Rodríguez, R.G., Pérez, Ma.R., Mar, C., Juárez, Z. (2015). *Fuzzy logic and RULA method for assessing the risk of working*, *Procedia Manufacturing*, 3 (2015) 4816-4822.
- Ross, T.J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, John Wiley & Sons Ltd., Singapore.
- Saade, J.J., Diab, H.B. (2004). Defuzzification Methods and New Techniques for Fuzzy Controllers, *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 3(2).
- Saric, S., Bab-Hadiashar, R., Hocking, I. (2013). Analysis of forklift accident trends within Victorian industry (Australia). *Safety Science* 60(Aralık) 176–184.
- Seber, V. (2012). İşçi Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Analizleri Nasıl Yapılır?, *Elektrik Mühendisliği*, 445(Ekim), 30-34.
- Shabgard, M.R., Badamchizadeh, M.A., Ranjbary, G., Amini, K. (2013). Fuzzy approach to select machining parameters in electrical discharge machining (EDM) and ultrasonic-assisted EDM processes, *Journal of Manufacturing Systems* 32(1), 32–39.
- Solman, K. N. (2002). Analysis of interaction quality in human–machine systems: applications for forklifts. *Applied Ergonomics* 33 (2) 155 -166.
- Urbina, S. G., Aoyama, A. (2017). Measuring the benefit of investing in pipeline safety using fuzzy risk assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 45 (Ocak) 116-132.
- Ünsal, S., Alışkan, İ. (2016). Mamdani ve Takagi-Sugeno Çıkarım Yöntemlerine Sahip Bulanık Mantık Denetleyicilerin Özgün Yazılım ve Araç Kutusu Performans Analizi. *ELECO*, 237-241.
- Vasvári, T. (2015). Risk, Risk Perception, Risk Management—a Review of the Literature, *Public Finance Quarterly*, 1, 2015, 29-48.
- Wulan, M., Petrovic, D. (2012). *A fuzzy logic based system for risk analysis and evaluation within enterprise collaborations*. *Computers in Industry* 63 (8) 739-748.
- Yılmaz, C.(2007). Profibus-Dp Ağ Tabanlı Bina Otomasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.