
MAKİNE TABANLI DİNAMİK RİSK ANALİZİ İÇİN BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ GELİŞTİRME

Selçuk ÇEBİ¹, Hakan TEMİZOĞLU²

Öz

Her işletme için hem kanuni hem de vicdani gereklilik olan risk değerlendirmesi, risk analizi ve risk kontrol aşamalarının bir birleşimi olarak her çalışma ortamında uygulanmak zorunda olan bir süreçtir. Risk analizi, tehlikelerin tanımlandığı ve risk büyüklüğünün tahmin edildiği aşama iken risk kontrolü, risk azaltma için tedbirlerin ya da önlemlerin planlandığı ve hedefe ulaşma düzeyinin izlendiği aşamadır. Risk değerlendirme sürecinin her aşaması uzman bilgisi ve bakış açısı gerektirir ve risklerin yönetimi açısından her adım eş öneme sahiptir. *İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği (29.12.2012 Resmi Gazete Sayısı: 28512)*, risk değerlendirme çalışmalarının yenilenmesi için hem zaman bazlı hem de durum bazlı tanımlamalar yapmıştır. Ancak işletme içerisinde birbiriyle ilişkili ve iç içe yürütülen faaliyetlerin büyük bir kısmının günümüzde insana bağlı olarak yürütülmesi üretim süreçlerinde insan hatasına bağlı olarak iş güvenliği önlemlerinde açık kapı oluşturmaktadır. Bu nedenle risk değerlendirme çalışmalarına çalışan katılımı artırılarak risk analizlerin dinamik olarak yenilenmesi ve sistemdeki güvenlik açıklarına karşı anlık önlemlerin önerilmesi gerekir. Diğer bir ifadeyle, risk değerlendirme sürecinin dinamik bir yapıda yönetilmesi gerekir. Bunun için işletmelerde dinamik risk analizi karar destek sistemlerinin kuruluyor ve işletiliyor olması gerekir. Bu çalışmanın ana amacı işletmelerde kurulacak dinamik risk analizi karar destek sistemi için bir algoritma önermektir. Böylece işletme içerisindeki risk analizleri anlık olarak yenilenebilecek ve güvenlik açıklarına karşı anında eylemler planlanabilmektedir. Bu yapı Endüstri 4.0 için nitelikli bir alt yapı oluşturacak ve ileride sisteme entegre edilecek algılayıcılar ve eyleyiciler yardımıyla geliştirilecek sistem, uzman müdahalesi minimuma indirerek ve çalışma ortamıyla sürekli haberleşerek çalışma ortamının iş güvenliğini sürekli olarak sağlamış olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Risk değerlendirme, Risk analizi, Dinamik risk analizi, Karar destek sistemi, Endüstri 4.0
JEL Kodları: C02, C61, D81

DEVELOPING A MACHINE BASED DYNAMIC RISK ANALYSIS DECISION SUPPORT SYSTEM

Abstract

Risk assessment, which is both a legal and a conscientious requirement for every business, consists of risk analysis and risk control phases and it is a process that must be implemented for each work environment. Risk analysis is the phase that includes hazard identification and risk estimation while risk evaluation is the phase that involves planning judgments on protective measures for risk reduction and observing whether the risk reduction objectives have been achieved. Each step of the risk assessment requires expertise knowledge and perspective. *The Regulation on Risk Assessment of Occupational Health and Safety (Official Gazette No. 28512, December 29, 2012)* made both time-based and case-based definitions for the renewal of risk assessment studies. However, dependency of related or interrelated activities on human factor causes safety vulnerability because of human errors. Therefore, it is required to develop a dynamic risk assessment by increasing contribution of employee and proposing dynamic protective measures for safety vulnerabilities in the system. In another words, it is required to manage risk assessment process in a dynamic structure. For this, business should set and utilize dynamic risk assessment decision support system. The main objective of this study is to present an algorithm for dynamic risk assessment decision support system. Hence, risk analysis in the work environment can be done simultaneously and protective measures can be planned and implemented at the same time. This structure will provide a basic for Industry 4.0 in terms of occupational safety and the system developed by integrating sensors and actuators provide occupational safety at work environment by minimizing requirements to human expertise and communicating with work environment continuously.

Keywords: Risk assessment: Risk analysis, Dynamic risk analysis, Decision support system, Industry 4.0
JEL Classification: C02, C61, D81

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yıldız, Beşiktaş, İstanbul; scebi@yildiz.edu.tr; ORCID ID:0000-0001-9318-1135

² Intranet Bilgi Sistemleri Ltd Şti, Sahrayıcedit 34734 Kadıköy İstanbul; ORCID ID: 0000-0002-7083-5682

1.Giriş

Hammaddeden nihai ürün elde edilinceye kadar üretim sürecinde ürüne yönelik doğrudan ya da dolaylı olarak katma değer yaratan birçok faaliyet gerçekleştirilmektedir. Hammaddeden ürün elde edilinceye kadar ürüne uygulanan şekil verme işlemleri gibi faaliyetler doğrudan değer yaratan faaliyetler olarak gruplanacağı gibi üretim planlama, kalite planlama, pazar analizleri ve iş güvenliği gibi ürünün üretilmesinde dolaylı katkı sağlayan ve üretim faaliyetlerinin sürdürülmesi için gerekli olan yardımcı faaliyetlerdir. Özellikle iş güvenliği uygulamalarının yetersizliği hem ürün kalitesini hem de marka imajını olumsuz etkilediği için iş güvenliği süreçleri üretim ortamında titiz ve yüksek bir disiplinle uygulanması gereken faaliyetlerdir. Üretim ortamında gerçekleşecek olası bir kaza, üretimi aksatmaktan belirsiz süre işletme faaliyetlerini durdurmaya kadar farklılaşan olumsuz etkileri içerir. Çalışma ortamında yaşanacak bir iş kazası, üretimin aksamasından kaynaklanan maliyetlerin yanında tazminat ve hukuki yaptırımlar gibi çeşitli maliyetlerin de doğmasına neden olur. Hepsinden önemlisi, çalışanın yaptığı faaliyetten ötürü bir bedel ödemiş olması (uzun süreli iş görmezlik uzuv kaybı, ölüm v.b.) en büyük vicdani yükümlülüktür. Bu nedenle, çalışma ortamında yürütülen iş sağlığı ve güvenliği (İSG) faaliyetleri, üretimin önemli bir bileşeni olup titizlikle yürütülmesi gerekmektedir.

Ülkemizde İSG uygulamalarına yönelik kanun, en kapsamlı bir biçimde ilk kez 30 Haziran 2012 yılında çıkarılmış ve 2013 yılı Ocak ayı itibariyle tüm işletmeler için zorunlu olarak uygulanmaya başlanmıştır. İSG kanunu işletmeler için çeşitli uygulamaları beraberinde getirirken en önemli uygulaması risk analizleridir. Kanun, çalışma ortamındaki işletmenin riskli unsurlarının ortaya konulmasında ve önleyici tedbirlerin planlamasında pro-aktif bir yaklaşım olarak risk analizinin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. İyi planlanan bir risk analizi, işletmede ortaya çıkabilecek olumsuz durumların önceden tespit edilmesini ve kazaların oluşmadan önlenmesini sağlar. Risk analizi çalışmasının etkin bir biçimde yürütülmesinde çalışan katılımı ve risk değerlendirme çalışmasının ekip olarak yapılması oldukça önemlidir. Kanunun ülkemizde uygulamaya alınmasının üzerinden 6 yılı aşkın bir süre geçmiş olmasına rağmen işletmelerde yürütülen İSG uygulamalarının hala istenen düzeye ve profesyonelliğe ulaştığını söylemek zordur. İSG çalışmalarının istenen düzeyde olmamasının temel nedenlerinden biri İSG ekiplerinin tecrübeleri işletmeden işletmeye farklılık göstermektedir ve hala birçok işletmede çalışmalar kâğıt formlar üzerinden yürütülmektedir. Kâğıt formların kullanılması geçmişe yönelik analizlerin yapılmasını olumsuz etkilerken ekiplerin uzmanlık derecelerinin değişken olması risk değerlendirmesinde değişkenliklerin oluşmasına ve risklerin işletmeler tarafından yeterli hassasiyette öngörülememesine neden olmaktadır. Bir diğer ifadeyle, işletmelerde yaşanan benzer riskler ekip tecrübesine bağlı olarak farklı değerlendirilmektedir. Bir diğer sorun ise; risk değerlendirme çalışmalarına çalışanların yeterli katılımının sağlanamaması nedeniyle risk analizleri etkin olarak işletmelerde yürütülememektedir.

İSG çalışmalarının kâğıt formlarda kalmasını önlemek ve İSG süreçlerinde oluşan dokümanların takibi amacıyla günümüzde İSG yönetim yazılımları hızla yaygınlaşmaktadır. Tüm işletmelerde yürütülen faaliyetlerin takibi için Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı da veri toplamayı kolaylaştırmak ve mevcut verilerin anlamlandırılması amacıyla İş Sağlığı ve Güvenliği Bilgi Yönetim Sistemi geliştirmiştir. Bakanlık, tüm işletmeleri bakanlık sistemiyle uyumlu bir İSG yazılımı kullanmaya zorunlu hale getirmiştir. İSG hizmetini ortak sağlık ve güvenlik birimlerinden (OSGB) ya da Toplum Sağlığı Merkezi Birimi'nden alan işletmeler kapsam dışında tutulmuştur (URL 1). Bakanlığın işletmelerden kullanmasını beklediği yazılımlar temel düzeyde verilerin bakanlık tarafına aktarılmasını sağlayacak nitelikte olan yazılımlar olduğu anlaşılmaktadır. Oysa işletmeler hem Bakanlık beklentilerini karşılayabilecek hem de dinamik risk analizi, kök neden analizi, kaza maliyet analizi gibi çeşitli analizleri yapabilecekleri programları kullanarak işletmelerindeki İSG çalışmalarının performanslarını izleyebilirler.

Yukarıda tanımlanan sorunların üstesinden gelebilmek amacıyla sürecin anlık olarak izlenebildiği, risk değerlendirme çalışmalarına çalışan katılımı arttırılarak risk analizlerin dinamik olarak yenilendiği ve sistemdeki güvenlik açıklarına karşı anlık tedbirlerin önerildiği bir karar destek

sisteminin geliştirilmesi gerekir (Acuner ve Çebi, 2016; Çebi ve diğ., 2017). Bu çalışmanın ana amacı işletmelerde kurulacak dinamik risk analizi karar destek sistemi için bir algoritma önermektir. Önerilen sistem risk analizleri için kontrol listesi oluşturulması ve elektronik ortamda hızlıca 1-0 yapısında doldurulacak form girdilerinden risk derecelerinin elde edilmesine dayanmaktadır. 1-0 yapısında girdi değerinden risk derecesinin elde edilmesi aşamasında bulanık çıkarım mekanizmasından faydalanılacaktır.

Çalışmanın organizasyonu şu şekildedir; Bölüm 2, risk analizi için literatüre önerilmiş yenilikçi yaklaşımları içeren akademik çalışmaları özetlemektedir. Bölüm 3’de çalışmada önerilen sistemin yapısı ve Bölüm 4’de ise geliştirilen Karar Destek Sisteminin işleyişi sunulmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar ise Bölüm 5’de verilmektedir.

2. Literatür Özeti

Risk değerlendirmesine yönelik yenilikçi çalışmalar literatürde giderek artmaktadır. Bunlardan biri Paltrinieri ve diğ. (2019) tarafından çalışmalarında sundukları makine öğrenmesine dayanan bir risk değerlendirme yaklaşımıdır. Literatüre özellikle kimya endüstrisine yönelik dinamik risk analizi için çeşitli çalışmalar sunulmuştur (Paltrinieri ve diğ. 2014; Paltrinieri ve diğ. 2015; Paltrinieri ve Reniers, 2017). Khakzad (2015) ve Khakzad ve diğ., (2013; 2014) çalışmalarında kimya endüstrisinde dinamik risk değerlendirme için Bayesian Networks yöntemini uygulamıştır. Nivolianitou ve diğ., (2004), Nývlt ve diğ., (2015), Nývlt and Rausand, (2012), Zhou ve diğ., (2017), Zhou ve Reniers, (2016a, 2016b, 2017) çalışmalarında dinamik risk analizi için petri ağlarını kullanmıştır. Durga Rao ve diğ. (209), Noh ve diğ. (2014) ve Targoutzidis (2012) çalışmalarında dinamik risk analizi için Monte Carlo Benzetimi yöntemini kullanmışlardır. Literatürde son zamanlarda dinamik risk analizi için araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmaya başlanan bir diğer yöntem de bulanık çıkarım mekanizmasıdır. İlbahar ve diğ. (2018) ve Karasan ve diğ.(2018) Pisagor Bulanık AHP ve Bulanık Çıkarım mekanizmasını inşaat şantiyelerindeki risklerin analizinde kullanmışlardır. Yine Çebi ve İlbahar (2018a) aralık değerleri sezgisel bulanık AHP yöntemini depo yönetim sistemlerindeki riskler için kullanmıştır. Çebi ve diğ. (2017) ve Acuner ve Çebi (2016) tersanelere yönelik risk analizi için bulanık çıkarım mekanizması yöntemini kullanmışlardır. Yine tersanelerde yaşanan risklerin analizi için Çebi ve İlbahar (2018b) tarafından bulanık pabyon yöntemi önerilmiştir. Gül ve diğ. (2019) maden ocaklarında risk analizi için Pisagor Bulanık Küme ve VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemlerini kullanmışlardır. Topuz ve van Gestel (2016), hem AHP hem de bulanık çıkarım mekanizması yöntemlerini risk analizi için çalışmalarında kullanmışlardır. Rodriguez ve diğ. (2016), çalışmalarında bulanık AHP ve bulanık çıkarım mekanizmasını içeren yeni bir risk değerlendirme yöntemi geliştirmişlerdir. Bulanık çıkarım, risk faktörü gruplarının entegrasyonu için kullanılırken elde edilen faktörler bulanık AHP yönteminde değerlendirme kriteri olarak kullanılmıştır. Nieto-Morote ve Ruz-Vila (2011), inşaat projesi risk değerlendirmesi için bulanık AHP ve bulanık çıkarım yöntemini kullanmışlardır. Yang ve diğ. (2011) açık deniz petrol ve gaz operasyonlarında çevresel sorunlara öncelik vermek için bulanık AHP ve bulanık çıkarım yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Abdelgawad ve Fayek (2010) risk analizi için bulanık çıkarım mekanizması, hata türü ve etkileri analizi yöntemlerini kullanmışlardır. Yine risk değerlendirmesi için araştırmacılar tarafından kullanılan bir diğer yöntem de yapay sinir ağları (YSA) tekniğidir. Sarbayev ve diğ. (2019) risk analizi için yapay sinir ağları ve hata ağacı analizi tekniklerini birlikte kullanmıştır.

Literatürde yayımlanan çalışmalar, son yıllarda yenilikçi risk analiz tekniklerinin kullanımının giderek yaygınlaştığını göstermektedir. Çalışmalar arasında yalnızca Çebi ve diğ. (2017) risk analizi için bir karar destek sistemi önerisinde bulunmuştur. Ancak önerilen çalışma yalnızca tersanelerle sınırlı ve yalnızca İSG uzmanlarına yönelik karar destek hizmeti veren bir çalışmadır. Literatürden farklı olarak ilk kez bu çalışma kapsamında dinamik risk analizi için üretim yapan işletmelere yönelik interaktif bir karar destek sistemi önerisinde bulunulmuştur.

3. Yöntem

Üretim yapan işletmelerde gerçekleştirilen risk analizinin dinamik bir yapıda gerçekleştirilmesi amacıyla bu çalışma kapsamında bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Karar destek sisteminin çalışma prensibine ilişkin şematik gösterim Şekil 1’de verilmiştir. Geliştirilen karar destek sisteminde, üretim ortamında bulunan tüm makine/tezgâh ve ekipman ilgili makine/tezgâh ya da ekipmandan sorumlu çalışana zimmetlenir. Çalışan makine/tezgâh ya da ekipmanı çalıştırmadan önce bir kiosk ya da makineye bağlı bir ekran üzerinden tezgahla alakalı kontrol sorularını EVET/HAYIR biçiminde cevaplandırır. Yanıtlar buluta aktarılır ve sistem tarafından işlenir. Sistem, operatörün cevaplarına ve arka planda çalışan bulanık çıkarım mekanizmasına bağlı olarak (varsa) riskli unsurları tespit eder ve *Operatöre Çalış*, *Kontrollü Çalış* ya da *ÇalışMA* cevabından uygun olanı döndürür. Sistem ilgili üretim ortamından sorumlu iş sağlığı güvenliği uzmanına riskli unsurun tanımını, riskin büyüklüğünü ve olası alınması gereken kontrol tedbirini eş zamanlı olarak iletir. Operatöre *Çalış* komutunun döndürülmesi, sistemde herhangi bir sorunun olmadığını göstermektedir. *Kontrollü Çalış* komutunun operatöre iletilmesi ise kullanılan tezgâhta bir takım eksik ya da eksikliklerin olduğunu ancak bu durumun üretimin durdurulmasını gerektirecek kadar yüksek risk taşımadığı anlamına gelir. Aynı hata kodu iş sağlığı güvenliği uzmanına iletiğinden eş zamanlı olarak operatör çalışmasına devam ederken uzman tarafından tezgâhtaki eksiklik giderilmeye çalışılır. *ÇalışMA* komutu ise üretimin durdurulması ve operatörün çalışma yapmaması gerektiği durumu bildirmektedir. Aynı hata kodunu alan iş güvenliği uzmanı, derhal acil önlem planı hazırlamalı ve tezgâhi çalışır duruma uygun koşullara getirmesi gerekir.

Şekil 1: Geliştirilen karar destek sisteminin çalışma prensibi



Geliştirilen karar destek sistemi, bilgi tabanı, kural tabanı, çıkarım mekanizması ve kullanıcı arayüzü olmak üzere dört temel bileşenden oluşup sisteminin temel bileşenleri Şekil 2’de verilmiştir. Çıkarım mekanizması için çalışmada bulunak çıkarım mekanizması kullanılmıştır. Daha önce bulanık kural tabanlı risk analizi yöntemi Acuner ve Çebi (2016) tarafından tersaneler için önerilmiş ve Çebi ve diğ. (2017) tersanelere yönelik bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Daha önceki çalışmalarda geliştirilen sistemler, tersanelere yönelik faaliyetlerde İş Sağlığı Güvenliği uzmanı tarafından kullanılan ve sadece iş sağlığı güvenliği uzmanına karar destek hizmeti sunan sınırlı yapıda sistemlerdir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen karar destek sistemi ise daha öncekilerden farklı olarak hem iş sağlığı güvenliği yönetim sistemini içinde barındıran hem de çalışan katılımı temelli risk analizinde iş sağlığı güvenliği uzmanlarına ve yöneticilerine karar destek hizmeti sunan interaktif bir çalışmadır.

Şekil 2. Dinamik risk analiz modülü şematik gösterim



3.1. Bilgi Tabanı

Sistemin bilgi tabanında tehlike kaynaklarını oluşturan makine/tezgâh ya da ekipman bilgisi, risk havuzu, olası risklere karşı alınması gereken kontrol tedbirleri ve her bir makine/tezgâh ya da ekipmana ilişkin kontrol listelerini içeren soru havuzu bulunmaktadır. Bilgi tabanında yer alan bilgiler saha ziyaretleri, danışman önerileri ve literatür araştırması sonucunda derlenen verilerdir. Bu kapsamda incelenen dokümanlar şunlardır;

- Risk Değerlendirme Yönetmeliği
- Makina Emniyeti Yönetmeliği
- İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
- Güvenlik ve Sağlık İşaretleri Yönetmeliği
- OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği
- TS EN ISO 12100 Makinalarda güvenlik- Tasarım için genel prensipler - Riskin değerlendirilmesi ve azaltılması (ISO 12100:2010)
- İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
- ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Standardı
- EN ISO 13857 Kol ve Bacakların Ulaşabileceği Bölgelerde Tehlikenin Önlenmesi İçin Emniyet Mesafeleri
- EN ISO 13855 Vücut Kısımlarının Yaklaşım Hızına Göre Koruyucu Teçhizatın Yerleştirilmesi
- EN ISO 13850 Acil Durumlarda Durdurma Teçhizatı
- EN 1088 Korumalara Takılan Kilitleme Cihazları
- EN 692 Makine Araçları – Mekanik Presler – Emniyet
- EN 13849-1 Kumanda Sistemlerinin Emniyetle İlgili Kısımları
- EN 60204-1 Makinelerin Elektrikli Teçhizatı
- EN 953 Sabit ve Hareketli Korumalara İlişkin Tasarım Prensipleri
- EN ISO 13851Çift-el Kumanda Tertibatları – Fonksiyonel Özellikler – Tasarım Prensipleri
- Makinelere Ait Üretici Firma Ürün Katalogları
- İşletmelere yapılan saha ziyaretleri ve operatör görüşmeleri

Çalışma kapsamında endüstride sıklıkla kullanılan ve kazaya neden olma potansiyeli olan tüm araç ve donanımlar tehlike kaynağı olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan makine/tezgâh ya da ekipman tabanlı tehlike kaynaklarına bağlı olarak olası riskler belirlenmiş ve ilgili risklerin ortaya çıkmasına neden olacak ihlaller tanımlanmıştır. Söz konusu ihlallere bağlı olarak ihlallerin önlenmesine ilişkin kontrol noktaları ve kontrol noktalarına yönelik soru havuzları oluşturulmuştur. Herhangi bir kontrol noktasının ihlali durumunda, söz konusu ihlalin kazaya sebebiyet verme ağırlığı danışmanların ve ilgili uzmanların katılımıyla Buckley AHP yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu

işlem sırasında kullanılan bulanık AHP yönteminin adımları şu şekildedir (Buckley, 1985; Chen ve Hwang, 1992; Hsieh ve diğ., 2004); İkili karşılaştırmaları gösteren matris \tilde{C}_i olsun.

$$\tilde{C}_k = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{c}_{12} & \dots & \tilde{c}_{1n} \\ \tilde{c}_{21} & 1 & \dots & \tilde{c}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{c}_{n1} & \tilde{c}_{n2} & \dots & \tilde{c}_{nn} \end{bmatrix}, u=1, 2, 3, \dots, k \text{ ve } i=1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

Burada \tilde{C}_k ilgili riske ait kontrol noktalarına ilişkin ikili karşılaştırma matrisidir. Matriste \tilde{c}_{ij} ile gösterilen değer i 'inci kontrol noktasının ihlalinin j 'inci kontrol noktasının ihlaline oranla kazaya neden olma kuvvetinin dilsel ifadesini göstermektedir ve sayısal değeri aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$c_{ij} = \begin{cases} i > j, & (1,1,3), (1,3,5), (3,5,7), (5,7,9), (7,9,9) \\ i = j & (1,1,1) \\ i < j, & (1,1,3)^{-1}, (1,3,5)^{-1}, (3,5,7)^{-1}, (5,7,9)^{-1}, (7,9,9)^{-1} \end{cases} \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitlikte verilen bulanık sayılara ait dilsel ölçek Tablo 1'de açıklanmıştır (Hsieh ve diğ., 2004).

Tablo 1. İkili karşılaştırma için kullanılan dilsel ölçek (Hsieh ve diğ., 2004)

Dilsel ifade	Kısaltma	Bulanık Değer
Eşit önemli	(Eq)	(1,1,3)
Zayıf önemli	(Wk)	(1,3,5)
Önemli	(Es)	(3,5,7)
Oldukça Önemli	(Vs)	(5,7,9)
Kesinlikle önemli	(Ab)	(7,9,9)

Bulanık ağırlıklar aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$\tilde{r}_i = (\tilde{c}_{i1} \otimes \tilde{c}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{c}_{in})^{1/n} \quad (3)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1} \quad (4)$$

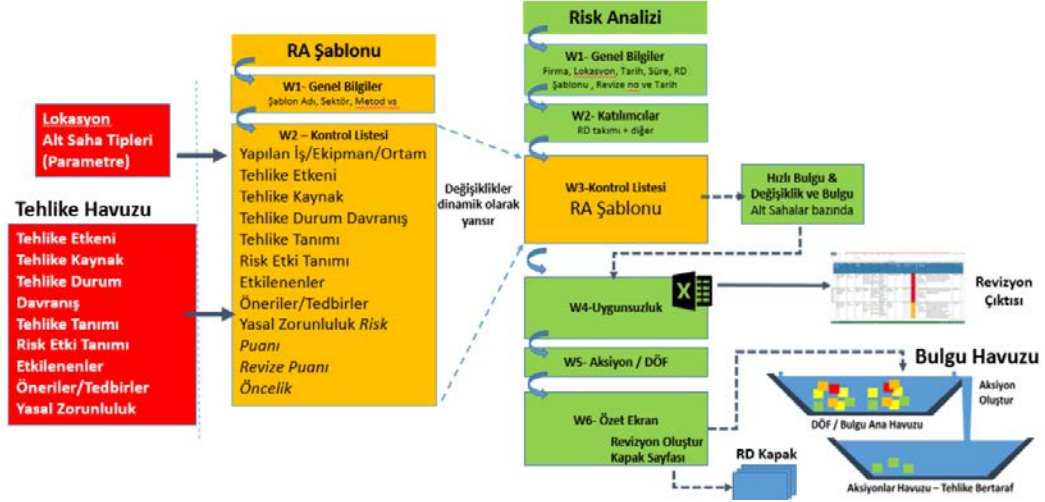
Denklemden \tilde{r}_i i 'inci kontrol noktası ihlalinin diğer ihlale kıyasla hesaplanan geometrik ortalama değerini ve \tilde{w}_i ise i 'nci kontrol noktasının ihlalinin kaynaklı istenmeyen kaza durumunun gerçekleşme ağırlığını göstermektedir. Denklem (3) ve (4) sonucunda elde edilen değerlerin bulanık sayı olması nedeniyle durulaştırma yöntemlerinden biri kullanılarak kesin sayı değerine çevrilir. Çalışma kapsamında durulaştırma işlemi ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak durulaştırılmaktadır. Yukarıdaki işlemler tanımlanan her bir riskin ortaya çıkmasına neden olan kontrol noktaları için tekrarlanır. Böylece ilgili kontrol noktasının eksik olması durumunda neden olacağı kaza ağırlığı sistemin veri tabanına işlenmiş olur.

Bilgi tabanında bulunan bir diğer bilgi de herhangi bir riskin ortaya çıktığında riskin neden olacağı şiddet değeridir. Her bir risk için şiddet değerlerine ilişkin tanımlamalar saha çalışmaları ve uzman görüşmeleri ile ve Buckley AHP yöntemi kullanılarak tanımlanmıştır. Şiddet değeri çalışana, çevreye ve teçhizata verilen zararın bir bileşkesi olarak tanımlanmıştır.

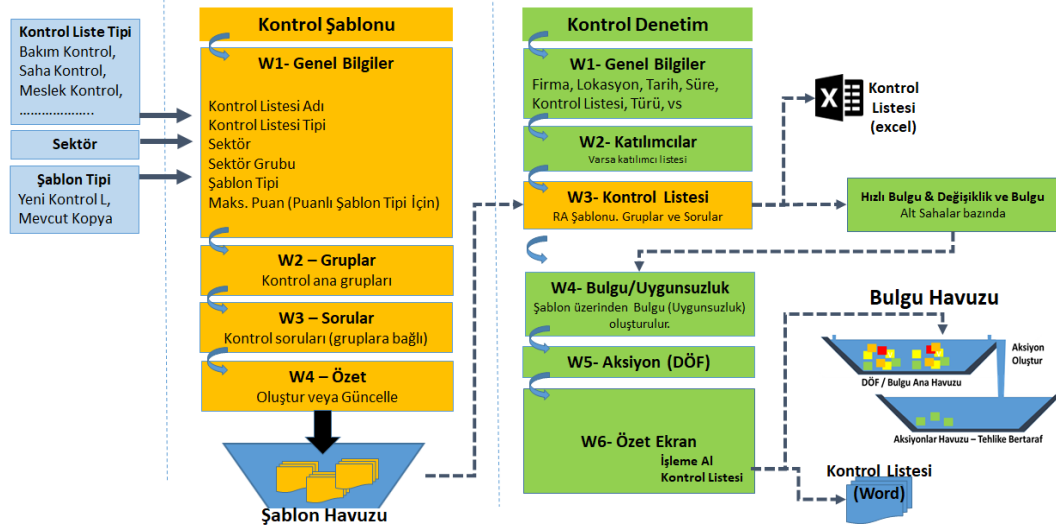
Riskin tanımlanmasında kullanılan ve bilgi tabanında yer alan bir diğer parametre de frekanstır. Frekans değeri ilgili makine/tezgâh ya da ekipmanın işletmeye ilk kurulduğunda iş sağlığı güvenliği uzmanları tarafından ya da sistem yöneticileri tarafından girilen değerdir ve ilgili makine/tezgâh ya da ekipmanın üretim ortamında ne kadar sık kullanıldığını gösteren bir tanımlamadır.

Geliştirilen karar destek sisteminin veri tabanında bulunan bilgiler ve bu bilgiler arasındaki ilişkiler Şekil 3 ve Şekil 4’de şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 3. Tehlike Havuzu, RA Şablonu ve Risk Analizine ait sistem tasarımı



Şekil 3. Tehlike Havuzu, RA Şablonu ve Risk Analizine ait sistem tasarımı



3.2. Kural Tabanı

Uygulamada, kontrol noktalarından gerçekleşen sapma miktarının ortaya çıkardığı risk büyüklüğü Tablo 2’de verilen kural tabanı kullanılarak hesaplanmaktadır (İlbahar ve diğ., 2018; Karasan ve diğ. 2018). Tabloda verilen kuralları geliştirilen karar destek sisteminin kural tabanı olarak kodlanmıştır. Tablo 2’de kullanılan kısaltmaların anlamları ve açıklamaları ise şu şekildedir;

İhmal Edilebilir Risk (Negligible-N): Riskin kabul edilebilir düzeyde olduğu anlamına gelmektedir. Bu çıktı, ilgili riskin gerçekleşme ihtimalinin oldukça düşük olduğunu ya gerçekleşmesi durumunda ciddi bir zararın ortaya çıkmayacağını ifade etmektedir.

Minör Risk (Minor-Mi): Riskin ortaya çıkma ihtimalinin ya da risk ortaya çıktığında şiddetinin kabul edilebilir eviyenin üstünde olduğunu göstermektedir. Risk için önlem alınması gerektiği anlamına gelir ve Makine/Tezgâh ya da Ekipman için Kontrollü Çalış kararını döndürür.

Majör Risk (Major-Ma): Riskin ortaya çıkma ihtimalinin ya da risk ortaya çıktığında oluşacak şiddetin oldukça yüksek olduğu anlamına gelir. Burada riske karşı acil önlem planlanmasını gerektiğini bildirir ve Makine/Tezgâh ya da Ekipman için ÇalışMA kararını döndürür.

Hayati Risk (Catastrophic-C): Hem riskin ortaya çıkma ihtimalinin hem de risk ortaya çıktığında oluşacak şiddetin oldukça çok yüksek olduğu anlamına gelir. Bir önceki risk boyutundan farklı olarak burada riskin her an gerçekleşmekte olduğunu ifade etmektedir. Burada riske karşı çok acil önlem planlanmasını gerektiğini bildirir ve Makine/Tezgâh ya da Ekipman için ÇalışMA kararını döndürür.

Tablo 2. Olasılık-Şiddet-Frekans-Risk Derecesi Arasındaki ilişkiyi veren kural tabanı (İlbahar ve diğ., 2018; Karasan ve diğ., 2018)

F	S	P				
		VL	L	M	H	VH
VL	VL	N	N	N	N	Mi
	L	N	N	N	Mi	Mi
	M	N	N	Mi	Mi	Mi
	H	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi
	VH	Mi	Mi	Mi	Ma	Ma
L	VL	N	N	N	Mi	Mi
	L	N	N	N	Mi	Ma
	M	N	Mi	Mi	Ma	Ma
	H	Mi	Mi	Ma	Ma	Ma
	VH	Mi	Mi	Ma	C	C
M	VL	N	N	Mi	Mi	Ma
	L	N	Mi	Mi	Ma	Ma
	M	Mi	Mi	Ma	Ma	Ma
	H	Mi	Ma	Ma	Ma	C
	VH	Mi	Ma	Ma	C	C
H	VL	N	N	Mi	Ma	Ma
	L	N	Mi	Mi	Ma	Ma
	M	Mi	Mi	Ma	Ma	C
	H	Mi	Ma	Ma	C	C
	VH	Ma	Ma	C	C	C
VH	VL	N	N	Mi	Ma	Ma
	L	N	Mi	Ma	Ma	C
	M	Mi	Ma	Ma	C	C
	H	Ma	Ma	C	C	C
	VH	Ma	C	C	C	C

3.3. Çıkarım Mekanizması

Çalışma kapsamında risk derecesi kontrol noktasının ihlali durumunda kazaya neden olma ağırlığı, şiddet ve frekans parametrelerinin bir bileşkesi olarak hesaplanmaktadır. Makinede tanımlı olan r 'inci riske ait risk derecesinin hesaplanırken; veri tabanında ilgili risk için tanımlı olan şiddet değeri (S), kullanıcı tarafından tezgâhın ya da makinenin ilk kez işletmeye kuruluş aşamasında sisteme girilen frekans değeri (F) ve kontrol noktası ağırlığından hesaplanan (P) olasılık değerleri ve Tablo 1'de verilen kural tablosu kullanılarak **Risk Değerine** ait sonuç elde edilir. Tablo 2'ye göre örneğin;

EĞER m . Makinedeki r 'inci risk için frekans $F=VL$, şiddet $S=VL$ ve olasılık $P=VL$ **İSE** risk büyüklüğü $RM=N$ dir.

Buradaki dilsel ifadelerle ait değerlerden üyelik dereceleri belirlenir ve üyelik derecelerinden de aktifleşecek kurallara bağlı olarak risk derecesi hesaplanır. Bulanık çıkarım mekanizması olarak daha basit ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle literatürde yaygın olarak tercih edilen Mamdani (1977) çıkarım modeli geliştirilen karar destek sisteminde kullanılmıştır. Model kural tabanlı bir sistemi karakterize eder ve modelde kullanılan kural tabanının genel yapısı aşağıdaki denklemde verilmiştir

$$\text{EĞER } x_1 Z_{i1} \text{ VE } x_2 Z_{i2} \text{ VE } x_3 Z_{i3} \text{ VE } \dots x_n Z_{in} \text{ İSE } y P_i \text{ dir. } i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (5)$$

Denklemden x_n ($n = 1, 2, 3, \dots, m$) giriş veri setini, Z_i ve P_i üyelik fonksiyonlarıyla tanımlı dilsel ifadeyi, y çıktı değerini ve k kural tabanında yer alan kural sayısını ifade etmektedir. Sistemde mevcut olan birden çok ayırık kuralın aynı anda etkinleşmesi durumunda genellikle *MAKS-MİN* operatörü kullanılarak sonuç elde edilir. *MAKS-MİN* operatörü aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (Zeng ve diğ., 2007)

$$\mu_{Pk}(y) = \text{maks}[\text{min}[\mu_{Z1k}(x_1), \mu_{Z2k}(x_2)]] , k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

Eşitlikte verilen $\mu_{Pk}, \mu_{Z1k}, \mu_{Z2k}$ sırasıyla y çıkış değerinin, x_1 ve x_2 girdilerinin üyelik dereceleridir. Modelden bulanık bir değer olarak elde edilen çıktı değerinin durulaştırılması gerekmektedir. Durulaştırma işlemi için çalışma kapsamında, uygulamada yaygınlıkla kullanılan ağırlık merkezi yöntemi (centroid of area veya center of gravity - COA) kullanılmıştır. Yönteme ilişki eşitlik şu şekildedir (Ross, 2004);

$$Z_{COZ}^* = \frac{\int_z \mu_x(x) x dx}{\int_z \mu_z(x) dx} \quad (7)$$

$$Z_{COZ}^* = \frac{\sum_i^q \mu_z(x_i) x_i}{\sum_i^q \mu_A(x_i)} \quad i = 1, 2, 3, \dots, q \quad (8)$$

Eşitlikte verilen Z_{COZ}^* sistemden elde edilen kesin değeri göstermektedir.

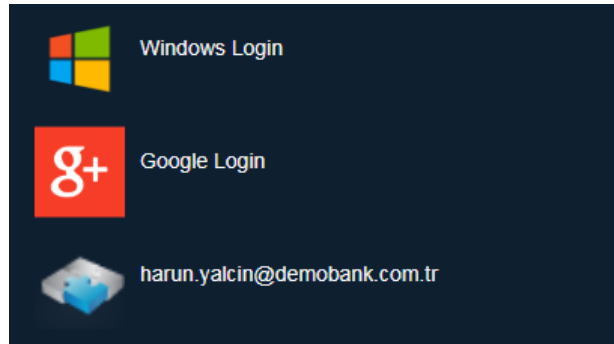
3.4. Arayüz Tasarımı

Geliştirilen karar destek sisteminin kullanımı kolaylaştıran arayüz tasarımlarını ve raporlama ekranlarını kapsayan menülerdir. Bu menüler tasarlanırken müşteri odaklı ürün tasarımı prensipleri dikkate alınarak tasarlanmıştır.

4. Uygulama

Geliştirilen karar destek sistemi Oracle tabanı üstüne kurulmuş, ön yüzünde Microsoft .NET Framework 4.0 ve Javascript teknolojileri barındıran, tüm browserlar, mobil telefonlar ve tabletlerde uyumlu bir şekilde çalışan responsive tasarımlı bir yapıya sahiptir. Sisteme *Windows Active Directory*, *Google* kimlik doğrulama veya uygulamanın kendi kimlik doğrulama yapıları kullanarak kullanıcı girişi yapılabilmektedir. Şekil 5'te kullanıcı girişine ait görsel sunulmaktadır.

Şekil 5. Sistemin ana giriş ekranı



Sisteme giriş tamamlandıktan sonra unvan seçimiyle birlikte aynı kullanıcının birden fazla rolde işlevlerini yerine getirebilme esnekliği sağlanmıştır. Kullanım yetkileri rol bazlı olup, bir kullanıcıya birden fazla unvan/rol tanımlandığında uygulamadan çıkmaya gerek kalmadan farklı roller üzerinde hızlı geçiş sağlanarak gerekli fonksiyonlar yerine getirilebilmektedir. Sistemin temelinde tüm yetkilendirmeler, menüler, açılan formlar, filtrasyonlar, raporlamalar, çıktı tasarımları, veri

yükleme ya da indirme gibi özelliklerin tüm tasarımları (özel bazı modüller hariç) veritabanı üzerinde dinamik olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, organizasyon yapısı düzenleme ekranlarında görüntülenecek olan ana tablo, düzenleme yapılması istenen alanların yetkileri, erişim ve görüntüleme kısıtları, veri girişinden hızlı ve hatasız girişlere olanak sağlayan *otomatik tamamlama* ya da *arama tablosu* gibi yardımcı elemanlar, girilecek verilerin türleri, girişte yapılacak kontroller (örneğin TC numarasının geçerliliği) gibi tüm değişkenler veritabanında tutulmaktadır. Bu sayede uygulamada çalışan herhangi bir form üzerinde görsel ya da fonksiyonel bir değişikliği yapmak saniyeler içerisinde mümkün olabilmektedir. Bu tasarım herhangi bir şekilde sunucu üzerinde uygulamayı yenileme zorunluluğunu minimuma indirgenmektedir. Ayrıca uygulamanın kullanım kolaylığı açısından sağ tuş tıklama etkin hale getirilmiştir. Herhangi bir menü ya da form üzerinde sağ tıklama yapıldığında o formla ilişki yapılabilecek alt seçenekler kullanıcıya sunulur (Şekil 6).

Şekil 6. Sağ tıklama form yapısı

Sistem No	ERP No	ERP Kullanıcı	Adı Soyadı	Kimlik No	Uyruk	Cinsiyet	Doğum Yeri
1000000500000001	0		Burak Akça	12857624544	TC	Erkek	
10000706	0		Elif Aksoy	72747270287	TC	Kadın	Kadıköy
10000704	0		Burak Akça			Erkek	Kadıköy
10000698	0		Muhammed Aksoy			Erkek	Kadıköy
10000690	0	ayseyoruk	Ayşe Aksoy			Kadın	
10000683	0		Burak Akça			Erkek	
10000682	0		Burak Akça			Erkek	
10000680	0		Burak Akça			Erkek	
10000642	0		Halil Aksoy			Erkek	Kadıköy
10000641	0		Gülşah Aksoy	69580249452	TC	Kadın	Kadıköy

Bir çalışan iş başı yapmadan önce kullandığı makine/tezgâh ya da ekipmanla alakalı kontrol listesini doldurur. Şekil 7'de çalışan tarafından elektrik ark kaynağına ilişkin doldurulan kontrol listesi sunulmuştur.

Şekil 7. Çalışan tarafından doldurulan elektrik ark kaynağına ait kontrol listesi ekran görüntüsü

HSEplus Özey Yılmaz
Demo Makine Firması

Genel Bilgiler

No : 90400000012 Değerlendirme Yapan : Özey Yılmaz
Kontrol Listesi : Elektrikli Ark Kaynağı K.L. Tarihi : 30.01.2019
K.L. Saati : 15:28 K.L. Süresi : 30 Dakika

Kontrol Listesi

No	Kontrol Grubu	Kontrol Sorusu	
90400000006	Çapak sıçrama/UV ışınları Nedeniyle Görme Kaybı	Çalışma esnasında gözü koruyan koruyucu donanım kullanılıyor mu?	✓
90400000012	Elektrik çarpması sonucu ciddi yaralanma ya da ölüm	Çalışırken uygun iş kıyafeti kullanılıyor mu?	✓
90400000010	Elektrik çarpması sonucu ciddi yaralanma ya da ölüm	Elektrik kabloları ve bağlantı elemanları standartlara uygun mudur?	✓
90400000008	Elektrik çarpması sonucu ciddi yaralanma ya da ölüm	Kaçak akım rölesi mevcut ve çalışıyor mu?	✓

Şekil 8’de kontrol listesi doldurulan ve çalışanın sorumlu olduğu makine/tezgâh ya da ekipmanlara ilişkin sonuçlar sergilenmektedir. Son kontrol durumu kırmızı renkle gösterilen makinelerde çalışma yapılmasına müsaade edilmediğini göstermektedir. Yeşil renkli olan tezgahların çalışmasında ise herhangi bir risk bulunmadığını ifade etmektedir. Sistemde kontrollü çalış kararı ise sarı renklerle ifade edilmektedir.

Şekil 8. Makine bazlı çalış/çalışma kararı

HSEplus Mete Gürbüz
Demo Makine Firma - Makine Kontrol Yönetimi

Filtreler

Lütfen Seçiniz

Ekipman	Üst Grup	Grup	Altsaha	Yerleştirilme Tarihi	Frekans	Son Kontrol Tarihi	Son Kontrol Durumu	Skor	Aksiyon
Asitle Dağıtma Makinesi - 1355622333	Mekanik Tezgahlar	Asitle Dağıtma	Atölye-2	06.06.2018	8.3333		Kontrol Yapılmadı		0/0
Bükme Makinesi - 8713241848	Mekanik Tezgahlar	Bükme Makinası	Atölye-1	06.06.2018	10		Kontrol Yapılmadı		0/0
Çelik Halat - 56498498498	Mekanik Tezgahlar	Çelik Halat	Atölye-2	08.01.2019	9.5238	05.02.2019	Catastrophic	9.423	0/0
Elektrikli Ark Kaynağı - 565665668652	Mekanik Tezgahlar	Elektrikli Ark Kaynağı	Atölye-1	11.10.2018	5.3571	04.02.2019	Safe	0	0/0
Freze - 548949984984	Mekanik Tezgahlar	Freze	Atölye-2	06.06.2018	9.5238	05.02.2019	Major	6.25	0/0

Şekil 9’da ise herhangi bir anda yetkili personel tarafından sistemden çekilen risk analizi tablosu sunulmaktadır. Bu tabloda işçilerin işbaşı yapmadan önce sorumlu oldukları tezgahlarda karşılarında gelen kontrol listelerini doldurmaları sonucunda sistem tarafından otomatik olarak oluşturulmuştur. Söz konusu tablo her işbaşında otomatik olarak güncellenmekte ve işletmeye ait riskler anlık olarak sunulan sistem sayesinde takip edilebilmektedir. Makine/tezgâh ya da ekipmanlara sisteme konum bazlı tanımlandığından fabrika içerisindeki risk analiz tabloları bölgesel bazlı oluşturulabilmekte ve riskler anlık olarak izlenebilmektedir. Ayrıca ilgili tablolarda riske karşı alınması gereken önlemler planlanabilmekte ve açılan bildirimlerin durumu anlık olarak takip edilebilmektedir.

Şekil 9. Dinamik risk analiz tablosu

Altsaha	Tehlike Kaynağı	Risk Türü	Şiddet	Frekans	Olasılık	Risk	Alınması Gereken Önlem	Termin	Aksiyonlar
Atölye-1	Elektrikli Ark Kaynağı - 56566566652	Elektrik çarpması sonucu ciddi yaralanma ya da ölüm	Çok Ciddi	Çok Sık	Düşük	Yüksek	Sistem üzerinde kaçak akım rölesi kullanın		Aksiyon Alınmadı
Atölye-1	Torna - 684864884811	Elektrik çarpması sonucu ciddi yaralanma ya da ölüm	Çok Ciddi	Çok Sık	Orta	Çok Yüksek	Tezgâhın şasesine göze muayene edilebilen topraklama hatlı çekilmelidir.		Aksiyon Alınmadı
Atölye-1	Torna - 684864884811	Fırıl原因 cisim ya da parçalar nedeniyle yaralanma	Ciddi	Çok Sık	Düşük	Yüksek	Tezgâhı çöftaı koruyucu sipirik takılmalı		Aksiyon Alınmadı
Atölye-2	Çelik Halat - 56498498498	Zincir/halat kopması nedeniyle yaralanma ya da ölüm	Çok Ciddi	Sürekli	Orta	Çok Yüksek	Test sertifikası olmayan çelik halatlar hiçbir şekilde kullanılmamalıdır.		Aksiyon Alınmadı
Atölye-2	Çelik Halat - 56498498498	Zincir/halat kopması nedeniyle yaralanma ya da ölüm	Çok Ciddi	Sürekli	Orta	Çok Yüksek	Test sertifikası olmayan çelik halatlar hiçbir şekilde kullanılmamalıdır.	11.02.2019	Aksiyon Alındı
Atölye-2	Çelik Halat - 56498498498	Zincir/halat kopması nedeniyle yaralanma ya da ölüm	Çok Ciddi	Sürekli	Orta	Çok Yüksek	Aşırı yüküme yapılmamalıdır.		Aksiyon Alınmadı
Atölye-2	Çelik Halat - 56498498498	Zincir/halat kopması nedeniyle yaralanma ya da ölüm	Çok Ciddi	Sürekli	Düşük	Çok Yüksek	Alandaki tüm personel boşaltılmalı, hiçbir personel kalmamış yükün altından geçirilmemelidir.		Aksiyon Alınmadı
Atölye-2	Freze - 548949984984	Fırıl原因 cisim ya da parçalar nedeniyle yaralanma	Ciddi	Sürekli	Düşük	Yüksek	İşlem sonrası oluşan talaşlar fırça yardımıyla tezgâh üzerinden temizlenmeli		Aksiyon Alınmadı
Atölye-2	Freze - 548949984984	Fırıl原因 cisim ya da parçalar nedeniyle yaralanma	Ciddi	Sürekli	Düşük	Yüksek	Kullanılan takım ve avadamlıklar tezgâh üzerinde bırakılmamalıdır, gerekli olanlar düzenli bir şekilde temizlenmelidir.		Aksiyon Alınmadı

Şekil 10'da ise her bir makine özelinde detay içerik sunulmaktadır. Yönetici panelinden makine/tezgâh ya da ekipman tıkladığında ilgili ekipmana ait kontrol soruları ve ihlali durumunda neden olacağı şiddet ve kaza ağırlığı değerleri sergilenmektedir.

Geliştirilen karar destek sistemi etkin bir raporlama ekranına sahip olup işletme yönetimine yapılan İSG çalışmalarını özetleyen grafikleri içermektedir. Raporlama menüsünde sadece risklere yönelik sonuçlara ilişkin veriler değil aynı zamanda açılan ve kapatılan bildirimlere ilişkin de detaylı analizler sunulmaktadır. Şekil 11 ve 12'de raporlama arayüzüne ilişkin görseller sunulmaktadır.

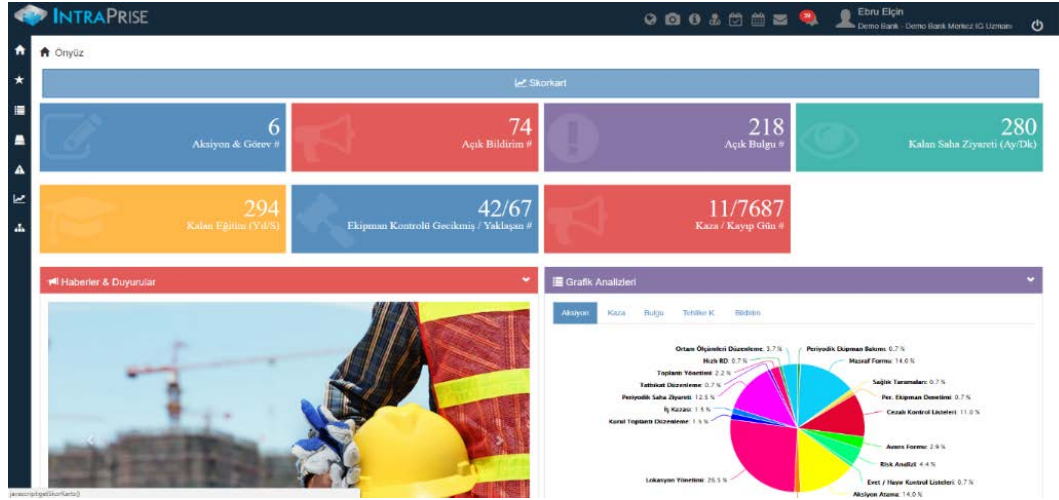
Şekil 10. Yönetici modülü makine bilgisi ekranı

Ekipman	Üst Grup	Grup	Altsaha	Yerleştirilme Tarihi	Frekans	Son Kontrol Tarihi	Son Kontrol Durumu	Skor	Aksiyon
Elektrikli Ark Kaynağı - 56566566652	Tezgâhlar	Kaynağı	Atölye-1	11.10.2018	5.3571	04.02.2019	Safe	0	0/0
Freze - 548949984984	Mekanik Tezgâhlar	Freze	Atölye-2	06.06.2018	9.5238	05.02.2019	Major	6.25	0/0

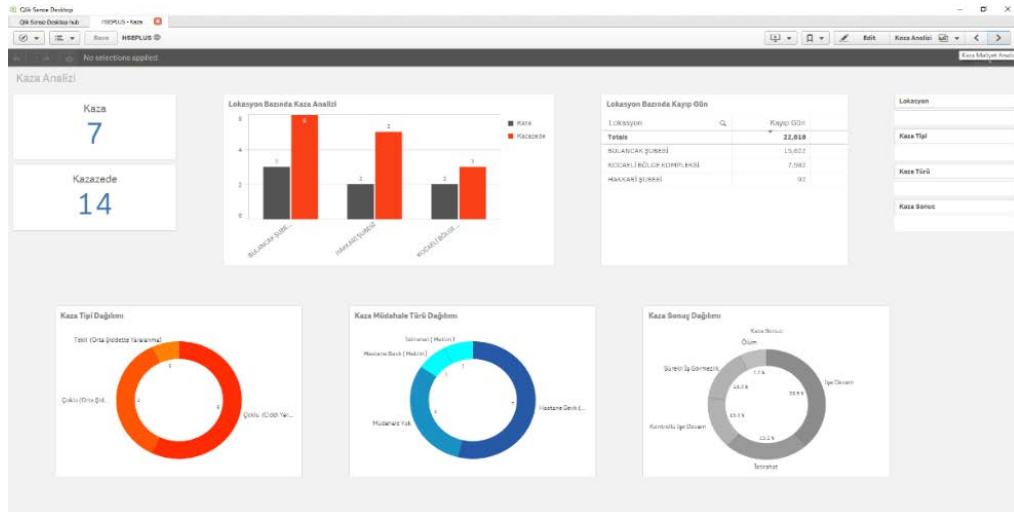
Kontrol Listesi	KL Tarihi	Durum	Skor
Freze	05.02.2019	Major	6.25

Kontrol Grubu	Şiddet	Kontrol Sorusu	Kaza Ağırlığı	Tedbir	Skor	Aksiyon
Ağır iş parçalarının kaldırılması sonucu yaralanma	6	Çalışırken ağır iş parçası ya da tezgâh donanımı uygun alet kullanılarak kaldırılıyor mu?	5	Ağır iş parçaları ya da tezgâh donanımlarının kaldırılması için uygun araç verilmeli	0	Aksiyon Alınmadı
Elektrik çarpması sonucu ciddi yaralanma ya da ölüm	10	Elektrik kesintisi, elektrik arızası v.b. durumlarda makine açma/kapama düğmesinden kapatılıp tezgâh emniyete alınıyor mu?	2	Elektrik kesintisi, elektrik arızası v.b. durumlarda makineyi mutlaka açma/kapama düğmesinden kapatı...	0	Aksiyon Alınmadı
Elektrik çarpması sonucu ciddi yaralanma ya da ölüm	10	Kaçak akım rölesi mevcut ve çalışıyor mu?	4	Sistem üzerinde kaçak akım rölesi kullanın	0	Aksiyon Alınmadı
Elektrik çarpması sonucu ciddi yaralanma ya da ölüm	10	Kullanılan tezgâhın topraklaması mevcut mudur?	4	Tezgâhın şasesine göze muayene edilebilen topraklama hatlı çekilmelidir.	0	Aksiyon Alınmadı

Şekil 11. Raporlama ekran görüntüsü-1



Şekil 12. Raporlama ekran görüntüsü-2



Çalışma kapsamında geliştirilen karar destek sisteminin doğruluğunu ve geçerliliğini test etmek ve aynı zamanda hata ayıklama ve düzeltme çalışmaları için *Stres Testi*, *Sızma Testi* ve *Son Kullanıcı Testleri* gerçekleştirilmiştir.

5. Sonuçlar

İşletmelerde çalışanların ödediği bedeli minimuma indirmek ve çalışma ortamında çalışanların iş güvenliğini güvence altına almak amacıyla İş Sağlığı Güvenliği Kanun'un ülkemizde yayımlanmasıyla birlikte iş güvenliği uygulamaları işletmelerde giderek yaygınlaşmaktadır. Bu alanda işletmelerde birçok çalışma eş zamanlı olarak yürütülmektedir ancak çalışmaların birçoğu formlarda kalmakta ve birçok çalışma da çalışan katılımından uzakta yalnızca iş güvenliği uzmanları tarafından yürütülmektedir. Bununla birlikte işletmelerde yürütülen iş güvenliği uygulamalarının etkinliği, iş güvenliği uzmanının tecrübe ve bilgisiyle doğru orantılıdır. Bu durum hem işletmelerde karşılaşılan benzer risklerin farklı yanıtlanmasına neden olmakta hem de insan faktörüne bağlı olarak hataların artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında üretim yapan işletmelere yönelik risk analizinin etkin bir biçimde yapılması, risk kontrol önlemlerinin anlık olarak izlenebilmesi ve çalışanların işletmelerde yürütülen iş güvenliği uygulamalarına aktif katılımını

sağlamak amacıyla bir karar destek sistemi önerilmiştir. Önerilen karar destek sistemi sayesinde risk analizleri dinamik olarak gerçekleştirilebilmekte ve alınması gerek kontrol tedbirleri konusunda iş güvenliği uzmanlarına öneriler sunabilmektedir. Ayrıca geliştirilen karar destek sistemi, sistem kullanıcıları arasında dinamik iletişimi sağlayacak yapıda tasarlanmış olup ilgili kullanıcılara anlık olarak bildirim gönderebilmektedir. Geliştirilen karar destek sistemi, çalışma ortamındaki sapmaları çalışanların doldurduğu EVET/HAYIR seçenekli bir kontrol listesi yardımıyla tanımlayarak riskleri ve risklere ait büyüklükleri tanımlar ve iş güvenliği uzmanlarına alınması gereken tedbirler konusunda öneriler sunar. Sistem risk derecelerinin hesaplanmasında bulanık çıkarım mekanizmasından faydalanarak makine için çalış ya da çalışma kararını sistem kullanıcılarına döndürür.

Daha sonraki çalışmalarda geliştirilen karar destek sisteminin işletmelerde kullanımının yaygınlaştırılmasıyla birlikte sistemde toplanan veri makine öğrenmesi teknikleriyle analiz edilerek olası sapmanın gerçekleştireceği kaza olasılığı nicel verilere dayandırılarak hesaplanabilir. Ayrıca ileriki çalışmalarda geliştirilen sistem tezgâhlara yerleştirilecek sensörler yardımıyla çalışma ortamıyla sürekli haberleşerek gerekli veriyi çalışandan bağımsız olarak toplayabilir ve makinenin çalışıp çalışmama kararını verebilir. Böylece işletmede İSG açısından tam otomasyon sistemi kurulabilir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 1507 KOBİ AR-GE Başlangıç Destek Programı tarafından desteklenen 7160897 numaralı projeden çıkmış olup yazarlar desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürü bir borç bilirlir.

Kaynakça

- Abdelgawad, M. Fayek, A. R. (2010). Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP, *Journal of Construction Engineering and Management*, 136 (9) 1028-1036.
- Acuner, Ö., Çebi, S. (2016). An Effective Risk-Preventive Model Proposal for Occupational Accidents at Shipyards, *Brodogradnja/Shipbuilding*, 67(1), 67-84.
- Buckley, J.J., (1985). Ranking alternatives using fuzzy numbers, *Fuzzy Sets Systems*, 15 (1), 21-31.
- Chen, S., J. ve Hwang, C., L. (1992). *Fuzzy Multi Attribute Decision Making: Methods and Applications, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer-Verlag, New York.
- Çebi, S., Akyuz, E., Şahin, Y. (2017), Developing Web Based Decision Support System For Evaluation Occupational Risks At Shipyards, *Brodogradnja/Shipbuilding*, 68 (1).
- Çebi, S., İlbarhar, E., (2018a). Warehouse Risk Assessment Using Interval Valued Intuitionistic Fuzzy AHP, *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10 (2),
- Çebi, S., İlbarhar, E., (2018b). Tersanelerde Yaşanan Mesleki Risklerin Analizi İçin Bulanık Papyon Model Önerisi, *Journal of ETA Maritime Science*, 6(2): 141-157
- Durga Rao, K., Gopika, V., Sanyasi Rao, V.V.S., Kushwaha, H.S., Verma, A.K., Srividya, A. (2009). Dynamic fault tree analysis using Monte Carlo simulation in probabilistic safety assessment, *Reliability Engineering & System Safety*, 94, 872-883.
- E. Topuz, C. A. van Gestel, (2016) An approach for environmental risk assessment of engineered nanomaterials using Analytical Hierarchy Process (AHP) and fuzzy inference rules, *Environment international*, 501, 334-347.
- Gul, M., Ak, M. F., Guneri, A. F. (2019). Pythagorean fuzzy VIKOR-based approach for safety risk assessment in mine industry, *Journal of Safety Research*, 69, 135-153.

- Hsieh, T., Y., Lu, S., T. and Tzeng, G., T. (2004). Fuzzy MCDM Approach for Planning and Design Tenders Selection in Public Office Buildings, *International Journal of Project Management*, 22, 573–584.
- İlbahar E., Karaşan A., Çebi S., Kahraman C., (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system, *Safety Science*, 103, 124-136.
- Karaşan A., İlbahar E., Çebi S., Kahraman C., (2018). A new risk assessment approach: Safety and Critical Effect Analysis (SCEA) and its extension with Pythagorean fuzzy sets, *Safety Science*, 108, 173-187.
- Khakzad, N., 2015. Application of dynamic Bayesian network to risk analysis of domino effects in chemical infrastructures, *Reliability Engineering & System Safety*, 138, 263–272.
- Khakzad, N., Khan, F., Amyotte, P., 2013a. Risk-based design of process systems using discrete-time Bayesian networks, *Reliability Engineering & System Safety*, 109, 5–17.
- Khakzad, N., Khan, F., Paltrinieri, N. (2014). On the application of near accident data to risk analysis of major accidents, *Reliability Engineering & System Safety*, 126.
- Mamdani, E. H. (1977). Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis, *IEEE Transactions on Computers*, 26(12): 1182–1191.
- Nieto-Morote, A. Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy approach to construction project risk assessment, *International Journal of Project Management*, 29 (2), 220-231.
- Nivolianitou, Z.S., Leopoulos, V.N., Konstantinidou, M. (2004). Comparison of techniques for accident scenario analysis in hazardous systems, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 17,467–475.
- Noh, Y., Chang, K., Seo, Y., Chang, D. (2014). Risk-based determination of design pressure of LNG fuel storage tanks based on dynamic process simulation combined with Monte Carlo method, *Reliability Engineering & System Safety*, 129, 76–82.
- Nývlt, O., Haugen, S., Ferkl, L., (2015). Complex accident scenarios modelled and analysed by Stochastic Petri Nets, *Reliability Engineering & System Safety*, 142, 539–555.
- Nývlt, O., Rausand, M. (2012). Dependencies in event trees analyzed by Petri nets, *Reliability Engineering & System Safety*, 104, 45–57.
- Paltrinieri, N., Comfort, L., Reniers, G. (2019). Learning about risk: Machine learning for risk assessment, *Safety Science*, 118, 475–486
- Paltrinieri, N., Khan, F., Amyotte, P., Cozzani, V. (2014). Dynamic approach to risk management: application to the Hoeganaes metal dust accidents, *Process Safety and Environmental Protection*, 92.
- Paltrinieri, N., Khan, F., Cozzani, V. (2015). Coupling of advanced techniques for dynamic risk management. *J. Risk Res.*, 18, 910–930.
- Paltrinieri, N., Reniers, G. (2017). Dynamic risk analysis for Seveso sites, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 49.
- Rodriguez, A. Ortega, F. Concepcion, R. (2016). A method for the evaluation of risk in IT projects, *Expert Systems with Applications*, 45 273-285.
- Ross, T., J., (2004). *Fuzzy Logic with Engineering Applications (3rd Ed.)*, John Wiley & Sons, Ltd, USA.

- Sarbayev, M., Yang, M., Wang, H., (2019), Risk assessment of process systems by mapping fault tree into artificial neural network, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 60, 203-212.
- Targoutzidis, A., (2012). A Monte Carlo simulation for the assessment of Bayesian updating in dynamic systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 100, 125–132.
- Yang, M. Khan, F. I. Sadiq, R. (2011). Prioritization of environmental issues in o shore oil and gas operations: A hybrid approach using fuzzy inference system and fuzzy analytic hierarchy process, *Process Safety and Environmental Protection*, 89 (1), 22-34.
- Zeng, J. An, M. Smith, N.J. (2007). Application of a Fuzzy Basen Decision Making Methodology to Construction Project Risk Assessment, *International Journal of Project Management*, 25, 589–600.
- Zhou, J., Reniers, G. (2016a). Petri-net based simulation analysis for emergency response to multiple simultaneous large-scale fires. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 554–562.
- Zhou, J., Reniers, G. (2016b). Petri-net based modeling and queuing analysis for resourceoriented cooperation of emergency response actions, *Process Safety and Environmental Protection*, 102,567–576.
- Zhou, J., Reniers, G. (2017). Petri-net based cascading effect analysis of vapor cloud explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 48, 118–125.
- Zhou, J., Reniers, G., Zhang, L. (2017). A weighted fuzzy Petri-net based approach for security risk assessment in the chemical industry, *Chemical Engineering Science*174, 136–145.

DEVELOPING A MACHINE BASED DYNAMIC RISK ANALYSIS DECISION SUPPORT SYSTEM

Extended Abstract

Aim: The main objective of this paper is to develop dynamic risk analysis decision support system utilising machine based check list. For this pupose, an algorithm has been developed to analyse and detect risky situations at working environment.

Method(s): In this paper, to detect the risky situations at working environment, a check list has been prapered for each machine. Then, risk magnitude of the each risk definition has been obtained by using fuzzy mamdani inference system. The inference system has utilised severity, likelihood, and frequency parameters for each risky situation. The likelihood and severity values of each event has been obtained by using fuzzy analytic hierarchy process. The frequency value is determined based on the working hour for the related machine.

Findings: A decision support system has been proposed to the literature for the production companies in order to perform risk analysis effectively and to provide decision aid whether to continue on working or not at the companies. The companies can monitor analysis the effectiveness of risk control measures instantly and also can ensure the active participation of employees in occupational safety practices in enterprises by usig the developed decision support system. In addition, the developed system is designed to provide effective communication between users by sending instant notification to system related users.

Conclusion: In this study, a decision support system including fuzzy inference system and fuzzy analytic hierarchy process has been developed. The system identifies the existing deviations at the working environment and the risks caused by these deviations, via using YES/NO checklist filled by employees. The system also calculates the risk magnitudes of the risky situations and provides preventative measures to the occupational health and safety specialists and system managers to reduce risk magnitude. For the further study, the data collected in the system can be analysed by the machine learning methods to predict probability of the risky factors and also to obtain risk magnitude of the re-lated situation, precsely. In addition, the developed system can collect the necessary data from working environment by communication continuously with sensors installed on the machines at the working environment withouth taking support of the employees. Thus, it can decide whether to continue on working or not.

