
Araştırma Makalesi / Research Article

Elektrik Dağıtım İşlerinde Bulanık Mantık Yöntemiyle Risk Değerlendirmesi

Muharrem BİLGİN^{1*}, İbrahim SEFA²

¹ Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması ABD, Ankara, TÜRKİYE

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE
mbilgen007@gmail.com, isefa@gazi.edu.tr

Received/Geliş Tarihi: 25.03.2025

Accepted/Kabul Tarihi: 03.06.2025

Özet: Bu çalışma, elektrik dağıtım işlerinde iş sağlığı ve güvenliği açısından tespit edilen risklerin bulanık mantık yöntemiyle analiz edilmesini amaçlamaktadır. Elektrik dağıtım sektörü, çok tehlikeli sınıfta yer alan bir sektör olup, yapılan çalışmada 1994-2019 yılları arasında 18.549 iş kazası meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu kazaların 666'sı ölümlü, 1.826'sı ağır yaralanmalı, 14.903'ü hafif yaralanmalı ve 1.154'ü maddi hasarlı olarak kaydedilmiştir. Kazaların büyük bir kısmının elektrik çarpması, elektrik arkı ve yüksekte düşme neticesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Çalışmada, elektrik dağıtım işlerinde tespit edilen 152 adet risk analiz edilmiştir. Bu risklerin, risk skorlarının hesaplanması için MATLAB® bulanık mantık araç kutusu kullanılarak bir model geliştirilmiştir. Modelde, giriş değişkenleri olarak olasılık, frekans ve şiddet kullanılarak, bulanık mantık tip 2 yöntemiyle risk skorları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama neticesinde; 23 risk çok yüksek, 31 risk yüksek, 31 risk önemli, 55 risk olası ve 12 risk düşük olarak sınıflandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık tip 2, Elektrik dağıtım işleri, Risk değerlendirme

Risk Assessment with Fuzzy Logic Method in Electricity Distribution Works

Abstract: This study aims to analyze the risks identified in electricity distribution works in terms of occupational health and safety using the fuzzy logic method. The electricity distribution sector is classified as a highly dangerous sector, and the study determined that 18,549 occupational accidents occurred between 1994 and 2019. Among these accidents, 666 were fatal, 1,826 resulted in serious injuries, 14,903 resulted in minor injuries, and 1,154 caused property damage. It was identified that the majority of these accidents occurred due to electric shock, electric arc, and falls from height. In this study, 152 identified risks in electricity distribution works were analyzed. A model was developed using the MATLAB® fuzzy logic toolbox to calculate the risk scores of these risks. In the model, risk scores were calculated using the type 2 fuzzy logic method by utilizing likelihood, frequency, and severity as input variables. As a result of the calculations, 23 risks were classified as very high, 31 as high, 31 as significant, 55 as probable, and 12 as low.

Keywords: Electricity distribution works, Fuzzy logic type 2, Risk assessment

1. Giriş

Çalışma hayatında, iş kazası ve meslek hastalıklarını önlemek iş sağlığı ve güvenliği yönetiminin sorumluluğunda olup bu konuda yönetim; “tehlikeleri tanımlamak, her tehlike için riskin boyutunu saptamak, riskin kabul edilebilir olup olmadığına karar vermek ve riski kontrol altına almak” olmak üzere 3 temel görev düşmektedir (Özkılıç, 2005).

Tehlikeye neden olan faktörleri belirlemek, tanımlamak ve elemine etmek için öncelikle tehlikenin ne olduğunu bilmek gerekir. Tehlike, “büyük zarar veya yok olmaya yol açabilecek durum” şeklinde tanımlanabilmektedir. Daha geniş manada, kötü sonuca yol açabilecek durum olarak da tanımlanabilir (Ceylan ve Başhelvacı, 2011). Buradaki kötü sonuç insanlarda yaralanma veya hastalığa neden olan; sistemlerde maddi kayıplara yol açan, çevrenin çeşitli zararlara uğramasına neden olabilen gerçek veya potansiyel durum olarak tanımlanabilir (Ceylan ve Başhelvacı, 2011; Ericson, 2005).

Risk, genel olarak bir olayın olma ihtimali ile bu olay olduğunda ortaya çıkacak olumlu veya olumsuz durumların bileşkesi olarak tanımlanır. Riskin iki bileşeni vardır: Olayın meydana gelme ihtimali (olasılık) ve olay meydana geldiğindeki etkisinin büyüklüğü. Bu nedenle risk olasılık ve etkinin bir fonksiyonu olacak şekilde tasarlanabilir (Stranks, 2006; Ingle vd., 2001).

Risk değerlendirme “risk yönetimi” işleminin önemli bir bileşenidir. Risk değerlendirme tüm operasyonlarda riskin büyüklüğünü tahmin etmek ve riskin kabul edilip edilemeyeceğine karar verme sürecidir. (Karakaş, 2006). Risk değerlendirmesinin amacı; riskleri tanımlayarak gerekli kontrol önlemlerinin alınması amacıyla risk yönetimi çalışmaları için bilgi sağlamaktır (Pokoradi, 2002; Foroutan ve Maleki, 2011).

Risk değerlendirme çalışmaları tamamlandıktan sonra tespit edilen risklerin kontrol altına alınmasıyla ilgili planlamalar yapılır. Burada öncelikle hangi riskin bertaraf edilmesi gerektiği ve bunun nasıl bir plan dâhilinde yapılacağı, kontrol uygulamalarının sonuçlarının nasıl değerlendirileceği konuları “risk yönetimi” olarak adlandırılır. Risk değerlendirilmesi teknik bir çalışma olmasına karşın risk yönetimi bir politika (URL-1, 2025).

Yurttaş (2019), Çamlıbel Elektrik Dağıtım A.Ş.’nin Sivas tesislerinde, Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi ve Bow-Tie (Papyon) Analizi yöntemlerini kullanarak ve 12 olay üzerinde senaryolar oluşturularak risk değerlendirme çalışmaları yapmıştır. Üç yöntemin birlikte kullanılmasının daha ayrıntılı ve daha geniş risk değerlendirme çalışmalarına katkı sunacağından bahisle üç yöntemin birlikte kullanılmasının elektrik sektöründe iş kazalarını azaltacağı hususu vurgulanmıştır. Üç yöntemin birlikte kullanılarak yapılmış bir çalışma olmamasının yapılan araştırma için detaylı analizleri zorlaştırdığı çalışmanın kısıtı olarak belirtilmiştir.

Aydın (2021), Elektrik Dağıtım Sektöründe Fine Kinney metodu kullanarak risk değerlendirme çalışmaları yapmış ve sonucunda elektrik dağıtım sektöründeki çalışmalarda karşılaşılan farklı risk düzeyi seviyelerinde 224 adet risk tespit etmiştir. Tespit edilen risklerin, 9’u çok yüksek, 66’sı ciddi, 109’u önemli, 37’si düşük ve 3’ü kabul edilebilir risk olarak hesaplanmıştır. Geliştirilen düzenleyici önleyici faaliyetler sonrası ise tespit edilen risklerin önemli ölçüde düşük risk seviyesine indirildiği, kabul edilemez ve ciddi risk kategorisinde herhangi bir risk kalmadığı sonucu ortaya konulmuştur. Geliştirilen koruyucu, önleyici faaliyetlerin işletmeler için ilave maliyet getireceği bir kısıt olarak sunulmuştur.

Batra ve Ioannides (2011)’in Yunanistan Elektrik Enerji Sektöründe işçi ve yöneticilere anket uygulayarak, İş Güvenliği ve Yönetim sistemlerinin değerlendirmesinin yapıldığı çalışmada kazaların nedenselliği ortaya konulmuştur. Elektrik güç sistemlerinde meydana gelen kazaların dikkatsizlik, kişisel koruyucu donanımların kullanılmaması ve beklenmedik durumlardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmada elektrik kazalarının detaylı analiz edilmesinin kazaların önlenmesinde daha iyi sonuçlar ortaya koyacağı belirtilmiştir. Ayrıca, İş Sağlığı ve Güvenliği Kurulu’nun sorumluluğunun sadece iş kazaları ve meslek hastalıkları ile ilgili konularda değil, çalışma koşullarını etkilediği ölçüde üretimle ilgili tüm konular olması gerektiği vurgulanmıştır. Ancak veri toplamak için kullanılan anketin tüm katılımcılar tarafından doldurulmaması bir eksiklik olarak vurgulanmıştır.

Marhavalas ve Koulouriotis (2012)’in Stokastik ve Deterministik süreçleri kullanarak Yunanistan Elektrik Şirketi (Üretim, İletim, Dağıtım) için yeni bir risk değerlendirme metodolojisi önerdikleri çalışmada; 17 yıllık kaza istatistikleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmada iş kazalarının daha çok düşmeler, sıkışma, ezilme, sabit nesnelere çarpmalar ve çökmeler sonucu meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada tek bir metodolojinin kazaların önlenmesinde tek başına yeterli olmayacağı, farklı metodolojilerin paralel kullanılarak risk analizi çalışmalarının yapılması

gerekliliği ortaya konulmuştur. Bu nedenle risk önleme çalışmalarında kullanılmak üzere stokastik ve deterministik süreçlerin birlikte kullanıldığı hibrit bir model önerilmiştir. Yapılan analizlerde risk değerlendirme çalışmaları için önerilen modelin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Yapılan çalışmanın sadece risk skorlarının belirlenmesi için yapıldığı, koruma önleme faaliyetlerine yönelik herhangi bir veri içermediği bunun için yeni çalışmalar yapılması gerektiği belirtilmektedir.

Bostancıoğlu ve Arslan Çakmak (2024)'ın TCDD Sivas Beton travers fabrikasında tespit edilen 109 adet iş sağlığı ve güvenliği riskini; L tipi matris, Fine-Kinney, Hata türleri ve etkileri analizi ile bulanık mantık yöntemleriyle analiz ederek kıyasladıkları çalışmada bulanık mantık yönteminin en iyi performansı gösteren risk değerlendirme yöntemi olduğu belirtilmiştir. Bulanık mantık ile risk değerlendirmesi çalışmalarında girdi ve çıktı üyelik fonksiyonlarının uzman görüşüyle seçilebilmesinin yöntemin verimliliği üzerine etkin bir faktör olduğu hususu vurgulanmıştır. Ancak çalışmada bir duyarlılık analizi yapılmamasının bulanık mantık yönteminin başarısı üzerine kesin bir yargıya varılmasını zorlaştırdığı hususu belirtilmiştir.

Ergün ve Kahraman (2023)'ın elektrik yapım işi sektöründe faaliyet gösteren bir firmada tespit edilen 915 risk üzerinde bulanık Fine-Kinney yöntemi ile klasik Fine-Kinney yöntemini kıyaslayarak yapmış oldukları çalışmada, klasik Fine-Kinney yönteminin ara değerleri tespit edememesi ve hassas sonuç üretememesi nedeniyle yetersiz kaldığı vurgulanmıştır. Bulanık Fine-Kinney yönteminin çıktılarına bakıldığında risklerin, klasik Fine-Kinney'e göre bir üst önem derecesinde çıkmış olduğu ve bunun iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin belirlenmesi açısından olması gereken bir durum olduğu belirtilmiştir. Ancak klasik yöntemle göre bir üst önem derecesinde çıkan riskler için alınacak önlemlerin maliyeti arttıracığı konusu üzerinde durulmuştur.

Engin ve Canlar Durmaz (2023)'ın on blok on iki katlı ve yirmi ana faaliyeti olan inşaat şantiyelerinde bulanık risk analiz yöntemini kullanarak yapmış oldukları ve en önemli risklerin, çalışanın kazı çukuruna düşmesi, işçinin kalıp üzerinden düşmesi, kalıbın çökmesi, çalışanın iskeleden düşmesi, vinç devrilmesi, duvar çökmesi ve elektrik çarpması olduğu 198 adet risk tespit edilmiştir. Bulanık mantık yöntemiyle elde edilen risk skorlarının hata türleri ve etkileri analizi yöntemi ile kıyaslandığı çalışmada, bulanık mantık yönteminin daha doğru ve mantıklı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Ancak çok kriterli bulanık mantık yöntemi kullanılmasının, inşaat sahalarında iş kazası ve meslek hastalıklarını önlemede daha etkili olabileceği belirtilmiştir.

Gada vd. (2024)'nin Hindistan'da halı dokuma işlerinde çalışan 200 işçiyle risk faktörlerini ölçerek bunların kas-iskelet sistemi bozuklukları üzerindeki etkilerine dair bulanık mantık yöntemiyle geliştirmiş oldukları ve sonuçlarını gerçek kas iskelet sistemi hastalık verileriyle kıyasladıkları çalışmalarında, bulanık mantık model sonucu ile gerçek kas iskelet sistemi hasar verileri arasında yüksek oranda bir korelasyon elde edildiği belirtilmiştir. Dolayısıyla bulanık mantık ile yapılan bu çalışmanın gerçek veriler olmadan da gerçeğe yakın çıktılar verdiği üzerinde durulmuştur. Ancak çalışmanın sadece Hindistan'da yapılmasının halı dokuma işi yapan diğer ülke çalışanlarına birebir uygulanmasının çalışma koşullarının farklılıklarından dolayı kesin sonuçlar ortaya koyamayacağı belirtilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, mevzuatımıza göre çok tehlikeli sınıfta yer alan elektrik dağıtım işlerindeki iş sağlığı ve güvenliği risklerinin tespit edilerek bulanık mantık tip 2 yöntemiyle risk skorlarının hesaplanmasıdır. Çalışmada, elektrik dağıtım sektöründe meydana gelen iş kazalarına ait 25 yıllık istatistikler analiz edilerek gerekli veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda elektrik dağıtım işlerinde yapılan iş ve işlemlere ait 152 adet risk tespit edilmiştir. Tespit edilen risklerin, risk skorlarının hesaplanması amacıyla MATLAB® bulanık mantık araç kutusu yardımıyla 3 giriş ve 1 çıkıştan oluşan sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin MATLAB® 2023b bulanık mantık araç kutusu tip-2 versiyonunda çalıştırılmasıyla 152 riske ait risk skorları

hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama neticesinde elektrik dağıtım işlerinde, 12 risk düşük, 55 risk olası, 31 risk önemli, 31 risk yüksek ve 23 risk çok yüksek olarak tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Toplama ve Hazırlama

Çalışmada 1994 yılından 2019 yılına kadar Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. tarafından yayımlanan istatistik kitapçıkları incelenerek genel iş kazası istatistiklerinin derlemesi yapılmıştır. Yapılan çalışmada 25 yıl boyunca elektrik dağıtım işlerinde 18549 iş kazası meydana geldiği tespit edilmiştir. Meydana gelen iş kazalarının, 666'sı ölüm, 1826'sı ağır yaralanma, 14903'ü hafif yaralanma ve 1154'ü de maddi hasarla sonuçlanmıştır (TEDAŞ, 2019). Tablo 1'de, elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen iş kazalarının kaza sonucuna göre dağılımı ve dağılım yüzdeleri gösterilmektedir.

Tablo 1. Elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen iş kazaları (TEDAŞ, 2019)

İş Kazası Sonucu	Kaza Sayısı	Yüzde (%)
Ölüm	666	3,59
Ağır yaralanma	1826	9,84
Hafif yaralanma	14903	80,34
Maddi hasarlı	1154	6,22
Toplam	18549	~100,0

Tablo 1'de 25 yıl boyunca meydana gelen kazaların genel görünümü verilmiştir. Ancak elektrik dağıtım işlerinde etkili bir risk değerlendirmesi yapılabilmesini sağlamak amacıyla daha ayrıntılı ve özel verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 2: Elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen iş kazalarının kaza sonucuna göre dağılımı (TEDAŞ, 2019)

Kaza nedeni	İş kazası
Elektrik çarpmaları	3083
Duvardan, merdivenden, ağaçtan veya uygun olmayan yükseltici platformdan düşme	1427
Yürürken düşme, ayak burkulması, kırılması vb. ile bayılmalar, çarpmalar	1077
Direkten düşmeler	1710
Direkle birlikte düşmeler	441
Elektrik arkları	3518
İşçinin üzerini malzeme düşmesi veya sıcak, asitli vb. sıvı dökülmesi	477
Kesikler, sıkışma, ezilme, cisim batması, zehirlenme vb.	2315
Hayvan saldırısı, ısırması, sokması vb.	1121
Müşteri saldırısı, darp vb.	843
Trafik kazaları	2400
Kalp krizi	25
Boğulma	5
Sepetli araçtan düşme	107
Toplam kaza sayısı	18549

Bu aşamada elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen 18549 iş kazasının kaza raporları incelenerek kazaların daha detaylı analizleri yapılmış, kazaların hangi işi yaparken ve nasıl meydana geldiği detaylı olarak belirlenmiştir. Kazalara ilişkin detaylı veriler Tablo 2 ve 3'te gösterilmektedir.

Tablo 2 incelendiğinde en fazla iş kazasının elektrik arkları sonucu meydana geldiği, bunu elektrik çarpması, trafik, kesikler, sıkışma, ezilme, cisim batması, zehirlenme vb. kaynaklı iş kazalarının izlediği görülmektedir.

Tablo 3: Elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen iş kazalarının kaza yerine göre dağılımı (TEDAŞ, 2019)

Kazanın olduğu yer	İş kazası sayısı
Alçak gerilim dağıtım hattı iş ve işlemleri	2140
Aydınlatma şebekesi iş ve işlemleri	1032
Alçak gerilim dağıtım panosu ve saha dağıtım kutusu çalışmaları	2150
Abone bağlantı hattı iş ve işlemleri	1616
Elektrik sayacı sökme, takma, okuma vb. iş ve işlemleri	2887
Alçak veya yüksek gerilim yer altı kablosu iş ve işlemleri	488
Yüksek gerilim hattı iş ve işlemleri	1323
Müşterek direkte yapılan çalışmalar	516
Direk üstü trafo iş ve işlemleri	371
Ayırıcı direğinde yapılan işler	340
Yüksek gerilim sigorta değişimi	117
Dağıtım merkezi, indirici merkez veya transformatör binalarında yapılan çalışmalar	839
Sepetli araçlarda yapılan çalışmalar	430
Elektrik şebekesi yapım ve bakım işleri	1634
Yükleme, boşaltma, montaj vb. mekanik işler ile atölyede yapılan işler	488
Ofislerde yapılan çalışmalar ile işe gidiş gelişler, araçlara binme ve inme sırasındaki iş kazaları	2178
Toplam kaza sayısı	18549

Tablo 3 incelendiğinde elektrik dağıtım işlerindeki kazaların en çok 'elektrik sayacı sökme, takma, okuma vb. iş ve işlemleri' sırasında meydana geldiği, bunu sırasıyla ofislerde yapılan çalışmalar, alçak gerilim dağıtım panosu ve saha dağıtım kutusu çalışmaları, alçak gerilim dağıtım hattında yapılan çalışmalar, elektrik şebekesi yapım ve bakım çalışmaları ile yüksek gerilim hattı iş ve işlemleri sırasındaki çalışmaların izlediği görülmektedir.

Çalışmamızın sonraki aşamalarında kaza şiddeti değişkeninin hesaplanabilmesi amacıyla ölümlü ve ağır yaralanmalı iş kazalarının kaza nedenine göre gruplandırılması yapılmıştır.

Tablo 4'ten de görüleceği üzere elektrik dağıtım işlerindeki ölümlü ve ağır yaralanmalı kazalar genellikle elektrik çarpması, elektrik arkları ve direktten düşmeler, direkte birlikte düşmeler ve trafik kazaları sonucu meydana gelmiştir.

Tablo 4: Elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen ölümlü ve ağır yaralanmalı iş kazası sayıları (TEDAŞ 2019)

Kaza nedeni	İş kazası sayısı
Elektrik çarpmaları	1205
Duvardan, merdivenden, ağaçtan veya uygun olmayan yükseltici platformdan düşme	48
Direkten düşmeler	286
Direkle birlikte düşmeler	101
Elektrik arkları	450
İşçinin üzerini malzeme düşmesi veya sıcak, asitli vb. sıvı dökülmesi	43
Kesikler, sıkışma, ezilme, cisim batması, zehirlenme vb.	22
Hayvan saldırısı, ısırması, sokması vb.	7
Müşteri saldırısı, darp vb.	14
Trafik kazaları	298
Kalp krizi	13
Boğulma	5
Toplam kaza sayısı	2492

2.2. Tehlike ve Risklerin Belirlenmesi

Tehlikelerin tanımlanmasıyla ortaya çıkabilecek kaza senaryolarının belirlenmesi de kolaylaşacaktır. Kaza senaryolarında insanın tehlikeli durumlar karşısında nasıl davranacağı, hangi etkilere maruz kalacağı belirlenmiştir. Bu durum risk analizi işlemlerinde öncelikle tehlikelerin belirlenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Aras vd., 2011).

Çalışmamızda 1994-2019 yılları arasında meydana gelen iş kazalarının hangi iş ve işlemlerde ortaya çıktığının analiz edilmesiyle elektrik dağıtım işlerinde ne tür tehlike ve risklerin olduğu kendiliğinden ortaya çıkmıştır. Tehlikelerin tespit edilmesinin ardından sistemdeki riskler tespit edilmiştir. Belirlenen tehlikelerin ne tür riskler doğurabileceği 25 yıllık kaza raporları incelenerek belirlenmiştir. Yapılan çalışmada öncelikle tüm tehlike ve risklerin tespiti yapılmış ardından benzer olanlar birleştirilmiştir. Neticesinde elektrik dağıtım işlerine ait 33 benzersiz tehlike, 17 benzersiz risk tespit edilmiştir. Tespit edilen benzersiz tehlike ve riskler Tablo 5 ve Tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 5: Elektrik dağıtım işlerindeki tehlikeler

Yüksekte yapılan çalışmalarda emniyet kemeri, tırmanma kancası kullanılmaması
Enerji kontrolü yapılmadan çalışmaya başlanması
Alçak gerilim şebeke ve tesislerinde enerji altında çalışılması
Ağaç direk sağlamlık kontrolü yapılmadan çalışılması
Çalışma bölgesinde kişisel koruyucu donanımlar olmadan bulunulması
İşe başlamadan önce çalışma alanında gerekli çevre kontrollerinin yapılmaması
Çalışma alanında gerekli güvenlik önlemlerinin alınmaması, çevre kontrolü yapılmaması
Çalışma alanında trafik güvenliği önlemlerinin alınmaması
İş yaparken veya işe geliş gidişlerde aceleci davranılması
Gerekli topraklama ve kısa devre işlemlerinin yapılmaması
Yüksek veya alçak gerilim sigortası yerine tel sarılması
Trafo veya ayırıcı direklerinde sigortaların bulunduğu bölümden direğe çıkılması
Adi ayırıcının yük altında açılması
Adi ayırıcı kontaklarının açıldığının gözle kontrol edilmemesi
Çalışma sırasında gerekli iş güvenliği malzemelerinin kullanılmaması
Enerji yakınında yapılan çalışmalarda emniyet mesafelerine dikkat edilmemesi
Çalışma alanının dağınık veya düzensiz olması, çalışma alanındaki aydınlatmasının yetersiz olması

Tablo 5'in devamı

Kullanılan ölçü ve test cihazlarının tesis tipine uygun olmaması
Transformatör rezerve tankının koklanması
Müşterek direklerde alçak gerilim hattında çalışma yapılırken yüksek gerilim hattının enerjisinin kesilmemesi
Alçak gerilim hatlarında bulunan aydınlatma şebekelerinde alçak gerilim hattının enerjisinin kesilmeden çalışılması
Tesis, teçhizat veya ölçü test cihazları bakımlarının zamanında yapılmaması
Çalışanların gerekli teknik eğitimleri almadan çalışması veya çalıştırılması
Çalışmalarda işe veya tesise uygun merdiven veya yükseltici platform kullanılmaması
Platformlu araçla yapılan çalışmalarda sepet içinde emniyet kemeri kullanılmaması
Sepetli araç periyodik bakımlarının zamanında yapılmaması
Uygun olmayan metotlarda malzeme taşınması veya yüklenmesi
Araçla işe gidiş gelişler sırasında trafik kurallarına uyulmaması
Çalışanların periyodik muayenelerinin zamanında ya da usulüne uygun yapılmaması
Müşteri iletişimde yaşanan aksaklıklar
Çalışma ofislerinin ergonomik olmaması
Ofis çevresinde başıboş sokak hayvanlarının bulunması
Çalışanlara gerekli iş güvenliği eğitimlerinin verilmemesi

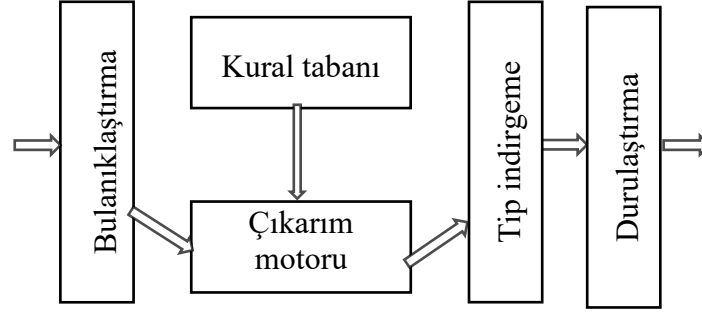
Tablo 6: Elektrik dağıtım işlerindeki riskler

Direkten düşme sonucu meydana ölüm veya yaralanmalar
Elektrik arkından kaynaklı yanıklar nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar
Elektriğe çarpılma sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar
Direkle birlikte düşmeler nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar
Kesme, sıkışma, ezilme, cisim batması neticesinde oluşan ölüm veya yaralanmalar
İşçinin üzerini malzeme düşmesi sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar
Hayvan saldırısı, ısırması, sokması vb. neticesinde meydana gelen yaralanmalar
Trafik kazaları sonucu ortaya çıkan ölüm veya yaralanmalar
Yürürken düşme, ayak burkulması, kırılması vb. sonucu oluşan vücut hasarları
Uygun olmayan seyyar yükseltici iş platformlarından düşme dolayısıyla oluşan ölüm veya yaralanmalar
Müşteri saldırısı nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar
Duvardan, ağaçtan veya merdivenden düşme sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar
Bina içerisinde düşme veya çarpma neticesinde oluşan ölüm veya yaralanmalar
Zehirlenme nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar
Sistemde kullanılan malzeme veya teçhizatın patlaması sonucu oluşan vücut hasarları
Sepetli aracın devrilmesi veya sepetin kontrolsüz şekilde düşmesi neticesinde oluşan ölüm veya yaralanmalar
Kalp krizinin neden olduğu ölüm veya diğer yaralanmalar

Elektrik dağıtım işlerindeki tehlike ve risklerin belirlenmesi sonrası konu alanı uzmanı araştırmacı tarafından ortaya çıkabilecek risklerin listesi hazırlanmıştır. Yapılan tüm bu işlemlerin neticesinde elektrik dağıtım işlerindeki ana faaliyet alanlarında 152 adet risk tespit edilmiştir.

2.3. MATLAB® Bulanık Mantık Araç Kutusu ile Sistemin Modellenmesi

Yapılan analizlerden yola çıkarak uygulama alanında tespit edilen 152 adet riskin, risk skorlarının hesaplanabilmesi amacıyla bulanık mantık tip-2 tabanlı bir sistem tasarlanmıştır. Şekil 1'de sistemin modellenmesi gösterilmektedir.



Şekil 1: Bulanık mantık tip-2 sistem modeli (Karaköse ve Makinist, 2013)

2.3.1. Girdi Değişkenlerinin Belirlenmesi

Girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması, üyelik fonksiyonları vasıtasıyla uygun bulanık kümelerin her birine ait olma derecelerini belirleyen çıkarım sistemindeki ilk adımdır (Duijne, 2008). Elektrik dağıtım işlerinde risk değerlendirmesi için önerilen bulanık çıkarım sisteminde girdi değişkenleri, olabilirlik, frekans ve şiddettir.

2.3.2. Olabilirlik Giriş Değişkeni ve Belirlenmesi

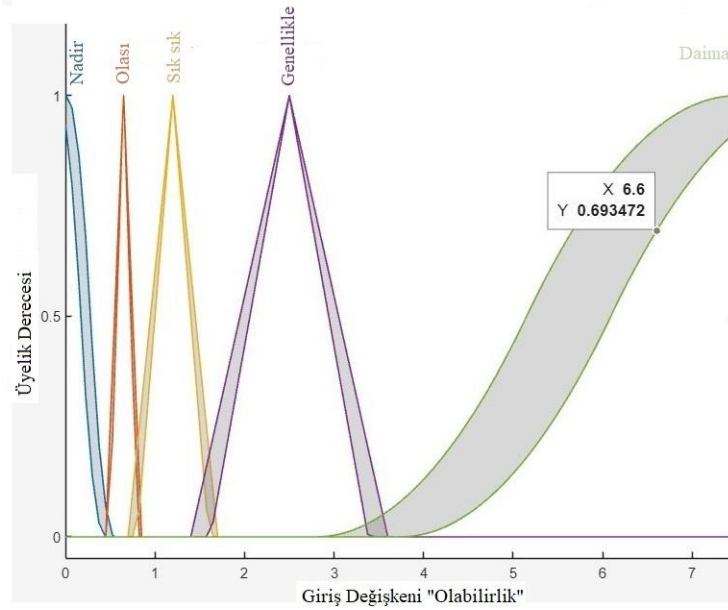
Bir senaryonun gerçekleşme ihtimalini değerlendirmek için öncelikle bir ürünün tehlikeli olma veya tehlikeli hale gelme olasılığının belirlenmesi gerekir (Güranlı, 2006). Kaza olabilirliği; gerçekleşecek, gerçekleşmesi muhtemel bir olayın olabilirlik derecesini incelemekte ve sayısal olarak açıklayabilmektedir (Høj ve Kröger, 2002). Olabilirliğin belirlenmesi amacıyla; geçmiş kayıtlardan, uygun basılmış literatürden, saha araştırmalarından, tecrübe ve prototiplerden, ortaya konulmuş diğer metotlardan ve uzman görüşlerinden yararlanılabilmektedir (IEC ISO 31010, 2019).

Çalışmamızda, 'olabilirlik' parametresinin hesaplanması amacıyla IEC/ISO 31010 standardında belirtilen beş kategori referans alınmıştır (Reliability Analysis Center, 1993). Olabilirlik değişkeni kazaların olma olasılığını ifade ettiği varsayımından hareketle 25 yıllık iş kazalarının çalışma alanlarına göre yüzdesel dağılımı hesaplanmıştır. Elde edilen yüzde dağılımına göre IEC 31010:2019-06 standardında belirtilen beş kategori referans alınarak Tablo 7'de belirtilen olabilirlik parametresi elde edilmiştir.

Tablo 7: Olabilirlik değişkeni üyelik dereceleri

Olabilirlik	Tanım	Açıklama
$\mu \leq 0,5$	Nadir	İstisnai durumlarda olabilir
$0,5 < \mu \leq 0,75$	Bazen	Bazı zaman belki olabilir
$0,75 < \mu \leq 1,5$	Sık Sık	Ara sıra olabilir
$1,5 < \mu < 3$	Genellikle	Çoğu zaman olma olasılığı var
$\mu \geq 3$	Daima	Her çalışmada olması muhtemel

Tablo 7'ye göre 5 kategoriye ayrılan 'olabilirlik' değişkeni için kazaların olma yüzdesine göre bulanık mantık dilsel değişken tanımlaması yapılmıştır. Kaza olma olasılığı; %0,5'ten düşük kazalar için 'nadir', %0,5 ile 0,75 arası kazalar için 'bazen', %0,75 ile %1,5 arası kazalar için 'sık sık', %1,5 ile %3 arası kazalar için 'genellikle', %3'ten büyük kazalar için ise 'daima' dilsel değişkenleri tanımlanmıştır. Tanımlanan dilsel değişkenlere göre MATLAB® bulanık mantık araç kutusu ile oluşturulan olabilirlik değişkenine ait üyelik dereceleri ekran çıktısı Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2: Olabilirlik değişkeni üyelik dereceleri gösterimi

2.3.3. Frekans Değişkeni ve Belirlenmesi

Kazaların olabilirlik değerleri gelecek olasılık değerlerinin hesaplanmasında veya tahmin edilmesinde tek başına yeterli değildir. Bazı durumlarda meydana gelen kazaların hangi sıklıkta ortaya çıktığının belirlenmesi gelecek tahminlerinde yol gösterici olabilmektedir. Bu gibi durumlarda eldeki veriler yeterli ise geçmiş dönem istatistiklerinden faydalanılarak kazaların frekans değerleri hesaplanır (Güranlı ve Müngen, 2006).

Frekans değerleriyle ilgili farklı çalışmalarda farklı sayısal değerler kullanılsa da tanım olarak hemen hemen aynı ifadeler kullanılmıştır. Genel olarak belirlenen sayısal değerler eldeki istatistiklerden yararlanılarak uzman görüşüyle oluşturulmaktadır (Kinney ve Wiruth, 1976).

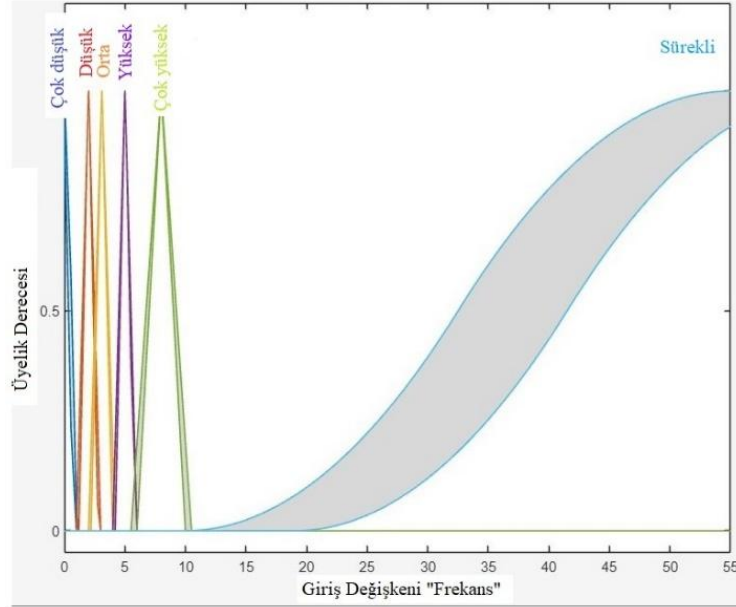
Çalışmamızda frekansın nümerik değerinin belirlenmesi amacıyla, MIL-STD-882 standartlarından türetilen ve 1976 yılında Kinney & Wiruth tarafından geliştirilen niceliksel bir risk değerlendirme yöntemi olan Fine Kinney risk değerlendirme metodu kullanılmıştır (Ulu ve Şahin, 2020).

Çalışmada 'frekans' değerinin hesaplanması amacıyla 25 yıllık iş kazası sayılarının yıllık ortalama dağılımları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler doğrultusunda bulanık mantık risk analizinin frekans bileşenini tanımlayabilmek için Fine Kinney metodunda belirtilen altı kategori temel alınarak girdi değişkeni oluşturulmuştur.

Tablo 8: Frekans değişkeni üyelik dereceleri

Frekans	Tanım	Açıklama
$\mu \leq 1$	Çok düşük	Görülme sıklığı çok düşük
$1 < \mu \leq 2.5$	Düşük	Düşük sıklıkla görülebilir
$2.5 < \mu \leq 4$	Orta	Sık olmamakla birlikte gerçekleşmesi muhtemel
$4 < \mu \leq 6$	Yüksek	Yaşanması oldukça muhtemel
$6 < \mu < 10$	Çok Yüksek	Çalışmalarda görülmemesi hemen hemen imkânsız
$\mu \geq 10$	Sürekli	Tüm çalışmalarda ortaya çıkabilir

Tablo 8'e göre 6 kategoriye ayrılan frekans değişkeni için yılda ortalama; 1 defadan az meydana gelen kazalar için 'çok düşük', 1 ile 2,5 defa meydana gelen kazalar için 'düşük', 2,5 ile 4 defa meydana gelen kazalar için 'orta', 4 ile 6 defa meydana gelen kazalar için 'yüksek', 6 ile 10 defa meydana gelen kazalar için 'çok yüksek', 10 defadan çok meydana gelen kazalar için ise 'sürekli' dilsel değişkenleri tanımlanmıştır. Tanımlanan dilsel değişkenlere göre MATLAB® bulanık mantık araç kutusu ile oluşturulan frekans değişkenine ait üyelik dereceleri ekran çıktısı Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3: Frekans değişkeni üyelik dereceleri gösterimi

2.3.4. Şiddet Değişkeni ve Belirlenmesi

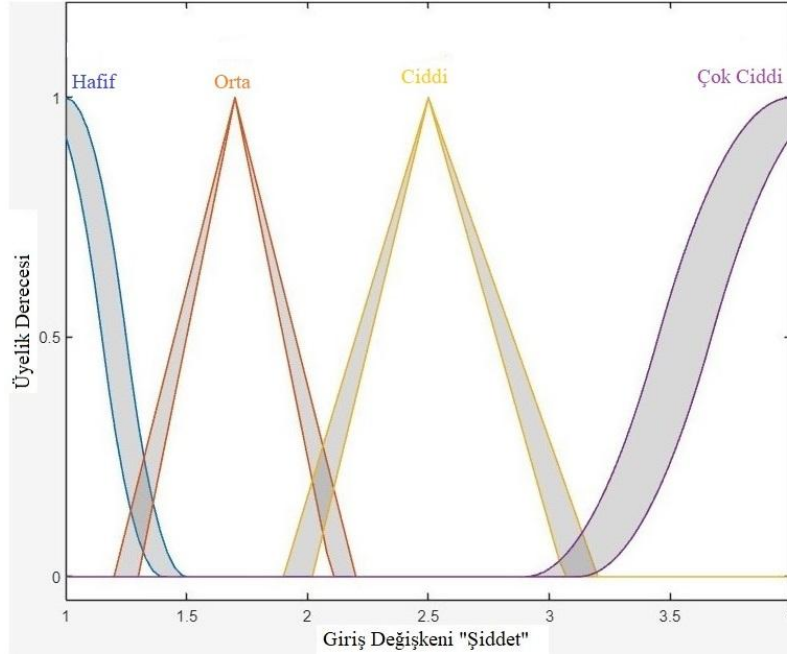
Bir tehlikenin çalışan üzerinde yol açabileceği yaralanmanın şiddeti farklı derecelerde olabilir. Şiddet, tehlikelerin kazaya dönüştüğünde nasıl etki göstereceğini belirlemektedir (European Commission, Guidelines for the management of the European Union Rapid Information System, 2018). Yaralanmaların veya sağlığa verilen zararın şiddet derecesi, iyileşebilir yaralanmalar, kalıcı vücut hasarları ve ölüm dikkate alınarak belirlenebilir (IEC ISO 31000:2018, 2018).

Çalışmamızda 'şiddet' girdi değişkeni üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi amacıyla; Avrupa Birliği 2001/95/EC direktifi doğrultusunda hazırlanan genel ürün güvenliği ve bildirim sistemi rehberinde risk değerlendirmesi şiddet bileşeni için önerilen 4 seviyesi baz alınmıştır (European Commission, Guidelines for the management of the European Union Rapid Information System, 2018). Şiddet değişkeni üyelik dereceleri Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 9: Şiddet değişkeni üyelik dereceleri

Şiddet	Tanım	Açıklama
$\mu \leq 1$	Hafif	Maddi hasarla sonuçlanan kazalardır
$1 < \mu \leq 2$	Orta	İyileşebilir küçük kesikler, morluklar, birinci derece yanıklar.
$2 < \mu \leq 3$	Ciddi	Kalıcı kas iskelet sistemi hasarları, körlük, işitme kaybı, üçüncü derece yanıklar.
$3 < \mu \leq 4$	Çok ciddi	Uzuv kayıplı veya ölümle sonuçlanan kazalar

Tablo 9'a göre 4 kategoriye ayrılan şiddet değişkeni için; çalışanın vücut bütünlüğüne zarar vermeden sadece sistemde yer alan malzeme, teçhizat veya araç, gereçlerin zarar gördüğü kazalar için 'hafif', ayakta tedavi edilebilen veya 20 günden daha az iş göremezlikle sonuçlanan kazalar için 'orta', 20 gün ve üzeri iş göremezlikle sonuçlanan kazalar için 'ciddi', uzuv kayıplı veya ölümlü kazalar için ise 'çok ciddi' dilsel değişkenleri tanımlanmıştır. Tanımlanan dilsel değişkenlere göre MATLAB® bulanık mantık araç kutusu ile oluşturulan şiddet değişkenine ait üyelik dereceleri ekran çıktısı Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4: Şiddet değişkeninin MATLAB® üyelik fonksiyonu gösterimi

2.3.5. Risk Düzeyi Çıktı Değişkeni ve Belirlenmesi

Risk analizi; riskin ele alınması gerekip gerekmediğine, nasıl ele alınacağına, en uygun risk önleme stratejisi ve yöntemlerine ilişkin kararlara girdi sağlar. Sonuçlar, seçeneklerin farklı tür ve düzeylerde risk içerdiği kararlar hakkında bilgi sağlar (Sii vd., 2001).

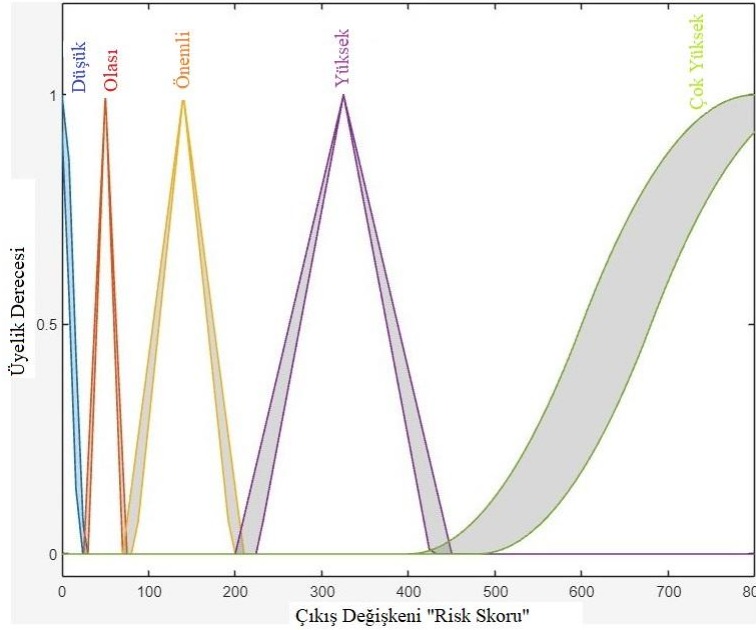
Risk değerlendirme çalışmalarında kullanılan risk düzeyini belirlemek için genel olarak dört veya beş farklı sözel ifade kullanılmaktadır. Bunlar çok yüksek, yüksek, olası, düşük ve kabul edilebilir risk şeklinde tanımlanabilirler (Kinney ve Wiruth, 1976). Bu değişkenler aynı zamanda iş güvenliği çalışmalarının etkinliğini değerlendirmek amacıyla da kullanılabilirler. Burada çok yüksek risk zayıf iş güvenliği, düşük risk ise iyi iş güvenliğinin göstergesi olarak da değerlendirilebilmektedir (Tadic vd., 2012).

Tablo 10: Risk skoru üyelik dereceleri

Risk skoru	Tanım	Açıklama
≥ 400	Çok yüksek	Çalışmanın durdurulması düşünülmeli
$200 < \mu < 400$	Yüksek	Acil düzeltme gerekli
$70 < \mu \leq 200$	Önemli	Düzeltilme gerekli
$20 < \mu \leq 70$	Olası	Dikkat edilmeli
≤ 20	Düşük	Kabul edilebilir risk

Risk düzeyini niceliksel olarak tanımlamak için üç faktörü dikkate almamız gerekir. Bunlar; sonuçların ciddiyeti, tehliken ortaya çıkma olasılığı ve tehlike kaynağına maruz kalma sıklığıdır (Aras vd., 2011). Çalışmamızda, Fine Kinney metodunda yer alan 5 kategori temel alınarak Tablo 10'da belirtilen risk düzeyi üyelik dereceleri belirlenmiştir (Kokangül vd., 2017).

Tablo 10'a göre 5 kategoriye ayrılan 'risk skoru'nun 20 ve altında olduğu durumlar için 'düşük', 20 ile 70 arasında olduğu durumlar için 'olası', 70 ile 200 arası olduğu durumlar için 'önemli', 200 ile 400 arasında olduğu hallerde 'yüksek', 400 ve üzeri durumlar için 'çok yüksek' dilsel değişkenleri tanımlanmıştır. Tanımlanan dilsel değişkenlere göre MATLAB® bulanık mantık araç kutusu ile oluşturulan risk skoru değişkenine ait üyelik dereceleri ekran çıktısı şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5: Risk skoru değişkeninin MATLAB® üyelik fonksiyonu gösterimi

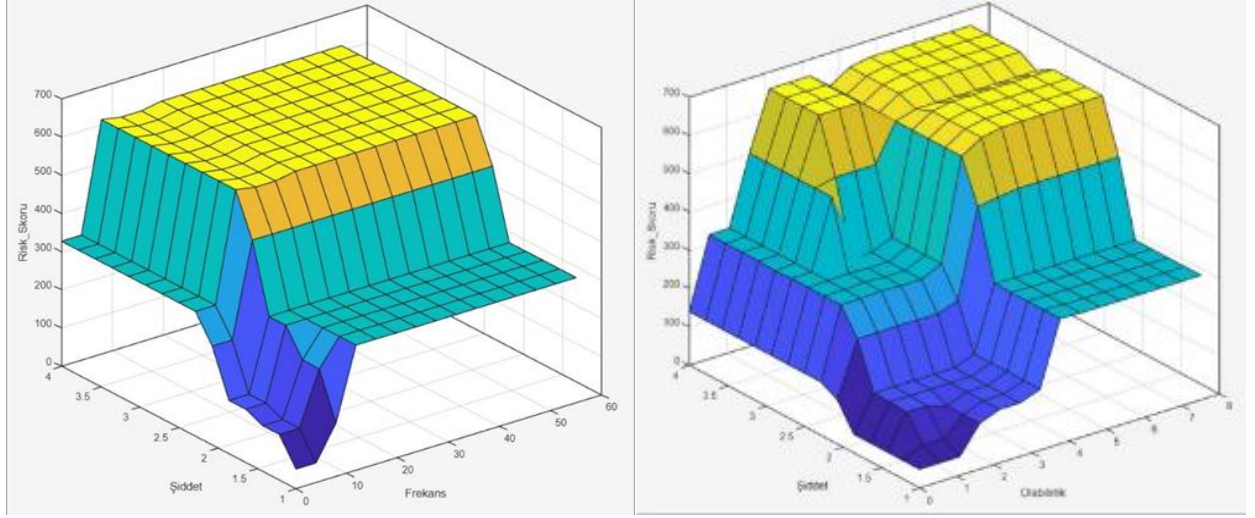
2.3.6. Bulanık Mantık Kural Tabanının Tanımlanması

Bulanık sistemleri tanımlayan dilsel bulanık kurallar 'eğer-ise' arasındaki öncül blok ile onu takip eden sonuç bloğu olmak üzere iki kısımdan oluşur (Sii vd., 2001). Bu araştırmada öncül bloklar olabilirlik, frekans ve şiddet değişkenleri için dilsel değerlerden oluşmakta olup her bir değişkenin risk skoruna olan etkisini belirleyen; hafif, orta, ciddi, çok ciddi; çok düşük, düşük, yüksek, çok yüksek, sürekli; nadir, bazen, sık sık, genellikle, daima değerlerini içermektedir. Sonuç bloğu ise, risk düzeyi için düşük, olası, önemli, yüksek ve çok yüksek dilsel tanımlamalarını içerir. Çıkış bloğundaki risk skorunu belirlemek için giriş ve çıkış blokları arasındaki bağıntıyı gösteren 120 adet kural tanımlanmıştır. Tablo 11'de kural tablosuna ait rastgele seçilmiş 7 örnek gösterilmektedir.

Tablo 11: MATLAB® bulanık mantık kural tabanı için rastgele seçilmiş 7 örnek

Risk No	Olabilirlik	Frekans	Şiddet	Risk Düzeyi
1:	Nadir	Çok düşük	Hafif	Düşük
7:	Nadir	Çok düşük	Çok ciddi	Olası
37:	Olası	Çok düşük	Ciddi	Olası
44:	Olası	Orta	Çok ciddi	Önemli
65:	Sık sık	Çok yüksek	Hafif	Olası
79:	Genellikle	Düşük	Çok ciddi	Yüksek
101:	Daima	Yüksek	Çok ciddi	Çok yüksek

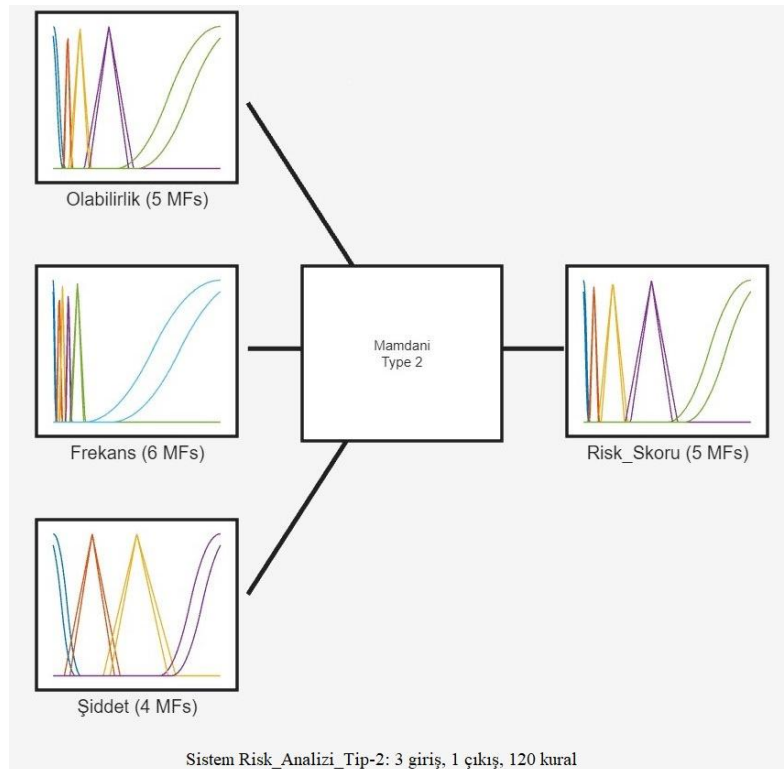
Yukarıdaki tabloda bazı örnekleri verilen MATLAB® bulanık mantık araç kutusu ile oluşturulan 120 kurala ait kural tablosunun, şiddet, olabilirlik ve frekans arasındaki bağıntıyı gösteren yüzey görselleri şekil 6 (a) ve (b)'de gösterilmektedir.



Şekil 6: Oluşturulan kural tablosunun MATLAB® yüzey görünümü (a) Şiddet – Frekans yüzey görünümü, (b) Şiddet – Olabilirlik yüzey görünümü

2.3.7. Sistemin Çalıştırılması ve Durulaştırma

Elektrik dağıtım işlerinde yapılan işlerin Risk düzeylerinin hesaplanması amacıyla MATLAB® bulanık mantık araç kutusu ile tasarlanan, 3 giriş 1 çıkış ve 120 kuraldan oluşan Mamdani tipi bulanık mantık sistemi şekil 7’de görülmektedir. Çalışmamızda tanımlanan kuralların sonuçlarının birleştirilmesi için, hızlı ve basit bir operatör olan max-min bulanık çıkarım mekanizması kullanılmıştır. Elde edilen çıktıların durulaştırılması için ise en yaygın yöntem olan ağırlık merkezi (centroid) yöntemi kullanılmıştır (Hagras, 2007).



Şekil 7: Tasarlanan sistemin MATLAB® gösterimi

3. Bulgular

Yapılan çalışmada öncelikle elektrik dağıtım işlerinde meydana gelen iş kazalarının genel istatistikleri çıkarılmıştır. 1994-2019 yılları arasında 666'sı ölümlü, 1826'sı ağır yaralanmalı, 14903'ü hafif yaralanmalı ve 1154'ü maddi hasarlı olmak üzere 18549 iş kazası meydana gelmiştir.

Yapılan analizlerde; kaza oluş şekli bakımından, iş kazalarının yoğun olarak elektrik arkı (3518 kaza), elektrik çarpması (3083 kaza) ve direktten düşmeler (1710 kaza) sonucu meydana geldiği tespit edilmiştir.

Kaza oluş şekli bakımından ölümlü ve ağır yaralanmalı iş kazaları incelendiğinde, iş kazalarının daha çok elektrik çarpması (1205 kaza), elektrik arkı (450 kaza) ve direktten düşmeler (387 kaza) neticesinde meydana geldiği görülmüştür.

Meydana gelen iş kazalarının kaza oluş yeri göz önüne alınarak incelemesi yapıldığında ise, en fazla iş kazasının abone sayaç bağlantısı iş ve işlemleri (2887 kaza), alçak gerilim dağıtım panosu ile saha dağıtım kutusu iş ve işlemleri (2150 kaza), alçak gerilim hattı iş ve işlemleri (2140 kaza) sırasında meydana geldiği görülmüştür.

Alçak gerilim hattında meydana gelen kazaların büyük bölümünü elektrik çarpması ve düşmeler oluştururken (1192 kaza), abone sayaç bağlantısı, saha dağıtım kutusu ve alçak gerilim dağıtım panosunda yaşanan kazaların büyük bölümünü elektrik arkları ve elektrik çarpmaları (1588 kaza) oluşturmaktadır.

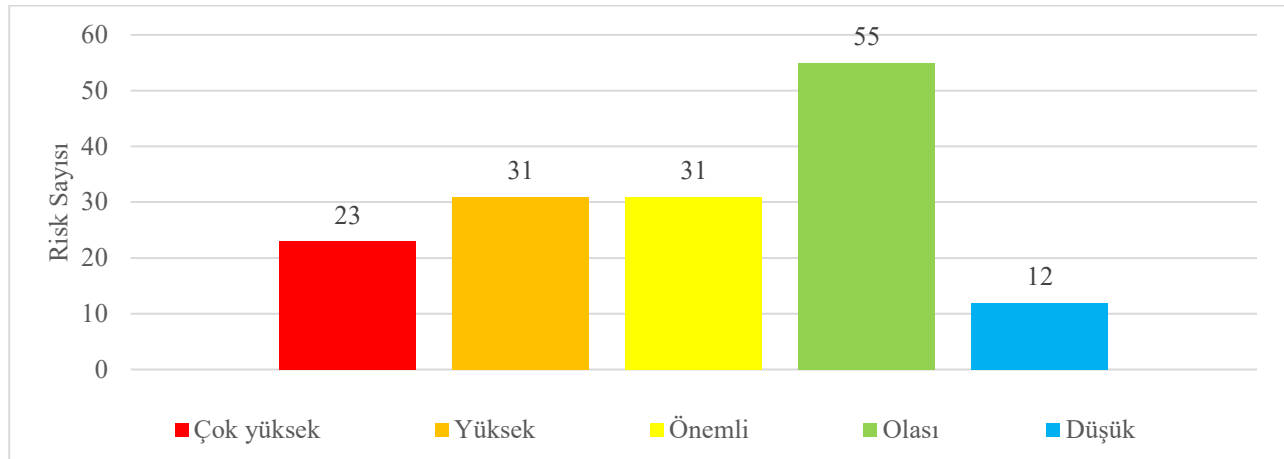
Ölümlü ve ağır yaralanmalı iş kazaların daha çok yüksek gerilim hattı iş ve işlemleri (518 kaza), alçak gerilim hattı iş ve işlemleri (431 kaza), dağıtım merkezi, kök binası, indirici merkez, trafo binasında yapılan çalışmalar (133 kaza) sırasında ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Karayollarında yapılan çalışmalar veya işe gidiş gelişler sırasında yaşanan 64'ü ölümlü, 234'ü ağır yaralanmalı olmak üzere 2400 trafik kazası meydana geldiği ortaya çıkarılmıştır.

Tespit edilen risklerin risk değerlendirme çalışmalarında kullanılabilmesi için risk skorlarının belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmada, risk skorlarının hesaplanması için, düşük, yüksek, orta, az, çok gibi dilsel ifadelerin matematiksel modeller olmadan sisteme tanımlanabileceği, bulanık mantık yöntemiyle yapılmıştır.

Bu aşamada önceki bölümlerde bahsedilen MATLAB® bulanık mantık araç kutusu yardımıyla tasarlanan sistemin MATLAB® 2023b versiyonunda çalıştırılmasıyla daha önce tanımlanmış olduğumuz 152 adet riske ait risk düzeyleri, MATLAB® bulanık mantık araç kutusu tip 2 yöntemine göre sistem tarafından hesaplanmıştır. Bulanık mantık araç kutusu çıkarım mekanizmasında, basit ve hızlı bir metot olan bulanık mantık tip 1 yerine belirsizliğin yüksek olduğu sistemlerde üyelik fonksiyonlarının daha iyi tanımlanabildiği (Hagras, 2007) bulanık mantık tip 2 yöntemi tercih edilmiştir.

Hesaplama sonucunda tespit edilen risklerin, 23'ü çok yüksek, 31'yüksek, 31'i önemli, 55'i olası ve 12'si de düşük çıkmıştır. Tespit edilen risklere ait dağılımlar şekil 8'de sunulan grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 8: Elektrik dağıtım işlerinde tespit edilen risklerin dağılımları

Sistemin MATLAB® 2023b versiyonunda çalıştırılmasıyla; en düşük risk düzeyinin 19,35, en yüksek risk düzeyinin ise 658,15 olduğu sistem tarafından hesaplanmıştır. Sistemde var olan risklerin tehlike kaynaklarına göre gruplandığı bazı örnekleri Tablo 12’de sunulmaktadır.

Tablo 12: Elektrik dağıtım işlerinde tespit edilen risklere ait risk düzeyi örnekleri tablosu

Tehlike	Risk	Olabilirlik	Frekans	Şiddet	Risk Skoru
Alçak gerilim dağıtım hattı iş ve işlemleri					
Yüksekte yapılan çalışmalarda emniyet kemeri, tırmanma kancası kullanılmaması	Direkten düşme sonucu meydana ölüm veya yaralanmalar	2,84	21,04	4	634,58
Gerekli topraklama ve kısa devre işlemlerinin yapılmaması, enerji kontrolü yapılmadan çalışılması	Elektrik arkından kaynaklı yanıklar nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar	1,17	8,68	3	325,14
İşe başlamadan önce çalışma alanında gerekli çevre kontrollerinin yapılmaması	Hayvan saldırısı, ısırması, sokması vb. neticesinde meydana gelen yaralanmalar	0,205	1,52	2	19,35
Yüksek gerilim hattı iş ve işlemleri					
Yüksekte yapılan çalışmalarda emniyet kemeri, tırmanma kancası kullanılmaması	Direkten düşme sonucu meydana ölüm veya yaralanmalar	1,17	8,68	4	325,04
Gerekli topraklama ve kısa devre işlemlerinin yapılmaması, enerji kontrolü yapılmadan çalışılması	Elektriğe çarpılma sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar	2,776	20,06	4	629,67
Dağıtım merkezi, indirici merkez, transformatör binalarında yapılan çalışmalar					
Açık tip hücrede ayırıcının yük altında açılması	Elektrik arkından kaynaklı yanıklar nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar	2,1	17,2	4	604,00
Çalışma alanının dağınık, düzensiz olması, aydınlatmasının yetersiz olması	Bina içerisinde düşme veya çarpma neticesinde oluşan ölüm veya yaralanmalar	0,5	3,68	2	47,93
Müşterek direkli şebeke iş ve işlemleri					
Alçak gerilim hattında çalışma yapılırken yüksek gerilim hattının enerjisinin kesilmemesi	Elektriğe çarpılma sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar	1,09	8,08	4	325,03
Aydınlatma şebekesi iş ve işlemleri					
Alçak gerilim hattıyla aynı şebeke üzerinde bulunan aydınlatma şebekelerinde alçak gerilim hattının enerjisinin kesilmeden çalışılması	Elektriğe çarpılma sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar	1,62	12	3	504,00

Tablo 12'nin devamı

Abone bağlantı hattı iş ve işlemleri					
Yüksekte yapılan çalışmalarda emniyet kemeri kullanılmaması	Direkten düşme sonucu meydana ölüm veya yaralanmalar	1,4	10,36	3	328,00
Çalışma sahasında gerekli iş güvenliği tedbirlerinin alınmaması	Müşteri saldırısı nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar	2,19	16,24	2	260,00
Alçak gerilim dağıtım panosu ve saha dağıtım kutusunda yapılan çalışmalar					
Enerji kesilmeden veya enerji kontrolü yapılmadan çalışması	Elektrik arkından kaynaklı yangınlar nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalar	6,92	51,36	3	658,15
Sepetli araç ile çalışmalar					
Sepetli araç periyodik bakımlarının zamanın yapılmaması	Sepetli aracın devrilmesi veya sepetin kontrolsüz düşmesi neticesinde oluşan ölüm veya yaralanmalar	0,27	2,31	3	49,26
Yer altı kablosu çalışmaları					
Çalışma sırasında gerekli iş güvenliği malzemelerinin kullanılmaması	Kesme, sıkışma, ezilme, cisim batması neticesinde oluşan ölüm veya yaralanmalar	0,67	4,96	2	82,93
Elektrikle şebekesi yapım ve bakım çalışmaları					
Çalışma bölgesinde kişisel koruyucu donanımlar olmadan bulunma	İşçinin üzerini malzeme düşmesi sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar	0,7	5,2	2	82,93
Yükleme, boşaltma, montaj vb. işler ile atölyede yapılan işler					
Uygun olmayan metotlarda malzeme taşıma veya yükleme işlerini yapma	İşçinin üzerini malzeme düşmesi sonucu meydana gelen ölüm veya yaralanmalar	0,77	5,68	2	154,00
Ofis çalışmaları, işe gidiş gelişler sırasında yaşanan kazalar					
Araçla işe gidiş gelişler sırasında trafik kurallarına uymama	Trafik kazaları sonucu ortaya çıkan ölüm veya yaralanmalar	7,35	54,56	1	325,03
Yürüyerek işe gidiş gelişlerde dikkatsiz veya acele hareket edilmesi	Yürürken düşme, ayak burkulması, kırılması vb. sonucu oluşan vücut hasarları	1,89	14	2	260,00

4. Sonuç ve Öneriler

Elektrik dağıtım işlerinde tespit edilen 152 adet riske ait Tablo 12'de bazı örnekleri verilen risk skorları incelendiğinde, benzer risklerin farklı tehlike kaynaklarında farklı değerler aldığı görülmektedir. Bunun sebebi daha önceki bölümlerde belirlemiş olduğumuz olabilirlik, frekans ve şiddet giriş değişkenlerinin farklı olmasıdır.

Tablo incelendiğinde dikkate değer görülen bir diğer husus da elektrik çarpması veya ark yangınları ile sonuçlanan kazaların risk skorlarının çok yüksek olduğudur. Bu durum risk yönetimi profesyonellerinin iş güvenliği tedbirlerini belirlerken veya çalışanları eğitirken göz önüne alması gereken bir durumdur.

Ayrıca tablonun detaylı incelemesi yapıldığında, klasik risk analizi yöntemleriyle hesaplandığında çok düşük çıkabilecek risk düzeylerinin bulanık mantık metodolojisiyle hesaplandığında yüksek veya çok yüksek çıkabildiği görülmüştür. Bu durum giriş değişkenlerini dilsel tanımlamanın ve bulanık mantık eğer-ise kural tabanının risk değerlendirme süreçlerinde araştırmacılara sağlamış olduğu bir avantaj olarak değerlendirilmektedir. Oturakçı ve Dağsuyu (2017)'nin, "bir yapı merkezi inşaatında belirlenen tehlikelere, Klasik ve Bulanık Fine - Kinney metotları uygulayarak karşılaştırdıkları" çalışmada, "Bulanık Fine - Kinney Yönteminin Klasik yöntemle göre sonuçlara hassasiyet kazandırdığı" ortaya konulmuştur (Oturakçı ve Dağsuyu, 2017). Ak (2017)'in, bulanık mantık ve yapay sinir ağlarını

birlikte kullanarak etkili bir metot sunmayı amaçladığı çalışmasında, nöro bulanık mantığın risk değerlendirme çalışmalarında daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur (Ak, 2017).

Risk düzeyi çıktı sonuçlarının analizinde üzerinde durulması gereken başka bir husus da şiddet değeri 2 gibi düşük olan bazı risklerin risk düzeylerinin yüksek çıktığıdır. Bu durumun nedeni risk bileşenlerinin klasik risk değerlendirme yöntemlerindeki gibi matematiksel değil bulanık mantığın bulanık kural tabanlı olarak tanımlanmasıdır. Pinto vd. (2011) tarafından geleneksel yöntemlerin yetersizliğinden hareketle inşaat sektörüne ait bulanık tabanlı bir risk değerlendirme metodolojisi önerilmiştir. Çalışmada, insan merkezli problemlerin çözümünde bulanık kümeler metodunun daha esnek çıkarımlar yapılmasına olanak sağlayan bir metot olduğu belirtilmiştir (Pinto vd., 2011).

Yapılan çalışmada tespit edilen 152 riskten, 85 riskin önemli, yüksek ve çok yüksek sınıfında yer alması, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığınca yayımlanan, İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliğine göre ‘çok tehlikeli’ sınıfta yer alan ‘elektrik dağıtım işleri’ için, ne denli doğru bir tanımlama yapıldığının adeta kanıtı gibidir.

Yapılan çalışmada ortaya konulan bir diğer gerçekte, elektrik dağıtım işlerinde sadece elektrik çarpmasıyla sonuçlanan kazalar değil elektrik arkları sonucu ortaya çıkan kazalarda ciddi güvenlik sorunudur. Çünkü çalışmanın sonuçları incelendiğinde en yüksek risk, 658,15 risk düzeyi değerine sahip ‘alçak gerilim dağıtım panosu ve saha dağıtım kutusunda enerji kesilmeden veya enerji kontrolü yapılmadan çalışılması’ sonucu oluşan ‘elektrik arkından kaynaklı yanıklar nedeniyle oluşan ölüm veya yaralanmalara’ aittir.

Çalışmanın gösterdiği ve üzerinde durulması gereken bir diğer sonuçta alçak gerilim dahi olsa elektrik çarpmasıyla sonuçlanan kazaların mutlaka dikkate alınması gerektiğidir. Çünkü alçak gerilimde yapılan işlerde elektrik çarpmasıyla sonuçlanan kazaların risk düzeyleri çok yüksek sınıftadır.

Elektrik dağıtım işlerindeki risklerin tespit edilerek risk skorlarının belirlendiği bu çalışmanın, sektördeki iş kazalarının önlenmesine katkı sunacağı düşüncesiyle elde edilen sonuçların Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ile optimize edilerek daha da geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

Ak, M. F. (2017). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı Kullanılarak Risk Değerlendirmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Aras, A. S. M., Azis, A. F., Ali, F. A. & Abdul Hamid, F. (2011). Performances Evaluation and Comparison of Two Algorithms for Fuzzy Logic Rice Cooking System, *IEEE Conference on Open Systems (ICOS2011)*, 25-28 Eylül 2011, Langkawi, Malaysia.

Aydın, O. (2021). Elektrik Dağıtım Sektöründe Risk Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.

Batra, P. E. & Ioannides, M. G. (2001). Assessment of the Occupational Safety and Management System in the Greek Electric Power Industry, *International Congress on Humanising Work and Work Environment – HWWE*, 11-14 Aralık 2001, Bombay, India.

- Bostancıoğlu, M. & Arslan Çakmak, E. (2024). Use of fuzzy logic method to create risk hierarchy: concrete sleeper factory example, *Journal of Engineering Faculty*, 2(2), 35-50.
- Ceylan, H., Başhelvacı, V.S., (2011). Risk Değerlendirme Tablosu Yöntemi ile Risk Analizi: Bir Uygulama, *International Journal of Engineering Research and Development*, 3(2), 25-33.
- Duijine, F., Aken, D. & Schouten, E. G. (2008). Considerations in developing complete and quantified methods for risk assessment”, *Safety Science*, 46, 245–254.
- Engin, O. & Canlar Durmaz, R. (2023). An Occupational Safety Fuzzy Risk Analysis: An Application in a Building Construction Sites, *Celal Bayar University Journal of Science*, 19(2), 159-165.
- Ergün, U. & Kahraman, F. (2023). Elektrik Yapım İş Sektöründe Bulanık Fine-Kinney Metodu ile Risklerin Önceliklendirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 38(1), 281-292.
- Ericson, C.A. (2005). Hazard Analysis Techniques for System Safety, A John Wiley & Sons, Inc., ABD.
- European Commission, (2018). *Guidelines for the management of the European Union Rapid Information System 'RAPEX' established under Article 12 of Directive 2001/95/EC on general product safety and its notification system*. Brussels, Belgium.
- Foroutan, F. & Maleki, J. (2011). Risk Assessment for Urban Area Using Fuzzy Logic, *Uluslararası Afet Yönetimi için Coğrafi Bilgi Sistemleri Konferansı*, 31 Ekim – 4 Kasım 2011, Antalya, Türkiye
- Gada, H., Parvez, S. & Ahmad, B. (2024). Fuzzy Logic Modelling of Risk Variables Influencing Musculoskeletal Disorders in Carpet Industry: A Cross-Sectional Study, *Journal of Chiropractic Medicine*, 23(3), 83-92.
- Gürcanlı, G. E. & Müngen, U. (2006). Bulanık kümeler ile inşaatlarda yeni bir iş güvenliği risk analizi yöntemi, *İtüdergisi/d*, 5(4), 83-94.
- Gürcanlı, G. E. (2006). İnşaat Şantiyelerinde Bulanık Kümeler Yardımıyla İş Güvenliği Risk Analizi Yöntemi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Hagras, H. (2007). Type-2 FLCs: A New Generation of Fuzzy Controllers. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 2, 30-43.
- Høj, N. P. & Kröger, W. (2002). Risk analyses of transportation on road and railway from a European Perspective, *Safety Science*, 40, 337–357.
- IEC ISO 31010:2019-06(en-fr), *Risk management – Risk assessment techniques*, 2019.
- IEC ISO 31000:2018, *Risk management — Guidelines*, 2018.
- Ingle, M., Atique, M. & Dahad, S.O. (2001). Risk Analysis Using Fuzzy Logic, *International Journal of Advanced Engineering Technology*, c2(3), 96-99.
- Karakaş, İ. (2006). İş Kazası & Meslek Hastalıkları İhtilafları ve Çözüm Yolları, Yaklaşım Yayıncılık San. ve Tic. AŞ, Ankara, Türkiye.

- Karaköse, M. & Makinist, S. (2013). Image Processing Based Defuzzification Method for Type-2 Fuzzy Systems, *9th Asian Control Conference (ASCC)*, 23-26 Haziran 2013, İstanbul, Türkiye.
- Kinney, G. F. & Wiruth, A. D., (1976). Practical Risk Analysis for Safety Management, *Naval Weapons Center China Lake California*, California, ABD.
- Kokangül, A. & Polat, U., Dağsuyu, C. (2017). A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies, *Safety Science*, 91, 24–32.
- Marhavidas, P. K. & Koulouriotis, D. E. (2012). Developing a new alternative risk assessment framework in the work sites by including a stochastic and a deterministic process: A case study for the Greek Public Electric Power Provider, *Safety Science*, 50, 448–462.
- Oturakçı, M. & Dağsuyu, C. (2017). Risk Değerlendirmesinde Bulanık Fine-Kinney Yöntemi ve Uygulaması, *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 1(1), 17-25.
- Özkılıç, Ö. (2005). İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, Ajäns-Türk Basım ve Basım A.Ş., Ankara, Türkiye.
- Pinto, A., Nunes, I.L. & Ribeiro, R. A. (2011). Occupational risk assessment in construction industry – Overview and reflection, *Safety Science*, 49, 616-624.
- Pokoradi, L. (2002). Fuzzy Logic Based Risk Assessment, *Academic Affairs And Research Management System*, 1(1), 63-73.
- Reliability Analysis Center New York US, (1999). *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*, New York, ABD.
- Stranks, J. (2006) The Health & Safety Handbook, Kogan Page Limited., İngiltere.
- Sii, H. S., Ruxton, T. & Wang, J. (2001). A fuzzy-logic approach to qualitative safety modelling for marine systems, *Reliability Engineering & system Safety*, 73, 19-34.
- Tadic, D., Djapan, M., Misita, M., Stefanovic, M. & Milanovic, D. D. (2012). A Fuzzy Model for Assessing Risk of Occupational Safety in the Processing, *Industry, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 18(2), 115-126.
- Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ), (2019). TEDAŞ 2019 Yılı İş Kazaları İstatistikleri, Ankara, Türkiye.
- Ulu, M. & Şahin, H. (2020). Risk Assessment in an Engineering Faculty with Error Type and Effects Analysis Technique, *Elec Lett Sci Eng*, 16(2), 63-76.
- URL – 1, (2025). <https://www.ilo.org/ankara/areas-of-work/osh/lang--tr/index.htm>, 21 Mart 2025.
- Yurttaş, K. (2019). Bir Elektrik Dağıtım İşletmesinde Risk Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.