

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



MUNZUR
ÜNİVERSİTESİ
2008

**PİSAGOR BULANIK KÜME TABANLI TOPSIS İLE RİSK DEĞERLENDİRME:
DOĞAL GAZ BORU HATTINDA BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
NURDAN ECE ÖZ

Anabilim Dalı: Mühendislik Yönetimi

DANIŞMAN
Dr. Öğretim Üyesi Süleyman METE
TUNCELİ – 2019

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PİSAGOR BULANIK KÜME TABANLI TOPSIS İLE RİSK DEĞERLENDİRME:
DOĞAL GAZ BORU HATTINDA BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
NURDAN ECE ÖZ
(18110901102)

Anabilim Dalı: Mühendislik Yönetimi

DANIŞMAN
Dr. Öğretim Üyesi Süleyman METE

TUNCELİ – 2019

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PİSAGOR BULANIK KÜME TABANLI TOPSIS İLE RİSK DEĞERLENDİRME:
DOĞAL GAZ BORU HATTINDA BİR UYGULAMA**

**Nurdan Ece ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 26/04/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği/oyçokluğu** ile kabul edilmiştir.

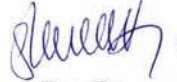
İmza:



Dr. Öğretim Üyesi
Süleyman METE
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza:



Doç. Dr.
Muhammet GÜL
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

İmza:



Dr. Öğretim Üyesi
Zeynel Abidin ÇİL
(İzmir Demokrasi
Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Prof. Dr. Numan YILDIRIM
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, Tablo, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı "Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu"ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Ülkelerin kalkınma ve gelişmesindeki en önemli faktörlerden biri olan enerji, yaşamın devamı için temel gereksinimlerden biridir. Ülkeler de bu devamlılığı sağlamak adına enerji kaynakları üzerinde söz sahibi olmak için, birbirleriyle siyasi ve ekonomik boyutta büyük bir mücadele içindedirler. Doğal gaz boru hattı projesi, doğal gazın çıkarıldığı ülkeden diğer ülkelere taşınmasını sağlayan sistemlerin yapımını hedefleyen geniş çapta büyük projelerdir. Bu tür büyük ve karmaşık projelerde temel amaç, işçi ve işveren sağlığını korumak, çalışanlara güvenli çalışma ortamı yaratmak, yapılan işten ve çalışma ortamından kaynaklı ortaya çıkan riskleri en aza indirmektir. Ortaya çıkan bu riskleri mümkünse bertaraf etmek için değilse riskleri en asgari seviyeye indirecek belirli iş sağlığı ve güvenliği standartlarına ve yapılacak işe uygun risk değerlendirmeleri yapılmalıdır. Bu çalışmada, geçmişten günümüze alışla gelmiş geleneksel risk değerlendirme metotlarından farklı olarak yeni bir metot geliştirilmesi amaçlanmıştır. Başlangıçta iki boyutlu (2B) risk matris yöntemi uygulanmış ve risk değerlendirmesinin ilk adımında tanımlanan tehlikeleri öncelikli olarak sıralamak için Pisagor bulanık küme tabanlı TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Bulanık model doğal gaz boru hattı yapım projesinin temizleme ve tesviye faaliyeti için kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Risk Değerlendirme, Doğal Gaz Boru Hattı, 2B Risk Matrisi, Pisagor Bulanık Küme Tabanlı TOPSIS

ABSTRACT

Risk Assessment with Pythagorean Fuzzy Sets TOPSIS: An Application in a Natural Gas Pipeline

Energy, one of the most important factors in the development of countries, is one of the basic requirements for the continuation of life. In order to ensure this continuity, countries are also struggling to deal with each other in political and economic terms. The natural gas pipeline project is a large-scale project aiming at the construction of systems for the transportation of natural gas from the country of origin to other countries. The main purpose of such large and complex projects is to protect the health of workers and employers, to create a safe working environment for employees, to minimize the risks arising from the work and working environment. If it is not possible to eliminate these risks, risk assessments should be made in accordance with specific occupational health and safety standards and work to minimize the risks. In this study, it is aimed to develop a new method different from the traditional risk assessment methods which have come from the past. Initially, a two-dimensional (2D) risk matrix method was applied and a Pythagorean fuzzy set TOPSIS method was applied to prioritize the hazards identified in the first step of the risk assessment. The fuzzy model has been used for the cleaning and grading of the natural gas pipeline construction project.

Key Words: Risk Assesment, Natural Gas Pipeline, 2D Risk Matrix, Pythagorean Fuzzy Set TOPSIS

TEŞEKKÜR

Tez'in yürütülmesi sırasında çalışmanın her aşamasında bana zaman ayıran ve desteklerini benden esirgemeyen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üy. Süleyman METE hocama, yardımlarıyla çalışmam konusunda beni yalnız bırakmayan ve çalışmama katkı sunan çok değerli Sayın Doç. Dr. Muhammet GÜL ve Sayın Doç. Dr. Erkan ÇELİK hocalarıma,

Çalışmamdaki anketler konusunda bana her zaman yardımcı olan değerli müdürlerime ve çalışma arkadaşlarıma,

Başlamış olduğum bu zorlu yüksek lisans maceramda, bana her zaman inanan, güvenen, her daim beni cesaretlendiren ve arkamda duran çok kıymetli anneme, babama ve kendisinin de geçtiği bu yolda tezimin son denetim ve düzen konusunda benden yardımlarını eksik etmeyen sevgili abime ve çalışmam sırasında küçük-büyük destek veren herkese teşekkür ederim.

Nurdan Ece ÖZ
TUNCELİ-2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	III
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİLLER LİSTES.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Motivasyon	1
1.2. Tezin Katkıları ve Tezin Yapısı	3
1.3. Doğal Gaz Boru Hattı Yapım Aşamaları.....	4
1.3.1. Saha keşfi, İşaretleme, Güzergâh Belirlemesi	5
1.3.2. Temizleme ve Tesviye.....	5
1.3.3. Boruların Dizgiye Taşınması.....	5
1.3.4. Kaynak.....	6
1.3.5. Kuşlama ve Kaplama	7
1.3.6. Kazı.....	7
1.3.7. İndirme	8
1.3.8. Katotik Koruma	8
1.3.9. Bağlantı Kaynağı	8
1.3.10. Yataklama ve Dolgu İşlemleri.....	9
1.3.11. Hidrotest	9
1.3.12. Eski Durumuna Getirme.....	9
1.3.13. Biyorestorasyon	10
1.4. Türkiye’den Geçen Doğal Gaz Boru Hatları.....	10
1.4.1. Rusya – Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (Batı Hattı)	11
1.4.2. Mavi Akım Gaz Boru Hattı	11
1.4.3. Doğu Anadolu Doğal Gaz Ana İletim Hattı (İran – Türkiye)	12
1.4.4. Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı (BTE)	12
1.4.5. Türkiye-Yunanistan Doğal Gaz Enterkonneksiyonu (ITG)	12
1.4.6. Trans-Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı (TANAP) Projesi.....	12
1.4.7. Türk Akım Gaz Boru Hattı Projesi.....	12
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	14
3. MATERYAL VE METOT	21
3.1. Klasik İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yöntemleri	21
3.2. İş Kazası ve Meslek Hastalığı İstatistikleri	25
3.3. 2B Risk Matrisi Yöntemi.....	25
3.4. Bulanık Mantık Teorisi.....	27
3.5. Bulanık Mantık Teorisinin Yenilikleri ve Avantajları	29
3.6. Bulanık Mantık Teorisi ile Olasılık Teorisi Arasındaki Farklar.....	29
3.7. Pisagor Bulanık Küme Tabanlı TOPSIS	30
3.8. Önerilen Bulanık Risk Modeli.....	33
4. UYGULAMA: DOĞAL GAZ BORU HATTI YAPIM PROJESİ TEMİZLEME VE SIYIRMA AKTİVİTESİ İÇİN RİSK DEĞERLENDİRME.....	34
4.1. Risk Tanımlama.....	34
4.2. Risk Analizi	37

4.3. Risk Değerlendirme	40
4.4. Duyarlılık Analizi	41
5. SONUÇLAR	44
KAYNAKLAR	45
EKLER	50
ÖZGEÇMİŞ	53



ŒEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Œekil 1.1. 2018 yılı OPEC verilerine göre ülkelerin doğal gaz rezervleri (URL-6, 2019).....	11
Œekil 3.1. Önerilen bulanık risk modelinin akış şeması.....	33
Œekil 4.1. Sıyırma aktivitesi sırasında oluşabilecek tehlikelerin sıralaması	40
Œekil 4.2. Duyarlılık analizi sonuçları.....	43



TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. 5510 sayılı kanunun 4-1/a maddesi kapsamındaki sigortalılardan yıl içinde iş kazası ve meslek hastalığı sonucu ölenlerin sayısı (URL-13,2019).....	25
Tablo 3.2. 5510 sayılı kanunun 4-1/a maddesi kapsamındaki iş kazasından ölen sigortalıları iş koluna göre dağılımı (URL-13, 2019)	26
Tablo 3.3. Şiddet skorları (Çakmak, 2014)	27
Tablo 3.4. Olasılık Skorları (Çakmak, 2014)	27
Tablo 3.5. Risk matrisi (Çakmak, 2014)	27
Tablo 3.6. 5x5 Karar matrisi ve önleyici eylem planları (Gül and Güneri, 2016)	28
Tablo 4.1. İSG uzmanlarının detaylı listesi	35
Tablo 4.2. Belirlenen tehlike ve tanımlamaları	36
Tablo 4.3. Olasılık ve ciddiyet açısından tehlikeleri değerlendirmek için Dokuz noktalı Pisagor bulanık dilbilim ölçeği (Pérez-Domínguez ve ark. 2018)	38
Tablo 4.4. Pisagor bulanık karar matrisi	38
Tablo 4.5. PFTOPSIS ile elde edilen sonuçlar	39
Tablo 4.6. En önemli tehlikeler ve bu tehlikelerle ilgili alınması gereken kontrol önlemleri.....	41
Tablo 4.7. Duyarlılık analizi sonuçları	42

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
BTE	: Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ETA	: Olay Ağacı Analizi
FAHP	: Bulanık AHP
FMEA	: Hata Türleri ve Etki Analizi
FPSO	: Yüzer Üretim Depolama ve Boşaltma Birimi
FTA	: Hata Ağacı Analizi
FTOPSIS	: Bulanık TOPSIS
FVIKOR	: Bulanık VIKOR
HAZOP	: Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi
HRA	: İnsan Güvenilirliği Değerlendirme
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
ILO	: Dünya Çalışma Örgütü
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
ITG	: Türkiye-Yunanistan Enterkonneksiyonu
km	: kilometre
MABAC	: Çok Ölçütlü Sınır Yaklaşım Alanı Kıyaslaması
NIS	: Negatif İdeal Çözüm
OHSAS	: İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri
OPEC	: Petrol İhraç Eden Ülkeler
OWAS	: Ovako Çalışma Duruşları Analiz Sistemleri
PBKTOPSIS	: Pisagor Bulanık Küme Tabanlı TOPSIS
PFAHP	: Pisagor Bulanık Küme Tabanlı AHP
PIS	: Pozitif İdeal Çözüm
SGK	: Sosyal Güvenlik Kurumu
SSGSK	: Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu
TANAP	: Trans-Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı
TOPSIS	: İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği
TS	: Türk Standartları
VIKOR	: Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
W	: Ağırlıklandırma
2B	: 2 Boyutlu
3B	: 3 Boyutlu

1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon

İnsan, biyolojik olarak yaşamsal faaliyetlerini ve bunun sonucunda varlığını devam ettirebilmek için enerjiye ihtiyaç duyar. Bu metabolik enerjiyi dışardan aldığı besinler sayesinde kendi üretebilme yetisi olduğundan enerji üretme konusunda doğrudan başkalarına bağlı değildir. Ancak yaşamsal varlığını sadece ürettiği enerjiyle idame ettirmesi mümkün değildir. Bunun yanında başka ihtiyaçlara da gerek duyar ki bazı ihtiyaçlarını karşılayabilmek için başka insanların da varlığı gereklidir. Bu durum ülkeler için de aynıdır. Her ülke kendi ihtiyaçlarını sahip olduğu kaynaklardan karşılayamayabilir, gelişmişlik düzeyi ne olursa olsun bazı noktalarda eksik kalabilir. Örneğin, yine enerji üretme açısından bakacak olursak her ülke kendi enerji ihtiyacını karşılayacak kadar kaynağa sahip olamayabilir. Buna karşın ülkelerin de devamlılığını sağlamak için, kaynağa sahip olan ülkelerde enerji ihtiyaçlarını karşılayacak kadar enerji alımı yapmak zorundadır. Ülkeler arasındaki bu zorunlu alış-veriş enerjinin ulaştırılması sonucunu beraberinde getirir (Akın, 2015). Temel amaç, yapım maliyetleri yüksek olsa dahi enerjiyi en kısa ve en güvenli bir şekilde ve kesintisiz olarak tedarikçi ülkeden kullanıcı ülkelere taşımaktır. Türkiye'nin sahip olduğu jeopolitik konum, ulaştırma hatları projelerinde direkt geçiş ülke olmasına olanak tanımakta ve Türkiye'nin de enerji politikalarını bu yönde geliştirdiği gözlemlenmiştir.

Son yıllarda, dünya çapında ülkelerin hızla büyüyen ekonomisine paralel olarak doğal gaz boru hattı projelerinde de ciddi hızlanmalar gözlemlenmektedir. Art arda gelen büyük ölçekli doğal gaz boru hattı projeleri bu durumun en büyük göstergesi sayılabilir. Bu projeler, karadan toprak altından ve gerektiğinde denizin altından geçecek şekilde boru hatları inşa edilerek, doğal gazın tedarik edildiği ülkeden diğer ülkelere taşınmasını ve bu iletim sayesinde ülkelerin enerji arzının karşılanmasını mümkün kılar. Her ne kadar sistemlerin kurulması ve hattın yapımı cazip görünse de zorlu doğa koşullarından dolayı inşası oldukça yüksek riskler barındırır. Doğal gaz boru hattı projelerinde, geniş çaplı operasyonların olması, çalışanların yeterli eğitimden yoksun olması, ekipmanların doğru ve gerektiği şekilde kullanılmaması, günlük kontrol listelerine gereken önemin verilmemesi ve göz ardı edilmesi en çok karşılaşılan tehlikelerdendir (Sun ve ark., 2012). Ayrıca doğal gaz boru hattı projeleri hastane veya büyük ölçekli enerji santrali yapımı projeleri gibi sabit bir yerde başlayıp biten projeler değildir, yüzlerce hatta bazen binlerce kilometre yol kat

edilmesi gereken projelerdir. Bu nedenle kullanılan araç-ekipman sayısının fazla olması yol güvenliği ve trafikle ilgili tehlikeler de en çok karşılaşılan tehlikeler arasında sıralamada yer edinir. Bu tehlikelerin sonuçları, risk olarak adlandırılan çeşitli iş kazaları, çevresel zararlar ve ekonomik kayıplar ve trafik kazaları olarak karşımıza çıkar. Risk değerlendirmelerinin yapılması ve risk yönetimi uygulamaları, doğal gaz boru hattı projelerinin yapım kalitesinin artırılması, çalışan güvenliğinin sağlanması, çalışma ortamının özellikle doğa koşullarının zorlu olmasından kaynaklı güvenliğinin artırılması, yapım sırasında işten kaynaklanan tehlike ve buna bağlı olarak risklerin azaltılması gibi konularda gereklidir (Wenping ve Xia, 2012).

Yürütülen işlerde ve çalışılan işletmelerde iş sağlığı güvenliği uzmanlarının karşı karşıya kaldığı ve muhtemel sonuçlarının çok ciddi boyutlara ulaşabileceği en önemli problemler iş kazaları ve meslek hastalıkları olduğu bilinmektedir. Sadece ülkemizde değil, dünyada çok sayıda insan geçirdiği iş kazalarından dolayı hayatını kaybetmekte, sakat kalmakta veya sağlığını yitirmektedir. Dünya Sağlık Örgütü veya Türkiye İstatistik Kurumu gibi kuruluşlar yıllık olarak istatistiki bazda değerlendirmelerini yapar ve kuruluşlarının internet sayfalarında raporlarını yayımlar. İş kazalarının en önemli nedeni fabrikalarda ve işletmelerde iş güvenliği ve sağlığı kurallarına yeterli özen gösterilmemesi, yapılan denetimlerin yetersiz kalması, işverenlerin bu konudaki yatırımlarını maliyet olarak görmesinden kaynaklandığı olarak gözlemlenmiştir. İş sağlığı ve güvenliğinin temel amaçları, çalışanların sağlığını bozacak ve bedensel bütünlüğüne zarar verebilecek her türlü tehlikeden korumak, daha güvenli ve mutlu bir çalışma ortamı sağlayarak verimliliği artırmak, üretimin devamlılığını sağlamak, iş kazaları veya meslek hastalıkları sonunda ortaya çıkan görünür veya görünmez olarak bilinen maliyetleri azaltmak olarak sıralanabilir.

İşletmelerde meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıklarını azaltmanın en önemli yollarından birisi meydana gelebilecek tehlikeleri iyi gözlemlemek, bu tehlikelerin sonuçlarında meydana gelebilecek riskleri iyi anlamaktan geçer. Yapılan gözlemler sonucunda elde edilen bu veriler ışığında en uygun risk değerlendirme yöntemi seçilir, risk değerlendirmesi yapılarak etkili bir risk yönetimi sistemi oluşturulur ve alınan kontrol önlemleriyle güvenli bir iş ortamı sağlanmış olur.

Risk değerlendirmeleri sonucu riskin büyüklüğü nicel olarak hesaplanabilir veya nitel olarak tanımlanabilir. Riskin büyüklüğü, tehlikenin meydana gelme olasılığı ile şiddetin bileşkesidir (Güneri ve ark., 2015, Fattahi ve Khalilzadeh, 2018). Risk analizi, herhangi bir işyerinde yürütülmekte olan faaliyet veya işten dolayı ya da dış ortamdan kaynaklanan

potansiyel tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikeleri riske dönüştürebilecek unsurlardan kaynaklanan risklerin, uygun risk değerlendirme yöntemi seçilerek analiz yoluyla derecelendirilmesi ve bu riskleri ortadan kaldırmak için gerekli kontrol önlemlerinin kararlaştırılması için yapılan çalışmaların tümü olarak bilinir. Risk değerlendirmeleri kullanılan parametre türüne bağlı olarak nicel ve nitel yöntemler olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Bu yöntemler genellikle uzmanların bilgi ve tecrübelerine dayanır (Özdemir ve ark., 2017; Gül ve ark., 2017a; Gül ve ark., 2017b; Gül ve ark., 2018a; Gül ve ark., 2018b).

Değerlendirmelerin karar vericilerin uzmanlık derecesine ve iş tecrübelerine bağlı olması nedeniyle güvenilir veriler elde etmek zordur (Karasan ve ark., 2018). Bu nedenle, bu çalışmada bulanık küme teorilerinin son biçimi olan Pisagor bulanık kümeler teorisi ile ideal çözüme benzerlik tekniğine göre sıralama tekniği (TOPSIS) birlikte kullanılmıştır.

Bu yöntem, risk değerlendirme problemlerinde uzmanlara yani karar vericilere, düşüncelerini belirsizlik altında daha özgür bir şekilde açıklama imkânı sağlar. Pisagor bulanık kümeler teorisinde uzmanlar, üyelik ve kısmi üyelik ataması yapar. Sezgisel bulanık kümeler teorisinin aksine, Pisagor bulanık kümeler teorisinde atanan üyelik ve kısmi üyelik derecelerinin toplamının en çok 1 olma zorunluluğu yoktur. Ancak, bu dereceler karelerinin toplamı en fazla 1 olmalıdır. Diğer bir taraftan, TOPSIS metodu literatürde çok sayıda mesleki risk değerlendirme problemlerinde uygulanmaktadır. Bu çalışmada Pisagor Bulanık Küme Tabanlı TOPSIS (PBKTTOPSIS) belirsizliklerin giderilmesinde, olumlu ve olumsuz ideal noktaların eş zamanlı değerlendirilmesinde, basit hesaplamalarda ve mantıksal kavramlarda daha fazla yarar sağladığından, doğal gaz boru hattı projesi sıyırma aktivitesi için risk analizi değerlendirilmesinde kullanılması uygun görülmüştür.

1.2. Tezin Katkıları ve Tezin Yapısı

Çalışma kapsamında yapılan makale araştırmalarından anlaşılıyor ki, özellikle TOPSIS ve Pisagor Bulanık setinin birlikte kullanılıp ve risk değerlendirmede de kullanılan çalışma bulunamamıştır. Çok az sayıda çalışmada Pisagor Bulanık seti ve AHP yöntemine odaklanılmıştır. Bu tez çalışmasının katkıları şu şekilde özetlenebilir:

1. Çalışmanın ilk katkısı, risk derecelendirmelerinin ölçülmesinde yeni bir İSG risk değerlendirme yaklaşımının önermek,
2. Önerilen önleyici eylem planlarını içeren bir risk değerlendirmesi sağlamak,

3. Risk değerlendirmelerinde klasik metotlardan farklı olarak belirsizlik altında bulanık sistemler yardımıyla yeni risk değerlendirme metodolojilerini pratik açıdan yeterli seviyeye taşımak,
4. Bu yöntemi gerçek bir inşaat projesi aktivitesine uygulayarak, uygulanabilirliğini göstermek.

Bu tez çalışması şu şekilde devam edecektir:

Birinci bölümde; doğal gaz boru hattı yapım aşamalarından ve inşaatı sırasında ortaya çıkabilecek tehlikelere değinilecek, Türkiye’den geçen doğal gaz boru hatları hakkında bilgi verilecektir.

İkinci bölümde; problemin çözümünde kullanacak yöntem ve metotlarla ilgili ayrıntılı yazınların taramasına yer verilecektir.

Üçüncü bölümde, bulanık mantık ile Pisagor bulanık kümeler teorisine değinilecek ve TOPSIS hakkında bilgil verilecek, önerilen yaklaşım adım adım açıklanacaktır.

Dördüncü bölümde, doğal gaz boru hattına ait temizleme ve sıyırma aktivitesine önerilen metot yöntemiyle risk değerlendirilmesi yapılmış ve sonuçlarının tutarlılığı duyarlılık analizi ile test edilmiştir.

Son bölümde, tez çalışması sonuçlandırılacaktır.

1.3. Doğal Gaz Boru Hattı Yapım Aşamaları

Boru hatları, petrol ve doğal gaz gibi sıvı veya gaz maddelerin tedarik edildiğı yerlerden kullanıcıya taşınması için en çok tercih edilen aynı zamanda en hızlı ve en güvenli taşıma yöntemlerinden biri olarak bilinmektedir. Karadan ve gerektiğinde denizden geçecek şekilde inşa edilebilen hatların, oldukça maliyetli projeler olduğu gerek kullanılan malzeme ve ekipman gerek çalışan sayısından rahatlıkla söylenebilir. Çok büyük miktarlarda doğal gaz veya petrolün en ekonomik şekilde taşınmasına olanak sağladığı bilinen bu yapılar inşası gereğı çok fazla teknik bilgi isteyen yapılar olarak da gözlemlenmiştir. Yapılan saha çalışmaları ve gözlemleri sonucu doğal gaz boru hatları yapım aşamaları şu şekilde sıralanabilir:

1.3.1. Saha keşfi, İşaretleme, Güzergâh Belirlemesi

Güzergâh belirlenmesi aşamasında, daha önceden ilgili projenin çizimlerinden referans alınarak yapılacak olan boru hattının geçeceği güzergâh ekipler tarafından sahada işaretlenir.

1.3.2. Temizleme ve Tesviye

Bu aşamada, ilk aşamada belirlenen kamulaştırma alanı veya boru hattı güzergâhının temizleme ve sıyırma (tesviyeleme) işlemleri gözlemlenmiştir. Bu işlem sırasında, yapılacak olan tüm kazı işlemlerinden önce, toprak yüzeyinden belirlenen derinliğe kadar verimli toprak ekipman yardımıyla alt topraktan ayrılır. Ayrılan bitkisel verimli üst-toprak, özelliklerini kaybetmemesi için ilgili toprak uzmanların gözetiminde oksijensiz bir ortam oluşturmayacak oranda sıkıştırılır ve toprağın canlı kalmasına özen gösterilir. Bu sıyrılan toprağın beklediği süre boyunca normal topraklar gibi baharda yeşerdiği ve çiçeklendiği gözlemlenmiştir. Bazen de canlı kalması için çeşitli malzemelerle toprağın üstü örtülür. Bu aktivite sırasında ekibi zorlayan kısımlar eğimlerde veya dik yamaçlarda iş makineleriyle çalışma ve elektrik hatları veya iletişim hatlarıdır. Eğimlerde veya dik yamaçlarda çalışma tehlikesinin en büyük riski, yamaç eğiminin iş makinesinin en yüksek çalışma eğimi derecesinden fazla olmasından kaynaklı makine devrilmeleri olarak gözlemlenmiştir. Enerji ve iletişim hatları için, çalışma sırasında iş makinesinin elektrik hattına çok yaklaşmamalı ve hat ile temasından kesinlikle kaçınılması gerekir. Unutulmamalıdır ki sadece temasta değil belli bir mesafeden de iş makinesi ve hat arasında arkaların oluştuğu ve bu kıvılcımların ciddi yangınlara, maddi hasarlara veya yaralanmalara yol açtığı bilinmektedir.

1.3.3. Boruların Dizgiye Taşınması

Kullanılacak olan boruların, çalışma sahasında uygun ekipmanla taşındığı ve yine uygun ekipmanla çalışma sahasına kaymaması için desteklenerek indirildiği gözlemlenmiştir. Kullanılacak boruların et kalınlığı gömüldüğü arazinin kullanım koşullarına göre değişiklik gösterebilir ve bu değişiklik şartnamada belirtilen çerçevede yapılmak zorundadır. Örneğin hat, otobanın altından geçiyorsa, bu güzergâh çok kullanılacağından zemine uygulanan basıncın fazla olması nedeniyle bu tür yerlere et

kalınlığı fazla olan borular taşındığı gözlemlenmiştir. Eğimli arazilerde de borular gerekli büküm derecesine kadar büküldükten sonra ihtiyaç duyulan noktalarda boruya zarar gelmeyecek şekilde dizgilenir. Dizgi yapılırken dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi hava şartlarının aktiviteyi zora sokmamasıdır. Aşırı rüzgârlı, yağmurlu, karlı havalarda çalışma şartları için projenin yapım yönteminde belirlenen uygun hava koşulları olmadığı takdirde aktivite herhangi bir kazaya sebebiyet vermemek amacıyla emniyet açısından geçici olarak durdurulur. Boruların dış yüzeylerinin indirme sırasında aşırı yağıştan dolayı kayganlaşması, borunun kancalardan kurtularak düşmesine neden olabileceği öngörüldüğünden olumsuz hava koşullarında indirme işleminin geçici olarak durdurulduğu gözlemlenmiştir. Borunun bir yerden başka bir yere taşınması sırasında da iş makinesine bağlanarak sabitlenmesi gerekir. Bir ipe bağlanan bir cismin gidip gelme sırasında salınım hareketi yaptığı bilinmektedir, işin emniyeti açısından bu hareketten kurtarmak için iş makinesinin hareketi sırasında boruyu sabitlemek gereklidir.

1.3.4. Kaynak

Hattın geçtiği güzergâh her zaman düz arazi olmayabilir. Yer şekillerinin durumuna göre yer yer çok dik inişli çıkışlı arazi şartları ile karşılaşmak ülkemizin de genelde dağlık coğrafi yapıya sahip olduğu bilindiğinden olasıdır. Böyle yerlerde borular arazinin eğimine göre yapım yöntemine göre belirlenen derecelerde makine yardımıyla bükülür. Bükmenin ardından boruların birleştirilmesi gelir ki bu işlem ilk olarak otomatik kaynakla başlar. Otomatik kaynak, bilgisayar kontrolüyle yapılan kaynak işlemi olarak bilinir. Kaynak başlamadan önce yapılması gereken kaynakla ilgili tüm parametreler yetkili kaynak mühendislerince bilgisayara yüklenmesidir ve böylece kaynağın yapılması sağlanır. Bu operasyon süresince operatör çalışmayı sürekli yakından takip eder. Her kaynak noktası yapılan kaynağın kalitesini ölçmek, kaynakta hata olup olmadığını anlamak ve ısı işlem sonucu malzemede oluşabilecek hasarı tespit etmek için tahribatsız muayene yöntemleri ile kontrol edilir. Çok hassas ve özel cihazlar yardımıyla kaynak noktalarında ölçümler ve testler yapılır. Eğer kaynak kalitesinde belirli toleransın dışında bir durum ile karşılaşılırsa kaynak işlemi tekrarlanır (URL-1, 2019). Kaynak sırasında en büyük problemlerden birisi eğer kapalı bir alanda kaynak yapılıyorsa havalandırmanın çalışıp çalışmadığının takip edilmesidir. Çünkü ortaya çıkan gazlar boğucu ve tahriş edici olabilir. Ayrıca bir diğer dikkat edilmesi gereken nokta kaynak sırasında çıkan zararlı ışınların gözü almaması, elektrik

çarpımlarına karşı ekipmanlar topraklanarak elektrik güvenliği sağlanmalıdır (URL-2, 2019).

1.3.5. Kumlama ve Kaplama

Borular polietilen malzemeyle kaplı olarak tedarik edilir ancak boruların ağız kısımları kaynak yapılacağından kaplama olmadığı gözlemlenmiştir. Kaynak işlemi bittikten sonra borunun açıkta kalan metal kısımlarının, dışardan gelebilecek fiziksel ve kimyasal tehlikelere karşı kaplanması gerekmektedir. Çünkü doğada metallerin oksijenle birleşerek paslanma dediğimiz kimyasal olaya maruz kalacağı bilinen bir gerçektir. Kumlama işlemi, özel olarak bu iş için imal edilmiş çeşitli aşındırıcı maddeler kullanılarak yapılır. Bu yöntem, metal yüzeyinde görünen ya da mikronize boyutlardaki pas ve korozyonu yok ederken, metalin özünü ortaya çıkarmaktadır. Kumlama işlemi henüz bitmiş olan bir metal, pas ve korozyona karşı en korumasız olduğu zamandır. Eğer metal bu işlemden sonra neme maruz bırakılırsa, birkaç saat içinde renk değişimi ile kendini belli eden paslanma gözlemlenir. Bu sebeple kaplaması bitmiş olan metal en kısa sürede korunmalı, boyanarak metalin hava ile teması kesin suretle kesilmelidir (URL-3, 2019). Kumlama sırasında en büyük problem akciğerlerin hasar görmesi olarak gözlemlenmiştir ayrıca yüksek basınçla işlem yapıldığı için ehil kişiler tarafından yapılması gerekir. Kumlama işlemi ile borular iyice temizlendikten sonra kaplama işlemine geçilir (URL-4, 2019).

1.3.6. Kazı

Bu aşamada uygun ekipmanla boruların indirileceği kanallar açılır. Ancak bu aşamada kazısız teknolojilerden de yararlanıldığı gözlemlenmiştir. Kazısız teknolojilerden daha çok otoyol geçişleri, dere geçişleri gibi normal kazı yapılarak çalışmanın zor olduğu şartlarda yararlanır. Kazı çalışması sırasında iş makinelerinin eğimlerde ve dik yamaçta çalışmalarına dikkat edilmesine bu aşamada özen gösterilir. Ayrıca baş üstü enerji ve iletişim hatlarına ek olarak kazı sırasında yerlatı servislerine (boru hattı, su hattı, elektrik hattı vb.) zarar vermemek için önceden ilgili bölümlere danışılarak veya çizimler kontrol edilerek araştırılmalar yapılarak olası kazaların önüne geçildiği gözlemlenmiştir.

1.3.7. İndirme

Uç uca kaynatılarak elde edilen kimi yerde 20 metre kimi yerde 2000 metre veya daha fazlasına ulaşan borular özel iş makineleri yardımıyla indirilir. İş makineleri tek sıra halinde arka arkaya borunun açık kısmını daire şeklindeki makaralarla donatılmış aparatların içinden geçirdikten sonra ilerlerler. Bu opreasyonda, tüm operatörlerin senkronizasyonu büyük önem taşıdığı ve oldukça yüksek riskler barındıran bir aktivite olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle operatörün çalışılan zeminde, kaldırılan yüke makinenin nasıl tepki vereceğini ve diğer operatör arkadaşlarının nasıl hareket ettiğini iyi analiz etmesi gerekir. İndirme aktivitesi bu tür boru hattı projelerinin en tehlikeli aktivitelerinden biri olarak bilinmektedir. İndirme sırasında görev alan bütün makineler toplam yükü eşit olarak bölüşür, herhangi bir makinenin senkronizasyonu bozması ciddi hasarlara ve kayıplara neden olur.

1.3.8. Katotik Koruma

Bazı noktalarda hat boyunca belirlenen belli aralıklarda, borunun aşınması-paslanmasını engellemek için katotik koruma ile boruya elektron yüklenerek koruma altına alınır. Bu işlem, indirmeden sonra açık boru üzerinde yapılır. Katotik korumada amaç, indirilen boruların gömüldükten sonra toprak altında gerçekleşebilecek korozyon, aşınma gibi borunun dış kaplamasına zarar vermesi muhtemel kimyasal olaylardan korunması olarak bilinir. Kısaca katotik koruma elektrokimyasal bir olay olup, paslanmayı meydana getiren oksijeni metal yapıdan uzaklaştırma işlemidir (URL-5, 2019).

1.3.9. Bağlantı Kaynağı

Boruları başta kaynatılırken hattın başından sonuna kadar kesintisiz olarak kaynatılamadığı yer yer dere geçişi, yol geçişi gibi özel yerlerde boruların bağlamasının sonraki safhalara bırakıldığı gözlemlenmiştir. Bu kaynatılan borular indirildikten sonra açıkta kalan uçlar otomatik kaynakla değil de elle kaynatılarak birleştirilir. Yine bir nevi kaynak işlemi olan bu aktivitede kaynağın, bazen hattın geçtiği kanalın içinde bazen kanalın dışında yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu aktivitede de otomatik kaynak aktivitesinde olduğu gibi gazlara dikkat edilmeli, elektrik ve yangınlara karşı tedbirler alınmalıdır. Özellikle

kanalın içinde yapılan çalışmalarda sahada yaşanabilecek en kötü senaryo düşünülerek önlemler alındığı gözlemlenmiştir.

1.3.10. Yataklama ve Dolgu İşlemleri

Yataklama işlemi indirme işleminden önce yapılan, uygun incelikte malzemenin boruya zarar gelmesini önlemek amacıyla kanala serilmesi işlemi olarak bilinir. İndirme işleminden sonra borunun üstü yine ince malzemeyle kapatılır. Kapatıldıktan sonra iletişimi sağlayacak kablolar için küçük çaplı koruma boruları döşenir, boruların üzeri tekrar ince malzeme ile kapatılır. Kapatmanın ardından herhangi bir kazı sırasında derinde hat olduğunu gösteren uyarı bantları serilir. Kazı sırasında çıkan hafriyatla son kapatma işlemi yapılır (Folga, 2007). Aktivite genel olarak teklikeli bir işlem değildir, tehlikeli yanı iş makinelerinin kör noktalarında çalışanların olması ve eğer iş makinesine eşlik eden gözlemci de yoksa, operatör tarafından çalışanın fark edilememesi olarak gözlemlenmiştir.

1.3.11. Hidrotest

Boru hattı sisteminin dayanıklılığını test etmek için hat, hidrostatik olarak normal hattın basıncına eşit basınçta basınçlandırılarak test edilir. Test başlıkları yardımıyla hat önce vanalar yardımıyla su ile doldurulur ve sonrasında basınçlandırılır. İstenilen işletme basıncına ulaşıldığı zaman, yapım yönteminde belirtilen süre kadar bekletilir. Hattan geçecek olan gazın basınç değeri bellidir ve bu değere ulaşıncaya kaynak yerlerinde veya borularda herhangi bir sızıntının olup olmadığının gözlemlenmesi için hat içindeki sıvı belli bir süre boyunca bekletilir. Süre bitiminde sızıntı olup olmadığı tespit edilir. Eğer herhangi bir problem yoksa buradaki su özel yönetmeliklere bağlı olarak bertaraf edilir. Bu işlem sırasında çok fazla basınç olduğundan çalışma alanından mümkün olduğunca uzak durulması gerekmektedir (Folga, 2007).

1.3.12. Eski Durumuna Getirme

Boruların üstünün kapanması için geri dolgu işlemi bittikten sonra, hava ve saha koşulları elverişli olduğu takdirde, ilk aşamalarda ayrılan verimli bitkisel toprak çalışma alanlarına geri serilerek arazinin eski haline getirilmesinde kullanıldığı gözlemlenmiştir. (Folga, 2007).

1.3.13. Biyorestorasyon

Biyorestorasyon çalışmaları, önceden yeşillik olan çalışma alanına özgü bitki ve tohum türlerinin tespiti, doğru tohumlama ve dikim yöntemlerinin kullanılması, etkili uygulama yöntemi ile daha sonrasında yapılacak izleme ve bakım programlarını kapsar.

1.4. Türkiye’den Geçen Doğal Gaz Boru Hatları

Türkiye’nin sahip olduğu jeopolitik konum, Türkiye’yi küresel enerji piyasasında önemli bir yere taşıdığı bilinmektedir. Dünyadaki petrol ve doğal gaz rezervleri incelendiğinde, üretici ve tüketici ülkeler arasındaki konumu sayesinde Türkiye’nin öneminin giderek artacağı tahmin edilir. Türkiye’nin enerjide dışa bağımlı bir ülke olması gerçeği bir taraftan ihtiyaç duyduğu enerjiyi zengin bölgelerden ithal etmesine ve diğer taraftan da enerji için geçiş ülke olmasına imkân sağladığı da bilinmektedir. 2018 yılı Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (OPEC), dünya genelindeki doğal gaz rezervlerinin toplam miktarının yaklaşık 200.000 milyar metreküpü bulduğunu belirtmiştir. Toplam rezervin yaklaşık yüzde 40’ının Ortadoğu ülkelerine, yüzde 33’ünün ise Doğu Avrupa ve Orta Asya ülkelerine ait olduğu raporlanırken, doğalgaz rezervinde lider Rusya’yı ve sırasıyla İran, Katar, Türkmenistan, ABD ve Suudi Arabistan’ın izlediği belirtilmiştir (URL-6, 2019). Şekil 1.1. 2018 yılı OPEC bülteni verilerine göre ülkelerin sahip olduğu doğal gaz rezervlerini göstermektedir. Türkiye’nin komşularının bu kadar yoğun bir şekilde doğal gaz rezervine sahip olması, Türkiye’yi gazın diğer ülkelere özellikle Avrupa’ya ulaştırılmasında kilit ülke konumunda olmasını gerçeğini de güçlendirdiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda Türkiye’den geçen doğal gaz boru hatlarına bakacak olursak:



Şekil 1.1. 2018 yılı OPEC verilerine göre ülkelerin doğal gaz rezervleri (URL-6, 2019)

1.4.1. Rusya – Türkiye Doğal Gaz Boru Hattı (Batı Hattı)

Hattın anlaşması, 18 Eylül 1984'te, Türkiye ile bugün Rusya olarak bildiğimiz Sovyetler Birliği hükümetleri arasında imzalanmıştır. Anlaşma kapsamında Türkiye'nin gaz tüketim miktarı hattın geçeceği uygun güzergâh belirlenmiştir. 1987 yılında hattan gaz geçişi başlatılmıştır. Ülkemize Bulgaristan sınırından giren hat, toplamda uzunluğu 845 km uzunluğundadır (URL -7, 2019).

1.4.2. Mavi Akım Doğal Gaz Boru Hattı

İki ülke arasındaki anlaşma, 15 Aralık 1997 tarihinde imzalanmıştır. Doğal gaz hattı Rusya'dan başlayarak Karadeniz üzerinden bir hat ile Türkiye'ye ulaşmaktadır. Rusya'da toplam 370 km uzunluğunda, Karadeniz geçişinde yaklaşık 390 km uzunluğunda ve Türkiye topraklarında 501 km uzunluğa ulaşan üç ana bölümden oluşmaktadır (URL -7, 2019).

1.4.3. Doğu Anadolu Doğal Gaz Ana İletim Hattı (İran – Türkiye)

8 Ağustos 1996’da komşumuz İran ile ülkemiz arasında hattın yapımına ilişkin anlaşmanın imzaları atılmıştır. Hat, toplam uzunluğu yaklaşık 1495 km’dir. Hattan gaz alımına 10 Aralık 2001 tarihinde başlanmıştır (URL -7, 2019).

1.4.4. Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı (BTE)

Hat, 12 Mart 2001’de Türkiye-Azerbaycan arasında imzalanan anlaşma ile hayata geçirilmiştir. Hat yaklaşık olarak 980 km uzunluğundadır. Hattın, 16 Ekim 2004 tarihi itibarıyla yapımına başlanmış ve 4 Temmuz 2007’den beri de gaz alımı devam etmektedir (URL -7, 2019).

1.4.5. Türkiye-Yunanistan Doğal Gaz Enterkonneksiyonu (ITG)

Türkiye ile Yunanistan arasında gerçekleşen anlaşmanın imzaları 23 Şubat 2003’te atılmıştır. 18 Kasım 2007 tarihinde boru hattı üzerinden gaz alımına başlanmıştır (URL -7, 2019).

1.4.6. Trans-Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı (TANAP) Projesi

Ülkemize Ardahan Posof’tan girerek, Edirne İpsala’dan çıkan hat, yaklaşık 1.850 km uzunluğunda bir boru hattıdır ve hattın 19 kilometresi Çanakkale’den Marmara deniz geçiştir. 7 Mart 2015 tarihinde hattın yapım aşamasına geçilmiştir. 12 Haziran 2018 tarihinde ilk defa gaz iletimi sağlanmıştır. Hattın Avrupa ayağı İtalya’nın Lecce bölgesinde sonlanacaktır (URL -7, 2019).

1.4.7. Türk Akım Gaz Boru Hattı Projesi

Türkiye ile Rusya arasındaki anlaşma 10 Ekim 2016 tarihinde imzalanmıştır. Proje; Rusya’dan başlar ve Karadeniz’in altından devam ederek ülkemize giriş yapar. Hatta, ülkemiz üzerinden komşu devletlere giden iki hat yer almaktadır. Proje, deniz bölümü ve kara bölümünden oluşmaktadır. Kara bölümünde yer alan hatlardan biri ülkemize diğeri de

Avrupa' ya gazı iletmek için inşa edilmektedir. 2019 yılı sonu itibariyle hattan gaz geçişinin başlatılması planlanmaktadır (URL -7, 2019).



2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde iş sağlığı ve güvenliği kapsamında yapılan risk değerlendirmelerinde özellikle bulanık mantık, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP-Analytic Hierarchy Process), TOPSIS tabanlı yaklaşımların kullanıldığı çalışmalar araştırılmış ve incelenmiştir (Grassi ve ark.,2009; Elsayedve ark., 2014; Mahdevari ve ark., 2014; Gül ve Güneri, 2016; Samatra ve ark., 2017; Amirshenava ve Osanloo, 2018; Can, 2018; Can ve Toktaş, 2018; Carpitella ve ark., 2018; Fattahi ve Khalilzadeh, 2018; Gül ve Güneri, 2018; Ilbahar ve ark., 2018; Karasan ve ark., 2018; Yazdı, 2018;). Mesleki risk değerlendirmesi alanında, çok kriterli karar verme ve bulanık küme tabanlı yaklaşımları daha kapsamlı ele almak için Gül (2018)'ün makalesi incelenebilir. Amirshenava ve Osanloo (2018), mayın kapatma risklerini yönetebilmek için 3 boyutlu (3B) risk matrisi (olasılık, şiddet, sıklık parametrelerini kullanarak) ve çok kriterli karar verme tekniklerinden (AHP, TOPSIS, PROMETHEE gibi) yararlanmıştır. Önerilen risk değerlendirme yaklaşımı, İran'daki bir demir cevheri madeni için gerçekleştirildi. Riskin zaman değerini dikkate almayan 2B risk modeli (olasılık ve sonuç olarak iki risk parametresinden oluşan) ile karşılaştırıldığında, değerlendirme sonuçlarının riskin bertaraf edilmesine yönelik olarak bütçe planlamasında daha pratik olduğu bulunmuştur. Yazdı (2018) risk değerlendirmesine yönelik yeni bir sezgisel bulanık bulanık-hibrid-modifiye TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yaklaşımı önermiştir. Bir inşaat endüstrisinde kaynak ve laminasyon görevi için sayısal bir örnek incelenmiştir. Carpitella ve ark. (2018) karmaşık sistemlerin bakım faaliyetlerini optimize etmek için güvenilirlik analizleri ve çok kriterli karar verme yöntemlerini içeren birleşik bir yaklaşım önermiştir. Hata türü, etkileri ve kritik analizleri başlangıçta uygulanır ve bulanık TOPSIS daha önceden tanımlanmış hata türlerini sıralamak için uygulanır. Önceliklendirme için, hata türleri aşağıdaki üç yeni değerlendirme kriterine göre değerlendirilir:

(1) belirli bir hatanın meydana gelmesinden sonra yapılan bakım faaliyeti için geçen zaman,

(2) uygulama şekli ve

(3) arızaların meydana gelme sıklığı.

Yaratıcı bir katkı olarak, AHP değerlendirme kriterlerini ağırlıklandırmak için uygulanır ve değerlendirilen kriterler ile ilgili hususlarda bir uzman grubu katılır. Gül ve Güneri (2018) oransal risk değerlendirme formülleri temelinde bulanık AHP (FAHP) ve bulanık TOPSIS (FTOPSIS) metodunun bir kombinasyonunu içeren yeni bir mesleki risk değerlendirme

yaklaşımı önermişlerdir. Gül ve Güneri (2018), orantılı risk değerlendirme formüllerine dayanan FAHP ve FTOPSIS'in bir kombinasyonunu içeren yeni bir mesleki risk değerlendirme yaklaşımı önermiştir. Bu yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için bir alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde bir vaka çalışması yapılmıştır. Benzeri bir çalışmada, Gül ve Güneri (2016) karar vericilerin, matris yönteminin parametreleri olan iki faktörün (olasılık ve şiddet) değerlendirilmesinde dilbilimsel değişkenleri kullanmalarına izin veren risk değerlendirmelerindeki eksikliği gidermek ve karar vermedeki tutarsızlığı azaltmak için bulanık bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Parametreler FAHP yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmış, daha sonra öncelikli tehlike gruplarının sırası FTOPSIS yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Elsayed ve ark. (2014), FTOPSIS yöntemi kullanarak sıvılaştırılmış doğal gaz taşıyıcıları için risk değerlendirmesi önermiştir. Mahdevari ve ark. (2014), İran'daki bir yeraltı kömür madenindeki insan sağlığı ve güvenlik risklerini FTOPSIS yöntemi kullanarak değerlendirmiştir. Grassi ve ark. (2009), gıda endüstrisinde risk değerlendirmesi için FTOPSIS yöntemini uygulamıştır. Klasik yöntemlerden farklı olarak, yaralanmanın büyüklüğü ve bir kazanın meydana gelme olasılığı dışında, insan davranışının ve çevrenin risk seviyesi üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulmuştur. Hyo-Nam Choa, Hyun-Ho Choia, Yoon-Bae Kimb (2002), ortak yürüttükleri bu çalışmalarında hem olasılıksal parametre tahminlerinde hem de öznel yargılarda yer alan belirsizlik derecesini temsil eden belirsizlik aralığını göz önünde bulundurmak için tasarlanan yeni bulanık üyelik eğrileri biçimlerini de ortaya koyarak, bulanık kavramları kullanarak belirsizlikleri geleneksel risk değerlendirme çerçevelerine dahil etmek için yeni bir metodoloji önermiştir. Tek bir olasılıkla bir olayın gerçekleşme oranını kesin olarak tahmin etmek çok zor hatta imkânsız olduğundan, "Yüksek / Düşük" ve "İyi / Kötü" gibi basit dilsel değişkenlerin, inşaat projelerindeki çeşitli risklerin ölçülmesinde sınırlamaları olduğu, ancak yalnızca öznel zihinsel bilişi yeterince temsil ettiği belirtilmiştir. Çalışmalarında belirli bir değer veya ölçek veren bir miktar ölçümü içeren ifade sınırlamalarını aşmak için, "Herhangi bir değere yakın" veya "Analiz edilen değerden daha yüksek / daha düşük" gibi ifadeler kullanılmıştır. Şişman (2017), çalışmada risk değerlendirme sürecini daha etkin bir şekilde gerçekleştirebilmek ve olabilecek hata türlerini önceliklendirerek etkili ve hassas bir şekilde sıralayabilmek için bulanık kümeler teorisinden yararlanmıştır. Geliştirdiği yeni yaklaşımı hata türleri ve etkileri analizinde, FAHP yöntemi ile bulanık Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemlerini kullanarak otomotiv sektörüne ait bir yan sanayide risk değerlendirmesi yaparak

uygulamıştır. Öncelikle FAHP yöntemi ile risk faktörlerine ilişkin önem ağırlıkları belirlemiş ardından hata türlerinin risk önceliği bulanık VIKOR yöntemi kullanarak sıralamıştır. Son olarak modelde yer alan değişkenlerin hata türleri üzerindeki etkisini denemek ve Hata Türleri Etki Analizi (FMAE) çözüm yaklaşımının faydalı yanlarını göstermek ve çözümü kontrol altına alabilmek için duyarlılık analizi yapmıştır. Çalık (2018), çalışmasında otomotiv sektörü için üretim yapan yan sanayi sektöründeki bir firmada tedarik zincirinin yönetimi sırasındaki riskleri önceliklendirmek ve riskleri çözümlemek için bütünleşik AHP ve TOPSIS yaklaşımını kullanılmasını amaçlamıştır. Bu amaçla dört adımdan oluşan bütünleşik bir çözüm yaklaşımı önermiş ve uygulamıştır. İlk adımda, uzmanların görüşleri ve ikili karşılaştırma matrislerinin de yardımıyla, tedarik zinciri risk yönetiminde belirlenen faktörlerin ağırlıklandırılması yapılmıştır. Bu aşamada AHP, kesin ve bulanık ortamda öncelikli risklerin hangileri olduğunun tespiti için kullanılmıştır. İkinci adımda, bulanık dilsel ifadeler kullanılarak tedarikçilerin risk değerlendirmelerini belirlenen faktörlere göre derecelendirmesi yapılmıştır. Üçüncü adımda, risklerin ağırlıklandırması ve değerlendirmesi TOPSIS yönteminde kullanılarak tedarikçiler için risk skorları hesaplanmıştır. Dördüncü adımda, elde edilen risk puanlarına göre tedarikçiler için çeşitli çıkarımlar yapılmıştır. Son adımda, otomotiv sektörü için parça üreten yan sanayide bir firma seçilerek önerilen yöntem uygulanmıştır ve test edilmiştir. Tedarik zinciri risk yönetimi için operasyonel risk, tedarik riski, bilgi riski, finansal risk, sosyal ve çevresel risk, talep riski, ürün kurtarma riski olarak altı kategoride belirlenmiş ve çalışmada, en önemli kriterin operasyonel risklerin olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, sonuçların kesin ve bulanık ortam fark etmeksizin elde edilen risk önceliklerinin tedarikçilerin sıralamasında bir farklılık olmadığı da tespit edilmiştir. Ayrım (2017), yaptığı tez çalışmasında hata türleri ve etkileri analizinin geliştirilmesi gerektiğini düşündüğü yönlerini de göz önünde bulundurarak üç aşamalı olan bir risk değerlendirme yöntemi önermiştir. Dağsuyu ve Oturakçı (2017), yaptıkları ortak çalışmalarında, risk değerlendirme yöntemlerinden, kullanımı yaygın olan ancak literatürde yeterince anlatımı bulunmayan Fine - Kinney Yöntemi için bulanık mantık kapsamında geliştirdikleri yeni bir yaklaşım önermiştir. Önerdikleri yöntemde, klasik risk değerlendirme yöntemleri arasında kullanımı oldukça yaygın olan olasılık, frekans ve şiddet parametrelerini girdi olarak; risk skorunu çıktı olarak kabul edilmiş ve bu ölçekler üçgen üyelik fonksiyonlarına bağlı yeni ölçeklere dönüştürülmüştür. Klasik ve Bulanık Fine - Kinney metotları arasındaki karşılaştırma, inşaat sektörü için hizmet veren büyük olarak sayılmayan bir firmanın inşasını üstlendiği bir inşaatla belirlenen tehlikelere uygulanarak yapılmıştır.

Bulanık mantık kapsamında her tehlike için ayrı ayrı hesaplanan risk skoru klasik yöntemdeki risk skorlarıyla karşılaştırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlardan geliştirdikleri Bulanık Fine-Kinney Yöntemi'nin sonuçlara klasik yöntemlerden daha fazla hassasiyet kazandırdığı anlaşılmıştır. Ayrıca tehlikelerin öncelik sıralamalarında meydana gelen herhangi bir değişikliğin, tehlikelerin sınırlarında da değişikliğe neden olduğu gözlemlenmiştir. Kısa (2014), tez çalışmasında uygulama yaptığı firmanın iş güvenliği uzmanları ve iş yeri hekimi ile birlikte firmanın çalışma koşullarını olumsuz etkileyebilecek faktörleri belirleyerek, bu faktörlerin birbirlerine göre döküm atölyelerindeki çalışma koşullarına olan etkisini incelemek için AHP yöntemiyle ağırlıklandırmasını yapmıştır. Uygulama yapılan firmanın aktivitelerine bağlı olarak atölyelerden toz, termal konfor, titreşim, anlık gaz, aromatic hidro karbon, ağır metal, gürültü ölçümleri alınmıştır. Ergonomik riskler 'Ovako Çalışma Duruşları Analiz Sistemi' (OWAS-Ovako Working Postures Analysing System) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Şenol ve Yılmaz (2017) ortak çalışmalarında, bulanık mantık ve ÇKKV metotlarının risklerin analiz edilmesi sürecine entegre edilmesiyle süregelen klasik risk analizi yaklaşımının etkinliği artırılması üzerine çalışmışlardır. Çalışmada iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarının görüşlerini herkesin uzlaştığı bir noktada birleştirebilmek amacıyla dilsel değişkenlere yer verilmiştir. Geliştirilen metot; tehlikelerin değerlendirilmesi ve tehlikeler sonucu meydana gelebilecek risklere yönelik kontrol önlemlerinin değerlendirilmesi olmak üzere iki aşamalıdır. Birinci aşama, klasik risk analizi yöntemlerinde sıkça kullanılan "olasılık" ve "şiddet" parametrelerine "maliyet" parametresinin de dâhil edilmesi ve bu parametrelere ait ağırlıklandırmaların Bulanık-AHP (FAHP) metodu ile belirlenmesi üzerine kurulmuştur. Metotla belirlenen ağırlıklar kullanılarak tehlikelerin önceliklendirilmesi işlemi Bulanık-TOPSIS (FTOPSIS) metodu ile yapılmıştır. İkinci aşamada ise her bir kontrol önlemin öncelik sırası tehlike kaynaklarının faktör ağırlıkları kullanılarak Bulanık-TOPSIS metodu ile belirlenmiştir. Bu çalışmanın önem ve katkısı sadece risklerin değil; alınması gereken kontrol önlemlerinin de önceliklendirilmesi, riskler için tespit edilen faktörlere ait ağırlıklandırmaların gereken önlemlerin önceliklendirilmesinde göz önünde bulundurulması, riskler ve kontrol önlemlerin birleşik olarak birlikte değerlendirmesi ve ayrıca maliyet faktörünün de risk değerlendirme faktörü olarak eklenmesidir. Bu yaklaşım yüksek risk barındıran sektörlerden biri olarak kabul gören metal sanayinde bir işletmeye uygulanmış ve "maliyet" faktörünün tehlikenin büyüklüğünün belirlenmesinde "olasılık" ve "şiddet" faktörlerinden daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ortamda karşılaşılan risk kaynakları

“Çalışma Ortamı Kaynaklı Tehlikeler, Makine Kaynaklı Tehlikeler ve Çalışan Kaynaklı Tehlikeler” olarak sıralanırken, alınması gereken ilk üç önlem sırasıyla “Tatbikat Yapma, Eğitim Düzenleme ve Makine Yenileme” olarak tespit edilmiştir. Türkoğlu (2013) çalışmasında, açık deniz petrol platformlarında gerçekleştirilen çalışmalar için bulanık tabanlı risk analizi yaklaşımı önermiştir. Başlangıçta platformda bulunan gezici sondaj üniteleri, gezici üretim üniteleri ve tek gövdeli yapılarda meydana gelen iş kazaları detaylı olarak incelenmiştir. Bu tür endüstrilerde risk ve emniyet analizi konusunda en çok kullanılan metotlar araştırılarak, bir yüzer üretim depolama ve boşaltım birimi (FPSO) sisteminde vaka analizi çalışması yapılmış ve bu sistem içinde önemli bir yere sahip olan döner kule için risk analizi yapılmıştır. Denizlerdeki platformlar için hata oranları, bu hataların meydana gelme olasılıkları gibi etkin parametrelerin tam değerlerini elde etmenin zorluğu dolayısıyla risk ve emniyet analizinde bulanık tabanlı yaklaşım uygulaması öngörülmüştür. Akalp ve Özok ‘un (2016) çalışmasında, sözel belirsizliklerin bulunduğu bulanık ortamlarda, özellikle iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında çalışanlar açısından daha fazla riskli olan istasyonun seçimi amacıyla bulanık algoritmasının kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, gerçekleştirilen bu çalışmada iş sağlığı ve güvenliğinde genel olarak belirlenen beş farklı risk kategorisinden seçilen ergonomik riskler, bulanık mantık metoduyla değerlendirilmiş ve ergonomik risk değerlendirme tekniklerinden biri olan hızlı maruziyet değerlendirme tekniği ile karşılaştırılarak önerilen yöntemin kullanılabilirliği üzerine tartışmalar yapılmıştır. Gül ve Güneri (2016), bir çalışmada, uzmanların matris yönteminin parametreleri olan iki faktörü (olasılık ve şiddet) değerlendirmek için dilsel değişkenleri kullanmalarını sağlayan bulanık bir yaklaşımın, net bir risk puanı hesaplamasının eksikliklerini ele alması ve karar vermedeki tutarsızlığı azaltması önerilmiştir. Bir alüminyum levha imalat tesisindeki tehlikelerle ilgili olasılık ve önem dereceleri Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (FAHP) kullanılarak ağırlıklandırılır, daha sonra 23 farklı tehlike grubunun öncelik sırasına göre Bulanık TOPSIS kullanılarak belirlenmiştir. Vaka uygulamasının bir takip çalışması olarak, önerilen risk değerlendirme metodolojisi tesisin her bir bölümündeki tehlike türleri için uygulanmıştır. Tehlike kontrol hiyerarşisine bağlı olarak, bölüm içi sıralamasında ilk sırada yer alan tehlikeler için kontrol önlemleri alınmıştır. Gül ve ark., (2018), bulanık VIKOR (FVIKOR) ile FAHP içeren yeni bir risk değerlendirme yöntemi önermiştir. Fine-Kinney yönteminden türetilen bu risk parametrelerinin (olasılık, şiddet, sıklık) ağırlıklandırılmasında FAHP kullanılmıştır. Öncelikli tehlike sıralamaları FVIKOR metodu ile belirlenmiştir. Önerilen yöntem,

tehlikelerin değerlendirilmesinde grup karar vermesini mümkün kılar ve Buckley'nin FAHP'sinin ikili olarak karşılaştırılmasıyla üç risk parametresi arasında göreceli önemi kullanılmıştır. Olasılık, sıklık ve şiddet parametrelerinin değerlendirilmesindeki zorluk nedeniyle, önerilen yöntemde dilsel terimler kullanılmıştır. Ek olarak, önerilen yöntemi göstermek için silah endüstrisindeki risklerin değerlendirilmesiyle ilgili bir vaka çalışması kullanılmıştır. Klasik yöntem ve FTOPSIS metotları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen yöntemin, paydaşların risk kontrollerinin etkinliğini doğrulamak için risk kontrol politikalarını belirlemelerine yardımcı olmakta etkili olduğunu göstermiştir. Gül (2018b), çalışmasında rüzgârlı tribünlerin inşaat ve işletme dönemi için yeni bir bulanık temelli yöntem kullanarak risk değerlendirmesi yapılmasını amaçlamıştır. Fine-Kinney risk analizi yönteminin parametrelerine ağırlık atamak için sık kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan bulanık analitik hiyerarşi süreci uygulanmıştır. Ardından, tehlikelere öncelik vermek için bulanık VIKOR yöntemi kullanılmıştır. Türkiye'de karadaki rüzgâr türbini için risk parametrelerinin ağırlıklandırılmasında iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarının kullanılması ve tehlikelerin tehlikeye girme derecelerinin değerlendirilmesinde bir vaka çalışması yapılmıştır. Sonuçlar, rüzgâr tribününün hem inşaat hem de işletme dönemi için en önemli tehlikeleri ortaya koymuştur. Bu çalışmanın sonucunda, bu riskler için kontrol önlemleri ve iyileştirme için olası düzeltici önleyici faaliyetler de sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan makale araştırmaları ve literatür taramalarından anlaşılıyor ki, TOPSIS metodu ve Pisagor Bulanık küme yönteminin bütünleştirildiği çalışma yapılmış ancak bu yeni geliştirilen yöntemler ne işletmeler için risk değerlendirme yöntemlerinde ne de boru hatlarının yapımı için gerekli olan risk değerlendirilmelerinde yapılmamıştır. Çok az sayıda çalışmada da Pisagor Bulanık küme ve AHP yöntemine odaklanılmıştır (İlbahar ve ark., 2018; Karasan ve ark., 2018). Bir çalışmada aralık değerli Pisagor Bulanık AHP (PBAHP) yöntemi, Fine-Kinney metodu ve bulanık çıkarım sistemleri birlikte İSG risk değerlendirmesi yapmak için kullanılmıştır; o çalışma da İlbahar ve ark.'nın (2018) çalışmasıdır. Bu tez çalışmasını İlbahar ve ark. (2018) ile Karasan ve ark.'nın (2018) çalışmalardan özgün kılan iki nokta vardır:

- Bu çalışmanın 2B risk matris yöntemi ve Pisagor bulanık TOPSIS entegrasyonu ile ilgilendiği durumlarda, İlbahar ve ark. (2018) ve Karasan ve ark. (2018), Fine-Kinney yöntemini, PFAHP'yi ve bulanık bir çıkarım sistemini içerir.

- Bu çalışmada üzerinde çalışmak için doğal gaz boru hattı yapım aşamalarından kazıdan farklı olarak temzileme ve sıyırma (tesviye) aktivitesi seçilmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Klasik İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yöntemleri

İş sağlığı ve güvenliğinde risk değerlendirmesi, Türkiye de 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile zorunlu kılınmıştır. 4857 sayılı İş Kanunu kapsamında yürürlüğe konulan yönetmeliklerin çoğunda yapılan işle ilgili iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesi yasal zorunluluk olarak belirtilmiştir. Ayrıca TS 18001 veya 18001 İSG Yönetim Sisteminde risk değerlendirmesi yapılması şartı bulunmaktadır (URL-8, 2019). Bu nedenle risk yönetimi, bu tür standartların işletmelerde fabrikalarda uygulanmasına veya uygulanmamasına bakılmaksızın, uygulama zorunluluğu bulunan risk değerlendirmelerini ve kontrol yöntemlerini içerir. Bir işletmede etkin bir risk yönetimi sistemi kurulması için öncelikle bir risk yönetimi yaklaşımlarından birinin kabul edilmesi ve yönetim tarafından bunun taahhüt edilmesi gerekir. Bu çerçevede kişilerin yetki ve sorumlulukları açıkça tanımlanmalı ve kullanılacak kaynaklar tahsis edilmelidir.

Günümüzde işletmelerde birden fazla yönetim sistemin birbiriyle etkileşimi sağlanarak bütünleşik şekilde sistemlerin oluşturulduğu ve uygulandığı görülmektedir. Ülkemizde 30 Haziran 2012'de 28339 sayılı Resmî Gazete'de İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu yayımlanmıştır. Ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği konusu, 13 Mayıs 2014 yılında Manisa'ya bağlı Soma'da bulunan kömür madenindeki göçük sonucu meydana gelen yangında 301 vatandaşımızın hayatını kaybetmesinden sonra önem kazanmıştır. Özellikle 1990'lı yıllar ve öncesinde senelerdeki deneyimler, işverenlerin veya yöneticilerin İSG konusunu öncelikli konular arasına almadığı ve bu işten sadece İSG uzmanlarının ve iş yeri hekimlerinin sorumlu olduğunu göstermektedir. Uzmanlar ve hekimler yasa, yönetmelik ve prosedürlerde belirtilen tedbirleri alsalar dahi üst yönetimin desteğini alamadıklarından işletmelerde bu işin uygulanabilirlik kısmı hep eksik kalmıştır. Konu hep arka plana itilmiştir, ceza almamak adına sadece asgari tedbirler alınarak eksik uygulamalar yapılmıştır. Dolayısıyla sadece yönetmelik kapsamındaki zorunlu maddelerle alakalı iş kazaları ve meslek hastalıklarında az da olsa azalmalar görülmüş fakat fazla ilerleme görülmemiştir. Devletin yasal zorunlulukları ve denetimlerini artırmasıyla işverenler konunun öneminin farkına varmış ve İSG konularında iyileşmeler ve gelişmeler görülmüştür.

Uluslararası Standart Organizasyonu (International Organization for Standardization) ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical

Commision IEC) gibi uluslararası kuruluşların, birbirleriyle etkileşimi göz önünde bulundurularak risk yönetimi prosedürlerinin ve standartlarının dokümantasyonunun uygulanmasını sunmaktadır (URL-9, 2019). ISO, OHSAS 18001 standardının yerini alacak 10 ana maddeden oluşan ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri Yükümlülükler standardını yayınlamıştır. Bu sistemde dünyada, çalışan güvenliğini artırarak, iş yeri risklerini düşürerek daha güvenli bir iş ortamı oluşturmak adına işverene düşen yükleri azaltma konusunda bir çerçeve oluşturarak yardımcı olması amaçlanmıştır (URL-10, 2019). Bir başka taraftan, 31000:2018, Risk Yönetimi Rehberi, işletmenin büyüklüğüne, faaliyet türüne veya sektöre bakılmaksızın her türlü işletmeye uygulanabilir ve riski yönetmek için bir çerçeve sunar. Diğer taraftan, risk değerlendirmesi için sistematik tekniklerin seçilmesi ve uygulanmasına ilişkin olarak, IEC 31010: 2009 olarak adlandırılan ve ISO 31000 için de destekleyici bir standart olan genel bir risk yönetimi standardı vardır. Bu standart, 31 farklı risk değerlendirme tekniğini ifade eder. Bu tekniklerden bazıları beyin fırtınası, röportajlar, Delphi, kontrol listeleri, ön tehlike analizi, HAZOP, kök neden analizi, hata türleri ve etkileri analizi (FMEA), hata ağacı analizi (FTA), olay ağacı analizi (ETA), insan güvenilirliği, değerlendirme (HRA), Markov analizi, Monte Carlo simülasyonu, maliyet-fayda analizi ve çok kriterli karar verme analizleridir (URL-11, 2019). Bunlardan bazıları, Türkiye'deki inşaat-yapım çalışmalarında ve diğer tehlikeli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Her birinin kendine özgü bir amacı ve sonucu vardır (Joy, 2004):

Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (Hazard and Operability Analysis-HAZOP): Proses tesisi tasarımı için tehlikelerin sistematik bir tanımıdır. Sözel risk analiz yöntemlerinden biridir. İşletmenin düzenine ait tehlike ve zayıflıkları bulur ve genelde planlama aşamasında kullanılır.

FMEA (Hata Türleri ve Etki Analizi), donanım bileşeni güvenilirlik risklerinin ayrıntılı bir analizidir. Bu yöntem, olası kötü sonuçları öngörmek ve ortaya çıkarmak için kullanılan yaygın bir metottur. Tümevarımsal bir yöntem olan FMEA aynı zamanda sistemin her bölümü için "Bu bölümde sorun çıkarsa ne olur?" gibi sorulara cevap arar. Sistemin herhangi bir bölümünde olabilecek olası sorun içeren durumları ve bu sorununun sistem bütününe ne derecede etkileyeceğini belirler. Bu metot tek seferde bileşen/bölüm ile ilgilenir ve diğer bölümler veya bileşenler bir fonskiyon yardımı ile tahmin edilir. Bu yüzden, bölümlerin kombinasyonundan kaynaklanabilecek olası sorunların belirlenmesinde bu analiz yöntemi kullanmak çok kullanışlı olmayabilir. Genelde belirli FMEA formları sistemin çalışmasını sağlamak için kullanılır.

Hata Ağacı Analizi (FTA), ilk olarak 1962’de telefon laboratuvarında geliştirilmiş ve Being firması bunu daha sonra niceliksel ve niteliksel analiz olarak geliştirmiştir. Son zamanlarda yaygın olarak risk analizinde kullanılan bir tekniktir. FTA sistem hataları arasındaki ilişkiyi göstermeyi hedefleyen bir mantık diagramıdır. Başlangıç olayı olarak istenmeyen bir durumu alır ve bu başlangıç olayının da farklı bileşenlerini “temel olaylar” olarak adlandırır. Potansiyel olarak kantitatif risk analizi yöntemlerini kullanarak, istenmeyen önemli olaylara katkıda bulunan faktörlerin ayrıntılı bir analizidir (Üçkardeş, 2012).

Olay Ağacı Analizi (ETA), potansiyel olarak kantitatif yöntemler kullanarak, istenmeyen ana olayların gelişiminin detaylı bir analizidir. Bu metot hem niceliksel hem de niteliksel olarak kullanılan bir yöntemdir. Başlangıçta, ETA ile olabilecek farklı senaryolar için bir taslak oluşturulabilir. Son olarak da sonuçlar ve çeşitli olaylar için olasılıklar verilebilir (Üçkardeş, 2012).

İşletmelerde risk değerlendirmesi, planlamayla başlar. Yapılacak olan değerlendirme güncel mevzuat ve işyeri çalışma koşulları çerçevesinde planlanır. İşyerinde yürütülmekte olan faaliyetlerin özelliklerine göre en uygun sınıflandırma yapılır. Bilgi ve veri toplama kısmında, işyerinde yürütülen faaliyetler, işi kimlerin yürüttüğü, bu işten kimlerin etkilenebileceği, çalışanlara verilen eğitimler, faaliyet için iş iznine gerek olup olmadığı, eğer makine ve ekipman kullanılacaksa bu makine ve ekipmanların kullanım kılavuzları veya el kitapçıkları, kullanılan kimyasallar ve korunma yöntemleri, daha önceden işletmede meydana gelmiş kazalar veya karşılaşılan meslek hastalığı dikkate alınır. Tehlike tanımlamaları, kimlerin hangi tehlikelerden ne şekilde etkileneceği konusuna açıklık getirir. Seçilen en uygun yöntemle risk analizi yapılır, risklerin nasıl uzaklaştırılacağı veya en aza indirileceği noktalarına değinilir. Son olarak da risklerin nasıl kontrol altına alınacağı öncelik sırasına göre belirlenir. Öncelik sırası aşağıdaki şekilde olmalıdır.

1. Riskleri kaynağında yok etmek.
2. Tehlikeli olanı daha az tehlikeli olanla değiştirmek (İkame Yöntemi)
3. Mühendislik uygulamaları
4. İdari önlemler (Tabelalar, şeritler)
5. Kişisel koruyucu donanım kullanılması

Risk değerlendirmeleri genel olarak nicel/kantitatif ve nitel/kalitatif olmak üzere iki grupta toplanır. Nicel yöntemlerde, riskler matematiksel formüller, teoremler kullanılarak matematiksel olarak hesaplanır. Olası hata türleri ve etkileri analizi (FMEA), X tipi matris, Fine-Kinney yöntemi nicel yöntemlere örnek olarak verilebilir. Nitel yöntemlerde, risklerin derecesi yüksek, orta veya düşük gibi dilsel terimler kullanılarak belirtilir. Hata ağacı analizi (FTA), neden-sonuç analizi, tehlike ve işletilebilme yöntemi (HAZOP) gibi yöntemler nitel yöntemler sınıfına girmektedir.

Dünyada ve ülkemizde her yıl işçi sağlığı ve iş güvenliğine ilişkin önemli istatistikler açıklanmaktadır. Dünyada genel olarak ILO (International Labor Organization) Dünya genelindeki verilerin kaydını tutmaktadır. Türkiye’de yaşanan iş kazaları ve meslek hastalıklarının resmi olarak kaydını tutan kurum SGK (Sosyal Güvenlik Kurumu)’dır. 31.05.2006 tarihinde kabul edilen, 16.06.2016 tarihli ve 26200 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu’na göre, sigortalıların geçirdiğı iş kazası veya meslek hastalığı olayın yaşanmasından, işveren tarafından öğrenilmesinden veya teşhis konulmasından sonraki 3 iş günü içerisinde SGK’ya bildirilmek zorundadır (5510 Sayılı SSGSK Madde 13, URL-12, 2019). 5510 Sayılı kanuna göre iş kazası,

1. Sigortalı olarak iş yerinde olduğı sırada,
2. İşverenin yürütmekte olduğı iş dolayısıyla çalışanın kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğı iş nedeniyle,
3. Herhangi bir işverene bağlı olarak çalışanın, görevli olarak çalışma yeri dışında başka bir yere gitmesi sırasında geçen zamanlarda,
4. Bebeęini henüz emzirme aşamasında olan kadın çalışanın, iş mevzuatı kapsamında tanınan süt vermek için ayrılan zamanlarda,
5. Çalışanların, işverenin sağladığı bir servis aracıyla işe gidiş gelişi sırasında, meydana gelen ve çalışanın olay anında veya sonrasında fiziksel veya ruhsal bütünlüğünün bozulmasına sebep olacak olay olarak açıklanmaktadır (5510 Sayılı SSGSK Madde 13, URL-12, 2019).

3.2. İş Kazası ve Meslek Hastalığı İstatistikleri

İşverenlerin, çalışanlarının yaşadıkları iş kazaları ve meslek hastalıklarını bildirmesiyle toplanarak elde edilen veriler yıllık istatistikler olarak yayınlanmaktadır. Bu sistemde, her yılın sonuna doğru bir önceki yıl için istatistikler yayınlanmaktadır. Geçtiğimiz 2017 yılına ait yıllık veriler 10 Kasım 2018 tarihinde açıklanmıştır. Aşağıda Tablo 3.1.'de 2017 yılı SGK istatistiklerinden ilgili kanunun 4-1/a Maddesi kapsamına giren kadın ve erkek sigortalıların ayrı ayrı yaşamış olduğu iş kazası ve meslek hastalığı sayısını görebilirsiniz. Tablo 3.2.'de 2017 yılına ait yaşanan istatistiklerin iş koluna göre dağılımı verilmiştir. İş kollarına göre meydana gelen ölümler incelendiğinde ilk sırada inşaat işkolunda meydana gelen ölümler almıştır ve toplam ölümlerin %36'sına denk gelmektedir (URL-13, 2019). İlgili kanunun 4-1/a maddesi kapsamınca sigortalı sayılanlara ikişkin hükümler (5510 Sayılı SSGSK Madde 4, URL-12, 2019).

Tablo 3.1. 5510 sayılı kanunun 4-1/a maddesi kapsamındaki sigortalılardan yıl içinde iş kazası ve meslek hastalığı sonucu ölenlerin sayısı (URL-13, 2019)

İş kazası geçirip ölen sigortalı sayısı		Meslek hastalığına yakalanıp ölen sigortalı sayısı	
Kadın	Erkek	Kadın	Erkek
29	1,604	0	0
TOPLAM:1,633		TOPLAM :0	

3.3. 2B Risk Matrisi Yöntemi

2B risk matrisi, 5X5 risk matrisi veya karar matrisi olarak bilinen bu yöntem, iş güvenliği ve sağlığı güvenliği risk değerlendirme alanında en çok kullanılan sistematik yaklaşımlardan biridir (Gül ve Güneri, 2016; Samantra ve ark. 2017; Amirshenava ve Osanloo, 2018; Gül, 2018; Yazdı, 2018). Matematiksel fomül kullanarak yapıldığından kantitatif yani nicel yöntemlerden biridir. Daha çok karmaşık üretim süreçleri ve akım şemaları olan faaliyetlerin yürütüldüğü işletmelerde veya büyük çaplı operasyonlar barındıran projelerde uygulandığı bilinmektedir. Belirlenen tecrübeli bir takım lideri önderliğinde yaşanan geçmiş son 5 yıla ait kaza araştırmasının disiplinli bir şekilde incelenmesini gerektiren bir yaklaşım türüdür. Yaşanmış kazaların muhtemel nedenleri ve tekrar meydana gelme olasılıkları üzerine çalışmalar yapılır. İlk önce en düşükten en yüksek

dereceye olacak şekilde 1’den 5’e kadar Tablo 3.3.’teki gibi şiddet değerlerini gösteren ve Tablo 3.4.’te gösterildiği gibi olasılık değerlerini gösteren tablolar aynı derecelendirme sıralaması olacak şekilde hazırlanır. Daha sonra bu tablolardan Tablo 3.5.’te gösterildiği gibi risk matrisi elde edilir. Bu yöntemde riskin puanı veya riskin skoru riskin olasılık ve şiddet değerinin çarpılmasıyla elde edilir. Olasılık ve şiddet değerleri 1 ile 5 arasında en düşükten en yükseğe göre verilir. Risk matrisindeki değerlere göre Tablo 3.6. kullanılarak faaliyete ilişkin alınması gereken önlemler ve tedbirler önerilir.

Tablo 3.2. 5510 sayılı kanunun 4-1/a maddesi kapsamındaki iş kazasından ölen sigortalıların iş koluna göre dağılımı (URL-13, 2019).

Yıllar	Meslek hastalığı sayısı	Meslek hastalığı sebebiyle ölüm sayısı	İş kazası sebebiyle ölüm sayısı	İK ve MH sonucu ölüm sayısı
1995	975	121	798	919
1996	1.115	196	1.296	1.492
1997	1.055	191	1.282	1.473
1998	1.4	158	1.094	1.252
1999	1.025	168	1.165	1.333
2000	803	6	1.167	1.173
2001	883	6	1.002	1.008
2002	601	6	872	878
2003	440	1	810	811
2004	384	2	841	843
2005	519	24	1.072	1.096
2006	574	9	1.592	1.601
2007	1.208	1	1.043	1.044
2008	539	1	865	866
2009	429	0	1.171	1.171
2010	533	10	1.444	1.454
2011	697	10	1.7	1.71
2012	395	1	744	745
2013	371	0	1360	1.36
2014	494	0	1626	1.626
2015	510	0	1252	1252
2016	597	0	1405	1405
2017	691	0	1633	1633

Tablo 3.3. Şiddet skorları (Çakmak, 2014)

Şiddet (Şiddet Değeri)	Derecelendirme
Çok hafif (1)	İş saati kaybı yok, hemen giderilebilen, ilk yardım gerektiren
Hafif (2)	İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi
Orta (3)	Hafif yaralanma, yatarak tedavi/yaralanma
Ciddi (4)	Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı
Çok ciddi (5)	Ölüm, sürekli iş göremezlik

Tablo 3.4. Olasılık Skorları (Çakmak, 2014)

İhtimal (İhtimal Değeri)	Ortaya Çıkma Olasılığı İçin Derecelendirme Basamakları
Çok küçük (1)	İş saati kaybı yok, hemen giderilebilen, ilk yardım gerektiren
Küçük (2)	İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi
Orta (3)	Hafif yaralanma, yatarak tedavi/yaralanma
Yüksek (4)	Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı
Çok yüksek (5)	Ölüm, sürekli iş göremezlik

Tablo 3.5. Risk matrisi (Çakmak, 2014)

Risk Skoru			Şiddet		
İHTİMAL	1 (çok hafif)	2 (hafif)	3 (orta derece)	4 (ciddi)	5 (çok ciddi)
1 (Çok Küçük)	Önemsiz 1	Düşük 2	Düşük 3	Düşük 4	Düşük 5
2 (Küçük)	Düşük 2	Düşük 4	Düşük 6	Orta 8	Orta 10
3 (Orta Derece)	Düşük 3	Düşük 6	Orta 9	Orta 12	Yüksek 15
4 (Yüksek)	Düşük 4	Orta 8	Orta 12	Yüksek 16	Yüksek 20
5 (Çok Yüksek)	Düşük 5	Orta 10	Yüksek 15	Yüksek 20	Tolere Edilemez 25

3.4. Bulanık Mantık Teorisi

Bulanık mantık, insanların tecrübelerinden, verilerinden yararlanarak, elde ettiği değerleri belirli algoritmalar ile işleyip, oluşturacağı her bir kurala bağlı olarak belirli matematiksel fonksiyonların yardımı ile sonuç değerlerinin çıkarılmasıdır. Batı kültürde (Boolean) yani Aristonun ikili değer mantığı vardır. Bulanık mantık bu ikisi arasında değerleri de dikkate alarak çok değerli sonuçlar türetir ve büyüklükleri az, çok, biraz, orta, uzun, normal gibi sözel dile uygun değişkenler ile ifade eder. 0-1 değerleri yerine ara değerlerle (0.3, 0.92 gibi) işlem yapmaya olanak tanır. İki değerli üyeliği çok değerliliğe taşıyarak genelleme yeteneği katar (Ertunç, 2012).

Tablo 3.6. 5x5 Karar matrisi ve önleyici eylem planları (Gül and Güneri, 2016)

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

Bulanık kümeler teorisi, 1965 yılında Azeri matematikçi Loutfi Zadeh tarafından geliştirilmiştir ve farklı alanlarda uygulamalar yapılmıştır. Aristo'nun ortaya attığı klasik mantığın 0 – 1 kesinlik önermelerine karşı bir mantık olarak ortaya çıkmıştır. Aristo mantığı iki önermelidir. Bu önerme doğru ya da yanlış önermedir. Zadeh, “Matematik dünyasında her şey keskin sınırlara sahiptir ya dairedir ya da değildir. Ya çizgiler birbirine paraleldir ya da değildir. Fakat gerçek dünyada “Bu kişi dürüst müdür, ya da güzel midir?” diye sordüğümüzde sınırlar oldukça bulanıktır.” diyerek açıklamıştır (URL-14, 2019). Bu kavram bulanık mantık olarak adlandırılmıştır. Zadeh tarafından bulanık mantığın ilkeleri şu şekilde ifade edilmiştir (Elmas, 2007).

- Bulanık mantık da kesin belli olan değerler yerine yaklaşık değerler kullanılır.
- Bulanık mantık için bilgi çok az, az, küçük, büyük şeklinde dilsel ifadeler ile tanımlanır.
- Bulanık mantıkta tüm değerler [0-1] aralığında bir üyelik derecesi ile gösterilir.
- Her mantıksal ifade bulanık halde ifadeye dönüştürülebilir.
- Matematiksel modeli çok karmaşık ve zor olan sistemler için bulanık mantık uygun bir yöntemdir.

3.5. Bulanık Mantık Teorisinin Yenilikleri ve Avantajları

Daha basite indirgeyecek olursak, insanlar bile kendi sıradan günlük hayatlarında tercihlerini yaparken, gelecekle ilgili varsayımlarda bulunurken belirsizlik altında olduğundan, kesinlik anlamı katan sayısal ifadelerdense, daha nitel kavramlar kullanmaktadır. Bulanık küme teorisi de insana özgü bu varsayımsal düşünce şeklini baz almaktadır. Belirsizliğin modellenmesinde kullanılan bu teori Aristo mantığı olarak da bilinen klasik mantığa ters düştüğünden ilk başlarda çok sıcak bakılmamıştır. Ancak zamanla başarılı uygulamaların görülmesi ile çeşitli çevrelerce kabul görmüştür. (Woodall ve Davis, 1994; Ross, 1995; Şen, 2001)

3.6. Bulanık Mantık Teorisi ile Olasılık Teorisi Arasındaki Farklar

Bulanık mantık öncesinde belirsizliğin ölçülmesinde olasılık kuramı gibi bazı yöntemler kullanılmaktadır. İstenilen parametreler tahmini, bu yöntemlerde modele etkisi olduğu düşünüşen değişkenler konularak regresyon analizi yardımı ile bulunur. Eldeki değişkenlere ait verilerin varyansları, standart sapmaları ve verilerin ortalamadan uzaklıklarının kareleri toplamı gibi metotlar kullanılır. Daha önceden kullanılmakta olan istatistiksel yöntemler ve bulanık mantık arasındaki kıyaslama yapılırsa şöyle sonuçlara elde edilebilir (URL-15, 2019):

- Veri sayısının yeterli olup olmaması klasik istatistiksel yöntemin çözüm yöntemi olarak kullanıldığı modellemelerde karşılaşılan en önemli kısıttır. Yeteri kadar veri yoksa da yukarıda bahsedilen işlemleri yapmak mümkün değildir.
- Bu yöntemlerin uygulanması için gerekli olan veri çoğu zaman olanaksızdır. Bu yüzden, karar vericiler uzman tecrübelerine dayanarak ekonomik problemin modellenmesini yaparlar. Bu durumda da ortaya çıkan bilgi genel olarak nitel olacaktır. Nitel bilgi paylaşımı sonucu ortaya çıkan algı eksikliğini ancak bulanık mantık teorisi ortadan kaldırılabilir.
- İstatistiksel yöntemlerde varsayımlar, verilerin yeterli olup olmaması, doğrusal olma, verilerin normal dağılıma uyması gibi birçok ekstra bazı kabullere ihtiyaç varken bulanık mantık teorisinde bu tür kabullere gerek yoktur.

3.7. Pisagor Bulanık Küme Tabanlı TOPSIS

Pisagor bulanık kümeler teorisi ise ilk olarak Yager, (2014) tarafından ortaya atılmıştır ve birçok farklı alanda yapılan araştırmalarda sezgisel bulanık kümeler gibi belirsizliğin olduğu durumlarda araştırmacılar tarafından tercih edilen bir yöntem olmuştur. Her iki küme yönteminde de üyelik derecesi, üye olmama derecesi ve tereddüt indeksiyle ifade edilir. Ancak üyelik ve üye olmama derecelerinin 1'den büyük olduğu durumlarda sezgisel bulanık küme yöntemi optimum sonucu vermede başarısız olur. Açıkçası problemi çözme konusunda yetersiz kalır. Bunun sonucunda, Yager (2014) Pisagor tabanlı bulanık küme yöntemini geliştirmiştir. Bu kümeler, sezgisel bulanık kümelerin belirsizlikle baş edemediği bazı durumlarda sezgisel bulanık kümelerin genelleştirilmiş halidir. Bu durum, Pisagor bulanık küme yöntemini belirsizlik içeren problemleri çözmede daha güçlü ve esnek kılar (Mohd ve Abdullah, 2017; İlbar ve ark., 2018; Karasan ve ark., 2018). Pisagor bulanık küme yönteminde de diğer sezgisel bulanık küme yöntemlerinin aksine üyelik ve üye olmama dereceleri toplamı 1'i geçebilir fakat karelerinin toplamı olamaz (Zhang ve Xu, 2014; Zang ve ark., 2016; İlbar ve ark., 2018; Karasan ve ark., 2018;). Bu durum aşağıda Tanım (1)'de belirtilmiştir.

Tanım 1: X evrensel küme ve P Pisagor bulanık kümesi bu evrensel kümenin nesnesi olsun. P nesnesi aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$P = \{ \langle x, P(\mu_P(x), \nu_P(x)) \rangle \mid x \in X \} \quad (3.1)$$

Burada $\mu_P(x): X \mapsto [0,1]$ üyelik derecesini ve $\nu_P(x): X \mapsto [0,1]$ üye olmama derecesini göstermektedir.

X evrensel kümesindeki bir x elamanın aynı evrensel kümenin bir alt kümesi olan P kümesine üye olma derecesi 0 ya da 1 ile gösterilir. $\mu_P(x) = 1$ ise, x, P kümesinin elemanıdır şeklinde yorumlanır ve her $x \in X$ için,

$$0 \leq \mu_P(x)^2 + \nu_P(x)^2 \leq 1 \quad (3.2)$$

Herhangi bir P Pisagor bulanık kümesi ve $x \in X$ için tereddüt indeksi aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\pi_P(x) = \sqrt{1 - \mu_P^2(x) - v_P^2(x)} \quad (3.3)$$

Tanım 2: $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$ ve $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$ iki Pisagor bulanık sayısı olsun ve $\lambda > 0$ için bu sayılarla yapılabilecek işlemler şu şekilde tanımlanmıştır (Zhang and Xu, 2014; Zeng ve ark., 2016) :

$$\beta_1 \oplus \beta_2 = P(\sqrt{\mu_{\beta_1}^2 + \mu_{\beta_2}^2 - \mu_{\beta_1}^2 \mu_{\beta_2}^2}, v_{\beta_1} v_{\beta_2}) \quad (3.4)$$

$$\beta_1 \otimes \beta_2 = P(\mu_{\beta_1} \mu_{\beta_2}, \sqrt{v_{\beta_1}^2 + v_{\beta_2}^2 - v_{\beta_1}^2 v_{\beta_2}^2}) \quad (3.5)$$

$$\lambda \beta_1 = P(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\beta_1}^2)^\lambda}, (v_{\beta_1})^\lambda), \lambda > 0 \quad (3.6)$$

$$\beta_1^\lambda = P((\mu_{\beta_1})^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v_{\beta_1}^2)^\lambda}), \lambda > 0 \quad (3.7)$$

Tanım 3: $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$ ve $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$ iki Pisagor bulanık sayı olsun, Pisagor bulanık sayılarında doğal “quasi-ordering” aşağıdaki şekildedir (Zhang and Xu, 2014):

$\beta_1 \geq \beta_2$ ancak ve ancak $\mu_{\beta_1} \geq \mu_{\beta_2}$ ve $v_{\beta_1} \leq v_{\beta_2}$ Koşullarını sağladığında gerçekleşir.

İki Pisagor bulanık sayısının büyüklüğünü karşılaştırmak için, (Zhang and Xu, 2014) tarafından geliştirilen hesaplama fonksiyonu aşağıdaki şekildedir:

$$s(\beta_1) = (\mu_{\beta_1})^2 - (v_{\beta_1})^2 \quad (3.8)$$

Tanım 4: Yukarıdaki tanımda Pisagor bulanık sayıları için önerilen hesaplama fonksiyonuna bağlı olarak, iki Pisagor bulanık sayısını karşılaştırmak için tanımlanan kurallar aşağıda belirtilmiştir (Zhang and Xu, 2014):

- i) Eğer $s(\beta_1) < s(\beta_2)$, ise $\beta_1 < \beta_2$
- ii) Eğer $s(\beta_1) > s(\beta_2)$, ise $\beta_1 > \beta_2$
- iii) Eğer $s(\beta_1) = s(\beta_2)$, ise $\beta_1 \sim \beta_2$

Yukarıda verilen tanımlara dayanarak, Pisagor bulanık küme tabanlı TOPSIS algoritması işlem adımlarıyla beraber sunulmuştur.

Adım 1: İlk adımda, Pisagor bulanık sayıları temel alınarak oluşturulan karar matrisi $R = (C_j(x_i))_{m \times n}$ hesaplanır. Burada, $C_j(j = 1, 2, \dots, n)$ ve $x_i(i = 1, 2, \dots, m)$ kriter ve alternatif değerleri göstermektedir.

Matris formu aşağıdaki gibidir.

$$R = (C_j(x_i))_{m \times n} = \begin{pmatrix} P(u_{11}, v_{11}) & P(u_{12}, v_{12}) & \dots & P(u_{1n}, v_{1n}) \\ P(u_{21}, v_{21}) & P(u_{22}, v_{22}) & \dots & P(u_{2n}, v_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P(u_{m1}, v_{m1}) & P(u_{m2}, v_{m2}) & \dots & P(u_{mn}, v_{mn}) \end{pmatrix}$$

Adım 2: İkinci adımda Pisagor bulanık küme tabanlı pozitif ideal çözüm (PIS) ve negatif ideal çözümler (NIS) 9. ve 10. denklemlerden yararlanılarak hesaplanır.

$$x^+ = \{C_j, \max_i(s(C_j(x_i))) | j = 1, 2, \dots, n\} = \{\langle C_1, P(u_1^+, v_1^+) \rangle, \langle C_2, P(u_2^+, v_2^+) \rangle, \dots, \langle C_n, P(u_n^+, v_n^+) \rangle\} \quad (3.9)$$

$$x^- = \{C_j, \min_i(s(C_j(x_i))) | j = 1, 2, \dots, n\} = \{\langle C_1, P(u_1^-, v_1^-) \rangle, \langle C_2, P(u_2^-, v_2^-) \rangle, \dots, \langle C_n, P(u_n^-, v_n^-) \rangle\} \quad (3.10)$$

Adım 3: Bu adımda Pisagor bulanık tabanlı pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklar 11. ve 12. denklemler kullanılarak hesaplanır.

$$D(x_i, x^+) = \sum_{j=1}^n w_j d(C_j(x_i), C_j(x^+)) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j (|(\mu_{ij})^2 - (\mu_j^+)^2| + |(v_{ij})^2 - (v_j^+)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^+)^2|) \quad (3.11)$$

$$D(x_i, x^+) = \sum_{j=1}^n w_j d(C_j(x_i), C_j(x^+)) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j (|(\mu_{ij})^2 - (\mu_j^+)^2| + |(v_{ij})^2 - (v_j^+)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^+)^2|) \quad (3.12)$$

10. ve 11. denklemler için $i=1, 2, \dots, n$. Genel olarak, $D(x_i, x^+)$ değeri ne kadar küçük olursa x_i alternatifi o kadar iyi ve $D(x_i, x^-)$ değeri ne kadar büyük olursa x_i alternatifi o kadar iyi olur.

Adım 4: Bu adımda, x_i alternatifinin, gözden geçirilmiş yakınlığı $\xi(x_i)$ 13. Denklemden gösterildiği şekilde hesaplanır.

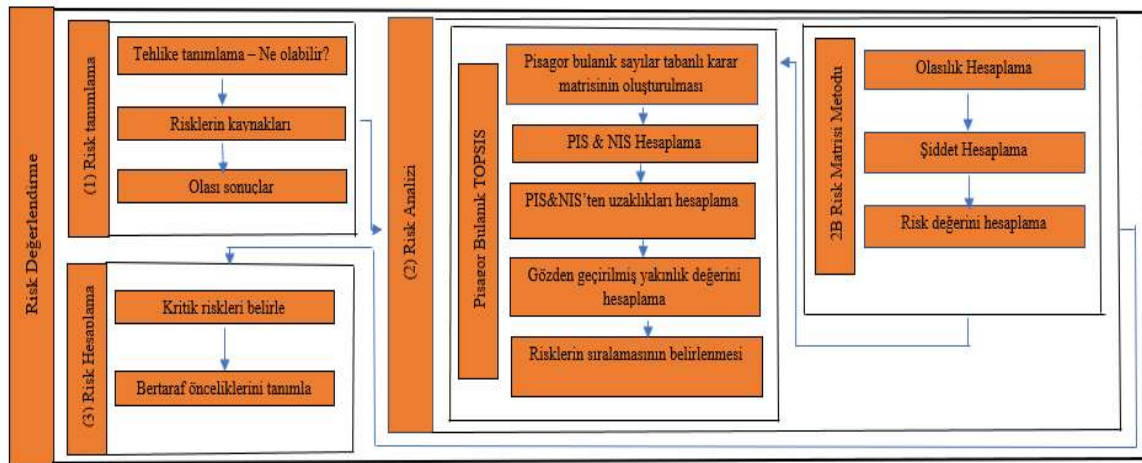
$$\xi(x_i) = \frac{D(x_i, x^-)}{D_{\max}(x_i, x^-)} - \frac{D(x_i, x^+)}{D_{\min}(x_i, x^+)} \quad (3.13)$$

Adım 5: Son adımda, alternatiflerin en iyi sıralama sırası belirlenir. En yüksek revize edilmiş katsayı değerine sahip alternatif en iyi alternatiftir.

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ilk olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen ve belirsizlik altında çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerini çözmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem de az sayıda parametre isterken, çıktılarının karar vericiler tarafından kolayca anlaşılabilirliği nedeniyle tercih edilen yöntemler arasında olduğu gözlemlenmiştir. TOPSIS yöntemi genel olarak, seçilen alternatifin, pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak olma esasına dayanmaktadır. Fakat kararların belirsizlik altında verildiği ve amaç ve kısıtların belirgin olmayıp bulanık sayılarla ifade edildiği ortamlar için bulanık TOPSIS yöntemi geliştirmişlerdir (Tzeng ve Huang, 2011).

3.8. Önerilen Bulanık Risk Modeli

Önerilen metodun uygulanması üç adımdan oluşur. İlk adımda tehlikelerin tam listesini ve olası sonuçlarını belirlemeye yönelik risk tanımlaması yapılır. İkinci adım risk analizi ile ilgilidir. Bu adımda 2B risk matrisinin risk parametreleri (olasılık ve şiddet) göz önünde bulundurularak, Pisagor bulanık TOPSIS yöntemiyle riskin büyüklüğü hesaplanır ve buna göre risk önceliği belirlenir. Son olarak, risk değerlendirme aşamasında, kabul edilemez riskleri belirlemek ve bertaraf kararlarını sadeleştirmek için risk analizi süreci sonuçları değerlendirilir. Bertaraf öncelikleri sonuçlara göre belirlenir. Şekil 3.1.'de önerilen bulanık risk modeline ait akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Önerilen bulanık risk modelinin akış şeması.

4. UYGULAMA: DOĞAL GAZ BORU HATTI YAPIM PROJESİ TEMİZLEME VE SIYIRMA AKTİVİTESİ İÇİN RİSK DEĞERLENDİRME

4.1. Risk Tanımlama

Uygulama doğal gaz boru hattı projesinde yapılmıştır. İstimlak sınırı olarak adlandırılan çalışma alanının tesviyeleme işlemi çalışma için seçilmiş olan aktivitedir. Temizleme işlemi bittikten sonra, sıyırma (tesviye) işlemi yapılır. Toprağın tesviyelenmesinden kaynaklı hareketi oldukça asgari düzeydedir. Ancak sıyırma sırasında dikkat edilmesi gereken noktalar da vardır.

1) Üst tabakanın humuslu toprağı (ayırışmış organik made içeren katman) çalışma alanının kenarı boyunca uygun bir şekilde sıkıştırılarak depolanır.

2) İşin yürütülmesinde kullanılacak iş makineleri ve araçlar için ulaşım yolları sağlanmalıdır.

3) Boru hatlarına ve açılan kanallara zarar verecek olan kaya gibi malzemeler uzaklaştırılır.

4) Toprağın ve nehirlerin morfolojik özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Tesviyeleme işlemi sırasında projenin yapım yöntemi ve prosedürlerine dikkat edilmeli ve bunlara bağlı kalmaya dikkat edilmelidir. Gereklilikler;

- Sıyırma faaliyeti boyunca çalışma alanlarına erişmek için kalıcı veya geçici ulaşım yolları yapılacaktır.
- Sadece verimli toprak yığma, boruları izme ve kanal açmaya yetecek kadar alan sıyırılmalıdır.
- Çalışılan alan 36 metre olarak belirlenmiştir. Bu alan dışında herhangi bir çalışma yapılmasına izin verilmemektedir.
- Diğer boru hatlarıyla kesişim hallerinde alan, prosedürde belirtildiği şekilde sınırlandırılmalıdır.
- Mevcut gömülü boru hatlarının ekseni boyunca araçların geçişi makul derecede önlenecaktır.
- Toprağın yapısından dolayı patlatma yapılması gereken yerlerde metotta yer alan bütün güvenlik önlemleri kabul edilmiş sayılır.

- İş makineleriyle sıyrmanın zor olduğu yerlerde patlatma yapıldıktan sonra çalışma alanı açılacaktır.
- Araçların güvenli geçişinin veya ulaşımın yetersiz olduğu bataklık gibi yerlerde uygun şekilde erişimi sağlamalıdır.

Risk değerlendirmesinin ilk adımı, potansiyel tehlikeler veya riskin oluşması ve bunlarla ilgili faaliyet ve konumlarına ilişkin olarak; tehlikenin sonuçları ve kimin veya neyin ne şekilde etkileneceği sorusu, bir toprak uzmanı ve iş sağlığı ve güvenliğinden sorumlu olan risk değerlendirme ekibi tarafından belirlenir. Etkili bir risk değerlendirmesi yapılabilmesi için tehlikelerin iyi şekilde belirlenmesi ve tehlike tanımlarının çok iyi şekilde yapılması gerekir. Risk değerlendirmesi yapacak ekibin çalışanlarının bu konuda hatırı sayılır deneyimin olması risk değerlendirmesini daha etkili, gerçekçi ve güvenilir olması açısından çok önemlidir. Bu çalışmada risk değerlendirmesini yapacak olan ekip, İSG yönetim sistemine katılan 10 kişiden oluşmaktadır. Bu grupta yer alan uzmanların ünvanları ve tecrübe yılları ile ilgili detaylı bilgiler Tablo 4.1.'de verilmiştir. Anonimlik nedeniyle, uzmanların kimliği bu çalışmada açıklanmamıştır, ancak numara verilerek isimlendirilmiştir. Veri toplamak için, istimlak sınırı inşaat sahasının kapsamlı bir analizini yaptırmak amacıyla uzmanların gözlemleri doğrultusunda belirlenen 25 tehlike için anket hazırlanmıştır (Ek 1). Yapılacak olan faaliyetle ilgili uzmanların gözlemleri doğrultusunda hazırlanan bu anketin uzmanlar tarafından doldurulması istenmiştir (Ek 2). Faaliyetle ilgili belirlenen tehlike listesi ayrıntılı bir şekilde Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. İSG uzmanlarının detaylı listesi

Uzman No.	Unvan	Deneyim (Yıl)
Uzman.1	Toprak Uzmanı	15
Uzman.2	İSG Uzmanı (C Sınıfı)	5
Uzman.3	İSG Uzmanı (C Sınıfı)	1.5
Uzman.4	İSG Uzmanı	14
Uzman.5	İSG Eğitim Müdürü	5
Uzman.6	İSG Bölüm Müdürü	16
Uzman.7	İSG Bölümü Müdür Yardımcısı	20
Uzman.8	İSG Uzmanı	14
Uzman.9	İSG Uzmanı (C Sınıfı)	1.5
Uzman.10	İSG Uzmanı (C Sınıfı)	5

Tablo 4.2. Belirlenen tehlike ve tanımlamaları

Tehlike Numarası	Olabilecek Tehlikeler	Faaliyet	Tehlikenin sonuçları	Etkilenenler
Tehlike.1	Seyahat etmek Çalışan yorgun düşebilir veya trafik kazası geçirebilir	Çalışılacak alana ulaşım yolculuğu	Yaralanma veya maddi hasarla sonuçlanan trafik kazası	Sürücüler / Yolcular/yolun diğer kullanıcıları
Tehlike.2	Anayolda diğer araçlarla karşılaşma	Toplu yolların /çalışma sahasının kullanımı	Yaralanma veya maddi hasarla sonuçlanan trafik kazası	Sürücüler / Yolcular/yolun diğer kullanıcıları
Tehlike.3	İnsan(lar)a çarpma	Ekipmanların sahadamanevra yapması	Yaralanma	Çevrede bulunan herkes
Tehlike.4	Sahada diğer araçlarla çarpmak		Yaralanma, ekipmana veya çevreye zarar verme	Sürücüler ve çevre
Tehlike.5	İletişim kopukluğu		KontROLSÜZ yükleme sonucu kayma	Bölgedeki kişiler
Tehlike.6	Yüksekten düşme	Ekipman yükleme ve boşaltılması	Yaralanma veya ölüm tehlikesi	İşaretçi/sapanc
Tehlike.7	Yükün kayması		Yaralanma veya maddi hasarlı kaza	Yükleme alanındaki kişiler
Tehlike.8	Gevşek / yumuşak Zemin durumu		Yaralanma veya maddi hasarlı kaza	Operatörler
Tehlike.9	Yeraltı/Başüstü servisler		Electric shock from buried / overhead cables	Operatörler ve civardaki kişiler
Tehlike.10	Drenaj		Drenaj kanallarının tıkanması	Halk
Tehlike.11	Ağaçların düşmesi, sahadan çıkartılması		Çevreye önemli etki	Yaralanma veya çevreye zarar
Tehlike.12	Yangın		KontROLSÜZ ateş	Yanık, ısı stresi, gaz oluşumu
Tehlike.13	Taşıyabilir aletlerin kullanılması (motorlu testere vb.)	Çalışma sahasının temizlenmesi	El aletlerinin arızalanması	Operatörün yaralanması
Tehlike.14	Toprağa yağ dökülmesi, yakıt doldurma sırasında maddenin dökülmesi		Çevreye Etki, Toprağın Kirlenmesi	Çevre
Tehlike.15	Zehirli bitki örtüsü		Zehirli bitki örtüsü ile temas	Göz ve cilt tahrişi
Tehlike.16	Kerestenin istiflenmesi ve sahadan uzaklaştırılması		Elleçleme	Bel ve sırt yaralanması
Tehlike.17	Ekipman kullanımı		Ekipman arızası	Yaralanma
Tehlike.18	Eğimde ekipman kullanımı		Ekipmanın devrilmesi	Yaralanma veya ekipmana
Tehlike.19	Ekipmanın hareketi		Yerel halk için rahatsızlık	Yaralanma
Tehlike.20	Başüstü enerji nakil hatları	Sıyırma işlemi	Elektrik çarpması, Yangın / patlama	Operatörün veya çevredekilerin yaralanması
Tehlike.21	Yeraltı servisleri		Sel, elektrik çarpması, iletişim kaybı	Yaralanma ve mevcut servisleri zarar görmesi
Tehlike.22	Geçici geçişler		Kaygan çökme	Servislerin zarar görmesi
Tehlike.23	Kazı		Kazı kanalının çökmesi, taşma	Operatörün veya çevredekilerin zarar görmesi
Tehlike.24	Çalışma alanı sınırları		Personelin yetkisiz girişi	Yaralanma
Tehlike.25	Toprak ve çevre kirlenmesi	Atık bertarafı	Atık su yönetimi eksikliği, sosyal tesisler	İnsana / çevreye zarar, rahatsızlık / hastalık

4.2. Risk Analizi

Önerilen modelin ikinci adımında başlangıç risk skoru belirlenir. Burada ilk risk hesaplama yöntemi olarak 2B risk matrisi yöntemi seçilmiştir. Herbir tehlikenin riski, olasılık ve şiddetin çarpımıyla bulunmuştur. Toplamda faaliyete ilişkin 25 tane tehlike incelenmiştir. Tehlike 8 dışında hepsinin risk skoru 20 olarak hesaplanmıştır, onun da 16 olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle, doğal gaz boru hattı projesinin temizlenmesi ve sıyrılması sürecinde tespit edilen tehlikelerin tekrar puanlanması ve önceliklendirilmesi için önerilen yaklaşım uygulanmıştır. 2B risk matrisi yönteminden türetilen risk parametrelerinin ağırlıklarının belirlenmesi ile ilgili hususlar, olasılık ve şiddet parametrelerinin ağırlıkları uzman grubu tarafından sırasıyla $W = 0.4, 0.6$ olarak verilmiştir. Pisagor bulanık küme tabanlı TOPSIS yöntemi iki aşamadan oluşmaktadır.

İkinci aşamada, bu risk parametrelerinin 'riskleri ve risklerin her bir risk parametresine göre değerlendirilmesi' kullanılarak. Pisagor bulanık küme tabanlı TOPSIS yöntemi uygulandı.

Uzmanlar 9 farklı pisagor bulanık dilsel ölçeğine göre 25 tehlike için olasılık ve şiddet değeri vermiştir. Değerlendirme sonunda Pisagor bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözümler, pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar hesaplanmıştır. Denklemlerde alternatifin yakınlık değerleri hesaplanır. Bu değerlere göre tehlikelerin sıralaması belirlenmiştir. Uzman grubu dilsel değişkenleri ve Tablo 4.3.'te gösterildiği gibi karşılık gelen Pisagor bulanık sayılarını kullanarak 25 tehlikeyi değerlendirmiştir. Bu değerlendirmenin sonunda Pisagor bulanık karar matrisi, Tablo 4.4.'teki gibi oluşturulur.

Tablo 4.3. Olasılık ve ciddiyet açısından tehlikeleri değerlendirmek için Dokuz noktalı Pisagor bulanık dilbilim ölçeği (Pérez-Domínguez ve ark. 2018)

Dilsel terimler	Karşılık gelen Pisagor bulanık sayısı (u,v)
Son derece düşük (EL)	(0.10,0.99)
Çok az (VL)	(0.10,0.97)
Küçük (L)	(0.25,0.92)
Orta küçük (ML)	(0.40,0.87)
Orta (M)	(0.50,0.80)
Orta yüksek (MH)	(0.60,0.71)
Büyük (B)	(0.70,0.60)
Çok uzun (VT)	(0.80,0.44)
İnanılmaz derecede yüksek (TH)	(0.10,0.00)

Tablo 4.4. Pisagor bulanık karar matrisi

Tehlikeler	Olasılık	Şiddet
Tehlike.1	P (0.305,0.902)	P (0.635,0.642)
Tehlike.2	P (0.265,0.897)	P (0.54,0.706)
Tehlike.3	P (0.185,0.948)	P (0.29,0.849)
Tehlike.4	P (0.335,0.862)	P (0.57,0.661)
Tehlike.5	P (0.405,0.833)	P (0.335,0.864)
Tehlike.6	P (0.29,0.881)	P (0.575,0.648)
Tehlike.7	P (0.365,0.858)	P (0.56,0.666)
Tehlike.8	P (0.45,0.794)	P (0.48,0.7)
Tehlike.9	P (0.49,0.78)	P (0.65,0.571)
Tehlike.10	P (0.49,0.76)	P (0.545,0.682)
Tehlike.11	P (0.435,0.786)	P (0.46,0.753)
Tehlike.12	P (0.375,0.843)	P (0.67,0.551)
Tehlike.13	P (0.415,0.763)	P (0.51,0.703)
Tehlike.14	P (0.515,0.709)	P (0.425,0.815)
Tehlike.15	P (0.42,0.741)	P (0.58,0.65)
Tehlike.16	P (0.275,0.901)	P (0.495,0.767)
Tehlike.17	P (0.585,0.632)	P (0.665,0.571)
Tehlike.18	P (0.63,0.654)	P (0.705,0.459)
Tehlike.19	P (0.64,0.621)	P (0.64,0.592)
Tehlike.20	P (0.525,0.728)	P (0.89,0.219)
Tehlike.21	P (0.495,0.755)	P (0.72,0.404)
Tehlike.22	P (0.49,0.758)	P (0.51,0.681)
Tehlike.23	P (0.545,0.703)	P (0.44,0.769)
Tehlike.24	P (0.37,0.862)	P (0.405,0.783)
Tehlike.25	P (0.46,0.729)	P (0.5,0.664)

Not: $P(u, v)$, Pisagorlu bulanık bir sayıyı göstermektedir.

Sonra, 3.9 Ve 3.10 numaralı denklemler kullanılarak pisagor bulanık PIS ve NIS değerleri hesaplanır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$x^+ = \{P(0.640,0.621), P(0.890,0.219)\}$$

$$x^- = \{P(0.185,0.948), P(0.290,0.849)\}$$

Sonra 3.11 Ve 3.12 numaralı denklemler kullanarak, Pisagor bulanık PIS ve NIS'den uzaklıkları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.5.'te verilmiştir. Ayrıca, gözden geçirilmiş yakınlık değerleri 3.13 numaralı denklem kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar yine Tablo 4.5.'te listelenmiştir. Bu gözden geçirilmiş yakınlık değerlerine göre, tehlikelerin sıralaması Şekil 4.3.1.'de gösterildiği gibi elde edilir.

Tablo 4.5. PFTOPSIS ile elde edilen sonuçlar

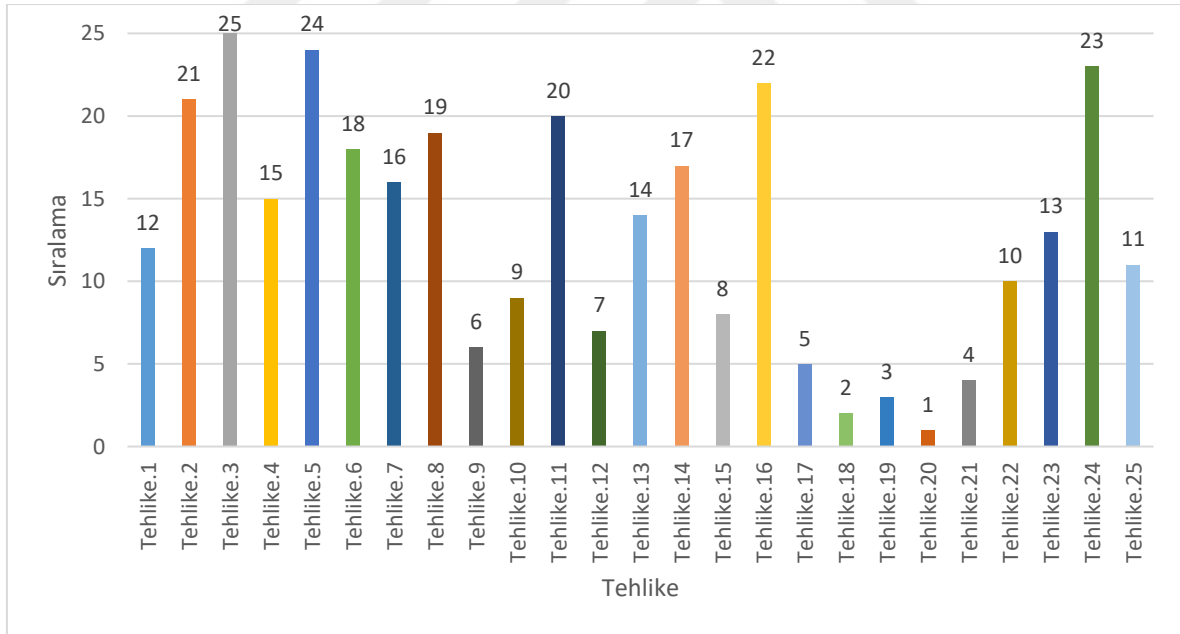
Tehlikeler	D(X _i ,X ⁺)	D(X _i ,X ⁻)	ξ(X _i)
Tehlike.1	D (X ₁ ,X ⁺) 0.405	D(X ₁ ,X ⁻) 0.300	-6.512
Tehlike.2	D (X ₂ ,X ⁺) 0.468	D (X ₂ ,X ⁻) 0.232	-7.720
Tehlike.3	D (X ₃ ,X ⁺) 0.630	D (X ₃ ,X ⁻) 0.085	-10.772
Tehlike.4	D (X ₄ ,X ⁺) 0.423	D (X ₄ ,X ⁻) 0.286	-6.859
Tehlike.5	D (X ₅ ,X ⁺) 0.542	D (X ₅ ,X ⁻) 0.169	-9.116
Tehlike.6	D (X ₆ ,X ⁺) 0.433	D (X ₆ ,X ⁻) 0.285	-7.031
Tehlike.7	D (X ₇ ,X ⁺) 0.427	D (X ₇ ,X ⁻) 0.291	-6.921
Tehlike.8	D (X ₈ ,X ⁺) 0.435	D (X ₈ ,X ⁻) 0.290	-7.054
Tehlike.9	D (X ₉ ,X ⁺) 0.311	D (X ₉ ,X ⁻) 0.404	-4.718
Hazard.10	D (X ₁₀ ,X ⁺) 0.374	D (X ₁₀ ,X ⁻) 0.320	-5.946
Tehlike.11	D (X ₁₁ ,X ⁺) 0.441	D (X ₁₁ ,X ⁻) 0.239	-7.247
Tehlike.12	D (X ₁₂ ,X ⁺) 0.336	D (X ₁₂ ,X ⁻) 0.377	-5.195
Tehlike.13	D (X ₁₃ ,X ⁺) 0.414	D (X ₁₃ ,X ⁻) 0.276	-6.718
Tehlike.14	D (X ₁₄ ,X ⁺) 0.428	D (X ₁₄ ,X ⁻) 0.235	-7.017
Tehlike.15	D (X ₁₅ ,X ⁺) 0.367	D (X ₁₅ ,X ⁻) 0.320	-5.822
Tehlike.16	D (X ₁₆ ,X ⁺) 0.499	D (X ₁₆ ,X ⁻) 0.198	-8.311
Tehlike.17	D (X ₁₇ ,X ⁺) 0.237	D (X ₁₇ ,X ⁻) 0.445	-3.369
Tehlike.18	D (X ₁₈ ,X ⁺) 0.194	D (X ₁₈ ,X ⁻) 0.536	-2.474
Tehlike.19	D (X ₁₉ ,X ⁺) 0.230	D (X ₁₉ ,X ⁻) 0.457	-3.221
Tehlike.20	D (X ₂₀ ,X ⁺) 0.058	D (X ₂₀ ,X ⁻) 0.606	0.000
Tehlike.21	D (X ₂₁ ,X ⁺) 0.238	D (X ₂₁ ,X ⁻) 0.503	-3.291
Tehlike.22	D (X ₂₂ ,X ⁺) 0.395	D (X ₂₂ ,X ⁻) 0.321	-6.307
Tehlike.23	D (X ₂₃ ,X ⁺) 0.404	D (X ₂₃ ,X ⁻) 0.267	-6.558
Tehlike.24	D (X ₂₄ ,X ⁺) 0.520	D (X ₂₄ ,X ⁻) 0.190	-8.689
Tehlike.25	D (X ₂₅ ,X ⁺) 0.404	D (X ₂₅ ,X ⁻) 0.323	-6.471

Şekil 4.1.'de, doğal gaz boru hattı inşaat projesinin temizlenmesi ve sıyrılması işlemi için belirlenen en önemli beş tehlike sıralanmıştır: Bunlar sırasıyla Tehlike.20 (baş üstü enerji nakil hatları), Tehlike.18 (eğimde çalışma), Tehlike.19 (ekipmanın hareketi) olduğu

gösterilmiştir., Tehlike.21 (yer altı servisleri) ve Tehlike.17 (ekipman kullanımı) olarak sıralanmıştır.

4.3. Risk Değerlendirme

Bu adımda, kritik risklerin belirlenmesi ve uygulanacak kontrol önlemleri belirlenir. İş güvenliği kanuna göre kabul edilebilir risk seviyesi, yasal yükümlülöklere ve işyerinin önleme politikasına uygun, kayıp veya yaralanma oluşturmıyacak risk seviyesi olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.1.'de doğal gaz boru hattı güzergah açımı için yapılan sıyırma ve tesviyeme aktivitesine ait oluşabilecek risklerin sıralaması verilmiştir. Riskin kabul edilebilir seviyenin üstünde olması durumunda, yürütölen aktiviteden kaynaklı risklerin azaltılması için alınması gereken kontrol önlemleri verilir. Aşağıda verilen Tablo 4.6.'da doğal gaz boru hattı inşaatı projesinin temizleme ve tesviye işleminin güvenliğini artırmak için kontrol önlemleri verilmiştir.



Şekil 4.1. Sıyırma aktivitesi sırasında oluşabilecek tehlikelerin sıralaması

Tablo 4.6. En önemli tehlikeler ve bu tehlikelerle ilgili alınması gereken control önlemler

Tehlike	Kontrol önlemleri
Tehlike.20	(1) Elektrik hatları yakınına kale direği uygulanmasının yapılması. (2) Güvenlik işaretlerinin yerleştirilmesi
Tehlike.18	Aktivitenin yayınlanan yapım yöntemine sadık kalınması ve iş ekipmanlarının güvenli kullanım talimatlarına uyulması
Tehlike.19	(1) Ekipmanın hareketi (2) Dikkat işaretleri yerleştirilmesi
Tehlike.21	(1) Yer altı servislerinin control edilmeli, iş izni sisteminin takip edilmesi, yapım yöntemine bağlı kalınması. (2) Bütün servislerin yeri belirlenmeli ve işaretleme yapılmalıdır.
Tehlike.17	(1) Sertifikalı ekipman kullanılmalı. (2) Ekipmanlar kullanmadan önce control edilmeli. (3) Sertifikalı ve belgeli operatör çalıştırılmalı.
Tehlike.9	(1) Taşıma işlemlerine başlamadan önce, çalışma alanı kontrol edilmeli, yeraltı servisleri ve başüstü enerji nakil hatları belirlenmeli. (2) Ekipmanlar başüstü enerji nakil hatlarına çok yakın çalıştırılmamalıdır. Gerekirse uyarıcı bayraklar çekilmeli veya elektrik şirketinde nakil hattına başka yön verilmesinin istenmesi.
Tehlike.12	(1) Yangın gözlemcisinin ve yangın söndürme ekipmanlarını hazır bulundurulması. (2) Yangının kontrolünün sağlanması (3) Planlama ve rüzgar yönünün kontrol edilmesi.
Tehlike.15	(1) Operatörlerin önceden uyarılması. (2) Doğru kişisel koruyucu ekipman kullanılması (eldivenler)
Tehlike.10	(1) Yapılacak drenaj işleminin ön kontrolü (2) Geçici menfez borularının sağlanması (3) Gerekirse drenajın yönünün değiştirilmesi
Tehlike.22	Oluklu boruların döşenmesi, paspasların sulak alanlara yerleştirilmesi, geçici paketlenme.

4.4. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, doğrusal programlama modelinin çözümünden elde edilen optimum çözümün, modelin parametrelerinde herhangi bir değişiklik yapıldığı zaman bu değişikliklerin çözüme etkilerini araştırmak için yapılır. Bu analizde ele alınan herhangi bir parametrenin çözüm üzerindeki etkisi, diğer parametrelerin değerlerinin sabit kalması koşuluyla incelenebilir. Aslında bu analiz, bir nevi elde edilen optimum çözümün, geçerli

olduğu aralığın tespiti için yapılır. Buradaki varsayım, modeldeki katsayıların kesin olmadığı ve daha sonrasında bu katsayılar da yapılacak olan bir değişimin optimal çözümün bu değişimden nasıl ve ne derece etkilenebileceği düşüncesinden ortaya çıkar. Kısaca modeldeki amaç fonksiyonu ve kısıtların değerlerinin değişmesinin, kaynak değerlerindeki değişimin etki ve sonuçlarını incelenir.

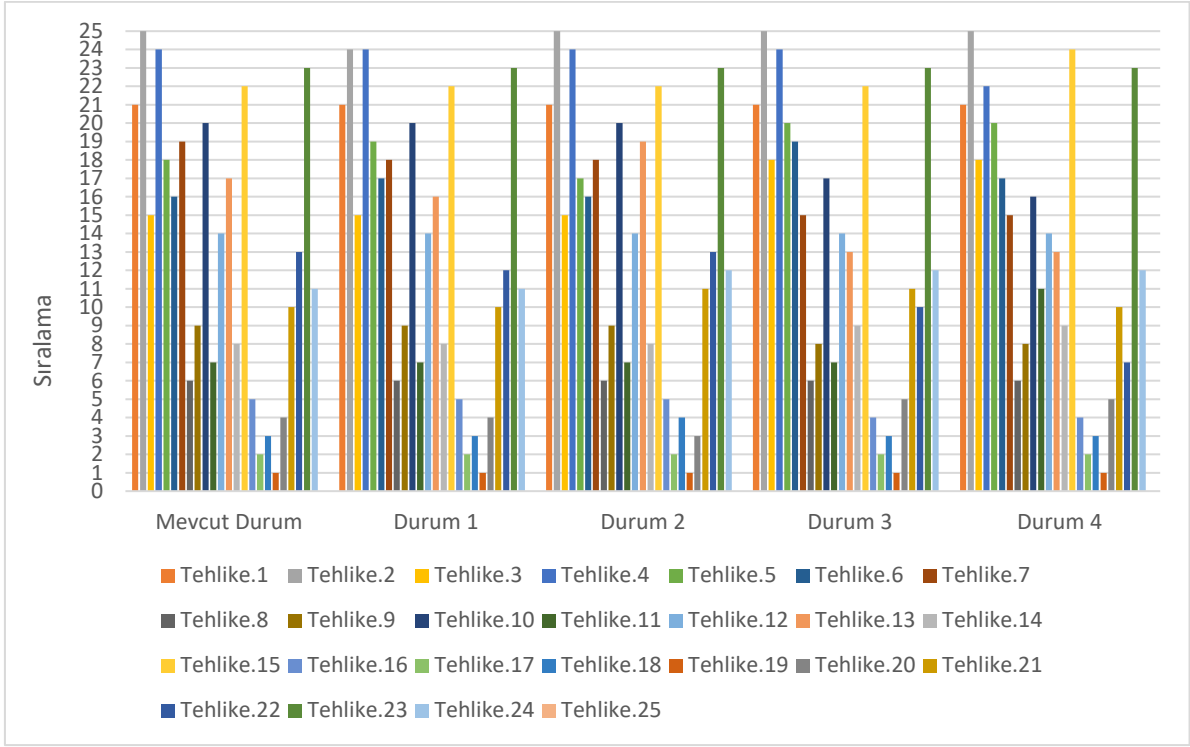
Önerilen yaklaşımı doğrulamak için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Önerilen PFTOPSIS tabanlı modelin sonuç performansının doğruluğunu test etmek için uzman grup tarafından verilen ağırlıklar değiştirilir. Duyarlılık analizi sırasında Tablo 4.7.'deki gibi dört durum gerçekleşmiştir. Duyarlılık analizini genişletmek için daha farklı ağırlık değişiklikleri uygulanabilir. Böylece, önerilen yaklaşımın sonuçlarında değişiklikler görülebilir ve bu karar vericinin öncelikleri belirlemesine ve risk değerlendirme sürecini daha doğru hale getirmesine yardımcı olur. Duyarlılık analizinin sonuçları Şekil 4.2.'den görülebilir.

Tablo 4.7. Duyarlılık analizi sonuçları

Parametreler	Mevcut Ağırlıklandırma	Durum 1: Yazdı'nın ağırlık vektörü (2018)	Durum 2: Gül ve Güneri'nin (2016) ağırlık vektörü	Durum 3	Durum 4
Olasılık	0.400	0.416	0.361	0.500	0.600
Şiddet	0.600	0.584	0.639	0.500	0.400

Duyarlılık analizi, 2B risk matrisi yönteminin iki risk parametresi olan olasılık ve şiddetin ağırlıkları dikkate alınarak, tehlikeler arasındaki sıralamanın değişikliklere karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermek adına farklı ağırlıklandırmalar verilerek yapılmıştır. Özel olarak Durum 1'de parametrelere Yazdı'nın (2018) ağırlık vektörü değerleri verilerek ve Durum 2'de Gül ve Güneri'nin ağırlık vektörü değerleri dikkate alınarak duyarlılık analizi yapılmıştır. Durum 3'te ağırlık değerleri eşit olsaydı ne olurdu düşüncesinden yola çıkılarak bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Durum 4'te mevcut durumun tersi şekilden ağırlıklar verilseydi sıralamalar ne olurdu sorusuna cevap aranmıştır. Neredeyse her durumda, ilk üç en önemli tehlike, Durum 2 için Tehlike.19 hariç olmak üzere değişmediği görülmüştür. Durum 2'de, Tehlike.19 diğer durumlarda üçüncü sırayı alırken dördüncü sıradadır. Öte yandan, en az üç önemli tehlike, tüm durumlar için Tehlike.24, Tehlike.5 ve Tehlike.3'tür. Şekil 4.2.'de duyarlılık analizi sonuçları verilmiştir. Ek olarak, mevcut durumdaki sıralama düzenleri ile diğer dört durum arasındaki korelasyonu ölçmek için bir korelasyon katsayısı uygulanır. Elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla % 99.7, % 99.5, % 96 ve % 93'tür. Bu

nedenle, sıralama sonuçları arasındaki ilişkiler çok güçlü olduğu sonucuna varılmaktadır. Yukarıdaki analize göre, önerilen yaklaşımın makul sonuçlar üretebileceği ve risk değerlendirme problemlerinde yönetime yardımcı olmak için uygun bilgiler sağlayabileceği kanıtlanmıştır.



Şekil 4.2. Duyarlılık analizi sonuçları

5. SONUÇLAR

Bu çalışma, iş sağlığı ve güvenliği alanında yapılan risk değerlendirmelerine Pisagor bulanık küme teorisi ve genişletilmiş TOPSIS yöntemi kullanılarak yeni bir risk değerlendirme yaklaşımı önermektedir. Doğalgaz boru hattı yapım projesinin temizleme ve tesviye süreci için risklerin değerlendirilmesi ve kontrol önlemleri ile ilgili bir vaka çalışması yapılmıştır. Mevcut çalışmada, klasik 2B risk matrisi yönteminin (olasılık ve ciddiyet) iki önemli parametresini ve 25 tehlikeyi (ve bunlarla ilişkili riskleri) dikkate alarak riski değerlendirilmiştir. Ayrıca riskler için kontrol önlemleri önerilmiştir. Etkin bir risk yönetiminin risk tanımlamayı, risk analizini ve risk değerlendirmesini içeren sistematik bir uygulama döngüsünü gerektirdiği açıkça görülmüştür. 10 İSG uzmanının eleştirisi göz önünde bulundurularak toplam 25 tehlike belirlenmiştir. Çalışmanın literatüre ilk katkısı, risk derecelendirmelerinin ölçülmesinde yeni bir İSG risk değerlendirme yaklaşımı önerisidir. Pisagor bulanık kümeleriyle yaygın olarak kullanılan bir çok kriterli karar verme yöntemi olan PBKTTOPSIS, literatürde ilk kez risk değerlendirmesinde uygulanmaktadır. Bunu yaparak Pisagor bulanık küme teorisi ile dilsel terimleri kullanan gelişmiş bir çok kriterli karar verme tabanlı risk değerlendirme yaklaşımı uygulanmıştır. İSG uzmanlarının dilsel verileri, sayısal risk derecelendirmelerine dönüştürülür. Pisagor bulanık kümelerinin kullanılması, öznel yargılama sürecinde İSG uzmanı algılarının belirsizliğini ve kesinsizliğini başarıyla yönetmiştir. Ayrıca, önerilen önleyici eylem planlarını içeren bir risk değerlendirmesi sunulmaktadır. Bu önerilerin, işi yapan tarafından inceleme kontrol önlemleri sürecinin bir parçası olarak yapılması gereken kararlar ve politikalar için bir temel oluşturması beklenir.

KAYNAKLAR

- Akalp, G., Özok A. F.,** 2017. Ergonomik Risklerin Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi ve Bir Uygulama. *Journal of Engineering Sciences and Design* 5(SI: Ergonomi 2016), 69-79, 2017. DOI: 10.21923/jesd.19802.
- Akın, H.,** 2015. Türkiyede Enerji Boru Hattı Taşımacılığında Güvenlik. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 2015.
- Amirshenava, S., & Osanloo, M.,** 2018. Mine closure risk management: An integration of 3D risk model and MCDM techniques. *Journal of Cleaner Production*, 184, 389-401.
- Ayrim, Y.,** 2017. Risk değerlendirilmesi için üç aşamalı sezgisel bulanık bir yaklaşım önerisi. <http://acikerisim.baskent.edu.tr/handle/11727/2774>. 2017.
- Can, G. F.,** 2018. An intuitionistic approach based on failure mode and effect analysis for Prioritizing corrective and preventive strategies. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*. <https://doi.org/10.1002/hfm.20729>.
- Can, G. F., & Toktas, P.,** 2018. A novel fuzzy risk matrix-based risk assessment approach. *Kybernetes*. <https://doi.org/10.1108/K-12-2017-0497>.
- Carpitella, S., Certa, A., Izquierdo, J., & La Fata, C. M.,** 2018. A combined multi-criteria approach to support FMECA analyses: A real-world case. *Reliability Engineering & System Safety*, 169, 394-402.
- Çakmak, E.,** 2014. Atölye Tipi Üretim Yapan Sanayi İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliğiatölye Tipi Üretim Yapan Sanayi İşletmelerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim Uzmanlığı Tezi
- Çalık, A.,** 2018. Otomotiv Tedarik Zincirinde Risk Değerlendirmesi için Bulanık AHP ve TOPSIS ile Bütünleşik Bir Yaklaşım. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 10 (4), 868-886. Bölümü Konya, Türkiye. orcid.org/0000-0002-6796-0052.
- Elmas, P. D. Ç.,** 2007. Yapay Zekâ Uygulamaları. Ankara: Seçkin.
- Elsayed, T., Marghany, K., & Abdulkader, S.,** 2014. Risk assessment of liquefied natural gas carriers using fuzzy TOPSIS. *Ships and Offshore Structures*, 9(4), 355-364.
- Ertunç, H. M.,** 2012. Introduction To Fuzzy Logic. Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği.
- Fattahi, R., & Khalilzadeh, M.,** 2018. Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. *Safety Science*, 102, 290-300.

Folga, S. M., 2007. Natural Gas Pipeline Technology Overview Environmental Science Division Argonne National Laboratory 9700 South Cass Avenue, Bldg. 900 Argonne, IL 60439-4832 www.anl.gov

Grassi, A., Gamberini, R., Mora, C., & Rimini, B., 2009. A fuzzy multi-attribute model for risk evaluation in workplaces. *Safety Science*, 47(5), 707-716.

Gül, M., 2018. A review of occupational health and safety risk assessment approaches based on multi-criteria decision-making methods and their fuzzy versions. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*.
<https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1424531>

Gül, M., & Güneri, A. F., 2016. A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: a case study for aluminum industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 89-100.

Gül, M., & Güneri, A. F., 2018. Use of FAHP for Occupational Safety Risk Assessment: An Application in the Aluminum Extrusion Industry. In *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*, pp. 249-271.

Gül, M., Ak, M. F., & Güneri, A. F., 2017a. Occupational health and safety risk assessment in hospitals: A case study using two-stage fuzzy multi-criteria approach. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23(2), 187-202.

Gül, M., Çelik, E., & Akyuz, E., 2017b. A hybrid risk-based approach for maritime applications: The case of ballast tank maintenance. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23(6), 1389-1403.

Gül, M., Güven, B., & Güneri, A. F., 2018a. A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR incorporation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 53, 3-16.

Gül, M.; Güneri, A.F.; Başkan, M., 2018b. An occupational risk assessment approach for construction and operation period of wind turbines. *Global Journal of Environmental Science and Management*, (In press).

Güneri, A. F., Gül, M., & Özgürler, S., 2015. A fuzzy AHP methodology for selection of risk assessment methods in occupational safety. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 18(3-4), 319-335.

Gül, M., Güneri, A. F., 2016. A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: A case study for aluminum industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Volume 40, March 2016, Pages 89-100.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.11.023>.

Gül, M., Güven, B., Güneri A. F., 2017. A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR incorporation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Volume 53, May 2018, Pages 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.08.014>.

Hyo-Nam Choa, Hyun-Ho Choia, Yoon-Bae Kimb, 2002. A risk assessment methodology for incorporating uncertainties using fuzzy concepts. *Reliability Engineering & System Safety* Volume 78, Issue 2, November 2002, Pages 173-183. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00158-8](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00158-8).

Hwang, C.L. and Yoon, K., 1981. Multiple Attribute Decision Making-Methods and Applications: A State of the Art Survey, *Springer*, New York.

Ilbahar, E., Karasan, A., Cebi, 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.

Joy, J., 2004. Occupational safety risk management in Australian mining. *Occupational medicine*, 54(5), 311-315.

Karasan, A., Ilbahar, E., Cebi, 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.

Kısa, Y., 2014. Döküm Atölyelerindeki İş Sağlığı ve Güvenliği Koşullarının Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, İş Sağlığı ve Güvenliği *Uzmanlık Tezi/Araştırması*, Ankara, 2014.

Mahdevari, S., Shahriar, K., & Esfahanipour, A., 2014. Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*, 488, 85-99.

Mohd, W. R. W., & Abdullah, L., 2017. Pythagorean fuzzy analytic hierarchy process to multi-criteria decision making. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1905, No. 1, p. 040020). AIP Publishing.

Oturakçı, M., Dağsuyu, C., 2017. Risk Değerlendirmesinde Bulanık Fine-Kinney Yöntemi ve Uygulaması. *Dergi Park Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi* Arşiv Cilt 1, Sayı 1, Sayfalar 17 – 25.

Özdemir, Y., Gül, M., & Çelik, E., 2017. Assessment of occupational Hazards and associated risks in fuzzy environment: A case study of a university chemical laboratory. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23(4), 895-924.

Pérez-Domínguez, L., Rodríguez-Picón, L. A., Alvarado-Iniesta, A., Luviano Cruz, D., & Xu, Z., 2018. MOORA under Pythagorean Fuzzy Set for Multiple Criteria Decision Making. *Complexity*. <https://doi.org/10.1155/2018/2602376>

Samantra, C., Datta, S., & Mahapatra, S. S., 2017. Fuzzy based risk assessment module for metropolitan construction project: An empirical study. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 65, 449-464.

Sun, D., Xu, F., & He, H., 2013. Safety Risk Analysis for Gas Pipeline Construction. In ICPTT 2012: Better Pipeline Infrastructure for a Better Life (pp. 1258-1263).

Şenol, M. B., Yılmaz N., 2017. İş Sağlığı Ve Güvenliği Risk Değerlendirme Süreci İçin Bulanık Çok Kriterli Bir Model Ve Uygulaması. *Article in Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 32 (1) · March 2017. DOI: 10.17341/gazimmfd.300597.

Şişman, B., 2017. Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık Ahp ve Bulanık Vıkor Yöntemleri ile Otomotiv Sektöründe Risk Değerlendirmesi DOI: 10.20875/makusobed.302942.

Türkoğlu, N., Menteş A., 2014. Açıkdeniz Petrol Platformları İçin Bulanık Tabanlı Risk Analizi İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği. *J ETA Maritime Sci.* 2014; 2(1): 1-10.

Tzeng, G-H., Huang, J-J., 2011. Multiple Attribute Decision Making-Methods and Applications, *CRC Press Taylor and Francis Group, USA.*

Üçkardeş, İ., 2012. Risk Analizi ve Havacılık Sektöründe Kaza Risklerinin Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Adana, 2012.

URL-1:

https://www.academia.edu/9601893/Tahribat%C4%B1_ve_tahribats%C4%B1z_muayene

URL-2: <https://isgdosya.com/kaynak-islerinde-is-sagligi-ve-guvenligi-konu-ozeti/>

URL-3: <https://www.burpres.com/teknoloji/yuzey-isleme-2/kumlama>

URL-4: <http://www.hatboru.com/kaplama.html>

URL-5: <https://www.elektrikport.com/universite/korozyon-olayi-ve-katodik-koruma-sistemleri/10242#ad-image-0> (Katodik koruma)

URL-6: <https://tr.sputniknews.com/infografik/201812031036447006-opec-gaz-petrol-venezuela-suud-arabistan-iran-rusya-abd/>

URL-7: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz-Boru-Hatlari-ve-Projeleri>

URL-8: <http://www.ecas.com.tr/OHSAS-18001-is-sagligi-ve-guvenligi-yonetim-sistemi>

URL-9: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:51073:en>

URL-10: <https://www.iso.org/iso-45001-occupational-health-and-safety.html>

URL-11: <https://www.iso.org/iso-31000-risk-management.html>

URL-12:

<http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=1.5.5510&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch>

URL-13: <https://isgfrm.com/threads/2017-yili-is-kazasi-ve-meslek-hastaliklari-istatistikleri.27848/>

URL-14: <https://industryolog.com/lutfi-zade-bulanik-mantik/>

URL-15: <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/2004/1/2708.pdf>

Wenping, W., & Xia, F., 2012. Risk acceptance criteria of oil and gas pipelines projects in construction period. In Future Communication, Computing, Control and Management (pp. 189-195). *Springer*, Berlin, Heidelberg.

Woodall, W.H., R.E. Davids, 1994. Fuzzy Models – What are they and why? *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2(1), 43-45.

Yager, R. R., 2014. Pythagorean membership grades in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4), 958-965.

Yazdi, M., 2018. Risk assessment based on novel intuitionistic fuzzy-hybrid-modified TOPSIS approach. *Safety Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.03.005>.

Zeng, S., Chen, J., & Li, X., 2016. A hybrid method for pythagorean fuzzy multiple-criteria decision making. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(02), 403-422.

Zhang, X., & Xu, Z., 2014. Extension of TOPSIS to multiple criteria decision making with Pythagorean fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 29(12), 1061-1078.

Ross, T., 1995. Fuzzy Logic with Engineering Applications, *McGraw-Hill*, Inc

Şen, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, *Bilge Kültür Sanat*, İstanbul.

EKLER

Ek 1: Uzmanlar için Hazırlanan Risk Değerlendirme Anketi

Ek 2: Doldurulmuş Anket Örneđi



Ek 1.

Hazards	Hazard and/or occurring of risk	Probability	Severity
Hazard.1	Travelling on roads Persons becoming fatigued and having RTA		
Hazard.2	Interface with other road users		
Hazard.3	Striking person(s)		
Hazard.4	Colliding with other vehicles of plant		
Hazard.5	Confusion or miscommunication		
Hazard.6	Falls from height		
Hazard.7	Load slipping		
Hazard.8	Loose/ soft ground condition		
Hazard.9	Buried / overhead services		
Hazard.10	Drainage		
Hazard.11	Falling of trees, Removal of bush/ timbers from ROW		
Hazard.12	Fire		
Hazard.13	Use of portable tools (chain saw etc.)		
Hazard.14	Oil Spillage on soil, Diesel spillage during refueling		
Hazard.15	Poisonous vegetation		
Hazard.16	Stacking and removal of timber		
Hazard.17	Use of equipment		
Hazard.18	Operating equipment at slopes/ gradient		
Hazard.19	Movement of equipment		
Hazard.20	Overhead electric cables		
Hazard.21	Underground services		
Hazard.22	Temporary crossings		
Hazard.23	Excavation		
Hazard.24	Boundaries of ROW		
Hazard.25	Contamination to soil and environment		

Meaning	PFNs (μ, ν)
Enormously Bad (EB)/Extremely Low (EL)	{0.10, 0.99}
Tall Bad (TB)/Very Little (VL)	{0.10, 0.97}
Not Good (NG)/Little (L)	{0.25, 0.92}
Middle Bad (MB)/Middle Little (ML)	{0.40, 0.87}
Fair-middle (F)/Middle (M)	{0.50, 0.80}
Middle Good (MG)/Middle High (MH)	{0.6, 0.71}
Tall (T)/Big (B)	{0.70, 0.60}
Very Big (VB)/Very Tall (VT)	{0.8, 0.44}
Exceptional (E)/Tremendously High (TH)	{1, 0}

Ek 2.

Hazards	Hazard and/or occurring of risk	Probability	Severity
Hazard.1	Travelling on roads Persons becoming fatigued and having RTA	L	B
Hazard.2	Interface with other road users	EL	B
Hazard.3	Striking person(s)	EL	EB
Hazard.4	Colliding with other vehicles of plant	EL	B
Hazard.5	Confusion or miscommunication	VL	L
Hazard.6	Falls from height	EL	E
Hazard.7	Load slipping	M	TH
Hazard.8	Loose/ soft ground condition	M	TH
Hazard.9	Buried / overhead services	EL	TH
Hazard.10	Drainage	M	B
Hazard.11	Falling of trees, Removal of bush/ timbers from ROW	EL	L
Hazard.12	Fire	EL	B
Hazard.13	Use of portable tools (chain saw etc.)	VB	TH
Hazard.14	Oil Spillage on soil, Diesel spillage during refueling	MH	B
Hazard.15	Poisonous vegetation	TH	TH
Hazard.16	Stacking and removal of timber	VL	L
Hazard.17	Use of equipment	VB	TH
Hazard.18	Operating equipment at slopes/ gradient	E	TH
Hazard.19	Movement of equipment	M	B
Hazard.20	Overhead electric cables	VL	TH
Hazard.21	Underground services	L	TH
Hazard.22	Temporary crossings	L	B
Hazard.23	Excavation	L	B
Hazard.24	Boundaries of ROW	M	B
Hazard.25	Contamination to soil and environment	MH	TH

Meaning	PFNs (μ, ν)
Enormously Bad (EB)/Extremely Low (EL)	{0.10, 0.99}
Tall Bad (TB)/Very Little (VL)	{0.10, 0.97}
Not Good (NG)/Little (L)	{0.25, 0.92}
Middle Bad (MB)/Middle Little (ML)	{0.40, 0.87}
Fair-middle (F)/Middle (M)	{0.50, 0.80}
Middle Good (MG)/Middle High (MH)	{0.6, 0.71}
Tall (T)/Big (B)	{0.70, 0.60}
Very Big (VB)/Very Tall (VT)	{0.8, 0.44}
Exceptional (E)/Tremendously High (TH)	{1, 0}

ÖZGEÇMİŞ

1990 Tunceli’de doğmuştur. İlkokulu Tunceli Cumhuriyet İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini Tunceli Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2009 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliğini kazanmış ve 2014 yılında mezun olmuştur. 2017 yılında doğalgaz boru hattı projesinde İSG uzmanı olarak çalışmaya başlamıştır ve halen devam etmektedir. 2018 yılında Munzur Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik Yönetimi bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Evli değildir.

