ANKARA YILDIRIM BEYAZIT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ KAZASINA SEBEP OLAN RİSKLER BAĞLAMINDA SEKTÖRLERİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMLARI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Esra YILDIZBAŞI

İş Sağlığı ve Güvenliği Programı

Kasım, 2021

ANKARA

ANKARA YILDIRIM BEYAZIT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ KAZASINA SEBEP OLAN RİSKLER BAĞLAMINDA SEKTÖRLERİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMLARI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Esra YILDIZBAŞI

İş Sağlığı ve Güvenliği Programı

Kasım, 2021

ANKARA

YÜKSEK LİSANS TEZ SONUÇ FORMU

ESRA YILDIZBAŞI tarafından PROF. DR. ERGÜN ERASLAN gözetiminde tamamlanan "İŞ KAZASINA SEBEP OLAN RİSKLER BAĞLAMINDA SEKTÖRLERİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMLARI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ" konulu tezi okuduk ve Yüksek Lisans derecesi için kapsam ve kalite bakımından tamamen yeterli bir tez olduğunu onaylıyoruz.

Prof. Dr. Ergün ERASLAN

Danışman

Doç. Dr. Ahmet ÇALIK
Jüri Üyesi

Doç. Dr. Babek ERDEBİLLİ
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Sadettin ORHAN

Enstitü Müdürü

Fen Bilimleri Enstitüsü

ETİK BEYAN

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzuna göre hazırlanan bu tez çalışmasında,

- Tüm veriler, bilgiler ve belgelerin akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde edildiğini,
- Tüm bilgiler, belgeler ve değerlendirmelerin bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunulduğunu,
- Kullanılan tüm materyallerin tamamen belirtildiğini ve referans gösterildiğini,
- Kullanılan materyaller üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadığını,
- Sunulan tüm çalışmanın orijinal olduğunu,

beyan eder ve yukarıdaki ifadelerin aksine herhangi bir durum olduğunda, tüm yasal haklarımdan vazgeçmeyi kabul edeceğimi bildiririm.

18.11.2021 Esra YILDIZBAŞI

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana destek olan birçok kıymetli insanın varlığını bilmekle beraber özel olarak teşekkür etmem gereken kişileri burada zikretmeden geçemeyeceğim. Öncelikle büyük bir istek ve topluma faydalı bir çıktı üretme amacıyla çıktığım bu yolda ilk günden tezimin çıktılarını sunduğum son ana kadar geçen süreç boyunca bilgi, birikim ve tecrübesi ile sürekli olarak bana yol gösteren ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Ergün ERASLAN' a teşekkürü bir borç bilirim. Daha sonra çalışmam boyunca hem değerlendirme içeriklerinin oluşturulması hem de daha sonra değerlendirmelerini sunmaları itibari ile çalışmamın çıktılarına ulaşmama imkân veren sektör uzmanlarına teşekkür etmek isterim. Bu uzun yolculukta beni bir an olsun yalnız bırakmayan ve desteğini hissettiğim sevgili esim ve her zaman motivasyon kaynağım olan biricik kızıma da özel olarak teşekkür ederim. Beni bugünlere getiren ve her zaman arkamda destek olan anne ve babama da ayrıca teşekkür etmek isterim. Son olarak içinde bulunduğumuz COVID-19 sürecinde hala hayatımızı belirli bir rutin içerisinde devam ettirmemize imkân veren ve benim de mensubu olduğum sağlık çalışanlara bizim için gösterdikleri çaba ve fedakârlık için teşekkür etmek isterim.

18.11.2021 Esra YILDIZBAŞI

İŞ KAZASINA SEBEP OLAN RİSKLER BAĞLAMINDA SEKTÖRLERİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMLARI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZ

Sanayi devrimi ile başlayan ve bugüne kadar devam eden üretim ve hizmet süreçlerinde karşılaşılan iş kazaları ne yazık ki günümüzde de tamamen önlenememektedir. İş kazalarının nedenlerine bakıldığı zaman çevresel koşullardan ve çalışandan kaynaklı nedenlerin toplam iş kazaları içerisinde anlamlı bir yer tuttuğu görülmektedir. Bu da göstermektedir ki aslında alınabilecek basit önlemler veya uyulacak kurallarla mevcutta karşı karşıya kalınan birçok iş kazası elimine edilebilir ya da en azından etkisi en az seviyeye indirilebilir niteliktedir. Ancak son yıllarda yaşanan ve birçok insanın hayatını kaybetmesine neden olan iş kazalarına bakıldığı zaman sektörden sektöre söz konusu iş kazalarının farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle bazı sektörlerde ciddi ölüm veya yaralanma ile sonuçlanabilecek çıktılara sebep olan iş kazası risklerinin başka bir sektörde aynı düzeyde tehlike oluşturup oluşturmadığı sorusu bu çalışmanın ana çıkış noktalarından birini oluşturmaktadır. Hazırlanan bu tez çalışması kapsamında öncelikle iş kazası kavramı ve iş kazasının nedenleri ele alınmış, daha sonra ise iş kazalarına neden olarak risk faktörleri kapsamlı literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda ortaya konmuştur. Bu risk faktörlerinin tanımlanmasının ardından Türkiye'de meydana gelen iş kazalarının sektörlere göre dağılımı incelenerek hangi sektörlere odaklanılması gerektiğine karar verilmiştir. Belirlenen iş kazası risklerinin sektörler bazında etkileri ve sonuçlarının değerlendirilmesi amaçlanan son kısımda ise birden fazla risk faktörünün etkisini analiz etmeye imkan veren Bulanık Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden faydalanılarak değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen çıktılara bakıldığı zaman seçilen sektörler bağlamında İş kazasına sebep olan risklerden en çok etkilenen sektörün inşaat sektörü olduğu bunu sırasıyla metal / imalat ve madencilik sektörlerinin takip ettiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İş Kazası, İş Sağlığı ve Güvenliği, Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık AHP, Bulanık TOPSİS

EVALUATION OF SECTORS IN CONTEXT OF RISKS CAUSED BY OCCUPATIONAL ACCIDENTS WITH FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS

ABSTRACT

Unfortunately, occupational accidents encountered in production and service processes that started with the industrial revolution and continue until today cannot be completely prevented. When the causes of occupational accidents are examined, it is seen that the causes arising from environmental conditions and employees have a significant place in the total occupational accidents. This shows that, in fact, many work accidents can be eliminated or at least their effects can be minimized with simple precautions to be taken or rules to be followed. However, when we look at the occupational accidents that have occurred in recent years and have caused many people to die, it has been determined that the occupational accidents in question differ from sector to sector. For this reason, one of the main starting points of this study is the question of whether occupational accident risks, which cause outputs that may result in serious death or injury in some sectors, pose the same level of danger in another sector. Within the scope of this thesis study, firstly the concept of work accident and the causes of work accident were discussed, and then the risk factors causing work accidents were revealed in the direction of comprehensive literature review and expert opinions. After the identification of these risk factors, the distribution of occupational accidents in Turkey according to sectors was examined and it was decided which sectors to focus on. In the last part, which aims to evaluate the effects and results of the determined occupational accident risks on the basis of sectors, an evaluation was made by making use of Fuzzy Multi-Criteria Decision Making methods, which allows to analyze the effects of more than one risk factor. When the outputs are examined, it has been determined that the construction sector is the sector most affected by the risks that cause work accidents in the context of the selected sectors, followed by the metal / manufacturing and mining sectors, respectively.

Keywords: Work Accident, Occupational Health and Safety, Multi Criteria Decision Making, Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS

İÇİNDEKİLER

SEMBOL LİSTESİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
BAHP	Bulanık AHP
BTOPSIS	Bulanık TOPSIS
BÇKKV	Bulanık Çok Kriterli Karar Verme
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
FNIS	Bulanık Negatif İdeal Çözüm
FPIS	Bulanık Pozitif İdeal Çözüm
ILO	Uluslararası Çalışma Örgütü
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
TOPSİS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
WHO/DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü

TABLO LİSTESİ

ŞEKİL LİSTESİ

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanlığın başlangıcından itibaren hayatta kalmak ve yaşamını devam ettirebilmek için insanoğlu çalışmıştır. Avcı ve toplayıcı olarak başlayan bu serüven zamanla üreticiliğe dönüşmüş ve bu da beraberinde çalışma koşullarını değiştirmiştir. Günümüze geldiğimizde gelişen teknoloji, artan sanayileşme, tüketim alışkanlıklarında meydana gelen değişiklikler ve küreselleşme ile birlikte üretim ve çalışma koşulları da ciddi bir değişime tabi olmuştur. Yaşanan bu değişim sadece insanları etkilemekle kalmayıp bu değişimin ortaya çıkmasını sağlayan işçi sınıfını ve pek çok iş kolunu da etkilemiştir. Bu durum da doğal olarak çalışma koşullarını, çalışan insan sayısını ve sorunları arttırmış ve bu artışta beraberinde riskleri getirmiştir [1].

Günümüze gelindiğinde tüketim talebi, talep ise talebi karşılayacak yapıların sayısını arttırmaktadır. Yapılan işler artarken, beraberinde üretim hızı da artmakta; böylece teknolojiye, makinelere ve hammaddeye olan ihtiyaç artarken diğer taraftan da insana duyulan ihtiyaç artmaktadır. Haliyle bu değişim beraberinde yüksek kâr amacı gütmek isteyen işyerlerindeki çalışanların hayatlarını çeşitli derecelerde etkilemektedir.

Üretim teknolojilerinde meydana gelen değişim, daha düşük maliyetle daha fazla üretim yapma isteği ve firmaların farklılaşan pazar koşullarında ayakta kalma zorunluluğu çalışma ortamlarında iş sağlığı ve güvenliği açısından sorunları beraberinde getirmektedir [2].

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ile Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) iş sağlığı ve iş güvenliğini; "Tüm mesleklerde işçilerin bedensel, ruhsal, sosyal iyilik durumlarını en üst düzeye ulaştırmak, bu düzeyde sürdürmek, işçilerin çalışma koşulları yüzünden sağlıklarının kötüleşmesini önlemek, işçileri çalıştırmaları sırasında sağlığa tersi etkilerden oluşan tehlikelerden korumak, işçileri fizyolojik ve psikolojik durumlarına en uygun çalışma ortamlarına yerleştirmek ve bu durumları sürdürebilir kılmak, kısaca işin insana ve insanın kendi işine uyumunu sağlamak" olarak belirtilmiştir [3].

Ayrıca çalışanların sağlık ve iyilik hallerine yönelik alınacak önlemler çalışanların verimini arttıracağı gibi ekonomik ve insani kalkınma sürecine de pozitif anlamda

katkı sunacaktır. Fakat bu olumlu katkıların farkına varılamadığı durumlarda ise en küçük firmalardan başlayarak ülkeleri de içine alacak boyutta ciddi maddi ve manevi kayıplarla karşılaşılması da muhtemeldir [4].

İş kazalarının meydana gelmesini önlemek için elbette ki öncelikle iş kazalarının nedenlerinin bilinmesi gerekmektedir. Kazaların nedenlerine bakıldığında üç faktör ile karşılaşılmaktadır: Kişi nedenli kazalar, sistem nedenli kazalar, kişi-sistem nedenli kazalar şeklinde tanımlanmaktadır [5].

İş kazalarının oluşmasında birçok etken rol oynamaktadır, fakat son yıllarda yapılan araştırmalarda ağırlıklı olarak iş kazaları nedenleri "güvensiz koşullar (tehlikeli durum)" ve "güvensiz hareketler (tehlikeli davranış)" başlığı altında incelenmektedir [6].

Güvensiz koşullar; çevre, kullanılan makine ve ekipmandan kaynaklanan durumlardır. Güvensiz koşullara aşağıda sıralanan örnekler verilebilir [7].

- Yetersiz koruyucu (ekipman, platform)
- Montaj ve tasarım hataları
- Bakımı iyi yapılmamış kusurlu, noksan teçhizat
- Kaygan, zayıf veya arızalı döşeme yüzeyleri
- Kullanılan maddeye uygun olmayan üretim sistemi
- İşe uygun makine kullanılmaması
- İş yerinin düzensizliği, kötü iş yeri yerleşimi
- Yetersiz aydınlatma, havalandırma
- Gürültü
- Aşırı sıcak veya soğuk
- Çevredeki tehlikeli maddeler (kimyasallar, patlayıcılar)
- Sağlıksız ve hijyenik olmayan çalışma ortamı
- Güvensiz hareketler ise iş görenin güvenliğini tehlikeye atan hatalı hal ve davranışlardır.

Güvensiz hareketlere örnek olarak aşağıda sıralanan maddeler verilebilir [7].

- İş güvenliği önlemlerinin önemsenmemesi
- Araçların, gereçlerin yanlış ve güvensiz kullanılması

- Var olan koruyucu güvenlik önlemlerini kullanmamak veya kullanılmaz hale getirmek
- İş yerini düzensiz ve dağınık bırakmak
- Ekipmanların izinsiz olarak çalıştırılıp kullanılması
- Bozuk, kusurlu ekipmanı bile bile kullanmak
- Güvensiz olarak malların taşınması
- Çalışan makina ve teçhizat üzerinde bakım ve onarım
- Davranış bozuklukları (şakalaşma, dikkat dağıtma vb.)
- Güvensiz çalışma yöntemi

Bu güvensiz davranış ve güvensiz ortam koşullarının yanında yapılan işin türü ve işyerine bağlı olarak da kaza sayıları değişiklik göstermektedir. ILOSTAT verilerine göre 2020 yılında Türkiye'de iş gücüne katılım oranı 15 yaş ve üzeri nüfus için %52,7 olarak tespit edilmiştir. Bu katılım oranı erkek ve kadın katılım oranı olarak ayrıldığında ise sırasıyla %72,4 ve %33,9 şeklinde tespit edilmiştir [6].

Türkiye'de 2015 yılından sonra yaşanan iş kazalarına ilişkin detaylı veriler Tablo 1.1'de sunulmuştur. Buna göre yıllar bazında ölümle sonuçlanan iş kazaları sırasıyla 2015 yılında 1252, 2016 yılında 1405, 2017 yılında 1633, 2018 yılında 1541 ve 2019 yılında ise 1147 olarak gerçekleşmiştir. Sadece 2019 yılında Türkiye'deki iş kazalarında 337.108 erkek ve 85355 kadın çalışan iş kazasına maruz kalmıştır [8].

İş kazalarının en çok görüldüğü sektörlerin başında ise 25969 iş kazası ile Yiyecek ve içecek sektörüne gelirken bunu 25551 iş kazası ile inşaat sektörü takip etmektedir. Yine önde gelen sektörlere bakıldığı zaman metal üretim sektörü (imalat), tekstil ürünleri imalat sektörü ve gıda ürünleri imalat sektörü gelmektedir [8].

Bu çalışma kapsamında izleme ve değerlendirme sistemleri ile daha görünür hale gelen ve dünyada milyonlarca insanın yaralanmasına, iş görememesine ve hatta ölümüne sebep olan iş kazalarına ve onlara neden olan risklere sektörler bazında karşılaştırma yapılarak odaklanılmıştır. Kazaların oluşumlarına bakıldığı zaman buna sebep olan birçok riskin bulunduğu ve bunların da her işkolunda farklı düzeyde kazalara etki ettiği tespit edilmiştir.

Evrensel anlamda iş sağlığı ve güvenliği; henüz bir tehlike ile karşılaşılmamış, işletmede bir arıza meydana gelmemiş ve problem ortaya çıkmamışken bile işletmede oluşabilecek tehlikelerin ve risklerin öngörülerek bunların kabul edilebilir olup olmadığına karar verme çalışmalarını da kapsamaktadır. Yani yeni kavramla eski "reaktif" yaklaşımların yerini "proaktif" yaklaşımlar almıştır [9].

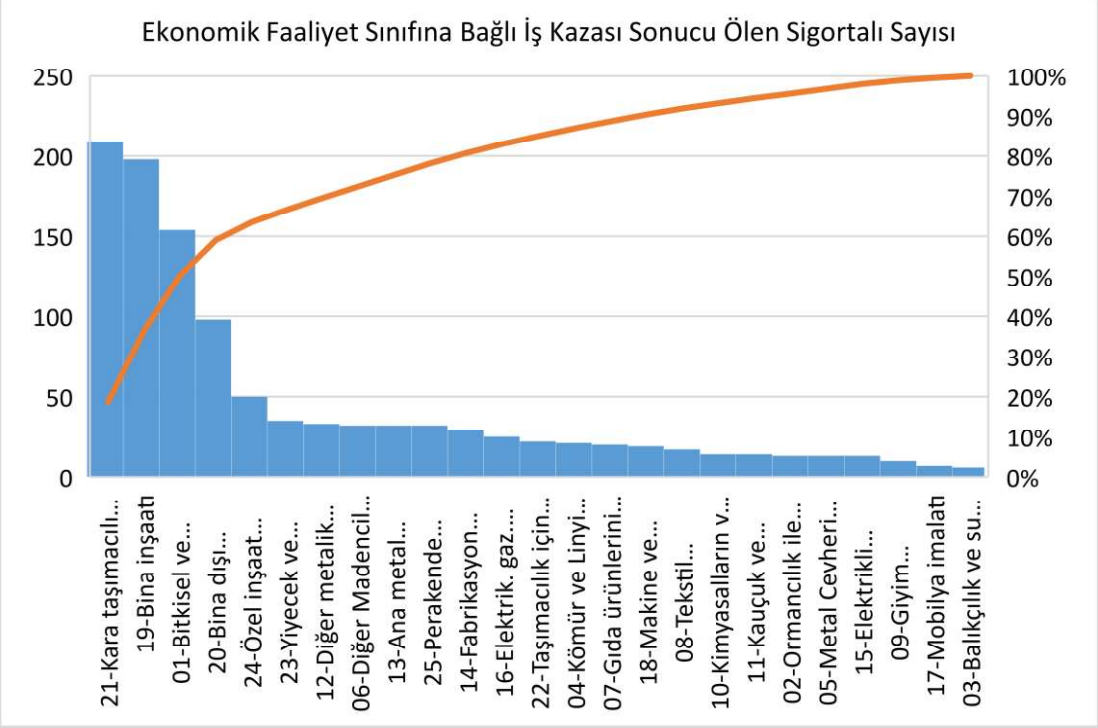
Bu riskler bazen önlenebildiği gibi bazen de önlenememekte ve bunun sonucunda birçok ölümlü ve yaralanmalı iş kazaları meydana gelmektedir. Tablo 1.1'de 2020 yılında sektörler bazında ölümle sonuçlanan iş kazalarına yer verilmiştir. Tabloda yer alan SGK verilerinden de görüldüğü gibi her sektörde (faaliyet kolu) ölümlü veya yaralanmalı iş kazaları olmakta ve bu durum ne yazık ki önlenememektedir.

Tablo 1.1 2020 yılında sektörlere göre ölümlü iş kazaları [8]**.**

Ekonomik Faaliyet Sınıflaması (NACE Rev. 2)	**İş kazası sonucu ölen sigortalı sayısı**		
	Erkek	**Kadın**	**Toplam**
01-Bitkisel ve hayvansal üretim ile avcılık ve ilgili hizmet faaliyetleri	154	0	**154**
02-Ormancılık ile endüstriyel ve yakacak odun üretimi	13	0	**13**
03-Balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği	6	0	**6**
04-Kömür ve Linyit Çıkartılması	21	0	**21**
05-Metal Cevheri Madenciliği	13	0	**13**
06-Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı	32	0	**32**
07-Gıda ürünlerinin imalatı	17	3	**20**
08-Tekstil ürünlerinin imalatı	14	3	**17**
09-Giyim eşyalarının imalatı	10	0	**10**
10-Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	14	0	**14**
11-Kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	13	1	**14**
12-Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	33	0	**33**
13-Ana metal sanayii	32	0	**32**
14-Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (makine ve teçhizat hariç)	29	0	**29**
15-Elektrikli teçhizat imalatı	10	3	**13**
16-Elektrik. gaz. buhar ve havalandırma sistemi üretim ve dağıtımı	25	0	**25**
17-Mobilya imalatı	7	0	**7**
18-Makine ve ekipmanların kurulumu ve onarımı	19	0	**19**

19-Bina inşaatı	198	0	**198**
20-Bina dışı yapıların inşaatı	98	0	**98**
21-Kara taşımacılığı ve boru hattı taşımacılığı	209	0	**209**
22-Taşımacılık için depolama ve destekleyici faaliyetler	22	0	**22**
23-Yiyecek ve içecek hizmeti faaliyetleri	34	1	**35**
24-Özel inşaat faaliyetleri	50	0	**50**
25-Perakende ticaret (Motorlu kara taşıtları ve motosikletler hariç)	27	5	**32**
Toplam	**1.100**	**16**	**1.116**

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi bu sektörlerin en öne çıkanları metal üretim imalat, inşaat, madencilik, tekstil ürünleri imalatı, ana metal sanayi, yiyecek içecek hizmetleri ve diğerleridir.



Şekil 1.1 Sektörlere göre iş kazaları ve dağılımına ilişkin Pareto analizi

Çalışmanın ikinci kısmında literatür araştırması yapılarak mevcut durumun ortaya konulması amaçlanmış ve ardından da literatürde yer alan boşluk tespit edilmiş, daha sonra da bu alana dönük bir araştırma yapılması hedeflenmiştir. Buna göre son yıllarda iş sağlığı ve güvenliğine dönük yayınların sayısı artmakla beraber niteliksel olarak kantitatif çalışmaların sayısı halen yeterli düzeye ulaşmamıştır. Bu nedenle bu tez

çalışması sonucunda hem subjektif hem objektif veriler sentezlenerek uzman görüşleriyle birlikte mevcut durumda ortaya çıkan risklerin önlenmesine dönük sektörel bazda alternatifler ve çözümler önerilmiştir.

Çalışma kapsamında sektördeki karar vericilerin bilgi ve deneyimlerine dayanarak, gerekli önlemlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Karar verme aşamasında, uzman görüşlerinden yararlanılarak; problemin tanımı, kriter ile alternatiflerin belirlenmesi, en iyi alternatifin seçimi ve çıktıların değerlendirilmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Bu çalışma ile birlikte 3 farklı sektörde kazaya sebep olan risklerin önceliklendirilmesini sağlamak, uzman görüşleri doğrultusunda bir çerçeve oluşturmak ve karar aşamasına etki edebilecek verilerin değerlendirilmesine olanak sağlayacak sistematik yaklaşımlar için son yıllarda literatürde sıklıkla kullanılan Bulanık Çok Kriterli Karar Verme (BÇKKV) yöntemlerinden ikisi kullanılmıştır. Bunlar Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve Bulanık TOPSİS tekniğidir.

BÇKKV yöntemleri gerçek yaşamda kesin olmayan öznel bilgilere dayanır ve bu karar aşamasında kesin yargıya götüren klasik karar verme metotları yetersiz kalır. BÇKKV yöntemleri karar aşamasındaki belirsizliklerin giderilmesi ve sağlıklı neticeler alınması için olanak sağlar. Alternatiflerin karşılaştırılması sırasında belirsizlik durumunu kontrol etmek için “bulanık küme teorisi” kullanılır.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatür taraması yer almaktadır. Çalışmada kullanılan kaza sebepleri için bilgi sağlanmış ve BÇKKV yöntemlerinden, BAHP ve BTOPSİS’ in genel kullanım alanlarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde seçilen sektörlere ilişkin sayısal verilere niçin seçildiklerine ve belirlenen risklere ilişkin ayrıntılı bilgiler yer almaktadır. Ayrıca bu bölümde uygulamada kullanılan kriter ve alternatifler açıklanmıştır. Dördüncü bölümde materyal ve yöntem yer alır ve bulanık küme teorisi ayrıntılı şekilde şematize edilerek anlatılmıştır. Beşinci bölümde uygulama kısmı yer almaktadır. Bulanık AHP ve Bulanık TOPSİS işlem aşamaları ile tablolar oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar bulgular kısmında açıklanmıştır. Son olarak sonuç bölümünde ise ortaya çıkan verilerin genel değerlendirmesi ile birlikte ileride yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

Bu çalışma kapsamında, uzman karar verici görüşlerine dayanan ve son yıllarda literatürde de sıklıkla kullanılmaya başlanan Bulanık Çok Kriterli Karar Verme yaklaşımı kullanılarak iş kazasına sebep olan riskler sektörler bazında ele alınmıştır. Daha sonra söz konusu riskler ağırlıklandırılarak olası iş kazalarının engellenmesi için uygulayıcılara nereden başlamaları ve hangi risklere odaklanmaları hususunda kaynaklık edecek bir yol haritası sunularak olası çözüm alternatiflerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde farklı ülkelerde yapılan çalışmalarda sektörler bazında yapılan araştırmalar ile beraber kullanılan yöntem ve bu yöntem ile iş sağlığı ve güvenliği alanındaki çalışmaların boyutu araştırılmıştır. İlk kısımda sektörel bazda yapılan çalışmalar irdelenmiş ve çalışmanın temelini oluşturan sektörler ve bu sektörlerde meydana gelen iş kazalarına kaynaklık eden riskler tespit edilmiştir. Daha sonra ise BÇKKV yönteminin etkinliği ortaya koyabilmek amacıyla bu yöntem ile ilgili çalışmalar ve söz konusu yöntemlerin iş sağlığı ve güvenliği alanında kullanımı araştırılarak mevcut durumun ortaya konması hedeflenmiştir.

[4] çalışmalarında Türkiye'de meydana gelen iş kazaları ve kazalarda görülen değişimi baz almışlardır. Bu amaçla 2015-2019 yılları arasında Türkiye'de görülen iş kazalarına ilişkin istatiksel veriler baz alınarak iş kazaları; maliyet, demografik özellikler, sektör türleri bazında değerlendirilmiş ve alınabilecek önlemler açıklanmıştır. Kalitatif yöntemlerin kullanıldığı çalışmanın temelini istatistiksel veriler oluşturmaktadır.

[10] Türkiye tekstil sektöründe 2007-2016 yılları arasında meydana gelen iş kazalarını ve bu kazalara ait verileri inceledikleri çalışmalarının sonucunda elde ettikleri verileri Avrupa birliği üye ülkeleri ile karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında veriler kaza sıklığı, ölümlü kaza sıklığı, geçici iş görmezlik kaza sıklığı, standardize iş kazası oranı, sürekli iş görmezlik kaza sıklığı, iş kazası ağırlık hızı, ve iş kazası sıklık hızı ölçütlerine göre hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda tekstil sektöründe meydana gelen iş kazalarının sıklık bakımından Türkiye geneli ile yakın olduğu, buna karşın ölümlü kaza sayısının ise Türkiye genelinin altında yer aldığı belirtilmiştir.

[11] yaptıkları çalışma için Türkiye Sosyal Güvenlik Kurumu'ndan 2013-2016 yılları arasında imalat sanayiinde meydana gelen 242.537 iş kazası kaydını kullanmışlardır. Veri analizi yöntemleri olarak öznitelik seçimi, karar ağacı analizi ve veri madenciliği yöntemleri olarak birliktelik kuralı madenciliği seçilmiş ve uygulanmıştır. Analiz sonucunda, imalat sistemlerindeki kazalara malzeme (kaza sırasında kullanılan

ekipman), özel faaliyet, genel faaliyet, yer (kazanın meydana geldiği bölüm) ve meslek olarak tanımlanan 5 faktörün %92,40 düzeyinde etki ettiği tespit edilmiştir. Daha sonra söz konusu faktörler icin kaza tipine göre ağaç modelleri oluşturulmuş ve her bir kaza tipi için birliktelik kuralları elde edilmiştir.

[12] çalışmalarında Türkiye'de faaliyet gösteren 17 farklı sektöre ait iş sağlığı ve güvenliği verilerini dikkate almış ve belirlenen sektörlere ilişkin İSG risk düzeylerinin değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Sektörleri İSG risk seviyelerine göre değerlendirebilmek amacıyla sektörlerin İSG risk seviyelerini etkileyen kriterleri; toplam geçici iş göremezlik süresi, iş kazası geçiren kişi sayısı, meslek hastalığı sonucu gelir bağlanan sigortalı sayısı, meslek hastalığına yakalanan kişi sayısı, iş kazası sonrası gelir bağlanan sigortalı sayısı ve iş kazası sonrası ölen sigortalı sayısı olarak tanımlamışlardır. Belirlenen kriterlerin önem ağırlıkları CRITIC yöntemi ile belirlenmiş, sektörlerin sıralaması için ise EDAS yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda göre en riskli sektör ise kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalat sektörü olarak belirlenmiştir.

[13] çalışmalarında Türkiye ve Avrupa birliği üye ülkelerde meydana gelen iş kazalarını çeşitli parametreler üzerinden karşılaştırarak alınabilecek önlemleri tartışmışlardır. Bu bağlamda sektörel bazlı iş kazaları da irdelenerek Türkiye ve Avrupa Birliği üye ülkelerin durumu karşılaştırılmış ve 2014 yılı verilerine göre Türkiye'de görülen iş kazalarının Avrupa Birliğine göre 6,7 kat daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

[2] iş kazaları ve bu kazaların azaltılmasına dönük alınan yasal önlemlerin etkilerinin analiz edilmesi amacıyla yaptıkları çalışma kapsamında orman ürünleri sanayi sektörünü oluşturan üç alt sektörel yapının (kağıt ve kağıt ürünleri imalatı, mobilya imalatı, ağaç ve ağaç ürünleri imalatı) Türkiye ve AB üyeleri ülkeleri düzeyinde karşılaştırılmasını hedeflemişlerdir. Bu amaçla 2008-2017 yılları arasında meydana gelen iş kazası istatikleri baz alınmış ve çalışma sonucunda AB üyesi ülkelerde söz konusu yıllarda sürekli azalma olmasına karşın Türkiye'de sürekli bir artışın gözlemlendiği belirtilmiştir. Çalışmada yöntem olarak istatistiksel veri analizi kullanılmış ve bulgular karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

[14] yaptıkları çalışma ile İSG risklerinin olumsuz sonuçlarını en aza indirgemek için düzeltici/önleyici tedbirler sağlamak amacıyla riskleri tanımlayarak önceliklendirecek bir risk yönetim sisteminin gerekliliğine vurgu yapmışlardır. Söz konusu sistemin, çalışanların sağlığının korunmasına ve organizasyonel maliyetlerin azaltılmasına yardımcı olacağı vurgulanan çalışma kapsamında İSG risklerini değerlendirmek ve önceliklendirmek için Hata Modu ve Etki Analizi (FMEA), Bulanık Bilişsel Harita (FCM) ve MOORA yöntemini içeren Çok Amaçlı Optimizasyona dayalı hibrit bir karar verme yaklaşımı kullanılmıştır. İlk olarak FMEA tekniği ile riskler ve risk değerlendirme kriterlerinin değerleri belirlendikten sonra, FCM ve hibrit öğrenme algoritması ile kriterlerin nedensel ilişkilerine göre ağırlıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra karar matrisi (FMEA çıktısı) ve kriterlerin ağırlıkları (FCM çıktısı) bazında MOORA yöntemi kullanılarak risk önceliklendirmesi yapılmış ve çalışma sonucunda önerilen yaklaşımın geleneksel FMEA' daki klasik Risk Öncelik Sayısının (RPN) bazı dezavantajlarının üstesinden gelebileceği belirtilmiştir.

[15] Türk inşaat sektörünün iş sağlığı ve güvenliği açısından genel durumunu ortaya koymayı hedeflediği çalışmasında inşaat sektöründe meydana gelen kazalar ile Türkiye genelinde meydana gelen kazaları; Genel Kaza Sıklığı, Ölümlü Kaza Sıklığı, Sürekli İş Göremezlik Kaza Sıklığı gibi karşılaştırma ölçütlerini kullanılarak kıyaslamıştır. Ülkeler bazında da karşılaştırma yapılan çalışma sonucunda inşaat sektöründe meydana gelen iş kazalarının nedenleri ve önlenmesine yönelik alınabilecek tedbirler paylaşılmıştır. Çalışma sonucunda Türkiye'deki inşaat sektöründe meydana gelen birçok kazanın kayıt altına alınmadığı, istatistiki verilerin sektörel bazda mevcut durumu anlama açısında yeteriz kaldığı ve her sektör için aynı iş güvenliği tedbirlerinin alınmasının uygun olmadığı vurgulanmıştır.

[16] çalışmalarında 2004-2014 yılları arasında meydana gelen ve Türkiye Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın tersane iş kazası vaka raporlarında yer alan kayıtlı ölümlü iş kazalarını incelenmişlerdir. Daha sonra İstanbul bölgesinde bulunan tersanelerdeki işçi ve ustabaşılar arasında işyeri anketi yapılmıştır. Çalışma sonucunda ölümlü iş kazaları sınıflandırıldığında, tersane işçileri için beş ana nedeni ortaya konmuştur. Bunlar; yüksekten düşme, elektrik çarpması, yangın ve/veya patlamaya maruz kalma, cisimlere çarpma, arada kalma ve boğulma. Ayrıca yapılan analiz

sonucunda Türkiye'deki tersanelerinde meydana gelen ölümlü iş kazalarının oranının gemi içinde (%43,7) ve tersanede (%56,3) olduğu belirtilmiştir. Yapılan anket sonucunda tersane çalışanlarının maruz kaldığı iş kazalarındaki başlıca risk faktörleri; düşük eğitim düzeyinin, atölyelerde temizlik, öğle yemeği etkisi, kötü hava koşulları, KKD'nin uygunsuz kullanımı, yorgun ve uykulu olma, kapasite fazlası gemi üretimi, yoğun çalışma, fazla mesai, taşeron işçi olmak ve ağır iş yükü şeklinde belirlenmiştir.

[17] iş kazalarının etkilerini ve ülkeler açısından sebep oldukları kayıpları vurguladıkları istatistiksel analiz çalışmasında Türkiye'de 2000-2005 yılları arasında meydana gelen iş kazalarının sonuçlarını çeşitli kriterler açısından değerlendirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, Türkiye'de 2000-2005 yılları arasında iş kazası sayılarında bir dalgalanma ve iş kazalarından kaynaklanan ölüm sayılarında aşağı doğru bir eğilim olduğu gözlemlenmiştir. İş kazalarının ise daha çok metal eşya imalatı (makineler hariç), inşaat, tekstil sanayi, kömür madenciliği ve ulaşım araçları imalatı sektörlerinde görüldüğü, işçi ölümleri ve iş kazaları nedeniyle kalıcı olarak sakat kalanların ise daha çok inşaat sektöründe görüldüğü belirtilmiştir.

[18] iş kazalarına sebep olan temel organizasyonel ve sistematik nedenleri Portekizde bulunan balıkçı gemilerine yapılan saha ziyaretleri ve mağdurlarla yapılan görüşmeler yoluyla gerçek kazaları anlamak amacıyla yerinde araştırmış ve analiz etmişlerdir. İki aşamadan oluşan çalışmanın ilk aşamasında karar modeli oluşturulmuş, ikinci aşamada ise analiz edilen vakaların yerinde, yani doğrudan meydana geldikleri balıkçı teknesinde araştırılması ve analizini içermektedir.

[19] mesleki risk önleme uygulaması ve bunun Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerin (KOBİ'ler) yönetim sistemlerine entegrasyonu, İspanyadaki 106 firmadan (KOBİ) oluşan bir örneklemden toplanan verilerin ileriye dönük bir analizi yoluyla İspanyol İnşaat Sektöründe incelenmiştir. Veri toplama tekniği olarak anketler, açık sorular, kapalı sorular ve ikili sorular kullanılmıştır. Eğitim kriterleri ve İnşaat Sektöründe deneyime sahip firmalar için çalışan görüşülen kişilerin hiyerarşik konumu göz önünde bulundurularak, bilgileri karşılaştırmak ve güvenilirliğini doğrulamak için Kalitatif Odak Grup teknikleri seçilmiştir. Katılımcılar arasında kamu idarelerinden risk önleme uzmanlarının yer aldığı çalışma sonucunda, İspanyol inşaat sektöründeki

KOBİ'lerin Yönetim Sistemlerine Mesleki Risk Önleme (ORP) entegrasyonunun firmanın kurumsal yapısı dışında zorluklar olduğu belirtilmiştir.

[20] en fazla iş kazasının imalat sektöründe meydana geldiğini belirttikleri çalışmalarında bu tür kazalara katkıda bulunan faktörleri belirlemeyi ve veri madenciliği, yazışma analizi ve ki-kare testi kullanarak Kayıp İş Günleri (LWD), Kaza Sonrası Durum (PAS) ve Kaza Türleri (TA) arasındaki ilişkiyi incelemeyi amaçlamamışlardır. Analizler sonucunda, en sık karşılaşılan TA' nın "vücudun veya organların iki nesne arasında bastırılması" olduğunu ve bunun belirleyicilerinin Sektör, Boyut ve Yaş, Deneyim, Saat Gün olduğunu belirtmişlerdir. Bu tür kazaların en çok makine ve teçhizat hariç fabrikasyon metal ürün imalatı sektöründe meydana geldiği ve 500'den az çalışanı olan işletmeler ile 40 yaşından küçük çalışanlar için bu riskin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak, işletmeleri önlem almaya teşvik etmek için daha yüksek prim oranlarının getirilmesi ve sosyal güvenlik denetim uygulamalarının daha sık olmasını önermişlerdir.

[21] çalışmalarında, kızıldeniz kıyısında yer alan Cidde'de inşaat sektöründeki 300 işçi arasında meydana gelen kaza ve yaralanma nedenlerini araştırmışlardır. Yöntem olarak anket çalışması yapılmış ve çalışma sonucunda, kazaların ve yaralanmaların başlıca nedeninin, işçiler arasında iş güvenliği konusundaki farkındalık eksikliği ve deneyim eksikliği (>%82) olarak belirlenirken; inşaat sektöründe en sık görülen kaza ve yaralanma türlerinin ise yüksekten düşme (>%80) ve elektrik çarpması (>%60) olarak belirlenmiştir.

[22] yaptıkları çalışma kapsamında şantiyelerdeki riskleri önceliklendirmek için Bulanık Genişletilmiş Analitik Hiyerarşi Sürecini (FEAHP) kullanan bir emniyet riski değerlendirme süreci önermişlerdir. Ayrıca, karar vericinin görüşüne yanıt veren FEAHP yaklaşımını gerçek kaza verileri kullanılarak uygulanan nicel bir risk analizi ve değerlendirme süreci olan Orantılı Risk Değerlendirme Tekniği (PRAT) ile geliştirilmişlerdir. Sürecin işlevselliğini ve yeterliliğini göstermek için ise gerçek hayattan bir proje örneği kullanılmıştır.

[23] çalışmalarında inşaat sektöründe meydana gelen iş kazalarına ilişkin tehlikeleri tanımlamışlardır. Bu kapsamda çevresel faktörler, ekip yönetimi, güvensiz

davranışlar, ağır ekipmanlar ve inşaat alan yönetimi şeklinde 5 ana faktör tanımlamışlardır. Bu ana faktörlere bağlı 31 alt faktör tanımlamışlardır ve değerlendirme için ise yeni bir yaklaşım olan Güvenlik ve Kritik Etki Analizi (SCEA) ve bunun Pisagor bulanık kümeleriyle uzantısı yaklaşımını kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar FMEA ve Fine Kinney yöntemleri ile karşılaştırılmış ve önerilen yöntemlerin tüm temel parametrelere dayalı olarak daha güvenilir ve bilgilendirici çıktılar sağladığı ortaya konmuştur.

[24] yaptıkları çalışmada imalat sanayi içinde yer alan 18 farklı sektöre ait 2011-2014 yılı kaza istatistikleri ortalamaları sektörlerin gruplandırılması amacıyla küme ve ayırma analizleri ile değerlendirmişlerdir. Birçok farklı sekörün ele alındığı çalışma kapsamında aynı ya da benzer sektörel grupların oluşturulması amacıyla sekiz farklı değişken ve üç farklı oran kullanılmıştır. Kümeleme analizi kullanılan çalışma sonucunda aynı küme içinde yer alan sektörlerin kendi yapılarına uygun benzer kriterler doğrultusunda önlem almaları gerektiği vurgulanmıştır.

[25] Türkiye'de meydana gelen maden kazalarına ilişkin istatiksel analiz yaptıkları çalışmalarında 1998-2008 yılları arasında başta Türkiye olmak üzere Birleşik Krallık, Finlandiya, Polonya, Almanya ve Avustralya'daki ölümü ve yaralanmalı maden kazalarını incelemişlerdir. Daha sonra iş kazalarının meslek grupları ve faaliyet alanlarına göre sınıflandırıldığı çalışma sonucunda Türkiye'nin mevcut durumunun diğer ülkelerle karşılaştırılması yapılmış ve çıktıları paylaşılmıştır.

[26] metal sektöründe yaşanan elektrik kaynaklı kazaları inceledikleri çalışmalarında öncelikle kaza sebeplerini belirlemişlerdir. Daha sonra tespit edilen kaza sebeplerine ilişkin önlem alınabilmesi amacıyla çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi kullanılmış ve yapılan değerlendirme sonucunda kazalara ilk önce tasarım ve ekipman yerleşiminden kaynaklanan hataların ve daha sonra yönetimsel ve işletme temelli hataların sebep olduğu; çalışan hatasının ise en son sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır

Literatür araştırması sonucunda yapılan araştırmaların büyük bir çoğunluğunun istatiksel veri analizlerinden oluştuğu, yine geri kalan önemli bir bölümünün ise anket, yüz yüze görüşme, literatür araştırması gibi kalitatif metotlar kullanarak

gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Kantitatif metot kullanılarak yapılan çalışmaların sayısı son yıllarda artış gösterse de aynı anda birden fazla sektörün ele alındığı ve bu sektörlerde ortaya çıkan kazalara ilişkin risklerin önceliklendirildiği herhangi bir çalışmaya yazarın bildiği kadarıyla rastlanmamıştır. Bu yönü ile öncü olabilecek olan bu çalışma seçilen yöntemin uygulama alanı bakımından da yeni çalışmalardan biri olma özelliğine sahiptir. Yapılan kapsamlı literatür araştırması ve incelemeler sonucunda çalışmaya kaynaklık eden riskler ve bunlara ilişkin önleme yaklaşımları da bu çalışmalar ve uzman görüşlerine dayanarak derlenmiştir. Sonraki bölümde elde edilen bu bilgilere ve probleme ilişkin ayrıntılara yer verilecektir.

BÖLÜM 3

SEKTÖRLER BAĞLAMINDA İŞ KAZALARI VE NEDENLERİ

3.1. Sektörlere Bağlı İş Kazaları

Çalışmanın bu kısmında literatürde yer alan ve birçok araştırmacının da üzerine çalışma yaptığı sektörlere odaklanılmakla beraber aynı zaman da en çok ölümlü ve yaralanmalı iş kazalarının da görüldüğü sektörler seçilmeye çalışılmıştır. Tablo 3.1'de sektörlere göre işçi ölüm oranları yer almaktadır.

Tablo 3.1 Sektörlere göre işçi ölüm oranları [5]

	İnşaat/Yol	**Tarım/Orman**	**Taşımacılık**	**Madencilik**
2013	24%	16%	11%	7%
2014	23%	17%	7%	21%
2015	25%	23%	14%	4%
2016	22%	20%	13%	4%
2017	23%	19%	13%	5%
2018	23%	24%	12%	3%
2019	24%	13%	14%	3%

TÜİK verilerine göre en çok iş kazası meydana gelen sektörlerin başında Tekstil sektörü gelmekle beraber ölümü ve yaralanmalı iş kazaları boyutunda bakıldığı zaman ise İnşaat sektörü öne çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında çalışan sayısı ve ortaya çıkan sonuçları yönüyle büyük öneme sahip olan 3 ana sektör seçilmiştir. Bunlar sırasıyla; İnşaat, Makine/İmalat ve Madencilik sektörü olarak belirlenmiştir.

3.1.1. İnşaat Sektörü ve İş Kazaları

İnşaat sektörünün aktif çalışma alanlarını oluşturan şantiyeler işçilerin en tehlikeli ve en yoğun çalışma alanlarını oluşturmaktadır. Birçok iş bölümünün bir arada olduğu, üretimin imalatın çeşitli bölümlerde bir arada uygulanabilen, birçok çalışanın bir arada bulunduğu şantiyeler herkes için oldukça yüksek tehlike riskler barındırmaktadır.

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) verilerine göre dünyada her yıl toplam 270.000.000 iş kazası meydana gelmektedir. Her 15 saniyede bir işçi yaralanmakta olup her gün 6.300 kişi iş kazası veya meslek hastalığından hayatını kaybetmektedir. Ayrıca yaşanan bu iş kazalarında inşaat işçileri, diğer sektörlerde çalışan işçilere oranla 3-6 kat daha fazla kazaya uğrama riski taşımaktadırlar [6].

Ülkemizde yaşanan iş kazalarının % 1,6'sı ölümle sonuçlanırken, inşaat sektöründeki iş kazalarının yaklaşık % 5'i ölümle sonuçlanmaktadır. İş kazası sonucu meydana gelen ölümlerin yaklaşık % 34'ü şantiyelerde meydana gelmektedir. Bu oranlar bize şantiyelerde işçi sağlığı ve güvenliği bilincinin yeterince oluşmadığını işaret ederken aynı zamanda bu sektörün en riskli sektörlerden biri olduğunu da göstermektedir [7].

Özellikle son yıllarda madencilik sektörü gibi çok tehlikeli çalışma alanlarında alınan radikal önlemler ile işçi ölümlerinde çok ciddi oranda düşüş yaşanmıştır. Tarım, Orman ve Taşımacılık gibi diğer sektörlerde de görülen işçi ölümlerinde farklı yıllar arasında ciddi düşüşler yaşanmıştır. Fakat inşaat sektörüne baktığımızda 2012 yılında çıkarılan İSG Kanununa rağmen iş kazaları arttığı gibi işçi ölümleri sabit bir oranda devam etmekte olup hiç düşüş yaşanmamıştır [27].

İş kazası istatistikleri incelendiğinde inşaat sektörünü oluşturan bina inşaatları, bina dışı yapıların inşaatı, özel inşaat faaliyetleri 368 kişi yaşamını yitirmiştir. Tüm iş kazaları sonucu vefat eden sigortalı sayısına baktığımızda 2019 yılı içerisinde 1147 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu rakamlar bize iş kazası sonucu ölen sigortalı sayısının % 32'sini inşaat sektörünün oluşturduğunu göstermektedir [5].

3.1.2. Metal / İmalat Sektörü ve İş Kazaları

Metal sektörü, imalat sanayi içinde yer alan ve geniş bir faaliyet alanı ile yapısı gereği yaygın bir alt sektörler spektrumunu içinde barındırmaktadır. Demir- çelik, döküm, ham çelik, ferro alaşımlar, demir- dışı metaller olarak; alüminyum ve bakır olmak üzere ana sanayi kolları metal iş kolunun kapsamındadır. Ayrıca, makine ve beyaz eşya, motorlu araçlar, tarım makineleri ve araçları, çelik yapılar ve doğramalar da metal iş kolunun altındadır. Elektronik, iletişim cihazları, askeri elektronik, bilgisayar ve donanımları ve elektrikli ev cihazları üretimi de bu iş kolu ile önemli ölçüde

ilgilidir. Sektör içindeki faaliyetlerde üretim teknoloji ağırlıklı yapılmakla birlikte, emek yoğunluğu da dikkate değer düzeydedir [28].

Metal / İmalat sektöründe meydana gelen kazaların başlıca nedenleri torna tezgâhları, freze tezgâhları, planya ve vargel tezgâhları ve matkap tezgâhlarında yapılan üretimler esnasında güvensiz davranışlardan veya güvensiz ortamdan kaynaklı kazalardır. Bunlara örnek verilecek olursa; işlenen parça alındıktan sonra bıçakların açık bırakılması, tezgâh çalışırken talaş temizlemek için bıçak veya milin üzerinden uzanılması, işlenen parçanın gevşemesi, tezgâh gövdesi ile tablası arasına kişilerin ve başka cisimlerin sıkışması, talaş fırlaması, ayna anahtarının, aynanın üzerinde unutulması, iş parçanın aynaya iyi bağlanmaması, işçinin tezgâh çalışmıyor diye aynaya yaslanmış veya elini koymuş olması, işçinin elbise kollarının bol olması ve kol ucunu tezgâha kaptırması gibi olaylar örnek olarak verilebilir.

3.1.3. Madencilik Sektörü ve İş Kazaları

Madencilik, tarih boyunca uygarlıkları şekillendiren temel sektörlerden biri olmuştur. Günümüzde madencilik faaliyetleri olmaksızın insan yaşamının sürdürülebilmesi çok zordur. Çünkü kullandığımız taşıtlardan, içinde yaşadığımız evlere, bilgisayarlardan telefonlara kadar yaşamımız için vazgeçilmez olan hemen her şey, madencilik etkinlikleri sonucu elde edilmektedir. Madencilik sektörü, ülkelerin istihdam sorunlarına ve ekonomik gelişimlerine katkı sağlamaları nedeniyle çok önemli bir sektördür. Ancak, bu sektör iş sağlığı ve güvenliği açısından dünya genelinde en riskli sektör olarak kabul edilir. Çünkü çalışılan ortamda çok fazla risk ve tehlike bulunmakta ve bunların hepsinin değerlendirilmesi ve önlenmesi çok kolay olmamaktadır.

Maden işyerlerinde sağlıklı ve güvenli bir işyeri şartları sağlamak için, iş sağlığı ve güvenliği sisteminin kurulması, uygulanması, denetlenmesi ve sürekli iyileştirilmesi gereklidir. Ayrıca maden işyerlerindeki tehlike ve riskler bazen sabit olmayıp hareketli ve değişken olabilmektedir. Bu tür durumlarından üstesinden gelebilecek tedbirlerin ve yöntemlerin işletme için geliştirilmesi gereklidir. Ağır iş makinelerinin kullanıldığı yeraltı ve yerüstü maden işletmelerinde kalifiye eleman istihdamının yetersizliği, makinelerin periyodik bakımlarının yapılmasındaki aksaklıklar ve yapılan hatalı

işletme yöntemleri iş kazası ve meslek hastalıklarının artmasına sebep olabilmektedir [29]. Madenciliğin tüm bu zor koşullarına rağmen günümüzde gelişen teknoloji ile beraber bu risklerin bertaraf edilmesi veya en aza indirilmesi mümkündür.

Ülkemizde madencilik sektöründe toplam 132490 kişi istihdam edilmektedir. Tüm sigortalı çalışan nüfusun %0,96'sı madencilik sektöründe çalışmaktadır [8]. Ülkemizin gelişimi ve istihdam için çok önemli bir sektör olan madencilik sektörünün desteklenmesi iş kazalarının azaltılması için gerekli çalışmaların tüm paydaşlar tarafından gerçekleştirilmesi gereklidir. Son yıllarda yapılan olumlu gelişmeler daha iyi bir geleceğin bizi beklediği konusunda umutları yeşertmektedir. Ülkemizdeki diğer sektörler ile maden sektöründeki her 100 kişi başına düşen iş kazası oranlarının karşılaştırılması yapıldığında birinci sırada maden sektörü, onu metal/makine ve inşaat sektörü takip etmektedir. Ayrıca, madencilik sektöründe işletme büyüklüğü arttıkça iş kazalarının azaldığı belirlenmiştir [9].

3.2. Sektörlere Bazında İş Kazalarının Görülme Nedenleri

Sektörlerde Meydana Gelen İş Kazalarına Sebep Olan Nedenler 3 ana kategoride ele alınmıştır. 3 ana kritere bağlı olarak ise 14 alt kriter tanımlanmış olup aşağıda açıklamalarına yer verilmiştir. Söz konusu nedenler Sosyal Güvenlik kurumu tarafından paylaşılan istatistik yıllıklarında yer alan verilerden, literatürden ve uzman görüşlerinden faydalanılarak tespit edilmiştir [12], [30]–[32].

Yönetimden Kaynaklı Nedenler

Yönetimsel kararlar, var olan kural ve politikaların çalışma ortamlarında sürdürülebilmesi ve etkin kılınmasında oldukça önemlidir. Aşağıda farklı alt kriterler bağlamında ele alınana yönetimsel uygulama başlıkları sonuç itibari ile çalışanların ve çalışma ortamlarının güvenliğini arttırıcı etkiler gösterebildiği gibi tam tersi olarak etkin uygulanmayan politikalarda aynı şekilde olumsuz etkilere ve istenmeyen sonuçlarla karşılaşılmasına sebep olabilmektedir. Bu bağlamda iş kazalarının görülmesine sebep olabilecek yönetimsel nedenler aşağıdaki şekilde 5 alt neden bağlamında bir araya getirilmiştir.

İş – İşgücü Uyumsuzluğu: İş kazaları ve meslek hastalıklarının nedenlerine bakıldığı zaman ergonomik faktörler ve iş-işçi uyumsuzluklarından kaynaklı iş kazaları anlamlı bir yer tutmaktadır. Bu risk faktörü bağlamında işe uygun olmayan işgücünün kullanılmasından kaynaklı olarak ortaya çıkabilecek olası iş kazası risklerinin etkileri ele alınmıştır.

Dokümantasyon ve Takip Sisteminin Yetersizliği: Kurumların sürdürülebilirliği ve etkinlikleri sahip oldukları kurumsal yapıları ve dokümantasyon sistemleri ile de ilgilidir. Bu nedenle etkin bir işletme planı olmayan veya sahip oldukları işletme planlarını takip etmeyen işletmeler olası risk düzeyini arttırma potansiyeline sahip olarak değerlendirilirler.

Çalışanlar Üzerinde Etkin Denetimin Yapılmaması: İş kazalarının nedenlerine bakıldığı zaman çalışandan kaynaklı ve çevreden kaynaklı nedenlerin iş kazalarında ciddi bir yer tuttuğu bilinmektedir. İşyerlerinde kurallar tanımlanmış olmasına ve gerekli güvenlik ekipmanları hazır bulundurulmasına karşın çalışanların gereken özeni göstermemesi durumunda iş kazalarına ilişkin riskler artmaktadır. Bu noktada söz konusu denetimin etkin yürütülmemesi ve denetim sıklığı olası risklerin artışına zemin hazırlayan bir unsur olarak tanımlanmıştır.

Uzmanlık Bazlı Görevlendirme Yapılmaması: İş yerlerinde görülen kazalar irdelendiğinde sıklıkla karşılaşılan sorunların başında çalışan personellerin görev tanımlarına uygun olmayan ve yetkinlikleri ile bağdaşmayan işlerde çalıştırılmaları gelmektedir. Bu yönü ile işgücünün kullanımında doğru işte çalıştırılmaması olası kaza riskini arttırmakta ve çalışan söz konusu alana ve işe hâkim olmadığı için çalışandan kaynaklı risk düzeyi de yükselmektedir. Söz konusu risk bu nedenle değerlendirmeye alınmıştır.

İş Güvenliği Mevzuatına Uyulmaması: İş kazalarının önlenmesinde önemli unsurlardan bir diğeri de yasal mevzuatların varlığı ve bu mevzuatların uygulanma düzeyidir. İşletmeler tarafından bazen yürütülen işin doğasına uygun olmadığı ya da işin tamamlanma süresini etkilediği gibi nedenlerle bazı mevzuat kuralları göz ardı edilmekte veya göstermelik düzeyde uygulanmaktadır. SGK verilerine bakıldığı zaman mevzuatın uygulanmamasından kaynaklı etmenlere bağlı iş kazalarının da

önemli bir yekünü oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple söz konusu riskin sektörel bazda etkisi bu çalışma kapsamında ele alınacaktır.

İş Ekipmanlarından Kaynaklı Nedenler

İş kazalarının nedenlerine bakıldığı zaman hem literatürde yer alan araştırmalarda hem de birçok SGK verisinden çalışanlardan kaynaklı ve çevreden kaynaklı nedenler öne çıkmaktadır. Bu bağlamda bu ana kriterde çevresel nedenleri içerisine alan ekipman ve malzemeden kaynaklı nedenler ve etkileri ele alınmıştır. Ekipman ve malzeme kaynaklı nedenler 4 alt grupta ele alınarak değerlendirilmiştir. Buna göre [31];

Kötü/Dayanıksız Malzeme Kullanımı: İşletme ve uygulama süreçlerinde çalışanların karşılaştıkları iş kazaları ve nedenlerinden bazılarının temelinde yeterli kaliteye sahip olmayan ya da sadece göstermelik olarak adlandırılabilecek olan koruyucu ekipmanların kullanılmasından kaynaklı iş kazalarının oluştuğu uzmanlarca ifade edilmiştir. Bu kriter ile söz konusu riskin sektörel bazda etkisi ve ortaya çıkaracağı risk boyutu analiz edilecektir.

Kişisel Koruyucu Donanım Eksikliği: Çalışanların işlerini yürütürken kullanmaları gereken kişisel koruyucu donanımların iş kazaları üzerine olası etkisi ve noksanlığı durumunda sektörel bazda ortaya çıkarabileceği telafi edilemez durumların araştırılması amaçlanan bu risk faktörü ile kişisel koruyucu donanımlara ilişkin algı düzeyi de analiz edilecektir.

Ekipman Bakım – Onarımının Yetersiz Olması: Eksik ve zamanında yapılmayana bakım faaliyetleri ve kalibrasyon eksiklikleri beraberinde istenmeyen birçok iş kazasını getirmektedir. Bu iş kazalarından önemli bir bölümü ramak kala olarak adlandırılabilecek boyutta olup kayıt altına dahi alınmazken bazen de istenmeyen sonuçlara sebep olan büyük iş kazalarının nedenleri olabilmektedir. Bu nedenle makine araç ve tertibatlarında ortaya çıkabilecek olası ihmal ve kusurların etkileri ve bunların sektörel bazda yansımaları bu çalışma ile değerlendirilecektir.

Makine Koruyu Ekipmanlarının Eksikliği: Makine ve araç gereçlerde bulunan koruyucu ekipmanlarla birlikte, iş güvenliği açısından ortamda ve çalışma esnasında bulundurulması gereken ekipmanların eksikliği veya bulunmamasının olası etkisi ve önemi bu risk faktörü ile analiz edilecektir. Bazı sektörlerde söz konusu eksiklikler

hafif yaralanma ya da ramak kala boyutunda iş kazalarına yol açarken bazılarında ise ciddi ölümcül sonuçlara sebep olabilmektedir. Bu kriter ile sektörel bazda söz konusu risk faktörünün önem düzeyi ve etkisi ortaya konmuş olacaktır.

Personelden Kaynaklı Nedenler

İş kazalarının nedenleri arasında yer alan ve öne çıkan bir diğer önemli unsur ise çalışanlardan kaynaklı iş kazalarıdır. Bu bağlamda özellikle çalışandan kaynaklı iş kazalarının sektörel bazdaki mevcut durumu ve olası çıktıları bu risk ana faktörü ile değerlendirilmiştir. Bu ana kriterde kapsamında çalışandan kaynaklı nedenler 5 alt grupta ele alınarak değerlendirilmiştir. Buna göre [27];

Yeterli Tecrübeye Sahip Olunmaması: Çalışanların yaptıkları iş ile ilgili yeterli tecrübeye sahip olmamasından kaynaklı ortaya çıkabilecek iş kazası riskleri ve boyutu bu risk faktörü ile analiz edilecektir. Bu kapsamda ayrıca söz konusu tecrübe eksikliğinin sektörel bazda sonuçları ve olası etkileri de göz önünde bulundurularak olası çözüm önlemlerinin alınabilmesi içinde mevcut durum ortaya konacaktır.

Eksik Görev ve Sorumluluk Bilinci: Çalışanlarda yeterli sorumluluk bilincinin oluşmamasının iş kazaları üzerindeki etkisinin analiz edilmesi amaçlanan bu kriter ile olası sorumluluk eksikliğinin sektörlerde ortaya çıkaracağı risk boyutu da analiz edilmiş olacaktır. SGK verilerinde çalışandan kaynaklı iş kazaları başlığı altında açıkça tanımlanmayan bu durum uzmanlarca değerlendirilmek üzere analize dahil edilmiştir.

Güvensiz Davranışlar: Çalışanların iş ortamında birbirleri ile uygun olmayan tarzda şakalaşmaları, bir çalışanın başka çalışanların dikkatini dağıtacak şekilde hareket etmesi, işi kolaylaştırma adına var olan kuralları esnetmeye dönük uygun olmayan davranışların ortaya konması gibi yaklaşımlar bu başlık altında ele alınmıştır.

Dikkat Eksikliği: İşyerlerinde meydana gelen birçok kazada aslında çalışanların o olaya sebep olan hareketin sonucunu öngörememesi veya sonuçlarını tahmin edememesi yatmaktadır. Bu nedenle çalışanlarda iş kazalarına dair farkındalığın eğitim eksikliği, kişisel kapasite, işin zorluğu vb. nedenlerden dolayı gelişmemiş olması muhtemel iş kazalarına ilişkin riskleri de arttırmaktadır. Bu çalışma

kapsamında söz konusu farkındalık eksikliğinin hem diğer riskler bağlamında önem düzeyi araştırılacak hem de sektörel bazda etkisi incelenecektir.

Yetersiz Mesleki Eğitim Bilgisi: Tecrübe ve iş kuralları tanımlı olsa dahi söz konusu faaliyete ilişkin mesleki gelişmişlik düzeyi de iş kazalarına sebep olabilmektedir. Söz konusu kriter ile mesleki eğitimin önemi, diğer kriterlere göre iş kazalarına ilişkin olası etkisi ve sektörler bazında değişimi analiz edilecektir.

Çalışma kapsamında yukarıda açıkalaması verilen risk faktörleri kriter olarak tanımlanmış olup Şekil 5.1 de tanımlamalarında kullanılan kısaltmaları da paylaşılmıştır.

Değerlendirmeye alınan sektörler ise analiz kapsamında alternatifler olarak adlandırılacak olup Tablo 3.2'de yer aldığı şekilde kodlanmıştır.

Tablo 3.2 Sektörler ve model kodları

Ana Kriter	**Alt Kriter**	**Alt Kriter Kodu**	**Alternatif 1 (A1)**	**Alternatif 2 (A2)**	**Alternatif 3 (A3)**
Yönetimden Kaynaklı Nedenler (Y)	İş – İşgücü Uyumsuzluğu	Y1	İNŞAAT SEKTÖRÜ	MADENCİLİK SEKTÖRÜ	MAKİNE / IMALAT SEKTÖRÜ
	Dokümantasyon ve Takip Sisteminin Yetersizliği	Y2			
	Çalışanlar Üzerinde Etkin Denetimin Yapılmaması	Y3			

	Uzmanlık Bazlı Görevlendirme Yapılmaması	Y4			
	İş Güvenliği Mevzuatına Uyulmaması	Y5			
İş Ekipmanlarından Kaynaklı Nedenler (İE)	Kötü/Dayanıksız Malzeme Kullanımı	İE1			
	Kişisel Koruyucu Donanım Eksikliği	İE2			
	Ekipman Bakım – Onarımının Yetersiz Olması	İE3			
	Makine Koruyu Ekipmanlarının Eksikliği	İE4			
İşçilerden Kaynaklı Nedenler (P)	Yeterli Tecrübeye Sahip Olunmaması	İ1			
	Eksik Görev ve Sorumluluk Bilinci	İ2			
	Güvensiz Davranışlar	İ3			

	Dikkat Eksikliği	İ4			
	Yetersiz Mesleki Eğitim Bilgisi	İ5			

BÖLÜM 4

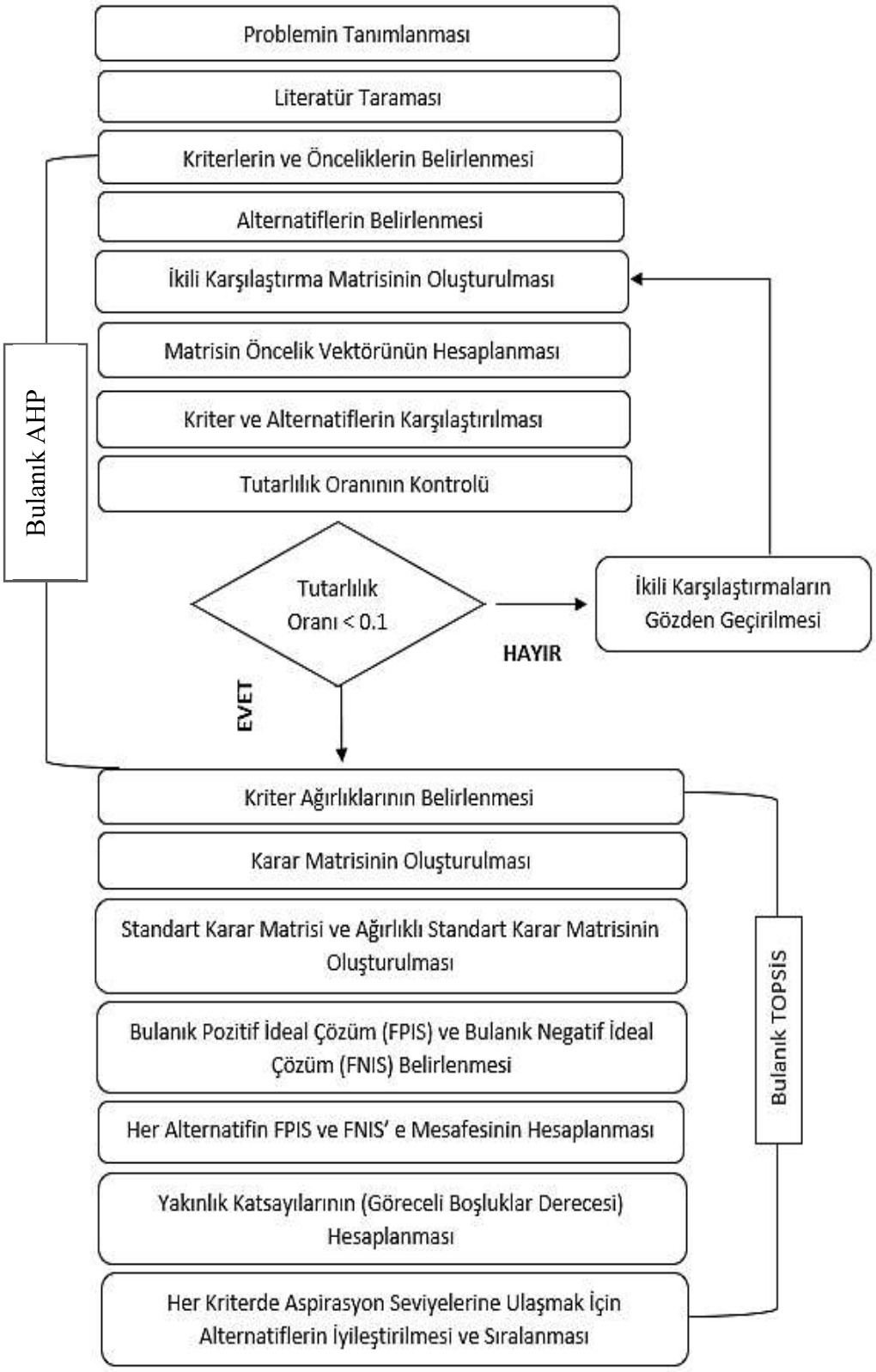
MATERYAL VE YÖNTEM

Sektörel bazda iş kazalarına sebep olan risklerin analiz edilmesi ve sektörlerin bu riskler bağlamında karşılaştırılmasını amaçlayan bu çalışma kapsamında problemin tanımlanması ile başlayan ve literatür taraması, kriterlerin belirlenmesi, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık TOPSİS yöntemlerinin değerlendirilmesi ve uygulanması, kriterlerin önceliklendirilmesi, ve son olarak da alternatiflerin karşılaştırılmasına dönük işlem adımlarının şematize edildiği uygulama aşamaları Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

Çalışma kapsamında öncelikle mevcut problemin ne olduğu ortaya konmuş ve buna ilişkin kapsamlı literatür araştırması yapılarak boşluk analizi sonucunda kullanılacak yönteme ve çalışmanın çerçevesine karar verilmiştir.

Daha sonra ise yöntem olarak seçilen Bulanık AHP ve Bulanık TOPSİS yaklaşımları belirlenen kriterler bağlamında gerekli hesaplamaların yapılabilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu aşamada alanında uzman ve en az 5 yıl tecrübeli olan karar vericiler hem kriterlerin belirlenmesi hem de değerlendirme sürecine katkı sunarak söz konusu analizlerin yapılmasına olanak sunmuşlardır. Kriter ve alternatiflerin karşılaştırılması sonrasında tutarlılık oranının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. Söz konusu yöntemlerin uygulama adımlarına ilişkin detaylar ilgili kısımlarda ayrıca ele alınmıştır.

Yapılan analizlerin son aşamasında ise iş kazası risklerine ilişkin önem ağırlıkları tespit edilerek sektörelerin söz konusu riskler bağlamında karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 4.1 Uygulama sürecinin aşamaları

Birden fazla kriterin aynı anda değerlendirilmesi ve bu değerlendirme sonucunda çoklu kriterler arasından en iyisinin seçilmesine ilişkin karar süreçlerinde kullanılan en etkili yöntemlerden birisi Çok Kriterli Karar Verme yöntemleridir [33]. Birden fazla alternatifin belirli kriterler dahilinde değerlendirilmesi sonrasında en uygun alternatifin belirlenebilmesi amacıyla tasarlanmış olan Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri karar verici görüşlerine dayalı olarak bilimsel ve matematik temelli bir değerlendirme yapma imkanı sunmaktadır.

Gerçek hayatın 0 ve 1'lerden ibaret olmadığı ve içerisinde birçok grilik olarak ifade edilebilecek bulanıklıkları barındırdığı bilinmektedir. Mutlak güzellik olmadığı gibi, birşeye tamami ile karşı olma ya da tamamı ile kabul etme de neredeyse imkansıza yakın bir durumdur. Bu gibi durumlarda karar skalası içerisinde yer alan ve bir duruma karşı hissedilen duyguyu tam anlamıyla aktarmaya imkan veren bir araca ihtiyaç vardır. İşte Çok Kriterli Karar Verme yaklaşımlarında da gerçek hayattaki bu belirsizliklere cevap verebilmek için Bulanık kümeler teorisi kullanılmaktadır [34]. Bu çalışma kapsamında söz konusu değerlendirmelerin etkin olarak yapılabilmesi ve arada kalabilecek bulanık alanlarında değerlendirmeye dahil edilebilmesi için Bulanık AHP ve Bulanık TOPSİS yaklaşımları kullanılmıştır.

ÇKKV yöntemi değerlendirilecek olan kriterin belirlenmesinden nihai kararı verilmesine kadar geçen süreçte karar vericilerle birlikte yürütülen ve elde edilen değerlerin tutarlılıklarının analiz edilmesi ve olası tutarsızlık durumunda değerlendirmelerin tekrar edilmesini içeren oldukça kapsamlı öznel olmayan bir yöntemdir [35]. Çoğu karar verme problemleri aşağıdaki genel özellikleri içerir:

Karar Verici: Sorumluluğu alan ve mevcuttaki alternatifler arasından seçim yapan kişi ya da kişilerdir.

Amaç: Karar vericinin ulaşmayı arzu ettiği hedef veya durumdur.

Alternatifler: Karar verme süreci sonunda potansiyel çözümü temsil eden ve karar vericilerce seçilen farklı fikir / aday / politikalar olarak tanımlanabilir.

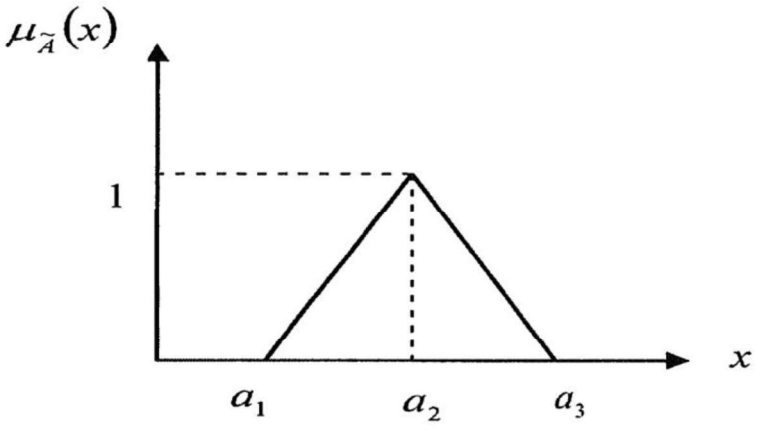
Kriterler: Kişinin karar vermesinde yol gösteren tüm ölçümler, standartlar veya kurallardır.

Kriter ağırlıkları: Nerdeyse tüm ÇKKV yöntemleri her bir kriterin göreli önemi ile ilgili olan ve çoğunlukla sıralama veya kardinal ölçeğe başvurulan bilgilere ihtiyaç duymaktadır. Ağırlıklar direkt karar vericiler tarafından oluşturulabilmesinin yanında ÇKKV yöntemleri ile de hesaplanabilmektedir.

Seçilen karar probleminde aynı anda birbiri ile çelişen ve birden çok alternatifin bir arada değerlendirilmesine ihtiyaç duyulan bir durum söz konusudur. Bu nedenle seçilen problemin tam olarak değerlendirilebilmesi için literatürde de kullanılan Bulanık kümeler teorisi tabanlı çözüm yöntemleri bu çalışma kapsamında seçilmiştir. [36].

4.1 Bulanık Sayılar

Kesin değerler yerine olasılıkların ele alındığı ve üyelik fonksiyonlarında 0 ve 1 değerleri dışında kalan değerlerinde değerlendirmeye dahil edildiği normal ve konveks kümelere bulanık sayılar denmektedir. Literatürde en fazla kullanılan bulanık sayılar ise üçgen ve yamuk bulanık sayılardır [37]. Şekil 4.2'de bulanık üçgensel sayılarda en küçük, orta ve en büyük üyelik değerini gösterir üyelik fonksiyonu görülmektedir.



Şekil 4.2 Bulanık üçgensel sayılarda üyelik fonksiyonu

4.2 Bulanık Matris

Sayılarından en az bir tanesinin bulanık olduğu matrisler Bulanık matris olarak adlandırılmaktadır. $\forall i,j$ için $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ matrisine bakıldığı zaman bulanık pozitif değerlerden oluştuğu ifade edilmektedir. [38]:

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}. \tag{17}$$

4.3 Bulanık AHP (Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi temel yöntem olmakla birlikte karar vericilerden kesin yanıtlar istemesi ve ikili karşılaştırma süreinde belirsizlik ve kararsızlık durumlarının ifadesi olan ara değerlendirmelerin yansıtılmasına imkan vermemesi nedeniyle insani düşünme tarzını yansıtmadığı için birçok araştırmada eleştirilmektedir. Bu sebepten hiyerarşik problemleri çözmek amacıyla Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) geliştirilmiştir. Keskin değerlerin kullanıldığı AHP'den farklı olarak, BAHP'de kıyaslama oranları bir değer aralığında sunulmaktadır [39].

4.3.1 Üçgen Bulanık Sayılar

(l, u , m) biçiminde üçlüler ile ifade edilen l, u , m parametreleri sırasıyla en küçük değeri, alınabilecek en büyük değeri ve en geniş değeri ifade etmektedir ve aşağıdaki şekilde gösterilir [40].

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x < l \\ \frac{(x-l)}{(m-l)} & , \quad a \le x < b \\ \frac{(u-x)}{(u-m)} & , \quad m \le x \le u \\ 0 & , \quad x > u \end{cases} \tag{4.1}$$

Karar vericilerin dilsel olarak görüşlerini ifade etmelerine imkan tanıyan ve söz konusu dilsel ifadelerin matematiksel karşılıklarını içeren dilsel ifadelerin sayısal

karşılıkları Tablo 4.1'de yer almaktadır.

Tablo 4.1 Dilsel değişkenler ve matematiksel karşılıkları [41]

Net Ölçek	Dilsel Önem Düzeyi	Üçgensel Bulanık Ölçek	Üçgensel Karşılık Ölçek
1	Eşit (E)	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
3	Önemli (Ö)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)
5	Daha Önemli (DÖ)	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
7	Çok Daha Önemli (ÇDÖ)	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
9	Kesinlikle Önemli (KÖ)	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)
2	İki Ardışık Yargı Arasındaki Değerler (İY)	(1,2,3)	(1/3,1/2,1/1)
4		(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
6		(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)
8		(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)

4.3.2 Yamuksal bulanık sayıları kullanan Buckley (1985) yaklaşımı

Bu çalışma kapsamında üçgensel bulanık sayılardan ziyade Buckley (1985) tarafından geliştirilen yamuksal bulanık sayılar yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımına adımları ise şu şekildedir.

1. Adım : Dilsel değişkenlerle yorumlanan ifadeleri sayısal hale getirmek için bu değişkenler bulanık sayılara dönüştürülür. Ana kriter ve alt kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur ve $\tilde{A}$ bulanık kümesi oluşturulur [6].

$$\tilde{A}^k = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11}^k & \cdots & \tilde{a}_{1n}^k \\ \tilde{a}_{21}^k & \cdots & \tilde{a}_{2n}^k \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1}^k & \cdots & \tilde{a}_{nn}^k \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

2. Adım: Daha sonra bulanık ağırlık matrisi hesaplanır.

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{K} \tilde{d}_{ij}^k}{K} \tag{4.3}$$

3. Adım: Bulunan ortalama değerlere göre ikili karşılaştırma matrisleri güncellenir.

$$\widetilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11}^{k} & \cdots & \tilde{a}_{1n}^{k} \\ \tilde{a}_{21}^{k} & \cdots & \tilde{a}_{2n}^{k} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1}^{k} & \cdots & \tilde{a}_{nn}^{k} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

4. Adım: Bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalaması hesaplanır.

$$\tilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^{n} \tilde{d}_{ij}\right)^{1/n}, i = 1,2,\ldots,n \quad (4.5)$$

5. Adım: Her bir kriterin bulanık ağırlıkları $\tilde{w}_i$ hesaplanır.

$$\widetilde{w}_i = \widetilde{r}_i \times (\widetilde{r}_1 \times \widetilde{r}_2 \times \widetilde{r}_3 \times \ldots\ldots\times \widetilde{r}_n)^{-1} = (lw_i, mw_i, uw_i) \quad (4.6)$$

6. Adım: $M = (l,w,u)$ şeklinde verilen bulanık sayı Denklem 4.7'de ki gibi durulaştırılır.

$$M_i = \frac{lw_i + mw_i + uw_i}{3} \quad (4.7)$$

7. Adım: M_i durulaştırılan değerler bulanık olmayan bir sayı olduğu için elde edilen değerler Denklem 4.18'e göre normalleştirilir.

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^{n} M_i} \quad (4.8)$$

4.5 Bulanık TOPSİS

Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Bulanık TOPSIS yöntemi hem nitel hem de nicel karar kriterlerinin kriter değerleriyle ilgilenen esnek bir yapıyı içeren bir yöntemdir [42]. Bu yöntem ile alternatiflerin ideal çözüme olan uzaklığına bağlı olarak değerlendirilmesi ve buna göre kabul edilebilir veya kabul edilemez olarak adlandırılması sonucunda söz konusu alternatifin uygunluğu incelenir. Bulanık TOPSİS yönteminin uygulama adımları aşağıdaki şekildedir.

1. Adım: Öncelikle N tane uzman karar vericiden $E = (KV_1, KV_2, \ldots\ldots, KV_N)$ şeklinde küme oluşturulur. Karar matrisi içerisinde alternatifler $A = (KV_1, KV_2, \ldots\ldots, KV_N)$ ve bu alternatifleri değerlendirmek için kullanılacak kriterler $K = (K_1, K_2, \ldots\ldots, K_n)$ şeklinde belirlenir.

2. Adım: Sözel Değişkenlerin Seçilmesi: Alanında uzman karar vericilerden Tablo 4.1 de yer alan dilsel ifadeleri kullanarak alternatifleri değerlendirmeleri istenir.

Kriterlerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel ifadeler ise Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Her kriterin önemi için dil değişkenleri [43]

Dilsel Önem Sırası	Dilsel İfadeler	Sayısal İfadeler
1	Çok Düşük (ÇD)	(0,1,2)
2	Düşük (D)	(1,2,3)
3	Orta Düşük (OD)	(2,3.5,5)
4	Orta (O)	(4,5,6)
5	Biraz Yüksek (BY)	(5,6.5,8)
6	Yüksek (Y)	(7,8,9)
7	Çok Yüksek (ÇY)	(8,9,10)

3. Adım: *N* tane karar vericiden oluşan grupta;

$\tilde{x}_{ij}$: Karar vericilerin değerlendirdiği alternatifin kriter değerini,

$\tilde{w}_j$: Kriter ağırlığını gösterir ve şu şekilde hesaplanır;

$$\tilde{x}_{ij} = (a_j, b_j, c_j,),\ a_{ij} = \min_k(a_{ijk}), b_{ij} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} b_{ijk}\ , c_{ij} = \max_k(c_{ijk}) \tag{4.9}$$

$$\tilde{w}_{ij} = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}),\ w_{j1} = \min_k(w_{jk1}), w_{j2} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} w_{jk2}\ , w_{j3} = \max_k(w_{jk3}) \tag{4.10}$$

4. Adım: Bulanık çok kriterli karar verme problemi matrisinde, A_i , i = (1, … , m) aralarında seçim yapılacak alternatifleri ve K_i, i = (1, … , n) kriterleri gösterir ve şu şekilde ifade edilir:

$$\tilde{X} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \vdots \\ \tilde{x}_{m1}^k \end{matrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11}^k & \tilde{x}_{12}^k & \tilde{x}_{13}^k & \cdots & \tilde{x}_{1n}^k \\ \tilde{x}_{21}^k & \tilde{x}_{22}^k & \tilde{x}_{23}^k & \cdots & \tilde{x}_{2n}^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1}^k & \tilde{x}_{m2}^k & \tilde{x}_{m3}^k & \cdots & \tilde{x}_{mn}^k \end{bmatrix} \tag{4.11}$$

$$\widetilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots\dots, \tilde{w}_n]$$

Burada $\tilde{x}_{ij}$ ve $\tilde{w}_{ij}$ dilsel ifadelerdir. $\tilde{x}_{ij}$ = (a_j , b_j , c_j) ve $\tilde{w}_{ij}$ = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) şeklinde üçgen bulanık sayılarla da tanımlanabilirler.

5. Adım: Karar matrisi normalize edilir. Normalize karar matrisi $\widetilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m*n}$ ile gösterilir. Normalize edilmiş bulanık sayılar $\tilde{r}_{ij}$ şeklinde gösterilir.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j}{c_j}, \frac{b_j}{c_j}, \frac{c}{c_j}\right), \qquad c_j^* = \max_i c_j \tag{4.12}$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_j}, \frac{a_j^-}{b_j}, \frac{a_j^-}{a_j}\right), \qquad c_j^* = \max_i c_j \tag{4.13}$$

6. Adım: Her bir kriterin ağırlığını göz önünde bulunduran ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulur.

$$\widetilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m*n} \qquad i = 1,2,3,\ldots.m \qquad j = 1,2,3,\ldots..n \tag{4.14}$$

Elemanları ise $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_j * \tilde{w}_j$ ile hesaplanır. (4.15)

7. Adım: Ağırlıklı normalize karar matrisinden sonra bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS, A^*) ve bulanık negatif ideal çözüm (FNIS, A^-) hesaplanır.

$$A^* = (\tilde{V}_1^*, \tilde{V}_2^*, \ldots\ldots.., \tilde{V}_n^*) A^- = (\tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^-, \ldots\ldots.., \tilde{V}_n^-) \tag{4.16}$$

$$\tilde{V}_1^* = \max_i(v_{j3}) \quad ve \quad \tilde{V}_1^- = \min_i v_{j1} \tag{4.17}$$

8. Adım: Her bir alternatifin FPIS ve FNIS'ten uzaklığı sırasıyla i=1,2,…,m olmak üzere hesaplanır.

d_v: İki bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermektedir.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v\left(V_{ij}, V_j^+\right) \qquad i = 1, 2, \ldots\ldots, m \tag{4.18}$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v\left(V_{ij}, V_j^-\right) \qquad i = 1, 2, \ldots\ldots, m \tag{4.19}$$

9. Adım: İdela çözüme uzaklığın hesaplanması için Yakınlık katsayısı, aşağıdaki eşitlik aracılığı ile hesaplanır. Her alternatifin yakınlık katsayısı i= 1,2,…,m' dir.

$$Yakınlık\ Katsayısı(CI) = \frac{(d_i)^-}{(d_i)^- + (d_i)^+} \quad (4.20)$$

Bu çalışma kapsamında ise Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yaklaşımı birlikte kullanılacaktır. Kriter ağırlıkları Bulanık AHP yöntemi ile belirlendikten sonra söz konusu ağırlıklar Bulanık TOPSİS yöntemi içerisinde dahil edilerek alternatifler Bulanık TOPSİS yöntemi ile değerlendirilecektir.

BÖLÜM 5

UYGULAMA

Bulanık AHP ve Bulanık TOPSİS uygulamasında ilk adım, kullanılacak kriter ve alternatiflerin belirlenmesidir. Kriter ve alternatifler literatür incelemesi yapılarak belirlenmiştir. Uygulamada kullanılacak kriterlere bir önceki bölümde yer verilmiştir. Çalışmada alanında uzman üç karar verici seçilmiştir. Sektör karar vericileri ile ikili görüşmeler yardımıyla kriter ve alternatifler değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada iş kazasına sebep olan risklere ilişkin kriter belirlenerek sektörlerin önceliklendirilmesi için hiyerarşik bir model oluşturularak, BÇKKV yöntemi olan Bulanık AHP ile öncelik vektörü hesaplanmasından sonra Bulanık TOPSİS yöntemi ile alternatif ağırlıkları hesaplanacaktır.

Çalışmada ikili kararlaştırma değerleri dilsel (sözel) bir şekilde ifade edilmiştir. BAHP yöntemi kullanılarak sözel belirsizliğin daha iyi ifade edilmesi, Bulanık TOPSİS metodu kullanılarak önlem alınacak sektörlerin önceliklendirilmesi amaçlanmıştır.

Sektörlerin değerlendirilmesine ilişkin olarak belirlenen risk kriterlerine ait hiyerarşik yapı için 3 ana kriter ve toplamda 14 alt kriterden oluşan bir değerlendirme listesi seçilmiş olup İnşaat, Maden ve Makine/İmalar sektörleri bu kriterler üzerinden karşılaştırılacaktır.

5.1 Bulanık AHP Uygulaması

İş sağlığı ve güvenliği çerçevesinde çeşitli rahatsızlıklara sebebiyet veren ana kriterler uzman karar vericiler tarafından ikili olarak karşılaştırılmış ve dilsel değerlendirmeleri Tablo 5.1'de sayısal karşılığı ise Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Ana kriterlere ilişkin dilsel değerlendirmeler

ANA KRİTERLER	Yönetimden Kaynaklı Nedenler (Y)	İş Ekipmanlarından Kaynaklı Nedenler (IE)	İşçilerden Kaynaklı Nedenler (İ)
Yönetimden Kaynaklı Nedenler (Y)	**E**		
İş Ekipmanlarından Kaynaklı Nedenler (IE)	Ö	**E**	
İşçilerden Kaynaklı Nedenler (İ)	ÇDÖ	DÖ	**E**

Tablo 5.2 Ana kriterlere ilişkin ikili karşılaştırma matrisi

ANA KRİTERLER	Yönetimden Kaynaklı Nedenler (Y)	İş Ekipmanlarından Kaynaklı Nedenler (IE)	İşçilerden Kaynaklı Nedenler (İ)
Yönetimden Kaynaklı Nedenler (Y)	(1,1,1)	(1/5,1/3,1/1)	(1/7,1/5,1/3)
İş Ekipmanlarından Kaynaklı Nedenler (IE)	(1,3,5)	(1,1,1)	(1/7,1/5,1/3)
İşçilerden Kaynaklı Nedenler (İ)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,1,1)

İkili karşılaştırmalardan sonra her bir ana kriterin bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalaması Denklem 4.5'e göre bulunmuş ve sonuçları Tablo 5.3'de sunulmuştur.

$$r_1 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(1 * \frac{1}{5} * \frac{1}{7}\right)^{\frac{1}{3}}; \left(1 * \frac{1}{3} * \frac{1}{5}\right)^{\frac{1}{3}}; \left(1 * 1 * \frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{3}}\right]$$

$$r_1 = [\mathbf{0,305;\ 0,405;\ 0,693}]$$

$$r_2 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(1 * 1 * \frac{1}{7}\right)^{\frac{1}{3}}; \left(3 * 1 * \frac{1}{5}\right)^{\frac{1}{3}}; \left(5 * 1 * \frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{3}}\right]$$

$$r_2 = [0{,}522;\ 0{,}843;\ 1{,}185]$$

$$r_3 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[(3 * 3 * 1)^{\frac{1}{3}}; (5 * 5 * 1)^{\frac{1}{3}};\ (7 * 7 * 1)^{\frac{1}{3}}\right]$$

$$r_3 = [\mathbf{2,908};\ \mathbf{4,172};\ \mathbf{5,538}]$$

Tablo 5.3 İş kazalarına sebep olan ana kriterlerin bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamaları

ANA KRİTERLER		**r_i**	
Yönetimden Kaynaklı Nedenler (Y)	0,305	0,405	0,693
İş Ekipmanlarından Kaynaklı Nedenler (IE)	0,522	0,843	1,185
İşçilerden Kaynaklı Nedenler (İ)	2,08	2,924	3,659
Toplam	**2,908**	**4,172**	**5,538**
-1. Kuvveti	0,344	0,240	0,181
Artan Kuvvet Sıralaması	0,181	0,240	0,344

Ana kriterlerin bulanık ağırlıkları Denklem 4.6'ya göre bulunmuş ve Tablo 5.4'te gösterilmiştir.

$$w_1 = [(0{,}305 * 0{,}181); (0{,}405 * 0{,}240); (0{,}693 * 0{,}344)] = [0{,}052; 0{,}097; 0{,}238]$$

$$w_1 = [(0{,}522 * 0{,}181); (0{,}843 * 0{,}240); (1{,}185 * 0{,}344)] = [0{,}094; 0{,}202; 0{,}407]$$

$$w_1 = [(2{,}08 * 0{,}181); (2{,}924 * 0{,}240); (3{,}659 * 0{,}344)] = [0{,}375; 0{,}700; 1{,}258\ ]$$

Tablo 5.4 İş kazalarına sebep olan ana kriterlerin göreceli bulanık ağırlıkları

ANA KRİTERLER	wi		
Yönetimden Kaynaklı Nedenler (Y)	0,052	0,097	0,238
İş Ekipmanlarından Kaynaklı Nedenler (IE)	0,094	0,202	0,407
İşçilerden Kaynaklı Nedenler (İ)	0,375	0,700	1,258

Ana Kriterlerin durulaştırılmış değerleri Denklem 4.7'ye göre, normalleştirilmiş değerleri ise Denklem 4.8'e göre bulunmuş ve Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

$$M_1 = \frac{0{,}052 + 0{,}097 + 0{,}238}{3} = 0{,}130 \qquad N_1 = \frac{0{,}130}{1{,}143} = 0{,}114$$

$$M_2 = \frac{0{,}094 + 0{,}202 + 0{,}407}{3} = 0{,}234 \qquad N_2 = \frac{0{,}234}{1{,}143} = 0{,}205$$

$$M_3 = \frac{0{,}375 + 0{,}700 + 1{,}258}{3} = 0{,}778 \qquad N_3 = \frac{0{,}778}{1{,}143} = 0{,}681$$

Tablo 5.5 İş kazalarına sebep olan ana kriterlerin durulaştırılmış ve normalleştirilmiş değerleri

ANA KRİTERLER	Mi	Ni
Yönetimden Kaynaklı Nedenler (Y)	0,130	0,114
İş Ekipmanlarından Kaynaklı Nedenler (IE)	0,234	0,205
İşçilerden Kaynaklı Nedenler (İ)	0,778	**0,681**

Ana kriterlerin ikili karşılaştırılmalarından sonra alt kriterlerin risk dereceleri alanında uzman olan karar vericiler tarafından dilsel değişken olarak doldurulmuş ve Tablo 5.6'da sayısal verilere dönüştürülerek sunulmuştur.

Tablo 5.6 Yönetimden kaynaklı nedenlere bağlı alt kriterlere ilişkin ikili karşılaştırma matrisi

	Y1	**Y2**	**Y3**	**Y4**	**Y5**
Y1	(1,1,1)	(1/5, 1/3, 1/1)	(1/9, 1/7, 1/5)	(1/7, 1/5, 1/3)	(1/7, 1/5, 1/3)
Y2		(1,1,1)	(1/7, 1/6, 1/5)	(1/5, 1/3, 1/1)	(1/5, 1/4, 1/3)
Y3			(1,1,1)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)
Y4				(1,1,1)	(1/7, 1/5, 1/3)
Y5					(1,1,1)

İkili karşılaştırmalardan sonra her bir kriterin bulanık karşılaştırma değerinin geometrik ortalaması Denklem 4.5'e göre bulunmuş ve Tablo 5.7'de gösterilmiştir.

$$r_1 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(1 * \frac{1}{5} * \frac{1}{9} * \frac{1}{7} * \frac{1}{7}\right)^{\frac{1}{5}} ; \left(1 * \frac{1}{3} * \frac{1}{7} * \frac{1}{5} * \frac{1}{5}\right)^{\frac{1}{5}}; \left(1 * 1 * \frac{1}{5} * \frac{1}{3} * \frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{5}}\right]$$

$$r_1 = [\mathbf{0,214;\ 0,286;\ 0,467}]$$

$$r_2 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(1 * 1 * \frac{1}{7} * \frac{1}{5} * \frac{1}{5}\right)^{\frac{1}{5}} ; \left(3 * 1 * \frac{1}{6} * \frac{1}{3} * \frac{1}{4}\right)^{\frac{1}{5}}; \left(5 * 1 * \frac{1}{5} * 1 * \frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{5}}\right]$$

$$r_2 = [\mathbf{0,356;\ 0,530; 0,803}]$$

$$r_3 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[(5 * 5 * 1 * 3 * 1)^{\frac{1}{5}} ; (7 * 6 * 1 * 5 * 3)^{\frac{1}{5}}; (9 * 7 * 1 * 7 * 5)^{\frac{1}{5}}\right]$$

$$r_3 = [\mathbf{2,371;\ 3,630; 4,663}]$$

$$r_4 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(3 * 1 * \frac{1}{7} * 1 * \frac{1}{7}\right)^{\frac{1}{5}} ; \left(5 * 3 * \frac{1}{5} * 1 * \frac{1}{5}\right)^{\frac{1}{5}}; \left(7 * 5 * \frac{1}{3} * 1 * \frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{5}}\right]$$

$$r_4 = [\mathbf{0,572;\ 0,903; 1,312}]$$

$$r_5 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(3 * 3 * \frac{1}{5} * 3 * 1\right)^{\frac{1}{5}} ; \left(5 * 4 * \frac{1}{3} * 5 * 1\right)^{\frac{1}{5}}; (7 * 5 * 1 * 7 * 1)^{\frac{1}{5}}\right]$$

$$r_5 = [\mathbf{1,401;\ 2,016; 3,005}]$$

Tablo 5.7 Yönetimden kaynaklı nedenlere bağlı alt kriterlerin bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamaları

ALT KRİTERLER		**r_i**	
Y1	0,214	0,286	0,467
Y2	0,356	0,530	0,803
Y3	2,371	3,630	4,663
Y4	0,572	0,903	1,312
Y5	1,401	2,016	3,005
Toplam	**4,915**	**7,364**	**10,250**
-1. Kuvveti	0,203	0,136	0,098
Artan Sıralama	0,098	0,136	0,203

Alt Kriterlerin bulanık ağırlık değerleri Denklem 4.6'ya göre bulunmuş ve Tablo 5.8'de gösterilmiştir.

$$w_1 = [(0{,}214 * 0{,}098); (0{,}286 * 0{,}136); (0{,}467 * 0{,}203)] = [0{,}021; 0{,}039; 0{,}095]$$

$$w_2 = [(0{,}356 * 0{,}098); (0{,}530 * 0{,}136); (0{,}803 * 0{,}203)] = [0{,}035; 0{,}072; 0{,}163]$$

$$w_3 = [(2{,}371 * 0{,}098); (3{,}630 * 0{,}136); (4{,}663 * 0{,}203)] = [0{,}231; 0{,}493; 0{,}949]$$

$$w_4 = [(0{,}571 * 0{,}098); (0{,}903 * 0{,}136); (1{,}312 * 0{,}203)] = [0{,}056; 0{,}123; 0{,}267]$$

$$w_5 = [(1{,}401 * 0{,}098); (2{,}016 * 0{,}136); (3{,}005 * 0{,}203)] = [0{,}137; 0{,}274; 0{,}611]$$

Tablo 5.8 Yönetimden kaynaklı nedenlere bağlı alt kriterlerin göreceli bulanık ağırlıkları

ALT KRİTERLER		**w_i**	
Y1	0,021	0,039	0,095
Y2	0,035	0,072	0,163
Y3	0,231	0,493	0,949
Y4	0,056	0,123	0,267
Y5	0,137	0,274	0,611

Alt Kriterlerin durulaştırılmış değerleri Denklem 4.7'ye göre, normalleştirilmiş değerleri ise Denklem 4.8'e göre bulunup Tablo 5.9'da gösterilmiştir.

$$M_1 = \frac{0,021+0,039+0,095}{3} = 0,052 \qquad N_1 = \frac{0,052}{1,188} = 0,043$$

$$M_2 = \frac{0,035+0,072+0,163}{3} = 0,090 \qquad N_2 = \frac{0,090}{1,188} = 0,076$$

$$M_3 = \frac{0,231+0,493+0,949}{3} = 0,558 \qquad N_3 = \frac{0,558}{1,188} = 0,469$$

$$M_4 = \frac{0,056+0,123+0,267}{3} = 0,148 \qquad N_4 = \frac{0,148}{1,188} = 0,125$$

$$M_5 = \frac{0,137+0,274+0,611}{3} = 0,341 \qquad N_5 = \frac{0,341}{1,188} = 0,287$$

Tablo 5.9 Yönetimden kaynaklı nedenlere bağlı alt kriterlerin durulaştırılmış ve normalleştirilmiş değerleri

ALT KRİTERLER	M_i	N_i
Y1	0,052	0,043
Y2	0,090	0,076
Y3	0,558	**0,469**
Y4	0,148	0,125
Y5	0,341	0,287

İş ekipmanlarından kaynaklı risklere ilişkin alt kriterlerin değerlendirmesi Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10 İş ekipmanlarından kaynaklı nedenlere bağlı alt kriterlere ilişkin ikili karşılaştırma matrisi

	İE1	**İE2**	**İE3**	**İE4**
İE1	(1,1,1)	(1, 2, 3)	(1/5, 1/3, 1/1)	(3, 5, 7)
İE2		(1,1,1)	(1/7, 1/5, 1/3)	(1, 3, 5)
İE3			(1,1,1)	(7, 8, 9)
İE4				(1,1,1)

İkili karşılaştırmalardan sonra her bir kriterin bulanık karşılaştırma değerinin geometrik ortalaması Denklem 4.5'e göre bulunmuş ve Tablo 5.11'de gösterilmiştir.

$$r_1 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(1 * 1 * \frac{1}{5} * 3\right)^{\frac{1}{4}} ; \left(1 * 2 * \frac{1}{3} * 5\right)^{\frac{1}{4}}; (1 * 3 * 1 * 7)^{\frac{1}{4}}\right]$$

$$r_1 = [\mathbf{0,880;\ 1,351; 2,141}]$$

$$r_2 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(\frac{1}{3} * 1 * \frac{1}{7} * 1\right)^{\frac{1}{4}} ; \left(\frac{1}{2} * 1 * \frac{1}{5} * 3\right)^{\frac{1}{4}}; \left(1 * 1 * \frac{1}{3} * 5\right)^{\frac{1}{4}}\right]$$

$$r_2 = [\mathbf{0,467;\ 0,740; 1,136}]$$

$$r_3 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[(1 * 3 * 1 * 7)^{\frac{1}{4}} ; (3 * 5 * 1 * 8)^{\frac{1}{4}}; (5 * 7 * 1 * 9)^{\frac{1}{4}}\right]$$

$$r_3 = [\mathbf{2,141;\ 3,310; 4,213}]$$

$$r_4 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(\frac{1}{7} * \frac{1}{5} * \frac{1}{9} * 1\right)^{\frac{1}{4}} ; \left(\frac{1}{5} * \frac{1}{3} * \frac{1}{8} * 1\right)^{\frac{1}{4}}; \left(\frac{1}{3} * 1 * \frac{1}{7} * 1\right)^{\frac{1}{4}}\right]$$

$$r_4 = [\mathbf{0,237;\ 0,302; 0,467}]$$

Tablo 5.11 İş ekipmanlarından kaynaklı nedenlere bağlı alt kriterlerin bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamaları

ALT KRİTERLER	**r_i**		
İE1	0,880	1,351	2,141
İE2	0,467	0,740	1,136
İE3	2,141	3,310	4,213
İE4	0,237	0,302	0,467
Toplam	3,725	5,703	7,957
-1. Kuvveti	0,268	0,175	0,126
Artan Sıralama	0,126	0,175	0,268

Alt Kriterlerin bulanık ağırlık değerleri Denklem 4.6'ya göre bulunmuş ve Tablo 5.12'de gösterilmiştir.

$w_1 = [(0{,}880 * 0{,}126); (1{,}351 * 0{,}175); (2{,}141 * 0{,}268)] = [0{,}111; 0{,}237; 0{,}575]$

$w_2 = [(0{,}467 * 0{,}126); (0{,}740 * 0{,}175); (1{,}136 * 0{,}268)] = [0{,}059; 0{,}130; 0{,}305]$

$w_3 = [(2{,}141 * 0{,}126); (3{,}310 * 0{,}175); (4{,}213 * 0{,}268)] = [0{,}269; 0{,}580; 1{,}131]$

$w_4 = [(0{,}237 * 0{,}126); (0{,}302 * 0{,}175); (0{,}467 * 0{,}268)] = [0{,}030; 0{,}053; 0{,}125]$

Tablo 5.12 İş ekipmanlarından kaynaklı nedenlere bağlı alt kriterlerin göreceli bulanık ağırlıkları

ALT KRİTERLER	**wi**		
İE1	0,111	0,237	0,575
İE2	0,059	0,130	0,305
İE3	0,269	0,580	1,131
İE4	0,030	0,053	0,125

Alt Kriterlerin durulaştırılmış değerleri Denklem 4.7'ye göre, normalleştirilmiş değerleri ise Denklem 4.8'e göre bulunup Tablo 5.13'de gösterilmiştir.

$M_1 = \frac{0{,}111+0{,}237+0{,}575}{3} = 0{,}307$ $\quad N_1 = \frac{0{,}307}{1{,}201} = 0{,}256$

$M_2 = \frac{0{,}059+0{,}130+0{,}305}{3} = 0{,}164$ $\quad N_2 = \frac{0{,}164}{1{,}201} = 0{,}137$

$M_3 = \frac{0{,}269+0{,}580+1{,}131}{3} = 0{,}660$ $\quad N_3 = \frac{0{,}660}{1{,}201} = 0{,}549$

$M_4 = \frac{0{,}030+0{,}053+0{,}125}{3} = 0{,}069$ $\quad N_4 = \frac{0{,}069}{1{,}201} = 0{,}058$

Tablo 5.13 İş ekipmanlarından kaynaklı alt kriterlerin durulaştırılmış ve normalleştirilmiş değerleri

ALT KRİTERLER	**Mi**	**Ni**
İE1	0,307	0,256
İE2	0,164	0,137
İE3	0,660	**0,549**
İE4	0,069	0,058

İşçilerden kaynaklı nedenlere bağlı risklere ilişkin alt kriterlerin hesaplanması Tablo 5.14'de görüldüğü şekilde uzman karar vericiler tarafından gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.14 İşçilerden kaynaklı nedenlere bağlı alt kriterlere ilişkin ikili karşılaştırma matrisi

	İ1	**İ2**	**İ3**	**İ4**	**İ5**
İ1	**(1,1,1)**	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(1/5, 1/3, 1/1)
İ2		**(1,1,1)**	(1/5, 1/3, 1)	(1, 3, 5)	(1/7, 1/5, 1/3)
İ3			**(1,1,1)**	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1/1)
İ4				**(1,1,1)**	(1/9, 1/9, 1/7)
İ5					**(1,1,1)**

İkili karşılaştırmalardan sonra her bir kriterin bulanık karşılaştırma değerinin geometrik ortalaması Denklem 4.5'e göre bulunmuş ve Tablo 5.15'de gösterilmiştir.

$$r_1 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(1*3*1*5*\frac{1}{5}\right)^{\frac{1}{5}} ; \left(1*5*3*7*\frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{5}}; (1*7*5*9*1)^{\frac{1}{5}}\right]$$

$$r_1 = [\mathbf{1,246;\ 2,036; 3,160}]$$

$$r_2 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(\frac{1}{7}*1*\frac{1}{5}*1*\frac{1}{7}\right)^{\frac{1}{5}} ; \left(\frac{1}{5}*1*\frac{1}{3}*3*\frac{1}{5}\right)^{\frac{1}{5}}; \left(\frac{1}{3}*1*1*5*\frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{5}}\right]$$

$$r_2 = [\mathbf{0,333;\ 0,525; 0,889}]$$

$$r_3 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(\frac{1}{5}*1*1*1*\frac{1}{5}\right)^{\frac{1}{5}} ; \left(\frac{1}{3}*3*1*3*\frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{5}}; (1*5*1*5*1)^{\frac{1}{5}}\right]$$

$$r_3 = [\mathbf{0,525;\ 1,000; 1,904}]$$

$$r_4 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[\left(\frac{1}{9}*\frac{1}{5}*\frac{1}{5}*1*\frac{1}{9}\right)^{\frac{1}{5}} ; \left(\frac{1}{7}*\frac{1}{3}*\frac{1}{3}*1*\frac{1}{9}\right)^{\frac{1}{5}}; \left(\frac{1}{5}*1*1*1*\frac{1}{7}\right)^{\frac{1}{5}}\right]$$

$$r_4 = [\mathbf{0,218;\ 0,281; 0,491}]$$

$$r_5 = \left(\prod_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} = \left[(1*3*1*7*1)^{\frac{1}{5}} ; (3*5*3*9*1)^{\frac{1}{5}}; (5*7*5*9*1)^{\frac{1}{5}}\right]$$

$r_5 = [\mathbf{1,838;\ 3,323; 4,360}]$

Tablo 5.15 İşçilerden kaynaklı nedenlere bağlı alt kriterlerin bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamaları

ALT KRİTERLER		**ri**	
İ1	1,246	2,036	3,160
İ2	0,333	0,525	0,889
İ3	0,525	1,000	1,904
İ4	0,218	0,281	0,491
İ5	1,838	3,323	4,360
Toplam	**4,160**	**7,166**	**10,803**
-1. Kuvveti	0,240	0,140	0,093
Artan Sıralama	0,093	0,140	0,240

Alt Kriterlerin bulanık ağırlık değerleri Denklem 4.6'ya göre bulunmuş ve Tablo 5.16'da gösterilmiştir.

$w_1 = [(1{,}246 * 0{,}093); (2{,}036 * 0{,}140); (3{,}160 * 0{,}240)] = [0{,}115; 0{,}284; 0{,}760]$

$w_2 = [(0{,}333 * 0{,}093); (0{,}525 * 0{,}140); (0{,}889 * 0{,}240)] = [0{,}031; 0{,}073; 0{,}214]$

$w_3 = [(0{,}525 * 0{,}093); (1{,}001 * 0{,}140); (1{,}904 * 0{,}240)] = [0{,}049; 0{,}140; 0{,}458]$

$w_4 = [(0{,}218 * 0{,}093); (0{,}281 * 0{,}140); (0{,}491 * 0{,}240)] = [0{,}020; 0{,}039; 0{,}118]$

$w_5 = [(1{,}838 * 0{,}093); (3{,}323 * 0{,}140); (4{,}360 * 0{,}240)] = [0{,}170; 0{,}464; 1{,}048]$

Tablo 5.16 İşçilerden kaynaklı nedenlere bağlı alt kriterlerin göreceli bulanık ağırlıkları

ALT KRİTERLER		**wi**	
İ1	0,115	0,284	0,760
İ2	0,031	0,073	0,214
İ3	0,049	0,140	0,458
İ4	0,020	0,039	0,118
İ5	0,170	0,464	1,048

Alt Kriterlerin durulaştırılmış değerleri Denklem 4.7'ye göre, normalleştirilmiş değerleri ise Denklem 4.8'e göre bulunup Tablo 5.17'de gösterilmiştir.

$$M_1 = \frac{0,115+0,284+0,760}{3} = 0,386 \qquad N_1 = \frac{0,386}{1,327} = 0,291$$

$$M_2 = \frac{0,031+0,073+0,214}{3} = 0,106 \qquad N_2 = \frac{0,106}{1,327} = 0,080$$

$$M_3 = \frac{0,049+0,140+0,458}{3} = 0,215 \qquad N_3 = \frac{0,215}{1,327} = 0,162$$

$$M_4 = \frac{0,020+0,039+0,118}{3} = 0,059 \qquad N_4 = \frac{0,059}{1,327} = 0,045$$

$$M_5 = \frac{0,170+0,464+1,048}{3} = 0,561 \qquad N_5 = \frac{0,561}{1,327} = 0,422$$

Tablo 5.17 İşçilerden kaynaklı nedenlere bağlı alt kriterlerin durulaştırılmış ve normalleştirilmiş değerleri

ALT KRİTERLER	M_i	N_i
İ1	0,386	0,291
İ2	0,106	0,080
İ3	0,215	0,162
İ4	0,059	0,045
İ5	0,561	**0,422**

Alt kriterlerin durulaştırılmış ve normalleştirilmiş değerleri kullanılarak global ölçekte risk düzeyi Denklem 5.1'e göre hesaplanmış ve risk sıralaması yapılarak Tablo 5.18'de gösterilmiştir. Daha sonra her bir alternatif grup, riskli alt kriterlere göre ikili karşılaştırılarak hesaplamalara devam edilmiştir.

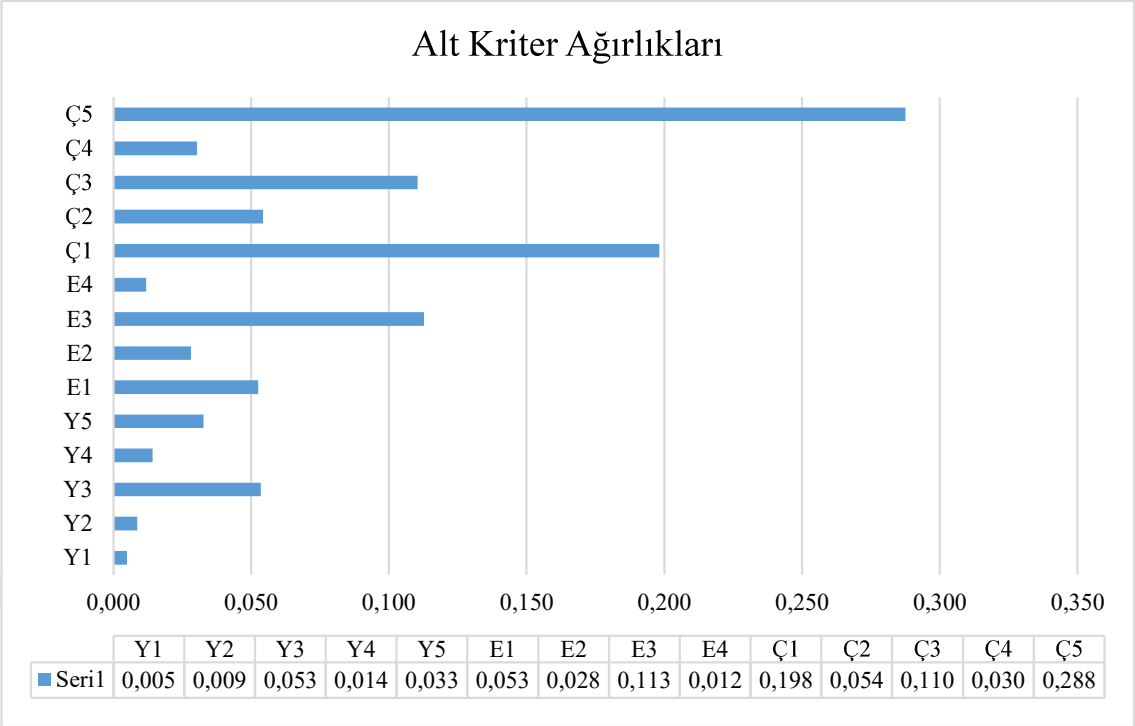
Bulanık sayılarda çarpma işlemi [78]:

$$A(.)B = (a_1.b_1, a_2.b_2, a_3.b_3, a_4.b_4,) \tag{5.1}$$

Tablo 5.18 Global ağırlıklara ait sonuc tablosu

Ana Kriterler	**Ağırlıklar**	**Alt Kriterler**	**Yerel Ağırlıklar**	**Global Ağırlıklar**	**Sıralama**
Y	0,114	Y1	0,043	**0,005**	14
		Y2	0,076	**0,009**	13
		Y3	0,469	**0,053**	6
		Y4	0,125	**0,014**	11
		Y5	0,287	**0,033**	8
İE	0,205	İE1	0,256	**0,053**	7
		İE2	0,137	**0,028**	10
		İE3	0,549	**0,113**	3
		İE4	0,058	**0,012**	12
İ	0,681	İ1	0,291	**0,198**	2
		İ2	0,080	**0,054**	5
		İ3	0,162	**0,110**	4
		İ4	0,045	**0,030**	9
		İ5	0,422	**0,288**	1

Ana kriter ağırlıklarının alt kriterlerin sahip olduğu yerel ağırlıklarla çarpılması sonucu oluşan alt kriterlere ait global ağırlıkların sıralaması Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Global ağırlıklara göre alt kriterlerin sıralaması

5.2 Bulanık TOPSİS Uygulaması

Bulanık TOPSİS yaklaşımında yer alan kriter ağırlıkları Bulanık AHP yaklaşımı kullanılarak bir önceki adımda belirlenmiştir. İkinci adımda alanında uzman kişiler tarafından Tablo 4.1'de yer alan dilsel değerlendirme verileri kullanılarak her bir alternatif için, tespit edilmiş olan kriterlere göre dilsel olarak derecelendirilerek Tablo 5.19'de ve elde edilen görüşler ise sayısal verilere dönüştürülerek Tablo 5.20'de gösterilmiştir. Alanında uzman 3 karar vericinin dilsel olarak ifade ettikleri değişkenlerin sayısal karşılıklarının ortalamaları alınarak Birleştirilmiş Karar Matrisi olarak Tablo 5.21'de sunulmuştur.

Tablo 5.19 Belirlenen kriterlere göre karar vericilerin dilsel ifadeleri

KARAR VERİCİLER	ALTERNATİFLER	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	İE1	İE2	İE3	İE4	İ1	İ2	İ3	İ4	İ5
KV1	A1	P	G	P	VG	G	F	P	G	G	VG	G	VG	G	G
	A2	G	P	G	F	VG	G	MG	VG	MG	P	MG	P	P	VG
	A3	VG	MP	MG	G	P	VG	F	MP	F	G	F	G	MP	MP
KV2	A1	VP	MG	VP	G	VP	P	VP	MP	P	G	P	G	MG	MP
	A2	F	F	VG	MP	G	G	VG	F	VG	VP	VG	VP	F	F
	A3	G	P	MG	VG	P	F	MP	MG	MP	MG	MP	MG	MP	MG
KV3	A1	VP	VG	P	F	MP	VP	P	F	F	MG	F	MG	VG	F
	A2	F	MG	MG	P	G	VG	G	MG	MG	F	MG	F	MG	MG
	A3	VG	P	F	MG	VP	G	VG	MP	MP	G	MP	G	MP	MP

Tablo 5.20 Kriterlere göre ifade edilen dilsel değişkenlerin bulanık değerleri

KV	A	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	İE1	İE2	İE3	İE4	İ1	İ2	İ3	İ4	İ5
KV1	A1	(1, 2, 3)	(7, 8, 9)	(1, 2, 3)	(8, 9, 10)	(7, 8, 9)	(4, 5, 6)	(1, 2, 3)	(7, 8, 9)	(7, 8, 9)	(8, 9, 10)	(7, 8, 9)	(8, 9, 10)	(7, 8, 9)	(7, 8, 9)
	A2	(7, 8, 9)	(1, 2, 3)	(7, 8, 9)	(4, 5, 6)	(8, 9, 10)	(7, 8, 9)	(5, 6.5, 8)	(8, 9, 10)	(5, 6.5, 8)	(1, 2, 3)	(5, 6.5, 8)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)	(8, 9, 10)
	A3	(8, 9, 10)	(2, 3.5, 5)	(5, 6.5, 8)	(7, 8, 9)	(1, 2, 3)	(8, 9, 10)	(4, 5, 6)	(2, 3.5, 5)	(4, 5, 6)	(7, 8, 9)	(4, 5, 6)	(7, 8, 9)	(2, 3.5, 5)	(2, 3.5, 5)
KV2	A1	(0, 1, 2)	(5, 6.5, 8)	(0, 1, 2)	(7, 8, 9)	(0, 1, 2)	(1, 2, 3)	(0, 1, 2)	(2, 3.5, 5)	(1, 2, 3)	(7, 8, 9)	(1, 2, 3)	(7, 8, 9)	(5, 6.5, 8)	(2, 3.5, 5)
	A2	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(8, 9, 10)	(2, 3.5, 5)	(7, 8, 9)	(7, 8, 9)	(8, 9, 10)	(4, 5, 6)	(8, 9, 10)	(0, 1, 2)	(8, 9, 10)	(0, 1, 2)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)
	A3	(7, 8, 9)	(1, 2, 3)	(5, 6.5, 8)	(8, 9, 10)	(1, 2, 3)	(4, 5, 6)	(2, 3.5, 5)	(5, 6.5, 8)	(2, 3.5, 5)	(5, 6.5, 8)	(2, 3.5, 5)	(5, 6.5, 8)	(2, 3.5, 5)	(5, 6.5, 8)
KV3	A1	(0, 1, 2)	(8, 9, 10)	(1, 2, 3)	(4, 5, 6)	(2, 3.5, 5)	(0, 1, 2)	(1, 2, 3)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6)	(5, 6.5, 8)	(4, 5, 6)	(5, 6.5, 8)	(8, 9, 10)	(4, 5, 6)
	A2	(4, 5, 6)	(5, 6.5, 8)	(5, 6.5, 8)	(1, 2, 3)	(7, 8, 9)	(8, 9, 10)	(7, 8, 9)	(5, 6.5, 8)	(5, 6.5, 8)	(4, 5, 6)	(5, 6.5, 8)	(4, 5, 6)	(5, 6.5, 8)	(5, 6.5, 8)
	A3	(8, 9, 10)	(1, 2, 3)	(4, 5, 6)	(5, 6.5, 8)	(0, 1, 2)	(7, 8, 9)	(8, 9, 10)	(2, 3.5, 5)	(2, 3.5, 5)	(7, 8, 9)	(2, 3.5, 5)	(7, 8, 9)	(2, 3.5, 5)	(2, 3.5, 5)

Tablo 5.21 Karar matrisi (xij)

KRİTERLER	A1	A2	A3
Y1	(0,333; 1,333; 2,333)	(5,000; 6,000; 7,000)	(7,667; 8,667; 9,667)
Y2	(6,667; 7,833; 9,000)	(3,333; 4,500; 5,667)	(1,333; 2,500; 3,667)
Y3	(0,667; 1,667; 2,667)	(6,667; 7,833; 9,000)	(4,667; 6,000; 7,333)
Y4	(6,333; 7,333; 8,333)	(2,333; 3,500; 4,667)	(6,667; 7,833; 9,000)
Y5	(3,000; 4,167; 5,333)	(7,333; 8,333; 9,333)	(0,667; 1,667; 2,667)
İE1	(1,667; 2,667; 3,667)	(7,333; 8,333; 9,333)	(6,333; 7,333; 8,333)
İE2	(0,667; 1,667; 2,667)	(6,667; 7,833; 9,000)	(4,667; 5,833; 7,000)
İE3	(4,333; 5,500; 6,667)	(5,667; 6,833; 8,000)	(3,000; 4,500; 6,000)
İE4	(4,000; 5,000; 6,000)	(6,000; 7,333; 8,667)	(2,667; 4,000; 5,333)
İ1	(6,667; 7,833; 9,000)	(1,667; 2,667; 3,667)	(6,333; 7,500; 8,667)
İ2	(4,000; 5,000; 6,000)	(6,000; 7,333; 8,667)	(2,667; 4,000; 5,333)
İ3	(6,667; 7,833; 9,000)	(1,667; 2,667; 3,667)	(6,333; 7,500; 8,667)
İ4	(6,667; 7,833; 9,000)	(3,333; 4,500; 5,667)	(2,000; 3,500; 5,000)
İ5	(4,333; 5,500; 6,667)	(5,667; 6,833; 8,000)	(3,000; 4,500; 6,000)

Denklem 4.12 kullanılarak normalleştirilmiş karar matrisi 1. Alternatifin 1 kriterine ilişkin olarak aşağıda gibi hesaplanır. Aynı hesaplama diğer alternatiflere bağlı kriterler içinde tekrarlanarak normalleştirilmiş bulanık matris değerleri bulunur.

$$l_{r\tilde{1}1} = \frac{(0{,}333)}{\sqrt{(2{,}333)^2 + (7)^2 + (9{,}667)^2}} = \mathbf{0,027}$$

$$m_{r\tilde{1}1} = \frac{(1{,}333)}{\sqrt{(2{,}333)^2 + (7)^2 + (9{,}667)^2}} = \mathbf{0,109}$$

$$u_{r\tilde{1}1} = \frac{(2{,}333)}{\sqrt{(2{,}333)^2 + (7)^2 + (9{,}667)^2}} = \mathbf{0,191}$$

Tüm alternatifler için yapılan hesaplamaların sonucunda bulunan normalleştirilmiş bulanık matris değerleri Tablo 5.22'de sunulmuştur.

Tablo 5.22 Normalleştirilmiş bulanık matris

	A1			**A2**			**A3**		
	lr_1	**mr_1**	**ur_1**	**lr_2**	**mr_2**	**ur_2**	**lr_3**	**mr_3**	**ur_3**
Y1	**0,027**	**0,110**	**0,192**	0,411	0,493	0,576	0,630	0,713	0,795
Y2	0,593	0,696	0,800	0,296	0,400	0,504	0,119	0,222	0,326
Y3	0,056	0,140	0,224	0,560	0,658	0,756	0,392	0,504	0,616
Y4	0,483	0,559	0,635	0,178	0,267	0,356	0,508	0,597	0,686
Y5	0,271	0,376	0,482	0,662	0,752	0,843	0,060	0,150	0,241
İE1	0,128	0,205	0,281	0,562	0,639	0,716	0,486	0,562	0,639
İE2	0,057	0,142	0,228	0,569	0,669	0,769	0,399	0,498	0,598
İE3	0,361	0,458	0,555	0,471	0,569	0,666	0,250	0,374	0,499
İE4	0,339	0,423	0,508	0,508	0,621	0,734	0,226	0,339	0,451
İ1	0,512	0,602	0,691	0,128	0,205	0,282	0,486	0,576	0,666

İ2	0,339	0,423	0,508	0,508	0,621	0,734	0,226	0,339	0,451
İ3	0,512	0,602	0,691	0,128	0,205	0,282	0,486	0,576	0,666
İ4	0,564	0,663	0,762	0,282	0,381	0,480	0,169	0,296	0,423
İ5	0,333	0,422	0,512	0,435	0,525	0,614	0,230	0,346	0,461

Değerler normalleştirildikten sonra sektörlere bağlı tanımlanmış olan riskler için Tablo 5.23 göreceli bulanık ağırlıkları tablosundaki değerler kullanılarak Denklem 4.15 ile ağırlıklı normalize edilmiş matris oluşturulur:

$$(l_{\widetilde{v11}},\ m_{\widetilde{v11}}, u_{\widetilde{v11}}\ ) = (l_{\widetilde{r11}} * l_{\widetilde{w11}},\ m_{\widetilde{r11}} * m_{\widetilde{w11}}, u_{\widetilde{r11}} * u_{\widetilde{w11}}\ )$$

$$(l_{\widetilde{v11}},\ m_{\widetilde{v11}}, u_{\widetilde{v11}}\ ) = (0{,}027 * 0{,}0012; 0{,}110 * 0{,}0038; 0{,}192 * 0{,}0227) = (0{,}00003; 0{,}00041; 0{,}00435)$$

Tablo 5.23 Ağırlıklı normalleştirilmiş bulanık karar matrisi

	A1			**A2**			**A3**		
	w			w			w		
Y1	0,000	0,000	0,004	0,000	0,001	0,013	0,000	0,002	0,018
Y2	0,001	0,004	0,031	0,000	0,002	0,019	0,000	0,001	0,012
Y3	0,000	0,006	0,050	0,007	0,031	0,170	0,005	0,024	0,139
Y4	0,001	0,006	0,040	0,000	0,003	0,022	0,001	0,007	0,043
Y5	0,002	0,010	0,070	0,005	0,020	0,122	0,000	0,004	0,035
İE1	0,001	0,009	0,065	0,005	0,030	0,167	0,005	0,027	0,150
İE2	0,000	0,003	0,028	0,003	0,017	0,095	0,002	0,013	0,074
İE3	0,009	0,053	0,255	0,012	0,066	0,307	0,006	0,044	0,230
İE4	0,000	0,004	0,026	0,001	0,006	0,037	0,000	0,003	0,023
İ1	0,022	0,119	0,660	0,005	0,040	0,269	0,021	0,114	0,636
İ2	0,003	0,021	0,136	0,006	0,032	0,197	0,002	0,017	0,121
İ3	0,009	0,059	0,398	0,002	0,020	0,162	0,009	0,056	0,383
İ4	0,006	0,034	0,205	0,003	0,019	0,129	0,002	0,015	0,113
İ5	0,006	0,041	0,294	0,008	0,051	0,353	0,004	0,033	0,265

Denklem 4.18 kullanılarak pozitif ideal çözümü (FPIS, A^{+}), ve Denklem 4.19 kullanılarak bulanık negatif ideal çözümü (FNIS, A^{-}) bulunmuş ve Tablo 5.24 ve Tablo 5.25'de sunulmuştur.

$$A_1^{+} = \frac{\sqrt{(0{,}00003 - 0{,}00072)^2 + (0{,}00041 - 0{,}0026)^2 + (0{,}0043 - 0{,}018)^2}}{3} = 0{,}0046$$

$$A_1^- = \frac{\sqrt{(0{,}00003-0{,}00003)^2+(0{,}00041-0{,}00041)^2+(0{,}0043-0{,}0043)^2}}{3} = 0$$

Tablo 5.24 Pozitif ideal çözüm değerleri

$A^+ =$

0,004	0	0,040	0,001	0,017	0,034	0,022	0,017	0,004	0	0,020	0	0	0,020
0,001	0,004	0	0,007	0	0,056	0	0	0	0,133	0	0,079	0,025	0
0	0,006	0,010	0	0,029	0,051	0,007	0,026	0,005	0,008	0,025	0,004	0,031	0,030

Tablo 5.25 Negatif ideal çözüm değerleri

$A^- =$

0	0,006	0	0,006	0,011	0	0	0,009	0,001	0,133	0,005	0,079	0,031	0,010
0,002	0,002	0,040	0	0,029	0,034	0,022	0,026	0,004	0	0,025	0	0,052	0,030
0,004	0	0,030	0,007	0	0,028	0,015	0	0	0,124	0	0,074	0	0

Her bir alternatifin pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözümden uzaklığı Denklem 4.18 ve Denklem 4.19'a göre hesaplanmıştır. Her bir alternatif için yakınlık indeksi Denklem 4.20'ye göre hesaplanmış ve Tablo 5.24'de paylaşılmıştır.

$D_1^+ = 0{,}004+0+0{,}04+0{,}001+0{,}017+0{,}034+0{,}022+0{,}017+0{,}004+0+0{,}02+0+0+0{,}02 = 0{,}184$

$D_1^- = 0+0{,}006+0+0{,}006+0{,}011+0+0+0{,}009+0{,}001+0{,}133+0{,}005+0{,}079+0{,}031+0{,}01 = 0{,}293$

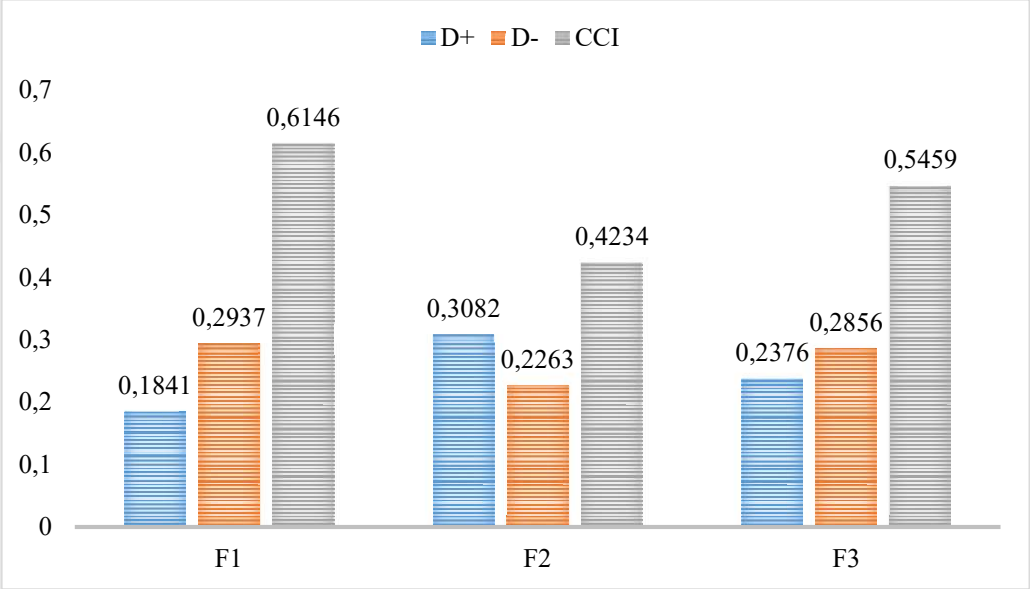
$$CC_1 = \frac{0{,}293}{0{,}293+0{,}184} = 0{,}614$$

$$CC_2 = \frac{0{,}226}{0{,}226+0{,}308} = 0{,}423$$

$$CC_3 = \frac{0{,}285}{0{,}285+0{,}237} = 0{,}545$$

Tablo 5.24 Her bir alternatifin pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklık değerleri yakınlık indeksi

	A1	**A2**	**A3**
D^+	0,1841	0,3082	0,2376
D^-	0,2937	0,2263	0,2856
CCI	0,6146	0,4234	0,5459



Şekil 5.2 Alternatiflere göre D^+ ve D^- ve CCI değerleri ve karşılaştırması

Şekil 5.2'de de görüldüğü üzere iş kazası riskleri bağlamında dikkat edilmesi gereken en önemli sektörün 0.6146 ile Alternatif 1 olarak tanımlanan İnşaat sektörü olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla makine / imalat sektörü ve madencilik sektörü takip etmektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE TARTIŞMA

Sektörlerde meydana gelen iş kazaları incelendiği zaman meydana geliş türleri ve nedenleri arasında farklılıklar olduğu bilinmektedir. Bu çalışma ile birlikte asıl amaçlanan hedeflerin başında söz konusu sektörlerde ortaya çıkan iş kazası risklerinin işçilerin ölümü ya da yaralanması ile sonuçlanacak boyutta olup olmadığı, eğer bu boyuttaysa hangi sektörde ne kadar büyük bir etki gösterdiğinin tespit edilmesiydi. Yine özellikle inşaat sektörü başta olmak üzere madencilik ve metal / imalat sektörlerinde insan gücüne dayalı ağırlıklı üretimin gerçekleşmesi ve çalışanların eğitim düzeylerinin diğer birçok sektöre göre yeterli düzeyde olmaması da bu sektörlerdeki işçilerden kaynaklı olası iş kazası risklerinin ele alınmasına sebep olmuştur.

Yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda öncelikle uzman karar vericilerden belirlenmiş olan iş kazası risk faktörlerinden 3 ana kriteri kendi içerisinde ve yine 14 alt kriteri de kendi içerisinde değerlendirmeleri istenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda ana kriterlere bakıldığı zaman en büyük etkiye sahip kriterin işçilerden kaynaklı nedenler olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla iş ekipmanlarından kaynaklı nedenler ve yönetimden kaynaklı nedenler takip etmektedir.

Uzman karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmeler neticesinde alt kriterler arasında ise en büyük öneme sahip alt kriterin her bir ana kriter altında ayrı ayrı olmak üzere yönetimden kaynaklı nedenlerde çalışanlar üzerinde etkin denetim yapılmaması, iş ekipmanlarından kaynaklı nedenlerde ekipman bakım onarımının yetersiz olması ve işçilerden kaynaklı nedenlerde ise yetersiz mesleki eğitim bilgisinin önde geldiği tespit edilmiştir.

Daha sonra ana kriterler ile alt kriter ağırlıklarının çarpımı sonucunda elde edilen global ağırlıklara bakıldığı zaman ise yetersiz mesleki eğitim bilgisinin en büyük problem olarak görüldüğü bunu sırasıyla yetersiz tecrübe ve ekipman bakım – onarımının yetersizliğinin takip ettiği görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında üç farklı sektör (inşaat, makine/imalat, maden) belirlenen kriterler doğrultusunda karşılaştırılmıştır. Bulanık AHP yöntemi neticesinde elde edilen alt kriter ağırlıkları kullanılarak söz konusu firmalar Bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Yakınlık katsayısının büyük olması, alternatifin karar vericiler tarafından tercih edilmesinin bir göstergesi olarak tanımlanır. Ancak bizim problemimizde tam tersi bir durum geçerlidir. Kriterlerimiz olumsuz ifadeler içermesi sebebiyle yakınlık katsayısı küçük olması alternatifi öne çıkarmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği açısından karşılaştırdığımızda firmaların risk düzeyleri bağlamında sıralama İnşaat> Makine/İmalat> Madencilik olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen veriler doğrultusunda iş kazalarına sebep olan risklerin sektörler arasında farklılık gösterdiği ve her riskin her sektörde aynı etkiyi göstermediği tespit edilmiştir. Bu nedenle alınacak önlemler arasında ve risklerin önceliklendirilmesi konusunda sektörel bazda değerlendirme yapmanın çok daha önemli olacağı ve her sektörün kendi dinamikleri içerisinde sahip olduğu riskleri tanımlayarak ona göre düzenleyici ve önleyici tedbirlerini alması gerektiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak en önemli yatırımın insana olan yatırım olduğu ve temelden başlayarak işçilerden gerçekleştirilecek bir mantalite değişikliğinin beraberinde kurumsal yapıda değişikliği de zorlayıcı olarak getireceği ve bütüncül bir koruma politikasının ortaya çıkarılabileceği değerlendirilmektedir. SGK verilerinde yer alan iş kazası istatistiklerinde işçilerden kaynaklı iş kazası nedenlerinin varlığı ve boyutu göz önüne alındığı zaman söz konusu sonuçların da ne kadar tutarlı olduğu bir kez daha teyit edilmiştir.

Bundan sonraki aşamada yapılacak olan çalışmalarda söz konusu sektörlerin sayısı arttırılarak ve belirlenen risk faktörleri değiştirilerek bir değerlendirme yapılması düşünülebilir. Ayrıca seçilen BÇKKV yöntemlerinin yanında farklı karar verme yöntemleri ile de değerlendirme yapılması ve sonuçların duyarlılık analizleri ile doğrulanması da olası çalışma konuları olarak düşünülmektedir. COVID sürecinden kaynaklı kısıtlar ve çalışmanın süre sınırından dolayı saha uygulamalarında istenen düzeyde yer alınamamış ve bunun yanında da ciddi ölümlü iş kazasının olduğu karayolu ve boru hattı taşımacılığı değerlendirmeye dahil edilememiştir. Bundan sonraki süreçte bu sektörler ile beraber tekstil sektörü de dahil edilerek çalışmanın

genişletilmesi ve saha verilerine dayalı olarak değerlendirmenin yapılması da muhtemel çalışma alanları olarak önerilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Ö. F. Gül, N. O. Özçoban, and F. Aydoğan, "Türkiye'deki İş Kazaları İle İlgili Verilerin Karşılaştırması, Varolan Sorunlar ve Çözüm Önerileri," *türkiye Sağlık Okuryazarlığı Derg.*, vol. 2, no. 1, pp. 51–63, 2021, [Online]. Available: http://www.saglikokuryazarligidergisi.com/index.php/soyd/.

[2] K. C. Akyüz, İ. Yıldırım, İ. Akyüz, and N. Ersen, "Orman Ürünleri Sanayi Sektöründe İş Kazası ve Ölümlü İş Kazalarının Türkiye ve Avrupa Birliği Ülkeleri Düzeyinde İncelenmesi," *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Derg.*, vol. 20, no. 2, pp. 193–207, 2019, doi: 10.17474/artvinofd.509138.

[3] P. D. E. Akı, "6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve Çalışma Yaşamına Etkileri," *Dokuz Eylül Üniversitesi Hukuk Fakültesi Derg.*, vol. 15, pp. 3–24, 2014.

[4] Ö. F. Gül, N. O. Özçoban, and F. Aydoğan, "Türkiye'deki İş Kazaları İle İlgili Verilerin Karşılaştırması, Varolan Sorunlar ve Çözüm Önerileri," *türkiye Sağlık Okuryazarlığı Derg.*, vol. 2, no. 1, pp. 51–63, 2021.

[5] V. V. Khanzode, J. Maiti, and P. K. Ray, "Occupational injury and accident research: A comprehensive review," *Saf. Sci.*, vol. 50, no. 5, pp. 1355–1367, 2012, doi: 10.1016/j.ssci.2011.12.015.

[6] B. KÜÇÜKALİ, "Öğretim Üyelerinde Tükenmişlik Sendromuna Sebep Olan Etmenlere İlişkin Bulanık Ahs Ve Bulanık Ahs-Bulanık Topsıs Hibrit Model Uygulaması," Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, 2018.

[7] U. Çetinkaya, "Ege Bölgesindeki İnşaat İş Kazalarının ve Maliyetlerinin İncelenmesi," 2012.

[8] SGK, "İstatistik Yıllıkları," 2020. .

[9] F. Salguero-Caparros, M. Suarez-Cebador, and J. C. Rubio-Romero, "Analysis of investigation reports on occupational accidents," *Saf. Sci.*, vol. 72, pp. 329–336, 2015, doi: 10.1016/j.ssci.2014.10.005.

[10] E. N. Güllüoğlu and E. Taçgın, "Türkiye Tekstil Sektöründe İstihdam ve İş Kazalarının Analizi," *Tekst. ve Mühendis*, vol. 25, no. 112, pp. 344–354, 2018, doi: 10.7216/1300759920182511208.

[11] N. G. Mutlu and S. Altuntas, "Assessment of occupational risks In Turkish manufacturing systems with data-driven models," *J. Manuf. Syst.*, vol. 53, no. September, pp. 169–182, 2019, doi: 10.1016/j.jmsy.2019.09.008.

[12] G. F. Can and Ş. Kargı, "Sektörlerin İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Risk Seviyelerinin Critic-Edas Entegrasyonu İle Değerlendirilmesi," *Endüstri Mühendisliği*, vol. 30, no. 1, pp. 15–31, 2019, [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi/issue/48367/592622.

[13] M. Şen, S. Dursun, and G. Murat, "Türkiye'de İş Kazaları: Avrupa Birliği Ülkeleri Bağlamında Bir Değerlendirme," *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Derg.*, vol. 9, no. 16, 2018, doi: 10.26466/opus.463211.

[14] R. Dabbagh and S. Yousefi, "A hybrid decision-making approach based on FCM and

MOORA for occupational health and safety risk analysis," *J. Safety Res.*, vol. 71, pp. 111–123, 2019, doi: 10.1016/j.jsr.2019.09.021.

[15] H. Ceylan, "Türkiye ' de İnşaat Sektöründe Meydana Gelen İş," *Int. J. Eng. Res. Dev.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2014, [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/353743.

[16] B. Barlas and F. B. Izci, "Individual and workplace factors related to fatal occupational accidents among shipyard workers in Turkey," *Saf. Sci.*, vol. 101, no. February 2016, pp. 173–179, 2018, doi: 10.1016/j.ssci.2017.09.012.

[17] S. Unsar and N. Sut, "General assessment of the occupational accidents that occurred in Turkey between the years 2000 and 2005," *Saf. Sci.*, vol. 47, no. 5, pp. 614–619, 2009, doi: 10.1016/j.ssci.2008.08.001.

[18] P. Antão, T. Almeida, C. Jacinto, and C. Guedes Soares, "Causes of occupational accidents in the fishing sector in Portugal," *Saf. Sci.*, vol. 46, no. 6, pp. 885–899, 2008, doi: 10.1016/j.ssci.2007.11.007.

[19] M. Segarra Cañamares, B. M. Villena Escribano, M. N. González García, A. Romero Barriuso, and A. Rodríguez Sáiz, "Occupational risk-prevention diagnosis: A study of construction SMEs in Spain," *Saf. Sci.*, vol. 92, pp. 104–115, 2017, doi: 10.1016/j.ssci.2016.09.016.

[20] B. Altunkaynak, "A statistical study of occupational accidents in the manufacturing industry in Turkey," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 66, pp. 101–109, 2018, doi: 10.1016/j.ergon.2018.02.012.

[21] E. Abukhashabah, A. Summan, and M. Balkhyour, "Occupational accidents and injuries in construction industry in Jeddah city," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 27, no. 8, pp. 1993–1998, 2020, doi: 10.1016/j.sjbs.2020.06.033.

[22] G. K. Koulinas, P. K. Marhavilas, O. E. Demesouka, A. P. Vavatsikos, and D. E. Koulouriotis, "Risk analysis and assessment in the worksites using the fuzzy-analytical hierarchy process and a quantitative technique – A case study for the Greek construction sector," *Saf. Sci.*, vol. 112, no. June 2018, pp. 96–104, 2019, doi: 10.1016/j.ssci.2018.10.017.

[23] A. Karasan, E. Ilbahar, S. Cebi, and C. Kahraman, "A new risk assessment approach: Safety and Critical Effect Analysis (SCEA) and its extension with Pythagorean fuzzy sets," *Saf. Sci.*, vol. 108, no. May, pp. 173–187, 2018, doi: 10.1016/j.ssci.2018.04.031.

[24] K. C. Akyüz, İ. Yildirim, T. Tugay, and İ. Akyüz, "İmalat Sanayi İçerisinde Yer Alan Sektörlerin İş Kazası İstatistiklerinin Küme v e Ayırma Analizleri İle Değerlendirilmesi A Cluster and Discriminant Analysis of Sub-Sectors of Manufacturing Based on The Occupational Accident Statistics Giriş Materyal ve ," vol. 12, no. 1, pp. 18–29, 2016.

[25] S. Inal and S. Kaya, "Statistical Investigation of Mine Accidents Occurred in Turkey (In Turkish) Türkiye ' de Meydana Gelen Maden Kazalarının İstatistiksel Olarak İncelenmesi Statistical Investigation of Mine Accidents Occurred in," no. December, pp. 24–37, 2015.

[26] A. K. HALICI and S. K. İŞLEYEN, "Elektrik Kaynaklı İş Kazalarına Farklı Bir Bakış: Metal Sektöründe Yaşanan Kaza Sebeplerinin Önceliklendirilmesi," *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Derg.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–12, 2019, doi: 10.33720/kisgd.431670.

[27] İ. Zorluer and A. Eleren, “İnşaat Sektöründe İş Güvenliği ve Sağlığı Üzerine Risklerin Belirlenmesi ve Örnek Bir Uygulama,” in *3. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, 2011, pp. 185–193.

[28] B. Arpat, “İş Güvenliği Kültürünün İş Kazalarına Etkileri: Metal Sektörü Denizli Örneği,” 2015.

[29] S. DÜNDAR, N. BİLİM, and A. BİLİM, “Ülkemizdeki Maden Sektöründe Meydana Gelen Iş Kazası Ve Meslek Hastalıklarının Analizi,” *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, vol. 7, no. 2, pp. 423–432, 2018, doi: 10.17798/bitlisfen.435729.

[30] Y. Ayrım and F. G. Can, “Risk Değerlendirmesinde CRİTİC Metodu ile Sektörlerin Karşılaştırılması,” vol. 1, no. 1, pp. 67–78, 2017.

[31] M. Şahin and E. Gürcanlı, “Betonarme , Çelik ve Hafif Çelik Binalarda İş Güvenliği Risklerinin Karşılaştırmalı Analizi,” in *3. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, 2011, pp. 201–212.

[32] M. W. Khan, Y. Ali, F. De Felice, and A. Petrillo, “Occupational health and safety in construction industry in Pakistan using modified-SIRA method,” *Saf. Sci.*, vol. 118, no. May, pp. 109–118, 2019, doi: 10.1016/j.ssci.2019.05.001.

[33] Y. Karaca, “Çok Kriterli Karar Verme Metotları ve Analitik Hiyerarşi Süreci İle Matematik Eğitimi Alanında Bir Uygulama,” Bozok Üniversitesi, 2011.

[34] İ. M. Ar, B. Baki, and F. Özdemir, “Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık AHS- Vikor Yaklaşımının Kullanımı: Otel Sektöründe Bir Uygulama,” *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Derg.*, vol. 13, no. 13, pp. 93–114, 2014.

[35] Y. Kul, A. Şeker, and M. Yurdakul, “Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Seçiminde Kullanılması,” *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, vol. 29, no. 3, pp. 589–603, 2014.

[36] S. Soner and S. Önüt, “Multi-Criteria Supplier Selection: An ELECTRE-AHP Application,” *J. Eng. Nat. Sci. Mühendislik ve Fen Bilim. Derg.*, vol. 4, no. 0212, pp. 110–120, 2006.

[37] F. Ecer, “BULANIK ORTAMLARDA MAĞAZA KURULUŞ YERLER İNİN DEĞERLENDİRİLMESİ : BİR KARA R VERME ARACI OLARAK BULANIK TOPSIS,” *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, vol. 25, no. 1, pp. 143–170, 2007.

[38] C. Chen, “Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 114, pp. 1–9, 2000.

[39] R. W. Saaty, “The analytic hierarchy process-what it is and how it is used,” *Math. Model.*, vol. 9, no. 3–5, pp. 161–176, 1987, doi: 10.1016/0270-0255(87)90473-8.

[40] S. PERÇİN, “Bulanık AHS ve TOPSİS Yaklaşımının Makine-Teçhizat Seçimine Uygulanması,” *Çukurova Üniversitesi Sos. Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 21, no. 1, pp. 169–184, 2012.

[41] Ç. KARABIÇAK, A. İ. BOYACI, M. K. AKAY, and B. Özcan, “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Karayolu Şantiye Yeri Seçimine İlişkin Bir Uygulama,” *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, no. 13, pp. 106–121, 2016.

[42] A. Yıldızbaşı and V. Ünlü, “Performance evaluation of SMEs towards Industry 4.0 using fuzzy group decision making methods,” *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 3, 2020, doi: 10.1007/s42452-020-2085-9.

[43] C.-T. Chen, “Extensions of The TOPSIS for Group Decision Making Under Fuzzy Environment,” *Fuzyy Sets Syst.*, vol. 114, pp. 1–9, 2000.