



**METAL SEKTÖRÜNDE YAŞANAN İŞ KAZALARININ İSTATİSTİKSEL
OLARAK İNCELENMESİ VE MAKİNE ÖĞRENİM ALGORİTMALARI
İLE TAHMİN ÇALIŞMALARI**

Ekin KARAKAYA ÖZKAN

**DOKTORA TEZİ
KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ekin KARAKAYA ÖZKAN

14/07/2023

**METAL SEKTÖRÜNDE YAŞANAN İŞ KAZALARININ İSTATİSTİKSEL OLARAK
İNCELENMESİ VE MAKİNE ÖĞRENİM ALGORİTMALARI İLE TAHMİN
ÇALIŞMALARI
(Doktora Tezi)**

Ekin KARAKAYA ÖZKAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2023

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından kayıt altına alınan 2013-2018 yılları arasında metal sektöründe yaşanmış ulusal iş kazaları için kaza parametrelerini ve risk faktörlerini dikkate alarak istatistiksel bir değerlendirme yapmaktır. Ayrıca, ağır kaza olarak nitelendirilen ölümlü ve uzuv kayıplı iş kazası verilerini kullanarak makine öğrenimi yöntemiyle bir tahmin algoritması geliştirmek ve algoritmaların performans ölçütlerini karşılaştırmaktır. Bu kapsamda, metal sektöründe gerçekleşmiş 1542 adet ağır kaza ve 103179 yaralanmalı olmak üzere toplam 104721 tane iş kazası verisi analiz edilmiştir. Kazalar; kaza zamanı, kazazedeye ait parametreler ve kaza nedeni, yaralanma durumu ve yaralanma türü gibi kaza sonucuna ait bilgiler kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Kazaların en fazla 2013 yılında, mart ve mayıs ayında, salı günleri ve üçüncü vardiyada gerçekleştiği tespit edilmiştir. 25-35 yaş aralığında, erkek, evli, ilköğretim mezunu ve tecrübesiz çalışanların kaza geçirme açısından en riskli grupta olduğu tespit edilmiştir. Metal sektöründe parmaklar, eller ve ayaklar yaralanma ihtimali en yüksek organlardır. Makinelerin denetim kaybı ve hareketli parçalar sebebiyle pek çok kaza olduğu görülmüştür. İş kazası nedenlerinin detaylı bir şekilde sınıflandırılması ve tahmin edilmesi kazaları azaltmak için gereklidir. Literatürde; iş kazalarını azaltma amacıyla kaza ile ilgili faktörleri araştırmak ve etkili tahmin modelleri oluşturmak için çeşitli makine öğrenimi algoritmaları kullanılmıştır. Bu çalışmada, iş kazası nedenlerini ve sonuçlarını tahmin etmek amacıyla makine öğrenimi yöntemlerinden rastgele orman (RF), k-en yakın komşu (KNN), sınıflama ve regresyon ağaçları (CART), gradyan artırma makineleri (GBM) algoritmaları kullanılmıştır. Algoritmanın doğrulaması için 10 katlı çapraz doğrulama modeli kullanılmış ve bu yöntemle RF algoritmasının doğruluk değeri %4,7 oranında arttırılmıştır. RF algoritmasının doğruluk değeri 0,9172 olarak bulunmuştur. RF (0,9172) algoritması, GBM (0,9073), CART (0,7417) ve KNN (0,6722) algoritmalarından daha iyi performans göstermiştir.

Bilim Kodu : 113512

Anahtar Kelimeler : İş Sağlığı ve Güvenliği, Metal Sektörü, İş Kazaları, Makine Öğrenimi, Rastgele Orman

Sayfa Adedi : 145

Danışman : Doç. Dr. Hasan Basri ULAŞ

STATISTICAL ANALYSIS OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS IN THE METAL
INDUSTRY AND PREDICTION STUDIES WITH MACHINE LEARNING
ALGORITHMS

(Ph. D. Thesis)

Ekin KARAKAYA ÖZKAN

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2023

ABSTRACT

The aim of this study is to make a statistical evaluation by considering the accident parameters and risk factors for the national occupational accidents in the metal sector between the years 2013-2018 recorded by the Ministry of Labor and Social Security. In addition, we developed an estimation algorithm with machine learning method by using the data of amputations and fatal occupational accidents, which are described as serious accidents, and to compare the performance of the algorithms. In this context, data on 104721 occupational accidents in total, including 1542 heavy accidents and 103179 injuries in the metal sector, were analyzed. The occupational accidents were statistically analyzed with using parameters such as accident time, the place and time of the accident and the age, gender, work experience of the worker, and the accident result such as the cause of the accident, the injury status, and the type of injury. It was determined that the most accidents occurred in 2013, in March and May, on Tuesdays and in the third shift. It has been determined that between the ages of 25-35, male, married, primary school graduates and inexperienced workers are in the highest risk group in terms of having an accident. Fingers, hands, and feet are the most likely to be injured in the metal industry. It has been observed that there are many accidents caused by the loss of control of the machines and their moving parts. It is necessary to classify and predict occupational accident reasons in detail to prevent occupational accident. Researchers have used machine learning algorithm to investigate correlated factors and create effective prediction models to lower occupational accidents. In this study, random forest (RF), k-nearest neighbor (KNN), classification and regression trees (CART), gradient boosting machines (GBM) algorithms from machine learning methods were used to predict the causes and consequences of occupational accidents. For the verification of the algorithm, the 10-fold cross-validation model was used, and the accuracy value of the RF algorithm was increased by %4,7. The accuracy value of the RF algorithm was found as 0,9172. RF (0,9172) showed best performance on accuracy with respect to, GBM (0,9073), CART (0,7417) and KNN (0,6722).

Science Code : 113512

Key Words : Occupational Health And Safety, Metal Sector, Occupational Accidents, Machine Learning, Random Forest

Page Number : 145

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hasan Basri ULAŞ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı titizlikle yöneten, her türlü teşvik ve fedakârlığını esirgemeyen, manevi desteğini her an hissettiğim, saygıdeğer hocam Doç. Dr. Hasan Basri ULAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sürecinde görüş ve önerileriyle büyük katkı sağlayan tez izleme kurulu üyeleri Prof. Dr. Adnan AKKURT ve Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ'a saygı ve sevgilerimi sunarak teşekkür ederim.

Sadece doktora eğitimim süresince değil, hayatım boyunca en büyük desteğim olan eşim Cevdet Can ÖZKAN'a özel teşekkürlerimi sunarım. Sevgisi, sonsuz desteği ve bana olan güveni için ona minnettarlığımı ifade etmeye kelimeler yetmez.

Tez sürecimde dünyaya gelen, sevgisi ve anlayışıyla bana en büyük gücü veren biricik kızım Linda Nil ÖZKAN'a sonsuz sevgilerimi sunarak teşekkür ederim.

Bilgisi, deneyimi ve güler yüzüyle makine öğrenimi çalışmalarımda verdiği teknik destek ve değerli dostluğu için İbrahim Mert KANDEMİR'e teşekkür ederim.

Zor zamanları atlatmamda yardımcı olan, tüm manevi desteğini, eşsiz ve değerli dostluklarını sunan arkadaşlarım Esin PEKPAK FINDIKÇIOĞLU, Ayşegül GÜRLEYEN AYTEKİN, Damla SAVAŞ, Dilan ATALAY'a ve adını sayamadığım tüm arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Beni bugünlere getiren, sınırsız özverileri ile her türlü olanağı sağlayan, her zaman sevgisini, ilgisini hissettiğim ve bana verdikleri destek ile hayatta başarılı olmamı sağlayan annem Edibe KARAKAYA, babam Nejdet KARAKAYA, ablalarım Ahu KARAKAYA YÜREKLİ ve Ceylan KARAKAYA DİRİ'ye en derin sevgilerimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1. İstatistiksel Analiz Çalışmalarına Ait Literatür Taraması.....	5
2.2. Makine Öğrenimi Uygulamalarına Ait Literatür Taraması	14
3. GENEL BİLGİLER	17
3.1. İş Kazası Kavramı	17
3.2. İş Kazalarının Nedenleri.....	18
3.2.1. Güvensiz davranış	19
3.2.2. Güvensiz durum	21
3.3. İş Kazası İstatistikleri	22
3.3.1. İnsidans oranı	24
3.3.2. Mortalite oranı.....	24
3.4. Türkiye’de Metal Sektörü İstatistikleri	24
3.4.1. Metal sektörünün alt kollarında iş kazası verileri	27
4. MAKİNE ÖĞRENİMİ.....	29
4.1. Makine Öğrenimi Metotları.....	30
4.1.1. Gözetimli öğrenme.....	30

	Sayfa
4.1.2. Gözetimsiz öğrenme	32
4.2. Makine Öğrenimini Uygulama Adımları	32
5. GEREÇ VE YÖNTEMLER	35
5.1. Veri Seti.....	35
5.2. Verilerin İstatistiksel Olarak Analiz Edilmesi.....	39
5.3. Makine Öğrenim Uygulamaları.....	40
5.3.1. RF algoritması.....	41
5.3.2. KNN algoritması.....	45
5.3.3. GBM algoritması.....	46
5.3.4. CART algoritması.....	46
5.4. Makine Öğrenimi Algoritmalarının Performans Ölçütleri	47
5.5. K-katlı Çapraz Doğrulama.....	48
5.6. Değişken Önceliklendirilmesi	49
6. ARAŞTIRMA BULGULARI	51
6.1. Verilerin İstatistiksel Analizi.....	51
6.1.1. Kaza zamanı değişkenlerinin analizi.....	51
6.1.2. Kazazedeye ait değişkenlerinin analizi	53
6.1.3. Kaza sonucuna ait değişkenlerinin analizi	55
6.1.4. İş yerine ait değişkenlerinin analizi	60
6.1.5. Ağır kazaların analizi	61
6.1.6. Pres tezgâhlarında gerçekleşen kazaların analizi	64
6.2. Makine Öğrenimi Uygulamaları.....	72
6.2.1. 10-katlı çapraz doğrulama tekniğinin sonuçları.....	72
6.2.2. Değişken önceliklendirmesi.....	73
6.2.3. Makine öğrenimi algoritmalarının sonuçları ve kıyaslanması	74
7. TARTIŞMA	77

	Sayfa
7.1. İstatistiksel Analiz Çalışmaları.....	77
7.1.1. Pres tezgâhı kaynaklı kazaların analizi	86
7.2. Makine Öğrenimi Uygulama Çalışmaları.....	89
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	97
EKLER.....	109
EK-1. NACE Sınıflandırmaları.....	110
EK-2. ESAW Metodolojisi Sapma Kodu	112
EK-3. Verilerin İstatistiksel Dağılımı	115
EK-4. Ağır Kazaların İstatistiksel Analizi	132
EK-5. Performans Ölçütlerinin Program Görüntüleri.....	141
EK-6. Karmaşıklık Matrisi Açıklamaları.....	144
ÖZGEÇMİŞ	145

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Meslek hastalıkları, insidans ve mortalite oranı dağılımları.....	26
Çizelge 5.1. Kaza zamanı değişkenleri	35
Çizelge 5.2. Kazazedeye ait değişkenler.....	36
Çizelge 5.3. Kaza sonucu ile ilgili değişkenler.....	36
Çizelge 5.4. Tehlike Kaynakları	38
Çizelge 6.1. Kaza şiddetine ait bulgular	51
Çizelge 6.2. Kaza zamanı değişkenlerinin dağılımı.....	51
Çizelge 6.3. Kazazedeye ait değişkenlerinin dağılımı	54
Çizelge 6.4. İş kazalarının yaralanma sebepleri dağılımı	57
Çizelge 6.5. İş kazalarının yaralanma türlerinin dağılımı.....	58
Çizelge 6.6. İş kazalarında yaralanan vücut bölümünün dağılımı	59
Çizelge 6.7. Tehlike kaynaklarının dağılımı.....	62
Çizelge 6.8. Pres tezgâhı iş kazalarının zaman değişkeni dağılımları	64
Çizelge 6.9. Pres tezgâhında iş kazası yaşayan kazazedeye ait değişkenlerinin dağılımı	65
Çizelge 6.10. Pres tezgâhı kazalarının şiddet dağılımı	66
Çizelge 6.11. Pres tezgâhı kazasının gerçekleştiği işyerlerinin NACE kodları	71
Çizelge 6.12. Öncelikli değişkenler	73
Çizelge 6.13. Makine öğrenimi algoritmalarının performans ölçütleri	76

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Ölümlü iş kazası sayısının metal sektörü alt kollarına göre dağılımı.....	25
Şekil 3.2. 100000 çalışanda ölümlü iş kazası oranlarının metal sektörünün alt kollarına göre dağılımı.....	25
Şekil 3.3. 24-25 NACE kodlarında gerçekleşen iş kazalı ortalamaları.....	27
Şekil 3.4. 24-25 NACE kodlarında gerçekleşen ölümlü iş kazası ortalamaları.....	28
Şekil 5.1. RF algoritması	43
Şekil 6.1. Toplam kazada kazaya sebebiyet veren son sapma dağılımı.....	56
Şekil 6.2. Kazanın gerçekleştiği ilk on ilin dağılımı.....	60
Şekil 6.3. İşyeri NACE kodu dağılımları.....	61
Şekil 6.4. Makine ve ekipmanlara göre ağır iş kazalarının dağılımı	63
Şekil 6.5. Pres tezgâhlarında kazaya sebebiyet veren son sapma dağılımı.....	67
Şekil 6.6. Pres tezgâhlarında yaralanma türleri dağılımı	68
Şekil 6.7. Pres tezgâhlarında yaralanma sebepleri dağılımı	69
Şekil 6.8. Pres tezgâhlarında yaralanmanın vücuttaki yerine göre dağılımı.....	70
Şekil 6.9. Pres tezgâhlarında kaza yaşanan illerin dağılımı.....	71
Şekil 6.10. RF algoritmasının hesaplanan ilk doğruluk değerinin program görüntüsü	72
Şekil 6.11. Doğrulama işlemi sonrası RF doğruluk değerinin program çıktı görüntüsü	73
Şekil 6.12. RFE uygulaması sonrası yeniden hesaplanan RF doğruluk değeri	74
Şekil 6.13. RF algoritmasının karmaşıklık matrisi	75
Şekil 6.14. KNN algoritmasının karmaşıklık matrisi.....	75
Şekil 6.15. CART algoritmasının karmaşıklık matrisi.....	75
Şekil 6.16. GBM algoritmasının karmaşıklık matrisi	76

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AI	Yapay Zeka (Artificial Intelligence)
BN	Bayes Ağı (Bayesian Network)
CART	Sınıflama ve Regresyon Ağacı
ÇSGB	T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
DT	Karar Ağacı Algoritması (Decision Tree Algorithms)
EKED	Etiketleme-Kilitleme Sistemi
ESAW	Avrupa İş Kazaları İstatistikleri
EUROSTAT	Avrupa İstatistik Bürosu
FN	Yanlış Negatifler (False Negative)
FP	Yanlış Pozitifler (False Positive)
GBM	Gradyan Artırma Makineleri
HSE	İngiltere İş Sağlığı ve Güvenliği Kuruluşu
ILO	International Labour Organization
İBYS	İş Sağlığı ve Güvenliği Bilgi Yönetim Sistemleri
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
KKD	Kişisel Koruyucu Donanım
KNN	K-En Yakın Komşu Algoritması
MESS	Türkiye İşverenleri Metal Sanayicileri Sendikası
MKE	Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu
NACE	Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistikî Sınıflaması
NSCC	Ulusal Güvenlik Konseyi Komitesi
OOB	Out of Bag
RF	Rastgele Orman (Random Forest)
RFE	Özyinelemeli Olarak Özellik Seçme
RPART	Yinelemeli Bölünme ve Regresyon Ağaçları

Kısaltmalar	Açıklamalar
SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
SQL	Yapılandırılmış Sorgu Dili
SVM	Destek Vektör Makineleri
TN	Doğru Negatifler (True Negative)
TP	Doğru Pozitifler (True Positive)
WHO	Dünya Sağlık Teşkilatı (World Health Organization)

1. GİRİŞ

Çalışanlar, yürüttükleri işlerden ve iş ortamından kaynaklı çeşitli tehlike ve tehlikelerin yol açtığı risklere maruz kalmaktadır. İşyerlerinde güvensiz durum ya da davranış nedeniyle iş kazaları ve meslek hastalıkları meydana gelebilmektedir. İş kazaları; yaralanmalar, uzuv kayıpları ve ölümler gibi üzücü sonuçlara yol açabildikleri gibi işyerlerinde büyük maddi hasarlarda oluşturabilmektedirler.

Uluslararası Çalışma Örgütü (International Labour Organization – ILO) tarafından yapılan araştırmalara göre dünyada her yıl yaklaşık üç milyon kişi iş kazaları sebebiyle hayatını kaybetmektedir. Ayrıca her yıl ölümlerle sonuçlanmayan 374 milyon iş kazası ve meslek hastalığı gerçekleşmekte; bunların birçoğu geçici iş göremezliklere sebep olmaktadır [1]. Uygun ve yeterli iş sağlığı ve güvenliği (İSG) önlemlerinin alınamaması sebebiyle ortaya çıkan bu ağır kayıplar yüzünden küresel ekonominin uğradığı ekonomik kayıp her yıl Gayri Safi Hasılanın %3,94'ünü bulduğu ve bu oranın da resmi kalkınma yardımları toplamının 20 katı civarı olduğu tahmin edilmektedir [2].

İngiltere İş Sağlığı ve Güvenliği Kuruluşu (Health and Safety Executive - HSE) iş kazalarının, meslek hastalıklarının ve işe bağlı hastalıkların işverene, topluma maliyetini hesaplamış ve ortalama olarak her yıl bir milyondan fazla yaralanma ve 2,3 milyon hastalık vakası meydana geldiğini, yaklaşık 40 milyon iş günü kaybedildiğini, 25 000'den fazla kişinin yaralanma veya hastalık nedeniyle işlerini kaybettiğini tespit etmiştir. Bu kayıpların tahmini maliyeti ise; işverenlere 8-16 milyar dolar iken topluma maliyeti ise 40–60 milyar dolardır [3].

Günümüzde sanayinin ve üretim sektörlerinin en önemli sorunlarından birisi istatistiklerden de anlaşılabileceği gibi yaşanan iş kazalarıdır [4-6]. Bu sektörlerden bir tanesi ise metal sektörüdür. Metal sektörü ürettiği mamul/yarı mamullerin kullanım alanlarının çok fazla olması sebebiyle dünyada olduğu kadar Türkiye'de de önemli sektörler arasındadır. Metal sektörü sahip olduğu yüksek işgücü ve ekonomik büyüklüğü açısından ülkemizin en önemli sanayi koludur. Metal sanayi, ülkemiz toplam ihracatın %12'sinin, gayri safi milli hasılasının %3'ünü, sanayi sektörlerindeki toplam istihdamın ise %2'sini oluşturmaktadır. Ülkemizde en çok ihracat yapan sektörler arasında metal sektörü 3. sırada yer almaktadır [7]. 2016 yılında Türkiye'de metal sektöründe her 100000

çalışandan yaklaşık 10'u iş kazası sebebiyle hayatını kaybetmiştir [8]. İş kazaları sebebiyle yaşanan bu hayat kayıplarını önlemek için; sektörde yaşanan iş kazalarının kök nedenlerinin belirlenerek önlenmesi büyük önem taşımaktadır. İş kazaları benzer kök nedenlerden gerçekleşmektedirler. Bu sebeple, iş kazalarını önlemek amacıyla gerçekleştirilecek çalışmalara yol gösterici olması amacıyla İSG verilerinin sektör özelinde incelenerek sektörün profilinin çıkarılması önem arz etmektedir. Kazaların gerçekleşme şekli, kazazedelere ilişkin kazayı etkileyebilecek bilgiler, kazazedelerin eğitim bilgileri, yaralanma çeşitleri ve kaza sonuçlarına ilişkin bilgiler gibi verilerin sektörler özelinde incelenerek yorumlanması, kazaların önlenmesi için gerekli kontrol tedbirlerin alınmasında yol gösterici olmaktadır [9-12]. İş kazalarına tüm verilerin uzun bir zaman diliminde istatistiksel olarak incelenmesiyle sektördeki en riskli çalışma alanları ve çalışan grupları tespit edilmektedir. Bu alanlara ve çalışanlara yönelik; İSG projeleri, denetim ziyaretleri, üretim teknolojileri ve teknikleri, iş ekipmanları, mevzuat ve standart çalışmaları, prosedür ve uygulama rehberleri gibi konularda çalışmalar gerçekleştirilerek İSG koşullarında gelişim sağlanması mümkün olabilecektir. İş kazası yaşamış çalışanların cinsiyet, yaş, tecrübe, eğitim durumu gibi kaza oluşmasını etkileyebilecek özelliklerinin de incelenmesi, çalışan gruplarında riskli grupların belirlenmesini sağlamaktadır.

Literatür çalışmaları; geçmiş kazaların verilerinin gelecekteki kazaları önlemek için bir temel teşkil edebileceğini belirtmiştir [13]. Bu nedenle, iş kazalarını azaltmak ve önlemek için iş kazalarının nedenlerini ve sebep olan etkenleri istatistiksel olarak incelemenin yanı sıra makine öğrenimi kullanılarak tahmin çalışmalarının yürütülmesi de önemlidir. Tahmin metodlarıyla yaşanmış kaza verileri kullanılarak yapılan son çalışmalarda, kazaların tesadüfi bir şekilde gerçekleşmediği ortaya konulmuştur. Çalışmalar ayrıca kazaların önlenmesi için nicel araştırmaların yapılmasının gerekliliğini de göstermiştir [14]. Bu sebeple, bazı araştırmalarda kazaları önlemek için kaza veri setleri makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak iş kazası parametrelerini tahmin etmek için kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında; 2013-2018 yılları arasında metal sektöründe yaşanan, İş Sağlığı ve Güvenliği Bilgi Yönetim Sistemleri (İBYS) kullanılarak temin edilen ulusal iş kazası verileri kullanılarak iş kazalarının nedenleri, sonuçları ve kazazedelerin bilgilerinin istatistiksel olarak değerlendirmesi ve elde edilen bilgiler doğrultusunda gelecekte meydana gelebilecek iş kazalarının önlenmesine ilişkin önerilerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu tez çalışmasında; iş kazalarının sınıflandırılması ve nedenlerinin

tahmin edilmesi için makine öğrenimi algoritmaları kullanılmış ve birbirleriyle başarı oranları karşılaştırılmıştır. Makine öğrenimi uygulamalarıyla, iş kazalarına etki eden faktörler ve iş kazalarının nedenleri belirlenerek; İSG ile ilgili belirlenecek politikalara ve alınacak kontrol tedbirlerinin belirlenmesi aşamalarına veri sağlanması amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu tez çalışması amacı 2013-2018 yılları arasında gerçekleşmiş İBYS üzerinden temin edilen ve metal sektöründe gerçekleşen iş kazalarının istatistiksel analizi gerçekleştirerek iş kazalarının nedenlerini ve etkileyen parametreleri belirlemektir. Bu tez çalışmasının bir diğer amacı ise, aynı yıllar arasında metal sektöründe yaşanmış uzuv kayıplı ve ölümlü iş kazalarının tehlike kaynakları ve kaza şiddetleri ile ilgili tahmin çalışmaları yapmaktır. Bu sebeple istatistiksel çalışmalar ve makine öğrenimi uygulamalarına ait literatür taraması bu bölümde ikiye ayrılmıştır.

2.1. İstatistiksel Analiz Çalışmalarına Ait Literatür Taraması

İSG alanında metal sektöründe gerçekleştirilen istatistik çalışmalarını inceleyecek olursak; öncelikle Yağımlı ve arkadaşları [15] makalelerinde, sektörde yoğun bir üretim temposuna sahip olunması, kazalara sebep olabilecek iş ekipmanlarının kullanılması, vardiyalı ve uzun çalışma saatleri olması nedeniyle metal sektörünün en fazla iş kazası yaşanan sektörlerden olduğunu tespit etmişlerdir.

Gülhan [16], Ankara ilinde ağır metal üretim, yapı ve inşaat sanayiinde istihdam edilen çalışanlara bir anket uygulamış ve Ocak 2007- Haziran 2008 tarihleri arasında gerçekleşen iş kazaları ile ilgili bilgiler sormuştur. Yapılan anket sonucu incelendiğinde aşağıdaki verilere ulaşılmıştır:

- Ankete katılım sağlayan 201 çalışanın %22,4'ünün iş kazası yaşadığı tespit edilmiştir. Çalışanların iş kazası geçirme sıklığı incelendiğinde 1 kez kaza geçirenler %84,2 kez kaza geçiren çalışanlar %11,1 olarak saptanmıştır.
- İş kazalarının nedenleri kişisel koruyucu donanımın yetersiz kullanılması (%44), dikkatsizlik (%38), kişisel nedenler ve makine ekipman ile tezgâhlarda gerekli kontrol önlemlerinin alınmaması (%18) olarak bulmuşlardır.
- İş yerinde en sık görülen yaralanma türü olarak; sıkışma ve ezilme, göze çapak kaçması, parça düşmesi ve kesikler olarak tespit etmişlerdir.
- Çalışanların yaşlarına göre iş kazası geçirme durumları incelendiğinde; %34,4 oranıyla 20-30 yaş grubu en fazla kaza geçiren grup olarak tespit etmişlerdir.

- Çalışanların medeni durumuna göre iş kazası geçirme durumu incelendiğinde; bekar çalışanların kaza yaşama oranı %57,1, evli çalışanların ise %18,5 olduğu görülmüştür.
- Kazazedelerden lise mezunu olanların iş kazası geçirme sıklığı %35,4, okuryazar / ilkokul mezunu ve mesleki / teknik lise mezunlarında iş kazası geçirme sıklığı sırasıyla %21,4 ve %20,0 olarak belirlenmiştir.
- Ankete katılan çalışanlardan elde edilen bilgiler doğrultusunda en çok iş kazası yaşanan günlerin sırasıyla %20 ile Cuma, %17,8 ile Çarşamba ve Cumartesidir.
- Ankete katılan çalışanların bu iş yerinde çalışmaya başladıktan sonra ilk 12 aylık sürede geçirdiği iş kazası sıklığı %22,2, 1-2 yıl arası tecrübe sahibi olan çalışanlarda ise %24,4'dür.

İzgi [17], yüksek lisans tezinde kaynak işlerinde belirli parametreler özelinde iş kazaları ve meslek hastalıklarının sebeplerini araştırmıştır. Kaynakçıların öğrenim durumu, iş tecrübesi, mesleki ve İSG eğitimi, kişisel alışkanlıkları gibi faktörlerin kazaların ve meslek hastalıklarının oluşumu üzerine etkilerini araştırmıştır. Araştırma, Ankara'daki üç büyük işletmede 62 kaynak çalışanına uygulanan anket ile değerlendirilmiştir. Meslek hastalığına sebep olan en büyük tehlikelerin kaynak yaparken ortaya çıkan dumanlar, gürültü, kızılötesi ve ultraviyole ışınları, gazlar ve tozlar olduğu belirlenmiştir. İş kazası yaşama riskini iş yoğunluğunun, meslek hastalığı riskinin ise sigara kullanımının artırdığı saptanmıştır. Çalışma süresi ve iş tecrübesi fazla olan çalışanların daha az iş kazası yaşadığı ve hafta sonuna doğru iş kazalarının daha fazla yaşandığı tespit edilmiştir. Öğrenim düzeyi arttıkça iş kazası yaşama ihtimalinin azaldığı, İSG eğitim durumunun ise iş kazası ve meslek hastalığı yaşanma ihtimalini azalttığı belirlenmiştir.

Demir [18], çalışmasında 25 NACE (Nomenclature générale des Activités économiques dans les Communautés Européennes - Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistikî Sınıflaması) koduna sahip metal iş kolunda yaşanan iş kazalarını incelemiştir. Metalden eşya imal eden ve yaklaşık 6000 çalışanı olan 20 iş yerine anket uygulanarak veriler toplanmıştır. Araştırma sonucu elde edilen veriler kullanılarak, iş kazalarının dolaylı ve dolaysız maliyetlerini hesaplamıştır. Çalışmada bunlara ek olarak; iş kazaları ile İSG ile ilgili kontrol tedbirlerin sağlanması arasındaki maliyet ilişki hesaplanmıştır. Uygulanan ankette, işyerlerine çalışanlarının İSG kurallarına uyma durumu sorulmuş, iş yerlerinden %70'i orta, %20'si iyi, %10'u ise çok iyi şeklinde cevaplamıştır. Aynı şekilde

kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanım alışkanlığı ise %60 oranında orta düzeyde tespit edilmiştir. İş yerlerinde bir yıl içerisinde meydana gelen iş kazalarının nedenleri incelendiğinde; %45 oranıyla dalgınlık birinci sırada yer almaktadır. İşyerlerinin %80'inde, ortalama sabit giderlerinin 100000 TL'nin üzerinde olduğu belirlenmiştir. İşyerlerinin %65'inin ortalama İSG giderlerinin ise 10000 TL'nin altında olduğu tespit edilmiştir.

Baba [19], 2006-2007 yılları arasında metal sektöründe hizmet eden bir fabrikanın; haddehane, yüksek fırın, ve çelikhane bölümlerinde meydana gelen 85 iş kazasını incelemiştir. İş kazalarına ait veriler iş yerinin sağlık birimi kayıtlarından elde edilmiştir. Kazazedelerin ortalama yaşını $35,8 \pm 6,2$, en sık kaza gözlenen yaş grubunu ise 35-39 olarak belirlenmiştir. Kazalar en sık %27 ile pazartesi günü gerçekleşmiş ve ortalama işgünü kaybı $9,5 \pm 2,1$ olarak saptanmıştır. Kazaların nedenleri incelendiğinde en sık gözlenen %22,4 ile cisim kesmesi ve %22,4 ile cisim arasına sıkışma, yaralanma çeşitlerinde en çok yaralanan vücut bölgesi %43,5 ile üst ekstremité de olduğu tespit edilmiştir. İş kazaları en çok 14:00-14:59 saatleri arasında yaşanmış, kazaların vardiyalara göre dağılımlarında en çok iş kazası %47,5 ile 2. vardiyada gerçekleşmiş ve kazaların en sık gözlemlendiği vardiya çeyreği %29,4 ile 3. çeyrek olduğu belirlenmiştir.

Alp [20], 2009 yılında Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB) İş Müfettişleri tarafından hazırlanan 8084 adet teftiş raporu içerisinde, Ankara'da metal sektöründe gerçekleşen 204 adet iş kazasının kaza raporlarını incelemiştir. Araştırmada 204 kazaya ilişkin veriler SPSS programı kullanılarak analiz edilmiş ve aşağıdaki veriler elde edilmiştir:

- Kazaların yaşandığı işkolları incelendiğinde; metalden mamul eşya sanayi (%47,4), makine imalatı ve tamirâtı (%29,9), elektrik makine ve cihaz imalatı ve tamirâtı (%7,4), deniz nakil vasıtaları inşaat ve tamirâtı (%6,9), demir çelik endüstrisi (%6,4), montaj sanayi işlerinde (%2) meydana geldiği tespit etmişlerdir.
- Kazalar sonucunda çalışanların 131 çalışan (%63,6) yaralanmış, 65 çalışan (%31,6) uzuv kaybına uğramış, 10 çalışan (%4,9) ise hayatını kaybetmiştir.

- İş kazalarının nedenleri sırasıyla; eğitim düzeyinin yetersiz olması (%44,6), KKD kullanılmaması (%39,6), denetim ve gözetim eksikliği (%38,0), makine koruyucusunun olmaması (%32,2), makine koruyucusunun uygun olmayışı (%24,8), malzeme depolanmasının yanlış yapılması (%9,1), iş ekipmanının kontrolünün yapılmaması (%8,3), iş ekipmanının uygun olmaması (%7,4), yanlış KKD kullanılması (%5,0), dikkatsizlik-tedbirsizlik (%3,3) olarak bulunmuştur.
- Ölümle sonuçlanan kazalara; kişilerin düşmesinin (%40), patlamaların (%20), cisimlerin sıkıştırıp ezmesinin (%20) ve makinelerin (%10) sebep olduğu tespit etmişlerdir.
- İş kazalarının sırasıyla; salı (%19,1), perşembe (%18,6), cuma (%18,2), çarşamba (%17,2), pazartesi (%13,7), cumartesi (%10,3) ve pazar (%2,9) günleri meydana geldiğini tespit etmişlerdir.
- Verileri incelenen 204 kazanın gerçekleştiği saat dağılımı incelendiğinde sırasıyla; 10:00-11:59 (%26), 14:00-16:00 (%25), 16.00-17:59 (%15,2), 08:00-09:59 (%13,7), 18:00-07:59 (%11,8), 12:00-13:59 (%8,3) saat dilimlerinde gerçekleştiği görülmüştür.
- İş kazası geçiren 206 çalışanın yaş dağılımları incelendiğinde; %19,4'ünün 25-29, %18,9'unun 40-44, %18,4'ünün 35-39, %18,4'ünün 30-34, %14,7'sinin 20-24, %2,9'unun 15-19, %7,3'ünün ise 45 yaş ve üzerinde olduğu saptanmıştır.
- Kazazedelerin tamamının erkek olduğu görülmüştür.
- Kaza geçiren 206 çalışan, %53,3 oranıyla ilköğretim mezunu, %35,0'i ortaöğretim, %10,7'si mesleki eğitim ve %1'i ise yükseköğretim mezunudur.

Bingöl [21], Nilüfer Organize Sanayi Bölgesi metal sektörü kapsamında 19 işyerinde son bir yılda iş kazası yaşayanların sıklığı ve iş kazalarını etkileyen parametreleri değerlendirmek amacıyla 795 mavi yakalı çalışana anket formu uygulamıştır. Yapılan bu çalışmada; 123 kişi en az bir kere iş kazası yaşamış ve bu çalışanların oranı %15,5'dur. Son bir yıldaki iş kazası insidans hızı binde 307 olarak bulunmuştur. Haftalık çalışma süresi 45 saat üzerinde olan, işinden memnun olmayan, yaşı 29 ve altında olanlar ile, çalıştığı işyerinde işyeri hekimi bulunmayan çalışanların iş kazası geçirme riski anlamlı olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir. İş kazaları sebebiyle çalışanların yaralandıkları vücut bölümlerinin kaza adetine göre dağılımı incelendiğinde; gözlerin (%26,3), ikinci olarak el parmaklarının (%25,5) ve üçüncü olarak eller ve el bileklerinin (%24,2)

yaralandığını görmüşlerdir. Bekar çalışanların iş kazası yaşama oranının %20,9 iken evlilerin %13,6 olduğu görülmüştür.

Kıratlı [22], çok tehlikeli işler sınıfında ve Ankara’da yer alan bir döküm fabrikasında 166 çalışana; çalışma yaşamı, kişisel bilgileri ve iş kazası profilinin araştırılması amacıyla çalışan anket formu düzenlemiştir. Araştırma sonucunda; çalışanların %87,6’sının, işini stresli bulduğu ve stres kaynaklarının; çalışma koşullarının kötü olması, tehlikeli ortamda çalışmak, vardiya ve fazla mesai olduğu tespit edilmiştir. Daha önce iş kazası geçirenlerin oranı %68,1 olarak bulunmuştur. En çok geçirilen kaza türleri ise, göze çapak kaçması, sıkışma/ezilme, parça düşmesi olarak bulunmuştur. İş kazalarının çoğunluğunda (%80,6), iş günü kaybı yaşanmıştır. İş kazası geçirme sıklığı %73,8 oranıyla 31-35 yaş arasında en yüksek değere sahiptir. Kazazedelerin geçirdikleri iş kazalarının nedenleri; çok yoğun iş temposu (%42,5), makine ve tezgâhlarda kontrol önlemlerinin alınmaması/ makinelerin uygun olmaması (%26,4), yorgunluk, hastalık, alkol ve uyuşturucu madde kullanımı, stres vb. gibi kişisel nedenler (%23,6), KKD kullanılmaması (%1,9) olarak sıralanmıştır. Çalışanların yaptıkları iş ile ilgili eğitim alma oranının %83,2 iken, %92,6’sının ise İSG ile ilgili eğitim aldığı saptanmıştır. Ankete katılan çalışanlardan iş ile ilgili eğitim aldığını belirtenlerin %69,4’nün, İSG ile ilgili eğitim aldığını belirtenlerin ise %67,5’inin iş kazası geçirdiği saptanmıştır. Kazazedelerin mesleki eğitim ve İSG eğitim durumları ile iş kazası geçirme arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark belirlenmemiştir.

Fuentes-Bargues ve arkadaşları [4], metal sektörünün İspanya’nın en yüksek kaza oranlarına sahip on sektör arasında olması sebebiyle sektörde yaşanan iş kazalarını; 24 ve 25 NACE koduna sahip işyerlerinde gerçekleşen ilgili idari makamlara gönderilmesi gereken, ayrıntılı iş kazası raporlarını temin ederek incelemiştir. Çalışma değişkenleri iş kazası verilerinden seçilmiş; kişisel, iş, malzeme ve süre olmak üzere dört grupta sınıflandırılmışlardır. İş kazalarının şiddetini hafif, ciddi, çok ciddi ve ölümlü olarak sınıflandırmışlardır. İş kazası sebepli yaralanmaların herhangi bir etki bırakmadığı kazaları hafif, yaralanmaların çalışanın hayatını tehlikeye atmadığı veya sonradan ortaya çıkan etkilerin etkisiz hale gelmesinin beklenmediği kazaları ciddi olarak kabul etmişlerdir. Çok ciddi kazaları ise meydana gelen yaralanmaların sonuçlarının kalıcı etkilerinin olabileceği veya çalışanın hayatını tehlikeye atabileceği durumlar olarak belirlerken, çalışanın hayatını kaybettiği kazalar ise ölümlü kaza olarak sınıflandırılmışlardır. Şiddet ve diğer değişkenler

arasındaki ilişkiler, ki-kare değerinin (χ^2) hesaplandığı olasılık tabloları aracılığıyla araştırılmışlardır. Elde ettikleri veriler ise şu şekildedir:

- Metal sektöründe ağırlıklı olarak erkek çalışanlar bulunmaktadır. Toplam kazaların %95,3'ü erkeklerin, %4,7'sinin ise kadınların yaşadığını tespit etmişlerdir. Ölümlü kazalar da ise erkekler arasındaki ölümlerin yüzdesi %97,4'e ulaşmaktadır.
- Toplam iş kazası incelendiğinde oranlarının en yüksek olduğu yaş aralıklarını %33,1 ile 30-39 ve %27,9 ile 40-49 arasında olduğunu tespit etmişlerdir. En yüksek ölümlü kaza sayısı %36,2 ile 50-59 yaş aralığında gerçekleşmektedir.
- Toplam iş kazası oranının en yüksek olduğu faaliyetler sırasıyla 251 NACE kodu (toplam kazalar içindeki oranı %29,1, ölümlü kazalar arasındaki oranı %23,0) ve bunu 256 NACE kodu (toplam kazalar içindeki oranı %16,6, ölümlü kazalar arasındaki oranı %14,3) takip etmektedir. 241 NACE kodu ise sektördeki toplam kazaların sadece %6,7'sine sahiptir, ancak ölümlü kazalardaki yüzdesi %15,8'dir.
- En fazla kaza pazartesi günleri gerçekleşmiştir.
- Metal sektöründe en fazla kaza %33,5 ile 10:00 ile 12:59 saatleri arasında gerçekleşmektedir. Ayrıca, 11:00 ile 11:59 arasındaki zaman dilimi, ciddi ve ölümlü kazaların en yüksek oranda gerçekleştiği zaman dilimidir (sırasıyla %19,8 ve %8,3).
- İş kazaları; 41 kodlu “Denetim kaybı (tam veya kısmi) – makine (istenmeyen başlama da dahil olmak üzere) veya maddi aracı” (%26,8), 61 kodlu “ Keskin bir nesne üzerinde yürüme “ (%25,6) ve 62 kodlu “ Diz çökme, oturma, yaslanma istemli vücut hareketi (%19,3)” nedeniyle gerçekleşmektedir.
- Yaralanmalar en fazla %43 oranıyla yüzeysel yaralanmalar sınıfında, ölümlü kazaların ise %40,4'ünün “Birden fazla sayıda yaralanmalar” kategorisinde gerçekleşmiştir.
- Pazartesi günleri, yemek molalarına yakın saat dilimleri ve emeklilik yaşının yakın olması bu sektördeki ciddi kaza sayısını etkileyen en önemli faktörlerdir.

Bull [23], Norveç'te metal sektörü çalışanları arasında yaptığı araştırmada iş kazası sebepli göz yaralanmalarına karşı KKD kullanılmasının zorunlu hale getirilmesi ile göz yaralanmalarını önlemede önemli bir yeri olduğunu tespit etmiştir.

Kifle ve arkadaşları [5], ağustos-eylül 2010 tarihleri arasında, dört farklı demir-çelik fabrikasında rastgele örnekleme yoluyla toplam 453 üretim çalışanı seçerek anket çalışması

yapmışlardır. İş kazaları ile iş stresi, KKD kullanımı, çalışanın eğitim düzeyi, gece vardiyası ve gündüz alkol tüketimi arasında dikkate değer bir ilişki olduğunu bulmuşlardır. Bu nedenle, iş kazalarının azaltılması amacıyla eğitimler yoluyla farkındalığın artırılması, uygun KKD temini, KKD kullanılmasının sağlanması ve endüstri güvenlik programları oluşturulmasını önermişlerdir. Kazalar en fazla mart ayında 2. vardiyada ve salı günü gerçekleşmiştir.

Saha ve arkadaşları [24], metal eritme endüstrisinde iş kazası kayıtlarını analiz etmiş ve iş kazalarının oluşumunu ve niteliğini incelemek için beş yıllık (Ocak 2000 - Aralık 2004) iş kazası araştırması yapmışlardır. Çalışmada kişisel ve mesleki özelliklerle ilgili veri toplamak için 220 adet çalışanla görüşülmüştür. Bu görüşmeler neticesinde; yaş, cinsiyet, meslek, eğitim düzeyi, medeni durum, alışkanlıklar, deneyim vb. veriler toplanmıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen veriler şu şekildedir:

- Çalışanların yaklaşık %64'ü 30-49 yaş aralığındadır. Çalışanların yaklaşık %32'si 30 yaş altında ve yalnızca %4,1'i elli yaş ve üzerindedir. Çalışanların yaş ortalaması ise $35,7 \pm 7,4$ yıldır.
- Çalışanların %85'i evlidir.
- Çalışanların ortalama çalışma süresi $5,7 \pm 1,9$ yıl ve çalışanların %46'sı beş yıl ve daha az deneyime sahiptir.
- Kazalar en sık Mayıs-Haziran döneminde gerçekleşmiştir.
- Akşam ve gece vardiyalarında gündüz vardiyalarına göre daha fazla sayıda kaza gerçekleşmiştir. Zamana dayalı dağılım (vardiya içinde), çalışma vardiyasının ikinci yarısında kaza görülme sıklığı artmıştır.
- Yaralanmanın vücuttaki yerini incelendiğinde ise; kazaların yaklaşık %62'si uzuvları etkilemiştir (üst uzuv %31,8, alt uzuv %30,3). Kazaların yaklaşık %20'sinde baş ve boyun etkilenmiştir. Kazaların %9,1'inde gövde bölgesi yaralanması ve %9,1'inde birden fazla yer yaralanmıştır.
- Kazalar yaralanma türlerine göre incelendiğinde ise, yaralanmalara en fazla %40,9 ile kesik, sıyrık vb. yüzeysel yaralanmalar kategorisinde gerçekleşmiştir. Kırık-çıkık ve burkulmalar-incinmeler, tüm kazaların sırasıyla %22,8 ve %15,2'sini oluşturmaktadır. Beyin sarsıntısı ve iç yaralanmalar kazaların %6,1'inde meydana gelirken, kazaların %7,5'i birden fazla sayıda yaralanmalar kategorisinde gerçekleşmiştir.

- Kazaların yaklaşık %18'inin 51 kodlu kişinin düşmesi–alt düzeye ve 33 kodlu bir kişinin düşmesi ve maddi aracın kayma, düşme, çökmesi–yukarıdan kategorilerinden kaynaklanmıştır. Ayrıca, kazaların sırasıyla %27,3'ü ve %18,2'si 62 kodlu diz çökme, oturma, yaslanma kategorisinde ve 64 kodlu iş birliği olmaksızın yapılan hareket, gereksiz veya zamansız eylemlerden kaynaklanmaktadır. Kazaların %13,6'sı ise bir cisim arasına sıkışma şeklinde gerçekleşmiştir. Kaza sırasında kullanılan ekipmanlar incelenmiş ve küçük aletler (43 kodu), makineler (41 kodu) ve kaldırma makinelerinin (42 kodu) sırasıyla %36,4, %28,8 ve %10,6 oranında kazaya sebep olmuştur.

Türkiye İşverenleri Metal Sanayicileri Sendikası (MESS) üye işyerlerinin 2016 yılına ait İSG alanında istatistiklerini yayınlamış ve en fazla iş kazası yaşayan çalışan grubunun %48 ile 25-35 yaş aralığında olduğunu tespit etmişlerdir [25]. Çalışanların %96'sının erkek ve %66'sı evli olduğu görülmektedir. Çalışanların %28'i son çalıştıkları işyerindeki 2-4 yıl aralığında kazaya uğramıştır.

İş ekipmanları özelinde gerçekleştirilen çalışmalar ise şu şekildedir:

Kim ve arkadaşları [26], metal imalat sanayinde makinelerde gerçekleşen, sıkışma veya ezilme sebebiyle ölümle sonuçlanan 359 adet iş kazasını incelemişlerdir. Güney Kore'de gerçekleştirilen bu çalışmada konveyör, mikser, gıda üretim ekipmanları, kırma makinesi, enjeksiyon makinesi, pres tezgâhı ve endüstriyel robot gibi yedi ana ekipmanın neden olduğu sıkışma kazalarının %56,5'ini (203) rutin olmayan işlerde gerçekleştiği tespit etmişlerdir.

Dzwiarek ve Latala [27], Polonya'da 2005–2011 yılları arasında kaydedilen 1035 ciddi ve 341 küçük iş kazasını inceleyerek makine kullanıcıları tarafından uygulanan ek güvenlik önlemleri yoluyla iş kazalarının önlenmesi açısından analiz yapmışlardır. Analiz sonucunda çalışanların yürüttükleri görevler ile yaralanmaya neden olan olayların bağlantılı olduğunu ve kaza şiddeti ile teknik güvenlik önlemleri arasında bir ilişki olduğunu göstermişlerdir.

Chinniah [28], Kanada'da makinelerin hareketli parçaları sebepli gerçekleşen 106 tane iş kazası raporunun analizini yapmıştır. Makinelerde gerçekleşen iş kazalarının başlıca nedenlerini; makinelerin hareketli parçalarına kolay erişim, makine koruyucu eksikliği,

etiketleme-kilitleme prosedürlerinin (EKED) olmaması, çalışanların deneyimsizliği, güvenlik önlemlerini atlama, risk değerlendirmesinin olmaması, denetim eksikliği, güvensiz makine tasarımı, güvenli olmayan çalışma yöntemleri ve çalışanlara verilen talimatların net olmadığı olarak bulmuşlardır.

Lind [29], Finlandiya'da gerçekleşen ciddi yaralanmalı ve ölümlü iş kazalarına ilişkin 33 kaza raporunu analiz etmiş ve organizasyonel faktörlerin, yerel işyeri faktörlerinin ve güvensiz davranışların kazaların ana nedenleri olduğunu tespit etmiştir.

Pres tezgâhı özelinde yapılan bir çalışmada ise Güney Kore'de 2008 yılında pres tezgâhına kaptırma veya arasına sıkışma sonucu oluşan yaralanma sayısının 1.655 olduğu belirtilmiştir. Bu sebeple pres tezgâhı kaynaklı iş kazalarını azaltmak için çalışanlara İSG ile ilgili bir anket uygulamışlardır. Anket sonucunda pres kalıplarının yakınında küçük malzemelerin elle taşınması sırasında birçok kazanın meydana geldiği ve elle çalıştırılan tiplerin ayakla çalıştırılan tiplere göre daha fazla kazaya sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışanların pres tezgâhlarında bulunan tehlikenin farkında olmalarına rağmen, alışkanlıktan dolayı gerekli güvenlik önlemlerini göz ardı ederek ve/veya daha hızlı çalışma amacıyla makine koruyucularını kullanmadıkları tespit edilerek güvenlik denetim yetkilileri tarafından daha yoğun denetim yapılması ve çalışanlara bu alanda eğitim verilmesi önerilmiştir [30].

Bulzacchelli ve arkadaşları [31] Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) toplam 624 kişinin ölümüyle sonuçlanan ve makinelerde EKED sorunlarıyla ilgili gerçekleşen 592 iş kazasını incelemişlerdir. Çalışmaların da kaza nedenlerini incelemişler ve %70 ile en fazla kazanın EKED kullanılmaması sebebiyle olduğunu tespit etmişlerdir. İnsan hatası (%5,2) veya mekanik arıza (%1,2) sebebiyle meydana gelen çok az kaza olduğunu tespit etmişlerdir. Bu sebeple, EKED'in uygun şekilde kullanıldığında iş kazası sebebiyle ölümlerin önlenebileceğini göstermişlerdir.

Dzwiarek [32], Polonya'da 1996–2002 döneminde meydana gelen makine kullanımı bağlantılı 144 iş kazasını analiz etmiştir. Bu kazaların 54'ünün makinenin tehlikeli bölgesinde sensörün tespit yapmaması, kontrol sisteminin yanlış seçilmesi, yetersiz makine koruyucu seçilmesi, koruyucun arızalanması gibi makine kontrol sistemlerinin hatalı çalışmasından kaynaklandığını tespit etmiştir.

2.2. Makine Öğrenimi Uygulamalarına Ait Literatür Taraması

Mevcut veriler kullanılarak gerçekleştirilen, tahmin teknolojileri üzerine yapılan son çalışmalar; kazaların oldukça ampirik olduğunu ve tesadüfi bir şekilde gerçekleşmediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu çalışmalar kazaların önlenmesi için nicel araştırmaların yapılmasının gerekliliğini de ortaya koymuştur [14]. Bu bağlamda, literatürde kazaları önlemek için mevcut kaza veri setlerinden iş kazalarının modellerini tahmin etmek için makine öğrenimi metodolojileri kullanımı yaygınlaşmıştır. Makine öğrenimi algoritmaları, farklı sektörlerde farklı amaçlar için kullanılmıştır. Örneğin, trafik kazalarına ait verilerin analizinde, potansiyel riskleri tahmin etmek için, sağlık sektöründe hastalık belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [33-43]. Madencilik [44-47], inşaat[13, 14, 48-60], havacılık [61-64], sağlık [42, 43, 65] gibi sektörlerde makine öğrenimi metodlarının uygulanması hakkında çok fazla sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, metal sektöründe [15] ve İSG alanında makine öğrenimi çalışmalarının nasıl yapılacağına dair hala yeterli sayıda araştırma bulunmaktadır.

Literatür incelendiğinde; makine öğrenimi uygulamalarında en fazla kullanılan algoritmalar; destek vektör makineleri (support vector machines-SVM)[13, 46, 53, 56, 66-68], karar ağacı algoritması (decision tree algorithms-DT) [41, 46, 47, 56, 66, 68-70], Bayes Ağı (bayesian network - BN) [46, 47, 56, 58], k-en yakın komşu algoritması (k-nearest neighbor algorithm-KNN) [13, 66, 68, 71], sınıflama ve regresyon ağacı (classification and regression tree - CART) [55, 72-74] ve rastgele orman (random forest-RF) [14, 39, 68, 71, 75-79] şeklindedir. Bazı çalışmalarda birden fazla makine öğrenimi algoritması kullanılarak birbirleriyle başarı ölçütleri kıyaslanmıştır [13, 14, 39, 46, 56, 66-69, 71, 78-80].

Santos ve arkadaşları [81], trafik kazaları verileri kullanarak gerçekleştirilen ve yaralanma şiddeti modellenmesinde kullanılan makine öğrenimi algoritmaları hakkında literatür araştırması yapmışlardır. RF algoritmasının, literatür araştırması yapılan bu çalışmaların içerisinde %29'unda kullanıldığı ve RF kullananların %70'inde RF'nin en yüksek tahmin performansı gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Umer ve arkadaşları[79], 49 eyalette ve Şubat 2016 ile Haziran 2020 arasında meydana gelen 3,5 milyon ulusal kazadan elde edilen verileri kullanarak trafik kazası çarpışma

şiddeti tahmin algoritmaları oluşturdular. Makine öğrenimi metotlarının performanslarını karşılaştırmak için doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F-skoru parametrelerini kullanmışlardır. RF'nin diğer metotlarla kıyaslandığını en iyi performansı gösterdiğini tespit etmişlerdir. Benzer bir çalışma olarak, kaza yaralanmasının ciddiyetini tahmin etmek için Jiang ve arkadaşları [80], 2011 ile 2015 yılları arasında ABD'nin Washington Eyaletinde meydana gelen 308 641 trafik kazası verisini kullanarak beş farklı makine öğrenimi metodu kullanmışlardır. Bunlar; RF, multinomial lojistik regresyon, sinir ağları, gradyan artırma makineleri (gradient boosting machine-GBM) ve adaboost şeklindedir. Algoritma performansları, F1 puanı kullanılarak değerlendirilmiştir. En iyi performansı gösteren algoritmayı GBM, en kötü performans göstereni ise, multinomial lojistik regresyon olarak bulmuşlardır.

Kang ve arkadaşları [76], Kore'de, inşaat sektöründe RF algoritması kullanarak iş kazası türlerini sınıflandırmak ve tahmin etmek için bir algoritma oluşturmuşlardır. Değişken önceliklendirmesi yaparak şantiyelerde iş kazası türlerini etkileyen önemli faktörleri belirlemiş ve bu faktörlerin iş kazası türleri ile ilişkisini incelemişlerdir. RF algoritmasının doğruluk puanını 0,713 olarak bulmuşlardır.

Zermane ve arkadaşları [82], Malezya'da inşaat sektöründe ölümcül yüksekten düşme kazalarını etkileyen olası faktörleri tespit eden bir tahmin modeli oluşturmak için makine öğrenimi kullanmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri seti, Malezya İş Sağlığı ve Güvenliği Departmanının kaza veri tabanından alınmış 3321 tane kazadan oluşmaktadır. Veri seti kazanın tarihi, yapılan iş, işyerinin bulunduğu bölge, kazanın özeti, doğrudan nedenleri, kök nedenleri gibi faktörleri içermektedir. Hangi algoritmanın veri setine daha iyi uyduğunu belirlemek için yedi farklı makine öğrenimi metodu (GBM, RF, DT, KNN, SVM, çok katmanlı algılayıcılar, lojistik regresyon) uygulanmış ve sonuç olarak bu çalışma için RF algoritmasının en uygun metot olduğunu belirlemişlerdir.

Poh ve arkadaşları [83], 2010-2016 yılları arasında Singapur'da inşaat sektöründe gerçekleşen kazaların otuz üç girdi değişkeninden (özellikler veya bağımsız değişkenler), 13 girdi değişkeni özellik seçimi kombinasyonu ve DT algoritması kullanılarak seçmişlerdir. Daha sonra, kaza oluşumunun ve ciddiyetinin tahminine yönelik algoritmaları eğitmek için beş tane makine öğrenimi algoritması (DT, RF, LR, KNN ve SVM)

kullanmışlardır. Doğrulama değerine göre kıyaslama yaptıklarında RF algoritmasının, 0,78'lik bir doğrulukla en iyi tahmin performansını sağladığını görmüşlerdir.

Lee ve arkadaşları [84] gerçekleştirdikleri çalışmada yağmurlu mevsimlerde trafik kazalarının şiddetini tahmin etmek için RF, yapay sinir ağı ve DT algoritmalarını kullanmışlardır. Üç tane veri seti kullanmışlardır: yol verileri, yağış verileri ve Seul, Kore'de bulunan Naebu otoyolunda gerçekleşen dokuz yıllık trafik kazası verileri. Yapılan çalışma sonucunda RF algoritması diğer algoritmalarından daha yüksek performans göstermiştir.

Chen, M.M ve Chen M. C. [85], makalelerinde karayolu kazalarının neden olduğu hasarı azaltmak için birbiriyle ilişkili faktörleri keşfetmek için lojistik regresyon , CART ve RF algoritmalarını kullanmışlardır. İlişkili faktörleri araştırmak ve verimli tahmin algoritmaları oluşturmak amacıyla, şiddet ve 17 ilişkili faktör dahil olmak üzere Tayvan'ın 2015-2019 yılları arasındaki otoyol trafik kazası inceleme raporlarından alınan her kazadan 18 veri parametresini kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda RF algoritmasının 0,7338 doğruluk değeri ile diğer algoritmalarından daha yüksek performans göstermiştir.

Zhang ve arkadaşları [68], çalışmalarında çeşitli makine öğrenimi algoritmaları ile istatistiksel yöntemler arasındaki tahmin doğruluğu ve değişken önem tahmini de dahil olmak üzere tahmin performansını, çarpışma şiddeti analizi için karşılaştırmışlardır. Kaza şiddeti, yol geometrisi ve trafik akışı verileri, Florida'daki otoyol sapma alanlarında toplanmıştır. En sık kullanılan iki istatistiksel yönteminden olan sıralı probit (OP) modeli ve multinomial logit modelini ve KNN, RF, SVM algoritmalarını kullanmışlardır. Makine öğrenimi algoritmalarının istatistiksel yöntemlerden daha yüksek tahmin doğruluğuna sahip olduğunu tespit etmişlerdir. RF'in test setinde 0,5390 ile en yüksek doğruluğa sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. KNN ve SVM ise sırasıyla 0,5290 ve 0,5260 doğruluk değerine ulaşmıştır.

3. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde iş kazaları, iş kazası istatistiklerinin metodolojisi ve metal sektörünün iş kazası istatistikleri hakkında bilgiler paylaşılacaktır.

3.1. İş Kazası Kavramı

İş kazası, çeşitli uluslararası kurumlar tarafından tanımlandığı gibi ülkemiz mevzuatında da farklı kanunlarla tanımlanmıştır. Dünya Sağlık Teşkilatı (World Health Organization - WHO) iş kazasını "*önceden planlanmamış, çoğu zaman yaralanmalara, makina ve teçhizatın zarara uğramasına veya üretimin bir süre durmasına yol açan olay*" olarak tanımlamaktadır. ILO ise iş kazasını; "*belirli bir zarar veya yaralanmaya yol açan, önceden planlanmamış beklenmedik bir olay*" şeklinde tanımlamıştır [86].

5510 sayılı Sosyal Sigortalar Kanununda iş kazası;

“İş kazası;

- a) Sigortalının işyerinde bulunduğu sırada,
- b) İşveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğu iş nedeniyle,
- c) Bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda,
- d) Bu Kanunun 4 üncü maddesinin birinci fıkrasının (a) bendi kapsamındaki emziren kadın sigortalının, iş mevzuatı gereğince çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda,
- e) Sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş gelişi sırasında, meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya sonradan bedenen ya da ruhen engelli hâle getiren olaydır. “

şeklinde tanımlanır [87]. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu’nda ise iş kazası; “İşyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen engelli hâle getiren olay” olarak tanımlanır [88].

Türkiye’de kaza bildirimleri 5510 sayılı kanun doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Türkiye’de iş kazası istatistik kayıtlarına 2012 ve öncesi yıllarda, sadece ödemesi yapıp işlemi tamamlanan iş kazası sayıları esas alınmaktaydı. Artık 2013 yılından itibaren; iş kazası yaşayan sigortalı çalışan sayılarına ait veriler Avrupa Birliği (AB) standartları uygulanarak; iş kazası bildirim formuyla, elektronik ortamda kaydedilmeye başlanmıştır.

3.2. İş Kazalarının Nedenleri

Kazaların önlenabilir olması ve önlemeye duyulan ihtiyaç; araştırmacıları kazaya neden olan faktörleri araştırmayı zorunlu kılmaktadır. Kazaların nedenlerinin incelenip, belirlenen nedenlerin ortadan kaldırılması, aynı kazanın tekrarlanmasını önleyecektir. Cascio, iş kazalarının temel iki sebebi olduğunu söylemiştir. Bu sebepler; güvensiz davranışlar ve güvensiz çalışma koşullarıdır. Güvensiz çalışma koşullarını ise kendi içerisinde fiziksel (bozuk makine ve ekipman, makine koruyucu eksiliği, yetersiz makine koruyucusu, vb.) ve çevresel koşullar (gürültü, radyasyon, toz ve stres vb.) olarak iki kısma ayırmaktadır [16, 89].

İş kazalarının sebeplerini belirlemek amacıyla farklı tarihlerde farklı araştırmacılar tarafından çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu araştırmaların çoğunluğu ABD’de işyerlerinin sigorta işlemlerini yapan özel sigorta şirketleri tarafından yapılmıştır. Özel sigorta şirketlerinin bu araştırmaları yapmaktaki amaçları şirketlerinin maliyetlerini azaltmak ve işyerlerini sigorta ederken sözleşmelerde dayatacakları ön koşulları belirlemektir. ABD’de, iş kazaları konusunda çalışmalar yürüten en önemli araştırma kuruluşlarından Ulusal Güvenlik Konseyi Komitesi (NSCC) verilerine göre, iş kazaları mekanik etkenler (%18), çalışan etmeni (%19) ve bunların kombinasyonu (%63) sebebiyle meydana gelmektedir [90, 91].

Türkiye’de ise; Haksöz, Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu’nda gerçekleştirdiği bir araştırmada, kazaların; güvensiz davranış ve KKD kullanmama (%95) ve teknik nedenlerden kaynaklı (%5) olduğunu bulmuştur. Keping, iş kazalarının %88’inin insan kaynaklı olduğu, %2’sinin insan kontrolü dışında ve %10 oranında ise mekanik etkenlere bağlı olduğunu belirtmiştir [90].

MESS üye işyerlerinde gerçekleşen iş kazalarının; %87 oranı ile güvensiz davranışlardan, %13 oranı ile güvensiz durumlardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Güvensiz davranışların başında dikkatsiz çalışma, KKD kullanmama, ekipman ve aletleri uygun kullanmamak gelmektedir [92].

İş kazalarının nedenlerini belirlemek amacıyla yapılan çeşitli çalışmalar incelendiğinde kaza nedenleri ile ilgili farklı oranlara ve sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Kazaların meydana gelmesinde genellikle tek bir sebep aranmaması gerektiği, kazaların birçok faktörün bir araya gelerek oluşturduğu olaylar zinciri sonucunda meydana geldiği görülmektedir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki; iş kazalar insanlar (%80), fiziksel ve mekanik çevre koşulları (%18) ve umulmadık olaylar (%2) kaynaklı yaşanmaktadır. Başka bir deyişle iş kazalarının yaklaşık olarak %98'i, yeterli kontrol önlemleri alınarak meydana gelmesi engellenebilecektir [90, 93].

3.2.1. Güvensiz davranış

Çalışanların güvensiz davranışları; insanın psikolojik ve fizyolojik yapısıyla, çevre koşullarından kaynaklanmaktadır.

Fizyolojik koşulların çalışanları güvensiz davranışlara yönelterek, kazaların oluşmasına sebebiyet verdiği görülmektedir. Çalışanlar, çalışma hayatındaki işlerini gerçekleştirirken; kas metabolizması, solunum, dolaşım, salgı ve merkezi sinir sistemi gibi fonksiyonlarını kullanmaktadır. Yaptıkları işin yürütümü ile bu sistemler bağlantılı bir şekilde ilerlemektedir. Algılama organlarının yeterli ve sağlıklı olması; insanın fizyolojik fonksiyonlarını düzenli ve yeterli miktarda gerçekleştirmesi sağlamaktadır. İnsan metabolizması, çalışma süresince belirli miktarda enerji sarfederek, belir bir düzeyde işi yapabilme kapasitesindedir. Çalışanlara, fiziksel iş becerisi ve iş gücü kapasitesinin üzerinde iş yükü verilmesi, çalışanlarda yorgunluk sebebiyle hareketlerinin ağırlaşmasına sebep olmaktadır.

Çalışanların uyku düzeni bozuklukları, fiziksel ve kas yorgunluğunun olması, göz rahatsızlıkları ve görme bozuklukları, sağırılık, körlük, ameliyatlar ve yaralanmaların tam iyileşmemesi sonucu oluşan sorunlar gibi fiziksel yetersizlikler kazalara neden olabilmektedir.

Çalışanların kişilik yapısı, yaşı, tecrübesi, kazaya olan yatkınlığı, ilgisizliği, stresi, dikkatsizliği, duygusal durumu gibi psikolojik koşulları incelendiğinde kaza oluşumunun artışına ya da azalmasına sebebiyet verdiği görülmektedir.

Çalışanlar; farklı alet ve makine kullanma, ölçme, denetleme, düzenleme fonksiyonlarını yerine getirerek sürekli algılamak ve tepki vermek durumunda kalmaktadır. Bu fonksiyonları yerine getirebilmeleri için çalışanların merkezi sinir sistemi bileşenlerinin ve duyu organlarının tetikte olmalıdır. İnsan metabolizması gereği bu yeteneklerin belli ölçülerin ötesine geçmesi mümkün olmamaktadır. Çalışanın, zihinsel ve bedensel yeteneğini ve gücü önemsenmeden işinin belirlenmesi ve iş yükünün düzenlenmesi; çalışanın makine ile güvenli ve uyumlu çalışmasını olumsuz etkilemekte ve güvensiz davranışlara sebep olmaktadır [94-98].

İş kazası yaşanmasında etkili bir diğer neden ise çevresel koşullardır. Çalışanın, ortamla güvenli şekilde uyum sağlayabilmesi için uygun fiziksel koşullar sağlanmalıdır. Çevresel koşulları kimyasal, ergonomik, fiziksel ve biyolojik koşullar olarak örneklendirilmektedir.

Çalışma ortamının çevresel koşulları; İSG koşullarına uygun olmadığında çalışanın biyolojik, fiziksel ve psikolojik açıdan motivasyonu azalmakta ve çalışma hızı ve kapasitesi olumsuz etkilenerek iş kazalarına sebep olabilmektedir. Çalışma ortamındaki gürültü, yetersiz aydınlatma, sıcaklık, nem, kirli hava, toksik sıvılar gibi olumsuz iş hijyeni koşulları, çalışanlarda yorgunluk, dikkatsizlik, hareketlerinin yavaşlaması, duyu organlarının yetersiz kalması gibi durumlara sebep olmakta ve buna bağlı olarak güvensiz davranışlara sebep olmaktadır. Bu nedenle, çalışma şartlarının uygun şartlarda olması ve İSG koşullarına uygun sağlıklı ve güvenli çalışma ortamının sağlanması büyük önem arz etmektedir [16, 97, 99].

Kaza oluşumuna sebep olabilecek güvensiz davranış örnekleri:

- Görev verilmeden ve görev talimatında bulunmayan bir işi yapmak,
- Tedarik edilmiş uygun KKD'yi sorumsuz bir şekilde kullanmamak,
- Ehliyetsiz ve tehlikeli hızda araç kullanmak,
- Yetkisi olmayan makineyi kullanmak,

- Doğru ve güvenilir ekipman bulunmasına rağmen yanlış ekipmanın kullanılması,
- Makine koruyucularını kullanılmaz duruma getirmek,
- Güvensiz şekilde istif, yükleme, karıştırma yapmak,
- Yasak olmasına rağmen üretim alanında koşmak,
- Uyarıları dinlemeden tehlikeli yerlerde çalışmak

şeklindedir.

3.2.2. Güvensiz durum

Güvensiz durumlar, güvensiz davranışların yanı sıra iş kazalarına neden olan temel etkenlerden birisidir. Üretim teknolojisi ve üretim araçlarının niteliği, üretim sürecinin düzensizliği, denetim ve yönetim hataları, depolama yanlışlıkları, iş yeri düzensizliği, bakım ve kontrollerin eksikliği, sağlıksız çevre koşulları gibi birçok faktör işyerinde güvensiz durumların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Güvensiz durumların başında üretimde kullanılan teknolojinin uygunsuzluğu bulunmaktadır. Eski teknoloji veya uygun olmayan teknoloji kullanarak üretim yapan işyerlerinde iş kazalarının yaşanma ihtimali artmaktadır. Teknoloji geliştikçe ekipmanlar daha güvenli ve üretime uygun bir şekilde tasarlanmaktadır. Bu yeni tasarımlar sayesinde iş kazalarının gerçekleşme ihtimali azaltılmaktadır. İşyerlerinin kuruluş aşamasında eski teknolojiler kullanılırsa, bu sistemlerin getirdiği güvensiz durumların ilerleyen süreçte düzeltilmesi ve iş güvenliği nedeniyle alınacak kontrol önlemlerinin pahalı, gerçekleştirmesi ve planlaması zor ve hatta bazen imkânsızdır. Bu sebeple, kuruluşunda güvensiz durumları içeren işyerleri genellikle bu güvensiz durumları ortadan kaldıramamakta ve iş kazalarını önleyememektedir.

Üretim aşamasında kullanılan bütün makine ve ekipman; çalışanın yeteneklerine ve yapılan işe uygun, makinelerin kumandaları güvenli kullanılamıyor, iş ekipmanlarının koruyucuları bulunmuyor, makinelerin göstergeleri okunması kolay ve anlaşılır, iş ekipmanlarının periyodik bakım ve kontrolleri uygun yapılmıyor olması, güvensiz durumlara sebep olmakta ve iş kazalarının yaşanması kaçınılmaz olmaktadır.

İş ekipmanlarının yerleşim düzeninde, üretimde süresince kullanılan bütün maddelerin (hammadde, ara ürünler, son ürünler vb.) depolanması, yüklemesi ve nakliyesinde yapılan uygunsuzluklar ve eksiklikler güvensiz durumların oluşmasına sebep olmaktadır [100, 101].

İşyerlerinde uygun olmayan fiziksel ve kimyasal etkenlerin sebep olduğu çevre koşulları; çalışanlara etkileri nedeniyle güvensiz davranışlara kaynaklık etmekte ve işyerlerindeki güvensiz durumların başında gelmektedir[95, 96].

Güvensiz durumlara;

- İşyerinde uygun olmayan yeterli koruyucu olmaması,
- Makine ve tezgâhların koruyucularının bulunmaması,
- Bozuk makine, alet veya tezgâhın kullanılması,
- Hasar görmüş, kusurlu, pürüzlü, sivri, kırık, kaygan, eskimiş iş ekipmanları kullanılması,
- Güvensiz şekilde temin edilmiş makine, alet, tesis ve benzerlerinin varlığı,
- Yetersiz aydınlatma,
- Uygun olmayan kişisel koruyucu donanım bulundurulması ve kullanılması,
- Teknolojik yetersizlikler,

örnek olarak verilebilmektedir [16].

İş kazaları çalışanların güvensiz davranışları ile iş yerindeki güvensiz durumlar sebebiyle meydana gelmektedir. İş yerindeki yönetim, gözetim ve denetim eksiklikleri ile çalışanın ve işverenin İSG kültürü eksikliği ise iş kazalarının dolaylı nedenlerindendir. Bu nedenlerin tamamı yok edilmedikçe, iş kazalarının önlenmesi mümkün olmayacaktır [96].

3.3. İş Kazası İstatistikleri

İş kazalarına ilişkin verileri üç günden fazla iş göremezlikle sonuçlanan tüm kazalar için uyumlu hale getirmek amacıyla 1990 yılında ESAW projesi başlatılmıştır. 2001 yılında, Avrupa İstatistik Bürosu (Eurostat) ve İstihdam ve Sosyal İşler Genel Müdürlüğü

tarafından 1990 yılından bu yana metodoloji üzerine yapılan çalışmaları ortaya koyan “Avrupa İş Kazaları İstatistikleri – Metodoloji (2)” yayınlanmış ve halen kullanılmaktadır [102].

Avrupa İş Kazası İstatistikleri metodolojisi (ESAW); iş kazası sonrası işe başlama kazadan sonraki 5. günde meydana gelmiş ise başka bir deyişle iş göremezlik süresi 3 iş günü ve üzeri ise bu iş kazasını istatistiklerine yansıtılmaktadır. ESAW metodolojisiyle, AB ülkeleri içinde veri kıyaslaması yapılabilmesi amacıyla iş kazaları için yaralanmaya sebep olan durum, yaranın türü, olaya sebep olan sapma gibi birçok alt kategorilere ait bilgiler standart haline getirilmiştir [102].

İş kazalarına ilişkin sağlanacak ESAW metodolojisiyle uyumlaştırılmış ve ortak veri seti aşağıdaki başlıkları kapsamaktadır:

- Yaralı kişinin özellikleri,
- Kaza şiddeti (kayıp gün sayısı) dahil olmak üzere yaralanmanın özellikleri,
- Ekonomik faaliyet dahil olmak üzere işletmenin özellikleri,
- İşyerinin özellikleri,
- Sırası da dahil olmak üzere kazanın özellikleri,
- Kazanın nedenlerini ve koşullarını karakterize eden olay.

İş kazası istatistikleri dünyada çeşitli kurumlar tarafından toplanıp yayınlamaktadır. Ülkemizde ise bu görev Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yapılmakta ve belirli periyodlarla yayın gerçekleştirilmektedir. SGK, Sosyal Sigortalar Kurumu, Bağ-Kur Genel Müdürlüğü ve Emekli Sandığı Genel Müdürlüğünü aynı çatı altında toplayan 20.05.2006 tarihli ve 26173 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 5502 sayılı Sosyal Güvenlik Kurumu Kanunu ile kurulmuştur. Ülkemizde yaşanan iş kazaları ve meslek hastalıkları işveren tarafından SGK’ya bildirilmek zorundadır [103, 104].

İş kazası istatistiklerinde sektörler ve yıllar arasında kıyaslama yapılabilmesi için insidans ve mortalite oranı kullanılmaktadır.

3.3.1. İnsidans oranı

İnsidans oranı, bir takvim yılındaki iş kazası sayısının o yıl için hesaplaması yapılan referans gruptaki çalışan sayısına bölünmesi ve ardından 100 000 ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır [102, 105].

$$\text{İnsidans Oranı} = \frac{\text{Kaza Sayısı}}{\text{(ölümcül veya ölümcül olmayan) Kapsam dahilindeki çalışan sayısı}} \times 100000 \quad (3.1)$$

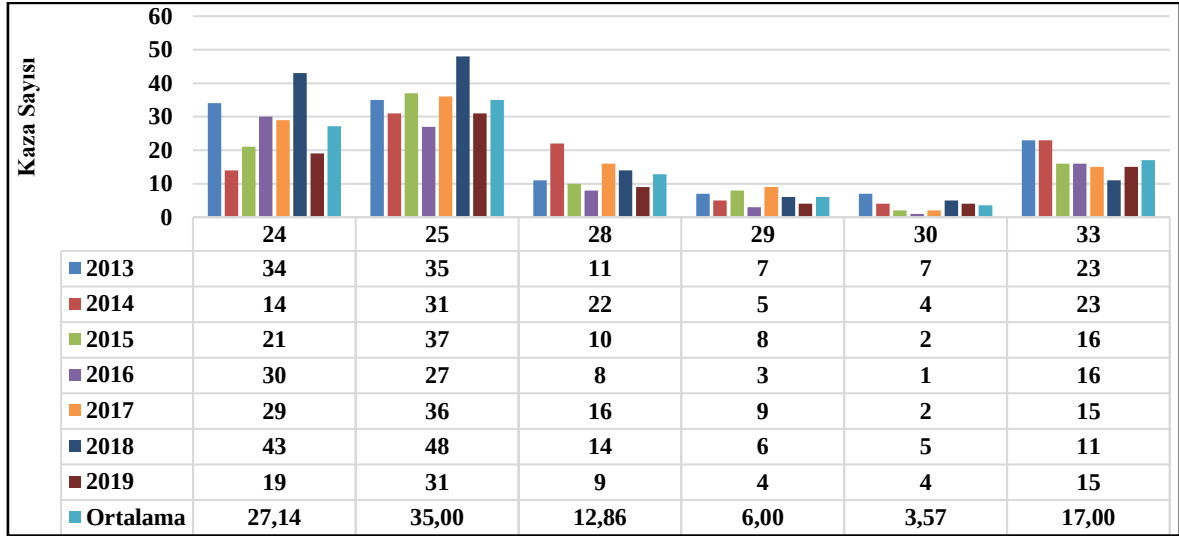
3.3.2. Mortalite oranı

Mortalite oranı, bir takvim yılındaki ölümlü kaza sayısının o yıl için hesaplaması yapılan referans gruptaki çalışan sayısına bölünmesi ve 100 000 ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır [102, 105].

$$\text{Mortalite Oranı} = \frac{\text{Ölümlü kaza sayısı}}{\text{Kapsam dahilindeki çalışan sayısı}} \times 100000 \quad (3.2)$$

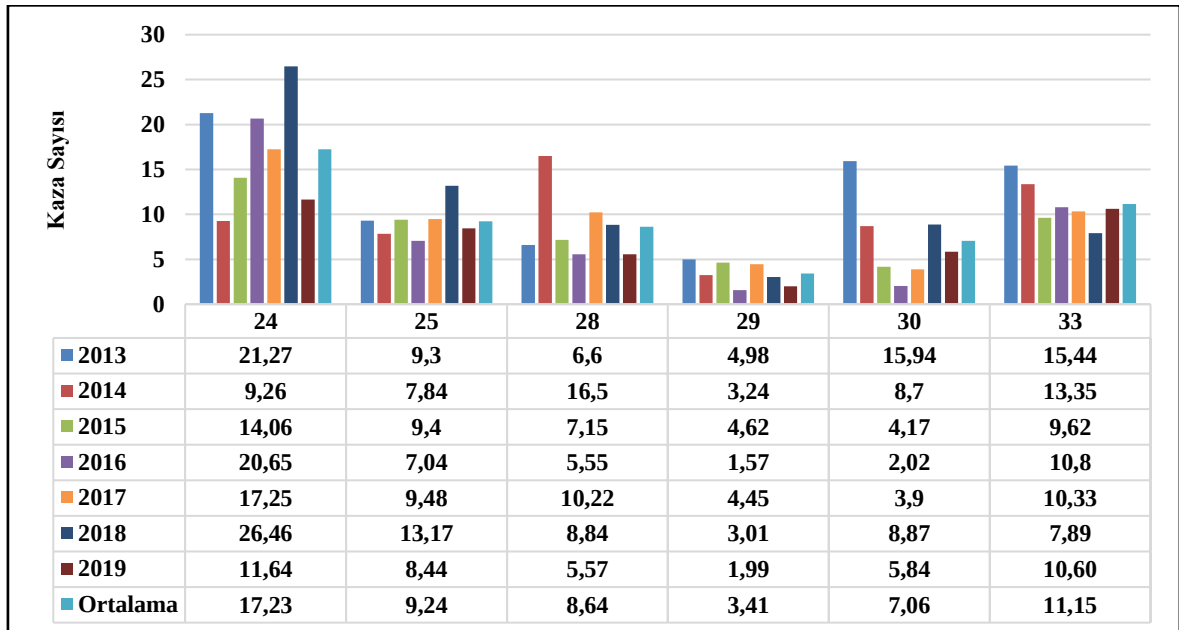
3.4. Türkiye’de Metal Sektörü İstatistikleri

Metal sanayi; yoğun üretimi, üretim tekniği çeşitliliği ve kullanılan malzemelerden dolayı oldukça fazla alt sektör grubunu içermektedir. Metal sektörü özelinde araştırma yapabilmek için hangi alt sektörlerden oluştuğunu belirlemek gerekmektedir. Türkiye’de sıklıkla iş kazası yaşanan sektörlerden biri olan metal sektörü özelinde; 2013-2019 yılları arasındaki SGK tarafından yayınlanmış istatistikler incelenmiştir. Metal sektörü hesaplamalarında İş Sağlığı Ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği’nde yer alan 24 (Ana metal sanayii), 25 (Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (makine ve teçhizat hariç)), 28 (Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı), 29 (Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler (yarı römork) imalatı), 30 (Diğer ulaşım araçlarının imalatı)ve 33 (Makine ve ekipmanların kurulumu ve onarımı) NACE kodlu alt sektörlerde yaşanmış kazalar incelenmiştir [106]. 2013-2018 yılları arasında gerçekleşen ölümlü iş kazası sayısının metal sektörünün alt kollarına göre dağılımı Şekil 3.1’de verilmiştir [8].



Şekil 3.1. Ölümlü iş kazası sayısının metal sektörü alt kollarına göre dağılımı

Yukarıdaki şekilde 7 yılın ortalaması incelendiğinde ölümlü kaza yaşanma sıralaması 25, 24, 33, 28, 29 ve 30 şeklindedir. 100 000 çalışanda ölümlü iş kazası oranlarının metal sektörünün alt kollarına göre dağılımı ise Şekil 3.2’de verilmiştir [8].



Şekil 3.2. 100000 çalışanda ölümlü iş kazası oranlarının metal sektörünün alt kollarına göre dağılımı

Ölümlü iş kazası sayılarının yüz bin çalışana oranlamasından çıkan grafikte de görüldüğü gibi en çok kaza sırasıyla 24, 33, 28, 25, 30 ve 29 NACE koduna sahip işyerleri şeklindedir. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 incelendiğinde, ölümlü iş kazası gerçekleşme sayısı fazla

olmasından dolayı 24 ve 25 NACE koduna sahip işyerlerinin kazalarının ayrıntılı bir şekilde incelenmesinin uygun olacağı görülmektedir. 24 ve 25 NACE koduna sahip işyerlerine ait meslek hastalıkları, insidans ve mortalite oranı dağılımları ise Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Meslek hastalıkları, insidans ve mortalite oranı dağılımları

Meslek Hastalığı								
NACE	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Ortalama
24	11	6	29	16	49	64	95	22,2
25	4	20	26	17	28	34	56	19
İnsidans Oranı								
NACE	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Ortalama
24	7546	8170	8392	9005	9323	10711	10052	9028
25	4174	4690	4883	5377	6224	7054	6559	5566
Mortalite Oranı								
NACE	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Ortalama
24	21,27	9,26	14,07	20,65	17,25	26,46	11,64	17,23
25	9,31	7,85	9,40	7,04	9,48	13,17	8,44	9,24

24 NACE kodlu sektör, 26.12.2012 tarihli ve 28509 sayılı Resmî Gazete ’de yayımlanan İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği’nin NACE Rev.2. sınıflandırmasına göre üçlü düzeyde 5 alt sektör, dörtlü düzeyde ise 16 alt sektörden oluşmakta ve Ek-1 Çizelge 1.1’deki gibi sınıflandırılmaktadır [106]. Ana metal sanayii metalürjik ve diğer metalürjik teknikleri kullanarak metallerin eritilmesi ve/veya ayrıştırılması faaliyetlerini kapsamaktadır.

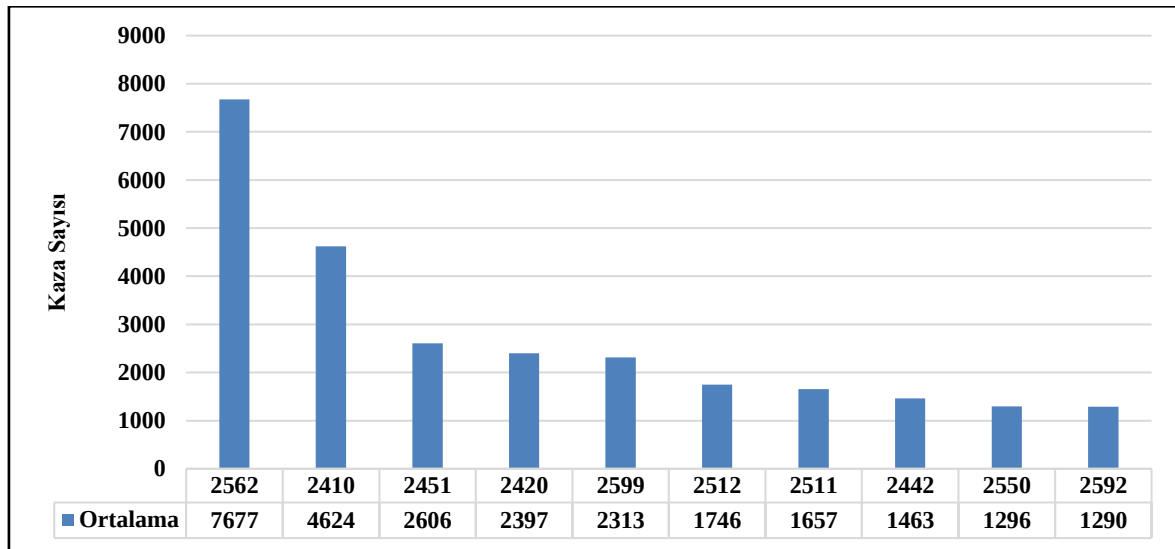
25 NACE kodlu fabrikasyon metal ürünleri imalatı (makine ve teçhizat hariç) sektörü ise NACE Rev.2. sınıflandırmasına göre üçlü düzeyde 8 alt sektör, dörtlü düzeyde ise 17 alt sektörden oluşmaktadır. 25 NACE koduna ait alt sektörler ise Ek-1 Çizelge 1.2’de verilmiştir. Fabrikasyon metal ürünleri imalatı, genellikle bilinen bir işleve sahip metal ürünlerin üretimini ve hareketli parçalarla çalışan, tamamıyla elektrikli, elektronik veya optik olmayan ürünlerin (bazen diğer materyallerle) daha karmaşık birimlere dönüştürülmesine yönelik bağlantı veya montaj ürünlerinin imalatını kapsamaktadır.

İş yerlerinin İSG ile ilgili tehlike sınıfı; işyerinde yapılan iş sebebiyle çalışanların meslek hastalığına yakalanma ve çalışanın iş kazası geçirme ihtimali ile literatürde yapılmış araştırmaların çıktıları değerlendirilerek belirlenmektedir. Üretim süreçleri, girdiler, kullanılan kimyasallar ve son ürünler, ara ürünler incelenerek sektöre ait ayrıntılı bilgiler

edinilir ve tehlike sınıfı belirlenir. Bu kapsamda 24 ve 25 NACE kodu altındaki tüm sektörler incelendiğinde metal sektörü faaliyetlerinin “çok tehlikeli” veya “tehlikeli” sınıfta bulunduğunu, “az tehlikeli” sınıfta ise hiçbir faaliyetin yer almadığı görülmektedir.

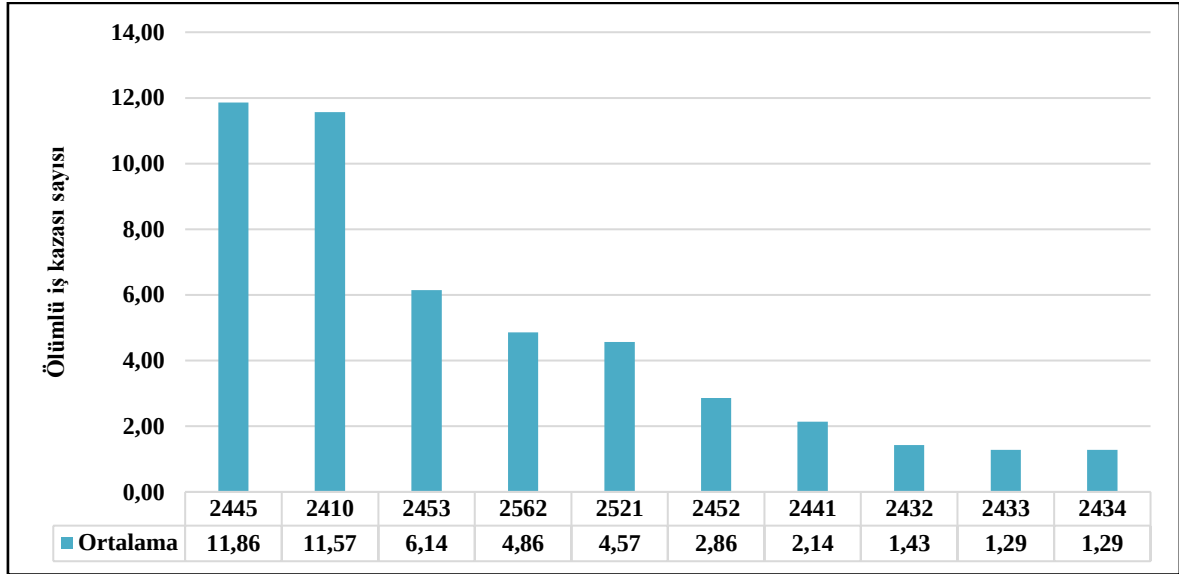
3.4.1. Metal sektörünün alt kollarında iş kazası verileri

2013-2019 yılları arasında yaşanan; 24 ve 25 NACE kodlu ve bu sektörlerin alt kollarının iş kazası istatistikleri incelenmiştir. Her bir iş kolunun 2013-2019 yıllarında yaşanan iş kazalı sayısının ortalaması alınmış ve en fazla iş kazası yaşan 10 NACE kodu Şekil 3.3'te verilmiştir [8].



Şekil 3.3. 24-25 NACE kodlarında gerçekleşen iş kazalı ortalamaları

Her bir iş kolunun 2013-2019 yılları arasında yaşanan ölümlü iş kazası sayısının ortalaması alınmış ve en fazla ölümlü iş kazası yaşanan 10 NACE kodu Şekil 3.4'te verilmiştir [8].



Şekil 3.4. 24-25 NACE kodlarında gerçekleşen ölümlü iş kazası ortalamaları

Yukarıdaki şekillerde de görüleceği gibi; iş kazası en fazla 2562 ve 2410 NACE koduna sahip işyerlerinde gerçekleşirken, en fazla ölümlü kaza 2445 ve 2410 NACE koduna sahip işyerlerinde gerçekleşmiştir.

4. MAKİNE ÖĞRENİMİ

Makine öğrenimi; programlanmadan kendilerine beslenen verilere dayalı olarak öğrenebilen, ayarlayabilen ve iyileştirebilen sistemler tasarlama yöntemidir. M makine öğrenimi uygulamaları, genellikle büyük veri olarak adlandırılan büyük miktarlardaki veriyi analiz etmenin ve bunlardan algoritmalar oluşturmanın bir yoludur. Makine öğrenimi bir yapay zekâ (AI) uygulaması olup AI'nın bir alt alanıdır. Makine öğrenimi çoğu zaman yapay zekâ teknolojisinin temelidir. Makine öğrenimi teknolojisinin amacı; verilerin yapısını anlamak ve bu verileri daha sonra anlaşılabilen ve insanlar tarafından yaşam boyunca çeşitli uygulamalar için kullanılabilen tahminler oluşturarak belirli modellere sığdırmaktır [107, 108].

Makine öğrenimi uygulamaları, bilgisayara nasıl öğreneceğini öğretmeye dayanmaktadır. Tahmine dayalı ve istatistiksel algoritmaların yanı sıra, verilerden sonuç çıkarmak için örüntü tanımayı da kullanmaktadır. Makine öğrenimi; mevcut verilerin, istatistiksel yöntemlerin ve hesaplama gücünün hızla ve aynı anda geliştiği bir ortamda ortaya çıkmıştır. Verilerdeki büyüme, ek bilgi işlem gücünü gerektirmiş ve bu da büyük veri kümelerini analiz etmek için istatistiksel yöntemlerin geliştirilmesini teşvik etmiştir. Böylelikle, daha büyük ve karmaşık verilerin toplanmasına izin veren bir ilerleme gerçekleşmiştir [109].

Makine öğrenimi yöntemleri, verileri anlamaya ve verilerden tahminler yapmaya yardımcı olan karmaşık modeller ve algoritmalar geliştirmek için kullanılmaktadır. Makine öğrenimindeki analitik modeller, analistlerin geçmiş verilerdeki eğilimlerden ve ilişkilerden öğrenerek tahminler yapmasına olanak tanımaktadır. Makine öğrenimi algoritma oluşturmayı otomatikleştirerek, verilerden yinelenmeli olarak öğrenmek için tasarlanmıştır [107].

Makine öğrenimi, tahmine ve istatistiksel algoritmalara dayalı olarak çalışır. Algoritmalar, sistemden daha fazla veri akarken öğrenmek ve geliştirmek için tasarlanmıştır. Özünde, makine öğrenimi öncelikle karmaşık verileri anlamlandırmakla ilgilenmektedir. Bu, geniş çapta uygulanabilir bir özelliktir. Seçim sonuçlarını tahmin etmek, e-postadan gelen istenmeyen mesajları belirlemek ve filtrelemek, suç oluşturacak faaliyetleri öngörmek, trafik sinyallerini yol koşullarına göre otomatikleştirmek, fırtınalar ve doğal afetler için

finansal tahminler üretmek, kazaların sebeplerini ve oluşma ihtimallerini belirlemek, müşteri kayıplarını incelemek, otomatik pilotlu uçaklar oluşturmak makine öğrenimi uygulamalarına bazı örneklerdir [107-109].

Makine öğrenimi uygulamalarının birçok avantajı vardır. Bu avantajlar; sektöre göre sınıflandırılabileceği gibi makine öğreniminin kendisinden sağlanan avantajlar olarak da incelenebilir. Makine öğreniminin en büyük avantajlarından biri, eğilimleri ve modelleri tanımlarken çok basit hale getirmesidir. Verileri izleme, madencilik yapma ve okuma yeteneğine haiz bir makineye sahip olmak, eğilimleri ve modelleri belirlemeyi çok daha kolaylaştırmaktadır. Geçmişte eğilimler ve modeller belirlenirken; ciddi miktarda bilgi insanlar tarafından gözden geçirilmek zorundaydı. Bu, ne kadar verinin mevcut olduğuna bağlı olarak haftalar hatta aylar sürmekte ve insanlar verileri kolayca gözden kaçırabileceği için yanlış analiz yapma ihtimalini fazlaca artırmaktaydı. Öte yandan, makine öğrenimi uygulamalarıyla bilgisayarlar, milyonlarca hatta yüzbinlerce veriyi taradıktan sonra dakikalar içinde eğilimleri ve modelleri belirlemektedirler. Makine öğrenimi bir başka avantajı ise insan müdahalesine gerek olmamasıdır. Bu da cihazların otomatik davranışlar kullanarak kendilerini sürekli geliştirebileceği anlamına gelmektedir. İnsanların müdahalesi olmadan ve kendilerini sürekli iyileştirmeleri ile karmaşık görevleri kendi başlarına tamamlayabilen cihazlara sahip olmak, teknolojinin gelişme biçiminde büyük değişiklikler görmeye başlayabileceğimiz anlamına gelmektedir [107].

4.1. Makine Öğrenimi Metotları

makine öğrenimi algoritmaları, tahminlerde bulunurken verileri nasıl öğrendiğine gözetimli öğrenme (supervised learning) ve gözetimsiz öğrenme unsupervised learning) olarak ikiye ayrılmaktadır [110].

4.1.1. Gözetimli öğrenme

Gözetimli öğrenme yöntemi, makine için hem girdileri hem de istenen çıktıları içerebilen belirli veri kümelerinin matematiksel modellerini oluşturan bir dizi algoritmadan oluşur. Öğrenme, girdiler ile istenen çıktı veya bazı etiketler arasındaki ilişkiyi kurarak bir model oluşturmayı içermektedir. Denetimli öğrenme yöntemine girilen veriler, eğitim verileri olarak bilinir ve temel olarak bir veya daha fazla girdi ve tipik olarak yalnızca bir istenen

çıktıyı içeren eğitim örneklerinden oluşmaktadır. Bu çıktı "gözetim sinyali" olarak bilinmektedir [107-109].

Gözetimli öğrenme modeli kurulduktan sonra, gelecekteki olayları tahmin etmek için yeni, bilinmeyen verilere etiket (label) uygulamak için kullanılabilir. Buradaki amaç; geçmiş verilerden öğrenmek ve oluşturulan öğrenme algoritmasını kullanarak gelecekteki olaylar için tahmin yapmak üzere yeni verilere uygulamaktır. Denetimli öğrenme problemleri, sınıflandırma problemleri ve regresyon algoritmaları olarak ikiye ayrılabilir [107-109].

Sınıflandırma algoritmaları, sınırlı sayıda değer kullanarak sınırlı çıktılar oluşturmak için kullanılabilir; bu, makinenin yapabileceği sınırlı sayıda "eylem" olduğu anlamına gelmektedir [107]. Burada etiketler, girdilerin iki veya daha fazla sınıfa bölündüğü ayrık kategorilerdir ve görünmeyen girdileri bu sınıfların bir veya daha fazlasına (çok etiketli sınıflandırma) atayan bir model oluşturması gerekmektedir. Bu genellikle denetimli bir şekilde gerçekleştirilir [108].

Sınıflandırma, verileri önceden belirlenmiş sınıflara veya kategorilere atama işlemidir. Bankaların, yeni müşterilerine kredi verirken yüksek derecede riske sahip olarak sınıflandırılıp sınıflandırılmayacağını tahmin etmek için potansiyel borçluları incelemesi, istenmeyen e-posta filtrelemesi yapılması amacıyla gelen postaların "istenmeyen posta" ve "istenmeyen posta değil" şeklinde sınıflandırılması sınıflandırma algoritmasının örnekleridir [108].

Sınıflandırma, yeni verileri eğitim setinin gözlemlerine göre sınıflandırmak için algoritmaları kullanmaktadır. Benzerlikleri bulmak için bir eğitim setinin kullanıldığı denetimli bir öğrenme tekniğidir. Girdiler, eğitim veri setine göre sınıflandırılır. E-postaların "istenmeyen posta" veya "istenmeyen posta değil" olarak sınıflandırılabilmesi veya bir testin "negatif" ve "pozitif" olarak sınıflandırılabilmesi gibi çıktı değişkeninin bir kategori olması bir sınıflandırma sorunudur.

En yaygın kullanılan sınıflandırma algoritmalarından bazıları KNN, RF ve DT algoritmalarıdır. Bu algoritmalar veri madenciliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır [107-109].

Regresyon algoritmaları, makinenin programlayıcısı tarafından belirlenen belirli bir aralıkta herhangi bir sayısal değere sahip olabilen çıktılardır. Makine öğreniminde kullanılan birkaç regresyon algoritması vardır. Bunlardan bazıları; doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon, lojistik regresyondur. Bunların yanı sıra yaygın olarak kullanılan bir diğer algoritma ise SVM'dir.

4.1.2. Gözetimsiz öğrenme

Gözetimsiz öğrenme; girilen tek verinin girdiler olduğu bir dizi algoritmadır. Algoritma bulduğu verilere dayalı olarak birlikte gruplamaktan ve ideal çıktılar oluşturmaktan sorumludur. Gözetimsiz öğrenme algoritmalarının genellikle belirli hedefleri vardır, ancak, kontrol edilmezler. Gözetimsiz öğrenmenin hedefleri, büyük verilerde gizli bir model bulmaktır [107, 108].

Gözetimsiz öğrenme yöntemleriyle çalışan algoritmalarındaki bilgiler, insanlar tarafından etiketlenmemekte, sınıflandırılmamakta veya kategorize edilmemektedir. Gözetimsiz algoritma, verilerdeki ortak noktaları belirlemek adına geri bildirim yanıt vermemektedir. Makinenin kendisine girilen her yeni veri parçasında bu tür ortak noktaların varlığına veya yokluğuna göre tepki vermektedir. Gözetimsiz öğrenme algoritmalarının bugüne kadarki en büyük uygulama alanı istatistikte yoğunluk tahminidir. İyi bilinen ve kullanılan algoritmaları, k-ortalımalı kümeleme, spektral kümeleme ve gauss karışım modelleridir. [107].

4.2. Makine Öğrenimini Uygulama Adımları

Herhangi bir makine öğrenimi uygulaması, temelde 5 adıma bölünebilir. Bu adımlar aşağıdaki şekildedir [109]:

Veri toplama: Verilerin kağıda yazılmış, metin dosyalarına ve elektronik tablolara kaydedilmiş veya bir SQL (Yapılandırılmış Sorgu Dili- Structured Query Language) veri tabanında saklanmış olması fark etmeden, analiz için uygun bir elektronik formatta toplaması gerekmektedir. Çünkü bu veriler, bir algoritmanın eyleme geçirilebilir bilgi üretmek için kullandığı öğrenme materyali olarak kullanılmaktadır.

Verileri anlama ve hazırlama: makine öğrenimi uygulamasının başarısı büyük oranda kullandığı verilerin kalitesine ve uygunluğuna bağlıdır. Makine öğrenimi sürecindeki bu adım, büyük ölçüde insan müdahalesi gerektirmektedir. Literatürdeki çalışmalar; makine öğrenimi uygulamasında ayrılan zamanın neredeyse yüzde 80'inin verileri hazırlamaya harcadığını göstermektedir. Bu zamanın çoğu, veriler ve nüansları hakkında daha fazla bilgi edinmek için harcanmaktadır.

Algoritma seçimi ve uygulanması: Veriler analiz için hazırlandığı zaman, verilerden ne öğrenilmesi hedeflendiği de belirlenmektedir. Veriye ve hedefe uygun makine öğrenimi algoritması veya algoritmaları seçilerek uygulanacaktır.

Algoritma performansını değerlendirme: makine öğrenimi algoritmaları, öğrenme sorununa farklı şekilde çözüm getirdiğinden, algoritmanın deneyimlerinden ne kadar iyi öğrendiğini değerlendirmek önemli bir parametredir. Kullanılan algoritmaya bağlı olarak, bir test veri seti kullanarak algoritmanın doğruluğunu değerlendirebilir veya amaçlanan uygulamaya özel performans ölçümleri yapılabilir.

Algoritmanın performansını iyileştirme: Performans değerlendirme adımında elde edilen değer çalışma için yeterli değilse ve daha yüksek performans değeri gerekiyorsa, arttırmak için daha gelişmiş stratejiler kullanmak, performans artıran metotlar kullanmak gerekmektedir. Bazı durumlarda kullanılan makine öğrenimi algoritmasını değiştirmek gerekmektedir. Verileri ek verilerle desteklemek veya bu sürecin ikinci adımındaki gibi ek hazırlık çalışmaları yapılması gerekmektedir.

Bu adımlar tamamlandıktan sonra, makine öğrenimi algoritması, amaçlanan performans değerine ulaştığında hedeflenen çıktı için kullanılmaktadır.

5. GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu tez çalışmasının amaçlarından birisi, metal sektöründe yaşanmış kazalardan elde edilen verilerdeki bilgilerden faydalanarak kazaların gerçekleşme koşullarını İSG açısından analiz etmek, böylelikle kazalarda artışa neden olabilecek durumları belirlemek ve kazalardaki bu durumların iyileştirilmesine yönelik etkin öneriler geliştirmektir. Bu amaçla; 2013-2018 yılları arasında metal sektöründe yaşanan iş kazası verileri gerekli izinler alınarak İBYS'den temin edilmiştir. İBYS, ÇSGB tarafından kullanılan, iş kazaları için önleyici tedbirler belirlenmesine yönelik politika ve stratejilerin oluşturulması amacıyla verilerin toplandığı ve depolandığı bir sistemdir. Sistem SGK'ya bildirilen iş kazası kayıtlarına da erişebilmektedir.

İş kazası verileri ESAW metodolojisiyle kayıt altına alınmakta olup metodoloji; AB ülkeleri içinde veri kıyaslaması yapılabilmesi amacıyla iş kazaları için yaralanmaya sebep olan durum, yaranın türü, olaya sebep olan sapma gibi bir çok alt kategorilere ait bilgiler standart haline getirilmiştir [102].

5.1. Veri Seti

İBYS'den elde edilen ve 2013-2018 yılları arasında metal sektöründe yaşanan iş kazası veri parametreleri, değişkenler olarak kullanılarak tanımlayıcı istatistiksel analizler yapılmıştır. ESAW metodolojisi kullanılarak sınıflandırılan parametreler; bu çalışmada kendi içerisinde dört başlık altında toplanmıştır. Bu başlıklar kaza zamanı, kazazede bilgileri, kaza sonucu ve işyeri bilgileri şeklindedir. Kaza zamanı ile bilgiler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kaza zamanı değişkenleri

Değişken	Alt Kategori	
Kaza Yılı	2013	2016
	2014	2017
	2015	2018
Kaza Ayı	Ocak	Temmuz
	Şubat	Ağustos
	Mart	Eylül
	Nisan	Ekim
	Mayıs	Kasım
	Haziran	Aralık
Kaza Günü	Pazartesi	Cuma
	Salı	Cumartesi
	Çarşamba	Pazar
	Perşembe	
Kaza Saati	00:01-08:00	16:01-20:00
	08:01-12:00	20:01-00:00
	12:01-16:00	

Kazazedeye ait bilgileri içeren parametreler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kazazedeye ait değişkenler

Değişken	Alt Kategori	
Yaş	15-24 25-35 36-40	41- 50 51+
Cinsiyet	Kadın	Erkek
Medeni Hal	Bekar Evli Dul	Boşanmış Bilinmeyen
Öğrenim Durumu	Okur-yazar değil Okur yazar İlkokul Ortaokul	Lise Yüksek Okul Üniversite Lisansüstü
İSG Eğitimi	Var	Yok
Mesleki Eğitim	Var	Yok
Kazazedenin İş Hayatındaki Tecrübesi (yıl)	0-5 6-10 11-15	16-20 21-30 31+
Kazazedenin Kaza Olan İşyerindeki Tecrübesi(yıl)	0-5 6-10 11-15	16-20 21-30 31+

İşyerine ait değişken bilgileri olarak kazanın yaşandığı il ve işyerinin NACE kodu kullanılmıştır. İşyerlerinin NACE kodları dağılımı Ek-1 Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2’de verilmiştir. Kaza sonucuna ait parametreler ise Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kaza sonucu ile ilgili değişkenler

Değişken	Alt Kategori	
Kaza şiddeti	• Ağır Kazalar (uzuv kayıplı ve ölümlü kazalar)	• Yaralanmalı Kazalar
İş günü kaybı	• Toplam işgünü kaybı	
Yaralanma türü	• Açık kırıklar • Açık yaralar • Akut enfeksiyonlar • Akut işitme kaybı • Akut zehirlenmeler • Basınç etkileri (yüksek basınçla bağlı) • Beyin sarsıntısı ve kafatası yaralanmaları • Birden fazla sayıda yaralanmalar • Burkulmalar ve incinmeler • Çıkıklar ve yarı çıkıklar • Diğer başlıklar altında içerilmeyen diğer belirtilmiş yaralanmalar • Diğer tür aşırı ısı, ışık ve radyasyon etkileri • Diğer tür beyin sarsıntısı ve iç yaralanmalar • Diğer tür ses, titreşim ve basınç etkileri • Diğer tür şoklar • Diğer tür yanıklar, kaynar su ile kavrulma ve donmalar • Diğer tür zehirlenme ve enfeksiyonlar • Donmalar • İç yaralanmalar • İndirgenmiş ısı etkileri • Kapalı kırıklar • Kimyasal yanıklar (korozyon) • Nefesin kesilmesi • Radyasyon etkileri (termal olmayan) • Sıcaklık ve güneş çarpması • Travma sonucu organ kaybı (bedenin bir parçasının kaybı) • Travma şokları • Yanıklar ve kaynar su ile kavrulmalar (termal) • Yaranın türü bilinmeyen veya belirtilmemiş • Yüzeysel yaralanmalar	

Çizelge 5.3. (devam). Kaza sonucu ile ilgili değişkenler

Değişken	Alt Kategori
Kazaya sebebiyet veren son sapma	- Aşağı bırakma, eğilme - Bilgi yok - Bu sınıflandırmada listelenmemiş başka Sapma - Bükülme, dönme - Çiğnenmek, bacak veya bilek bükülmesi, düşmeden kaymak - Denetim kaybı (tam veya kısmi) – el aleti (motorlu olsun veya olmasın) veya alet tarafından kullanılan maddi aracın - Denetim kaybı (tam veya kısmi) – makine (istenmeyen başlama da dahil olmak üzere) veya maddi aracın - Denetim kaybı (tam veya kısmi) – nesnenin (taşınan, oynatılan, kullanılan, vb.) - Denetim kaybı (tam veya kısmi) – nesnenin (taşınan, oynatılan, kullanılan, vb.) - Denetim kaybı (tam veya kısmi) – taşıt aracı veya ekipman kullanımının (motorlu olsun veya olmasın) - Diz çökme, oturma, yaslanma - Elektrik arızası nedeniyle elektrik sorunu – doğrudan temasa yol açan - Elektrik sorunu–doğrudan temasa yol açan - Fiziki baskıyla veya fiziki baskı altında beden hareketi (genellikle dış bir yaralanmaya yol açan)- Belirtilmemiş - Gaz durumunda – buharlaşma, aerosol oluşum, gaz oluşumu - İşbirliği olmaksızın yapılan hareket, gereksiz veya zamansız eylemler - İtme, çekme - Kapılma veya götürülme – bir şey veya ivme tarafından - Katı durumunda – taşma, devrilme - Kayma – tökezleme ve düşme – Kişinin düşmesi – aynı düzeyde - Keskin bir nesne üzerinde yürüme - Maddenin kırılması – eklemlerde, birleşme noktalarında - Maddi Aracın kayma, düşme, çökmesi – aşağıdan (kazazedeyi aşağı çekerek) - Maddi Aracın kayma, düşme, çökmesi – aynı düzeyde - Maddi Aracın kayma, düşme, çökmesi – yukarıdan (kazazedenin üstüne düşerek) - Patlama - Saldırı, dürtülme – hayvan tarafından - Sıvı durumunda – sızma, kaçırma, akma, sıçrama, püskürme - Şok, korku - Toz halindeki madde – duman oluşumu, havadaki/yayılmış toz ve zerrecikleri - Üçüncü bir kimsenin veya kişinin kendisinin, kendine ve başkasına da tehlike yaratması - Vahşet, saldırı, tehdit – işlerini yapmakta olan kazazedeye yönelik şirket dışındaki kişiler tarafından (banka soygunu, otobüs şoförleri, vb.) - Vahşet, saldırı, tehdit – işverenin otoritesine tabi olan şirket çalışanları arasında - Yangın, tutuşma - Yukarıda listelenmemiş başka 70 çeşit Sapma
Yaralanmaya sebep olan olay	- Araçlar da dahil olmak üzere bir nesne ile çarpışma- bir kişi ile çarpışma (kazazede hareket halindeyken) - Araçlar da dahil olmak üzere dönen, hareket eden, taşınmakta olan bir nesnenin darbesi - Bilgi yok - Bir kaynak arkı, kıvılcım veya çakması (pasif) - Bir şeye doğru düşey hareket, çarpışma (düşüşten dolayı) - Bir şeye doğru yatay hareket, çarpışma - Böcek veya balık sokması - Çıplak alev veya sıcak veya yanan bir nesne veya ortam ile temas - Darbe, çifte, toz veya sıkarak boğma - Düşen bir nesnenin darbesi - Elektrikle doğrudan temas, elektrik yüklenmenin bedene alınması - Kısılmak, ezilmek- arasında - Kısılmak, ezilmek- içeride - Kol, el veya parmağın kopması, kesilmesi - Ruhsal stres veya sok - Salınan bir nesnenin darbesi - Sert veya kaba materyal araç ile temas - Sıvı içinde boğulma - Sivriltilmiş bir materyal araç ile temas (çivi, sivri alet, vb.) - Soğuk veya donmuş bir nesne veya ortam ile temas - Tehlikeli maddelerle temas- burun, ağız yoluyla teneffüs - Tehlikeli maddelerle temas- cilt veya gözler yoluyla/üzerinden

Çizelge 5.3. (devam). Kaza sonucu ile ilgili değişkenler

Değişken	Alt Kategori
Yaralanmaya sebep olan olay	- Fiziksel baskı- kas/iskelet sistemi üzerinde - Fiziksel baskı- radyasyon, gürültü, ışık veya basınç nedeniyle - Gaz veya havadaki zerrecikler içinde veya tarafından sarılma - Isırık - Katı madde altında gömülme - Keskin bir materyal araç ile temas (bıçak, keski, vb.) - Kısılmak, ezilmek- altında - Tehlikeli maddelerle temas-yutma veya yeme yoluyla sindirim sisteminden - Uçan bir nesnenin darbesi
Yaranın vücuttaki yeri	- Ayak - Ayak bileği - Ayak parmak(lar)ı - Bacaklar; yukarıda belirtilmemiş diğer bölgeleri - Bacaklar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş - Bedenin, etkilenmiş çeşitli bölgeleri - Bilek - Boyun; boyundaki omurilik ve omur dahil - Dirsek dahil kol - Dişler - Diz dahil bacak - El - Göğüs kafesi (kaburga), eklem ve kürek kemikleri dahil olmak üzere kaburgalar - Gövde; çeşitli bölgeleri etkilenmiş - Göz(ler) - Kafa, beyin ve beyine bağlı sinir ve damarları - Kafa; çeşitli bölgeleri etkilenmiş - Kalça ve kalça eklemleri - Kollar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş - Kulak(lar) - Omuz ve omuz eklemleri - Organlarıyla birlikte göğüs bölgesi - Organlarıyla birlikte karınla ilgili ve sırtın alt bölümü (kalça kısmı) - Parmak(lar) - Sırt; sırttaki omurilik ve omur dahil - Tüm beden (bütün vücuda tesir eden etkiler) - Vücudun yaralanmış diğer bölgelerinden yukarıda belirtilmemiş alanlar - Yüz bölgesi

SGK'ya iş kazası bildirimi yapan bildiriciler, iş kazalarının neden ve nasıl gerçekleştiğine dair açıklama bölümüne kazaya dair bilgiler yazmaktadır. Ağır kazaların açıklamaları ayrıntılı şekilde analiz edilerek tehlike kaynak veya kaynakları Çizelge 5.4'e göre sınıflandırılmıştır. Birden fazla tehlike kaynağı dolayısıyla iş kazası gerçekleşiyse birinci kaynak ve ikinci kaynak olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, ağır kazaların açıklama bilgisinde kaza sırasında kullanılan ekipman bilgileri de bildirici tarafından yazıldıysa, bu ekipmanların bilgisi de ek olarak listelenmiştir.

Çizelge 5.4. Tehlike kaynakları

Tehlike Kaynağı	Örnekler
Kimyasal Faktörler	Kimyasalların depolanması ve kullanımı vb.
Biyolojik Faktörler	Bulaşıcı hastalıklar, kişisel hijyen, mutfak hijyeni, hastalıklar vb.
Mekanik Faktörler	Makine, tezgâhların ve el aletlerinin kullanımı, vb.
Elektrik Faktörleri	Prizlerin, kabloların, sigorta kutularının ve elektrik panolarının kullanımı, tesisatın topraklanması, elektrikli ekipmanlarla çalışma vb.

Çizelge 5.4. (devam). Tehlike kaynakları

Tehlike Kaynağı	Örnekler
İnsan Kaynaklı Faktörler	Trafik kurallarına uymamak, KKD kullanmamak, İş ekipmanlarını güvensiz şekilde kullanmak, çalışanın yetkisiz olduğu alanlarda çalışması vb.
Ergonomik Faktörler	Yük kaldırma-taşıma, itme-çekme hareketleri, uygun olmayan vücut duruşları, tekrarlayan hareketler vb.
Organizasyonel Faktörler	İSG hizmetleri ve eğitimleri, sağlık gözetimi, çalışanların çalışacağı yerlerin seçimi, çalışma saatleri ve molalar, personel uyumsuzlukları
Nakliye Kaynaklı Faktörler	Çalışanların ve malzemelerin fabrikaya veya başka bir yere taşınması, malzeme taşıma, yükleme işlemlerini içeren tüm işler
Çalışma İzin Sistemi Faktörleri	Yüksekte veya tek başına çalışma, bakım onarım işleri, etiketleme-kilitleme sistemleri vb.
Genel Faktörler	Zeminler, yollar, merdivenler, korkuluklar, düzen ve temizlik, ikaz ve ikaz levhaları vb.
Diğer Faktörler	Yukarıda sınıflandırılmayan kaynaklar

5.2. Verilerin İstatistiksel Olarak Analiz Edilmesi

Tanımlayıcı istatistikler, bir veri setindeki örüntüleri aramak, bir veri setinde ortaya çıkan bilgileri özetlemek ve bu bilgiyi uygun bir biçimde sunmak için sayısal ve grafiksel yöntemler kullanırlar [111]. Tanımlayıcı istatistik teknikleri; verilere ilişkin özet bilgiler vermesi ve birden fazla verinin ayrıntılı olarak incelenmesine olanak sağlaması avantajından dolayı iş kazası verilerini ayrıntılı olarak incelenmek amacıyla kullanılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler metodu tek değişkenli ve çapraz toplama olarak iki yönetime sahiptir. Araştırmalarında tanımlayıcı istatistikler metodu kullanan analistler, çoğunlukla tek değişkenli yöntem kullanmaktadırlar. Tek değişkenli yöntem İSG alanında da kullanılmıştır [112-114]. Bu çalışmada, veri setini doğru yorumlamak adına tek değişkenli sıklık analizi yöntemi MS Excel aracıyla kullanılmıştır. Analizlerden elde edilen istatistiksel yorumlar sıklık tablolarıyla verilmiştir.

Gelecekte olma ihtimali olan iş kazalarını önlemek amacıyla geçmişte yaşanan kazaların nedenine ve şiddetine etki eden faktörlerin belirlenmesi bu tez çalışmanın amaçlarından biridir. Bu doğrultuda tek değişkenli sıklık analizine ek olarak çapraz tablo yöntemi de kullanılarak ikili analizler yapılmıştır. Yukarıda 5.1 başlığı altındaki çizelgelerde tanımlanan değişkenler bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Kaza şiddeti değişkeni bağımlı değişken olarak seçilirken, diğer tüm değişkenler bağımsız değişken olarak belirlenmiştir.

5.3. Makine Öğrenim Uygulamaları

İBYS aracılığıyla temin edilen kazalardan sadece ağır kazalara (ölümlü ve uzuv kayıplı) makine öğrenimi uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Veri seti başlığında tanımlanan tüm değişkenler tahminleme çalışmalarında kullanılmıştır. ESAW parametrelerine ek olarak, tehlike kaynakları parametreleri de makine öğrenimi modellemesinde kullanılmıştır. Bu çalışmada, makine öğrenimi modellemesi için iş kazalarının tehlike kaynakları ve kaza şiddeti (uzuv kayıplı, ölümlü) çıktı değişkeni, diğerleri ise girdi değişkeni olarak alınmıştır. Bu tez çalışmasında makine öğrenimi için KNN, RF, GBM ve CART metotları kullanılmıştır. Algoritmanın doğrulaması için ise k-katlı çapraz doğrulama metodu kullanılmıştır.

Makine öğrenimi metodolojisini uygularken aşağıdaki adımlar uygulanmıştır:

1. İBYS'den temin edilen geçmiş kaza verileri analiz edilerek düzenlenmiştir.
2. Değişken verileri belirlenmiş ve dağılımı incelenmiştir.
3. Veri setinin ön incelemesi ve temizliği yapılmış, daha sonra uzuv kayıplı ve ölümlü sonuçlanan kazaları belirlemek için makine öğrenimi algoritmaları kullanılmıştır.
4. Algoritmanın doğrulaması için k-katlı çapraz doğrulama kullanılmıştır.
5. Makine öğrenimi algoritmaları arasında performans karşılaştırması yapılmıştır.
6. İSG alanında çalışanların ve bu alanda çalışan kamu görevlilerinin tahmine dayalı bir model kullanarak ciddi kazaların sebep ve sonuçlarını sınıflandırabilecekleri bir algoritma önerilmiştir.

Verilerin ön hazırlık işlemlerinden sonra RF, GBM, CART ve KNN kullanılarak makine öğrenimi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Algoritmada doğrulama yapmak ve aşırı ezberlemeyi en aza indirmek için k-katlı çapraz doğrulama (10-katlı çapraz doğrulama) metodu kullanılmıştır. Bu süreçte, test ve eğitim veri setleri için iş kazası verilerinin %80'ni ve doğrulama için kullanılan veri setinin kalan %20'si rastgele seçilmiştir. Veri setinin %20'si makine öğrenimi algoritmasının tahmin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu işlemler 50 kez tekrarlanmıştır. Daha sonra algoritma performansları karşılaştırılarak en iyi performans gösteren algoritma belirlenmiştir.

5.3.1. RF algoritması

RF, belirli karar verme görevlerini gerçekleştirmek için makine öğrenimi teknolojisi tarafından kullanılabilen bir tür ağaç öğrenme yöntemidir [107]. RF, Breiman tarafından geliştirilmiş ve sınıflandırma için birçok karar ağacı kullanmaktadır. RF, ağaç tahmincilerini, her ağaç bağımsız olarak örneklenmiş bir rasgele vektörün değerlerine bağlı olacak ve ormandaki tüm ağaçlar aynı dağılıma sahip olacak şekilde birleştirir [115, 116]. Makine öğrenimi alanında en çok kullanılan algoritmalarından biri RF'dir [14, 68, 71, 75-80, 117, 118].

Makine öğrenimi algoritmalarının performans ölçütlerindeki olumlu gelişmeler, algoritmanın bir ağaç topluluğu oluşturması ve en yakın sınıf için tahminleme yaparken oy kullanmalarına izin vermesinden kaynaklanmıştır. Bu toplulukları oluşturmak için, topluluktaki her ağacın oluşturulmasını yöneten rastgele vektörler üretilmektedir. Bu sistemin ilk örneklerinden birisi Breiman tarafından geliştirilmiş olan; eğitim setindeki örneklerden her bir ağacın oluşturulacağı rastgele bir seçimin (yerine koyma olmaksızın) yapıldığı torbalamadır [119].

Başka bir örnek ise rastgele bölme seçimidir. Her düğümde bölme, k en iyi bölme arasında rastgele seçilmektedir [120]. Breiman, orijinal eğitim setindeki çıktıları rastgele hale getirerek yeni eğitim setleri oluşturmuştur. Başka bir yaklaşım ise, eğitim setindeki örnekler üzerindeki rastgele bir ağırlık setinden eğitim setini seçmektir [121]. Ho, her bir ağacı oluşturmak için kullanılacak bir özellik alt kümesinin rastgele seçimini yapan "rastgele alt uzay" yöntemi üzerine bir çok çalışma gerçekleştirmiştir [122].

Tüm bu metotlardaki ortak unsur, k 'inci ağaç için, geçmiş rastgele vektörler $\Theta_1, \dots, \Theta_{k-1}$ 'den bağımsız rastgele bir Θ_k vektörünün üretilmesidir, ancak aynı dağılıma sahip eğitim seti ve Θ_k kullanılarak $h(x, \Theta_k)$ sınıflandırıcı ve x 'in bir girdi vektörü olduğu bir ağaç oluşturmasıdır. Rastgele bölünmüş seçimde Θ , 1 ile k arasında bir dizi bağımsız rasgele tam sayıdan oluşmaktadır. Θ doğası ve boyutsallığı, ağaç oluşturulması kullanımına bağlıdır. Çok sayıda ağaç oluşturulduktan sonra ağaçlar en popüler sınıf için oylama yapar ve en yüksek oy vereni seçerler. Bu prosedürü Breiman RF olarak adlandırmıştır [115].

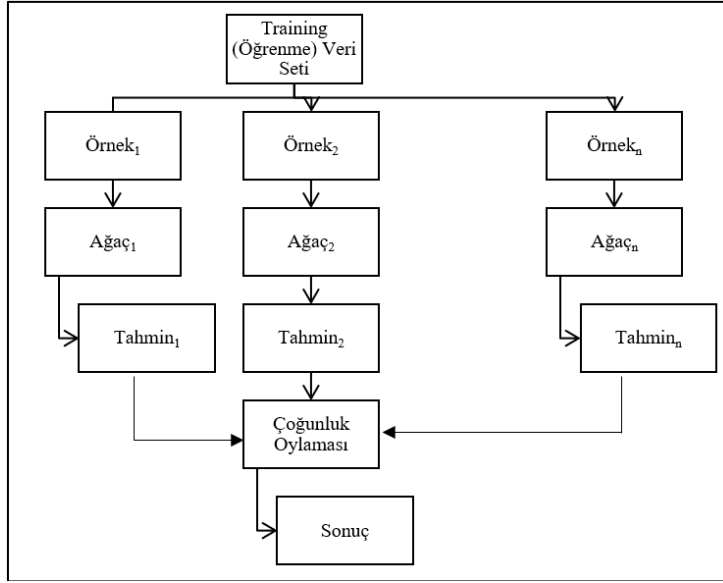
RF algoritması, diğer makine öğrenimi algoritmalarına göre performans ölçütlerinde daha başarılı ve aşırı öğrenmeyi (over-fitting) en aza indirdiği için tercih edilmektedir. RF algoritması güvenilir olmasının yanı sıra karmaşık ara bağlantılara sahip büyük veri kümelerini de oldukça etkili bir şekilde işlemektedir [123, 124]. RF algoritması, torbalama veya artırma kullanılan modellerden daha hızlıdır ve değişkenlerin önemine yönelik yapılacak tahminlerde daha başarılıdır [115].

RF algoritmasında birçok rasgele sınıflandırıcı (ağaç), bir araya getirilen bireysel sınıflandırma seçenekleri üretmektedir. Bu işlem; ağaç bir sınıflandırma sağlayarak o sınıf için "oy" verdiğinde gerçekleşir. RF, tüm ağaçlar arasından (n sınıflandırma ağacından oluşan) en çok oyu alan sınıflandırmayı seçer. Sonuç olarak; tahminler, tek bir ağaç sınıflandırıcısına kıyasla daha yüksek oranda doğru sonuç verir. RF'deki her ağaç, orijinal veri kümesindeki gözlemlerin yaklaşık %63'üne karşılık gelen değiştirmeler ve önyüklemeli örnekler kullanılarak oluşturulur [125].

RF, farklı karar ağaçları kullanarak birden çok sonuç çıkarabilmekte ve bunları, verilen kararların etrafındaki diğer kararlar tarafından korunmasını sağlayacak şekilde kullanabilmektedir. Başka bir deyişle, karar verilmesine yardımcı olabilecek ne kadar çok karar ağacı varsa, bulguların daha doğru olması için bir şeylerin yanlış olma riskini azaltmada o kadar başarılı olunmaktadır. Ağaçlar, sürekli olarak aynı yönde hareket etmedikleri veya girdilerde çok fazla örtüşmedikleri sürece, temelde birbirlerini bireysel hatalarından korumaktadırlar. Buda RF algoritmasının başarı performansını artırmaktadır [107].

Karar ağaçları, veri setinden bootstrap tekniği ile seçilen ve birbirinden bağımsız örneklerden oluşmaktadır. RF torbalama (bagging) yönteminden farklı olarak ayırıcı özellikteki değişkenin, tüm değişkenler arasından rastgele olarak belirlenen n tane değişken içinden seçilmesidir. Her ağaç için n sayısı genelde $\sqrt{p}$ (p değişken sayısını ifade etmektedir) olarak alınmaktadır[115, 121]. Burada n sayısı sabittir.

RF algoritması makine öğrenimi alanında en sık kullanılan ve en başarılı yöntemlerden birisi olması sebebiyle seçilmiş ve araştırma yapılırken izlenen yol Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. RF algoritması

RF algoritmasının aşamaları şu şekildedir:

1. Eğer veri setinin kendine ait test seti bulunmuyorsa; bootstrap yöntemiyle veri setinden n tane örnekleme seçilir. Her bir örneklemenin bir kısmı (2/3) ağaç oluşturmak için kullanılır ve bunlara eğitim veri seti (inbag) adı verilmektedir. Örneklemenin geriye kalan kısmı ise hata oranını tespitinde kullanılır (tekrarlı holdout yöntemi) ve bu verilere test veri seti (out-of-bag) denmektedir. Veri setinin kendine ait bir test seti bulunduğu durumda ise; hata oranı bu test seti kullanılarak tespit edilir (holdout hata oranı tahmin yöntemi). Fakat iki şekilde de hesaplanan hata oranı genellikle birbirine yakın değerler vermektedir [126].
2. Eğitim seti içerisinde rastgele seçilen değişkenler içerisinde en iyi bilgiyi gösteren değişken dallara ayırıcı değişken olarak kullanılmaktadır. Bütün değişkenler içinden rastgele m tanesi ($m = \sqrt{p}$) seçilerek bilgi kazancı incelenmekte ve dallara ayırıcı özellikteki değişkenler seçilmektedir [126].

$$\text{Bilgi Kazancı } (D, X) = E(D) - \sum_{i=1}^n p(D_i)E(D_i) \quad (5.1)$$

X = Bölünecek değişken

D = Bölünecek özelliğin alt sekmenleri

$E(D)$ = X değişkenine göre bölünme öncesi entropi değeri

$E(D_i)$ = X değişkenine göre bölünme sonrası i . entropi

3. Yaprak düğüm elde edilene kadar gerçekleştirilen bu işlem tekrarlanmaktadır. Düğüm için iki şart vardır. Bunlardan ilki düğümde bulunan bütün örneklerin aynı sınıfta olması, ikinci ise bölünmenin yapılacağı bir değişken kalmaması durumudur. Yeni bir verinin sınıfını tahmin ederken n tane örneklemeden oluşturulan n tane ağacın verdiği tahmin değerleri birleştirilerek en çok oy alan, yeni verinin sınıfı olmaktadır [127].
4. Eğitim veri seti kullanılarak oluşturulan ağaçlara, test veri seti uygulanarak hata oranı belirlenmektedir. Ağaçların her birinin hata oranı ve aralarındaki korelasyon OOB hata oranını belirlemede etkilidir. Örneğin; korelasyon arttıkça hata oranı da artmaktadır. Ağaçların her birinin verisiyle değişkenlerinin farklı olması; ağaçları bağımsız yapmakta, bu da hata oranını düşürmekte ve algoritmanın tahmin performansı artmaktadır. Verilerin ve değişkenlerin her ağaçta farklı olması, RF algoritmasının aşırı öğrenmeye karşı güçlendirmektedir.

Değişkenler arasındaki korelasyon “ m sayısını azaltarak düşürülür fakat bu da sınıflama performansında azalmaya yol açmaktadır. Bu sebeple Breiman m sayısını $m = \sqrt{p}$ olarak almıştır [126].

RF algoritması sınıflama yapmanın yanı sıra değişkenlerin önemliliği ve önceliklendirmesinde kullanılmaktadır. Karar ormanında ağaçlar oluşturulduktan sonra OOB verileri bu ağaçlarda kullanılır. Rastgele seçilen i . değişken için OOB’dan veriler seçilir ve ağaçta denenerek bir oy değeri elde edilir. Tüm ağaçlarda i . değişken için elde edilen ortalama oy değeri, i . değişkenin önemliliğini ifade eder. Değişkenlerin önemlilik derecesi sonucunda gereksiz değişkenler veri setinden çıkartılarak veri seti temizliği gerçekleştirilir [127].

RF Algoritmasının avantajları:

- Her ağaçta verilerin ve değişkenlerin farklı olması sebebiyle RF algoritmasında aşırı öğrenme sorunu oluşmamaktadır.
- Ulusal iş kazası verileri gibi çok büyük veri setlerine kolaylıkla kullanılmakta ve yüksek başarı göstermektedir.
- Ağaç sayısı belirlemede bir kısıt bulunmamakta tamamen araştırmacının inisiyatifindedir.

- Bağımsız değişkenlerde herhangi bir sınırlama bulunamamaktadır. Kesikli, sayısal, kategorik olabilmektedir.
- İkili ya da çoklu sınıflandırmalarda kullanılmaktadır.
- Ağaçların verilerinin ve değişkenlerin farklı olması sebebiyle, RF, karar ağaçları yöntemindeki gibi budama işlemine ihtiyaç duyamamaktadır. RF algoritması, değişkenleri önem sırasına göre otomatik olarak sıralayabilmektedir.

RF Algoritmasının dezavantajları:

RF algoritması uygulanırken, çok fazla ağaç oluşturulduğu için sınıflanmanın doğruluğuna dair güven aralığı değeri vermemektedir. Fakat RF algoritmasında kullanılan “bootstrap” yöntemiyle sınıflandırma genellenmekte bu sebeple de güven aralığına gerek kalmamaktadır.

5.3.2. KNN algoritması

KNN, regresyon veya sınıflandırma içeren görevlere uygulanabilen parametrik olmayan bir istatistiksel algoritmadır [128]. İncelenen bir gözlemi k en yakın gözleme bakarak sınıflandıran bir tahmin yöntemidir. Başka bir deyişle, o değer ile diğer bilinen gözlemler arasındaki hesaplanan mesafeler göz önüne alındığında, yanıtın değerine yakın olan k komşuyu örnekleyerek bir tahmin yapmaktadır. k komşunun değeri alındıktan sonra, yanıt değişkeninin tahmin edilen değeri hesaplanmaktadır. KNN, verilerin işlevsel biçimi hakkında hiçbir varsayımda bulunmama avantajına sahiptir [129].

KNN algoritması, birkaç kategoride sınıflandırılan örneklerden oluşan bir eğitim veri seti ile başlamaktadır. Eğitim verileriyle aynı özelliklere sahip olan etiketlenmemiş örnekler içeren bir test veri setimiz olduğunu varsayıldığında, test veri setindeki her veri için KNN, eğitim verilerinde k önceden belirtilen bir tam sayı olmak üzere benzerlik açısından "en yakın" olan k kaydı tanımlamaktadır. Etiketlenmemiş test örneğine, en yakın k komşunun çoğunluğunun sınıfı atanmaktadır [109].

Bu tez çalışmasında k değeri olarak 7 kullanılmıştır.

5.3.3. GBM algoritması

GBM, regresyon ağaçlarını temel öğreniciler olarak kullanan, regresyon ve sınıflandırma problemleri için destekleyici makine öğrenimi metodudur. Temel öğreniciler, türevlenebilir bir kayıp fonksiyonunun negatif gradyanı kullanılarak sınıflandırma problemleri için bir sınıflandırıcıyı yinelemeli olarak eğitmek için kullanılmaktadır [78, 130, 131]. GBM'lerde, öğrenme prosedürü, yanıt değişkeninin daha doğru bir tahminini sağlamak için ardışık olarak yeni modellere uyarlamaktadır. Bu algoritmanın temel fikri, yeni öğrenicileri, tüm toplulukla ilişkili kayıp fonksiyonunun negatif gradyanı ile maksimum düzeyde ilişkilendirilecek şekilde oluşturmaktır. Uygulanan kayıp fonksiyonları isteğe bağlı olabilir, ancak daha iyi bir sezgi sağlamak için, hata fonksiyonu klasik kare hata kaybı ise, öğrenme prosedürü ardışık hata uydurma ile sonuçlanmaktadır [131]. Hata fonksiyonu kullanılarak algortima performansının değerlendirilmesi yapılmaktadır. Çoğunlukla performans azalan hata fonksiyonu ile artmaktadır. Karmaşık doğrusal olmayan fonksiyon bağımlılıklarını yönetme yeteneği ile GBM, regresyon problemlerini çözmek için güçlü ve etkili bir araçtır [131, 132].

Bu çalışmada bu yöntem, GBM'nin büyük veri kümelerinde verimli ve iyi performans göstermesi nedeniyle seçilmiştir.

5.3.4. CART algoritması

Bu çalışmada R programının bir fonksiyonu olan yinelemeli bölünme ve regresyon ağaçları (recursive partitioning and regression trees- RPART) metottu kullanılmıştır. RPART parametrik olmayan istatistiksel yaklaşımlar için önemli bir algoritmadır. Yinelemeli bölümlenme, her düğümü iki alt düğüme bölerek veya ayırarak adım adım bir karar ağacı oluşturma yöntemidir [133, 134]. Yinelemeli bölümlenme regresyonu, sınıflandırma ağaçlarının nasıl oluşturulduğuna benzer şekilde regresyon ağaçları oluşturan bir tekniktir. Bir sınıflandırma ağacında, bir uç düğümün sınıfı, o düğümdeki tüm gözlemlerin çoğunluğunu (veya iki sınıf olması durumunda çoğunluğunu) yöneten sınıf tarafından belirlenir ve bağlar rastgele çözülmemektedir. Bir regresyon ağacındaki çıktı değişkeni, terminal düğümünde sabit bir değere sahip olacak şekilde belirtilmektedir. Bu nedenle ağaç, regresyon yüzeyinin r-boyutlu histogram tahmini olarak düşünülebilir, burada r, girdi değişkenlerinin miktarıdır [134].

Regresyon ağacı, bağımlı değişkenin değerlerini bağımsız değişkenlerden veya öngörücülerden tahmin eden koşulları kullanarak bir veri tabanını mümkün olduğunca eşit bir şekilde bölen bir makine öğrenimi algoritmasıdır. Bu tür bölümler, ağacın düğümleri veya terminal düğümleri ile temsil edilir. Terminal düğümleri, daha büyük bir veri tabanı kümesini benzer özelliklere sahip iki alt kümeye böler. Oluşturulan her düğüm, bir alt düğüm (veya ağacın dalı) olarak adlandırılır, her parçalı veri için bir tane ve her karar bir üst düğüm tarafından temsil edilir. Bir dallanma, ya yeni bir düğümle sonuçlanabilir, bu durumda prosedür tekrarlanır, ya da önceki kararların tümü aracılığıyla seçilen grup için yanıt değişkeninin ortalamasını gösteren bir uç birim ile sonuçlanabilir [135].

Bu makine öğrenimi algoritması, görselleştirilmesi basit olduğu, çeşitli değişkenleri (sayısal, kategori ve diğerleri dahil) işleyebildiği ve verilerdeki doğrusal olmayan ilişkileri dikkate aldığı için seçilmiştir.

5.4. Makine Öğrenimi Algoritmalarının Performans Ölçütleri

Makine öğrenimi algoritmalarının performans ölçütü için dört değer kullanılmıştır: Doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall) ve F-skoru (F-score).

Doğruluk değeri dört istatistik kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu dört istatistik; gerçekten gözlemlenen pozitif olarak tahmin edilen nesnelerin sayısını temsil eden doğru pozitifler (TP), pozitif olarak tahmin edilen nesnelerin sayısını temsil eden yanlış negatifler (FN), yanlış tahmin edilen negatif nesnelerin sayısını temsil eden yanlış pozitifler (FP) ve gerçekte gözlemlenen pozitif olarak tahmin edilen nesnelerin sayısını temsil eden doğru negatifler (TN) şeklindedir [136]. Doğruluk değeri aşağıda verilmiş eşitlik 4 ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+FN+FP+TN} \quad (5.2)$$

Kesinlik değeri ile öngörülen pozitif örneklerden kaçının doğru olduğu ölçülmektedir. Genellikle algortimanın amacının FP sayısını azaltmak olduğunda, bir performans göstergesi olarak kullanılmaktadır. Kesinlik değeri eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmaktadır [76, 137, 138].

$$Kesinlik = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5.3)$$

Duyarlılık, toplam pozitif nesnelerin kaçının FN yerine TP olarak sınıflandırıldığını ölçer; burada toplam pozitif numuneler, bu değerlerin (TP + FN) toplamıdır. Duyarlılık genellikle tüm pozitif örneklerin tanımlanması gerektiğinde bir performans göstergesi olarak kullanılmaktadır. Doğruluk değeri eşitlik 6 ile hesaplanmaktadır[76, 137, 138].

$$Duyarlılık = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5.4)$$

Performans, kesinlik ve duyarlılık arasında bir değiş tokuş işlemidir. Performans, F-skoru adı verilen tek bir değerde birleştirilebilir [137, 138]:

$$F - skoru = 2 \frac{Kesinlik \times Duyarlılık}{Kesinlik + Duyarlılık} \quad (5.5)$$

Doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F-skoru, makine öğrenimi algoritmalarının performans karşılaştırılması için en çok kullanılan ölçütlerdir [79, 136, 137, 139-142]. Bu nedenle, bu tez çalışmasında, makine öğrenimi algoritma performansını ölçmek ve algoritmalar arasında kıyas yapılabilmesi için bu dört ölçüt kullanılmıştır.

5.5. K-katlı Çapraz Doğrulama

Makine öğrenimi uygulamalarında; çapraz doğrulama metodu performans değerlendirmesi için kullanılmaktadır. k-katlı çapraz doğrulama (k-fold cross validation) yöntemi, örneği k adet gruba bölerek ve her grubu doğrulama örneği (veya test veri seti) olarak ele alarak modeli değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır [143]. Literatürde son dönemlerde yapılan çalışmalar incelendiğinde; k-katlı çapraz doğrulama yönteminin en çok kullanılan doğrulama yöntemlerinden biri olduğu görülmektedir [143-145]. Örneğin, Garre ve arkadaşları, aşırı öğrenmeyi en aza indirmek için 10- katlı çapraz doğrulama yöntemi uygulamış ve makine öğrenimi algoritmasının 10- katlı çapraz doğrulama kullanıldığında daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir [146]. Bu tez çalışmasında da, iş kazası verilerinde kullanılan makine öğrenimi algoritmalarının performansını artırmak için 10-katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır.

5.6. Değişken Önceliklendirilmesi

Değişken önceliklendirmesi makine öğrenimi algoritmalarını değerlendirmek, kaza nedenlerini etkileyen önemli bileşenleri analiz etmek için değişken önceliklendirilmesi yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında özyinelemeli olarak özellik seçme (RFE - Recursive Feature Elimination) metodu uygulanmıştır. Değişken önemini belirlemek ve özellik seçimini gerçekleştirmek için kullanılan RFE sıklıkla kullanılan önemli bir metottur [147]. RFE, en uygun özellik alt kümelerini seçerek ve belirli bir makine öğrenimi yöntemine dayalı olarak çok sayıda özelliği sıralayarak sınıflandırma performansını artırmaktadır [148]. RFE tahminlemeyle ilgisi olmayan girdileri temizleyerek model karmaşıklığını azaltan etkili ve verimli bir tekniktir [147]. Birçok makine öğrenimi metodunda RFE tekniği kullanılarak değişken önceliklendirilmesi yapılmış ve bu sayede performans değerinin arttığı görülmüştür [115, 130, 149].

6. ARAŞTIRMA BULGULARI

Gerçekleştirilen bu tez kapsamında elde edilen tek değişkenli analiz, çapraz tablolama ve makine öğrenimi uygulama sonuçları bu kısımda verilmiştir.

6.1. Verilerin İstatistiksel Analizi

Bu kısımda; 2013-2018 yılları arasında metal sektöründe gerçekleşmiş 1542 adet ağır sonuçlu ve 103179 yaralanmalı olmak üzere toplam 104721 tane iş kazası istatistiksel olarak incelenmiştir. Ağır kazaların 397 tanesi ölümlü olup, 1145 tanesi uzuv kayıplı kazalardır. Kaza şiddeti bağımlı değişken olarak alınmış ve dağılımı Çizelge 6.1’de verilmiştir [150].

Çizelge 6.1. Kaza şiddetine ait bulgular

Kaza Şiddeti	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Ağır Kazalar	1542	1,5
Yaralanmalı Kazalar	103179	98,5

6.1.1. Kaza zamanı değişkenlerinin analizi

Öncelikle Çizelge 5.1’de verilen parametreler tek değişkenli analizle değerlendirilerek özet bilgileri Çizelge 6.2’de verilmiştir [150]. Parametreler ait ayrıntılı istatistiki bilgiler Ek-3’te verilmiştir. Kaza şiddeti bağımlı değişken olarak alınıp kaza zamanına ait değişkenlere göre değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.2. Kaza zamanı değişkenlerinin dağılımı

Kaza Yılı	Ağır Kazalar		Yaralanmalı Kazalar		Toplam İş Kazası	
	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
2013	525	34,0	25595	24,8	26120	24,9
2014	202	13,1	15863	15,4	16065	15,3
2015	208	13,5	16223	15,7	16431	15,7
2016	205	13,3	15253	14,8	15458	14,8
2017	228	14,8	16780	16,3	17008	16,2
2018	174	11,3	13465	13,1	13639	13,0
Kaza Ayı	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Ocak	124	8,0	7606	7,4	7730	7,4
Şubat	90	5,8	7229	7,0	7319	7,0
Mart	145	9,4	8865	8,6	9010	8,6

Çizelge 6.2. (devam). Kaza zamanı değişkenlerinin dağılımı

Kaza Ayı	Ağır Kazalar		Yaralanmalı Kazalar		Toplam İş Kazası	
	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Nisan	128	8,3	8219	8,0	8347	8,0
Mayıs	151	9,8	8910	8,6	9061	8,7
Haziran	134	8,7	9407	9,1	9541	9,1
Temmuz	139	9,0	9543	9,2	9682	9,2
Ağustos	118	7,7	8752	8,5	8870	8,5
Eylül	124	8,0	8404	8,1	8528	8,1
Ekim	105	6,8	8322	8,1	8427	8,0
Kasım	147	9,5	9366	9,1	9513	9,1
Aralık	137	8,9	8556	8,3	8693	8,3
Kaza Günü	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Pazartesi	256	16,6	18486	17,9	18742	17,9
Salı	278	18,0	18232	17,7	18510	17,7
Çarşamba	251	16,3	17341	16,8	17592	16,8
Perşembe	276	17,9	16059	15,6	16335	15,6
Cuma	168	10,9	10458	10,1	10626	10,1
Cumartesi	70	4,5	4024	3,9	4094	3,9
Pazar	243	15,8	18579	18,0	18822	18,0
Kaza Saati	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
00:01-08:00	123	8,0	10087	9,8	10210	9,7
08:01-12:00	399	25,9	24330	23,6	24729	23,6
12:01-16:00	700	45,4	49270	47,8	49970	47,7
16:01-20:00	228	14,8	12898	12,5	13126	12,5
20:01-00:00	92	6,0	6594	6,4	6686	6,4

Her iki kaza şiddeti grubunda da iş kazalarının yıllara göre dağılımı çok yakın olup sadece 2013 yılı daha fazla kaza yaşanmasıyla dikkat çekmektedir. İş kazasının yaşandığı aya göre iş kazaları incelendiğinde; ağır kazalarda en fazla kaza yaşanan aylar Mayıs (%9,8), Mart (%9,4) ve Temmuz (%9) iken, yaralanmalı kazalarda Temmuz (%9,2), Haziran (%9,1), Mart (%8,6) ve Mayıs (%8,6) ayları olduğu tespit edilmiştir. Ağır kazalar en fazla Salı (%18,0), Perşembe (%17,9) ve Pazartesi (%16,6) günleri gerçekleşirken, yaralanmalı kazalar Pazar (%18,0), Pazartesi (%17,9) ve Salı (17,7) günleri gerçekleşmektedir. Toplam iş kazalarının yaşandığı günler incelendiğinde ise; tüm günler birbirine yakın çıkmaktadır. Fakat, Cumartesi gününün diğer günlerden çok düşük çıkması dikkat çekmektedir. Kazaların gerçekleştiği aylara göre günler analiz edildiğinde ise en fazla kazanın;

- Ocak ayında Salı,
- Şubat ayında Pazartesi,
- Mart ayında Pazar,
- Nisan ayında Pazartesi,
- Mayıs ayında Salı,
- Haziran ayında Pazar,
- Temmuz ayında Pazartesi,
- Ağustos ayında Pazar,
- Eylül ayında Pazar,
- Ekim ayında Salı,
- Kasım ayında Salı,
- Aralık ayında Pazartesi

günleri gerçekleştiği tespit edilmiştir.

İş kazalarının neredeyse yarısı üçüncü vardiyada (12:01-16:00) gerçekleşmiştir. Ağır kazalar en çok 08:01-11:00 ve 14:01-16:00 saatleri arasında yaşanmaktadır. Ölümlü iş kazaları ise en çok 08:01-12:00 ve 13:01-17:00 saatleri arasında yaşanmaktadır. Uzun kayıplı iş kazaları en çok 09:01-12:00 ve 13:01-16:00 saatleri arasında yaşanmaktadır. Kaza şiddeti fark etmeksizin en fazla kaza 12:01-13:00 saat diliminde gerçekleşmiştir.

6.1.2. Kazazedeye ait değişkenlerinin analizi

İş kazası yaşayan çalışanların toplam iş tecrübelerinin ortalaması yaklaşık 13 ay, kazayı yaşadıkları iş yerlerindeki toplam iş tecrübelerinin ortalamasının ise yaklaşık 1 ay olarak tespit edilmiştir. Kazazedelerin yaş ortalaması 33,2 iken ağır kaza yaşayan kazazedelerin yaş ortalaması 35,6, yaralanmalı kaza yaşayan kazazedelerin yaş ortalaması ise 33,1 olarak tespit edilmiştir. Kazazedelerin çoğunluğu 25-35 yaş arasındadır. Kazazedelerin %96,2 si erkek ve %69,1'i evlidir. Öğrenim durumlarına göre %37,2 ile ilkokul mezunu çalışanlar en çok kaza yaşayan gruptur. Öğrenim durumunun seviyesi arttıkça iş kazası oranı azalmaktadır. Çizelge 6.3'te kazazedeye ait değişkenlerin dağılımı verilmiştir [150].

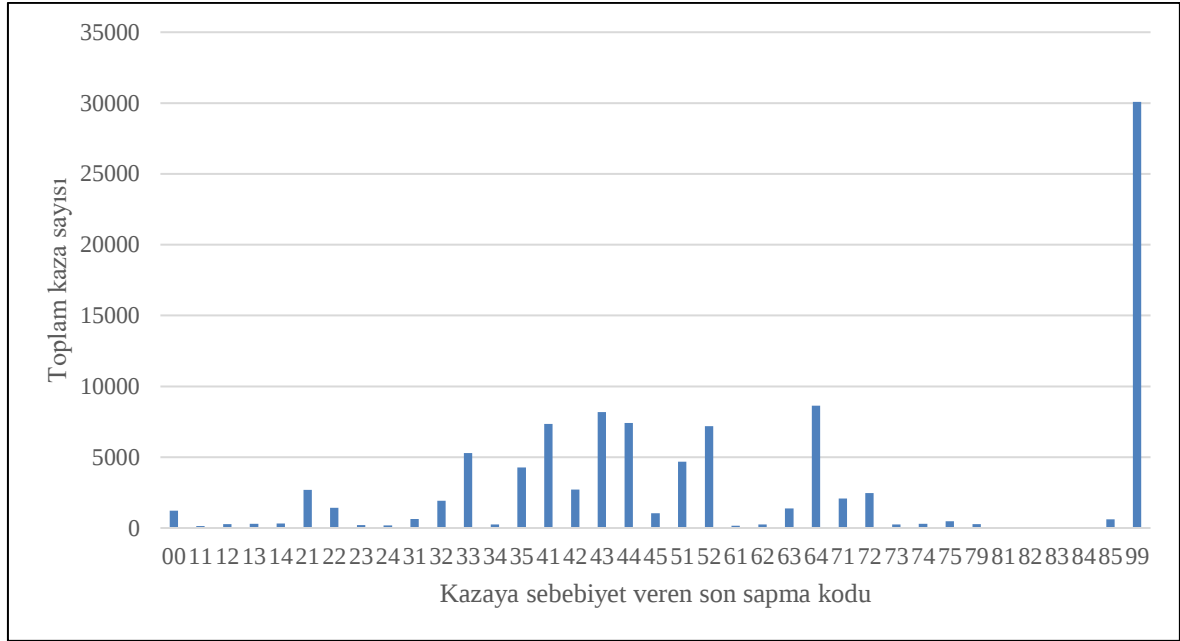
Çizelge 6.3. Kazazedeye ait değişkenlerinin dağılımı

	Ağır Kazalar		Yaralanmalı Kazalar		Toplam İş Kazası	
Kazazede Yaşı	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
15-24	284	18,4	19895	19,3	20179	19,3
25-35	505	32,7	44099	42,7	44604	42,6
36-40	229	14,9	16332	15,8	16561	15,8
41- 50	391	25,4	19345	18,7	19736	18,8
51+	133	8,6	3508	3,4	3641	3,5
Kazazede Cinsiyeti	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Erkek	1481	96,0	99299	96,2	100780	96,2
Kadın	61	4,0	3880	3,8	3941	3,8
Medeni Durumu	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Bekar	377	24,4	28275	27,4	28652	27,4
Bilinmeyen	17	1,1	424	0,4	441	0,4
Boşanmış	58	3,8	3002	2,9	3060	2,9
Dul	4	0,3	157	0,2	161	0,2
Evli	1086	70,4	71321	69,1	72407	69,1
Öğrenim Durumu	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
İlkokul	628	40,7	38297	37,1	38925	37,2
Lisansüstü	1	0,1	52	0,1	53	0,1
Lise	459	29,8	37518	36,4	37977	36,3
Okur yazar	120	7,8	4669	4,5	4789	4,6
Okur-yazar değil	5	0,3	186	0,2	191	0,2
Ortaokul	283	18,4	17969	17,4	18252	17,4
Üniversite	13	0,8	1112	1,1	1125	1,1
Yüksek Okul	33	2,1	3376	3,3	3409	3,3
İSG Eğitim Durumu	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Var	1349	87,5	98088	95,1	99437	95,0
Yok	193	12,5	5091	4,9	5284	5,0
Mesleki Eğitim Durumu	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Var	1162	75,4	86473	83,8	87635	83,7
Yok	380	24,6	16706	16,2	17086	16,3
Kazazedenin İş Hayatındaki Tecrübesi (yıl)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
0-5	314	20,4	18092	17,5	18406	17,6
6-10	298	19,3	24872	24,1	25170	24,0
11-15	209	13,6	18782	18,2	18991	18,1
16-20	216	14,0	17303	16,8	17519	16,7
21-30	380	24,6	20562	19,9	20942	20,0
31+	125	8,1	3568	3,5	3693	3,5
Kazazedenin Kaza Olan İşyerindeki Tecrübesi	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
0-5	1355	87,9	87834	85,1	89189	85,2
6-10	113	7,3	9841	9,5	9954	9,5
11-15	33	2,1	2879	2,8	2912	2,8
16-20	8	0,5	747	0,7	755	0,7
21-30	24	1,6	1760	1,7	1784	1,7
31+	9	0,6	118	0,1	127	0,1

Yukardaki çizelgedeki özet bilgilerin ayrıntıları Ek-3'te verilmiştir. Çalışanların iş hayatlarındaki kıdemleri incelendiğinde kaza yaşadıkları iş yerlerinde daha bir yılı dolmadan iş kazası yaşayan çalışanların oranı %43 olarak bulunmuştur. Ağır kazalarda bu oran %65 oranına artmaktadır. İş hayatındaki kıdemleri incelendiğinde ise ağır kaza yaşayanlar arasında 21-30 ve 0-5 yıllar tecrübesi olan çalışanlar çoğunlukta olurken yaralanmalı kazalarda 6-10 yıl arasında tecrübesi olan çalışanlar çoğunluktadır. Kazazedelerin %95,2'si temel İSG ve %83,7'si mesleki eğitim almışlardır. Fakat bu oran ağır yaralanmalı kazalarda daha düşüktür. Mesleki ve İSG eğitimlerinin birbiriyle ilişkileri Ek-3'te verilmiş olup çalışanların %81'inin her iki eğitimi de tamamlandığının sadece %3,7'sinin herhangi bir eğitim almadığı görülmektedir.

6.1.3. Kaza sonucuna ait değişkenlerinin analizi

Kazalarının kök nedenlerinin belirlenmesinde ESAW metodolojisinde bulunan kazaya neden olan son sapma kodu; yeterli veri oluşturma da kazanın oluşumu hakkında bilgi vermektedir. Bu veriyi desteklemek amacıyla ağır kazalara ait kaza açıklamaları analiz edilerek tehlike kaynakları da belirlenmiştir. Kazaya sebebiyet veren son sapma olarak Çizelge 5.3'te verilen ESAW metodolojisinin kaza sebebi kategorizasyonun 52 başlığından sadece 35 madde altında kaza sebepleri toplanmıştır. Şekil 6.1'de kazaya sebebiyet veren son sapma kodlarının toplam kaza sayısındaki dağılımı verilmiştir [150]. ESAW metodolojisinde son sapma olarak isimlendirilen başlıkların açıklamaları ve kodları Ek-2 Çizelge 2.1'de tüm kazaların kazaya sebebiyet veren son sapma istatistiksel dağılımları ise Ek-2 Çizelge 2.2'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Toplam kazada kazaya sebebiyet veren son sapma dağılımı

İş kazalarının bildiriciler tarafından bildirilen kazaya sebebiyet veren son sapma kodları incelendiğinde kazaların %28,7'sinin 99 kodu olan “Bu sınıflandırmada listelenmemiş başka sapma” kodunda olması sebebiyle bu kazaların sapma kodu belirlenememiştir. Ağır kazaların %41,8'i ESAW metodolojisinin de (Ek-2) 41 kodu ile verilen “Denetim kaybı (tam veya kısmi) – makine (istenmeyen başlama da dahil olmak üzere) veya maddi aracın” kategorisinde gerçekleşmiştir. Yaralanmalı kazaların en fazla %8,3 ile insan faktöründen kaynaklı kazalar olarak nitelendirilen 64 kodlu “İşbirliği olmaksızın yapılan hareket, gereksiz veya zamansız eylemler” kategorisinde gerçekleşmiştir. Bir ekipmanın, makinenin veya al aleti gibi araçların denetiminin (41, 42, 43 ve 44) kaybedilmesi sebepli kazalar ise tüm kazaların %24,5'ini, yaralanmalı kazaların %24'ünü ve ağır kazaların ise %57,7'sini oluşturmaktadır. Ağır kazalar incelendiğinde en fazla kaza 41, 43, 64 ve 33 kodlarından kaynaklı olarak gerçekleşmektedir.

ESAW metodolojisinin bir diğer kategorisi ise yaralanmaya sebep olan olaydır. Bu kategori yaralanmaya neden olan eylem gerçekleştirilirken; kazazedinin yaralanmaya sebep olan nesne ile temasını açıklamaktadır. Çizelge 6.4'te yaralanma sebeplerin dağılımı verilmiştir [150].

Çizelge 6.4. İş kazalarının yaralanma sebepleri dağılımı

Yaralanma Sebebi	Kaza Oranı (%)		
	Ağır Kazalar	Yaralamalı Kazalar	Toplam İş Kazası
Araçlar da dahil olmak üzere bir nesne ile çarpışma- bir kişi ile çarpışma (kazazede hareket halindeyken)	1,2	0,6	0,6
Araçlar da dahil olmak üzere dönen, hareket eden, taşınmakta olan bir nesnenin darbesi	3,1	2,7	2,7
Bilgi yok	0	29,5	29,1
Bir kaynak arkı, kıvılcım veya çakması (pasif)	0,1	0,3	0,3
Bir şeye doğru düşey hareket, çarpışma (düşüşten dolayı)	3,8	5,0	5,0
Bir şeye doğru yatay hareket, çarpışma	3,6	5,0	5,0
Çıplak alev veya sıcak veya yanan bir nesne veya ortam ile temas	0,6	1,5	1,5
Düşen bir nesnenin darbesi	2,8	3,6	3,,
Elektrikle doğrudan temas, elektrik yüklenmenin bedene alınması	2,1	0,4	0,4
Fiziksel baskı- kas/iskelet sistemi üzerinde	0,3	1,7	1,7
Gaz veya havadaki zerrecikler içinde veya tarafından sarılma	0,2	0	0
Isırık	0	0,1	0,1
Katı madde altında gömülme	0,3	0	0
Keskin bir materyal araç ile temas (bıçak, keski, vb.)	5,6	9,3	9,3
Kısılmak, ezilmek- altında	4,4	5,3	5,2
Kısılmak, ezilmek- arasında	24,2	17,3	17,4
Kısılmak, ezilmek- içeride	0,9	0,8	0,8
Kol, el veya parmağın kopması, kesilmesi	37,3	1,2	1,7
Ruhsal stres veya sok	0,1	0	0
Salınan bir nesnenin darbesi	2,6	3,5	3,5
Sert veya kaba materyal araç ile temas	5,8	9,5	9,4
Sıvı içinde boğulma	0,1	0	0
Sivriltilmiş bir materyal araç ile temas (çivi, sivri alet, vb.)	0,5	1,5	1,5
Tehlikeli maddelerle temas- cilt veya gözler yoluyla/üzerinden	0,1	0,3	0,3
Uçan bir nesnenin darbesi	0,6	0,7	0,7

İş kazalarının %29,1’inde yaralanma sebebi bilgisi bulunmamaktadır. Bu orandan sonra en yüksek oran 17,4 ile “Kısılmak, ezilmek – arasında” yaralanma sebebi ve 9,4 ile “Sert veya kaba materyal araç ile temas” kategorisidir. Kaza şiddeti kategorilerinde bu durum farklılık göstermektedir. Yaralanmalı kazaların istatistikleri toplam kaza istatistiklerine benzerken ağır kazalarda durum farklıdır. Ağır kazaların %37,3 ‘ünün “Kol, el veya parmağın kopması, kesilmesi” kategorisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Ağır kazalar kategorisinde %24,2 ile “Kısılmak, ezilmek – arasında” en fazla yaralanmaya sebebiyet veren ikinci durum olduğu tespit edilmiştir.

Tüm iş kazalarının %44,5'i "Yüzeysel yaralanmalar" ve %14,8'ide "Burkulmalar ve incinmeler" yaralanma türü kategorisindedir. Kaza şiddeti dağılıma bakıldığında bu sıralama yaralanmalı kazalar için değişmezken ağır kazalar için değişmektedir. Ağır kazaların %60,7'si "Travma sonucu organ kaybı (bedenin bir parçasının kaybı)" kategorisindeki yaralanmalara sebep olmuştur. ESAW metodolojisinin Ek 2'sinde 40 koduyla yer alan bu kategori uzuv kaybı olan kazalar için kullanılmaktadır [102]. Bu kategoriyi ağır kazalar için %9,1 ile "Birden fazla sayıda yaralanmalar" kategorisinde olduğu tespit edilmiştir. ESAW metodolojisinin Ek 2'sinde 120 kodunda yer alan bu kategori vücutta farklı yaralanma türleri bulunduğunda kullanılmaktadır. Yaralanma türlerinin bütün başlıklardaki dağılımı Çizelge 6.5'te verilmiştir [150].

Çizelge 6.5. İş kazalarının yaralanma türlerinin dağılımı

Yaralanma Türü	Kaza Oranı (%)		
	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası
Açık kırıklar	3,7	0,9	1,0
Açık yaralar	6,7	8,0	8,0
Akut işitme kaybı	0,1	0	0
Akut zehirlenmeler	0,1	0,1	0,1
Beyin sarsıntısı ve kafatası yaralanmaları	1,4	0,1	0,1
Birden fazla sayıda yaralanmalar	9,1	2,3	2,4
Burkulmalar ve incinmeler	2,9	15,0	14,8
Çıkıklar ve yarı çıkıklar	0,6	2,2	2,1
Diğer başlıklar altında içerilmeyen diğer belirtilmiş yaralanmalar	0	9,8	9,6
Diğer tür aşırı ısı, ışık ve radyasyon etkileri	0,2	0,1	0,1
Diğer tür beyin sarsıntısı ve iç yaralanmalar	0,6	0	0
Diğer tür şoklar	0,4	0	0
Diğer tür yanıklar, kaynar su ile kavrulma ve donmalar	0,6	1,5	1,5
Diğer tür zehirlenme ve enfeksiyonlar	0	0,1	0,1
İç yaralanmalar	3,2	0,8	0,9
Kapalı kırıklar	1,6	9,2	9,1
Kimyasal yanıklar (korozyon)	0,3	0,5	0,5
Nefesin kesilmesi	0,1	0	0
Travma şokları	0,1	0	0
Travma sonucu organ kaybı (bedenin bir parçasının kaybı)	60,7	0,1	1,0
Yanıklar ve kaynar su ile kavrulmalar (termal)	0,2	1,8	1,8
Yaranın türü bilinmeyen veya belirtilmemiş	0,5	2,3	2,3
Yüzeysel yaralanmalar	6,5	45,1	44,5

Yaralanmanın vücudun hangi bölümünde gerçekleştiği ile ilgili veriler analiz edilmiş ve Çizelge 6.6'da dağılımları verilmiştir [150].

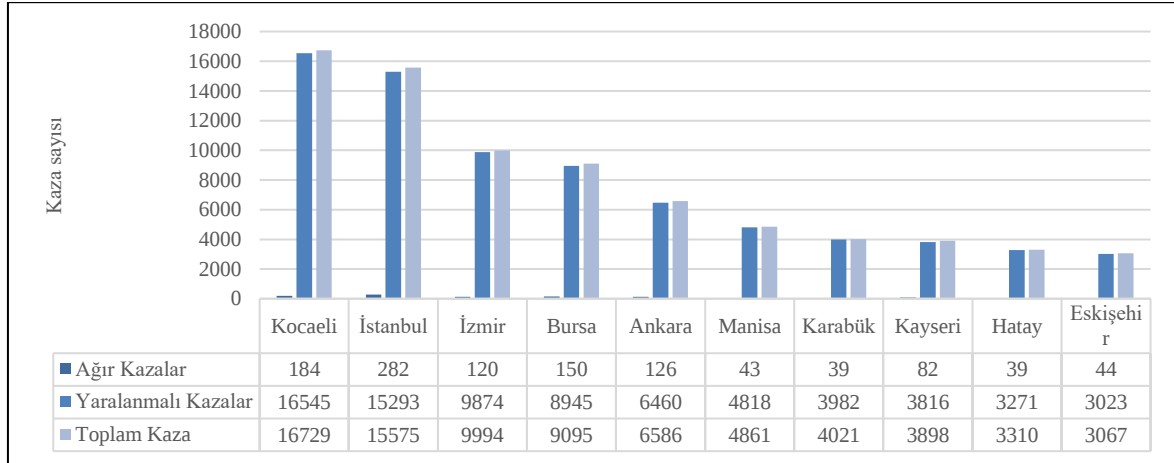
Çizelge 6.6. İş kazalarında yaralanan vücut bölümünün dağılımı

Yaralanma Türü	Kaza Oranı (%)		
	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası
Ayak	2,4	8,3	8,2
Ayak bileği	0,9	4,7	4,7
Ayak parmak(lar)ı	1,2	1,8	1,8
Bacaklar; yukarıda belirtilmemiş diğer bölgeleri	0,1	1,2	1,2
Bacaklar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0,6	1,6	1,6
Bedenin, etkilenmiş çeşitli bölgeleri	8,2	0,9	1,0
Bilek	0,4	3,5	3,4
Boyun; boyundaki omurilik ve omur dahil	1,0	0,5	0,5
Dirsek dahil kol	0,5	2,9	2,9
Diz dahil bacak	3,5	2,5	2,5
El	12,8	14,8	14,8
Göğüs kafesi (kaburga), eklem ve kürek kemikleri dahil olmak üzere kaburgalar	0,9	0,7	0,7
Gövde; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	1,0	0,7	0,7
Göz(ler)	0,5	2,2	2,2
Kafa, beyin ve beyine bağlı sinir ve damarları	3,5	0,4	0,4
Kafa; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	1,9	3,0	3,0
Kalça ve kalça eklemleri	0,3	0,4	0,4
Kollar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0,8	4,0	4,0
Kulak(lar)	0,1	0,2	0,2
Omuz ve omuz eklemleri	0,2	0,9	0,9
Organlarıyla birlikte göğüs bölgesi	1,2	0,1	0,1
Organlarıyla birlikte karınla ilgili ve sırtın alt bölümü (kalça kısmı)	0,3	0,3	0,3
Parmak(lar)	49,9	31,8	32,1
Sırt; sırttaki omurilik ve omur dahil	0,1	2,3	2,2
Tüm beden (bütün vücuda tesir eden etkiler)	5,5	0,3	0,4
Vücudun yaralanmış diğer bölgelerinden yukarıda belirtilmemiş alanlar	1,6	7,3	7,2
Yüz bölgesi	0,6	2,7	2,7

Tüm kazaların %32,1’inde parmak(lar) yaralanırken, ağır kazalarda bu oran %49,9’a çıkmaktadır. Parmaklardan sonra en fazla hasara uğrayan organ ise ellerdir. Elleri; hafif yaralanmalı ve toplam kaza analizinde ayakları hasara uğratan kazalar takip ederken ağır kazalarda bedenin çeşitli bölgelerinin etkilendiği kazalar gelmektedir. Yaranın vücuttaki yerinin yaralanma sebebine ve türüne göre ayrı ayrı dağılımları Ek-3’te verilmiştir. Parmak(lar)’da hasar oluşumuna sebep olan kazaların kendi içerisinde yaralanma sebepleri incelendiğinde en fazla kazanın %34,8 oranı ile “Kısılmak, ezilmek – arasında” kategorisinde gerçekleştiği görülmüştür. Ellerde hasara yol açan kazalar incelendiğinde ise toplam %32,8 ile “Kısılmak, ezilmek – arasında” ve “Keskin bir materyal araç ile temas (bıçak, keski, vb.)” kategorilerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yine aynı kazaların yaralanma türü incelendiğinde ise parmak(lar)’da hasara sebep olan kazaların %51 oranı ile “Yüzeysel yaralanmalar” ve %12 oranıyla “Kapalı kırıklar” kategorisinde olduğu tespit edilmiştir. Ellerde ve ayaklarda hasara yol açan kazalarda yaralanma türü sıralaması ise “Yüzeysel yaralanmalar” ve “Burkulmalar ve incinmeler” şeklindedir.

6.1.4. İş yerine ait değişkenlerinin analizi

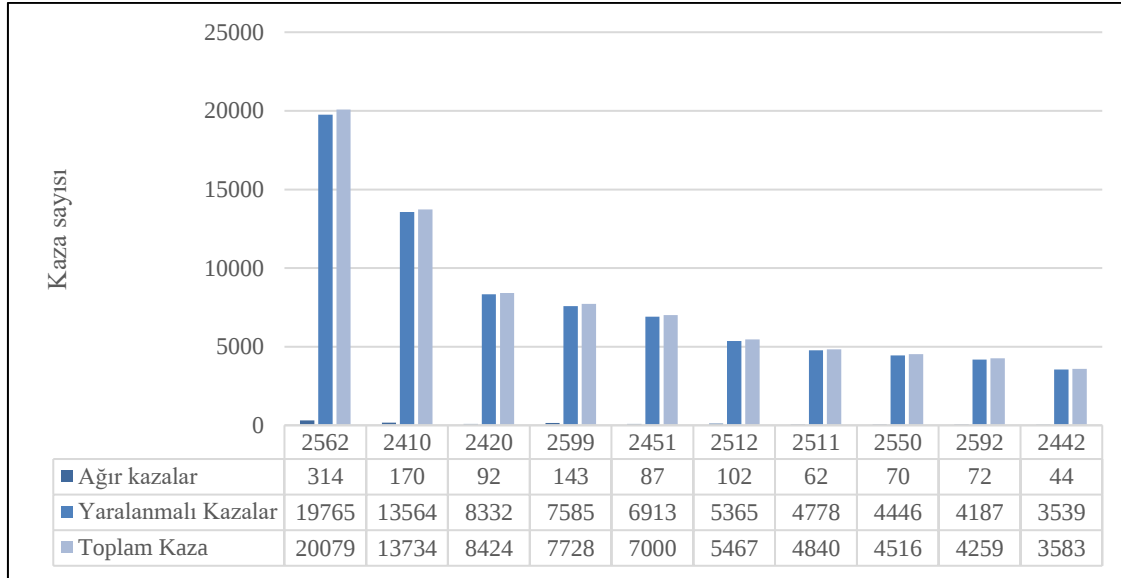
Bu tez çalışma kapsamında incelenen iş kazaları 78 farklı ilde gerçekleşmiştir. İş kazalarının gerçekleştiği illere göre dağılımı Ek-3'te verilmiş olup toplam iş kazasında en fazla kaza gerçekleşen ilk 10 ilin dağılımı Şekil 6.2'de verilmiştir [150].



Şekil 6.2. Kazanın gerçekleştiği ilk on ilin dağılımı

Tüm kazaların yaklaşık %16'sı sanayinin yoğun olduğu bir il olan Kocaeli ilinde gerçekleşirken ağır kazaların ise %18 oranı ile en fazla İstanbul gerçekleşmiştir.

Kaza yaşanan işyerlerinin NACE Rev.2. sınıflandırmasına göre dörtlü düzeyde dağılımı incelenmiş ve 33 farklı NACE kodunda kazaların gerçekleştiği tespit edilmiştir. İş Kazalarının NACE kodlarına göre dağılımı Ek-3'te verilmiştir. En fazla kaza gerçekleşen 10 tane iş yeri NACE kodunun dağılımı Şekil 6.3'te verilmiştir [150].



Şekil 6.3. İşyeri NACE kodu dağılımları

Tüm kazaların %19,1'i 2562 NACE koduna sahip işyerlerinde gerçekleşmiştir. Bu grubu %13,1 oranıyla 2410 kodlu işkolu takip etmektedir. Kaza şiddeti grubuna göre en fazla kaza gerçekleşen işyeri ilk iki NACE kodu değişmemekte fakat sonrasındaki sıralama değişmektedir.

6.1.5. Ağır kazaların analizi

Ağır kazaların ölümlü ve uzuv kayıplı olarak ayrı ayrı istatistiksel dağılımları Ek-4'te verilmiştir. SGK'ya iş kazası bildirimi yapan bildiriciler iş kazalarının neden ve nasıl gerçekleştiğine dair açıklama kısmına bilgilendirmelerini yazmaktadırlar. Ağır kazaların bu açıklamaları ayrıntılı şekilde analiz edilerek tehlike kaynak veya kaynakları Çizelge 4.4'e göre sınıflandırılmıştır. Birden fazla tehlike kaynağı dolayısıyla iş kazası gerçekleşiyse birinci kaynak ve ikinci kaynak olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, ağır kazaların açıklama bilgisinde kaza sırasında kullanılan ekipman bilgileri belirtilmişse, bu ekipmanların bilgisi de ek olarak listelenmiştir. Ağır kazaların tehlike sınıflarına göre dağılımı Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Tehlike kaynaklarının dağılımı

Kaza Nedeni	Ağır Kazalar		
	Ölümlü kazalar	Uzuv kayıplı kazalar	Toplam Ağır Kaza
Biyolojik Etmenler	55	2	57
Çalışma Talimatı Gerektiren İşler	83	48	131
Elektrik Kaynaklı Etmenler	26	3	29
Ergonomik Etmenler	1	2	3
Genel	20	24	44
Güvensiz Davranışlar	9	22	31
Kimyasal Etmenler	16	13	29
Mekanik Etmenler	99	976	1075
Nakliye ve İç Ulaşım	74	49	123
Organizasyonel Etmenler	4	2	6
Diğer	10	4	14
Toplam	397	1145	1542

Yukarıdaki çizelge incelendiği en çok kazaya sebep olan tehlike kaynakları sırasıyla mekanik etmenler, çalışma talimatı gerektiren işler, nakliye ve iç ulaşım ve biyolojik etmenler olduğu görülmüştür.

Mekanik etmenler kaynaklı kazaların genellikle pres ve vinç kullanımı sırasında gerçekleştiği incelenen açıklamalarda tespit edilmiştir.

Çalışma talimatı gerektiren işler sınıfında ise çoğunlukla yüksekte çalışma gerektiren işler ve bakım-onarım işlerinin olduğu görülmüştür. Nakliye ve iç ulaşım kaynaklı kazaların genellikle trafik kazaları ve forklift kaynaklı kazalar olduğu tespit edilmiştir. Biyolojik etmen kaynaklı kazaların çoğunluğu kalp krizi geçiren çalışanlardan oluşmaktadır.

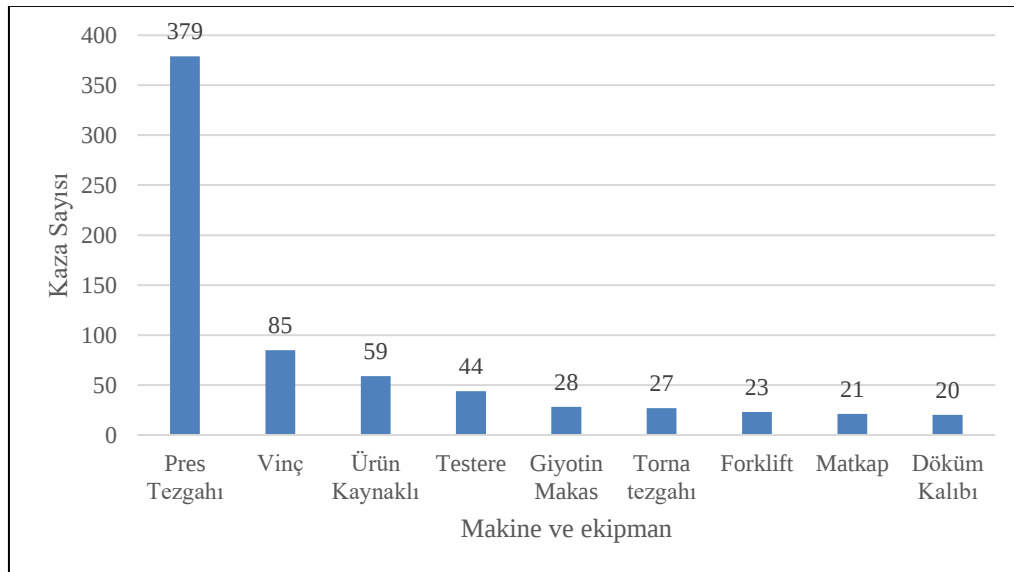
Ölümle sonuçlanan ve tehlike kaynağı çalışma talimatı gerektiren işler olan kazaların açıklamaları incelendiğinde ise 59 tanesinin yüksekte güvensiz çalışma kaynaklı, 17 tanesinin uygun olmayan şekilde bakım onarım çalışmaları yapılmasından kaynaklı, 3 tanesinin EKED bulunmamasından kaynaklı, 3 tanesinin kapalı alanda çalışma kaynaklı ve 1 tanesinin ise uygun olmayan şekilde yalnız çalışma kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Ölümle sonuçlanan ve tehlike kaynağı nakliye ve iç ulaşım olan kazaların %57'sinin (40 tanesi) trafik kazaları kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

Biyolojik etmenler olarak geçen 55 ölümlü iş kazasının 26 tanesi kalp krizi kaynaklı, 22 tanesinin çalışanın sağlık problemlerinden kaynaklı olduğu, 6 tanesinin intihar kaynaklı ve 1 tanesinin ise bir çalışanın diğerini öldürmesinden kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

Uzuv kaybına yol açan nakliye ve iç ulaşım kaynaklı kazalar ise genellikle forklift, vinç ve transpalet gibi araçlara ürün yüklerken (13 adet), taşıırken (23 adet) ve indirirken (3 adet) gerçekleşmektedir. Bu şekilde toplam 39 adet kaza gerçekleşmiştir.

Uzuv kaybına yol açan çalışma talimatı gerektiren işler kaynaklı kazalar ayrıntılı olarak incelendiğinde ise 41 tanesinin uygun olmayan şekilde bakım onarım çalışmaları yapılmasından kaynaklı 3 tanesinin yüksekte güvensiz çalışma kaynaklı ve 3 tanesinin EKED bulunmamasından kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

Ağır kaza olarak adlandırılan 1 542 adet iş kazasında sadece 941 tanesinde kullanılan 88 farklı makine ve ekipmana dair bilgilere kazaların açıklamalarından tespit edilebilinmiştir. Bu 941 tane iş kazasında kullanılan makinelerin dağılımı Ek-3'te verilmiş olup en fazla çıkan makineler Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4. Makine ve ekipmanlara göre ağır iş kazalarının dağılımı

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi makinelerin tespit edilebildiği kazalarda yaklaşık %39'luk bir oranla pres tezgâhları büyük bir yer kaplamaktadır. Tavan vinçleri ve vinçler ise %9 ile ikinci sırada yer almaktadır. Ürün olarak geçen başlık ise makinelerde ve ekipmanlar da şekil vermek, kesmek gibi işlemlerde kullanılan ürünlerden kaynaklanan kazaları göstermektedir ve yaklaşık %6 ile ciddi bir kısmı oluşturmaktadır. Ölümlü iş kazaların toplam 65 tanesinde kullanılan makine ve ekipmana dair bilgi bulunmaktadır. Bu 65 tane kazanın 23 tanesi vinç kullanımı kaynaklı gerçekleşmiştir.

6.1.6. Pres tezgâhlarında gerçekleşen kazaların analizi

2013-2018 yılları arasında metal sektöründe yaşanmış, uzuv kaybı ve ölümle sonuçlanmış 1542 adet iş kazasının bildiricileri tarafından yazılan açıklamaları ayrıntılı şekilde okunarak makine kaynaklı gerçekleşen iş kazalarında kullanılan makine bilgisi tespit edilmiştir. Bu tespit sonucunda en fazla iş kazasının pres tezgâhı kaynaklı olduğu (ağır yaralanmaları kazalar içindeki oranı %24,5, makine tespiti yapılabilen kazalar içindeki oranı ise %39,0) ve toplam 379 adet kazanın pres tezgâhında gerçekleştiği görülmüştür. Pres tezgâhı kullanımı kaynaklı iş kazaları ayrıntılı olarak incelenmiş, kazanın gerçekleşme durumu, kazazede ve yaralanma parametreleri gibi ESAW metodolojisinin sunduğu parametreler kullanılarak istatistiksel değerlendirme yapılmıştır. Pres tezgâhı kullanırken yaşanan kazaya ait zaman değişkenlerinin dağılımı Çizelge 6.8’de verilmiştir [150].

Çizelge 6.8. Pres tezgâhı iş kazalarının zaman değişkeni dağılımları

Kaza Yılı	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
2013	138	36,4
2014	48	12,7
2015	54	14,2
2016	44	11,6
2017	53	14
2018	42	11,1
Kaza Ayı	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Ocak	27	7,1
Şubat	19	5,0
Mart	26	6,9
Nisan	38	10
Mayıs	44	11,6
Haziran	33	8,7
Temmuz	38	10
Ağustos	23	6,1
Eylül	41	10,8
Ekim	27	7,1
Kasım	27	7,1
Aralık	36	9,5
Kaza Günü	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Pazartesi	66	17,4
Salı	64	16,9
Çarşamba	74	19,5
Perşembe	59	15,6
Cuma	48	12,7
Cumartesi	7	1,8
Pazar	61	16,1
Kaza Saati	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
00:01-08:00	19	5,0
08:01-12:00	109	28,8
12:01-16:00	169	44,6
16:01-20:00	56	14,8
20:01-00:00	26	6,9

Metal sektöründe, 2013-2018 yılları arasında meydana gelen 379 adet iş kazası incelenmiş ve en fazla kaza 2013 yılında yaşanmıştır. İş kazasının yaşandığı aya göre iş kazaları incelendiğinde Mayıs'ın %11,6 ile en çok kaza yaşanan ay olduğu tespit edilmiştir. Mayıs ayını yakın oranlarla eylül, nisan ve temmuz ayı takip etmektedir. İş kazalarının yaşandığı günler incelendiğinde ise tüm günler birbirine yakın çıkmaktadır. Fakat, %1,8 ile cumartesi gününün diğer günlerden çok düşük çıkması dikkat çekmektedir. İş kazalarının neredeyse yarısının üçüncü vardiyada (12:01-16:00) gerçekleştiği görülmektedir.

Pres tezgâhı kullanırken kaza yaşayan kazazedeler ait değişkenlerin dağılımı Çizelge 6.9'da gösterilmiştir [150].

Çizelge 6.9. Pres tezgâhında iş kazası yaşayan kazazedeye ait değişkenlerinin dağılımı

Kazazede Yaşı	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
15-24	72	19
25-35	119	31,4
36-40	56	14,8
41- 50	100	26,4
51+	32	8,4
Kazazede Cinsiyeti	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Erkek	342	90,2
Kadın	37	9,8
Medeni Durumu	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Bekar	96	25,3
Bilinmeyen	2	0,5
Boşanmış	11	2,9
Dul	1	0,3
Evli	269	71
Öğrenim Durumu	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Okur-yazar değil	3	0,8
Okur yazar	27	7,1
İlkokul	178	47,0
Ortaokul	70	18,5
Lise	66	17,4
Yüksek Okul	34	9
Üniversite	1	0,3
İSG Eğitim Durumu	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Var	319	84,2
Yok	60	15,8
Mesleki Eğitim Durumu	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Var	258	68,1
Yok	121	31,9
Kazazedenin İş Hayatındaki Tecrübesi (yıl)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
0-5	88	23,2
6-10	75	19,8
11-15	55	14,5
16-20	42	11,1
21-30	87	23
31+	32	8,4

Çizelge 6.9. (devam). Pres tezgâhında iş kazası yaşayan kazazedeye ait değişkenlerinin dağılımı

Kazazedenin Kaza Olan İşyerindeki Tecrübesi	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
0-5	342	90,2
6-10	24	6,3
11-15	4	1,1
16-20	1	0,3
21-30	5	1,3
31+	3	0,8

Pres tezgâhı kaynaklı iş kazası yaşayan çalışanların toplam iş tecrübelerinin ortalama 29 ay, kazayı yaşadıkları iş yerlerindeki toplam iş tecrübelerinin ortalaması ise 9 ay olarak tespit edilmiştir. Kazazedelerin yaş ortalaması 35 iken kazazedelerin 342 tanesi erkektir. Kazazedelerin %84,2 temel İSG ve %68,1'i mesleki eğitim almışlardır. Kazazedelerin %71'i evli, %25,3 ise bekar çalışanlardır. Kazaları en çok 25-35 yaş arasındaki çalışanlar yaşamaktadır. Öğrenim durumlarına göre %47 ile ilkokul mezunu çalışanlar en çok kaza yaşayan gruptur.

Araştırılan iş kazalarının %96,3'ü uzuv kayıplı kazalar olup bağımlı değişken olan kaza şiddetlerinin dağılımı Çizelge 6.10'da verilmiştir [150].

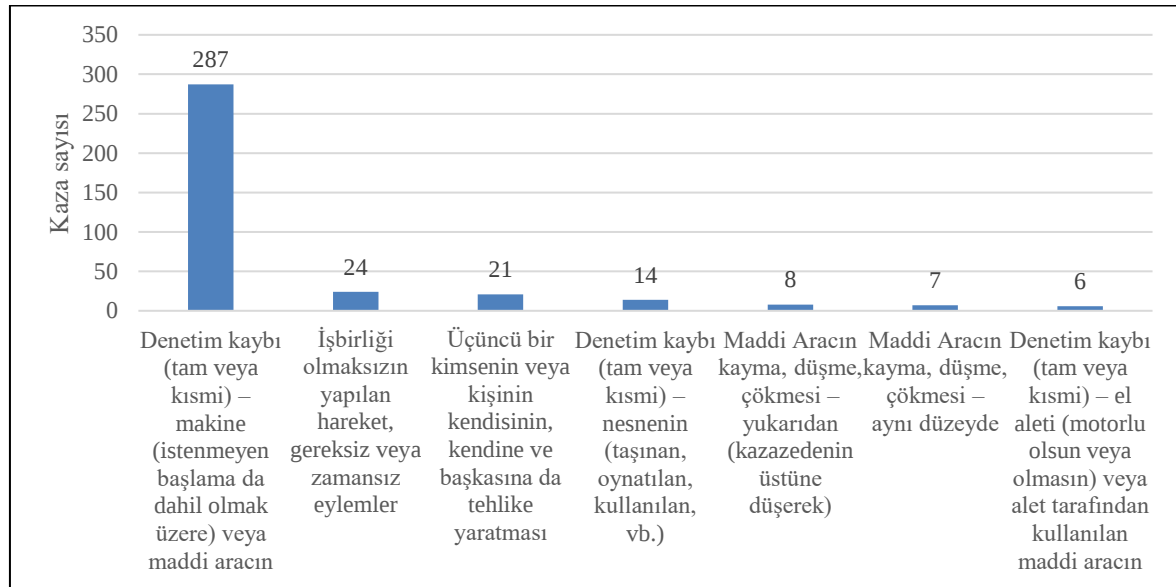
Çizelge 6.10. Pres tezgâhı kazalarının şiddet dağılımı

Kaza Şiddeti	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
KŞ1: Uzuv kayıplı kazalar	365	96,3
KŞ2: Ölümlü kazalar	14	3,7

Bu tez çalışması kapsamında pres tezgâhlarında yaşanan kazalar özelinde kaza şiddeti bağımlı değişken olup kaza zamanı ve kazazedeye ait değişkenlere göre değerlendirilmektedir. Kazanın gerçekleştiği yıl değişkeni kaza şiddetine göre farklılık göstermektedir. KŞ1 grubundaki kazaların %37,5'i 2013 yılında gerçekleşirken KŞ2 grubundaki kazaların %42,9'u 2016 yılında gerçekleşmiştir. Bir diğer farklılık ise kazazedelerin yaş dağılımıdır. KŞ1 grubundaki kazalar en çok 25-35 yaş aralığında yer alan çalışanlarda görülürken, ölüme sebep olan KŞ2 grubundaki kazalar ise en çok %28,6 ile 41-50 yaş aralığında görülmektedir. Çalışanların iş hayatındaki ve kazanın gerçekleştiği işyerindeki tecrübelerine göre dağılımı da her iki grupta farklılık göstermektedir. KŞ1 grubundaki kazazedelerin toplam iş hayatındaki tecrübe dağılımı incelendiğinde en çok kazanın %23,3 oran ile 0-5 yıl tecrübesi bulunmaktadır. Diğer yandan, KŞ2 grubundaki kazazedeler en çok %21,4 eşit oranıyla 0-5, 6-10, 16-20 yıl tecrübesi olanlar olurken 11-15

yıl tecrübe aralığında hiç kaza yaşanmadığı tespit edilmiştir. Kazanın yaşandığı iş yerindeki tecrübeler incelendiğinde ise KŞ2 grubundaki çalışanların %57,1'i daha işyerlerinde bir yılları dolmadan hayatlarını kaybederken, bu oran KŞ1 grubu için %13,4'tür. Diğer değişkenlerde kaza şiddeti gruplarında anlamlı değişiklikler bulunmamaktadır.

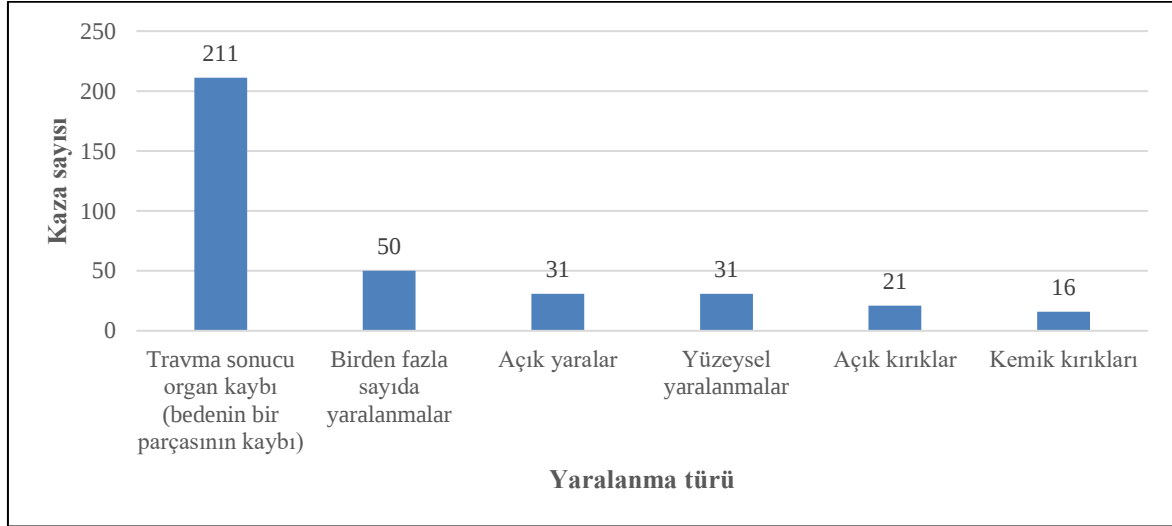
Kazaların kök sebeplerinin tespit edilmesi amacıyla kaza nedenleri ESAW metodolojisi kullanılarak incelenmiştir. Kazaya sebebiyet veren son sapma tespitinde ESAW metodolojisinin kaza sebebi kategorize edilmesinde 52 başlığından sadece 16 madde altında kaza sebepleri toplanmış olup tüm kazaların %97'si ise 6 kategoride toplanmıştır. Bu kategoriler ve dağılımları Şekil 6.5'te verilmektedir [150].



Şekil 6.5. Pres tezgâhlarında kazaya sebebiyet veren son sapma dağılımı

Kaza sebepleri incelendiğin kazaların büyük çoğunluğunun öncelikle tezgâh kaynaklı daha sonrasında ise insan kaynaklı olduğu görülmektedir. ESAW metodolojisi Ek-2'de 41 kodlu kategorideki kazalar, tüm kazaların %75,7'sini oluşturmaktadır. KŞ1 ve KŞ2 gruplarında yine bu kategori birinci sıradadır. İnsan faktöründen kaynaklı kazalar olarak nitelendirilen 64 kodlu kategori ve 85 kodlu kategorinin toplamı ise tüm kazaların %11,9'unu oluşturmaktadır. 41 kodunda gerçekleşen kazaların %88,8'i kısılma-ezilme kategorisindedir. İnsan kaynaklı faktörlerin sebep olduğu kazalardaki kazazedeler kendi arasında değerlendirildiğinde %20'sinin İSG eğitimi, %42,2'si mesleki eğitimi, %17,8'i ise her iki eğitimi de almadığı tespit edilmiştir.

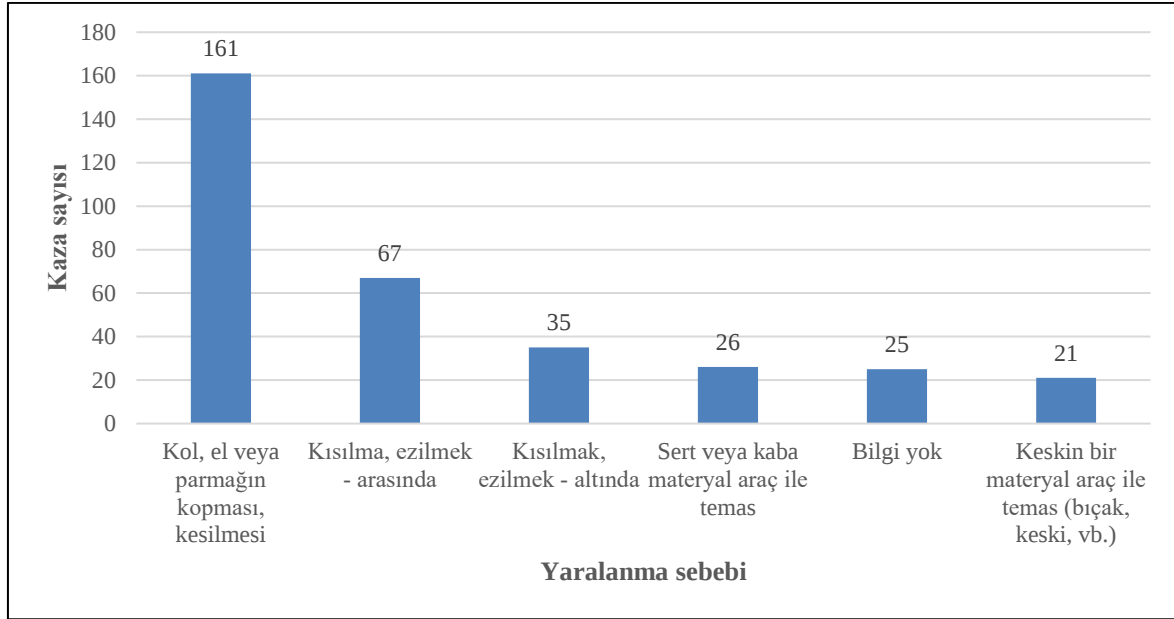
İncelenen 379 adet pres tezgâhı kaynaklı iş kazasının ESAW’da belirtilen yaralanma türlerine göre seçilen 13 farklı kategoriden ilk altı tanesinin dağılımı Şekil 6.6’da verilmektedir [150].



Şekil 6.6. Pres tezgâhlarında yaralanma türleri dağılımı

İncelenen yaralanma türlerinden 211 kaza ile tüm kazaların %55,7’si “Travma sonucu organ kaybı (bedenin bir parçasının kaybı)” kategorisindedir. ESAW metodolojisinin Ek 2’sinde 40 koduyla yer alan bu kategori uzuv kaybı olan kazalar için kullanılmaktadır. Ölüme sebep olan KŞ2 grubu özelinde yaralanma türü incelendiğinde ise %35,7 ile en çok kazanın “Birden fazla sayıda yaralanmalar” kategorisinde olduğu tespit edilmiştir. ESAW metodolojisinin Ek 2’sinde 120 kodunda yer alan bu kategori vücutta farklı yaralanma türleri bulunduğu kullanılmaktadır.

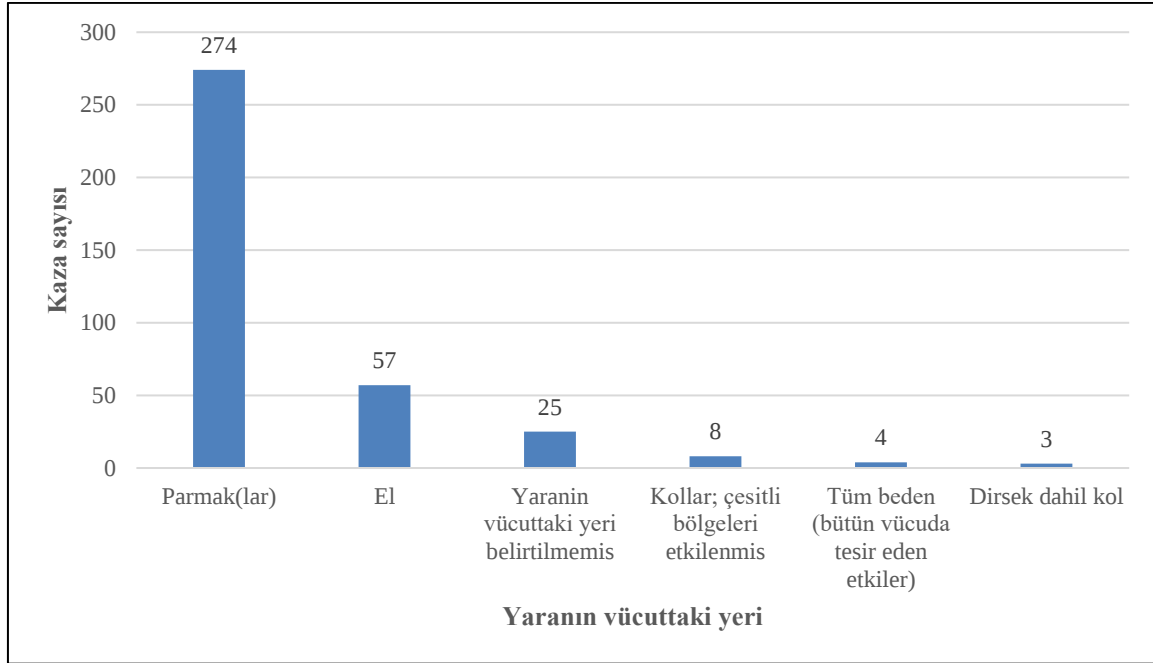
ESAW metodolojisinin bir diğer kategorisi ise yaralanmaya sebep olan olaydır. Bu kategori yaralanmaya neden olan eylem gerçekleştirilirken; kazazedenin yaralanmaya sebep olan nesne ile temasını açıklamaktadır. Tüm kazalarda toplam 17 kategori tespit edilmiştir. Tüm kazaların %88,4’ü ilk 6 kategoride toplanmış olup dağılımları Şekil 6.7’de verilmektedir [150].



Şekil 6.7. Pres tezgâhlarında yaralanma sebepleri dağılımı

Tüm kazaların %42,5'inin "kol, el veya parmağın kopması, kesilmesi" kategorisinde yer aldığı tespit edilmiştir. %17,7 ile "kısılma, ezilmek – arasında" en fazla yaralanmaya sebebiyet veren ikinci durumdur. Kaza şiddeti kategorilerinde bu durum farklılık göstermektedir. KŞ2 grubunda yer alan kazaların sadece altı kategoride (araçlar da dahil olmak üzere dönen, hareket eden, taşınmakta olan bir nesnenin darbesi, keskin bir materyal araç ile temas (bıçak, keski, vb), kısılma, ezilmek – arasında, sert veya kaba materyal araç ile temas, uçan bir nesnenin darbesi, çıplak alev veya sıcak veya yanan bir nesne veya ortam ile temas) gerçekleştiği ve %64,3 ile en fazla "kısılma, ezilmek – arasında" kategorisindeki kazalar olduğu görülmektedir.

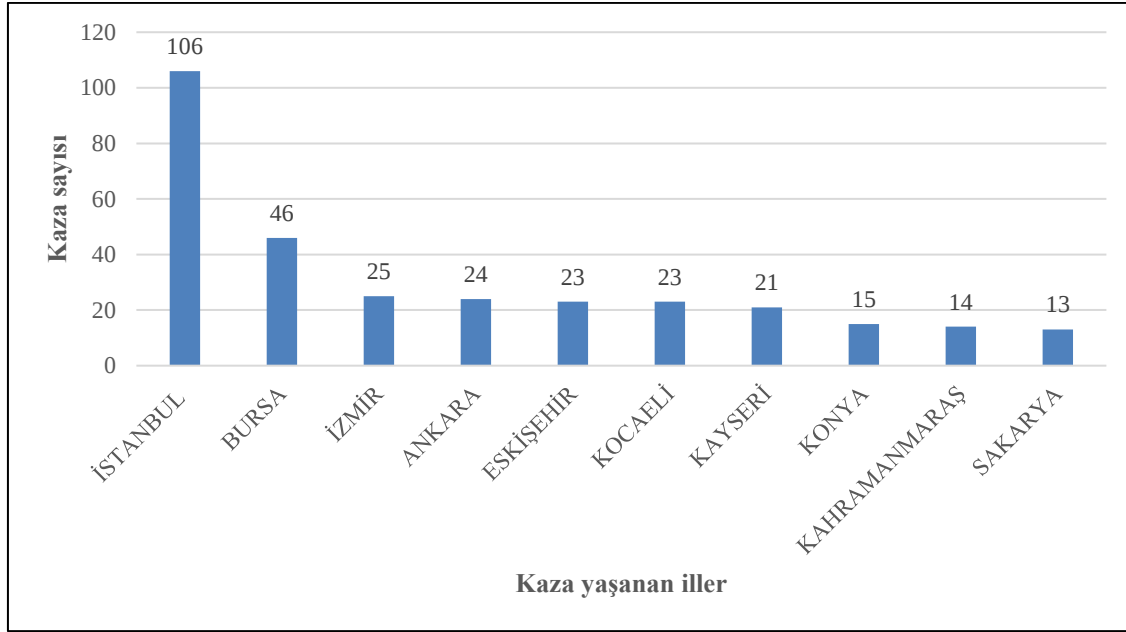
Yaralanmanın vücudun hangi bölümünde gerçekleştiği ile ilgili veriler analiz edilmiş ve tüm kazaların %97,9'unun 6 kategoride toplandığı tespit edilmiştir. Bu altı kategori ve kazaların dağılımı Şekil 6.8'de verilmiştir [150].



Şekil 6.8. Pres tezgâhlarında yaralanın vücuttaki yerine göre dağılımı

Tüm kazaların %72,3’ünde parmak(lar) yaralanmıştır. Çalışanın tüm kolu (el ve parmak dahil) tek bir kategoride toplandığında kazaların %90,2’sini kapsamaktadır. Parmak(lar)’da hasar oluşumuna sebep olan kazaların nedenleri incelendiğinde tezgâhın, nesnenin ya da el aletinin denetim kaybindan oluşan kazaların bu kazaların %32,1’ini oluşturduğu tespit edilmiştir. Yine aynı kazaların yaralanma türü incelendiğinde ise %69,3 ile en fazla travma sonucu organ kaybı (bedenin bir parçasının kaybı) kategorisinde olduğu tespit edilmiştir. KŞ1 grubundaki kazaların vücutta hasar verdiği yerlerin sıralaması toplam kaza sıralamasıyla aynı olurken, ölümlü kazaları içeren KŞ2 grubundaki kazalarda en çok %28,6 ile “Tüm beden (bütün vücuda tesir eden etkiler)” kategorisinde yer almıştır. Bu kategoriye %21,4 ile elde oluşan yaralanmalar takip etmektedir.

Bu çalışma kapsamında incelenen 379 pres tezgâhı kaynaklı iş kazası 35 farklı ilde gerçekleşmiştir. Şekil 6.9’da en fazla kaza yaşanan illerin dağılımı verilmektedir [150].



Şekil 6.9. Pres tezgâhlarında kaza yaşanan illerin dağılımı

Tüm kazaların %28'i sanayinin yoğun olduğu bir il olan İstanbul'da gerçekleşirken KŞ2 grubundaki ölümlü kazalar ise en fazla %42,8 toplam oranı ile Sakarya ve İzmir illerinde gerçekleşmiştir.

NACE Rev.2. sınıflandırmasına (Ek-1) göre dörtlü düzeyde kaza yaşanan işyerlerinin dağılımı incelenmiş ve 25 farklı NACE kodunda kazaların gerçekleştiği tespit edilmiştir. En fazla kaza gerçekleşen iş yeri NACE kodları dağılımı Çizelge 6.11'de verilmiştir [150].

Çizelge 6.11. Pres tezgâhı kazasının gerçekleştiği işyerlerinin NACE kodları

NACE Kodu	Kaza Sayısı
2562	88
2599	41
2550	40
2573	32
2592	32
2410	17
2512	17
2442	11
2561	11

Tüm kazaların %23,2'si 2562 NACE koduna sahip işyerlerinde gerçekleşmiştir. KŞ2 grubunda bu sıralama değişmekte olup en çok kaza eşit oranda dağılıma (%14,3) sahip 2410, 2562, 2573 ve 2590 NACE kodlarındaki işyerlerinde gerçekleşmiştir.

6.2. Makine Öğrenimi Uygulamaları

Bu tez çalışmasında, ulusal iş kazası verileri kullanılarak 2013-2018 yılları arasında metal sektöründe yaşanmış 1542 adet ağır kaza (uzuv kayıplı veya ölümlü); tehlike kaynağı tahminlemesi amacıyla makine öğrenimi algoritmalarıyla R programlama dili kullanılarak değerlendirilmiştir. Böylelikle gelecekte meydana gelebilecek kazaların neden ve sonuçlarının tahmin edilmesi ve bu sonuçlara göre oluşturulacak politikalara veri sağlanacaktır. Bu çalışmada gerçekleştirilmiş makine öğrenimi yöntemini, şirketler kendi kaza verileri içinde kullanarak tahminlerde bulunabilir ve çıkan sonuçlara göre önleyici tedbirler alabilirler. Makine öğrenimi algoritmalarıyla elde edilen iş kazalarının tehlike kaynaklarına yönelik veriler kullanılarak, hazırlanacak ulusal politikalarla iş kazalarının önlenmesi sağlanacaktır. Algoritma kayıtlı olmayan yeni veri girildiğinde de tahminde bulunabildiği için canlı sistemde de kullanmaya uygun olacaktır.

6.2.1. 10-katlı çapraz doğrulama tekniğinin sonuçları

Öncelikle iş kazalarının tehlike kaynaklarının tahmini için RF algoritması kullanılmıştır. RF algoritması ilk aşamada 10-katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmadan tüm değişkenlere uygulanmış ve programın verdiği doğruluk değerinin görüntüsü Şekil 6.10'da verilmiştir.

mtry	Accuracy	Kappa
2	0.6409997	0.04680341
118	0.8809192	0.79166057
234	0.8760542	0.78634286

Şekil 6.10. RF algoritmasının hesaplanan ilk doğruluk değerinin program görüntüsü

RF algoritmasının ilk aşamada hesaplanan doğruluk değeri 0,8760 olarak bulunmuştur.

İkinci aşamada RF algoritmasına 10-katlı çapraz doğrulama yöntemi uygulanmış ve doğruluk değeri tekrar hesaplanmıştır. Hesaplanan yeni doğruluk değerinin program görüntüsü Şekil 6.11'de gösterilmiştir.

Overall Statistics	
Accuracy :	0.9172
95% CI :	(0.8802, 0.9457)
No Information Rate :	0.6424
P-Value [Acc > NIR] :	< 2.2e-16
Kappa :	0.8535

Şekil 6.11. Doğrulama işlemi sonrası RF doğruluk değerinin program çıktı görüntüsü

10-katlı çapraz doğrulama yöntemiyle RF algoritmasının doğruluk değeri 0,9172 ulaşmış ve yöntemin uygulanmadığı (test ve eğitim veri setleri için iş kazası verilerinin %80'ni ve doğrulama için kullanılan veri setinin kalan %20'si rastgele seçildiği) duruma göre %4,7 oranında artış sağlanmıştır.

6.2.2. Değişken önceliklendirmesi

Bu çalışmada, değişken önceliklendirmesi çalışması için RFE yöntemi uygulanmış ve 20 değişken başlığı içerisinde öncelikli 10 değişken ve her bir değişken performans değeri üzerindeki etkisi yüzde olarak Çizelge 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.12. Öncelikli değişkenler

	Değişken	Yüzde etkisi
1	Tehlike kaynağı (2)	%27
2	İşgünü Kaybı	%16
3	Kazaya sebebiyet veren son sapma	%12
4	Makine	%11
5	Yaranın vücuttaki yeri	%9
6	Yaralanma türü	%5
7	Yaralanmaya sebep olan olay	%4
8	Yaş	%1
9	Kazazedenin kaza yaşadığı işyerindeki tecrübesi	%0,8
10	Kazazedenin iş hayatındaki toplam tecrübesi	%0,74
11	Diğerleri	%13,46

20 tane değişken içerisinde sonuca etkisi %5'in üzerinde olan değişkenler (Kaza tehlike kaynağı (2), İşgünü Kaybı, Kaza sebebi sapma kodu, Makine, Yaralanmanın vücuttaki yeri) kullanılarak RF algoritması tekrar uygulanmış ve elde edilen doğruluk değeri Şekil 6.12'de verilmiştir.

Overall Statistics	
Accuracy :	0.9172
95% CI :	(0.8802, 0.9457)
No Information Rate :	0.6424
P-Value [Acc > NIR] :	< 2.2e-16
Kappa :	0.855

Şekil 6.12. RFE uygulaması sonrası yeniden hesaplanan RF doğruluk değeri

Uygulanan RFE yönteminin RF algoritmasının doğruluk değerinde değişikliğe yol açmamıştır. Bu sebeple diğer makine öğrenimi algoritmalarında tüm veriler kullanılmıştır.

6.2.3. Makine öğrenimi algoritmalarının sonuçları ve kıyaslanması

Bu tez çalışmasında; GBM, KNN, RF ve CART gibi makine öğrenimi yöntemlerini kullanarak iş kazalarının tehlike kaynaklarını ve sonuçlarını tahmin etme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

RF için ağaç sayısı 50 seçilmiştir. KNN’de, k değeri için program tarafında 3, 5, 7 ve 9 değerleri kullanılmış ve en yüksek doğruluk değerine 7 olduğunda ulaşılmıştır. Bu sebeple k değeri 7 olarak seçilmiştir. GBM için ise program 20 tane ağaç uygulamıştır.

Programın hesaplamış olduğu tüm performans ölçütlerinin sonuçları Ek-5’te açıklamalarıyla verilmiştir. Makine öğrenimi algoritmalarına ait karmaşıklık matrisleri RF için Şekil 6.13, KNN için Şekil 6.14, CART için Şekil 6.15 ve GBM için Şekil 6.16’da verilmiştir. Matrislerdeki C kodlarının açıklamaları ise Ek-6’da verilmiştir.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	10	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	15	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C3	1	0	7	1	3	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	1	1	0	8	0	0	0	0	0	0	0
C6	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0
C7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0
C9	0	0	4	0	1	0	0	0	8	1	0	0
C10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0
C11	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	194	0
C12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	9

Şekil 6.13. RF algoritmasının karmaşıklık matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	2	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
C2	2	6	2	1	1	1	0	0	1	0	0	0
C3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
C6	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0
C7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C11	6	7	9	2	17	9	0	9	8	4	192	9
C12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 6.14. KNN algoritmasının karmaşıklık matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	9	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C6	1	4	8	2	13	11	0	0	0	0	2	0
C7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C11	1	0	4	1	3	3	0	9	9	4	192	9
C12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 6.15. CART algoritmasının karmaşıklık matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	11	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	9	1	1	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	1	1	1	10	0	0	0	0	0	0	0
C6	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0
C7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0
C9	0	0	3	0	1	0	0	0	6	1	1	0
C10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C11	0	0	0	1	4	1	0	0	3	3	193	0
C12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	9

Şekil 6.16. GBM algoritmasının karmaşıklık matrisi

Makine öğrenimi algoritmalarının performans ölçütü için yukarıda verilen karmaşıklık matrisi kullanılarak; doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F-skoru değerleri hesaplanmış ve Çizelge 6.13'te verilmiştir.

Çizelge 6.13. Makine öğrenimi algoritmalarının performans ölçütleri

Makine Öğrenimi Algoritması	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F-skoru
RF	0,9172	0,9618	0,9518	0,9568
KNN	0,6722	0,9354	0,7275	0,8185
GBM	0,9073	0,9716	0,9319	0,9513
CART	0,7417	0,9333	0,7832	0,8517

Uygulanan dört makine öğrenimi algoritmasından RF ve GBM analizi, sırasıyla 0,9172 ve 0,9073 doğruluk değeriyle en yüksek performans gösteren algoritmalar olmuştur. Diğer performans ölçütlerinde de en yüksek başarı oranlarını RF ve GBM vermiştir. Makine öğrenimi algoritmaları tamamen aynı değişkenler kullanılarak uygulanmıştır.

7. TARTIŞMA

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında 2013-2018 yılları arasında yaşanmış İBYS üzerinden temin edilen ve metal sektöründe meydana gelen iş kazalarının istatistiksel analizi gerçekleştirilmiştir. İş kazalarının nedenlerini ve etkileyen parametrelere dair istatistikler bulgular kısmında verilmiştir. Ayrıca, 2013-2018 yılları arasında metal sektöründe yaşanmış 1542 adet uzuv kayıplı ve ölümlü iş kazalarının tehlike kaynakları ve kaza şiddetleri tahminlemesi yapılması amacıyla makine öğrenimi algoritmaları uygulanmış ve sonuçlar yine bulgular kısmında verilmiştir. Analizlerden dikkat çeken ana başlıkların değerlendirilmesi amacıyla istatistiksel çalışmaların karşılaştırılması ve makine öğrenimi uygulamalarının tartışılması amacıyla bu bölüm ikiye ayrılmıştır.

7.1. İstatistiksel Analiz Çalışmaları

Her iki kaza şiddeti grubunda da iş kazalarının yıllara göre dağılımı çok yakın olup sadece 2013 yılı daha fazla kaza yaşanmasıyla dikkat çekmektedir. 6331 sayılı kanun 2012 yılında yayımlanmıştır. Yıllar içerisinde kanun getirdikleri ve kontrol tedbirlerinin artması sebebiyle iş kazaları azalmıştır.

Gerçekleştiği aya göre iş kazaları incelendiğinde; ağır kazalarda en fazla kaza yaşanan aylar mayıs, mart ve temmuz iken, yaralanmalı kazalarda temmuz, haziran, mart ve mayıs ayları olduğu tespit edilmiştir. MESS'in ve Kifle ve arkadaşlarının yayınladıkları çalışmalarında iş kazalarının en fazla mart ayında gerçekleştiğini tespit etmişlerdir [5, 25]. Saha ve arkadaşları [24], kazaların en sık gözlemlendiği ayları mayıs-haziran dönemi olarak bulmuştur. Gerçekleştirilen çalışmalardan görüleceği üzere mart ayı metal sektörü için İSG açısından en riskli aylardan birisidir. Kazaların yaz aylarında artması, bazı çevresel faktörlerin (o aylarda artan ortam sıcaklığı) kazanın meydana gelmesinde rol oynamış olabileceğini göstermektedir.

Ağır kazalar en fazla salı (%18,0), perşembe (%17,9) ve pazartesi (%16,6) günleri gerçekleşirken, yaralanmalı kazalar pazar (%18,0), pazartesi (%17,9) ve salı (%17,7) günleri gerçekleşmektedir. İş kazalarının yaşandığı günler incelendiğinde, tüm günler birbirine yakın çıkmaktadır. Fakat, cumartesi gününün diğer günlerden çok düşük çıkması dikkat çekmektedir. MESS'in yayınladığı analiz gerçekleştirdiğimiz çalışmayla örtüşerek

kazalar en fazla salı günleri gerçekleşmektedir Fuentes-Bargues ve arkadaşları [4] inceledikleri kazaların en fazla pazartesi (%21,8) ve salı (%21) günleri gerçekleştiğini tespit etmiştir. Bu çalışmayla kaza günleri örtüşmekte olup yüzde olarak da yakın yüzdelere elde edilmiştir. Gülhan [16] gerçekleştirdiği çalışmada en fazla kazanın cuma (%20), çarşamba (%17,8) ve cumartesi (%17,8) günleri gerçekleştiğini tespit etmiştir. Bu çalışma, tek bir işyeri özelinde yapılması sebebiyle verilerde farklılıklar olduğu düşünülmektedir. Baba [19] gerçekleştirdiği çalışmada kazaların en sık %27 ile pazartesi günü gerçekleştiğini saptanmıştır. Alp [20], ise gerçekleştirdiği çalışmada kazaların sırasıyla en fazla salı (%19,1), perşembe (%18,6), cuma (%18,2), çarşamba (%17,2), pazartesi (%13,7), cumartesi günü (%10,3) ve pazar günü (%2,9) günleri meydana geldiğini tespit etmiştir [25]. Kifle ve arkadaşları [5], iş kazalarının en fazla salı günü gerçekleştiğini tespit etmiştir. İş kazalarının en fazla pazar günleri gerçekleşmiş olması bugünün tatil olması sebebiyle çalışanlar daha isteksiz çalışmasından kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir.

İş kazalarının neredeyse yarısı üçüncü vardiyada (12:01-16:00) gerçekleşmiştir. Ağır yaralanmalı iş kazaları en çok 08:01-11:00 ve 14:01-16:00 saatleri arasında yaşanmaktadır. Ölümlü iş kazaları en çok 08:01-12:00 ve 13:01-17:00 saatleri arasında, uzuv kayıplı iş kazaları ise en çok 09:01-12:00 ve 13:01-16:00 saatleri arasında yaşanmaktadır. Kaza şiddeti fark etmeksizin kazalar en fazla 12:01-13:00 saat diliminde gerçekleşmiştir. MESS'in [25] ve Fuentes-Bargues ve arkadaşları [4], yayınladıkları çalışmalarda kazaların en çok, üçüncü vardiyada gerçekleştiğini tespit etmiştir. Fuentes-Bargues ve arkadaşları üçüncü vardiyada gerçekleşen kazaların oranını %25,8 olarak bulmuştur. Baba [19] ise gerçekleştirdiği çalışmada iş kazalarının en çok 14:00-14:59 saatleri arasında yaşanmış, kazaların vardiyalara göre dağılımlarında en çok iş kazası %47,5 ile 3. vardiyada gerçekleşmiş ve kazaların en sık gözlemlendiği vardiya çeyreği %29,4 ile 3. çeyrek olduğunu belirlenmiştir. Alp [20] gerçekleştirdiği çalışmada, verileri incelenen 204 kazanın gerçekleştiği saat dilimi dağılımı incelendiğinde; %26'sının 10:00-11:59, %25'inin 14:00-16:00, %15,2'sinin 16:00-17:59, %13,7'sinin 08:00-09:59, %11,8'inin 18:00-07:59, %8,3'ünün 12:00-13:59 aralığında meydana geldiği görülmüştür. [25]. Kifle ve arkadaşları,[5] iş kazalarının en fazla 2. vardiyada gerçekleştiğini tespit etmiştir. Saha ve arkadaşları [24] akşam ve gece vardiyalarında gündüz vardiyalarına göre daha fazla sayıda kaza gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada zamana dayalı dağılım (vardiya içinde), çalışma vardiyasının ikinci yarısında görülme sıklığının arttığını göstermişlerdir. Öğle tatiline yakın zaman diliminde kazaların artmasının sebebi çalışanlar

üzerindeki üretim baskısı, çalışanların öğle molasına hızlıca yetişme isteği ve çalışanların yorulmuş olması sebepli kaynaklanmaktadır. Yukardaki çalışmalardan da görüleceği gibi metal sektöründe üçüncü vardiya iş kazaları açısından dikkatli olunması gereken bir vardiya'dır.

Kazazedelerin yaş ortalaması 33,2 iken ağır kaza yaşayan kazazedelerin yaş ortalaması 35,6, yaralanmalı kaza yaşayan kazazedelerin yaş ortalaması ise 33,1 olarak tespit edilmiştir. Kazazedelerin çoğunluğu 25-35 yaş arasındadır fakat en çok ölümlü kaza yaşanan yaş aralığı ise 41-50'dir. MESS üye işyerlerine ait 2016 yılına ve İSG'ye ait istatistiklerini yayınlamış ve en fazla iş kazası yaşayan çalışan grubunun %48 ile 25-35 yaş aralığında olduğunu tespit etmişlerdir [25]. Fuentes-Bargues ve arkadaşları[4] ise kazazedelerin %33,1 ile en çok 30-39 yaş aralığında kazaya uğradığını belirtmiştir. Ayrıca ölümlü kazaların ise en çok 50-59 gibi ileri yaşlarda gerçekleştiğini görmüşlerdir bu sonuç gerçekleştirdiğimiz tez çalışmasına benzerdir. Gülhan [16], çalışanların yaşlarına göre iş kazası geçirme durumlarını incelediğinde %34,4 oranıyla 20-30 yaş aralığını en fazla kaza yaşayan grup olarak tespit etmiştir. Baba [86], kazazedelerin ortalama yaşını $35,8 \pm 6,2$, en sık kaza gözlenen yaş grubunu ise 35-39 olarak belirlemiştir. Alp [20], iş kazası geçiren 206 çalışanın yaş dağılımları incelendiğinde; %19,4'ü 25-29, %18,9'u 40-44, %18,4'ü 35-39, %18,4'ü 30-34, %14,7'si 20-24, %2,9'u 15-19, %7,3'ü ise 45 yaş ve üzeri olduğu saptanmıştır. Kıratlı [22], iş kazası geçirme sıklığının %73,8 ile 31-35 yaş arasında en yüksek değere sahip olduğunu tespit etmiştir. Saha ve arkadaşları [24] çalışanların yaş dağılımlarını incelemişler ve yaklaşık %64'ünün 30-49 yaş aralığında olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışanların yaklaşık %32'sinin 30 yaş altında ve yalnızca %4,1'inin elli yaş ve üzerinde olduğunu görmüşlerdir. Metal sektöründeki diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlar, genç çalışanların kaza oranının daha yüksek olduğunu göstermektedir [151, 152]. Fakat tüm çalışmalar irdelendiğinde en riskli yaş grubunun 25-30 aralığı olduğu görülmüştür. Bu tespitin doğrulanması için metal sektöründe çalışanlarında yaş dağılımı temin edilerek yorumlanması gerekmektedir. Ölümlü kaza yaşayan çalışanların yaş aralığının yüksek olması normal şartlarda tecrübeli olmaları sebebiyle şaşırtıcı bir durumdur. Bu kazalar incelendiğinde çalışanların kaza yaşadıkları iş yerinde ilk bir yılı içerisinde olduğu ve kazaların bir kısmının da kalp krizi sebepli kaynaklandığı görülmüştür.

Kazazedelerin çoğunluğu %96,2 ile erkek çalışanlardır. Bunun ana sebebi incelenen her yılda sektörde istihdam edilen erkek sayısının kadın sayısında çok fazla olmasıdır [153]. Çalışma şartları zor olan metal sektörünün kadınlar tarafından tercih edilme ihtimali düşük ve aynı şekilde işverenlerin kadın çalışan seçme ihtimalinin düşük olduğu bir sektör olması sebebiyle, kadın çalışan sayısı oldukça azdır. Bunun sonucunda da kadın çalışanlara ait iş kazaları sayısının erkek çalışanlara oranla daha az olmuştur. Alp [20] tarafından gerçekleştirilen çalışmada kazazedelerin tamamının, MESS [25] tarafından gerçekleştirilen çalışmada da kazazedelerin %96'sının erkek olduğunu tespit edilmiştir. Fuentes-Bargues ve arkadaşları[4] tarafından gerçekleştirilen çalışmada da kazazedelerin %95,3'ünün erkek olduğunu, ölümlü kazalar da ise erkekler arasındaki ölümlerin yüzdesi %97,4'e yükseldiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada da benzer şekilde ölümlü iş kazalarda erkek çalışanların oranı %98,8'dir. Metal sektöründeki kadın ve erkeklerin pozisyonlarına ilişkin veriler mevcut olsaydı daha derinlemesine analiz edilebilecek olan bu sonuçlar; metal sektöründeki erkek çalışanlar için mesleki risklerin önlenmesi konusunda özel bilgi ve eğitim programlarına duyulan ihtiyacı yansıtmaktadır.

Kazazedelerin %69,1'i evlidir. MESS tarafından gerçekleştirilen çalışmada kazazedelerin %66'sının evli olduğunu tespit etmişlerdir [25]. Saha ve arkadaşları [24] gerçekleştirdikleri çalışmada çalışanların %85'inin evli olduğunu tespit etmişlerdir. Gülhan [24], çalışanların medeni durumuna göre iş kazası geçirme durumu incelediğinde bekar çalışanların iş kazası yaşama oranı %57,1, evli çalışanların ise %18,5 olduğu görülmüştür. Bu farklılığın Gülhan'ın çalışmasının tek bir işyerinde gerçekleştirmesinden kaynaklı olduğunu düşünülmektedir. Gerçekleştirdiğimiz bu tez çalışmasında metal sektörünün genel bir profili çıkarılmıştır.

Çalışanların iş hayatlarındaki kıdemleri incelendiğinde kaza yaşadıkları iş yerlerinde daha bir yılı dolmadan iş kazası yaşayan çalışanların oranı %43 olarak bulunmuştur. Ağır kazalarda bu oran %65 oranına artmaktadır. İş hayatındaki kıdemleri incelendiğinde ise ağır kaza yaşayanlar arasında 0-5 yıl tecrübesi olan çalışanlar çoğunlukta olurken yaralanmalı kazalarda 6-10 yıl arasında tecrübesi olan çalışanlar çoğunluktadır. Ölümlü kaza yaşayan çalışanların iş hayatındaki tecrübesi en fazla 21-30 yıl arasındayken son iş yerindeki tecrübesi en fazla %86,6 ile 0-5 yıl aralığında çıkmıştır. Bu sonuçtan her ne kadar iş hayatındaki tecrübe çok önemli olsa da en son gerçekleştirdiği işteki tecrübe ve bilgi birikimin önemi görülmektedir. MESS tarafından gerçekleştirilen çalışmada

kazazedelerin %28'inin son işyerindeki tecrübesinin ise yaklaşık 2-4 kıdem yılı aralığında olduğunu tespit etmişlerdir [25]. Saha ve arkadaşları [24] ortalama çalışma süresini $5,7 \pm 1,9$ yıl olarak bulmuşlardır. Çalışanların %46'sı beş yıl ve daha az deneyime sahip olduğunu görmüşlerdir. Gülhan [24], ankete katılan çalışanların bu iş yerindeki ilk bir yıllık sürede geçirdiği iş kazası sıklığını %22,2, 1-2 yıl arası tecrübe sahibi çalışanlarda ise %24,4 olduğunu tespit etmiştir. İzgi [17], iş tecrübesi ve çalışma yılı fazla olan çalışanların daha az iş kazası yaşadığını tespit etmiştir. Gerçekleştirdiğimiz tez çalışmasında ölümlü kazaların çoğunluğu son iş yerlerinde daha bir yılı dolmadan gerçekleşmiştir. Bunun en büyük sebebinin tecrübesizlik ve eğitim sürecinin tamamlanmamış olması kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Saha ve ark gerçekleştirdiği çalışmadaki bu farklılığın bir firmada çalışan 220 kişi üzerinden çalışma yürütmeleri sebebiyle olduğu düşünülmektedir.

Öğrenim durumlarına göre %37,2 ile ilköğretim mezunu çalışanlar en çok kaza yaşayan gruptur. Öğrenim durumunun seviyesi arttıkça iş kazası oranı azalmaktadır. Gülhan B. [24], kazazedelerden lise mezunu olanlarda iş kazası geçirme sıklığı %35,4, okuryazar / ilköğretim mezunu ve mesleki / teknik lise mezunlarında iş kazası geçirme sıklığı sırasıyla %21,4 ve %20,0 olarak belirlemiştir. İzgi [17], gerçekleştirdiği yüksek lisans tezinde öğrenim durumu yükseldikçe iş kazası riskinin azaldığını belirlemiştir. Alp [20], kaza geçiren 206 çalışanın %53,3'ü ilköğretim mezunu, %35,0'i ortaöğretim, %10,7'si mesleki eğitim ve %1,0'ı ise yükseköğretim mezunu olduğunu tespit etmiştir. Çalışmalardan da görüldüğü gibi öğrenim durumu arttıkça iş kazası riski azalmaktadır fakat sadece gerçekleştirdiğimiz çalışmada bunu söylemek oldukça zordur. Çünkü sektörde çalışanların öğrenim durumu bilgisine göre insidans hızlarının karşılaştırılması daha doğru olacaktır.

Kazazedelerin %95,2'si temel İSG ve %83,7'si mesleki eğitim almışlardır. Fakat bu oran ağır kazalarda daha düşüktür. Çalışanların %81'inin her iki eğitimi de tamamlandığının sadece %3,7'sinin herhangi bir eğitim almadığı görülmektedir. İzgi A. [17], gerçekleştirdiği yüksek lisans tezinde İSG eğitiminin; çalışanların iş kazası ve meslek hastalığı riskini azalttığı belirtmiştir. Kıratlı [22], çalışanların %83,2'si yaptığı iş ile ilgili eğitim aldığı, %92,6'sının İSG ile ilgili eğitim aldığı saptamıştır. Ankete katılan çalışanların iş ile ilgili eğitim aldığını belirtenlerden %69,4'nün İSG ile ilgili eğitim aldığını belirtenlerin ise %67,5'inin iş kazası geçirdiği saptanmıştır. Kazazedelerin mesleki eğitim ve İSG eğitimi durumları ile iş kazası geçirme durumu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark belirlememiştir. Aynı durum bizim çalışmamız içinde geçerlidir. Burada eğitimlerin alınmasından ziyade eğitimlerin kalitesinin ve konusunun daha önemli

olmasından dolayı bu parametrelerin değerlendirilmesinin daha doğru olacağı düşünülmektedir. 15.05.2013 tarihli 28648 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanarak yürürlüğe giren Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik ile çalışanlara verilecek İSG eğitimlerinin usul ve esaslarını düzenlenmiştir. İSG eğitimlerinin amacı çalışanların, İSG konusunda sahip olması gereken nitelik, bilgi birikimi, davranış ve tutumlara sahip olmasını sağlamaktır. İSG eğitimleri; çalışanlarda İSG alanında kültür oluşturarak davranış değişikliği sağlamayı ve eğitimlerde aktarılan bilgilerin öneminin çalışanlarca anlaşılması sağlamalıdır. Çalışma ortamı veya iş değişikliği, iş ekipmanında değişiklik meydana gelmesi, kullanılan teknolojinin değişmesi gibi nedenlerde oluşabilecek risklerle ilgili eğitimler ayrıca verilir. İş kazası geçiren veya meslek hastalığına yaşayan çalışanın işe geri döndüğünde, yaşadığı kazanın veya meslek hastalığının sebepleri, korunma yolları vb. konularda ilave eğitim alması gerekmektedir. Çalışan; sebebi ne olursa olsun altı ay üzerinde işten uzak kalırsa, işe geri dönüşünde bilgi yenileme eğitimi almalıdır. Yönetmelik ile işverenlere, çalışanların İSG eğitimleri ile ilgili; mevzuata uygun olarak eğitimlerin programlanması ve uygulanması, eğitimlerin gerçekleştirileceği yeri, eğitimlerde kullanılacak ekipmanların temin edilmesi, çalışanların eğitimlere katılmasını sağlaması, eğitim sonunda çalışanlar için katılım belgesi düzenlenmesi yükümlülükleri vermiştir. İşveren, İSG eğitimlerini an az; çok tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde yılda bir, tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde iki yılda bir, az tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde ise üç yılda bir tekrarlatmalıdır [154]. Mesleki eğitim 13.07.2013 tarihli ve 28706 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Tehlikeli ve Çok Tehlikeli Sınıfta Yer Alan İşlerde Çalıştırılacakların Mesleki Eğitimlerine Dair Yönetmelik” te: “*Örgün veya yaygın eğitim yoluyla bireyleri mesleğe hazırlamak, meslek sahibi olanların mesleklerindeki gelişimlerini ve yeni mesleklere uyumlarını sağlamak amacıyla gerekli bilgi, beceri, tavır ve değer duygularını geliştiren ve bireylerin fiziki, sosyal, kültürel ve ekonomik yeteneklerinin gelişim sürecinin bir plan içerisinde yürütülmesini sağlayan eğitim*” şeklinde tanımlanmıştır. Bu eğitimler mesleki ve teknik eğitim alanında, diplomaya götüren orta öğretim kurumları ile belge ve sertifika programlarının uygulandığı her tür ve derecedeki örgün ve yaygın eğitim-öğretim kurumları tarafından verilmektedir [155].

İş kazalarının bildiriciler tarafından bildirilen kazaya sebebiyet veren son sapma kodları incelendiğinde kazaların %28,7'sinin 99 kodu olan “Bu sınıflandırmada listelenmemiş başka sapma” kodunda olup sapma belirlenememiştir. Ağır kazaların %41,8'i 41 kodlu

kategori de gerçekleşmiştir. Yaralanmalı kazaların belirli kodları arasında en fazla %8,3 ile insan faktöründen kaynaklı kazalar olarak nitelendirilen 64 kodlu kategori de gerçekleşmiştir. Bir ekipmanın, makinenin veya al aleti gibi araçların denetiminin (41, 42, 43 ve 44) kaybedilmesi sebepli kazalar ise tüm kazaların %24,5'ini, yaralanmalı kazaların %24'ünü ve ağır yaralanmaları kazaların ise %57,7 sini oluşturmaktadır. Ağır yaralanmaları kazalar incelendiğinde en fazla kaza 41, 43, 64 ve 33 kodlarından kaynaklı olarak gerçekleşmektedir. Saha ve arkadaşları [24] kazaların yaklaşık %18'inin 51 kodlu kişinin düşmesi – alt düzeye ve 33 kodlu maddi aracın kayma, düşme, çökmesi – yukarıdan kategorilerinden kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, kazaların sırasıyla %27,3'ü ve %18,2'si 62 kodlu diz çökme, oturma, yaslanma kategorisinde ve 64 kodlu kategoriden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kaza sırasında kullanılan ekipmanlar incelenmiş ve küçük aletlerin (43 kodu), makinelerin (41 kodu) ve kaldırma makinelerinin (42 kodu) sırasıyla %36,4, %28,8 ve %10,6 oranında kazaya sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Fuentes-Bargues ve arkadaşları [4] incelediği kazaların 41 kodlu (%26,8), 61 kodlu (%25,6) ve 62 kodlu (%19,3) kategoriler nedeniyle gerçekleştiğini görmüştür. İki çalışmadan da görüleceği üzere makinelerdeki denetim kaybı sebepli hareketli parçalara erişim sonucu ciddi iş kazaları yaşanmaktadır. Bu sonuçlar diğer çalışmalardaki sonuçlarla uyumludur [153, 156]. Yapılan çalışmadan ve diğer araştırmalardan da görüldüğü gibi kazaların bir kısmı aynı veya farklı seviyeden düşme ve nesnelerin karıştığı düşme gibi sebeplerden meydana gelebilmektedir [157-159]. Daha da önemlisi, yaklaşık 10 kazadan 4'ünün makine kontrolünün kaybedilmesinden kaynaklandığı çok ciddi ve ölümcül kazalara ilişkin sonuçlar bulunmaktadır. Bu sonuçlar, çalışanlara makine kullanımı ve makine güvenlik sistemleri konusunda daha fazla eğitim alması [160, 161] ve İSG yönetim sistemlerinde iyileştirme yapılmasının [162] gerekliliğini ortaya koymuştur.

İş kazalarının %29,1'inde yaralanma sebebi bilgisi bulunmamaktadır. Bu orandan sonra en yüksek oran 17,4 ile “Kısılmak, ezilmek – arasında” yaralanma sebebi ve 9,4 ile “Sert veya kaba materyal araç ile temas” kategorisidir. Metal sektörü özelinde yapılan bir çalışmada Kim ve arkadaşları, [26] inceledikleri kazaların %30,7'i ile en fazla kısılma, ezilme kaynaklı olduğunu tespit etmişlerdir. Gülhan [24], iş yerinde en sık görülen yaralanmaların sıkışma ve ezilme, göze çapak kaçması, parça düşmesi ve kesikler olarak tespit etmiştir. Kıratlı [22], ise en çok yaralanmaya sebep olan unsurları göze çapak kaçması, sıkışma/ezilme, parça düşmesi olarak bulmuştur. Baba [19], yaralanma sebeplerini incelendiğinde en sık gözlenen %22,4 ile cisim kesmesi ve %22,4 ile cisim arasına sıkışma

olduğu tespit etmiştir. Saha ve arkadaşları [24] kazaların %13,6'sının bir cisim arasına sıkışma şeklinde gerçekleştiğini tespit etmiştir. Tüm çalışmalar incelendiğinde metal sektörü ekipmanların sıklıkla kullanılmasından dolayı ekipmanların aksamaları arasına sıkışma sebepli çok fazla kaza yaşandığı görülmektedir.

Tüm iş kazalarının %44,5'i "Yüzeysel yaralanmalar" ve %14,8'ide "Burkulmalar ve incinmeler" yaralanma türü kategorisindedir. Kaza şiddeti dağılımına bakıldığında bu sıralama yaralanmalı kazalar için değişmezken ağır kazalar için değişmektedir. Ağır kazaların %60,7'si "Travma sonucu organ kaybı (bedenin bir parçasının kaybı)" kategorisindeki yaralanmalara sebep olmuştur. Fuentes-Bargues ve arkadaşları [4], kazalardaki yaralanmaların en fazla %43 oranıyla yüzeysel yaralanmalar sınıfında olduğunu tespit etmişlerdir. Ölümlü kazaların ise %40,4'ünün "Birden fazla sayıda yaralanmalar" kategorisinde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Saha ve arkadaşları [24] kazaları yaralanma türlerine göre incelendiğinde, yaralanmaların en fazla %40,9 ile kesik, sıyrık vb. yüzeysel yaralanmalar kategorisinde gerçekleştiğini tespit etmiştir. Kırık-çıkık ve burkulmalar- incinmeler, tüm kazaların sırasıyla %22,8 ve %15,2'sini oluşturmaktadır. Beyin sarsıntısı ve iç yaralanmalar kazaların %6,1'inde meydana gelirken, kazaların %7,5'i birden fazla sayıda yaralanmalar kategorisinde gerçekleşmiştir. Yukardaki istatistiklere bakıldığında metal sektöründe sıklıkla yüzeysel yaralanmalar gerçekleştiği fakat ağır bir kaza olduğunda uzuv kaybı yaşanmasının ihtimalini yüksek olduğu görülmektedir.

Tüm kazaların %32,1'inde parmak(lar) yaralanırken, ağır yaralanmalı kazalarda ise bu oran %49,9'a çıkmaktadır. Parmaklardan sonra en fazla hasara uğrayan organ ise ellerdir. Elleri; hafif yaralanmalı ve toplam kaza analizinde ayakları hasara uğratan kazalar takip ederken ağır yaralanmalı kazalarda bedenin çeşitli bölgelerinin etkilendiği kazalar gelmektedir Baba [19], yaralanma çeşitlerinde en çok yaralanan vücut bölgesini %43,5 ile üst ekstremité olduğunu tespit etmiştir. Bingöl [21], iş kazaları sebebiyle çalışanların yaralandıkları vücut bölümlerinin kaza sayısına göre dağılımını incelendiğinde; en fazla yaralanan organın gözler (%26,3), ikinci olarak el parmakları (%25,5) ve üçüncü olarak eller ve el bilekleri (%24,2) olduğunu görmüştür. Saha ve arkadaşları [24] yaralanmanın vücuttaki yerini incelediklerinde ise, kazaların yaklaşık %62'sinin uzuvları etkilendiği bulmuştur (üst uzuv %31,8, alt uzuv %30,3). Kazaların yaklaşık %20'sinde baş ve boyun etkilenmiştir. Kazaların %9,1'inde gövde bölgesi yaralanması ve %9,1'inde birden fazla yer

yaralanmıştır. Metal sektöründe çalışanların en fazla el ve parmak bölgesinin yaralandığı tüm çalışmalardan görülmektedir. Bunun sebebi çalışanların hareketli aksamı olan çok fazla ekipman kullanılmasıdır.

Tüm kazaların %19,1'i 2562 NACE koduna sahip işyerlerinde gerçekleşmiştir. Bu grubu %13,1 oranıyla 2410 kodlu işyerleri takip etmektedir. Fuentes-Bargues ve arkadaşları [4], metal sektöründe gerçekleştirdikleri çalışmada iş kazalarını NACE kodlarına göre sınıflandırmış ve en çok kazanın %29,1 ile 251 kodlu %16,6'sının ise 256 kodlu işyerlerinde gerçekleştiğini tespit etmiştir.

Ağır kazalarda en çok kazaya sebep olan tehlike kaynakları sırasıyla mekanik etmenler, çalışma talimatı gerektiren işler, nakliye ve iç ulaşım ve biyolojik etmenler olduğu görülmüştür. Gülhan [24], iş kazalarının nedenlerini yetersiz KKD kullanımı (%44), dikkatsizlik (%38), kişisel nedenler ve makine, tezgâhlarda güvenlik önlemlerinin alınmaması (%18) olarak bulmuştur. Demir [18], çalışmasında iş yerlerinde bir yıl içerisinde meydana gelen iş kazalarının nedenlerini incelendiğinde; %45 ile dalgınlık kaynaklı kazaların birinci sırada yer aldığı görülmüştür. Her iki çalışmadaki iş kazası nedenleri bu tez çalışmasında kullanılan tehlike kaynağı metodolojisine uyarlandığında; güvensiz davranış ve mekanik etmen kaynaklı tehlike kaynaklarına atıf yapmaktadır. Alp [20], iş kazalarının; eğitim yetersizliği (%44,6), KKD kullanılmaması (%39,6), gözetim ve denetim eksikliği (%38,0), makine koruyucusunun olmaması (%32,2), makine koruyucusunun uygunsuz olması (%24,8), yanlış malzeme istifi (%9,1), iş ekipmanının kontrolünün yapılmaması (%8,3), iş ekipmanının uygun olmaması (%7,49), yanlış KKD kullanılması (%5,0), dikkatsizlik-tedbirsizlik (%3,3) nedeniyle meydana geldiği görmüştür. Ayrıca ölümle sonuçlanan kazaların %40'nın kişilerin düşmesi, %20'sinin patlama, %20'sinin cisimlerin sıkıştırıp ezmesi ve %10'nun makineler sebepli olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada da kazaların tehlike kaynaklarının güvensiz davranışlar, mekanik etmenler ve çalışma talimatı gereken işler kaynaklı olduğu görülmektedir. Kıratlı N.[22], kazazedelerin geçirdikleri iş kazalarının nedenleri; %42,5 yoğun iş temposu, %26,4 makine ve tezgâhlarda kontrol önlemlerinin alınmaması/ makinelerin uygunsuz olması, %23,6 kişisel nedenler, %1,9 KKD kullanılmaması olarak sıralanmıştır. Bu çalışmadaki iş kazaların tehlike kaynakları ise organizasyonel etmenler, mekanik etmenler ve güvensiz davranışlar şeklindedir. Tüm çalışmalarda en önemli tehlike kaynağının mekanik etmenler olduğu görülmektedir. Gelişen üretim teknolojileriyle birlikte çoğu sektörde olduğu gibi

metal sektöründe de insan gücünün yerini iş ekipmanları almış, böylelikle sektörün üretim hızı ve kapasitesi artmıştır. Fakat bu gelişim yukarıda bahsi geçen çalışmalarda da görüleceği gibi iş ekipmanları kullanımda İSG sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Metal sektöründe yaşanan iş ekipmanları sebepli iş kazalarının analiz edilerek kök nedenlerinin ve kazayı etkileyen parametrelerin belirlenerek gerekli önlemlerin alınması kazaların azalmasını sağlamak için büyük önem taşımaktadır. Gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada en fazla kazanın pres tezgâhlarında gerçekleştiği görülmüştür.

7.1.1. Pres tezgâhı kaynaklı kazaların analizi

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında 2013-2018 yılları arasında yaşanmış İBYS üzerinden temin edilen metal sektöründe pres tezgâhı kullanımı kaynaklı 379 iş kazası incelenmiştir. Makineler/Tezgâhlar İSG açısından çok fazla ve çeşitli tehlike ve riskler içermektedir. Bu tehlikelere maruz kalmak yaralanmalara veya ölümlere neden olmaktadır. Bu çalışmada, pres tezgâhı kaynaklı kazaların nedenlerini ve etkileyen parametreleri anlamak için iş kazaları analiz edilmiş ve elde edilen istatistikler bulgular kısmında verilmiştir.

2013-2018 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmada en fazla kaza 2013 yılında gerçekleşirken, en fazla ölümlü kaza 2016 yılında gerçekleşmiştir.

Kazazedelerin çoğunluğu %90,2 ile erkek çalışanlardır. Bunun ana sebebi incelenen her yılda sektörde istihdam edilen erkek sayısının kadın sayısından çok fazla olmasıdır [8]. Bulzaccheli ve arkadaşları [31], tarafından gerçekleştirilen çalışmada kazazedelerin %95,4'ünün, Fuentes-Bargues ve arkadaşları [4] tarafından gerçekleştirilen çalışmada da kazazedelerin %95,3'ünün erkek olduğu tespit edilmiştir.

MESS üye işyerlerine ait 2016 yılına ait İSG'ye ait istatistikleri yayınlamış ve en fazla iş kazası yaşayan çalışan grubunun %48 ile 25-35 yaş aralığında olduğu görülmektedir [25]. Bulzaccheli ve arkadaşları [31], gerçekleştirdiği çalışmada kazazedelerin yaş ortalamasını 37, en fazla kaza yaşanan yaş aralığının ise 25-44 olarak bulmuştur. Fuentes-Bargues ve arkadaşları [4] ise kazazedelerin %33,1 ile en çok 30-39 yaş aralığında kazaya uğradığını belirtmiştir. Ayrıca ölümlü kazaların ise en çok 50-59 gibi ileri yaşlarda gerçekleştiğini görmüşlerdir Aynı şekilde, bu çalışmada da 25-35 yaş aralığında çalışanları %31,4 oranıyla

en fazla kaza yaşıyan yaş aralığı olduğu, ölüme sebep olan KŞ2 grubundaki kazaların ise en çok 41-50 yaş aralığında gerçekleştiği görülmektedir.

MESS tarafından gerçekleştirilen çalışmada kazazedelerin %66'sının evli ve %28'inin son işyerindeki tecrübesinin ise yaklaşık 2-4 kıdem yılı aralığında olduğu tespit edilmiştir [25]. Chinniah [28] gerçekleştirdiği çalışmada kazazedelerin %30'unun bir yıldan az deneyimli ve kazazedelerin %46'sının 5 yıldan az deneyime sahip çalışanlar olduğunu tespit etmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada yer alan kazaların kazazedelerinin %71'i evli olup, %90,2'sinin son iş yerlerindeki tecrübesi ise 0-5 yıldır. Ölümlü kazaların çoğunluğu son iş yerlerinde daha bir yılı dolmadan gerçekleşmiştir. Bunun en büyük sebebinin tecrübesizlik ve eğitim sürecinin tamamlanmamış olması olduğu düşünülmektedir.

MESS'in yayınladığı analizde kazalar en çok Mart ayında, üçüncü vardiyada ve Salı günleri gerçekleşmektedir [25]. Chinniah [28] incelediği kazaların %71,7'sinin ilk üç vardiyada, %28,3'ünün ise diğer vardiyalarda meydana geldiğini tespit etmiştir. Fuentes-Bargues ve arkadaşları [4] inceledikleri kazaların en fazla üçüncü vardiyada (%25,8), Pazartesi (%21,8) ve Salı (%21) günleri gerçekleştiğini tespit etmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada ise kazaların en fazla Mayıs ayında, üçüncü vardiyada, Çarşamba ve Salı günleri olduğu tespit edilmiştir.

Fuentes-Bargues ve arkadaşları [4] incelediği kazaların %74 oranında 41 ESAW sapma kodunda gerçekleştiğini tespit etmiştir. Yaptığımız bu araştırmada da en fazla kaza %75,7 oranında aynı kodda gerçekleşmiştir. Makinelerdeki denetim kaybı sebepli hareketli parçalara erişim sonucu ciddi iş kazaları yaşanmaktadır.

Lind [29], Finlandiya'da makine kullanımının çok olduğu sektörlerde ölümlü ve ciddi yaralanmalı iş kazalarını ulusal Finlandiya kaza raporlarını kullanarak analiz etmiştir. En çok karşılaşılan kaza türlerinin bir şey kaynaklı kısılmak ve ezilmek, düşme ve düşen cisimlerin olduğu kazalar olduğunu tespit etmişlerdir. Bulzacchelli ve arkadaşları, [31] ise kazaların %52,1 oranıyla en fazla kısılmak ve ezilmek sebepli olduğunu tespit etmişlerdir. Metal sektörü özelinde yapılan bir çalışmada Kim ve arkadaşları, (Kim ve arkadaşları, 2021) inceledikleri kazaların %30,7'i ile en fazla kısılma, ezilme kaynaklı olduğunu tespit etmişlerdir. Gerçekleştirdiğimiz bu araştırmada da benzer olarak kazaların %27'sinin kısılmak ya da ezilmek sebepli olduğu tespit edilmiştir. KŞ2 grubunda yer alan kazaların

%64,3 ile en fazla “kısılma, ezilmek – arasında” kategorisindeki kazalar olduğu görülmüştür. Her üç çalışmada da makinelerden kaynaklı kazalar kısılmak, ezilmek kategorisindedir.

Lind [29]; en fazla görülen yaralanma türünün %38 ile kırıklar olduğunu, bunu %22 ile organ kayıplarının takip ettiğini tespit etmiştir. Bulzacchelli ve arkadaşları[31], kazaların %29,3'ünde en sık görülen ölümcül yaralanmaların kırıklar ve ezilme sebepli organ kaybı ya da açık yaralanma olduğunu tespit etmiştir. Fuentes-Bargues ve arkadaşları [4], kazalardaki yaralanmaların en fazla %43 oranıyla yüzeysel yaralanmalar sınıfında olduğunu tespit etmişlerdir. Ölümlü kazaların ise %40,4'ünün “birden fazla sayıda yaralanmalar” kategorisinde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmada da incelenen tüm kazaların %55,7'si “travma sonucu organ kaybı (bedenin bir parçasının kaybı)” kategorisindedir. Ölüme sebep olan KŞ2 grubu özelinde yaralanma türü incelendiğinde ise %35,7 ile en çok kazanın “birden fazla sayıda yaralanmalar” kategorisinde olduğu tespit edilmiştir. Bahsi geçen çalışmalardan da görüleceği gibi makinelerden kaynaklı kazalarda uzuv kayıplı kaza yaşanma ihtimali oldukça yüksektir.

Chinniah [28] gerçekleştirmiş olduğu çalışmada kazaları ölümlü ve ciddi yaralanmalı (uzuv kayıplı gibi) kazalar olarak iki ayırmış ve yaranın vücuttaki yerine göre kazaları analiz etmiştir. Kazaların %35,8'inde karın bölgesi, %17,9'unda baş bölgesi ve %15,1'inde ise kol bölgesi hasar görmüştür. Ölümlü kazalar kendi içerisinde incelendiklerinde en fazla karın bölgesinin, yaralanmalı kazaları incelediklerinde ise en fazla kol bölgesinde hasar oluştuğunu görmüşlerdir. Lind [29] ise incelediği kazalardaki yaralanmaların çoğunun üst ekstremitelerde (%39) veya aynı anda birkaç vücut bölgesinde (%28) meydana geldiğini belirtmiştir. İncelediği kazaların sadece %10'unda baş veya ayaklar yaralanmıştır. Bu tez çalışmasında ise pres tezgâhı kaynaklı kazaların %72,3'ünde parmak(lar) yaralanmıştır. Sadece ölümlü kazaları içeren KŞ2 grubundaki kazalarda ise tüm vücudu etkileyen kazalar gerçekleşmiştir. Bu farklılığın sebebi iki çalışmada birbirinden farklı makinelerin sebep olduğu kazaların incelenmiş olmasıdır. Chinniah'ın gerçekleştirdiği çalışmada konveyör, testere, malzeme besleme ve taşıma ekipmanları gibi çok çeşitli makinalardan kaynaklı kazaları incelemiştir. Lind ise kaldırma ekipmanları, malzeme taşıma ekipmanları, el ekipmanları ve elektrikli cihazlar gibi çok çeşitli makinelerden kaynaklı kazaları incelemiştir. Her iki çalışmadaki makinelerin çoğunluğunda makinelerin hareketli parçalarının bulunduğu tehlikeli noktalar karın bölgesine yakın olması sebebiyle karın

bölgesinde daha fazla kaza yaşanması şaşırtıcı değildir. Gerçekleştirdiğimiz çalışmada ise sadece pres tezgâhı kaynaklı kazaları incelememiz ve pres tezgâhlarının hareketli noktalarının çoğunlukla çalışanın parmak ve el bölgesinde tehlike yaratması sebebiyle yaralanmalar bu bölgede daha fazla yaşanmıştır. Her ne kadar üç çalışmanın en çok görülen yaralanma sebebe (kısılmak, ezilmek) aynı olsa da etkilenen vücut yeri makineye göre oldukça farklılık göstermiştir. Preslerin parmaklar için ciddi problemler doğurabileceği açıkça gözükmemektedir.

Fuentes-Bargues ve arkadaşları [4] metal sektöründe gerçekleştirdikleri çalışmada iş kazalarını NACE kodlarına göre sınıflandırmış ve en çok kazanın %29,1 ile 251 kodlu %16,6'sının ise 256 kodlu işyerlerinde gerçekleştiğini tespit etmiştir. Yaptığımız çalışmada ise tüm kazaların %23,2'si 2562 kodlu "Metallerin makinede işlenmesi ve şekil verilmesi" NACE koduna sahip işyerlerinde gerçekleşmiştir.

Bu kısmın amacı pres tezgâhlarından kaynaklı uzuv kayıplı ve ölümcül kazalara neden olan çeşitli nedenleri anlamak ve mevcut literatürün yanı sıra çalışmanın bulgularına dayanarak kazalara sebep olabilecek faktörleri tartışmaktır. Bu çalışma kapsamında Türkiye iş kazası veri tabanı (SGK kayıtları) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında İBYS kullanılarak temin edilen yaşanmış iş kazası verileri kullanılmıştır. Bu veriler ESAW metodolojisindeki tüm başlıkları içerecek ayrıntıda olmasına rağmen bilimsel bir çalışmanın yürütülebilmesi için her bir kaza açıklamasının okunması gerekmektedir. Pres tezgâhlarında bulunan koruyucu önlemlerin neler olduğu, çalışanın aldığı İSG eğitim başlıklarının ayrıntıları, hangi tip pres tezgâhı kullanıldığı gibi bilgilerin temin edilebilir olması ayrıntılı analiz yapılmasına imkân sağlayacaktır. Literatürde pres tezgâhları özelinde bir çalışma bulunmaması sebebiyle bu çalışma preslerle çalışanlara ve pres tezgâhı sahibi işveren ve İSG profesyonellerine farkındalık ve bilgi sağlayacaktır.

7.2. Makine Öğrenimi Uygulama Çalışmaları

Bu tez çalışmasında GBM, KNN, RF ve CART gibi literatürde sıklıkla kullanılan ve başarı oranı yüksek makine öğrenimi algoritmalarını kullanarak iş kazalarının tehlike kaynaklarını ve sonuçlarını tahmin etme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Makine öğrenimi algoritmalarının performans ölçütü için doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F-skoru değerleri hesaplanmıştır. Öncelikle iş kazalarının tehlike kaynaklarının tahmini için RF algoritması

kullanılmıştır. RF algoritması ilk aşamada 10-katlı çapraz doğrulama kullanmadan tüm değişkenlerle uygulanmış ve doğruluk değeri hesaplanmış daha sonrasında ise 10-katlı çapraz doğrulama uygulanarak hesaplanmıştır. 10-katlı çapraz doğrulama yöntemiyle RF algoritmasının doğruluk değeri 0,9172 ulaşmış ve %4,7 oranında artış sağlanmıştır. Veri seti bu yöntem ile 10 eşit parçaya bölünerek, her bir parçanın hem eğitim hem de test seti için kullanılmasını sağlanmıştır. Bu şekilde de dağılım ve parçalanmadan kaynaklanan sapma ve hatalar minimize edilerek doğruluk değeri artırılmıştır. Bu oran ile çok başarılı bir doğruluk oranı elde etmiştir.

RFE yöntemiyle değişken önceliklendirmesi çalışması uygulanmış ve 20 tane değişken içerisinde sonuca etkisi %5'in üzerinde olan değişkenler (kaza tehlike kaynağı (2), işgünü kaybı, kaza sebebi sapma kodu, makine, yaralanmanın vücuttaki yeri) kullanılarak RF algoritması tekrar uygulanmış ve elde edilen doğruluk değeri değişikliğe yol açmadığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi, ilk beş girdinin toplam değere etkisi %75'tir ve bu çok yüksek bir ortalama değildir. Bu sebeple algoritma zaten gerekli girdileri kullanarak, ulaşabileceği en iyi doğruluk değerine ulaştığı için girdi elemesi bir değişikliğe sebep olmamıştır. Bu bir yandan; ÇSGB tarafından iş kazası verileri ESAW metodolojisi ile alındığı ve sistemin değiştirilmesi zor olması sebebiyle güzel bir bulgudur. Yapılmış olan çalışma diğer sektörlerdeki iş kazası verilerine de uygulanabilir. Bu çalışmada kullanılan verilerin tamamı makine öğrenimi algoritmasında kullanılabilir, herhangi bir eleme yapılmasına gerek yoktur. Bu çalışmada metal sektöründe gerçekleşen iş kazalarının bildiricileri tarafından yazılan açıklamaları ayrıntı şekilde irdelenerek tehlike kaynak veya kaynakları belirlenmiştir. Tehlike kaynağı bilgisi ESAW metodolojisine yer almamaktadır. Fakat ESAW metodolojisinin istediği bir veri olmayan ikincil tehlike kaynağının tahminleme sürecinde en önemli etkenlerden biri olduğu görülmektedir. Bu bize ulusal bir veri setinde geleceğe yönelik tahminler yapılırken ESAW metodolojisinin geliştirilmesinin ya da ek olarak bazı ekstra bilgilerinde edinilmesinin gerekliliğini göstermektedir. Kazaların kök nedenlerinin araştırılarak veri olarak girilmesi gelecekte olma ihtimali olan kazalara yönelik bir tahminle yaparken kullanılacak önemli bulgulardandır. Ortaya çıkan özellik önemlerinden, kaza tarihi ve çalışanların eğitim durumu değişkenlerinin iş kazası nedeni üzerinde çok az etkisinin olduğu veya hiç etkisinin olmadığı bulunmuştur.

Uygulanan dört makine öğrenimi algoritmasından RF ve GBM, sırasıyla 0,9172 ve 0,9073 doğruluk değeriyle en yüksek performans gösteren algoritmalar olmuştur. Literatürde

gerçekleştirilen çalışmalara göre elde edilen bu değerle başarı oranı çok yüksektir. Örneğin Kang ve arkadaşları [76], Kore’de inşaat sektöründe RF algoritmasının doğruluk puanını 0,713 olarak bulmuşlardır. Poh ve arkadaşları [83], RF algoritmasının, 0,78’lik bir doğrulukla en iyi tahmin performansını sağladığını görmüşlerdir. Chen ve arkadaşları [85], RF algoritmasının 0,7338 doğruluk değeri ile diğer algoritmalarından daha yüksek performans göstermiştir.

Yukarıdaki birçok literatür çalışmasında da görüleceği gibi RF doğruluk değeri performansında genellikle diğer algoritmalarından üstün gelmektedir [68, 79, 81, 83-85]. Makine öğrenimi algoritmaları tamamen aynı değişkenler kullanılarak uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, veri setinde çok sayıda girdi bulunan ve iş kazası verilerini ESW metodolojisi ile toplayan karmaşık veri setleri için en uygun makine öğrenmesi yönteminin RF olduğu görülmüştür.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında 2013-2018 yılları arasında yaşanmış İBYS üzerinden temin edilen metal sektöründe yaşanmış iş kazaları incelenmiştir. İş kazalarının nedenlerini ve etkileyen parametreleri anlamak için iş kazaları istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Ayrıca; bu çalışmada 2013-2018 yılları arasında metal sektöründe yaşanmış 1542 adet uzuv kayıplı ve ölümlü iş kazalarını tehlike kaynağı tahminlemesi amacıyla dört farklı makine öğrenimi algoritmasıyla değerlendirilmiştir. Analizlerden dikkat çeken ana başlıklar şu şekildedir:

- 2013-2018 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmada hem en fazla kaza hem de en fazla ölümlü kaza 2013 yılında gerçekleşmiştir.
- Kaza zamanı açısından en riskli durumlar; mart ve mayıs ayı, salı günleri ve üçüncü vardiyadır.
- 25-35 yaş aralığında, erkek, evli, ilköğretim mezunu ve tecrübesiz çalışanlar kaza geçirme açısından en riskli gruptadırlar.
- Makineler/tezgâhlar İSG açısından çok fazla ve çeşitli tehlike ve riskler içermektedir. Bu sebeple makinelerin denetim kaybı, hareketli parçalarına kısılmak, ezilmek sebepli pek çok kaza olmakta hatta ölüm ve uzuv kaybı ile sonuçlanmaktadır.
- Metal sektöründe yüzeysel yaralanmalar, burkulmalar ve incinmeler ve travma sonucu organ kaybı (bedenin bir parçasının kaybı) türünden yaralanmalar gerçekleşmektedir.
- Metal sektöründe parmaklar, eller ve ayaklar yaralanma ihtimali en yüksek organlardır.
- Metal sektöründe metallerin makinede işlenmesi ve şekil verilmesi alanında çalışanlar en riskli işyerleridir.
- Mekanik etmenler, çalışma talimatı gerektiren işler, nakliye ve iç ulaşım ve biyolojik etmenler kaynaklı iş kazaları ölüme ve uzuv kayıplarına sebep olmaktadır.
- 10-katlı çapraz doğrulama yöntemi uygulanmış ve RF algoritmasının doğruluk değerinde, test ve eğitim veri setleri için iş kazası verilerinin %80'ni ve doğrulama için kullanılan veri setinin kalan %20'si rastgele seçildiği duruma göre %4,7 oranında artış sağlanmıştır.
- Değişken önceliklendirmesi için RFE yöntemi uygulanmış ve önceliklendirilerek yapılan çalışmada RF algoritmasının doğruluk değerinde değişikliğe yol açmamıştır.
- Uygulanan dört makine öğrenimi algoritması içerisinde veri setine uygun ve en yüksek performans gösteren algoritma RF olarak bulunmuştur.

Literatürdeki çalışmalara incelendiğinde kazaların nedenlerini ve kazalara sebep olan etkenleri araştırma çalışmalarında genellikle anket uygulaması yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmalarda belirli bir ilde ya da kurumda küçük bir çalışan grubuna anket uygulayıp genelleme yapılmıştır. Bu yöntem çalışanların kazalarla ilgili doğru bilgi vermeme ya da yanlış hatırlama gibi sebeplerden dolayı güvenilir değildir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında SGK tarafından toplanan ve sektörün tamamını kapsayan gerçek veriler kullanılarak sektörün profili oluşturulmuştur.

Mekanik etmenler kaynaklı kazaların fazlasıyla bulunması sebebiyle iş kazalarından kullanılan ekipman ve makinelerin tespiti oldukça önemlidir. Fakat bildiriciler tarafından bu verilerin sisteme girilmediği görülmüştür. Gelecekte yapılacak çalışmalara ve alınacak kontrol tedbirlerinin yol gösterici olması amacıyla bildiricilerin bu konuda bilgi ve kültür düzeyinin artırılması önem arz etmektedir. Metal sektöründe mekanik etmenler kaynaklı kazaların ayrıntılı şekilde analiz edilerek, kazalara yol açan sebeplerin belirlenmesi sektördeki yüksek kaza oranını büyük ölçüde düşürecektir. İş ekipmanları tasarım aşamasında mevzuata ve standartlara uygun makine koruyucularıyla üretilmelidir. Çift el kumanda sistemleri, çalışanın pedala basarken ve iş ekipmanını çalıştırırken ellerinin açıkta kalmasını engelleyecek el ve parmakları korumaya yönelik kontrol sistemleridir. Bu tarz sistemler mutlaka ekipmanlara eklenmelidir. İş ekipmanlarının periyodik bakım ve kontrolleri aksatılmadan mevzuata uygun olarak yapılmalıdır. Üretici firmanın talimatlarına uygun olarak yapılan bu periyodik bakımlar mutlaka kayıt altına alınmalıdır.

Bu tez çalışmasında İSG kanunu hayata geçirilerek, İSG önlemlerinin kanun ve yönetmelikler aracılığıyla belirlendiği ve iş kazası kayıtlarının sistemli bir şekilde belgelendiği 2013 yılı ve sonrası yaşanan iş kazası kayıtları kullanılmıştır. Mevzuat düzenlemesi yapılmış olsa da iş kazası bildiricilerinin hala ESAW metodolojisine hâkim olmadığı düşünülmektedir. Türkiye’de İSG alanında gerçekleştirilen istatistiksel çalışmaların geneli anket temelinde yapılmış çalışmalar olup ulusal veri tabanının kullanıldığı çalışma sayısı azdır. Bu çalışmada Türkiye iş kazası veri tabanı (SGK kayıtları) kullanılmıştır. Bu veriler ESAW metodolojisindeki tüm başlıkları içerecek ayrıntıda olmasına rağmen bilimsel bir çalışmanın yürütülebilmesi için her bir kaza açıklamasının okunması gerekmektedir. Hangi tip iş ekipmanlarının kullanıldığı, makinelerde bulunan koruyucu önlemlerin neler olduğu, çalışanın aldığı İSG eğitim başlıklarının ayrıntıları, gibi bilgilerin temin edilebilir olması ayrıntılı analiz yapılmasına

imkân sağlayacaktır. Literatürde metal sektörü özelinde kapsamlı ve ayrıntılı bir çalışma bulunmaması sebebiyle bu çalışma farkındalık ve bilgi sağlayacaktır.

Makine öğrenimi algoritmaları farklı sektörlerde sıklıkla kullanılması ve başarısına rağmen, metal sektöründe, yaygın olarak kullanılmamaktadır. Çalışmamız bu sektörde sayılı örneklerden birisi olacaktır. Önleyici denetimlerin ve müdahalelerin daha hedefli bir şekilde uygulanabilmesi için kamu kuruluşlarının iş kazalarının analizinde tahmine dayalı RF algoritmasının kullanılması önerilmektedir. Çalışmamızda RF algoritmasında veri setinde bulunmayan bir değer girildiğinde de tahmin oranının yüksek olması sebebiyle canlı verilerde de kullanılabileceği düşünülmektedir.

Gelecekteki araştırmalar için, iş kazası türlerini gerçek zamanlı olarak tahmin etmek için farklı sektörlerde veri toplanması ve farklı modeller geliştirilmesini önermekteyiz. Gerçek zamanlı iş kazalarına neden olan etmenlerin tahmin araştırması, işyerlerindeki iş kazaları azaltacaktır.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Uluslararası Çalışma Örgütü. World Statistic. *ILO*, Web: https://www.ilo.org/moscow/areas-of-work/occupational-safety-and-health/WCMS_249278/lang--en/index.htm. Son Erişim Tarihi: 04.04.2023.
2. İnternet: Uluslararası Çalışma Örgütü. Safety and health at work. *ILO*, Web: <https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--en/index.htm>. Son Erişim Tarihi: 24.01.2023.
3. Alli, B. (2008). Fundamental Principles Of Occupational Health And Safety. *ILO*. Geneva, 3-8.
4. Fuentes-Bargues, J.L., Sánchez-Lite et al., A., González-Gaya, C., Rosales-Prieto, V., and Reniers, G. (2022). A study of situational circumstances related to Spain's occupational accident rates in the metal sector from 2009 to 2019. *Safety Science*, 150, 105700.
5. Kifle, M., Engdaw, D., Alemu, K., Sharmi, H.R., Amsalu, S., Feleke, A., and Worku, W. (2014). Work related injuries and associated risk factors among iron and steel industries workers in Addis Ababa, Ethiopia. *Safety Science*, 63, 211-216.
6. Nazaripour, E., Halvani, G., Jahangiri, M., Fallahzadeh, H., and Mohammadzadeh, M. (2018). Safety performance evaluation in a steel industry: A short-term time series approach. *Safety Science*, 110, 285-290.
7. Güllüoğlu, E., ve Güllüoğlu, A. (2019). Türkiye’de Metal Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının Analizi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 1, 70-82.
8. Sosyal Güvenlik Kurumu. (2019). *SGK İstatistik Yıllıkları*. Ankara: SGK.
9. Anyfantis, I., Leka, S., Reniers, G., and Boutras, G. (2021). Employers' perceived importance and the use (or non-use) of workplace risk assessment in micro-sized and small enterprises in Europe with focus on Cyprus. *Safety Science*, 139, 105256.
10. Lindberg, A., Hansson, S.O., and Rollenhagen, C. (2010). Learning from Accidents – What More Do We Need to Know?. *Safety Science*, 48, 714-721.
11. Salguero-Caparrós, F., Suarez-Cebador, M., and Rubio-Romero, J.C. (2015). Analysis of investigation reports on occupational accidents. *Safety Science*, 72, 329-336.
12. Shao, B., Hu, Z., Liu, Q., and Chen, S. (2019). Fatal accident patterns of building construction activities in China. *Safety Science*, 111, 253-263.
13. Goh, Y.M., and Ubeynarayana, C., (2017). Construction accident narrative classification: An evaluation of text mining techniques. *Accident; Analysis And Prevention*, 108, 122-130.

14. Tixier, A.J.P., Hallowell, M., Rajagopalan, B., and Bowman, D. (2016). Application of machine learning to construction injury prediction. *Automation in Construction*, 69, 102-114.
15. Yağımlı, M., ve İzci, F. (2017). Türkiye’de Makine ve Teçhizatı Hariç Fabrikasyon Metal Ürünleri İmalatı Sektöründe Yaşanan İş Kazaları ve Ölümlü İş Kazası Sayılarının Tahmini. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 1, 9-15.
16. Gülhan, B. (2008). *Bir Ağır Metal Üretim Fabrikasında Çalışanların İş Kazası Geçirme Sıklığı ve İlişkili Etmenler*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
17. İzgi, A. (2006). *Kaynak Endüstrisinde Çalışanların Genel Profili Ve İş Kazaları Üzerine Bir İnceleme*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
18. Demir, E. (2009). *Metal İş Kolunda Meydana Gelen İş Kazaları Ve İş Kazalarının Oluşturduğu Kayıpların Ekonomik Yönden Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
19. Baba, B. (2010). *Ereğli Demir Çelik Fabrikasının Yüksek Fırın, Haddehane Ve Çelikhane Ünitelerinde 2006-2007 Yıllarında Oluşan İş Kazalarının Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
20. Alp, A. (2010). *2009 Yılında Ankara’da Metal İşkolunda Meydana Gelen İş Kazalarının Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
21. Bingöl, S. (2010). *Nilüfer Organize Sanayi Bölgesindeki Metal Sanayi İş Koluna Ait İşyerlerinde İş Kazası Sıklığı ve Etkileyen Bazı Etmenler*. Tıpta Uzmanlık Tezi, Uludağ Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
22. Kıratlı, N. (2015). *Döküm Sektöründe Çalışan İşçilerin İş Kazası Geçirme Durumu ve Etkileyen Risk Faktörleri*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
23. Bull, N. (2008). Mandatory use of eye protection prevents eye injuries in the metal industry. *Occupational Medicine*, 57, 605-606.
24. Saha, A., Kumar, S., and Vasudevan, D. (2007). Occupational injury surveillance: A study in a metal smelting industry. *Indian Journal Of Occupational And Environmental Medicine*, 11, 103-107.
25. Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası. (2016). *MESS üyelerinde iş kazaları ve meslek hastalıkları istatistikleri*. İstanbul: MESS.
26. Kim, S., Lee, J., and Kang, C. (2021). Analysis of industrial accidents causing through jamming or crushing accidental deaths in the manufacturing industry in South Korea: Focus on non-routine work on machinery. *Safety Science*, 133, 104998.

27. Dźwiarek, M., and Latała, A. (2016). Analysis of occupational accidents: prevention through the use of additional technical safety measures for machinery. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 22(2), 186-192.
28. Chinniah, Y. (2015). Analysis and prevention of serious and fatal accidents related to moving parts of machinery. *Safety Science*, 75, 163-173.
29. Lind, S. (2008). Types and sources of fatal and severe non-fatal accidents in industrial maintenance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(11), 927-933.
30. Shin, W.C., Choi, S.J., and Lee, K.O. (2012). The Prevention of the Injuries Through the Mold Design of the Press Machine in South of Korea. *Procedia Engineering*, 45, 888-892.
31. Bulzacchelli, M., Vernick, J., and Sorock, G. (2008). Circumstances of fatal lockout/tagout-related injuries in manufacturing. *American Journal Of Industrial Medicine*, 51, 728-34.
32. Dźwiarek, M. (2004). An Analysis of Accidents Caused by Improper Functioning of Machine Control Systems. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 10(2), 129-136.
33. Yan, X., Radwan, E., and Abdel-Aty, M. (2005). Characteristics of rear-end accidents at signalized intersections using multiple logistic regression model. *Accident Analysis & Prevention*, 37(6), 983-995.
34. Yannis, G., Papadimitriou, E., Dupont, E., and Martensen H. (2010). Estimation of fatality and injury risk by means of in-depth fatal accident investigation data. *Traffic Injury Prevention*, 11, 492-502.
35. Gregoriades, A. and Mouskos, K.C. (2013). Black spots identification through a Bayesian Networks quantification of accident risk index. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 28, 28-43.
36. Karacasu, M., Ergül, B., and Yavuz, A. (2014). Estimating the causes of traffic accidents using logistic regression and discriminant analysis. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 21(4), 305-313.
37. Usman, T., Fu, L., and Miranda-Moreno, L.F. (2016). Injury severity analysis: comparison of multilevel logistic regression models and effects of collision data aggregation. *Journal of Modern Transportation*, 24(1), 73-87.
38. Nishimoto, T., Mukaigawa, K., Tominaga S., Lubbe, N., Kiucki, T., Motomura, T., and Matsumoto, H. (2017). Serious injury prediction algorithm based on large-scale data and under-triage control. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 266-276.
39. Wang, J., Liu, B., Fu, T., Liu, S., and Stipancic, J. (2019). Modeling when and where a secondary accident occurs. *Accident Analysis & Prevention*, 130, 160-166.
40. Meng, Q., and Weng, J. (2011). A Genetic algorithm approach to assessing work zone casualty risk. *Safety Science*, 49(8), 1283-1288.

41. Weng, J., Meng, Q., and Wang, D.Z.W. (2012). Tree-based logistic regression approach for work zone casualty risk assessment. *Risk Analysis : An Official Publication Of The Society For Risk Analysis*, 33(3), 493-504.
42. Veziroğlu, E., Paçal, İ., ve Coşkunçay A. (2023). Derin evrişimli sinir ağları kullanılarak pirinç hastalıklarının sınıflandırılması. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 792–814.
43. Karaman, A., Karaboğa, D., Paçal, İ., ve Akay, B. (2023). Hyper-parameter optimization of deep learning architectures using artificial bee colony (ABC) algorithm for high performance real-time automatic colorectal cancer (CRC) polyp detection. *Applied Intelligence*, 53(12), 15603-15620.
44. He, X., Chen W., Nie, B., ve Zhang, M. (2010). Classification technique for danger classes of coal and gas outburst in deep coal mines. *Safety Science*, 48(2), 173-178.
45. Palei, S.K., and Das, S.K. (2009). Logistic regression model for prediction of roof fall risks in bord and pillar workings in coal mines: An approach. *Safety Science*, 47(1), 88-96.
46. Rivas, T., Paz, M., Martin, J.E., Matias, J.M., Garcia, J.F., and Taboada, J. (2011). Explaining and predicting workplace accidents using data-mining techniques. *Reliability Engineering & System Safety*, 96(7), 739-747.
47. Sanmiquel, L., Rossell, J.M., and Vintró, C. (2015). Study of Spanish mining accidents using data mining techniques. *Safety Science*, 75, 49-55.
48. Chiang, Y.H., Wong, F., and Liang, S. (2018). Fatal Construction Accidents in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(3).
49. Alizadeh, S.S., Mortazavi, S.B., and Mehdi Sepehri, M. (2015). Assessment of accident severity in the construction industry using the Bayesian theorem. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 21(4), 551-557.
50. Park, J., Cho, C., Cho, Y., and Kim, K. (2018). Data-driven monitoring system for preventing the collapse of scaffolding structures. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144 (8).
51. Yi, W., Chan, A., Wang, X., and Wang, J. (2016). Development of an early-warning system for site work in hot and humid environments: A case study. *Automation in Construction*, 62, 101-113.
52. Ghodrati, N., Yiu, T.W., Wilkinson, S., and Shahbazzpour, M. (2018). A new approach to predict safety outcomes in the construction industry. *Safety Science*, 109, 86-94.
53. Sakhakarmi, S., Park, J., and Cho, C. (2019). Enhanced Machine Learning Classification Accuracy for Scaffolding Safety Using Increased Features. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(2).
54. Ayhan, B.U., ve Tokdemir, O.B. (2019). Predicting the outcome of construction incidents. *Safety Science*, 113, 91-104.

55. Persona, A., Battini, D., Faccio, M., Bevilacqua, M., and Ciarapica, F.E. (2006). Classification of occupational injury cases using the regression tree approach. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 13(2), 171-191.
56. Matías, J.M., Rivas, T., Martín, J.E., and Toboada, J. (2008). A machine learning methodology for the analysis of workplace accidents. *International Journal of Computer Mathematics*, 85(3-4), 559-578.
57. Mistikoğlu, G., Gerek, İ.H., Erdiş, E., Usmen, M., Cakan, H., ve Kazan, E.E. (2015). Decision tree analysis of construction fall accidents involving roofers. *Expert Systems with Applications*, 42(4), 2256-2263.
58. Leu, S.S., and Chang, C.M. (2013). Bayesian-network-based safety risk assessment for steel construction projects. *Accident Analysis & Prevention*, 54, 122-133.
59. Jana, D.K., Pramanik, D.K., Sahoo, P., and Mukherjee, A. (2019). Interval type-2 fuzzy logic and its application to occupational safety risk performance in industries. *Soft Computing*, 23(2), 557-567.
60. Jahangiri, M., Solukloei, H.R.J., and Kamalinia, M. (2019). A neuro-fuzzy risk prediction methodology for falling from scaffold. *Safety Science*, 117, 88-99.
61. Li, G., Baker, S., Grabowski, J.G., and Qiang, Y., (2003). Age, Flight Experience, and Risk of Crash Involvement in a Cohort of Professional Pilots. *American Journal of Epidemiology*, 157(10), 874-880.
62. Bazargan, M., and Guzhva, V.S. (2011). Impact of gender, age and experience of pilots on general aviation accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 962-970.
63. Yeoum, S., and Lee, Y. (2013). A study on prediction modeling of korea military aircraft accident occurrence. *The International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 20, 562-573.
64. Nikšić, L., and Arıkan Öztürk, E. (2023). Analysis of ATC-related aviation accidents and incidents. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 95(6), 890-898.
65. Paçal, İ. (2022). Deep learning approaches for classification of breast cancer in ultrasound (US) images. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12 (4), 1917-1927.
66. Aci, C., ve Ozden, C. (2018). Predicting the severity of motor vehicle accident injuries in adana-turkey using machine learning methods and detailed meteorological data. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 6(1), 72-79.
67. Sánchez, A., Fernández, P.R., Lasheras F.S., Juez, F.J. and Nieto, P.J. (2011). Prediction of work-related accidents according to working conditions using support vector machines. *Applied Mathematics and Computation*, 218, 3539-3552.
68. Zhang, J., Li, Z., Pu, Z. and Xu, C. (2018). Comparing prediction performance for crash injury severity among various machine learning and statistical methods. *IEEE Access*, 6, 60079-60087.

69. Jeong, H., Jang, Y., Bowman, P.J. and Masoud, N. (2018). Classification of motor vehicle crash injury severity: A hybrid approach for imbalanced data. *Accident Analysis & Prevention*, 120, 250-261.
70. Karlaftis, M.G. and Golias, I. (2022). *Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates*. *Accident Analysis & Prevention*, 34(3), 357-365.
71. Mafi, S., AbdelRazig, Y. and Doczy, R. (2018). Machine learning methods to analyze injury severity of drivers from different age and gender groups. *Transportation Research Record*, 2672(38), 171-183.
72. Amiri, M., Ardeshtir, M., Zarandi, M.H. and Soltanaghaei, E. (2016). Pattern extraction for high-risk accidents in the construction industry: a data-mining approach. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 23(3), 264-276.
73. Bevilacqua, M., Ciarapica, F.E. and Giacchetta, G. (2008). Industrial and occupational ergonomics in the petrochemical process industry: A regression trees approach. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1468-1479.
74. Cheng, C., Leu, S., Cheng, Y., Wu, T. and Lin, C. (2012). Applying data mining techniques to explore factors contributing to occupational injuries in Taiwan's construction industry. *Accident Analysis & Prevention*, 48, 214-222.
75. Brown, D.E. (2016). Text Mining the Contributors to Rail Accidents. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(2), 346-355.
76. Kang, K. and Ryu, H. (2019). Predicting types of occupational accidents at construction sites in Korea using random forest model. *Safety Science*, 120, 226-236.
77. Siddiqui, C., Abdel-Aty, M. and Huang, H. (2012). Aggregate nonparametric safety analysis of traffic zones. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 317-325.
78. Tang, J., Liand, J., Han, C., Li, Z. and Huang, H. (2019). Crash injury severity analysis using a two-layer Stacking framework. *Accident Analysis & Prevention*, 122, 226-238.
79. Umer, M., Isdaq, A., Ullah, S., Madni, H.A., Saher, N. and Sadiq, S. (2020). Comparison Analysis of Tree Based and Ensembled Regression Algorithms for Traffic Accident Severity Prediction. *CoRR*, 2010, 14921.
80. Jiang, L., Xie, Y. and Ren, T. (2019) *Modelling highly unbalanced crash injury severity data by ensemble methods and global sensitivity analysis*. Proceedings of the Transportation Research Board 98th Annual Meeting, Washington, USA.
81. Santos, K., Dias, J.P. and Amado, C. (2022). A literature review of machine learning algorithms for crash injury severity prediction. *Journal of Safety Research*, 80, 254-269.
82. Zermane, A., Tohir, M.Z., Zermane, H., Baharudin, M.R. and Yusoff, H.M. (2023). Predicting fatal fall from heights accidents using random forest classification machine learning model. *Safety Science*, 159, 106023.

83. Poh, C.Q.X., Ubeynarayana, C.U. and Goh, Y.M. (2018). Safety leading indicators for construction sites: A machine learning approach. *Automation in Construction*, 93, 375-386.
84. Lee, J., Yoon, T., Kwon, S. and Lee, J. (2020). Model Evaluation for Forecasting Traffic Accident Severity in Rainy Seasons Using Machine Learning Algorithms: Seoul City Study. *Applied Sciences*, 10(1), 129.
85. Chen, M.M. and Chen, M.C. (2020). Modeling road accident severity with comparisons of logistic regression, decision tree and random forest. *Information*, 11(5), 270.
86. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü. (2011). *Meslek Hastalıkları Rehberi*. Ankara: İSGGM.
87. İnternet: 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu. (2006, 16 Haziran). *Resmi Gazete* (Sayı:26200). Web: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.5510.pdf>. Son Erişim Tarihi: 24.01.2023.
88. İnternet: 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. (2012, 20 Haziran). *Resmi Gazete* (Sayı:28339). Web: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6331.pdf>. Son Erişim Tarihi: 24.01.2023.
89. Cascio, F.W. (1995). *Managing Human Resources, Productivity, Quality of Work Life, Profits*. (5). New York: McGraw Hills.
90. Camkurt, M.Z. (2007). İşyeri çalışma sistemi ve iş yeri fiziksel faktörlerin iş kazaları üzerindeki etkisi. *TUHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi*, 20(6), 81.
91. Gamgam, Z. (1994). *İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği*. Ankara: Şeker-İş Yayınları, 6.
92. Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası. (2007). *MESS üyelerinde iş kazaları ve meslek hastalıkları istatistikleri*. İstanbul.
93. Dönbekçi, C. (1988). *Maden İşletmelerinde İş Güvenliği*. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 4-10 Mayıs, Ankara.
94. Hatipoğlu, Ö. (2006). *İş Sağlığı ve Güvenliğinin Mevcut Durumu ve Bir Araştırma* Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
95. Akbulut, T. (2000). *İşyeri Hekimliği Ders Notları*. Ankara: Türk Tabipler Birliği.
96. Yılmaz, G. (1999). Çalışma ortamı. *Fişek Sağlık Enstitüsü Dergisi*, 25.
97. Aydın, E. (2012). *Otomotiv Yan Sanayi Tesislerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetim Sistemlerinin Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
98. Yılmaz, İ.C. (2012). *İş Kazalarının Analizi (Mobilya Sanayindeki Küçük ve Orta Boy İşletmeler İle Büyük Boy İşletmelerin Karşılaştırılması)*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

99. Taşpınar, G. (1996). *Türkiye’de Metal Sanayi İş Kohunda Ortaya Çıkan İşçi Sağlığı Ve İş Güvenliği Sorunları İle Bu Sorunlara İlişkin Çözüm Önerileri*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
100. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği. (2008). *İş Sağlığı ve Güvenliği*. Ankara: TMMOB Yayınları, 38.
101. Yılmaz, G. (2009). İş kazalarının nedenleri ve maliyeti. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 50(592), 27-28.
102. European Commission. (2013). *European statistics on accidents at work (ESAW): Summary methodology*. Luxembourg: EUROSTAT Publishing, 59.
103. Türkiye Cumhuriyeti Sosyal Güvenlik Kurumu Strateji Geliştirme Başkanlığı Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Daire Başkanlığı. (2016). *Türkiye Cumhuriyeti Sosyal Güvenlik Kurumu Tanıtım Kitapçığı*. Ankara: SGK Yayınları.
104. İnternet: 5502 Sayılı Sosyal Güvenlik Kurumuna İlişkin Bazı Düzenlemeler Hakkında Kanun. (2006, 16 Mayıs). *Resmi Gazete* (Sayı:26173). Web: <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5502.pdf>. Son Erişim Tarihi: 24.01.2023.
105. International Labour Organization. (1988). *Resolution concerning statistics of occupational injuries (resulting from occupational accidents)*. 16th International Conference of Labour Statisticians, Geneva, Switzerland.
106. İnternet: İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği. (2012, 26 Aralık). *Resmi Gazete* (Sayı:28509). Web: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16909&MevzuatTur=9&MevzuatTertip=5>. Son Erişim Tarihi: 24.01.2023.
107. Mining, E. (2020). *Machine Learning for Beginners: A Complete and Phased Beginner's Guide to Learning and Understanding Machine Learning and Artificial Intelligence*. Brentford: Everooks Limited.
108. Sahay, A. (2021). *Essentials of Data Science and Analytics: Statistical Tools, Machine Learning, and R-Statistical Software Overview*. New York: Business Expert Press.
109. Lantz, B. (2013). *Machine Learning with R*. Birmingham: Packt Publishing.
110. Donoho, D. (2017). 50 Years of Data Science. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 26, 745-766.
111. McClave, J.T. and Sincich, T. (2013). *Statistics*. London: Pearson.
112. Kazan, E. (2013). *Analysis Of Fatal And Nonfatal Accidents Involving Earthmoving Equipment Operators And On-Foot Workers*. Doktora Tezi, Wayne State Üniversitesi, Detroit.

113. Çoktu, K. ve Ulas, H.B. (2021). 2013-2018 yılları arasında türkiye’de meydana gelen yürüyen merdiven kazalarının istatistiksel olarak incelenmesi. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 5, 21-35.
114. Dökmeci, A. ve Aksan, Ö. (2019). Çorlu devlet hastanesindeki elektromanyetik alanların (EMA). *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 3(1), 53-61.
115. Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
116. Zhen, X., Ning, Y., Du, W., Huang, Y. and Vinnem, J.E. (2023). An interpretable and augmented machine-learning approach for causation analysis of major accident indicators in the offshore petroleum industry. *Process Safety and Environmental Protection*, 173, 922-933.
117. Wang, Z., Lai, C., Chen, X., Yang, B., Zhao, S. and Bai, X. (2015). Flood hazard risk assessment model based on random forest. *Journal of Hydrology*, 527, 1130-1141.
118. Shanthi, S. and Ramani, R.G. (2012). Feature relevance analysis and classification of road traffic accident data through data mining techniques. *Proceedings of The World Congress on Engineering and Computer Science*, 1, 24-26.
119. Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine Learning*, 24(2), 123-140.
120. Dietterich, T.G. (2000). An Experimental Comparison of Three Methods for Constructing Ensembles of Decision Trees: Bagging, Boosting, and Randomization. *Machine Learning*, 40(2), 139-157.
121. Breiman, L. (2001). Using Iterated Bagging to Debias Regressions. *Machine Learning*, 45, 261-277.
122. Tin Kam, H. (1998). The random subspace method for constructing decision forests. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(8), 832-844.
123. Andriyas, S. and McKee, M. (2013). Recursive partitioning techniques for modeling irrigation behavior. *Environmental Modelling & Software*, 47, 207-217.
124. Strobl, C., Boulesteix, A., Kneib, T., Augustin, T. and Zeileis A. (2008) et al., Conditional variable importance for random forests. *BMC Bioinformatics*, 11(9), 307.
125. Cutler, D.R., Edwards, T.C., Beard, K.H., Cutler, A., Hess, K.T., Gibson, J. and Lawler J. (2007). Random forests for classification in ecology. *Ecology*, 88(11), 2783-2792.
126. Ebru, K. (2013). *Mikroarray Gen Ekspresyon Veri Setlerinde Random Forest Ve Naive Bayes Sınıflama Yöntemleri Yaklaşımı*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
127. İnternet: Breiman, L. and Cutler. A. Random Forest. *Berkeley Üniversitesi*, Web: https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm. Son Erişim Tarihi: 10.12.2022.

128. Cover, T. and Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(1), 21-27.
129. Iranitalab, A. and Khattak, A. (2017). Comparison of four statistical and machine learning methods for crash severity prediction. *Accident Analysis & Prevention*, 108, 27-36.
130. Friedman, J. (2000). Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. *The Annals of Statistics*, 29.
131. Natekin, A. and Knoll A. (2013). Gradient Boosting Machines, A Tutorial. *Frontiers In Neurorobotics*, 7, 21.
132. Konstantinov, A.V. and Utkin, L.V. (2021). Interpretable machine learning with an ensemble of gradient boosting machines. *Knowledge-Based Systems*, 222, 106993.
133. Breiman, L. (1984). *Classification and Regression Trees*.(1). New York: Taylor & Francis, 368.
134. Izenman, A.J. (2008). *Modern Multivariate Statistical Techniques: Regression, Classification, and Manifold Learning*. (1). New York: Springer Publishing Company, Incorporated, 733.
135. Lewis, R. (2000). *An Introduction to Classification and Regression Tree (CART) Analysis*. Annual Meeting of the Society for Academic Emergency Medicine, San Francisco, 15.
136. Gu, Q., Zhu, L. and Cai. Z. (2009). *Evaluation Measures of the Classification Performance of Imbalanced Data Sets*. Computational Intelligence and Intelligent Systems, Berlin, 461-471.
137. Fränti, P. and Mariescu-Istodor, R. (2023). Soft precision and recall. *Pattern Recognition Letters*, 167, 115-121.
138. Luo, X., Li, X., Goh, Y.M., Song, X. and Liu, Q. (2023). Application of machine learning technology for occupational accident severity prediction in the case of construction collapse accidents. *Safety Science*, 163, 106138.
139. Wang, X. and Kim, S.H. (2019). Prediction and factor identification for crash severity: comparison of discrete choice and tree-based models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2673, 036119811984445.
140. AlMamlook, R.E., Kwayu, K.M., Alkasisbeh, M.R. and Frefer A.A. (2019). *Comparison of machine learning algorithms for predicting traffic accident severity*. IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT), 9-11 April, Jordan, 272.
141. Mokoatle, M.,Marivate, D.V. and Bukohwo, P.M.E. (2019). *Predicting road traffic accident severity using accident report data in south Africa*. Proceedings of the 20th Annual International Conference on Digital Government Research, 18-20 June, Dubai, 11–17.

142. Arhin, S. and Gatiba, A. (2019). Predicting injury severity of angle crashes involving two vehicles at unsignalized intersections using artificial neural networks. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9, 3871-3880.
143. Li, J., Gao, F., Lin, S., Guo, M., Li, Y., Liu, H., Qin, S. and Wen, Q. (2023). Quantum k-fold cross-validation for nearest neighbor classification algorithm. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 611, 128435.
144. Azadi, S. and Karimi-Jashni, A. (2016). Verifying the performance of artificial neural network and multiple linear regression in predicting the mean seasonal municipal solid waste generation rate: A case study of Fars province, Iran. *Waste Management*, 48, 14-23.
145. Vu, L., Ng, K.T.W., Richter, A. and An, C. (2022). Analysis of input set characteristics and variances on k-fold cross validation for a Recurrent Neural Network model on waste disposal rate estimation. *Journal of Environmental Management*, 311, 114869.
146. Garre, A., Ruiz, M.C. and Hontoria, E. (2020). Application of Machine Learning to support production planning of a food industry in the context of waste generation under uncertainty. *Operations Research Perspectives*, 7, 100147.
147. Guyon, I., Weston, J., Barnhill, S. and Vapnik, V. (2002). Gene selection for cancer classification using support vector machines. *Machine Learning*, 46(1), 389-422.
148. Li, L., Ching, W.K. and Liu, Z.P. (2022). Robust biomarker screening from gene expression data by stable machine learning-recursive feature elimination methods. *Computational Biology and Chemistry*, 100, 107747.
149. Freund, Y. and Schapire, R.E. (1996). *Experiments with a new boosting algorithm*. International Conference on Machine Learning, 3-6 July, Bari, Italy, 148-156.
150. İnternet: ÇSGB. (2018) *İş Sağlığı ve Güvenliği Bilgi Yönetim Sistemi*. Web: <https://ibys.csgeb.gov.tr/>. Son Erişim Tarihi: 17.01.2018.
151. Chang, D.S. and Tsai, Y.C. (2014). Investigating the long-term change of injury pattern on severity, accident types and sources of injury in Taiwan's manufacturing sector between 1996 and 2012. *Safety Science*, 68, 231-242.
152. López-Arquillos, A., Rubio-Romero, J.C., and Gibb, A. (2012) Analysis of construction accidents in Spain, 2003-2008. *Journal of Safety Research*, 43(5), 381-388.
153. Gulhan, B., Ilhan, M. ve Civil, E. (2012). Occupational accidents and affecting factors of metal industry in a factory in Ankara. *Turkish Journal of Public Health*, 10(2).
154. İnternet: Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik. (2013, 15 Mayıs). *Resmi Gazete* (Sayı: 28648). Web: <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=18371&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5>. Son Erişim Tarihi: 24.01.2023.

155. İnternet: Tehlikeli ve Çok Tehlikeli Sınıfta Yer Alan İşlerde Çalıştırılacakların Mesleki Eğitimlerine Dair Yönetmelik. (2013, 13 Temmuz). *Resmî Gazete* (Sayı: 28706). Web: <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=18581&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5>. Son Erişim Tarihi: 24.01.2023.
156. Hedlund, F. (2013). Recorded fatal and permanently disabling injuries in south african manufacturing industry - overview, analysis and reflection. *Safety Science*, 55.
157. Khahro, S., Ali, T.H., Memon, N.A. and Memon, Z.A. (2020). Occupational accidents:a comparative study of construction and manufacturing industries. *Current Science*, 118, 243.
158. Shimizu, H.E., Arantes, L.J., Bezerra, J.C., and Merchan-Hamann, E.M. (2021). Analysis of work-related accidents and ill-health in Brazil since the introduction of the accident prevention factor. *BMC Public Health*, 21(1), 725.
159. Laschi, A., Marchi, E., Foderi, C. and Neri, F. (2016). Identifying causes, dynamics and consequences of work accidents in forest operations in an alpine context. *Safety Science*, 89, 28-35.
160. Castillo-Rosa, J., Suarez-Cebaor, M., Rubio-Romero, J. and Aguado, J. (2016). A decade of occupational accidents due to direct or indirect electrical contact in the primary, secondary and tertiary sectors in Spain (2003-2012). *International Journal Of Injury Control And Safety Promotion*, 24, 1-9.
161. Carrillo-Castrillo, J.A., Rubio-Romero, J.C., Onieva, L. and López-Arquillos, A. (2016). The causes of severe accidents in the andalusian manufacturing sector: the role of human factors in official accident investigations. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 26(1), 68-83.
162. Fernández-Muñiz, B., Montes-Peón, J.M. and Vázquez-Ordás, C.J. (2018). Occupational accidents and the economic cycle in Spain 1994–2014. *Safety Science*, 106, 273-284.

EKLER

EK-1. NACE Sınıflandırmaları

Çizelge 1.1. Ana metal sanayi sektörü NACE Rev. 2. sınıflandırması

Seviye	NACE Rev.2 Altılı Kod	NACE Rev.2_Altılı Tanım
3	24.1	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı
4	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı
3	24.2	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı
4	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı
3	24.3	Çeliğin ilk işlenmesinde elde edilen diğer ürünlerin imalatı
4	24.31	Barların soğuk çekilmesi
4	24.32	Dar şeritlerin soğuk haddelenmesi
4	24.33	Soğuk şekillendirme veya katlama
4	24.34	Tellerin soğuk çekilmesi
3	24.4	Değerli ana metaller ve diğer demir dışı metallerin imalatı
4	24.41	Değerli metal üretimi
4	24.42	Alüminyum üretimi
4	24.43	Kurşun, çinko ve kalay üretimi
4	24.44	Bakır üretimi
4	24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi
4	24.46	Nükleer yakıtların işlenmesi
3	24.5	Metal döküm sanayii
4	24.51	Demir döküm
4	24.52	Çelik dökümü
4	24.53	Hafif metallerin dökümü
4	24.54	Diğer demir dışı metallerin dökümü

EK-1. (devam) NACE Sınıflandırmaları

Çizelge 1.2. Fabrikasyon metal ürünleri (Makine ve teçhizat) imalatı sektörü NACE Rev.2. sınıflandırması

Seviye	NACE Rev.2 Altılı Kod	NACE Rev.2 Altılı Tanım
3	25.1	Metal yapı malzemeleri imalatı
4	25.11	Metal yapı ve yapı parçaları imalatı
4	25.12	Metalden kapı ve pencere imalatı
3	25.2	Metal tank, rezervuar ve muhafaza kapları imalatı
4	25.21	Merkezi ısıtma radyatörleri (elektrikli radyatörler hariç) ve sıcak su kazanları (boylerleri) imalatı
4	25.29	Metalden diğer tank, rezervuar ve konteynerler imalatı
3	25.3	Buhar jeneratörü imalatı, merkezi ısıtma sıcak su kazanları (boylerleri) hariç
4	25.30	Buhar jeneratörü imalatı, merkezi ısıtma sıcak su kazanları (boylerleri) hariç
3	25.4	Silah ve mühimmat (cephane) imalatı
4	25.40	Silah ve mühimmat (cephane) imalatı
3	25.5	Metallerin dövülmesi, preslenmesi, baskılanması ve yuvarlanması; toz metalürjisi
4	25.50	Metallerin dövülmesi, preslenmesi, baskılanması ve yuvarlanması; toz metalürjisi
3	25.6	Metallerin işlenmesi ve kaplanması; makinede işleme
4	25.61	Metallerin işlenmesi ve kaplanması
4	25.62	Metallerin makinede işlenmesi ve şekil verilmesi
3	25.7	Çatal-bıçak takımı ve diğer kesici aletler ile el aletleri ve genel hırdavat malzemeleri imalatı
4	25.71	Çatal-bıçak takımları ve diğer kesici aletlerin imalatı
4	25.72	Kilit ve menteşe imalatı
4	25.73	El aletleri, takım tezgâhı uçları, testere ağızları vb. imalatı
3	25.9	Diğer fabrikasyon metal ürünlerin imalatı
4	25.91	Çelik varil ve benzer muhafazaların imalatı
4	25.92	Metalden hafif paketleme malzemeleri imalatı
4	25.93	Tel ürünleri, zincir ve yayların imalatı
4	25.94	Bağlantı malzemelerinin ve vida makinesi ürünlerinin imalatı
4	25.99	Başka yerde sınıflandırılmamış diğer fabrikasyon metal ürünlerin imalatı

EK-2. ESAW Metodolojisi Sapma Kodu

Çizelge 2.1. ESAW sapma kodu açıklamaları

KOD	AÇIKLAMA
00	Bilgi yok
10	Elektrik sorunları, patlama, yangın nedeniyle sapma
11	Elektrik arızası nedeniyle elektrik sorunu – doğrudan temasa yol açan
12	Elektrik sorunu–doğrudan temasa yol açan
13	Patlama
14	Yangın, tutuşma
19	Yukarıda listelenmemiş başka 10 çeşit Sapma
20	Taşma, devrilme, sızma, buharlaşma, emisyon sapması – Belirtilmemiş
21	Katı durumunda – taşma, devrilme
22	Sıvı durumunda – sızma, kaçırma, akma, sıçrama, püskürme
23	Gaz durumunda – buharlaşma, aerosol oluşum, gaz oluşumu
24	Toz halindeki madde – duman oluşumu, havadaki/yayılmış toz ve zerrecikleri
29	Yukarıda listelenmemiş başka 20 çeşit Sapma
30	Maddi Aracın kırılma, patlama, ayrılma, kayma, düşme, çökmesi – Belirtilmemiş
31	Maddenin kırılması – eklemlerde, birleşme noktalarında
32	Kırılma, patlama – kıymık oluşumu (tahta, cam, metal, taş, plastik, diğerleri)
33	Maddi Aracın kayma, düşme, çökmesi – yukarıdan (kazazedenin üstüne düşerek)
34	Maddi Aracın kayma, düşme, çökmesi – aşağıdan (kazazedeyi aşağı çekerek)
35	Maddi Aracın kayma, düşme, çökmesi – aynı düzeyde
39	Yukarıda listelenmemiş başka 30 türü çeşit Sapma
40	Bir makinenin, taşıma aracının veya işleme ekipmanının, elle kullanılan alet, nesne, hayvanın denetimden çıkması (tam veya kısmi) – Belirtilmemiş
41	Denetim kaybı (tam veya kısmi) – makine (istenmeyen başlama da dahil olmak üzere) veya maddi aracı
42	Denetim kaybı (tam veya kısmi) – taşıt aracı veya ekipman kullanımının (motorlu olsun veya olmasın)
43	Denetim kaybı (tam veya kısmi) – el aleti (motorlu olsun veya olmasın) veya alet tarafından kullanılan maddi aracın
44	Denetim kaybı (tam veya kısmi) – nesnenin (taşınan, oynatılan, kullanılan, vb.)
45	Denetim kaybı (tam veya kısmi) – hayvanın
49	Yukarıda listelenmemiş başka 40 çeşit Sapma
50	Kayma veya tökezleme – düşme, kişilerin düşmesi – Belirtilmemiş
51	Kişinin düşmesi – alt düzeye
52	Kayma – tökezleme ve düşme – Kişinin düşmesi – aynı düzeyde
59	Yukarıda listelenmemiş başka 50 çeşit Sapma
60	Fiziki baskı olmadan beden hareketi (genellikle dış bir yaralanmaya yol açan)
61	Keskin bir nesne üzerinde yürüme

EK-2. (devam) ESAW Metodolojisi Sapma Kodu

Çizelge 2.1. ESAW sapma kodu açıklamaları

KOD	AÇIKLAMA
62	Diz çökme, oturma, yaslanma
63	Kapılma veya götürülme – bir şey veya ivme tarafından
64	İş birliği olmaksızın yapılan hareket, gereksiz veya zamansız eylemler
69	Yukarıda listelenmemiş başka 60 çeşit Sapma
70	Fiziki baskıyla veya fiziki baskı altında beden hareketi (genellikle dış bir yaralanmaya yol açan)- Belirtilmemiş
71	Kaldırma, taşıma, ayakta durma
72	İtme, çekme
73	Aşağı bırakma, eğilme
74	Bükülme, dönme
75	Çiğnenmek, bacak veya bilek bükülmesi, düşmeden kaymak
79	Yukarıda listelenmemiş başka 70 çeşit Sapma
80	Şok, korku, vahşet, saldırganlık, tehdit, bulunma -Belirtilmemiş
81	Şok, korku
82	Vahşet, saldırı, tehdit – işverenin otoritesine tabi olan şirket çalışanları arasında
83	Vahşet, saldırı, tehdit – işlerini yapmakta olan kazazedeye yönelik şirket dışındaki kişiler tarafından (banka soygunu, otobüs şoförleri, vb.)
84	Saldırı, dürtülme – hayvan tarafından
85	Üçüncü bir kimsenin veya kişinin kendisinin, kendine ve başkasına da tehlike yaratması
89	Yukarıda listelenmemiş başka 80 türü çeşit Sapma
99	Bu sınıflandırmada listelenmemiş başka Sapma

EK -2. (devam) ESAW Metodolojisi Sapma Kodu

Çizelge 2.2. Kazaya sebebiyet veren son sapma dağılımı

Sapma Kodu	Kaza Sayısı			Kaza Oranı (%)		
	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası
00	7	1219	1226	0,5	1,2	1,2
11	7	123	130	0,5	0,1	0,1
12	25	240	265	1,6	0,2	0,3
13	9	282	291	0,6	0,3	0,3
14	6	307	313	0,4	0,3	0,3
21	12	2680	2692	0,8	2,6	2,6
22	14	1412	1426	0,9	1,4	1,4
23	6	207	213	0,4	0,2	0,2
24	1	172	173	0,1	0,2	0,2
31	5	631	636	0,3	0,6	0,6
32	10	1920	1930	0,6	1,9	1,8
33	115	5175	5290	7,5	5,0	5,1
34	7	244	251	0,5	0,2	0,2
35	73	4206	4279	4,7	4,1	4,1
41	645	6699	7344	41,8	6,5	7,0
42	53	2659	2712	3,4	2,6	2,6
43	95	8099	8194	6,2	7,8	7,8
44	97	7326	7423	6,3	7,1	7,1
45	0	1041	1041	0	1,0	1,0
51	83	4600	4683	5,4	4,5	4,5
52	24	7170	7194	1,6	6,9	6,9
61	1	149	150	0,1	0,1	0,1
62	0	255	255	0	0,2	0,2
63	24	1352	1376	1,6	1,3	1,3
64	60	8580	8640	3,9	8,3	8,3
71	8	2078	2086	0,5	2,0	2,0
72	8	2448	2456	0,5	2,4	2,3
73	0	241	241	0	0,2	0,2
74	1	285	286	0,1	0,3	0,3
75	3	480	483	0,2	0,5	0,5
79	2	265	267	0,1	0,3	0,3
81	0	7	7	0	0	0
82	4	43	47	0,3	0	0
83	1	11	12	0,1	0	0
84	0	15	15	0	0	0
85	58	543	601	3,8	0,5	0,6
99	78	30015	30093	5,1	29,1	28,7

EK-3. Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.1. İş kazalarının saat dilemlerine göre dağılımı

Saat	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası
00:01-01:00	15	1152	1167
01:01-02:00	15	1408	1423
02:01-03:00	16	1372	1388
03:01-04:00	12	1190	1202
04:01-05:00	15	1161	1176
05:01-06:00	12	1124	1136
06:01-07:00	16	1122	1138
07:01-08:00	22	1523	1545
08:01-09:00	79	4141	4220
09:01-10:00	107	6194	6301
10:01-11:00	97	6592	6689
11:01-12:00	116	7403	7519
12:01-13:00	449	33290	33739
13:01-14:00	67	4337	4404
14:01-15:00	102	6003	6105
15:01-16:00	82	5640	5722
16:01-17:00	97	4784	4881
17:01-18:00	70	4160	4230
18:01-19:00	35	2142	2177
19:01-20:00	26	1812	1838
20:01-21:00	26	1569	1595
21:01-22:00	23	1696	1719
22:01-23:00	26	1725	1751
23:01-00:00	17	1604	1621

Çizelge 3.2. Kazanın gerçekleştiği ayların günlere göre dağılımı

Ay Adı	Gün Adı	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam Kaza
Ocak	Pazartesi	19	1330	1349
	Salı	19	1332	1351
	Çarşamba	20	1325	1345
	Perşembe	27	1241	1268
	Cuma	14	764	778
	Cumartesi	7	282	289
	Pazar	18	1332	1350
Şubat	Pazartesi	14	1349	1363
	Salı	13	1238	1251
	Çarşamba	11	1156	1167
	Perşembe	15	1158	1173
	Cuma	10	701	711
	Cumartesi	8	284	292
	Pazar	19	1343	1362
Mart	Pazartesi	17	1579	1596
	Salı	32	1550	1582
	Çarşamba	20	1458	1478
	Perşembe	28	1373	1401

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.2. Kazanın gerçekleştiği ayların günlere göre dağılımı

Ay Adı	Gün Adı	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam Kaza
Mart	Cuma	20	948	968
	Cumartesi	5	361	366
	Pazar	23	1596	1619
Nisan	Pazartesi	29	1482	1511
	Salı	21	1484	1505
	Çarşamba	20	1481	1501
	Perşembe	31	1215	1246
	Cuma	9	777	786
	Cumartesi	3	320	323
	Pazar	15	1460	1475
Mayıs	Pazartesi	21	1573	1594
	Salı	32	1649	1681
	Çarşamba	27	1519	1546
	Perşembe	25	1384	1409
	Cuma	19	856	875
	Cumartesi	6	329	335
	Pazar	21	1600	1621
Haziran	Pazartesi	22	1703	1725
	Salı	26	1652	1678
	Çarşamba	22	1559	1581
	Perşembe	26	1412	1438
	Cuma	9	993	1002
	Cumartesi	5	362	367
	Pazar	24	1726	1750
Temmuz	Pazartesi	20	1802	1822
	Salı	26	1670	1696
	Çarşamba	23	1574	1597
	Perşembe	23	1433	1456
	Cuma	18	987	1005
	Cumartesi	4	341	345
	Pazar	25	1736	1761
Ağustos	Pazartesi	24	1504	1528
	Salı	17	1488	1505
	Çarşamba	20	1537	1557
	Perşembe	17	1371	1388
	Cuma	16	968	984
	Cumartesi	7	338	345
	Pazar	17	1546	1563
Eylül	Pazartesi	24	1488	1512
	Salı	18	1494	1512
	Çarşamba	21	1359	1380
	Perşembe	19	1268	1287
	Cuma	15	864	879
	Cumartesi	9	377	386
	Pazar	18	1554	1572
Ekim	Pazartesi	16	1483	1499
	Salı	24	1524	1548
	Çarşamba	24	1411	1435
	Perşembe	12	1307	1319
	Cuma	11	811	822
	Cumartesi	3	331	334

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.2. Kazanın gerçekleştiği ayların günlere göre dağılımı

Ay Adı	Gün Adı	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam Kaza
Ekim	Pazar	15	1455	1470
Kasım	Pazartesi	25	1642	1667
	Salı	28	1656	1684
	Çarşamba	26	1557	1583
	Perşembe	24	1530	1554
	Cuma	14	968	982
	Cumartesi	8	370	378
	Pazar	22	1643	1665
	Pazartesi	25	1551	1576
Aralık	Salı	22	1495	1517
	Çarşamba	17	1405	1422
	Perşembe	29	1367	1396
	Cuma	13	821	834
	Cumartesi	5	329	334
	Pazar	26	1588	1614
	Genel Toplam	1542	103179	104721

Çizelge 3.3. Kazazedelerin yaş dağılımları

Kazazede Yaş	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası
15	7	230	187
16	5	407	412
17	20	757	777
18	28	1792	1820
19	29	1748	1777
20	15	1178	1193
21	39	2450	2489
22	39	3486	3525
23	59	3908	3967
24	43	3940	3983
25	49	4027	4076
26	44	4061	4105
27	36	4056	4092
28	45	3967	4012
29	39	3997	4036
30	46	4020	4066
31	43	4036	4079
32	53	4058	4111
33	51	4180	4231
34	52	3945	3997
35	47	3752	3799
36	50	3698	3748
37	42	3497	3539
38	39	3133	3172
39	50	3120	3170
40	48	2884	2932

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.3. Kazazedelerin yaş dağılımları

Kazazede Yaş	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası
41	44	2704	2748
42	46	2650	2696
43	45	2583	2628
44	57	2359	2416
45	33	2099	2132
46	39	1985	2024
47	42	1725	1767
48	28	1334	1362
49	26	1066	1092
50	31	840	871
51	15	688	703
52	20	640	660
53	18	474	492
54	16	384	400
55	8	276	284
56	12	216	228
57	8	210	218
58	6	159	165
59	6	106	112
60	6	86	92
61	4	69	73
62	6	57	63
63	3	32	35
64	4	39	43
65	1	14	15
66	0	20	20
67	0	16	16
68	0	8	8
69	0	5	5
70	0	1	1
71	0	1	1
72	0	3	3
73	0	3	3
75	0	1	1
Genel Toplam	1542	103179	104721

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.4. Kazazedenin iş hayatındaki tecrübesinin yıllara göre dağılımı

İş Tecrübesi Yılı	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası
0	68	2415	2458
1	39	2428	2467
2	41	2502	2543
3	56	2900	2956
4	54	3583	3637
5	56	4264	4320
6	47	4729	4776
7	70	5086	5156
8	65	5145	5210
9	60	5086	5146
10	56	4826	4882
11	47	4355	4402
12	41	3947	3988
13	42	3587	3629
14	37	3477	3514
15	42	3416	3458
16	31	3583	3614
17	47	3588	3635
18	41	3525	3566
19	50	3415	3465
20	47	3192	3239
21	42	2814	2856
22	47	2474	2521
23	48	2432	2480
24	38	2382	2420
25	38	2241	2279
26	36	2198	2234
27	41	1887	1928
28	35	1760	1795
29	29	1309	1338
30	26	1065	1091
31	27	794	821
32	14	561	575
33	17	380	397
34	18	346	364
35	5	265	270
36	9	249	258
37	6	206	212
38	3	153	156
39	6	155	161
40	5	90	95
41	4	97	101

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.4. Kazazedenin iş hayatındaki tecrübesinin yıllara göre dağılımı

İş Tecrübesi Yılı	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası
42	3	76	79
43	2	47	49
44	1	39	40
45	2	28	30
46	2	25	27
47	0	19	19
48	0	9	9
49	1	11	12
50	0	5	5
51	0	5	5
52	0	4	4
54	0	3	3
57	0	1	1
Genel Toplam	1542	103179	104721

Çizelge 3.5. Kazazedenin kaza olan işyerindeki tecrübesinin dağılımı

Son İşyeri Tecrübe Yılı	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası
0	783	44699	45401
1	226	17118	17344
2	152	10595	10747
3	80	6851	6931
4	63	4885	4948
5	51	3686	3737
6	34	2948	2982
7	26	2262	2288
8	27	1886	1913
9	14	1489	1503
10	12	1256	1268
11	11	949	960
12	6	738	744
13	7	539	546
14	6	379	385
15	3	274	277
16	3	202	205
17	1	144	145
18	0	134	134
19	2	126	128
20	2	141	143
21	3	159	162
22	2	165	167

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.5. Kazazedenin kaza olan işyerindeki tecrübesinin dağılımı

Son İşyeri Tecrübe Yılı	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası
23	8	203	211
24	2	263	265
25	0	218	218
26	2	207	209
27	3	195	198
28	1	180	181
29	1	96	97
30	2	74	76
31	3	37	40
32	2	20	22
33	0	5	5
34	1	7	8
35	0	5	5
36	1	3	4
37	0	4	4
38	0	4	4
39	1	7	8
40	0	2	2
41	0	4	4
42	0	5	5
43	0	4	4
44	1	5	6
45	0	2	2
47	0	1	1
48	0	1	1
51	0	1	1
54	0	1	1

Çizelge 3.6. İSG eğitim durumun mesleki eğitim durumuna göre dağılımı

İSG Eğitimi	Mesleki Eğitimi	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam Kazalar
Evet	Evet	1118	85248	86364
	Hayır	231	12791	13022
Hayır	Evet	44	1225	1267
	Hayır	149	3915	4007
Genel Toplam		1542	103179	104721

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.7. Yaralanma sebebini yaranın vücuttaki yerine göre dağılımı

Yara Sebebi/ Yeri	Araçlar da dahil olmak üzere bir nesne ile çarpışma- bir kişi ile çarpışma (kazazede hareket halindeyken)	Araçlar da dahil olmak üzere dönen, hareket eden, taşınmakta olan bir nesnenin darbesi	Bilgi yok	Bir kaynak arkı, kıvılcım veya çakması (pasif)	Bir şeye doğru düşey hareket, çarpışma (düşüşten dolayı)	Bir şeye doğru yatay hareket, çarpışma	Böcek veya balık sokması	Çıplak alev veya sıcak veya yanan bir nesne veya ortam ile temas	Darbe, çifte, toz veya sıkarak boğma	Düsen bir nesnenin darbesi	Elektrikle doğrudan temas, elektrik yüklenmenin bedene alınması	Fiziksel baskı- kas/iskelet sistemi üzerinde
Ayak	72	284	2969	28	619	284	0	205	1	786	55	170
Ayak bileği	42	171	1919	4	462	187	0	39	1	228	9	176
Ayak pamak(lar)ı	18	85	298	1	158	89	0	10	1	250	14	19
Bacaklar; yukarıda belirtilmemiş diğer bölgeleri	15	49	458	5	84	137	0	16	1	75	20	10
Bacaklar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	23	96	565	3	153	66	0	52	0	110	1	10
Bedenin, etkilenmiş çeşitli bölgeleri	23	22	288	15	107	67	0	107	1	28	60	16
Bilek	18	102	1315	3	231	229	0	27	0	100	1	80
Boyun; boyundaki omurilik ve omur dahil	8	20	19	5	28	24	0	46	0	24	3	211
Dirsek dahil kol	22	93	1044	15	287	175	0	75	0	97	10	53
Dişler		4	12		3	3	0	0	0			0
Diz dahil bacak	34	108	888	1	337	138	1	22	4	140	11	59
El	50	349	3933	44	442	1435	0	287	1	358	75	56
Göğüs kafesi (kaburga), eklem ve kürek kemikleri dahil olmak üzere kaburgalar	19	36	182	4	155	38	0	6	0	25	1	78
Gövde; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	9	28	346	4	60	20	0	38	1	17	15	32
Göz(ler)	3	27	1150	18	17	54	0	52	2	19	2	2
Kafa, beyin ve beyine bağlı sinir ve damarları	7	17	140		47	48	0	1	2	37	1	1
Kafa; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	31	65	745	7	185	451	0	29	0	179	15	60
Kalça ve kalça eklemleri	7	16	186		75	20	0	5	0	16		15
Kollar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	29	124	1722	16	232	286	0	154	1	125	18	27
Kulak(lar)	1	5	52	2	12	25	0	3	0	8	1	0
Omuz ve omuz eklemleri	11	31	465	1	124	37	0	12	0	42	6	83
Organlarıyla birlikte göğüs bölgesi	4	2	37	2	8	2	0	3	0	0	0	0
Organlarıyla birlikte karınla ilgili ve sırtın alt bölümü (kalça kısmı)	6	8	99	1	24	19	0	10	0	11	0	23
Pamak(lar)	71	713	4987	25	652	1053	1	87	2	755	18	123
Sırt; sırttaki omurilik ve omur dahil	20	59	1243	8	246	54	0	46	2	70	2	426

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.7. Yaralanma sebebini yaranın vücuttaki yerine göre dağılımı

Yara Sebebi/ Yeri	Araçlar da dahil olmak üzere bir nesne ile çarpışma- bir kişi ile çarpışma (kazazede hareket halindeyken)	Araçlar da dahil olmak üzere dönen, hareket eden, taşınmakta olan bir nesnenin darbesi	Bilgi yok	Bir kaynak arkı, kıvrılma veya çakması (pasif)	Bir şeye doğru düşey hareket, çarpışma (düşüşten dolayı)	Bir şeye doğru yatay hareket, çarpışma	Böcek veya balık sokması	Çıplak alev veya sıcak veya yanan bir nesne veya ortam ile temas	Darbe, çifte, toz veya sıkarak boğma	Düsen bir nesnenin darbesi	Elektrikle doğrudan temas, elektrik yüklenmenin bedene alınması	Fiziksel baskı- kas/iskelet sistemi üzerinde
Tüm beden (bütün vücuda tesir eden etkiler)	7	9	101	1	31	4	0	12	0	11	30	1
Vücudun yaralanmış diğer bölgelerinden yukarıda belirtilmemiş alanlar	75	223	4579	30	330	115	0	97	0	187	84	30
Yüz bölgesi	31	121	736	21	137	179	1	105	9	94	7	4

Çizelge 3.8. Yaralanma sebebini yaranın vücuttaki yerine göre dağılımı (devamı)

Yara Sebebi/Yeri	Fiziksel baskı- radyasyon, gürültü, ısı veya basınç nedeniyle	Gaz veya havadaki zerrecikler içinde veya tarafından sanılma	Isırık	Katı madde altında gömülme	Keskin bir materyal araç ile temas (bıçak, keski, vb.)	Kısılmak, ezilmek- altında	Kısılmak, ezilmek- arasında	Kısılmak, ezilmek- içerde	Kol, el veya pamağın kopması, kesilmesi	Ruhsal stres veya sok	Salınan bir nesnenin darbesi	Sert veya kaba materyal araç ile temas	Sıvı içinde boğulma	Sivriltilmiş bir materyal araç ile temas (çivi, sivri alet, vb.)
Ayak	0	0	1	1	78	996	862	6	0	2	311	714	0	111
Ayak bileği	1	0	1	15	62	598	476	9	0	0	241	245	0	8
Ayak parmak(lar)ı	0	0	0	0	70	347	275	67	5	0	38	165	0	11
Bacaklar; yukarıda belirtilmemiş diğer bölgeleri	0	0	0	0	54	27	158	3	0	0	29	114	0	15
Bacaklar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	22	0	118	65	187	14	1	0	58	127	0	14
Bedenin, etkilenmiş çeşitli bölgeleri	1	0	16	0	40	22	118	1	0	0	29	30	0	0
Bilek	0	3	0	0	363	116	264	124	40	0	214	322	0	40
Boyun; boyundaki omurluk ve omur dahil	1	0	0	0	12	7	2	0	0	0	25	36	0	5
Dirsek dahil kol	0	0	5	0	370	36	130	7	40	0	69	394	0	58
Dişler	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4	10	0	0
Diz dahil bacak	0	0	0	0	205	58	197	13	0	1	70	286	0	25

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.8. Yaralanma sebebini yaranın vücuttaki yerine göre dağılımı (devamı)

Yara Sebebi/Yeri	Fiziksel baskı- radyasyon, ısı veya basınç nedeniyle	Gaz veya havadaki zerrecikler içinde veya tarafından sarılma	Isırık	Katı madde altında gömülme	Keskin bir materyal araç ile temas (bıçak, keski, vb.)	Kısılmak, ezilmek- altında	Kısılmak, ezilmek- arasında	Kısılmak, ezilmek- içeride	Kol, el veya parmağın kopması, kesilmesi	Ruhsal stres veya sok	Salınan bir nesnenin darbesi	Sert veya kaba materyal araç ile temas	Sıvı içinde boğulma	Sivriltilmiş bir materyal araç ile temas (çivi, sivri alet, vb.)
El	0	0	3	1	2145	669	2931	101	349	2	202	1574	0	352
Göğüs kafesi (kaburga), eklem ve kürek kemikleri dahil olmak üzere kaburgalar	1	1	0	0	41	13	34	6	0	0	43	43	0	1
Gövde; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	11	0	11	11	34	2	1	0	38	54	0	9
Göz(ler)	0	0	0	0	183	0	0	1	0	0	76	309	0	103
Kafa, beyin ve beyine bağlı sinir ve damarları	1	1	0	0	36	6	5	4	0	1	32	63	0	2
Kafa; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	0	0	473	12	11	2	0	2	508	277	0	26
Kalça ve kalça eklemleri	0	2	0	0	36	8	29	4	0	0	7	25	0	1
Kollar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	2	0	503	97	171	20	86	1	83	358	0	60
Kulak(lar)	1	1	0	0	14	0	2	0	0	2	12	13	0	4
Omuz ve omuz eklemleri	5	0	0	1	25	12	15	7	0	0	22	33	0	2
Organlarıyla birlikte göğüs bölgesi	0	0	0	0	20	1	8	1	0	0	3	4	0	1
Organlarıyla birlikte karınla ilgili ve sırtın alt bölümü (kalça kısmı)	0	0	0	0	4	6	14	2	0	0	11	21	0	1
Parmak(lar)	0	0	1	1	4300	2151	11679	350	1307	1	901	3708	0	587
Sırt; sırttaki omurilik ve omur dahil	0	0	0	0	0	25	19	7	0	1	24	78	0	2
Tüm beden (bütün vücuda tesir eden etkiler)	0	0	0	1	66	3	46	0	0	2	3	4	0	1
Vücutun yaralanmış diğer bölgelerinden yukarıda belirtilmemiş alanlar	0	12	1	0	9	203	554	82	0	7	274	472	1	100
Yüz bölgesi	2	13			493	8	0	0	0	2	290	401	0	46

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.9. Yaralanma sebebini yaranın vücuttaki yerine göre dağılımı (devamı)

Yara Sebebi/Yeri	Soğuk veya donmuş bir nesne veya ortam ile temas	Tehlikeli maddelerle temas- burun, ağız yoluyla teneffüs	Tehlikeli maddelerle temas- cilt veya gözler yoluyla/üzerinden	Tehlikeli maddelerle temas- yutma veya yeme yoluyla sindirim sisteminden	Uçan bir nesnenin darbesi
Ayak	1	0	12	0	8
Ayak bileği	2	0	7	0	6
Ayak parmak(lar)ı	0	0	1	0	0
Bacaklar; yukarıda belirtilmemiş diğer bölgeleri	0	0	2	0	6
Bacaklar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	1	6	0	8
Bedenin, etkilenmiş çeşitli bölgeleri	1	2	14	0	8
Bilek	1	0	3	0	13
Boyun; boyundaki omurluk ve omur dahil	0	0	2	0	14
Dirsek dahil kol	2	0	8	0	22
Dişler	0	0		0	2
Diz dahil bacak	0	0	3	0	10
El	2	1	18	0	72
Göğüs kafesi (kaburga), eklem ve kürek kemikleri dahil olmak üzere kaburgalar	0	0	1	0	13
Gövde; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	6	2	6
Göz(ler)	0	0	109	0	169
Kafa, beyin ve beyine bağlı sinir ve damarları	0	0	1	0	14
Kafa; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	1	1	6	0	37
Kalça ve kalça eklemleri	0	0	0	0	1
Kollar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	18	0	33
Kulak(lar)	0	0	0	0	1
Omuz ve omuz eklemleri	0	0	0	0	6
Organlarıyla birlikte göğüs bölgesi	0	0	0	0	4
Organlarıyla birlikte karınla ilgili ve sırtın alt bölümü (kalça kısmı)	0	0	0	0	4
Parmak(lar)	0	0	9	0	89
Sırt; sırttaki omurluk ve omur dahil	0	0	2	0	5
Tüm beden (bütün vücuda tesir eden etkiler)	1	21	2	0	4
Vücudun yaralanmış diğer bölgelerinden yukarıda belirtilmemiş alanlar	0	7	13	3	41
Yüz bölgesi	0	1	26	0	111

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.10. Yara türünün yaranın vücuttaki yerine göre dağılımı

Yara Sebebi/Yeri	Akut enfeksiyonlar	Akut işitme kaybı	Akut zehirlenmeler	Açık kırıklar	Açık yaralar	Basınç etkileri (yüksek basınca bağlı)	Beyin sarsıntısı ve kafatası yaralanmaları	Birden fazla sayıda yaralanmalar	Burkulmalar ve incinmeler	Diğer başlıklar altında içerilmeyen diğer belirtilmiş yaralanmalar	Diğer tür aşın ısı, ışık ve radyasyon etkileri	Diğer tür beyin sarsıntısı ve iç yaralanmalar
Ayak	0	0	0	116	397	0	0	4	2037	579	6	0
Ayak bileği	0	0	0	67	106	0	0	57	2392	210	0	0
Ayak parmak(lar)ı	0	0	0	48	50	0	0	2	243	302	0	0
Bacaklar; yukarıda belirtilmemiş diğer bölgeleri	0	0	0	6	110	0	0	4	114	289	0	0
Bacaklar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	0	13	104	0	0	13	234	210	2	0
Bedenin, etkilenmiş çeşitli bölgeleri	0	0	8	2	13	0	0	76	83	228	1	2
Bilek	0	0	0	22	326	0	0	7	1264	15	1	0
Boyun; boyundaki omurilik ve omur dahil	0	0	0	2	19	0	1	3	47	76		3
Dirsek dahil kol	0	0	0	20	327	0	0	4	426	337	2	0
Dişler	0	0	0	1	10	0	0	0	0	9		0
Diz dahil bacak	1	0	0	153	161	0	0	3	680	170		0
El	0	0	0	93	1482	1	0	329	1830	1446	11	0
Göğüs kafesi (kaburga), eklem ve kürek kemikleri dahil olmak üzere kaburgalar	0	0	0	0	7	0	0	8	116	66	1	0
Gövde; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	6	1	17	2	0	4	149	112	1	1
Göz(ler)	2	0	0	0	72	1	0	0	7	591	12	0
Kafa, beyin ve beyine bağlı sinir ve damarları	0	0	0	4	74	0	69	5	5	39	0	7
Kafa; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	2	7	314	0	50	399	24	256	2	12
Kalça ve kalça eklemleri	0	0	0	1	13	0	0	2	109	35	0	0
Kollar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	0	23	375	0	0	21	754	398	8	0
Kulak(lar)	0	0	0	0	27	4	0	0	0	11	0	0
Omuz ve omuz eklemleri	0	0	0	0	15	0	0	1	283	76	1	0
Organlarıyla birlikte göğüs bölgesi	0	0	1	0	3	0	0	2	7	22	0	0
Organlarıyla birlikte karınla ilgili ve sırtın alt bölümü (kalça kısmı)	0	0	1	0	7	0	0	8	71	39	0	0
Parmak(lar)	0	0	0	410	3766	1	0	1201	2715	2165	5	0
Sırt; sırttaki omurilik ve omur dahil	0	0	0	1	13	0	0	10	886	276	0	1
Tüm beden (bütün vücuda tesir eden etkiler)	4	0	39	0	105	0	2	85	22	5	3	3
Vücutun yaralanmış diğer bölgelerinden yukarıda belirtilmemiş alanlar	0	2	90	23	89	0	1	241	1003	2010	8	0
Yüz bölgesi	1	0	0	17	358	0	3	8	23	114	6	0

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.11. Yara türünün yaranın vücuttaki yerine göre dağılımı (devam)

Yara Sebebi/Yeri	Diğer tür ses, titreşim ve basınç etkileri	Diğer tür şoklar	Diğer tür yanıklar, kaynar su ile kavrulma ve donmalar	Diğer tür zehirlenme ve enfeksiyonlar	Donmalar	İndirgenmiş ısı etkileri	İç yaralanmalar	Kapalı kırıklar	Kimyasal yanıklar (korozyon)	Nefesin kesilmesi	Radyasyon etkileri (termal olmayan)	Sıcaklık ve güneş çarpması
Ayak	0	0	192	0	0	0	0	904	74	0	0	4
Ayak bileği	0	0	49	0	0	0	0	416	20	0	0	0
Ayak parmak(lar)ı	0	0	15	0	0	0	0	638	6	0	0	0
Bacaklar; yukarıda belirtilmemiş diğer bölgeleri	0	0	34	0	0	0	0	97	3	0	0	0
Bacaklar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	57	0	0	1	1	143	14	0	0	0
Bedenin, etkilenmiş çeşitli bölgeleri	0	4	97	5	0	0	1	69	30	0	0	0
Bilek	1	0	33	0	0	0	0	598	10	0	0	0
Boyun; boyundaki omurluk ve omur dahil	0	0	40	0	0	0	0	23	12	0	0	0
Dirsek dahil kol	0	1	68	0	1	1	1	252	22	0	0	1
Dişler	0			0	0	0	0			0	0	
Diz dahil bacak	0		16	0	0	0	1	157	6	0	0	1
El	0	1	274	2	0	0	0	869	46	0	0	2
Göğüs kafesi (kaburga), eklem ve kürek kemikleri dahil olmak üzere kaburgalar	0	0	6	0	0	0	5	163	0	0	0	0
Gövde; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	31	11	0	0	4	21	11	0	0	0
Göz(ler)	2	0	36	4	0	2	0	0	48	0	1	0
Kafa, beyin ve beyine bağlı sinir ve damarları	0	0	2	0	0	0	2	9	0	0	0	0
Kafa; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	2	4	31	0	0	0	3	29	9	0	0	3
Kalça ve kalça eklemleri	0	0	2	0	0	0	0	76	3	0	0	0
Kollar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	1	177	0	0	2	0	297	41	0	0	1
Kulak(lar)	5	13	4	0	0	0	0	3	2	0	0	0
Omuz ve omuz eklemleri	0	0	13	0	0	0	0	74	5	0	0	0
Organlarıyla birlikte göğüs bölgesi	0	0	1	0	0	0	7	3	2	0	0	0
Organlarıyla birlikte karınla ilgili ve sırtın alt bölümü (kalça kısmı)	0	0	3	1	0	0	4	13	2	0	0	0
Parmak(lar)	1	0	94	0	0	0	1	3997	28	0	0	2
Sırt; sırttaki omurluk ve omur dahil	2	1	50	0	0	0	104	163	5	0	0	0
Tüm beden (bütün vücuda tesir eden etkiler)	0	8	10	13	0	0	0	12	9	0	0	0
Vücudun yaralanmış diğer bölgelerinden yukarıda belirtilmemiş alanlar	2	13	158	57	0	0	769	318	50	3	0	1
Yüz bölgesi	1	0	80	2	0	0	0	137	46	0	0	2

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.12. (devam) Yara türünün yaranın vücuttaki yerine göre dağılımı

Yara Sebebi/Yeri	Travma şokları	Travma sonucu organ kaybı (bedenin bir parçasının kaybı)	Yanıklar ve kaynar su ile kavrulmalar (termal)	Yaranın türü bilinmeyen veya belirtilmemiş	Yüzeysel yaralanmalar	Çıkıklar ve yarı çıkıklar
Ayak	2	1	248	164	3508	341
Ayak bileği	0	7	48	48	1226	262
Ayak parmak(lar)ı	2	11	8	30	535	32
Bacaklar; yukanda belirtilmemiş diğer bölgeleri	0	0	21	28	567	5
Bacaklar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	2	73	35	790	9
Bedenin, etkilenmiş çeşitli bölgeleri	2	2	104	16	271	4
Bilek	0	1	33	28	1179	89
Boyun; boyundaki omurluk ve omur dahil	1	0	73	12	176	3
Dirsek dahil kol	0	3	103	37	1361	45
Dişler	0	0	0		20	
Diz dahil bacak	0	2	34	41	1173	12
El	0	147	326	226	7982	387
Göğüs kafesi (kaburga), eklem ve kürek kemikleri dahil olmak üzere kaburgalar	0	0	8	61	291	7
Gövde; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	2	1	47	66	264	4
Göz(ler)	0	0	138	98	1284	0
Kafa, beyin ve beyine bağlı sinir ve damarları	1	2	2	39	204	1
Kafa; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	0	0	30	44	1903	1
Kalça ve kalça eklemleri	0	0	7	43	149	11
Kollar; çeşitli bölgeleri etkilenmiş	1	0	130	101	1795	43
Kulak(lar)	0	0	1	4	81	0
Omuz ve omuz eklemleri	0	0	14	82	260	111
Organlarıyla birlikte göğüs bölgesi	0	0	4	21	27	0
Organlarıyla birlikte karınla ilgili ve sırtın alt bölümü (kalça kısmı)	1	2	10	11	90	1
Parmak(lar)	1	866	92	503	17252	471
Sırt; sırttaki omurluk ve omur dahil	1	0	62	74	675	15
Tüm beden (bütün vücuda tesir eden etkiler)	4	2	17	7	21	2
Vücudun yaralanmış diğer bölgelerinden yukanda belirtilmemiş alanlar	1	4	101	577	1634	377
Yüz bölgesi	0	0	110	32	1884	1

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.13. İş kazalarının gerçekleştiği ile göre dağılımı

İl Adı	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası	İl Adı	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası
Adana	25	1175	1200	Kocaeli	184	16545	16729
Adıyaman	1	8	9	Konya	50	2116	2166
Afyonkarahisar	3	81	84	Kütahya	7	156	163
Ağrı	1	3	4	Malatya	3	229	232
Amasya	2	63	65	Manisa	43	4818	4861
Ankara	126	6460	6586	Kahramanmaraş	25	452	477
Antalya	14	466	480	Mardin	0	7	7
Artvin	0	9	9	Muğla	4	130	134
Aydın	9	743	752	Muş	0	1	1
Balıkesir	10	639	649	Nevşehir	2	84	86
Bilecik	10	2177	2187	Niğde	1	85	86
Bingöl	0	4	4	Ordu	2	42	44
Bitlis	0	1	1	Rize	1	24	25
Bolu	10	230	240	Sakarya	40	2841	2881
Burdur	0	40	40	Samsun	14	774	788
Bursa	150	8945	9095	Siirt	0	4	4
Çanakkale	3	738	741	Sinop	4	18	22
Çankırı	4	120	124	Sivas	1	230	231
Çorum	6	261	267	Tekirdağ	34	2959	2993
Denizli	23	2031	2054	Tokat	3	27	30
Diyarbakır	0	130	130	Trabzon	4	222	226
Edirne	2	39	41	Şanlıurfa	3	39	42
Elâzığ	3	65	68	Uşak	2	74	76
Erzincan	2	15	17	Van	1	8	9
Erzurum	2	40	42	Yozgat	2	48	50
Eskişehir	44	3023	3067	Zonguldak	19	1207	1226
Gaziantep	13	233	246	Aksaray	5	222	227
Giresun	0	29	29	Bayburt	0	1	1
Gümüşhane	0	2	2	Karaman	0	52	52
Hatay	39	3271	3310	Kırıkkale	4	338	342
Isparta	3	60	63	Batman	0	2	2
Mersin	5	956	961	Şırnak	0	1	1
İstanbul	282	15293	15575	Bartın	3	390	393
İzmir	120	9874	9994	Ardahan	0	3	3
Kars	0	2	2	Iğdır	0	1	1
Kastamonu	1	48	49	Yalova	2	282	284
Kayseri	82	3816	3898	Karabük	39	3982	4021
Kırklareli	10	671	681	Osmaniye	18	1839	1857
Kırşehir	3	213	216	Düzce	14	951	965

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.14. İş kazalarının işyeri NACE koduna göre dağılımı

İş Yeri NACE Kodu	Ağır Kazalar	Yaralanmalı Kazalar	Toplam İş Kazası
2410	170	13564	13734
2420	92	8332	8424
2431	2	154	156
2432	0	29	29
2433	14	1214	1228
2434	9	751	760
2441	7	245	252
2442	44	3539	3583
2443	2	107	109
2444	11	889	900
2445	8	1205	1213
2446	1	35	36
2451	87	6913	7000
2452	15	2037	2052
2453	51	2345	2396
2454	11	898	909
2511	62	4778	4840
2512	102	5365	5467
2521	28	2393	2421
2529	16	1071	1087
2530	4	196	200
2540	7	374	381
2550	70	4446	4516
2561	32	2550	2582
2562	314	19765	20079
2571	13	804	817
2572	15	832	847
2573	56	2548	2604
2591	16	632	648
2592	72	4187	4259
2593	37	2254	2291
2594	31	1142	1173
2599	143	7585	7728
Genel Toplam	1542	103179	104721

EK-3. (devam) Verilerin İstatistiksel Dağılımı

Çizelge 3.15. Makine ve Ekipmanlara Göre Ağır İş Kazalarının Dağılımı

Makine/ Ekipman	Kaza Sayısı	Makine/ Ekipman	Kaza Sayısı	Makine/ Ekipman	Kaza Sayısı	Makine/ Ekipman	Kaza Sayısı
Pres Tezgâhı	363	Sarsak	5	Kayış	2	Pnomatik	1
Vinç	85	Helezon	5	Kamyon	2	Paketleme	1
Ürün Kaynaklı	59	Abkant	5	Caraskal	2	Metal İşleme Tezgâhı	1
Testere	44	Punta	4	Bileme	2	Maket Bıçağı	1
Giyotin Makas	28	Mikser	4	Bant	2	Lazer	1
Torna Tezgâhı	27	Dilimleme	4	Ark Ocağı	2	Kum Hazırlama	1
Forklift	23	Değirmen	4	Yüzük Açma	1	Kum Dökme	1
Matkap	21	Asansör	4	Valf	1	Kopyalama	1
Döküm Kalıbı	20	Zımpara	3	Vakumlu Çakma	1	Konveyör	1
Tel Çekme	18	Vana	3	Ütüleme	1	Kompansatör	1
Taşılama	18	Transpalet	3	Traktör	1	Kesme	1
Kalıp	16	Rollform	3	Torna Kasnak	1	Kepçe	1
CNC Tezgâhı	15	Planya Tezgâhı	3	Tokmak	1	İstifleme	1
Makas	14	Kompresör	3	Tel Sarma	1	Fan	1
Enjeksiyon Pres Tezgâhı	14	Freze	3	Tel Bükme	1	Elektrikli İstif	1
Kaynak	12	Çekiç	3	Talashı İmalat Tezgâhı	1	Döner Fırın	1
Bükme	9	Balyoz	3	Su Kontrol Tezgâhı	1	Dizgi Makinesi	1
Haddehane	8	Punch Pres	2	Spot	1	Derzleme	1
Spiral	7	Perfore	2	Sondaj	1	Derece	1
Kumlama	7	Mıknatıs	2	Şahmerdan	1	Cnc Oksigaz	1
Polisaj	6	Merdane	2	Revolver	1	Cilalama	1
Daire Testere	6	Kırma Tezgâhı	2	Pota	1	Boyama	1

EK-4. Ağır Kazaların İstatistiksel Analizi

Çizelge 4.1. Ağır kazaların kaza zamanı değişken dağılımları

Kaza Yılı	Ölümlü Kazalar		Uzuv Kayıplı Kazalar		Ağır Kazalar	
	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
2013	107	27,0	418	36,5	525	34,0
2014	40	10,1	162	14,1	202	13,1
2015	60	15,1	148	12,9	208	13,5
2016	56	14,1	149	13,0	205	13,3
2017	72	18,1	156	13,6	228	14,8
2018	62	15,6	112	9,8	174	11,3
Kaza Ayı	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Ocak	40	10,1	84	7,3	124	8,0
Şubat	27	6,8	63	5,5	90	5,8
Mart	35	8,8	110	9,6	145	9,4
Nisan	32	8,1	96	8,4	128	8,3
Mayıs	34	8,6	117	10,2	151	9,8
Haziran	30	7,6	104	9,1	134	8,7
Temmuz	36	9,1	103	9,0	139	9,0
Ağustos	31	7,8	87	7,6	118	7,7
Eylül	33	8,3	91	7,9	124	8,0
Ekim	31	7,8	74	6,5	105	6,8
Kasım	36	9,1	111	9,7	147	9,5
Aralık	32	8,1	105	9,2	137	8,9
Kaza Günü	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Pazartesi	60	15,1	196	17,1	256	16,6
Salı	68	17,1	210	18,3	278	18,0
Çarşamba	55	13,9	196	17,1	251	16,3
Perşembe	85	21,4	191	16,7	276	17,9
Cuma	37	9,3	131	11,4	168	10,9
Cumartesi	27	6,8	43	3,8	70	4,5
Pazar	65	16,4	178	15,5	243	15,8
Kaza Saati	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
00:01-08:00	31	7,8	92	8,0	123	8,0
08:01-12:00	86	21,7	313	27,3	399	25,9
12:01-16:00	206	51,9	494	43,1	700	45,4
16:01-20:00	56	14,1	172	15,0	228	14,8
20:01-00:00	18	4,5	74	6,5	92	6,0

EK-4. . (devam) Ağır Kazaların İstatistiksel Analizi

Çizelge 4.2. Ağır kazaların kazazedelerine ait değişkenlerin dağılımı

	Ölümlü Kazalar		Uzuv Kayıplı Kazalar		Ağır Kazalar	
Kazazede Yaşı	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
15-24	63	15,9	221	19,3	284	18,4
25-35	106	26,7	399	34,8	505	32,7
36-40	64	16,1	165	14,4	229	14,9
41- 50	113	28,5	278	24,3	391	25,4
51+	51	12,8	82	7,2	133	8,6
Kazazede Cinsiyeti	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Erkek	391	98,5	1090	95,2	1481	96,0
Kadın	6	1,5	55	4,8	61	4,0
Medeni Durumu	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Bekar	88	22,2	289	25,2	377	24,4
Bilinmeyen	9	2,3	8	0,7	17	1,1
Boşanmış	12	3,0	46	4,0	58	3,8
Dul	2	0,5	2	0,2	4	0,3
Evli	286	72,0	800	69,9	1086	70,4
Öğrenim Durumu	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
İlkokul	165	41,6	463	40,4	628	40,7
Lisansüstü	0	0	1	0,1	1	0,1
Lise	125	31,5	334	29,2	459	29,8
Okur yazar	25	6,3	95	8,3	120	7,8
Okur-yazar değil	1	0,3	4	0,3	5	0,3
Ortaokul	64	16,1	219	19,1	283	18,4
Üniversite	7	1,8	6	0,5	13	0,8
Yüksek Okul	10	2,5	23	2,0	33	2,1
İSG Eğitim Durumu	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Var	339	85,4	1010	88,2	1349	87,5
Yok	58	14,6	135	11,8	193	12,5
Mesleki Eğitim Durumu	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
Var	297	74,8	865	75,5	1162	75,4
Yok	100	25,2	280	24,5	380	24,6

EK-4. (devam) Ağır Kazaların İstatistiksel Analizi

Çizelge 4.2. Ağır kazaların kazazedelerine ait değişkenlerin dağılımı

Kazazedenin İş Hayatındaki Tecrübesi (yıl)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
0-5	76	19,1	238	20,8	314	20,4
6-10	58	14,6	240	21,0	298	19,3
11-15	49	12,3	160	14,0	209	13,6
16-20	54	13,6	162	14,1	216	14,0
21-30	116	29,2	264	23,1	380	24,6
31+	44	11,1	81	7,1	125	8,1
Kazazedenin Kaza Olan İşyerindeki Tecrübesi	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)	Kaza Sayısı	Kaza Oranı (%)
0-5	344	86,6	1 011	88,3	1355	87,9
6-10	32	8,1	81	7,1	113	7,3
11-15	7	1,8	26	2,3	33	2,1
16-20	1	0,3	7	0,6	8	0,5
21-30	10	2,5	14	1,2	24	1,6
31+	3	0,8	6	0,5	9	0,6

Çizelge 4.3. Ağır kazalara sebebiyet veren son sapma dağılımı

Sapma Kodu	Kaza Sayısı			Kaza Oranı (%)		
	Ölümlü Kazalar	Uzuv Kayıplı Kazalar	Ağır Kazalar	Ölümlü Kazalar	Uzuv Kayıplı Kazalar	Ağır Kazalar
00	7	0	7	1,8	0	0,5
11	5	2	7	1,3	0,2	0,5
12	24	1	25	6,0	0,1	1,6
13	6	3	9	1,5	0,3	0,6
14	3	3	6	0,8	0,3	0,4
21	4	8	12	1,0	0,7	0,8
22	8	6	14	2,0	0,5	0,9
23	5	1	6	1,3	0,1	0,4
24	1	0	1	0,3	0	0,1
31	3	2	5	0,8	0,2	0,3
32	6	4	10	1,5	0,3	0,6
33	47	68	115	11,8	5,9	7,5
34	7	0	7	1,8	0	0,5
35	10	63	73	2,5	5,5	4,7
41	20	625	645	5,0	54,6	41,8
42	41	12	53	10,3	1,0	3,4
43	14	81	95	3,5	7,1	6,2
44	6	91	97	1,5	7,9	6,3
51	75	8	83	18,9	0,7	5,4
52	5	19	24	1,3	1,7	1,6
61	1	0	1	0,3	0	0,1
63	10	14	24	2,5	1,2	1,6

EK-4. (devam) Ağır Kazaların İstatistiksel Analizi

Çizelge 4.3. Ağır kazalara sebebiyet veren son sapma dağılımı

Sapma Kodu	Kaza Sayısı			Kaza Oranı (%)		
	Ölümlü Kazalar	Uzuv Kayıplı Kazalar	Ağır Kazalar	Ölümlü Kazalar	Uzuv Kayıplı Kazalar	Ağır Kazalar
64	5	55	60	1,3	4,8	3,9
71	2	6	8	0,5	0,5	0,5
72	2	6	8	0,5	0,5	0,5
74	1	0	1	0,3	0	0,1
75	2	1	3	0,5	0,1	0,2
79	2	0	2	0,5	0	0,1
82	2	2	4	0,5	0,2	0,3
83	1	0	1	0,3	0	0,1
85	7	51	58	1,8	4,5	3,8
99	65	13	78	16,4	1,1	5,1

Çizelge 4.4. Ağır kazalarının işyeri NACE koduna göre dağılımı

İş Yeri NACE	Ölümlü Kazalar	Uzuv Kayıplı Kazalar	Ağır Kazalar
2410	72	98	170
2420	33	59	92
2431	1	1	2
2433	4	10	14
2434	0	9	9
2441	3	4	7
2442	13	31	44
2443	2	0	2
2444	3	8	11
2445	3	5	8
2446	1	0	1
2451	17	70	87
2452	9	6	15
2453	3	48	51
2454	6	5	11
2511	19	43	62
2512	40	62	102
2521	5	23	28
2529	7	9	16
2530	2	2	4
2540	3	4	7
2550	9	61	70
2561	8	24	32
2562	70	244	314

EK-4. (devam) Ağır Kazaların İstatistiksel Analizi

Çizelge 4.4. Ağır kazalarının işyeri NACE koduna göre dağılımı

İş Yeri NACE	Ölümlü Kazalar	Uzuv Kayıplı Kazalar	Ağır Kazalar
2571	3	10	13
2572	1	14	15
2573	5	51	56
2591	0	16	16
2592	9	63	72
2593	5	32	37
2594	3	28	31
2599	38	105	143
Genel Toplam	397	1145	1542

Çizelge 4.5. Makine ve ekipmanlara göre ağır iş kazalarının dağılımı

Makine	Ölümlü Kazalar	Uzuv Kayıplı Kazalar	Ağır Kazalar
Abkant	0	5	5
Ark Ocağı	2	0	2
Asansör	3	1	4
Balyoz	0	3	3
Bant	0	2	2
Bileme	1	1	2
Boyama	0	1	1
Bükme	0	9	9
Caraskal	0	2	2
Çekiç	1	2	3
Cilalama	0	1	1
CNC	2	13	15
Cnc Oksigaz	0	1	1
Daire Testere	0	6	6
Değirmen	0	4	4
Derece	0	1	1
Derzleme	0	1	1
Dilimleme	1	3	4
Dizgi Makinesi	0	1	1
Döküm Kalıbı	4	16	20
Döner Fırın	1	0	1
Elektrikli İstif	0	1	1
Enjeksiyon Pres	2	12	14
Fan	0	1	1

EK-4. (devam) Ağır Kazaların İstatistiksel Analizi

Çizelge 4.5. Makine ve ekipmanlara göre ağır iş kazalarının dağılımı

Makine	Ölümlü Kazalar	Uzuv Kayıplı Kazalar	Ağır Kazalar
Forklift	6	16	22
Freze	0	3	3
Giyotin Makas	0	28	28
Haddehane	1	7	8
Helezon	0	5	5
İstifleme	0	1	1
Kalıp	1	15	16
Kamyon	2	0	2
Kayış	0	2	2
Kaynak	4	8	12
Kepçe	0	1	1
Kesme	0	1	1
Kırma Tezgâhı	0	2	2
Kompansatör	0	1	1
Kompresör	0	3	3
Konveyör	1	0	1
Kopyalama	0	1	1
Kum Dökme	0	1	1
Kum Hazırlama	0	1	1
Kumlama	0	7	7
Lazer	0	1	1
Makas	1	13	14
Maket Bıçağı	0	1	1
Matkap	1	20	21
Merdane	0	2	2
Metal İşleme Tezgâhı	0	1	1
Mıknatıs	0	2	2
Mikser	0	4	4
Paketleme	0	1	1
Perfore	0	2	2
Planya Tezgâhı	0	3	3
Pnomatik	0	1	1
Polisaj	1	5	6
Pota	0	1	1
Pres	12	351	363
Punch Pres	0	2	2

EK-4. (devam) Ağır Kazaların İstatistiksel Analizi

Çizelge 4.5. Makine ve ekipmanlara göre ağır iş kazalarının dağılımı

Makine	Ölümlü Kazalar	Uzuv Kayıplı Kazalar	Ağır Kazalar
Punta	0	4	4
Revolver	0	1	1
Rollform	0	3	3
Şahmerdan	0	1	1
Sarsak	0	5	5
Sondaj	0	1	1
Spiral	1	6	7
Spot	1	0	1
Su Kontrol Tezgâhı	0	1	1
Talaslı İmalat Tezgâhı	0	1	1
Taslama	3	15	18
Tavan Vinçi	8	6	14
Tel Bükme	0	1	1
Tel Çekme	1	17	18
Tel Sarma	0	1	1
Testere	2	42	44
Tokmak	0	1	1
Torna	3	24	27
Torna Kasnak	0	1	1
Traktör	1	0	1
Transpalet	0	3	3
Ürün Kaynaklı	4	55	59
Ütüleme	0	1	1
Vakumlu Çakma	0	1	1
Valf	0	1	1
Vana	1	2	3
Vinç	27	44	71
Yüzük Açma	0	1	1
Zımpara	1	2	3

EK-4. (devam) Ağır Kazaların İstatistiksel Analizi

Çizelge 4.6. Ağır kazaların gerçekleştiği ile göre dağılımı

İl Adı	Ölümlü Kazalar	Uzuv Kayıplı Kazalar
Adana	4	21
Adıyaman	0	1
Afyonkarahisar	3	0
Ağrı	1	0
Amasya	0	2
Ankara	28	98
Antalya	7	7
Aydın	5	4
Balıkesir	4	6
Bilecik	2	8
Bolu	4	6
Bursa	20	130
Çanakkale	1	2
Çankırı	0	4
Çorum	3	3
Denizli	4	19
Edirne	1	1
Elâzığ	2	1
Erzincan	1	1
Erzurum	1	1
Eskişehir	4	40
Gaziantep	8	5
Hatay	18	21
Isparta	1	2
Mersin	4	1
İstanbul	47	235
İzmir	40	80
Kastamonu	0	1
Kayseri	18	64
Kırklareli	4	6
Kırşehir	1	2
Kocaeli	44	140
Konya	15	35
Kütahya	2	5
Malatya	0	3
Manisa	14	29
Kahramanmaraş	4	21

EK-4. (devam) Ağır Kazaların İstatistiksel Analizi

Çizelge 4.6. Ağır kazaların gerçekleştiği ile göre dağılımı

İl Adı	Ölümlü Kazalar	Uzuv Kayıplı Kazalar
Muğla	4	0
Nevşehir	1	1
Niğde	0	1
Ordu	0	2
Rize	1	
Sakarya	11	29
Samsun	8	6
Sinop	1	0
Sivas	0	0
Tekirdağ	10	0
Tokat	2	0
Trabzon	2	0
Şanlıurfa	1	0
Uşak	1	0
Van	1	0
Yozgat	1	0
Zonguldak	6	0
Aksaray	4	0
Kırıkkale	2	0
Bartın	1	0
Yalova	0	0
Karabük	14	0
Osmaniye	9	0
Düzce	2	0

EK-5. Performans Ölçütlerinin Program Görüntüleri

RF Algoritması

RF algoritmasının parametreleri aşağıda verilmektedir.

```

142 * #####
143 #####
144 #####          RANDOM FOREST MODEL 1      ###
145 #####
146 * #####
147
148 rf_cv_t1 <-
149   train(
150     x = my_data_training[, 1:234],
151     y = my_data_training[, 235],
152     method = "rf",
153     tuneLength = 3,
154     ntree = 50,
155     trControl = ctrl.t1
156   )

```

Şekil 4.1. RF algoritmasının parametreleri

Algoritma sonuçları aşağıda verilmiştir:

```

> rf_cv_t1
Random Forest

1234 samples
234 predictor
12 classes: 'OLUM_BIYOLOJIK_ETMENLER', 'OLUM_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER', 'OLUM_DIGER_ETMENLER', 'OLUM_GENEL', 'OLUM_MEKANIK_ETMENLER', 'OLUM_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM', 'UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER', 'UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER', 'UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER', 'UZUV_KAYBI_GENEL', 'UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER', 'UZUV_KAYBI_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM'

No pre-processing
Resampling: Cross-Validated (10 fold, repeated 1 times)
Summary of sample sizes: 1110, 1111, 1111, 1112, 1110, 1111, ...
Resampling results across tuning parameters:

  mtry  Accuracy  Kappa
    2    0.6409997 0.04680341
   118    0.8809192 0.79166057
   234    0.8760542 0.78634286

Accuracy was used to select the optimal model using the largest value.
The final value used for the model was mtry = 118.
> |

```

Şekil 4.2 RF algoritmasının sonuçları

Aşağıda 10-katlı çapraz doğrulama yöntemi sonrası sonuçları verilmiştir. Burada doğruluk oranları 0,80 ile 0,93 arasında değişmektedir. Bu sonuçlarla modelin öğrendiği sonucu çıkmaktadır.

EK-5. (devam) Performans Ölçütlerinin Program Görüntüleri

Console Terminal - RStudio

```
R> PROJECTS/ISIRI_03KARAR/01/
> confusionMatrix(data = rf.cv.ti.model.classes, my_data_testing[, 235])
Confusion Matrix and Statistics
```

Prediction	Reference	OLUM_BIYOLOJIK_ETMENLER	OLUM_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	OLUM_DIGER_ETMENLER	OLUM_GENEL	OLUM_MEKANIK_ETMENLER	OLUM_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM	UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER
OLUM_BIYOLOJIK_ETMENLER	10	0	0	2	2	0	0	0
OLUM_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	15	1	0	1	0	0	0
OLUM_DIGER_ETMENLER	1	0	7	1	3	0	0	0
OLUM_GENEL	0	0	0	2	1	0	0	0
OLUM_MEKANIK_ETMENLER	0	0	1	0	8	0	0	0
OLUM_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM	0	1	0	0	0	0	12	0
UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	0	0	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER	0	0	4	0	0	1	0	0
UZUV_KAYBI_GENEL	0	0	0	0	0	0	1	0
UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	3	1	0
UZUV_KAYBI_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	0	0	1	0

Prediction	Reference	UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER	UZUV_KAYBI_GENEL	UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER	UZUV_KAYBI_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM
OLUM_BIYOLOJIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0
OLUM_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	0	0	0	0	0
OLUM_DIGER_ETMENLER	0	0	0	0	0	0
OLUM_GENEL	0	0	0	0	0	0
OLUM_MEKANIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0
OLUM_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	9	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER	0	8	1	0	0	0
UZUV_KAYBI_GENEL	0	0	3	0	0	0
UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER	0	2	0	194	0	0
UZUV_KAYBI_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	0	9

Overall Statistics

Accuracy : 0.9172
 95% CI : (0.8802, 0.9457)
 No Information Rate : 0.6424
 P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16
 Kappa : 0.8535
 McNemar's Test P-Value : NA

Statistics by Class:

Şekil 4.3. Doğrulama sonrası RF algoritmasının sonuçları

Yukarıdaki sonuçlara göre algoritma %91 oranında doğru sonuç vermektedir ve bunun aralığı %88 ile %94 arasında değişkenlik göstermektedir. Örneğin; algoritma burada 10 tane biyolojik etmenler sebebiyle ölümü doğru bilmiş ancak 1 tane veriyi genel nedenler ile ölüm olarak yanlış tahmin etmiş 2 tane veriyi de mekanik etmenler nedeniyle ölüm olarak yanlış tahmin etmiştir.

KNN Algoritması

KNN algoritmasının çıktıları şu şekildedir:

Confusion Matrix and Statistics

Prediction	Reference	OLUM_BIYOLOJIK_ETMENLER	OLUM_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	OLUM_DIGER_ETMENLER	OLUM_GENEL	OLUM_MEKANIK_ETMENLER	OLUM_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM	UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER
OLUM_BIYOLOJIK_ETMENLER	1	1	0	0	2	1	0	0
OLUM_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	3	4	3	1	2	1	0	0
OLUM_DIGER_ETMENLER	0	3	2	0	0	0	0	0
OLUM_GENEL	0	0	0	0	0	0	0	0
OLUM_MEKANIK_ETMENLER	1	2	0	1	1	2	0	0
OLUM_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM	1	2	1	0	0	2	0	0
UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	0	0	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER	0	0	0	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_GENEL	0	0	0	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER	5	4	7	2	14	8	0	0
UZUV_KAYBI_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	0	0	0	0

Prediction	Reference	UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER	UZUV_KAYBI_GENEL	UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER	UZUV_KAYBI_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM
OLUM_BIYOLOJIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0
OLUM_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	1	0	0	0	0
OLUM_DIGER_ETMENLER	0	0	0	0	0	0
OLUM_GENEL	0	0	0	0	0	0
OLUM_MEKANIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0
OLUM_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	1	0
UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER	0	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_GENEL	0	0	0	0	0	0
UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER	9	8	4	193	9	0
UZUV_KAYBI_NAKLIYE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	0	0

Overall Statistics

Accuracy : 0.6722
 95% CI : (0.6161, 0.7249)
 No Information Rate : 0.6424
 P-Value [Acc > NIR] : 0.1537
 Kappa : 0.2448

Şekil 4.4. KNN algoritmasının sonuçları

Yukarıdaki sonuçlara göre model %67 oranında doğru sonuç vermektedir ve bunun aralığı %61 ile %72 arasında değişkenlik göstermektedir.

EK-5. (devam) Performans Ölçütlerinin Program Görüntüleri

CART Algoritması

Günümüzde aktif olarak en çok kullanan algoritmalarından birisidir ve bu çalışmadaki çıktısı şu şekildedir:

Confusion Matrix and Statistics		Reference							
Prediction		OLU_BIYOLOJIK_ETMENLER	OLU_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	OLU_DIGER_ETMENLER	OLU_GENEL	OLU_MEKANIK_ETMENLER	OLU_NAKLIE_VE_IC_ULASIM	UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER	
OLU_BIYOLOJIK_ETMENLER	9	0	1	1	2	0	0	0	
OLU_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	12	0	0	1	0	0	0	
OLU_DIGER_ETMENLER	0	0	0	0	0	0	0	0	
OLU_GENEL	0	0	0	0	0	0	0	0	
OLU_MEKANIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0	0	0	
OLU_NAKLIE_VE_IC_ULASIM	1	4	8	2	13	11	0	0	
UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0	0	0	
UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	0	0	0	0	0	0	0	
UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER	0	0	0	0	0	0	0	0	
UZUV_KAYBI_GENEL	0	0	0	0	0	0	0	0	
UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER	1	0	4	1	3	3	0	0	
UZUV_KAYBI_NAKLIE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	0	0	0	0	
Prediction		UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER	UZUV_KAYBI_GENEL	UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER	UZUV_KAYBI_NAKLIE_VE_IC_ULASIM			
OLU_BIYOLOJIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0			
OLU_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	0	0	0	0	0			
OLU_DIGER_ETMENLER	0	0	0	0	0	0			
OLU_GENEL	0	0	0	0	0	0			
OLU_MEKANIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0			
OLU_NAKLIE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	2	0			
UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0			
UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	0	0	0	0	0			
UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER	0	0	0	0	0	0			
UZUV_KAYBI_GENEL	0	0	0	0	0	0			
UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER	9	9	4	0	192	9			
UZUV_KAYBI_NAKLIE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	0	0			
Overall Statistics									
Accuracy : 0.7417									
95% CI : (0.6885, 0.7902)									
No Information Rate : 0.6424									
P-Value [Acc > NIR] : 0.0001448									
Kappa : 0.4729									

Şekil 4.5. CART algoritmasının sonuçları

Yukarıdaki sonuçlara göre model %74 oranında doğru sonuç vermektedir ve bunun aralığı %68 ile %79 arasında değişkenlik göstermektedir.

GBM Algoritması

GBM çıktıları şu şekildedir:

Confusion Matrix and Statistics		Reference							
Prediction		OLU_BIYOLOJIK_ETMENLER	OLU_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	OLU_DIGER_ETMENLER	OLU_GENEL	OLU_MEKANIK_ETMENLER	OLU_NAKLIE_VE_IC_ULASIM	UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER	
OLU_BIYOLOJIK_ETMENLER	11	0	15	0	1	2	0	0	
OLU_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	0	0	0	0	0	0	0	
OLU_DIGER_ETMENLER	0	0	0	9	1	0	0	0	
OLU_GENEL	0	0	0	0	0	0	0	0	
OLU_MEKANIK_ETMENLER	0	1	1	1	10	0	0	0	
OLU_NAKLIE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	0	12	0	0	
UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0	0	0	
UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	0	0	0	0	0	0	0	
UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER	0	0	0	3	0	1	0	0	
UZUV_KAYBI_GENEL	0	0	0	0	0	0	0	0	
UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER	0	0	0	1	4	1	0	0	
UZUV_KAYBI_NAKLIE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	0	0	1	0	
Prediction		UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER	UZUV_KAYBI_GENEL	UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER	UZUV_KAYBI_NAKLIE_VE_IC_ULASIM			
OLU_BIYOLOJIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0			
OLU_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	0	0	0	0	0	0			
OLU_DIGER_ETMENLER	0	0	0	0	0	0			
OLU_GENEL	0	0	0	0	0	0			
OLU_MEKANIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0			
OLU_NAKLIE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	0	0			
UZUV_KAYBI_BIYOLOJIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0			
UZUV_KAYBI_CALISMA_TALIMATI_GEREKTIREN_ISLER	9	6	1	0	1	0			
UZUV_KAYBI_DIGER_ETMENLER	0	0	0	0	0	0			
UZUV_KAYBI_GENEL	0	3	3	0	193	0			
UZUV_KAYBI_MEKANIK_ETMENLER	0	0	0	0	0	0			
UZUV_KAYBI_NAKLIE_VE_IC_ULASIM	0	0	0	0	0	9			
Overall Statistics									
Accuracy : 0.9079									
95% CI : (0.8688, 0.9375)									
No Information Rate : 0.6424									
P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16									
Kappa : 0.8315									

Şekil 4.6. GBM algoritmasının sonuçları

Yukarıdaki sonuçlara göre model %90 oranında doğru sonuç vermektedir ve bunun aralığı %86 ile %94 arasında değişkenlik göstermektedir

EK-6. Karmaşıklık Matrisi Açıklamaları

KOD	KAZA ŞİDDETİ	TEHLİKE KAYNAĞI
C1	Ölüm	Biyolojik Faktörler
C2	Ölüm	Çalışma İzin Sistemi Faktörleri
C3	Ölüm	Diğer Faktörler
C4	Ölüm	Genel Faktörler
C5	Ölüm	Mekanik Faktörler
C6	Ölüm	Nakliye Kaynaklı Faktörler
C7	Uzuv Kaybı	Biyolojik Faktörler
C8	Uzuv Kaybı	Çalışma İzin Sistemi Faktörleri
C9	Uzuv Kaybı	Diğer Faktörler
C10	Uzuv Kaybı	Genel Faktörler
C11	Uzuv Kaybı	Mekanik Faktörler
C12	Uzuv Kaybı	Nakliye Kaynaklı Faktörler



Gazili olmak ayrıcalıktır