

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT SEKTÖRÜNDEKİ İŞ KAZASI
ANALİZLERİ İLE OLUŞTURULAN İSG
RİSK ANALİZ PROGRAM MODELİ

Çağdaş AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı İşletmesi Programı

Danışman

Doç. Dr. Kerim KOÇ

Temmuz, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT SEKTÖRÜNDEKİ İŞ KAZASI ANALİZLERİ
İLE OLUŞTURULAN İSG RİSK ANALİZ PROGRAM
MODELİ

Çağdaş AYDIN tarafından hazırlanan tez çalışması 04.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı İşletmesi Programı **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Kerim KOÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Kerim KOÇ, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yurdakul AYGÖRMEZ, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ömer EKMEKCİOĞLU, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Kerim KOÇ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “İnşaat Sektöründeki İş Kazası Analizleri ile Oluşturulan İSG Risk Analiz Program Modeli”başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı,diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Çağdaş Aydın

İmza



Aileme
ve
Hocalarıma

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, iki yıl boyunca değerli bilgilerini bizlerle paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam; Doç. Dr. Kerim KOÇ'a sonsuz teşekkür ederim. Modern bilimsel çalışmaları bana ışık olan hocamın, değerli rehberliği ve yapıcı geri bildirimleri hem bu çalışmanın niteliğini hem de akademik gelişimimi belirleyici biçimde şekillendirmiştir.

Tez izleme komitesinde görev alan saygıdeğer hocalarıma, araştırmamın yönünü zenginleştiren kıymetli görüş ve önerileri için minnettarım. Savunma jürisinde yer alarak çalışmamı son hâline taşıyacak yapıcı eleştirilerde bulunan hocalarıma da ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak, bu çalışmayı Yıldız Teknik Üniversitesi çatısı altında tamamlamış olmaktan büyük onur duyduğumu belirtmek isterim. Katkı sunan, emeği geçen ve bana inanan herkese gönülden teşekkür ederim.

Çağdaş AYDIN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
ABSTRACT	xix
1 GİRİŞ	1
1.1 İş Kazası Kavramı ve Genel Çerçeve.....	1
1.1.1 Tanım, Hukuki Boyut ve Sorumluluklar.....	2
1.1.2 İş Kazalarının Temel Nedenleri.....	2
1.1.3 İş Kazalarının Sonuçları.....	5
1.2 İnşaat Sektöründe İş Kazaları.....	7
1.2.1 Sektöre Özgü Risk Faktörleri.....	8
1.2.2 Ulusal ve Uluslararası İstatistikler.....	9
1.2.3 İnşaat Sektöründe Önleyici Stratejiler.....	10
1.2.4 Önlemlerin Sektörel Etkilerinin Analizi.....	11
1.3 İş Kazalarının Etmenleri: “Çalışan mı, İş Yeri mi?”	12
1.3.1 Çalışan Kaynaklı Faktörler.....	13
1.3.2 İş Yeri, Ortam ve Ekipman Kaynaklı Faktörler.....	15
1.3.3 İnşaat Sektörüne Özgü Karşılaştırmalı Değerlendirme.....	19
2 LİTERATÜR TARAMASI	21
2.1 Analiz Hazırlıkları.....	21

2.1.1 Geçmiş İş Kazası Verilerinin Analizi ve Kullanımı.....	21
2.1.2 Veri Kaynakları ve Toplama Yöntemleri.....	22
2.1.3 Verilerin Kullanım Alanları.....	25
2.1.4 Risk Değerlendirmesi ve Önceliklendirme.....	26
2.1.5 Politika ve Mevzuat Geliştirme.....	26
2.2 Analiz Yöntemleri.....	27
2.2.1 İnşaat Sektöründe Geleneksel İSG Risk Analizi Yöntemleri.....	27
2.2.2 İş Kazası Riskinin Nicel Analizi.....	32
2.3 İnşaat Sektöründe Yapay Zekâ ile Kaza Senaryolarının Öngörülmesi	38
2.3.1 Yapay Zeka (YZ) ve Makine Öğrenme Yöntemleri (ML) ile Analiz.....	38
2.3.2 Büyük Dil Modelleri (LLM) Bazlı Senaryo Üretimi ve Analizi.....	44
2.4 Analiz Düzenlemeleri.....	48
2.4.1 İnterpolasyon ile Katsayıların Düzenlenmesi.....	48
2.5 Veri Analizinin Sürdürülebilir İSG Kültürüne Etkisi.....	49
3 YÖNTEM	51
3.1.Risk Etmenleri.....	51
3.1.1 İç Faktörler.....	51
3.1.2 Dış Faktörler.....	59
3.2. İSG Risk Analiz ve Risk Katsayıları.....	64
3.2.1. Çalışma Alanı Analizi.....	64
3.2.2. Kullanılan Makine Analizi	70
3.2.3. Yara Bölgesi Analizi	78
3.2.4. Yara Türü Analizi	85
3.3. Genel Risk Analiz Test Skoru (RATS _{Genel}).....	91
3.3.1.İç Faktörler Risk Katsayısı (RK _{İç faktörler}) Değerlerinin Hesaplanması.....	91

3.3.2.Dış Faktörler Risk Katsayısı ($RK_{Dış\ faktörler}$) Değerlerinin Hesaplanması.....	92
4 BULGULAR	97
4.1 İSG Kişisel Risk Analiz Programı.....	97
4.1.1 Kişisel Etki Risk Katsayılarının ($RK_E^{Kişisel}$)Programdaki Seçimlere Entegrasyonu.....	97
4.1.2 Kişisel Risk Analizi Testinin Hazırlanışı	98
4.1.3 Kişisel Risk Analizi Testi Program Çıktıları.....	100
4.2 İSG Çalışma Ortamı Risk Analiz Programı	101
4.2.1 Çalışma Ortamı Risk Analiz Testinin Hazırlanışı	101
4.2.2 Kullanılan Makine Risk Analiz Testinin Hazırlanışı.....	106
4.2.3 Seçilen Makine ile Alakalı Risk Oluşturabilecek Problemler.....	111
4.3 Risk Oluşturabilecek Senaryoların Seçimi Program Çıktıları.....	118
4.4 Genel Risk Analizi Sonuç Sayfası Program Çıktıları ...	119
5 SONUÇ	124
5.1 Elde Edilenler ve Yöntem	124
5.2 Çalışmanın Faydaları.....	125
5.3 Tartışma.....	126
5.3.1 Çalışmanın Uygulama Potansiyeli ve Sınırları	126
5.3.2 Çalışmanın Geleceği.....	126
KAYNAKÇA	128
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	139

SİMGE LİSTESİ

HRK _{E-2019} ^{CA-41}	2019 Yılı Bina İnşaatı (41) Çalışma Alanı Etki Risk Katsayıları
TCN _{CA-41} ²⁰¹⁹	2019 Yılı Bina İnşaatı (41) Çalışma Alanında Toplam Çalışan Nüfus
HRK _{E-2019} ^{M-1}	2019 Yılı Bina, Yapı ve Yüzey Unsurları (M1) Çalışma Alanı Etki Risk Katsayıları
HRK _{E-2019} ^{YB-1}	2019 Yılı Bina, Yapı ve Yüzey Unsurları (M1) Çalışma Alanı Etki Risk Katsayıları
HRK _{E-2019} ^{YT-1}	2019 Yılı Bina, Yapı ve Yüzey Unsurları (M1) Çalışma Alanı Etki Risk Katsayıları
RK _{E-2019} ^{CA}	2019 Yılı Çalışma Alanı Etki Risk Katsayıları
RK _{S-2019} ^{CA}	2019 Yılı Çalışma Alanı Sıklık Risk Katsayıları
TCN _{CA} ²⁰¹⁹	2019 Yılı Çalışma Alanlarına Göre Sınıflandırılmış Toplam Çalışan Nüfus
HRK _{E-2019} ^{CA}	2019 Yılı Ham Çalışma Alanı Etki Risk Katsayıları
HRK _{S-2019} ^{CA}	2019 Yılı Ham Çalışma Alanı Sıklık Risk Katsayıları
HRK _{E-2019} ^M	2019 Yılı Ham Kullanılan Makine Etki Risk Katsayıları
HRK _{S-2019} ^M	2019 Yılı Ham Kullanılan Makine Sıklık Risk Katsayıları
HRK _{E-2019} ^{YB}	2019 Yılı Ham Yara Bölgesi Etki Risk Katsayıları
HRK _{S-2019} ^{YB}	2019 Yılı Ham Yara Bölgesi Sıklık Risk Katsayıları
HRK _{E-2019} ^{YT}	2019 Yılı Ham Yara Türü Etki Risk Katsayıları
HRK _{S-2019} ^{YT}	2019 Yılı Ham Yara Türü Sıklık Risk Katsayıları
RK _{E-2019} ^M	2019 Yılı Kullanılan Makine Etki Risk Katsayıları
RK _{S-2019} ^M	2019 Yılı Kullanılan Makine Sıklık Risk Katsayıları
RK _{E-2019} ^{YB}	2019 Yılı Yara Bölgesi Etki Risk Katsayıları
RK _{S-2019} ^{YB}	2019 Yılı Yara Bölgesi Sıklık Risk Katsayıları
RK _{E-2019} ^{YT}	2019 Yılı Yara Türü Etki Risk Katsayıları
RK _{S-2019} ^{YT}	2019 Yılı Yara Türü Sıklık Risk Katsayıları
DK _{Cinsiyet}	Cinsiyet Sınıflandırması Dönüşüm Katsayısı
DK _{Ç.G.Kaza}	Çalışanın Geçmiş Kazaları Sınıflandırması Dönüşüm Katsayısı
DK _{CA}	Çalışma Alanı Dönüşüm Katsayısı
RK _E ^{CA}	Çalışma Alanı Etki Risk Katsayıları
INP _E ^{CA}	Çalışma Alanı Ham Etki Risk Katsayısı (HRK _E ^{CA}) İnterpolasyon Dönüşümü
INP _S ^{CA}	Çalışma Alanı Ham Sıklık Risk Katsayısı (HRK _S ^{CA}) İnterpolasyon Dönüşümü Çalışma Alanı Ham Sıklık Risk Katsayısı (HRK _S ^{CA}) İnterpolasyon Dönüşümü
RK _{CA}	Çalışma Alanı Risk Katsayısı
RK _S ^{CA}	Çalışma Alanı Sıklık Risk Katsayıları
TKS ^{CA}	Çalışma Alanı Sıklık Risk Katsayıları
DK _{Mevsim}	Çalışma Mevsimi Sınıflandırması Dönüşüm Katsayısı

DK_{Saat}	Çalışma Saatleri Sınıflandırması Dönüşüm Katsayısı
$RATS_{Dış\ faktörler}$	Dış Faktörler Analiz Test Skoru
$DK_{Dış\ faktörler}$	Dış Faktörler Dönüşüm Katsayısı
$RK_{Dış\ faktörler}$	Dış Faktörler Risk Katsayısı
$INP_{Dış\ Faktörler}$	Dış Faktörler Risk Katsayısı İnterpolasyon Dönüşümü
$RATS_{Genel}$	Genel Risk Analiz Test Skoru
GRK_E^{CA}	Gurup İçi Çalışma Alanı Etki Risk Katsayıları
GRK_E^M	Gurup İçi Çalışma Alanı Etki Risk Katsayıları
GRK_E^{YB}	Gurup İçi Yara Bölgesi Etki Risk Katsayıları
GRK_E^{YT}	Gurup İçi Yara Türü Etki Risk Katsayıları
$DK_{Ücret}$	Günlük Ücret Sınıflandırması Dönüşüm Katsayısı
HRK_E^{CA}	Ham Çalışma Alanı Etki Risk Katsayıları
HRK_S^{CA}	Ham Çalışma Alanı Sıklık Risk Katsayıları
$HRK_E^{Kişisel}$	Ham Kişisel Etki Risk Katsayısı
HRK_E^M	Ham Kullanılan Makine Etki Risk Katsayıları
HRK_S^M	Ham Kullanılan Makine Sıklık Risk Katsayıları
HRK_E^{YB}	Ham Yara Bölgesi Etki Risk Katsayıları
HRK_S^{YB}	Ham Yara Bölgesi Sıklık Risk Katsayıları
HRK_E^{YT}	Ham Yara Türü Etki Risk Katsayıları
HRK_S^{YT}	Ham Yara Türü Sıklık Risk Katsayıları
$RATS_{İç\ faktörler}$	İç Faktörler Analiz Test Skoru
$DK_{İç\ faktörler}$	İç Faktörler Dönüşüm Katsayısı
$RK_{İç\ faktörler}$	İç Faktörler Risk Katsayısı
$INP_{İç\ Faktörler}$	İç Faktörler Risk Katsayısı İnterpolasyon Dönüşümü
$ÖGS_{İG}$	İş Görmez Ödeme Gün Sayısı Derecesi
$KG_{Çalışır}$	Kaza Günü Çalışır
$KG_{İşgörmez}$	Kaza Günü İşgörmez
$RK_E^{Geo,Ort-Kişisel}$	Kişisel Etki Risk Katsayılarının Geometrik Ortalaması
$RK_E^{Kişisel}$	Kişisel Etki Risk Katsayısı
DK_M	Kullanılan Makine Dönüşüm Katsayısı
RK_E^M	Kullanılan Makine Etki Risk Katsayıları
INP_E^M	Kullanılan Makine Ham Etki Risk Katsayısı (HRK_E^M) İnterpolasyon Dönüşümü
TKS^M	Kullanılan Makine ile Gerçekleşen Toplam Kaza Sayısı
RK_M	Kullanılan Makine Risk Katsayısı
RK_S^M	Kullanılan Makine Sıklık Risk Katsayıları
$DK_{Eğitim}$	Seviyesi Sınıflandırması Dönüşüm Katsayısı
$DK_{İ.G.Kaza}$	Şirkette Geçmiş Kazalar Sınıflandırması Dönüşüm Katsayısı
DK_{YB}	Yara Bölgesi Dönüşüm Katsayısı
RK_E^{YB}	Yara Bölgesi Etki Risk Katsayıları
INP_E^{YB}	Yara Bölgesi Ham Etki Risk Katsayısı (HRK_E^{YB}) İnterpolasyon Dönüşümü
INP_S^{YB}	Yara Bölgesi Ham Sıklık Risk Katsayısı (HRK_S^{YB}) İnterpolasyon Dönüşümü
RK_{YB}	Yara Bölgesi Risk Katsayısı

RK_S^{YB}	Yara Bölgesi Sıklık Risk Katsayıları
TKS^{YB}	Yara Bölgesinde Gerçekleşen Toplam Kaza Sayısı
DK_{YT}	Yara Türü Dönüşüm Katsayısı
RK_E^{YT}	Yara Türü Etki Risk Katsayıları
INP_E^{YT}	Yara Türü Ham Etki Risk Katsayısı (HRK_E^{YT}) İnterpolasyon Dönüşümü
INP_S^{YT}	Yara Türü Ham Sıklık Risk Katsayısı (HRK_S^{YT}) İnterpolasyon Dönüşümü
$KS_{e=n}^{YT}$	Yara Türü ile Gerçekleşen Kaza Günü Etki Derecesine Göre Sınıflandırılmış Kaza Sayısı
$KS_{e=0}^{YT}$	Yara Türü ile Gerçekleşen Kaza Günü İşgörmez & Çalışır Kaza Sayısı
TKS^{YT}	Yara Türü ile Gerçekleşen Toplam Kaza Sayısı
RK_{YT}	Yara Türü Risk Katsayısı
RK_S^{YT}	Yara Türü Sıklık Risk Katsayıları
$DK_{Yaş}$	Yaş Sınıflandırması Dönüşüm Katsayısı
$KS_{e=n}^{Yaş}$	Yaş Sınıflandırmasında Gerçekleşen Kaza Günü Etki Derecesine Göre Sınıflandırılmış Kaza Sayısı
$KS_{e=0}^{Yaş}$	Yaş Sınıflandırmasında Gerçekleşen Kaza Günü İşgörmez & Çalışır Kaza Sayısı

KISALTMA LİSTESİ

APACHE II	Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II (Akut Fizyoloji ve Kronik Sağlık Değerlendirme Skoru - II)
AI	Artificial Intelligence (Yapay Zekâ)
CoHA	Cross Hazard Analysis (Çapraz Tehlike Analizi)
XR	Extended Reality (Genişletilmiş Gerçeklik)
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis (Hata Türleri ve Etkileri Analizi)
F	Frekans
GPT-4	Generative Pre-trained Transformer 4 (Dördüncü nesil üretken ön eğitilmiş dönüştürücü)
GCN	Graph Convolutional Network (Graf Evrişimsel Ağ)
HARA	Hazard Analysis and Risk Assessment (Tehlike Analizi ve Risk Değerlendirmesi)
HAZOP	Hazard and Operability Study (Tehlike ve İşletilebilirlik Çalışması)
ILO	International Labour Organization (Uluslararası Çalışma Örgütü)
IoT	Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
OSHA	İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi – ABD
ISO	İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi Uluslararası Standardı
JSA	Job Safety Analysis (İş Güvenliği Analizi)
KKD	Kişisel Koruyucu Donanım
KOBİ	Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
LLM	Large Language Model (Büyük Dil Modeli)
LCCA	Latent Class Cluster Analysis (Saklı Sınıf Kümeleme Analizi)
LDA	Latent Dirichlet Allocation (Saklı Dirichlet Dağılımı – bir konu modelleme tekniği)
ML	Machine Learning (Makine Öğrenmesi)
MATLAB	Matrix Laboratory (Matematiksel hesaplama ve simülasyon yazılımı)
NACE	Nomenclature des Activités Économiques dans la Communauté Européenne (Avrupa Topluluğu'nda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması)
NumPy	Numerical Python (Sayısal Python Kütüphanesi)
O	Olasılık
PtD	Prevention through Design (Tasarım Yoluyla Önleme)
R	Risk
RPN	Risk Priority Number (Risk Öncelik Sayısı)
SciPy	Scientific Python (Bilimsel Hesaplamalar için Python Kütüphanesi)
SSL	Secure Sockets Layer (Güvenli Yuva Katmanı – şifreli bağlantı protokolü)

SOFA	Sequential Organ Failure Assessment (Organ Yetmezliği Değerlendirme Skoru)
SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
SVM	Support Vector Machine (Destek Vektör Makineleri)
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal zme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Yöntemi)
T	Tespit
TSSB	Travma Sonrası Stres Bozukluğu
VR	Virtual Reality (Sanal Gerçeklik)
YSA	Yapay Sinir Ağları
YOLOv8	You Only Look Once, version 8 (Gerçek zamanlı nesne tespiti algoritması – 8. sürüm)
Ş	Şiddet



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Yöntem akış şeması.....	51
Şekil 3.2 Risk iç faktörlerinin sınıflandırılması.....	54
Şekil 3.3 ($RATS_{İç\ faktörler}$) değerlerinin genel risk analiz test skoruna ($RATS_{Genel}$) etki yüzdeleri	91
Şekil 3.4 İç faktörler risk katsayılarının ($RK_{İç\ faktörler}$) elde edilmesi ve risk analiz programında kullanılması	92
Şekil 3.5 Dış faktörler risk katsayılarının ($RK_{Dış\ faktörler}$) elde edilmesi ve risk analiz programında kullanılması	96
Şekil 4.2 $RK_E^{Kişisel}$ değerlerinin genel risk analiz test skoruna etkisi.....	99
Şekil 4.2 Çalışma ortamı risk analiz testi başlangıç bildirisi.....	100
Şekil 4.3 Kişisel risk analiz test soru ekranı.....	101
Şekil 4.4 Risk analiz testi çalışma alanı sınıflandırması.....	102
Şekil 4.5 Risk analiz testi alt çalışma alanları sınıflandırması.....	104
Şekil 4.6 Risk analiz testi çalışma alanı seçim ekranı.....	105
Şekil 4.7 Risk analiz testi alt çalışma alanları seçim ekranı.....	106
Şekil 4.8 Risk analiz testi kullanılan makine sınıflandırması.....	108
Şekil 4.9 Risk analiz testi kullanılan makine seçim ekranı.....	110
Şekil 4.10 Benzer makineler ve açıklamaları.....	110
Şekil 4.31 Bulunamayan makineler için arama çubuğu ve ekranı.....	111
Şekil 4.42 Bulunamayan makineler için arama çubuğu ve ekranı.....	115
Şekil 4.53 Risk analiz testi yara türü sınıflandırması.....	117
Şekil 4.14 Kullanılan makine ile ilgili isg riski oluşturabilecek problemlerin seçimi.....	118
Şekil 4.65 Risk analiz testi girdileri ve sonuç ekran çıktıları.....	119
Şekil 4.16 Risk analiz testi uygulama örneği.....	120
Şekil 4.17 Kişisel risk analiz test sonucunun genel risk analiz test skoruna etkisi (%).....	120
Şekil 4.18 Genel risk analiz test skoru ($RATS_{Genel}$) (%).....	121
Şekil 4.19 Yara bölgelerine ayrılmış görsel risk analiz test skoru (%).....	122

Şekil 4.20	Risk analiz test açıklama sonuç ekranı.....	123
-------------------	--	------------



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 İnşaat sektöründe geleneksel İSG risk analizi yöntemleri literatür taraması.....	36
Tablo 2.2 Yapay Zekâ (YZ) ve Makine Öğrenme Yöntemleri (ML) ile analizi literatür taraması	43
Tablo 2.3 Büyük Dil Modelleri (LLM) bazlı senaryo üretimi ve analizi literatür taraması.....	46
Tablo 3.2 İç faktörler dönüşüm katsayısı ($DK_{İç\text{ faktörler}}$) tablosu.....	55
Tablo 3.2 Etki Derecelerine göre yaş sınıflandırmasındaki iş kazaları.....	56
Tablo 3.3 Ham yaş etki risk katsayısı ($HRK^{Yaş}$) hesaplama tablosu.....	57
Tablo 3.4 İnterpolasyon yöntemi ile $RK_E^{Kişisel}$ hesaplama tablosu.....	57
Tablo 3.5 Dış faktörler dönüşüm katsayısı ($DK_{Dış\text{ faktörler}}$) tablosu.....	61
Tablo 3.6 Dönüşüm katsayıları (DK_{YT} , DK_M , DK_{YB} ve DK_{CA}) hesap tablosu.....	62
Tablo 3.7 Dönüşüm katsayıları tablosu.....	63
Tablo 3.8 Etki derecelerine göre çalışma alanı sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları	66
Tablo 3.9 Ham çalışma alanı etki risk katsayısı (HRK_E^{CA}) hesaplama tablosu.....	68
Tablo 3.10 İnterpolasyon yöntemi ile RK_E^{CA} & RK_S^{CA} hesaplama tablosu.....	69
Tablo 3.11 Etki derecelerine göre kullanılan makine sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları	71
Tablo 3.12 Ham Kullanılan Makine Etki Risk Katsayısı (HRK_E^M) hesaplama tablosu	74
Tablo 3.13 İnterpolasyon yöntemi ile RK_E^M & RK_S^M hesaplama tablosu.....	77
Tablo 3.14 Etki derecelerine göre yara bölgesi sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları	79
Tablo 3.15 Ham yara bölgesi etki risk katsayısı (HRK_E^{YB}) hesaplama tablosu....	82
Tablo 3.16 İnterpolasyon yöntemi ile RK_E^{YB} & RK_S^{YB} hesaplama tablosu.....	85
Tablo 3.17 Etki derecelerine göre yara türü sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları	86

Tablo 3.18	Ham yara türü etki risk katsayısı (HRK_E^{YT}) hesaplama tablosu.....	88
Tablo 3.19	İnterpolasyon yöntemi ile RK_E^{YT} & RK_S^{YT} hesaplama tablosu.....	90
Tablo 3.20	İnterpolasyon yöntemi ile $RK_{Dış\ faktörler}$ değerlerinden $RATS_{Dış\ faktörler}$ değerlerine dönüşüm Tablosu	95



İnşaat Sektöründeki İş Kazası Analizleri ile Oluşturulan İSG Risk Analiz Program Modeli

Çağdaş Aydın

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Kerim KOÇ

İş kazaları; çalışma ortamında, beklenmedik durumlar sonucu meydana gelen ve ölüm ile kalıcı fiziksel & zihinsel hasara yol açabilen olaylardır. Bu çalışma, yüksek riskli inşaat sektöründeki kazalara odaklanarak potansiyel tehlikelerin önceden belirlenmesi ve proaktif müdahalelerin önemini vurgulamaktadır. Türkiye’de gerçekleşen 65 000 iş kazası verisi ile SGK kaza istatistik yıllıkları, bu araştırma kapsamında uyarlanmış CJSA yöntemi ile analiz edilmiştir.

Analizlerde; kişisel faktörler, çalışma alanları, kullanılan makineler, yara bölgeleri ve yara türleri dikkate alınarak risk katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen katsayılar geliştirilmiş İSG Risk Analiz programına entegre edilmiş ve kullanıcı tercihlerine göre İç Faktörler (kişisel) ile Dış Faktörler (çalışma ortamı) başlıklarında kapsamlı risk değerlendirmesi yapılması sağlanmıştır.

Programın geliştirilmesi sırasında, olası risk senaryolarını oluşturmak amacıyla en güncel Büyük Dil Modelleri (LLM) kullanılmış; çok sayıda senaryo arasından, her

makine için yüksek risk düzeyi içeren dokuz senaryo seçilmiştir. Program, riskli durumları önceden belirleyen bu senaryolar aracılığıyla, gerekli önlemler alınmadığında kazaların nasıl gerçekleşebileceğini hem sayısal hem de sözel olarak ayrıntılı şekilde açıklamaktadır. Kullanıcının seçimleri ve senaryoların değerlendirilmesi doğrultusunda program; çalışanın genel riskini ve vücut bölgelerine özgü risk analiz sonuçlarını yüzde olarak sunmakta, ayrıca alınması gereken önlemleri ve ihmal edilmesi durumunda doğabilecek sonuçları ayrıntılı biçimde raporlamaktadır. Başta inşaat sektörü için tasarlanan programın, diğer sektörlerde de uyarlanma potansiyeli bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İş Kazası Risk Analizi, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG), İnşaat Güvenliği, CJSa Analizi, Büyük Dil Modelleri (LLM).

ABSTRACT

An OHS Risk Analysis Program Model Developed From Construction-Sector Accident Analyses

Çağdaş AYDIN

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Kerim KOÇ

Occupational accidents are unexpected events that occur in the workplace and can lead to fatalities or permanent physical and mental impairment. Focusing on the high-risk construction sector, this study underscores the importance of identifying potential hazards in advance and implementing proactive interventions. A dataset of 65,000 occupational accidents in Türkiye, together with Social Security Institution (SGK) annual accident statistics, was analysed using an adapted CJSa method.

The analyses considered personal factors, work areas, machinery, injured body parts and injury types to calculate risk coefficients. These coefficients were integrated into a newly developed OHS Risk Analysis program, enabling comprehensive risk assessment under the headings Internal Factors (personal) and External Factors (work environment) according to user preferences.

During program development, the most recent Large Language Models (LLMs) were employed to generate a large pool of potential risk scenarios; from these, nine high-risk scenarios were selected for each machine. Through these scenarios, the program details both numerically and verbally how accidents may occur if necessary precautions are not taken. Based on user selections and scenario evaluations, the program presents the worker's overall risk and body-region-specific risk results as percentages, and provides a detailed account of the required precautions and the possible consequences of neglecting them. Although originally designed for the construction sector, the program has the potential to be adapted to other industries.

Keywords: Occupational Accident Risk Analysis, Occupational Health and Safety (OHS), Construction Safety, CJSa Analysis, Large Language Models (LLM)

1.1 İş Kazası Kavramı ve Genel Çerçeve

İş kazaları, genellikle önceden öngörüleemeyen anlarda meydana gelir ve kimi zaman ölümlle, kimi zaman da kalıcı fiziksel ya da psikolojik hasarlarla sonuçlanabilir (Bilir, 2004). Bu tür olayların temelinde çoğunlukla işin doğasındaki riskler ile ihmalkâr davranışlar yer alır. Özellikle inşaat gibi yüksek risk barındıran sektörlerde, bu kazaların hem sıklığı hem de ciddiyeti dikkat çekicidir. Güvenlik önlemlerinin eksiksiz uygulanmaması, özellikle işveren ve yüklenici tarafında yaşanan ihmaller, şantiyelerde ciddi yaralanma ve can kaybı riskini önemli ölçüde artırmaktadır (Liebing, 2001). İnşaat sektörü, iş güvenliği açısından en problemli alanlardan biridir. Bunun başlıca nedenlerinden biri, sahada sürekli değişen dinamik koşullar ve çevresel tehlikelerin sürekliliğidir. Bu tür ortamlarda yaşanan kazalar yalnızca çalışanların fiziksel sağlığını değil, aynı zamanda ruhsal durumlarını da olumsuz yönde etkilemektedir. Buna bağlı olarak, iş gücü kaybı ve ekonomik zararlar kaçınılmaz hale gelmektedir (Juhari et al., 2023).

Gelişmekte olan ülkelerde ise iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları ciddi yapısal engellerle karşı karşıyadır. Yetersiz kaynaklar, etkisiz denetim mekanizmaları ve çalışanların düşük güvenlik bilinci gibi unsurlar, kazaların artmasına zemin hazırlamakta ve çalışan güvenliğini tehdit etmektedir (Atsu & Rajgor, 2023). Yapılan araştırmalar, etkili iş güvenliği eğitimlerinin çalışanlarda güvenli davranışları yerleştirme ve sürdürme konusunda belirgin bir fark yarattığını göstermektedir. Bu eğitimlerin düzenli aralıklarla verilmesi ve güncel içeriklerle desteklenmesi, genel iş güvenliği performansını artırmaktadır. Son yıllarda eğitim süreçlerine entegre edilen bilgisayar destekli teknolojiler, öğrenme deneyimini daha etkili hale getirmiş ve sonuçların iyileşmesini sağlamıştır (Gao et al., 2018).

İş güvenliği analiz metotları çerçevesinde geliştirilen planlı yönetim sistemleri, kazaların önlenmesinde sistematik bir altyapı sunar. Bu sistemler; risk analizinden önleyici tedbirlerin uygulanmasına, sürekli iyileştirme döngülerine kadar birçok aşamayı kapsar. İnşaat sektöründe bu tür yönetim sistemlerinin aktif olarak uygulanması, sürdürülebilir ve güvenli çalışma ortamlarının oluşturulmasına büyük katkı sağlamaktadır (Kineber et al., 2023).

1.1.1 Tanım, Hukuki Boyut ve Sorumluluklar

İş kazası, çalışanın görevini ifa ederken ya da işyeri sınırları içerisinde karşılaştığı ve fiziksel ya da psikolojik zararlarla sonuçlanan olaylar bütünüdür. Bu tanım yalnızca ani gelişen travmaları değil; zamanla gelişen, kronik sağlık sorunlarını da kapsayacak şekilde geniş bir yelpazeyi içermektedir (ILO, 1988). Her ne kadar ulusal ve uluslararası düzenlemeler arasında tanımsal bazı farklar bulunsun da ortak payda çalışan sağlığını tehdit eden her durumun iş kazası kapsamında değerlendirilmesidir. İş kazalarının önlenmesi amacıyla geliştirilen hukukî düzenlemeler hem işverenin hem de çalışanın yükümlülüklerini net bir şekilde belirlemekte ve iş güvenliği standartlarını tanımlamaktadır. Türkiye’de yürürlüğe giren 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, işverene güvenli bir çalışma ortamı sağlama sorumluluğunu açıkça yüklemektedir (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2012). Bu kapsamda işverenlerin yapması gerekenler arasında risk analizi gerçekleştirmek, koruyucu tedbirler almak, çalışanları eğitmek ve uygun donanımları temin etmek yer alır. Eğer bu yükümlülükler yerine getirilmezse, işvereni idari para cezaları, tazminat sorumluluğu ya da cezai yaptırımlar gibi ciddi sonuçlar beklemektedir (OSHA, 2023).

Ancak sorumluluk yalnızca işverende değildir. Çalışanların da kendilerine sunulan eğitime katılmaları, belirlenmiş güvenlik kurallarına uymaları ve kişisel koruyucu donanımları etkin biçimde kullanmaları beklenmektedir. Bu kuralların ihlali, sadece kişinin kendisini değil, aynı zamanda çevresindeki diğer çalışanları da tehlikeye atabilir (ILO, 1988). Bir iş kazası meydana geldiğinde, işverenin sorumluluklarından biri de bu olayı yetkili kurumlara zamanında bildirmek ve kayıt altına almaktır. Eğer bu süreçlerde eksiklik ya da ihmal söz konusu olursa, işveren hem hukuki yaptırımlarla karşı karşıya kalabilir hem de tazminat taleplerine muhatap olabilir (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2012).

1.1.2 İş Kazalarının Temel Nedenleri

İnşaat sektöründe yaşanan iş kazaları, yalnızca teknik ya da fiziksel koşullardan değil; bireysel, organizasyonel ve çevresel faktörlerin kesişiminden kaynaklanmaktadır. Literatür, bu kazaların başlıca nedenlerini güvensiz ekipman kullanımı, kişisel koruyucu donanım eksikliği, yetersiz eğitim, zayıf denetim yapıları ve yüksek risk barındıran çalışma koşulları olarak sıralamaktadır (Karadağ & Kepekli, 2013; Ghani & Ridho, 2024). Özellikle kazı faaliyetlerinde meydana gelen kazaların ölümle sonuçlanma oranı dikkat çekicidir. Yapılan çalışmalara göre, bu tür kazaların yaklaşık %60,9'u ölümle neticelenmektedir (Karadağ & Kepekli, 2013). Bu oran, iş güvenliği analiz metodlarının neden titizlikle uygulanması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Ayrıca demografik özelliklerin de kaza riskini etkilediği bilinmektedir. Genç yaşta olan, düşük eğitim düzeyine sahip ve yeterli saha deneyimi bulunmayan çalışanların daha yüksek risk altında olduğu pek çok çalışmada rapor edilmiştir (Ghani & Ridho, 2024; Çilek, 2013). Bu durum, hedefe yönelik ve nitelikli iş güvenliği eğitimlerinin ne denli kritik olduğunu vurgulamaktadır. İş kazalarına neden olan bir diğer önemli unsur ise psikososyal koşullardır. Aşırı iş yükü, zaman baskısı, düşük iş tatmini ya da iş arkadaşlarıyla yaşanan iletişim problemleri gibi faktörler, çalışanların dikkatini dağıtarak riskli davranışların artmasına neden olabilmektedir (Mosly, 2020). Bu tür unsurların, yalnızca bireysel birer sorun olarak değil, kapsamlı iş güvenliği politikaları çerçevesinde değerlendirilmesi gerektiği literatürde sıkça dile getirilmektedir. Küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ'ler), iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları açısından büyük ölçekli firmaların gerisinde kalmaktadır. Bu işletmelerde denetimlerin yetersizliği, çalışanların eğitime erişimde yaşadığı zorluklar ve altyapı eksiklikleri, kazaların daha sık ve daha ağır sonuçlarla meydana gelmesine yol açmaktadır (Darda'u Rafindadi et al., 2025; Çilek, 2013).

1.1.2.1 Bireysel Faktörler

Alanda yapılan birçok araştırma, özellikle genç yaşta olan, düşük eğitim düzeyine sahip ve sınırlı iş tecrübesi bulunan çalışanların kazalara daha açık olduğunu ortaya koymaktadır (Ghani & Ridho, 2024; Hatami et al., 2018). Bu gruptaki bireylerde, iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin yetersizliği de tehlikeleri doğru algılama ve

yönetme becerilerini zayıflatmakta; bu durum, iş güvenliği açısından ciddi bir risk oluşturmaktadır.

Diğer taraftan, bireysel çalışma koşullarının da kazalar üzerindeki etkisi büyüktür. Uzun çalışma saatleri, düşük gelir düzeyi, sürekli yorgunluk ve iş tatminsizliği gibi etmenler, çalışanların dikkat seviyesini düşürerek riskli davranışlara zemin hazırlayabilmektedir (Amissah et al., 2019). Özellikle düşük ücretle çalışan veya haftalık çalışma süresi yüksek olan işçilerin kaza geçirme ihtimalleri çok daha fazladır (Girma et al., 2025).

Ayrıca, bireylerin sağlıkla ilişkili yaşam alışkanlıkları da iş güvenliği açısından dikkate değer bir başka boyuttur. Sigara ve alkol kullanımı gibi zararlı alışkanlıklar, bireyin reflekslerini ve odak süresini olumsuz yönde etkileyerek kazalara davetiye çıkarabilir. Bu tür alışkanlıkların, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) politikalarının kapsamına alınması gerektiği, literatürde sıkça vurgulanan bir noktadır (Ghani & Ridho, 2024).

1.1.2.2 İş Yeri ve Çevresel Faktörler

Sektörde sıkça rastlanan risklerin başında; yetersiz güvenlik önlemleri, bozuk ya da bakımsız makineler ve yüksekten düşme gibi ciddi fiziksel tehditler gelmektedir (Martinez et al., 2025). Bununla birlikte, kaygan zeminler, zayıf aydınlatma, olumsuz hava şartları gibi çevresel faktörler de çalışanların güvenliğini tehlikeye atan unsurlar arasında yer almaktadır (Friedman & Sanchez, 2023).

Özellikle kimyasal maddelere maruz kalma, çevresel tehlikeler içinde ayrı bir önem taşımaktadır. İnşaat ortamlarında sıklıkla karşılaşılan asbest, kurşun gibi zararlı maddeler; çalışanlarda solunum yolu hastalıkları, cilt problemleri gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu tür tehlikeleri en aza indirmenin yolu, zararlı kimyasalların doğru şekilde depolanması ve çalışanların kişisel koruyucu ekipmanları eksiksiz biçimde kullanmasının sağlanmasından geçmektedir (Stovall Construction Inc., 2023).

Öte yandan, inşaat süreçlerinde ortaya çıkan atıkların düzensiz bir şekilde birikmesi hem çevresel hem de fiziksel güvenlik açısından ciddi riskler doğurur. Bu atıkların uygun biçimde bertaraf edilmemesi; hareket alanını kısıtlayarak ekipman kaynaklı kazalara neden olabilir ve genel iş güvenliği seviyesini düşürebilir. Bu bağlamda,

etkili bir atık yönetim programı yalnızca çevresel sürdürülebilirliği desteklemekle kalmaz, aynı zamanda iş güvenliği performansını da artırır (SafetyStratus, 2021).

İş kazalarının önlenmesi için, çevresel faktörlerin sistematik biçimde analiz edilmesi ve risk unsurlarının önceden tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır. Çalışma alanlarının düzenli ve işlevsel şekilde planlanması, çevresel tehditlerin erken aşamada belirlenmesi ve çalışanların bu riskler hakkında bilinçlendirilmesi; kazaları azaltma yönünde etkili adımlar arasında sayılmaktadır (Safeopedia, 2024).

1.1.2.3 Ekipman ve Teknoloji Faktörleri

Ağır iş makinelerinin yoğun olarak kullanıldığı sahalarda, operatör hataları, ekipman arızaları ve periyodik bakım eksiklikleri, en sık karşılaşılan kaza nedenleri arasında yer almaktadır (Sherafat et al., 2019). Özellikle dar çalışma alanlarında toprak taşıma makinelerinin kullanılması, işçi-makine etkileşimini artırarak güvenlik risklerini ciddi ölçüde yükseltebilir (Gao et al., 2023). Ekipmana dayalı kazalar yalnızca teknik yetersizliklerden kaynaklanmaz; çoğu zaman operatörlerin yeterli eğitimi almamış olması ya da güvenlik protokollerine uyulmaması gibi insan faktörleri de devreye girer. Kişisel koruyucu ekipmanların kullanılmaması veya sahadaki uyarı işaretlerinin görmezden gelinmesi de bu bağlamda öne çıkan risk unsurlarıdır (Giri, 2020; Cheng et al., 2024).

Son yıllarda inşaat sektörüne entegre edilen yeni teknolojiler, süreçlerin daha verimli ve hızlı ilerlemesine olanak tanımaktadır. Ancak bu dönüşüm, beraberinde yeni tür güvenlik risklerini de getirmektedir. Özellikle yeni teknolojik sistemlerin mevcut güvenlik altyapısıyla uyumsuz şekilde sahaya entegre edilmesi ya da yeterli risk analizine tabi tutulmadan devreye alınması, kaza olasılıklarını artırabilir (Martin, 2022; Motive, 2025). İş güvenliği yalnızca uygulama sırasında alınan önlemlerle sınırlı değildir; proje tasarımı sürecinde yapılan ihmaller de ciddi güvenlik açıklarına neden olabilir. Tasarım aşamasında güvenlik unsurlarına yeterince yer verilmemesi, ilerleyen inşaat evrelerinde geri dönülmesi güç risklere zemin hazırlayabilir (Behm, 2005; Toole, 2002; Haslam et al., 2005). Bu nedenle, inşaat sahalarında iş kazalarının nedenlerini analiz ederken, sadece operasyonel değil; organizasyonel ve sistemsel boyutların da dikkate alındığı çok disiplinli bir yaklaşım benimsemek büyük önem taşımaktadır (Winge et al., 2019; Zhou et al., 2015).

1.1.3 İş Kazalarının Sonuçları

1.1.3.1 Çalışan Açısından

Sektörde yaşanan iş kazalarının etkileri, yalnızca fiziksel yaralanmalarla sınırlı değildir; bu tür olaylar, çalışanların psikolojik sağlığı üzerinde de derin ve uzun vadeli izler bırakabilmektedir. Yapılan araştırmalar, kazaya uğrayan çalışanlarda travma sonrası stres bozukluğu (TSSB), depresyon ve anksiyete gibi psikolojik rahatsızlıkların oldukça yaygın olduğunu göstermektedir (Ringgen et al., 2013). Bu tür psikolojik etkiler, çoğu zaman doğrudan yaşanan kazayla ilişkilidir ve uzun vadede iş gücünün verimliliğini azaltabilecek niteliktedir. Kazadan sonra tekrar benzer bir olay yaşanabileceği korkusu, çalışanların hem psikolojik dayanıklılığını hem de güvenlik odaklı farkındalığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu durum, performansta düşüşe ve güvenlik kurallarına karşı direnç gelişmesine dahi yol açabilir (Deldar Legal, t.y.).

Ekonomik açıdan bakıldığında ise, iş kazalarının çalışanlar üzerindeki yükü oldukça ağırdır. Yaralanmalar nedeniyle ortaya çıkan gelir kaybı, uzun süreli iş göremezlik hali ve sağlık hizmetlerine yönelik maliyetler, bireyin ekonomik güvenliğini ciddi şekilde sarsabilir. ABD’de yürütülen bir çalışmaya göre, yalnızca ölümle ya da yaralanmayla sonuçlanan kazaların toplam ekonomik yükü 11,5 milyar doları bulmaktadır (Waehrer et al., 2007). Ayrıca, kazaların ardından başlayan hukuki süreçler çalışan üzerinde ayrı bir baskı unsuru yaratmaktadır. Tazminat davalarının belirsizliği, sürecin uzaması ve sonuçların öngörülemezliği gibi durumlar, zaten stres altındaki çalışanların ruhsal dengesini daha da zorlayabilir. Literatürde bu süreçlerin, kazanın ardından yaşanan psikolojik travmayı daha da derinleştirdiği ifade edilmektedir (Baumgartner Law Firm, t.y.; OHS Online, 2020).

1.1.3.2 İşveren, Ekonomi ve Toplum Açısından

İşveren perspektifinden bakıldığında, bu kazaların yalnızca doğrudan mali yükler (tedavi giderleri, tazminatlar vb.) oluşturmakla kalmadığı; aynı zamanda üretim süreçlerinin sektöre uğraması, iş gücü verimliliğinin düşmesi, sigorta primlerinin artması ve kurum itibarının zedelenmesi gibi dolaylı ve uzun vadeli etkiler yarattığı görülmektedir (Chubb, 2023). Ulusal ölçekte ele alındığında ise, iş kazalarının kamu maliyesi üzerinde ciddi bir yük oluşturduğu açıkça görülmektedir. Sağlık

hizmetlerine ayrılan kaynaklar, tazminat ödemeleri ve iş gücü kaybı gibi maliyet unsurları, kamu bütçesinin etkin kullanımını engelleyen faktörler arasında yer alır. Nitekim, 2002 yılında ABD'de yapılan bir çalışmada, yalnızca inşaat sektöründe yaşanan ölümcül ve ciddi yaralanmaların toplam ekonomik etkisinin yaklaşık 11,5 milyar dolar olduğu hesaplanmıştır (Waehrer et al., 2007). Üstelik bu tür kazaların yatırım ortamını olumsuz etkileyebileceği ve ekonomik büyümeyi yavaşlatabileceği de araştırmalarda sıklıkla vurgulanmaktadır (National Safety Council, 2023).

Toplumsal düzlemde ise, iş kazalarının etkisi kazayı yaşayan çalışanla sınırlı kalmaz. Kazazedenin ailesi ve yakın çevresi de hem maddi hem de manevi olarak bu durumdan etkilenir. Kazaların yol açtığı gelir kaybı, psikolojik travmalar ve belirsizlik, aile bireylerinin yaşam kalitesini ciddi biçimde sarsabilir. Ayrıca, iş kazalarının yoğun yaşandığı sektörlerle yönelik toplumsal algı da zamanla olumsuzlaşmakta; bu durum, özellikle genç ve nitelikli iş gücünün sektöre ilgisini azaltarak uzun vadede iş gücü arzını tehdit etmektedir (Evercam, 2022).

1.2 İnşaat Sektöründe İş Kazaları

Kazalar yalnızca fiziksel yaralanmalarla sınırlı kalmaz; aynı zamanda çalışanların ruhsal sağlığı üzerinde de ciddi etkiler yaratır. Sonuç olarak, iş gücü kaybı ve ekonomik maliyetler kaçınılmaz hale gelir (Ghani & Ridho, 2024; Çilek, 2013). Sektörde yaşanan kazaların temel nedenleri arasında; uygun olmayan ekipman kullanımı, kişisel koruyucu donanım eksikliği, yetersiz denetim mekanizmaları, eğitimsizlik ve güvensiz çalışma ortamları öne çıkmaktadır. En yaygın görülen kaza türleri ise yüksekte düşme, malzeme düşmesi, elektrik çarpması, vinçle ilgili kazalar ve sıkışmalar şeklinde sıralanmaktadır (Karadağ & Kepekli, 2013; Jeelani et al., 2016). Ayrıca demografik faktörlerin de kaza riskini etkilediği çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur. Genç yaşta olan, düşük eğitim seviyesine sahip ve yeterli iş deneyimi bulunmayan çalışanların daha fazla risk altında olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, düzenli ve kapsamlı iş güvenliği eğitimlerinin sektörde uygulanması hayati önem taşımaktadır. Literatürde, bu tür eğitimlerin iş güvenliği farkındalığını artırarak kaza oranlarını düşürdüğü açıkça ifade edilmektedir (Ghani & Ridho, 2024; Karadağ & Kepekli, 2013).

İş kazalarının etkileri yalnızca bireyleri değil, işletmeleri de derinden etkileyebilmektedir. Kazalar üretim süreçlerinde aksamalara, iş gücü kayıplarına ve kurumsal itibarın zedelenmesine neden olabilmektedir (Çilek, 2013; Heredia Morante et al., 2024). Türkiye verilerine göre, yalnızca inşaat sektöründe her iş gününde ortalama 22 iş kazası yaşanmakta; bu kazaların her gün ortalama 1,2 çalışanı sürekli iş göremez hale getirdiği ve bir çalışanın yaşamını yitirdiği bildirilmektedir (Hämäläinen et al., 2006; Karadağ & Kepekli, 2013). Bu tablo karşısında, güvenli çalışma standartlarının yaygınlaştırılması ve sürekli eğitim programlarının uygulanması, kazaların önlenmesi açısından elzem görülmektedir. Literatür, bu tür uygulamaların iş kazası sıklığını azaltmada oldukça etkili olduğunu vurgulamaktadır (Heredia Morante et al., 2024).

1.2.1 Sektöre Özgü Risk Faktörleri

En sık karşılaşılan fiziksel riskler arasında yüksekten düşme, ağır makinelerin kullanımı, elektrik çarpması, ezilme ve sıkışma gibi durumlar yer almaktadır (Hacıbektaşoğlu, 2018). Özellikle kazı alanlarında meydana gelen kazaların çoğunun ölümle sonuçlandığı, bazı vakalarda bu oranın %60,9 gibi çarpıcı seviyelere ulaştığı belirtilmektedir (Karadağ & Kepekli, 2013). Makineleşmenin artmasıyla birlikte, teknolojik ilerlemelerin sağladığı avantajlara rağmen, çalışanlar yeni türde güvenlik riskleriyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum, iş güvenliği sistemlerinin teknolojiyle paralel olarak güncellenmesini zorunlu kılmaktadır (Darda'u Rafindadi et al., 2025).

Bunun yanı sıra, çalışanların bireysel özellikleri de kaza riskini etkileyen önemli bir değişkendir. Araştırmalar, özellikle genç, düşük eğitim seviyesine sahip ve sektörde yeterli deneyimi bulunmayan bireylerin daha fazla risk altında olduğunu göstermektedir. Bu da, iş güvenliği farkındalığının artırılmasında eğitimin vazgeçilmez bir araç olduğunu ortaya koymaktadır (Ghani & Ridho, 2024). Eğitim faaliyetlerinin etkisi yalnızca bilgi aktarmakla sınırlı değildir; aynı zamanda çalışanların riskleri fark etme, analiz etme ve uygun önlemleri alma konularında yetkinlik kazanmasını sağlamaktadır (Çilek, 2013).

Küçük ve orta ölçekli inşaat firmalarında (KOBİ'ler) ise iş sağlığı ve güvenliği sistemlerinin eksikliği sık karşılaşılan bir sorundur. Denetimlerin zayıf olması ve çalışanların yeterli eğitime ulaşamaması, bu tür işletmelerde kaza sayılarının ve

şiddetinin artmasına neden olmaktadır (Hacıbektaşoğlu, 2018). Literatürde, KOBİ’lerde koruyucu sistem eksikliklerinin iş kazası riskini önemli ölçüde artırdığına dair çok sayıda bulgu yer almaktadır. Bu bağlamda, inşaat sektörüne özgü risklerin doğru şekilde tespit edilmesi ve bu risklere özel önlemlerin alınması büyük önem taşımaktadır. Sürekli eğitim programlarının sürdürülmesi, etkili denetim mekanizmalarının kurulması ve sektöre özgü risk analizlerinin düzenli olarak güncellenip uygulanması, kazaların önlenmesinde literatür tarafından önerilen başlıca stratejiler arasında yer almaktadır (Ghani & Ridho, 2024; Karadağ & Kepekli, 2013).

1.2.2 Ulusal ve Uluslararası İstatistikler

Uluslararası Çalışma Örgütü’nün (ILO) verilerine göre, inşaat sektöründe çalışan bireyler diğer sektörlerle kıyasla çok daha yüksek bir ölümcül kaza riskiyle karşı karşıyadır. Gelişmiş ülkelerde bu riskin 3 ila 4 kat, az gelişmiş ülkelerde ise 3 ila 6 kat daha fazla olduğu belirtilmektedir (ILO, 2016). Bu veriler, sektörde proaktif iş sağlığı ve güvenliği yaklaşımlarının neden hayati olduğunu açıkça göstermektedir. Potansiyel tehlikelerin önceden tespit edilip gerekli müdahalelerin zamanında yapılması, kazaların önlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Bingöl, 2017). Hem küresel düzeyde hem de Türkiye özelinde inşaat sektörü, iş kazası oranlarının en yüksek olduğu alanlardan biri olarak öne çıkmaktadır. ILO’nun 2020 tarihli raporu, bu durumun hâlâ geçerliliğini koruduğunu ortaya koyar niteliktedir. Raporda, inşaat sektöründeki ölümcül iş kazalarının, gelişmiş ülkelerde diğer sektörlerin ortalamasının 3–4 katı, gelişmekte olan ülkelerde ise 3–6 katı kadar yüksek olduğu vurgulanmaktadır (ILO, 2020).

Eurostat’ın 2023 yılı verileri de bu durumu desteklemektedir. 2022 yılında Avrupa genelinde meydana gelen ölümcül iş kazalarının %22,9’unun inşaat sektöründe gerçekleştiği bildirilmiştir (Eurostat, 2023). Bu oran, yalnızca istatistiksel bir veri olmaktan öte, sektördeki güvenlik önlemlerinin ne kadar yetersiz kaldığını da gözler önüne sermektedir. Türkiye’deki durum da farklı değildir. Sosyal Güvenlik Kurumu’nun 2015–2019 verilerine göre, ölümlü iş kazalarının yaklaşık üçte biri inşaat sektöründe yaşanmıştır. Bu kazaların büyük bir bölümü, özellikle NACE 41 kodu ile sınıflandırılan bina inşaatı faaliyetlerinde kaydedilmiştir (Yılmaz & Korkmaz, 2021). Bu veriler, sektörün yerel düzeyde de ne kadar yüksek risk taşıdığını doğrular niteliktedir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde ise tablo benzer şekilde çarpıcıdır. U.S. Bureau of Labor Statistics'in 2024 raporuna göre, 2023 yılı içerisinde düşme, kayma ve takılma kaynaklı tüm ölümcül iş kazalarının %47,8'i inşaat işçileri arasında meydana gelmiştir (Procore, 2024). Bu oran, inşaat sektörünün yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda sistemsel güvenlik açıklarına da sahip olduğunu göstermektedir. Tüm bu veriler bir araya getirildiğinde, inşaat sektörünün hem ulusal hem uluslararası düzeyde yüksek riskli çalışma alanı olduğu gerçeği net bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda alınacak önlemler ve yürütülecek politika geliştirme süreçleri, yalnızca çalışan sağlığı için değil, aynı zamanda toplumsal refah ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından da büyük önem taşımaktadır.

1.2.3 İnşaat Sektöründe Önleyici Stratejiler

Risk temelli iş güvenliği yönetim sistemleri, sahada mevcut olan tehlike kaynaklarını henüz erken aşamada tespit ederek müdahale sürecinin etkinliğini artırmaktadır (Sousa, Almeida & Dias, 2014). Literatür, proaktif risk değerlendirme yöntemlerinin kazaları önlemede sağladığı olumlu katkıları sıklıkla vurgulamaktadır (Pinto, Nunes & Ribeiro, 2011). Eğitim, bu stratejilerin en temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkar. Özellikle sahada verilen uygulamalı eğitimlerin, dijital simülasyon ve görsel materyallerle desteklendiği çok katmanlı programların, geleneksel tek aşamalı yöntemlere kıyasla çok daha etkili sonuçlar doğurduğu ortaya konmuştur (Hayashi et al., 2023). Türkiye merkezli bir araştırma ise, düzenli aralıklarla yinelenen iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin, çalışanların kurallara uyum düzeyini kayda değer biçimde artırdığını ve kurumsal ölçekte güvenlik kültürünün yaygınlaştırılmasının uzun vadeli başarı için kritik olduğunu göstermiştir (Akboğa Kale & Yanık, 2018).

Kurumsal düzeyde güvenlik kültürünün benimsenmesi, iş kazalarını azaltmaya yönelik sürdürülebilir bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Bu kültürün oluşumunda üst yönetimin aktif katılımı, sadece yönetsel değil aynı zamanda davranışsal dönüşüm açısından da önem taşımaktadır. Aynı şekilde, çalışanların güvenlik uygulamalarına dahil edilmesi de sahadaki güvenli davranışların yaygınlaşmasını desteklemektedir (Tang, Wang & Omid, 2024). Eğitim, risk analizi ve kaza sonrası değerlendirmeyi içeren döngüsel bir güvenlik sistemi ise, uzun vadede kurumsal öğrenmeyi destekleyerek kalıcı bir güvenlik altyapısının oluşmasına olanak tanımaktadır (Carvajal, 2008).

Teknolojik gelişmeler de iş güvenliği alanına yenilikçi çözümler sunmaktadır. Sanal gerçeklik (VR) ve oyunlaştırılmış eğitim araçları, geleneksel yöntemlere göre çok daha etkili ve kalıcı öğrenme deneyimleri sağlamakta (Gao, Gonzalez & Yiu, 2018). Bununla birlikte, hareket algılama teknolojileri gibi sistemler, sahada oluşabilecek riskli davranışları anlık olarak saptayarak hızlı müdahale imkânı sunmakta ve böylece kazaların önüne geçilmesine katkı sağlamaktadır (Rahman vd., 2024).

1.2.4 Önlemlerin Sektörel Etkilerinin Analizi

İnşaat sektöründe uygulanan iş sağlığı ve güvenliği (İSG) politikaları, yalnızca kazaların önlenmesi açısından değil, aynı zamanda iş gücünün verimliliği ve projelerin genel başarısı üzerinde de doğrudan belirleyici etkilere sahiptir. Malezya’da yürütülen bir araştırma, kapsamlı İSG uygulamalarını benimseyen G3 sınıfı müteahhitlerin hem iş gücü kayıplarını azalttığını hem de proje süresi ve maliyet sapmalarını minimum düzeye çektiğini ortaya koymuştur. Buna karşılık, zayıf güvenlik uygulamalarının iş verimliliğinde anlamlı bir düşüşe yol açtığı tespit edilmiştir (Wong, Sapuan & Khan, 2023). Eğitim süreçlerine teknolojik araçların entegre edilmesi, sektörel performans üzerinde çarpıcı iyileştirmeler sağlamaktadır. Özellikle sanal gerçeklik ve ciddi oyunlara dayalı simülasyon sistemleri, çalışanların güvenlik davranışlarını geliştirme konusunda klasik eğitim yöntemlerinden çok daha etkili sonuçlar vermektedir. Bunun sonucunda yalnızca kaza oranlarında düşüş değil, aynı zamanda eğitim maliyetlerinde de önemli ölçüde tasarruf sağlandığı görülmektedir (Gao, Gonzalez & Yiu, 2018).

Kurumsal düzeyde güvenlik kültürünün güçlendirilmesi ve çalışanların bu sürece aktif biçimde dâhil edilmesi, iş güvenliği konusundaki motivasyonu artırmakta; buna paralel olarak olumlu liderlik anlayışı ve örgütsel destek de güvenli davranışları teşvik eden temel faktörler arasında sayılmaktadır (Al-Bayati, Al-Tahat & Al-Bayati, 2021). Bu kültürel dönüşüm, yalnızca bireysel davranış düzeyinde değil, sektörel performans göstergeleri üzerinde de kalıcı etkiler yaratmaktadır. Risk temelli yönetim sistemlerinin uygulanması, potansiyel tehlikelerin daha proje başlangıcında tespit edilmesini kolaylaştırmakta ve kaynakların stratejik biçimde yönlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu sistemler aracılığıyla işverenler, İSG yatırımlarını veriye dayalı biçimde planlayabilmekte ve daha yüksek verimlilik sağlayabilmektedir (Sousa, Almeida & Dias, 2014).

Öte yandan, hareket takibi gibi dijital izleme teknolojilerinin kullanımı da sahada büyük avantajlar sunmaktadır. Bu sistemler, tehlikeli davranışları anlık olarak tespit edebilmekte; böylece yaralanma oranlarının azalmasına katkıda bulunurken, özellikle büyük ölçekli projelerde zaman ve maliyet açısından önemli bir verimlilik sağlamaktadır (Rahman et al., 2024).

1.3 İş Kazalarının Etmenleri: “Çalışan mı, İş Yeri mi?”

İş kazalarının nedenleri, genel olarak iki ana başlık altında incelenmektedir: bireysel etmenler ve yapısal (iş yeri kaynaklı) faktörler. Bireysel düzeyde öne çıkan risk unsurları arasında sınırlı iş deneyimi, yetersiz eğitim, dikkat dağınıklığı ve kişisel koruyucu ekipmanların yanlış kullanımı yer almaktadır. Özellikle deneyimsiz çalışanların kaza geçirme olasılıklarının daha yüksek olduğu, zaman odaklı analizlerle desteklenmiş bulgularla ortaya konmuştur (Szóstak, 2019). Bununla birlikte, eğitim düzeyi ile güvenlik bilinci arasındaki pozitif ilişki, sistematik ve nitelikli eğitimin iş kazalarını azaltmada ne kadar etkili olduğunu göstermektedir (Saleh & Othman, 2022). Öte yandan, yapısal nedenler çoğunlukla iş yerindeki eksik güvenlik altyapısı, standart dışı uygulamalar, yetersiz denetim süreçleri ve yönetsel zafiyetlerden kaynaklanmaktadır. “Caught-in/between” tipi kazalar üzerine yapılan sistematik analizler, bu tür olayların çoğunlukla organizasyonel hatalardan kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Özellikle makinelerle temas riski taşıyan alanların net bir şekilde ayrılması ve gerekli koruyucu önlemlerin alınmaması, ciddi sonuçlara yol açan başlıca nedenler arasında yer almaktadır (Darda’u Rafindadi vd., 2025).

İş kazalarının nedenlerine dair literatürde en eski ve klasik yaklaşımlardan biri olan Heinrich’in “kaza üçgeni” modeli, vakaların yaklaşık %88’inin insan hatasına dayandığını ileri sürmektedir (Heinrich, 1931). Ancak, günümüzde yapılan daha güncel araştırmalar, bu yaklaşımın tek başına yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır. Yalnızca bireysel davranışlara ya da yalnızca sistemsel faktörlere odaklanmak, kazaların nedenlerini anlamada yüzeysel bir bakış açısı sunmaktadır. Bu nedenle, işçi davranışları ile iş yeri ortam koşullarının birlikte ele alınması gerektiği fikri giderek daha fazla kabul görmektedir. Bireysel performans ile kurumsal güvenlik önlemleri arasındaki etkileşim, iş kazalarının oluşum dinamiklerini belirleyen temel yapı taşları arasında yer almaktadır (Saleh & Othman, 2022; Szóstak, 2019). Bu

bütüncül yaklaşım, daha etkili önleme stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

1.3.1 Çalışan Kaynaklı Faktörler

Genç yaşta olmak, düşük eğitim düzeyine sahip olmak, sınırlı iş deneyimi ve yetersiz güvenlik bilgisi bu riskleri artıran başlıca etkenler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, kişisel koruyucu donanımın hatalı ya da eksik kullanımı ve güvenlik kurallarına uyulmaması da kazaların oluşumunda önemli rol oynamaktadır (Ghani & Ridho, 2024). Saha temelli araştırmalar, yalnızca bireysel bilinç düzeyinin değil, aynı zamanda çevresel ve yönetsel etmenlerin de çalışan davranışlarını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Düşük güvenlik bilinci, yetersiz denetim mekanizmaları ve işletme içindeki yapısal eksiklikler; çalışanların güvensiz hareketler sergilemesini teşvik edebilmektedir (Wang, Li & Zhang, 2022). Ayrıca çalışanların fizyolojik ve psikolojik durumu da güvenlik açısından göz ardı edilemeyecek bir etkidir. Dikkat eksikliği, fiziksel yorgunluk ve deneyim azlığı, işçilerin risk algısını zayıflatmakta ve bu durum kazaya açık davranışların artmasına neden olabilmektedir (Zhang, Li & Wang, 2023).

Ekip içinde etkili bilgi paylaşımı ve yönetsel desteğin varlığı ise güvenli davranışları güçlendiren önemli dinamiklerdendir. Yönetimin iş güvenliği konusundaki kararlı tutumu ile öğrenmeye dayalı iletişim kültürü, çalışanların güvenlik performansını olumlu yönde etkileyebilmektedir. Bayesian ağ analizine dayalı bir çalışmada, bu tür faktörlerin güvenli davranışların oluşmasında istatistiksel olarak anlamlı katkı sunduğu ortaya konmuştur (Meng, Li & Zhou, 2023). Ayrıca deneyim düzeyinin artması, çalışanların zamanlama ve tehlike analizine yönelik becerilerini geliştirmekte; bu da potansiyel kazaların önlenmesine katkı sunmaktadır. Daha kıdemli işçilerin, riskli durumları daha çabuk fark edip önlem alma konusunda daha başarılı oldukları vurgulanmaktadır (Szóstak, 2019). Bu bağlamda, uygulamalı eğitimlerin ve sahada deneyimli çalışanlar eşliğinde yapılan rehberliğin ne denli kritik olduğu bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

1.3.1.1 Demografik Özellikler ve Kişilik

Yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi ve iş tecrübesi gibi değişkenler, bireylerin risk algısını ve güvenli davranış gösterme eğilimini doğrudan etkileyebilmektedir. Örneğin Çin’de yürütülen bir araştırma, kadın çalışanların güvenlik bilincinin erkek

meslektaşlarına kıyasla daha düşük olduğunu; özellikle eğitim seviyesi düşük bireylerin ise tehlikeleri tanıma konusunda zorlandığını ortaya koymuştur (Gao, González & Yiu, 2019). Bu sonuçlar, güvenlik eğitimlerinin katılımcıların demografik özelliklerine göre uyarlanması gerektiğini açıkça göstermektedir. Yaş faktörü de kazaların hem sıklığı hem de sonuçları açısından belirleyici bir başka değişkendir. Genç çalışanlar, sınırlı deneyimlerinden dolayı özellikle işe başladıkları ilk dönemlerde daha sık kazaya karışmaktadır. Buna karşılık, daha ileri yaştaki çalışanlar daha az sayıda kazaya karışsalar da bu tür kazaların genellikle daha ciddi sonuçlar doğurduğu literatürde ifade edilmektedir (Szóstak, 2019; Yang et al., 2024).

Demografi kadar kişilik özellikleri de güvenli iş davranışlarını şekillendiren önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Beş Faktör Kişilik Kuramı çerçevesinde yapılan çalışmalar, yüksek sorumluluk düzeyine sahip bireylerin güvenlik kurallarına daha sık uyduğunu; buna karşın dışadönüklük ve duygusal istikrarsızlık gibi özelliklere sahip bireylerin daha riskli davranışlara meyilli olduğunu ortaya koymuştur (Gao et al., 2019). Dahası, proaktif kişilik özellikleri gösteren çalışanların potansiyel riskleri daha erken fark ederek güvenli uygulamalarda öncü rol üstlendikleri belirlenmiştir. Bu bulgular, iş sağlığı ve güvenliği stratejilerinin yalnızca genel yaklaşımlar üzerinden değil, aynı zamanda bireysel farklılıkları gözeterek esnek modeller üzerinden tasarlanması gerektiğini işaret etmektedir. Örneğin, genç çalışanlar için simülasyon tabanlı interaktif eğitim programları, ileri yaştaki çalışanlar için ergonomik düzenlemeler; yüksek kaygı düzeyi gösteren çalışanlar için ise stres yönetimi odaklı müdahaleler daha etkili ve sürdürülebilir sonuçlar verebilir (Ghani & Ridho, 2024; Wang, Li & Zhang, 2022).

1.3.1.2 Eğitim, Beceri, Yorgunluk ve Psikososyal Etkenler

Uygulamalı bilgi eksikliği ya da yetersiz eğitim, güvenlik talimatlarının doğru şekilde uygulanmasını zorlaştırarak, tehlikeli davranışlara zemin hazırlayabilir (Namian, Albert & Zuluaga, 2020). Sahada karşılaşılan birçok riskli durumun, doğrudan bilgi eksikliğinden kaynaklandığı yapılan çalışmalarla da desteklenmektedir. Fiziksel ve zihinsel yorgunluk da iş güvenliğini tehdit eden ciddi bir faktördür. Uzun çalışma saatleri, yüksek iş yükü ve yetersiz dinlenme süresi; çalışanların dikkatini azaltmakta, reflekslerini yavaşlatmakta ve karar alma

mekanizmalarını zayıflatmaktadır. Bu tür zihinsel tükenmişlik halleri, kaza riskinin belirgin şekilde artmasına yol açmaktadır (Namian et al., 2020).

Psikososyal etkenler de güvenli davranışları doğrudan etkileyen diğer bir boyuttur. İş stresi, sürekli kaygı hali, depresyon belirtileri gibi psikolojik durumlar; çalışanların güvenlik kurallarına olan bağlılığını zayıflatabilmektedir. Aynı şekilde, düşük iş güvencesi, yeterli sosyal destek eksikliği ve iş-yaşam dengesizliği gibi yapısal sorunlar da çalışanların riskli davranışlar göstermesini kolaylaştırmaktadır (Fajarudin, Erwandi & Kadir, 2021; Miyanda et al., 2024). İşyeri ortamında hâkim olan güvenlik iklimi, çalışanların psikososyal yükünü hafifletmede önemli bir rol oynar. Güvenlik kültürünün güçlü olduğu kurumlarda, çalışanların psikolojik refah düzeyleri daha yüksek olmakta; bu da güvenlik kurallarına olan uyumu doğrudan olumlu yönde etkilemektedir (Guo et al., 2025). Ayrıca bireylerin psikolojik dayanıklılığı da bu süreçte belirleyici bir değişkendir. Yüksek dayanıklılık düzeyine sahip çalışanlar, stresli ve baskı altındaki ortamlarda bile güvenli davranış sergileme eğilimini sürdürebilmektedir (Lu et al., 2023).

1.3.2 İş Yeri, Ortam ve Ekipman Kaynaklı Faktörler

İş kazalarının önemli bir kısmı, kişisel koruyucu donanımın (KKD) yetersiz ya da hatalı kullanımından kaynaklanmaktadır. Mısır'da yürütülen bir çalışmada, işçilerin %60'ının KKD kullandığı; ancak %64,3'ünün son bir yıl içinde en az bir kez kazaya karıştığını belirtmesi, bu ekipmanların yalnızca sağlanmasının yeterli olmadığını açıkça ortaya koymaktadır (Abdelhamid & Everett, 2021). Al-Bayati ve Al-Zubaidi'nin (2023) bulgularına göre, bu durumun ardında yatan nedenler arasında KKD ile ilgili eğitim eksiklikleri, kullanım konforu sorunları ve zayıf denetim mekanizmaları yer almaktadır. Bu veriler, koruyucu donanım kullanımının davranışsal ve yönetsel yaklaşımlarla desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

Bununla birlikte, inşaat alanının fiziksel çevresi de kazaların oluşumunu etkileyen temel faktörlerden biridir. Yetersiz aydınlatma, düzensiz zemin yapısı, yüksek düzeyde gürültü ve sürekli titreşim gibi çevresel koşullar, çalışanların dikkat düzeyini düşürerek düşme, kayma ya da çarpma gibi kazaların artmasına yol açmaktadır. Bu bağlamda NIOSH (2023), çevresel tehlikeleri azaltmak amacıyla sabit güvenlik bariyerleri, kaymaz yüzey malzemeleri ve titreşim önleyici mühendislik çözümlerinin kullanımını önermektedir. Ekipmanların teknik durumu

ve bakım düzenliliği de iş güvenliği açısından kritik önemdedir. Arızalı ya da bakımı aksatılmış araçların kullanılması, özellikle operatör hatalarıyla birleştğinde ciddi ve çoğu zaman geri dönüşü olmayan kazalara neden olabilmektedir. Bu tür risklerin önüne geçmek için, ekipmanların üretici talimatlarına uygun şekilde bakımının yapılması ve periyodik kontrollerle işlevselliğinin denetlenmesi büyük önem taşımaktadır (Giri, 2020).

İş yerindeki güvenlik seviyesini sürdürülebilir kılmak, yalnızca fiziksel önlemlerle değil; aynı zamanda stratejik yönetim anlayışlarıyla da doğrudan ilişkilidir. CDC'nin (2023) önerdiği "Tehlike Kontrol Hiyerarşisi" yaklaşımı, riskin tamamen ortadan kaldırılmasını en etkili çözüm olarak tanımlar. Bu hiyerarşide ikinci ve üçüncü basamakta sırasıyla mühendislik çözümleri ve idari uygulamalar yer almakta; en son aşamada ise kişisel koruyucu donanım kullanılmaktadır. Bu koruma basamaklarının herhangi birinin ihmal edilmesi ya da eksik uygulanması, özellikle denetim eksikliklerinin bulunduğu alanlarda, iş kazalarının kaçınılmaz hale gelmesine neden olabilmektedir.

1.3.2.1 Fiziksel Çevre ve İklim Koşulları

Sıcak hava koşulları, çalışanlar üzerinde ısı stresi yaratmakta; baş dönmesi, sıvı kaybı, bayılma gibi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu fiziksel rahatsızlıklar, yalnızca bireysel sağlığı tehdit etmekle kalmaz, aynı zamanda dikkat dağınıklığına yol açarak karar verme süreçlerini de zayıflatır (Marsh, 2023). Sıcaklık artışına bağlı olarak düşen üretkenlik, proje sürelerinde sapmalara neden olabilir ve genel iş verimini olumsuz yönde etkileyebilir. Benzer şekilde, düşük sıcaklık koşulları da güvenli çalışma ortamını tehdit eden unsurlar arasında yer almaktadır. Soğuk hava, kas reflekslerini yavaşlatmakta ve motor beceriler üzerinde kısıtlayıcı etkiler yaratmaktadır. Bu durum, özellikle yüksekte çalışma gerektiren ya da hassas motor hareketleri isteyen görevlerde hata yapma riskini artırmaktadır (Oxford Research Encyclopedia, 2019). Soğukla ilişkili sağlık problemleri arasında hipotermi ve soğuk çarpması gibi ciddi durumlar da yer almaktadır; bu tür rahatsızlıklar çalışanların sağlığını doğrudan tehdit edebilmektedir (Yang et al., 2024).

Yağmur, rüzgâr, nem, buzlanma gibi iklimsel değişkenler de çalışma ortamının risk düzeyini artırmaktadır. Kaygan zeminler, su birikintileri ve don olayları, düşme ve

kayma kazalarında artışa neden olurken; şiddetli rüzgarlar, vinçlerin, iskelelerin veya geçici yapıların devrilme riskini ciddi biçimde yükseltmektedir. Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (2023), iklim değişikliğinin tetiklediği aşırı hava olaylarının bu tür kazaların sıklığını artırdığını açıkça ifade etmektedir. Bu çevresel risklerin etkisini azaltmak için, şantiye koşullarının iklimsel verilere göre yeniden düzenlenmesi hayati önemdedir. U.S. Environmental Protection Agency (2022), çalışma saatlerinin sıcaklık ve nem düzeylerine göre uyarlanması; gölgelik alanlar, ısıtıcı sistemler gibi destekleyici altyapıların sahada bulundurulmasını ve iklim koşullarına uygun kişisel koruyucu donanım kullanımının teşvik edilmesini önermektedir. Ayrıca, çalışanlara yönelik iklim temelli farkındalık eğitimlerinin düzenlenmesi ve olası acil durumlara karşı önceden belirlenmiş prosedürlerin açık şekilde tanımlanması, proaktif güvenlik yönetimi kapsamında kritik adımlar olarak değerlendirilmektedir.

1.3.2.2 Yönetim Sistemi ve İş Güvenliği Kültürü

Al-Bayati ve Al-Zubaidi'nin (2021) araştırması, güçlü bir güvenlik kültürünün, çalışanlarda güvenlik motivasyonunu artırdığını ve kural uyumunu pozitif yönde etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, İSG uygulamalarının başarısının yalnızca teknik önlemlere değil, aynı zamanda çalışanların tutumlarına ve davranış kalıplarına sıkı sıkıya bağlı olduğunu göstermektedir. Güvenlik kültürü alanındaki çalışmalar, özellikle liderliğin çalışan davranışları üzerindeki etkisine ve yönetsel bağlılığın güvenli davranış normlarının oluşumundaki kritik rolüne dikkat çekmektedir. Nygren ve arkadaşları (2023), güvenlik kültürü literatürünün dört ana boyutta şekillendiğini belirtmektedir: sorun alanlarının tanımlanması, kültürel yapının görünür kılınması, değerlendirme yöntemleri ve liderliğin etkisi. Bu çerçevede, etkili liderlik programları hem çalışan katılımını teşvik etmekte hem de sahada gönüllü güvenlik davranışlarının gelişimini desteklemektedir.

Ayrıca, çalışanların sürece aktif biçimde dahil edilmesi ve taşeron firmalarla kurulan ilişkilerin sağlıklı biçimde yönetilmesi, İSG sistemlerinin başarısını doğrudan etkileyen diğer önemli faktörler arasında yer almaktadır. Okonkwo ve Wium'un (2022) Güney Afrika'daki saha araştırması, katılımcı nitelikteki eğitimlerin, periyodik denetim süreçlerinin ve işyeri güvenlik komitelerinin İSG politikalarının benimsenmesinde etkili olduğunu ve bu uygulamaların kazalarla duraksamaların azaltılmasına katkı sunduğunu ortaya koymuştur. Bu kapsamda,

sağlam bir güvenlik kültürünün inşası, yalnızca yönetsel irade ile değil, saha personelinin de sürece etkin katılım gösterdiği bütüncül bir yaklaşımla mümkün olmaktadır. İSG yönetim sistemlerinin getirileri yalnızca iş kazalarının azaltılmasıyla sınırlı kalmamaktadır. CMAA'nın (2023) yayımladığı rapor, güçlü bir güvenlik kültürünün şirket kârlılığını %15 ila %20 oranında artırabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, Kyro (2023), sürdürülebilir bir İSG başarısı için sürekli iyileştirme yaklaşımının benimsenmesi ve bu sürecin ölçülebilir performans hedefleriyle desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

1.3.2.3 Makine, Araç ve Teknoloji Kullanımı

Sanal gerçeklik (VR), yapay zekâ (AI) ve nesnelerin interneti (IoT) gibi yenilikçi teknolojiler, özellikle personel eğitimi, tehlikelerin önceden tespiti ve sahadaki anlık durumların takibi gibi alanlarda güvenlik performansını önemli ölçüde artırma potansiyeline sahiptir (Daniel, Smith & Lee, 2025). Bu dijital araçlar, çalışanların risk farkındalığını artırmak amacıyla simülasyon tabanlı senaryolar sunmakta ve aynı zamanda veri toplama kapasitesiyle hızlı müdahale sistemlerini desteklemektedir. Makine öğrenmesi (ML) teknikleri, ergonomik değerlendirme ve risk sınıflandırması gibi alanlarda yüksek doğruluk oranları ile öne çıkmaktadır. Nadler (2024), bu algoritmaların sahadaki potansiyel tehlikeleri sistematik biçimde tanımlamada etkin olduğunu belirtirken, veri gizliliği ve algoritmaların şeffaflığı gibi etik boyutlara dair tartışmaların sürdüğünü de vurgulamaktadır. Bu durum, teknolojik araçların hem fırsat hem de sorumluluk içeren yönlerine işaret etmektedir.

Özellikle bilgisayarla görme teknolojileri, iş makinesi ile çalışan arasındaki etkileşimlerin kontrol altına alınmasında dikkat çekici avantajlar sunmaktadır. Zhang ve Zhang (2021), ekskavatör operasyonlarının gerçek zamanlı görüntü işleme yöntemleriyle izlenmesinin güvenlik açısından somut katkılar sağladığını rapor etmiştir. Liu, Zhang ve Chen'in (2024) geliştirdiği sistem, KKD (kişisel koruyucu donanım) kullanımını YOLOv8 algoritması aracılığıyla otomatik biçimde saptayarak uygunsuzluk durumlarında anında uyarı vermektedir. Bu tür sistemler, insan hatalarına karşı hızlı müdahale imkânı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, giyilebilir teknolojiler ve genişletilmiş gerçeklik (XR) uygulamaları da güvenlik alanında yeni bir perspektif sunmaktadır. Brandel'in (2024) belirttiği üzere, akıllı kasklar ve sensör destekli koruyucu giysiler, çalışanların biyometrik

verilerini sürekli izleyerek yorgunluk, ısı stresi gibi riskleri önceden tahmin etmeye olanak tanımaktadır (Liu, Chen & Wang, 2022). Ayrıca, Pereira, Costa ve Silva'nın (2025) çalışmasında, gerçek zamanlı konum takibi yoluyla çalışanların yüksekte düşme gibi ciddi kazalara karşı korunabileceği ortaya konmuştur.

1.3.3 İnşaat Sektörüne Özgü Karşılaştırmalı Değerlendirme

Farklı ülkelerde yürütülen karşılaştırmalı çalışmalar, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) uygulamalarının etkinliğinde bazı ortak değişkenlerin öne çıktığını göstermektedir. Tayland'da yapılan bir araştırma, yöneticilerin güvenliğe verdiği önemin, sürekli eğitim uygulamalarının ve güçlü denetim sistemlerinin iş kazalarının azaltılmasında belirleyici olduğunu ortaya koymuştur (Aksorn & Hadikusumo, 2008). Bu bulgular, İSG stratejilerinin her ülkenin kendine özgü yapısal ve kültürel koşullarına uyarlanması gerektiğine işaret etmektedir. İnşaat firmalarının ölçekleri ve sahip oldukları kaynaklar, uygulanan güvenlik politikalarının kapsamını doğrudan etkilemektedir. Hong Kong örneğinde, büyük ölçekli firmaların gelişmiş güvenlik altyapılarına, ayrılmış bütçelere ve uzman kadrolara sahip olmalarının İSG performansını olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir (Tam, Zeng & Ho, 2004). Bu da organizasyonel kapasitenin iş güvenliği uygulamalarına somut katkılar sunduğunu göstermektedir.

Kültürel değerlerin güvenlik yönetimine entegrasyonu, özellikle gelişmekte olan ülkelerde ön plana çıkmaktadır. Pakistan'da yürütülen bir çalışmada, güvenlik kültürü güçlü olan projelerde çalışanların daha güvenli davranışlar sergilediği ve iş kazalarının belirgin biçimde azaldığı belirlenmiştir (Choudhry & Fang, 2008). Benzer şekilde, Avustralya'daki projeler üzerine yapılan araştırmalar, belgelenmiş güvenlik sistemleri, performansa dayalı ölçüm teknikleri ve sürekli izleme mekanizmalarının sahadaki tehlikeleri azaltmada etkili olduğunu ortaya koymuştur (Lingard & Rowlinson, 2005). Bununla birlikte, sahadaki olumlu güvenlik ikliminin, çalışanların kurallara uyumunu artırarak kazaların önlenmesine katkı sunduğu vurgulanmaktadır (Mohamed, 2002). Kaza verileri incelendiğinde, fiziksel ortam koşullarının yanı sıra bireysel ve psikososyal değişkenlerin de iş kazalarının oluşumunda önemli rol oynadığı görülmektedir. Bu durum, yalnızca teknik ve organizasyonel nedenlerin değil, aynı zamanda çalışanların dikkat düzeyi, stres seviyesi, yaş ve deneyim gibi bireysel özelliklerin de bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Gürbüz & Tokmak, 2018;

Demirbilek & Özsoy, 2020). Böylelikle hem önleyici stratejilerin etkinliği artırılabilir hem de müdahale yöntemleri daha isabetli biçimde tasarlanabilir.

Sawicki ve Szóstak'ın (2020) iskele çalışanları üzerinde yaptığı analiz, bu bütüncül yaklaşımı matematiksel bir modele dönüştürmüştür. Araştırmacılar, kazaya neden olan her parametreye bir katkı oranı atayarak riski “ $W = i/j$ ” formülüyle nicel hale getirmiştir. Bu oranlar teknik (W_t), organizasyonel (W_o) ve insan faktörleri (W_h) olarak üç grupta toplanmış; ardından her grubun etkisi ağırlıklı ortalama yöntemiyle birleştirilerek genel risk puanı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$W_z = \frac{(W_t \cdot 0,25 + W_o \cdot 0,48 + W_h \cdot 0,27)}{(0,25 + 0,48 + 0,27)} \quad (1.1)$$

Bu formülde, organizasyonel faktörlere tanınan %48'lik ağırlık, söz konusu değişkenin kazaların oluşumundaki baskın rolünü vurgulamaktadır. Model, hem nadiren gerçekleşen ama ağır sonuç doğuran olayları hem de sık yaşanan hafif kazaları dengeleyerek, farklı iskele türleri için karşılaştırılabilir ve bütünsel bir risk skoru geliştirilmesini mümkün kılmıştır (Sawicki & Szóstak, 2020).

LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Analiz Hazırlıkları

2.1.1 Geçmiş İş Kazası Verilerinin Analizi ve Kullanımı

İnşaat sektöründe daha güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak için geçmiş iş kazalarına ait kayıtların sistematik biçimde analiz edilmesi, vazgeçilmez bir ön hazırlık sürecidir. Bu kayıtlar yalnızca olay anını değil, aynı zamanda kazaların türlerini, gerçekleştiği zaman dilimlerini, etkilenmiş çalışan profillerini ve çevresel koşulları da içermektedir. Doğru analiz teknikleri kullanıldığında, bu veriler olası tehlikeleri önceden saptamaya olanak tanıyarak proaktif güvenlik stratejilerinin oluşturulmasında güçlü bir temel sunar (Capitol Technology University, 2023). Polonya’da gerçekleştirilen 630 iş kazasının incelendiği bir çalışmada, kazaların önemli bir kısmının işçinin göreve ilk başladığı haftalarda meydana geldiği saptanmıştır. Bu bulgu, oryantasyon süreçlerinin zamanlamasının ve içerik kalitesinin ne denli hayati olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Szóstak, 2019).

“Caught-in/between” kategorisine giren kazalara yönelik yapılan ayrıntılı analizlerde, bu tür olayların büyük oranda makine arızaları, yapı çökmeleri ya da eksik bakım gibi teknik sebeplerden kaynaklandığı görülmüştür. Özellikle taşıeron firmalarda bu kazaların daha sık yaşandığı dikkat çekmektedir. Bu durum, küçük ölçekli inşaat firmalarında denetim süreçlerinin ve bakım prosedürlerinin daha sistemli ve düzenli bir şekilde yürütülmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Darda’u Rafindadi et al., 2025). Sun, Li ve Zhang’ın (2024) geliştirdiği "Genişletilmiş Kaza Üçgeni" modeli, nadiren gerçekleşen fakat yıkıcı sonuçlar doğurabilecek kazaların analiz dışında bırakılmaması gerektiğini vurgulamaktadır. Söz konusu model, veri setlerindeki dengesizlikleri ağırlıklandırma yöntemiyle telafi ederek, makine

öğrenimi destekli öngörü modellerinin doğruluk düzeyini artırmayı hedeflemektedir.

Benzer şekilde, Tixier ve Hallowell'in (2023) gerçekleştirdiği çalışmada, 57.000 iş kazası kaydını içeren çok şirketli veri setleriyle geliştirilen modellerin, yalnızca tek bir firmaya ait verilerle oluşturulanlara kıyasla daha yüksek doğrulukla çalıştığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, küçük ölçekli firmaların sektörel veri paylaşım ağlarına entegre edilmesinin, öngörüye dayalı analizlerin gücünden daha fazla faydalanmalarını sağlayabileceğini göstermektedir.

2.1.2 Veri Kaynakları ve Toplama Yöntemleri

Geleneksel veri toplama araçları arasında yer alan kaza formları ve saha gözlem raporları hâlâ önemini korumakla birlikte, teknolojinin gelişmesiyle birlikte veri kaynakları da çeşitlenmiş ve derinleşmiştir. Özellikle giyilebilir teknolojiler aracılığıyla elde edilen biyometrik veriler, saha ortamının gerçek zamanlı takibini mümkün kılmakta; hava durumu sensörleri, ekipman bakım geçmişi ve çalışan davranış analizleri gibi çok boyutlu veri kaynakları, proaktif güvenlik uygulamalarına güçlü bir zemin oluşturmaktadır (Capitol Technology University, 2023).

Polonya'da gerçekleştirilen ve 630 kazanın analiz edildiği bir çalışmada, kazaların önemli bir kısmının işe yeni başlayan bireylerin ilk haftalarında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu bulgu, zaman temelli veri kaydının yalnızca bir istatistiksel araç değil, aynı zamanda risk analizini daha hassas ve hedefe yönelik hâle getiren kritik bir bileşen olduğunu göstermektedir (Szóstak, 2019). Benzer şekilde, Darda'ı Rafindadi ve arkadaşlarının (2025) caught-in/between olarak tanımlanan kazalar üzerine yaptığı inceleme, bu olayların büyük ölçüde makine arızaları, yetersiz bakım ve yapısal düzensizlikler gibi teknik sorunlardan kaynaklandığını ortaya koymuştur. Araştırmacılar, özellikle küçük çaplı ve taşeron firmalarda sistematik veri toplama kültürünün eksikliğine dikkat çekerek, sektörde veri standardizasyonunun oluşturulması gerektiğini vurgulamışlardır.

Makine öğrenimi tekniklerinin kazaların öngörülmesinde kullanıldığı bir diğer çalışmada, Sun, Li ve Zhang (2024), düşük sıklıkta ancak ağır sonuçlara yol açan kazaların analizlerde ihmal edilmemesi gerektiğini savunmuş; bu olayları analiz sürecine dahil eden "Genişletilmiş Kaza Üçgeni" modeliyle algoritmaların

doğruluk oranlarını artırmayı başarmışlardır. Tixier ve Hallowell'in (2023) 57.000 kaza verisi üzerinde gerçekleştirdikleri araştırma da çoklu firma verilerini kullanan modellerin, tek şirket verileriyle geliştirilen modellere kıyasla daha yüksek tahmin başarısı sunduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, özellikle küçük ve orta ölçekli firmaların sektörel veri havuzlarına katkıda bulunmasının, daha kapsayıcı ve etkili iş güvenliği stratejilerinin inşasında temel rol oynayabileceğini göstermektedir.

2.1.2.1 SGK Yıllıkları

Türkiye'de iş kazalarına ilişkin en sistematik ve bütüncül veri seti, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından düzenli olarak yayımlanan İstatistik Yıllıkları aracılığıyla sunulmaktadır. Bu yıllıklar, kaza türlerinden gerçekleşme zamanlarına, şiddet derecelerinden sonuçlarına kadar çok boyutlu bilgiler içermekte; bu yönüyle sektörel risk analizlerinin yapılmasına ve etkili İSG politikalarının geliştirilmesine somut katkılar sağlamaktadır. Uzdil ve Güllüoğlu'nun (2020), 2011–2020 yıllarına ait SGK verilerini esas alan analizinde, inşaat sektörünün kaza yoğunluğu açısından maden, taşımacılık ve metal sanayi gibi yüksek riskli alanlarla benzer bir düzeyde yer aldığı saptanmıştır. Söz konusu kazaların büyük çoğunluğunun, yetersiz eğitim programları ve koruyucu sistem eksiklikleri nedeniyle meydana geldiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Çavuş ve Taçgın (2016) tarafından yapılan araştırma, ölümle sonuçlanan iş kazalarının önemli bir kısmının yüksekte düşme kaynaklı olduğunu ortaya koyarak, bu tür ortamlarda toplu koruma önlemlerinin yaygınlaştırılmasının elzem olduğunu vurgulamıştır.

Bayram (2018), SGK kayıtlarını baz alarak yürüttüğü çalışmada iş kazalarının zaman aralığına göre dağılımına dikkat çekmiş; sabah saat 09:00–11:00 ve öğleden sonra 14:00–16:00 dilimlerinde kaza oranlarının belirgin şekilde arttığını ifade etmiştir. Bu durum, çalışma saatlerinin daha güvenli zaman dilimlerine göre yeniden yapılandırılması ve molaların stratejik biçimde planlanmasının kaza oranlarını azaltabilecek potansiyel müdahaleler arasında yer aldığını göstermektedir. Öte yandan, SGK verilerinde işverenlerin tutumları ve çalışanların güvenlik bilinci düzeyi de dikkat çekici bir boyut olarak öne çıkmaktadır. Yağimli ve Hacıbektaşoğlu'nun (2018) bulguları, birçok işverenin hâlâ iş sağlığı ve güvenliği yatırımlarını maliyet unsuru olarak değerlendirdiğini ve bu nedenle çalışanların yeterli hazırlık yapılmaksızın şantiyelere gönderildiğini göstermektedir. Veriler, SGK istatistiklerinin yalnızca olayları izlemekle kalmayıp,

aynı zamanda politika oluşturma, izleme ve müdahale planlamasında stratejik bir kaynak olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. SGK yıllıkları erişimi” www.sgk.gov.tr “internet adresinden yapılmaktadır (SGK, 2024).

2.1.2.2 SGK Geçmiş Kaza Veri Seti

SGK’nın 2014–2022 yıllarını kapsayan ve yaklaşık 65.000 kayıttan oluşan geniş veri seti, Türkiye’de inşaat sektörünün iş sağlığı ve güvenliği (İSG) profilini derinlemesine incelemek için önemli bir kaynak niteliğindedir. Yağımlı ve Hacıbektaşoğlu’nun (2018) bu veri setine dayalı analizleri, inşaat sektörünün sigortalı çalışanlar arasında en yüksek kaza ve ölüm oranlarına sahip alanlardan biri olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Özellikle artan kaza sıklığı ile kalıcı sakatlık ve ölüm olayları arasında anlamlı bir pozitif ilişki tespit edilmiştir. Sektörün karşılaştığı en kritik tehlikelerden biri, yüksekte çalışmaya bağlı olarak meydana gelen ölümcül kazalardır. Çavuş ve Tagın’ın (2016) bulgularına göre, bu tür kazaların yaklaşık %68’i yüksekte düşme nedeniyle yaşanmakta ve çoğunlukla yeterli toplu koruma önlemlerinin alınmamış olması bu oranı artırmaktadır. Bu durum, yüksek irtifada yürütülen faaliyetlerde güvenlik altyapısının geliştirilmesinin ne kadar hayati olduğunu göstermektedir.

Bayram (2018), iş kazalarının gün içindeki dağılımını mercek altına aldığı çalışmasında, vakaların özellikle sabah 09:00–11:00 ve öğleden sonra 14:00–16:00 saat dilimlerinde yoğunlaştığını saptamıştır. Bu zaman aralıklarında dikkatin dağılması ve fiziksel yorgunluğun artması gibi etkenler, iş kazası riskini belirgin biçimde yükseltmektedir. Dolayısıyla, vardiya planlamaları, mola düzenlemeleri ve iş döngülerinin bu bulgular doğrultusunda yeniden yapılandırılması gerektiği önerilmektedir. Veri seti, işveren tutumları ve çalışan eğitiminin niteliği konusunda da dikkat çekici ipuçları sunmaktadır. Yağımlı ve Hacıbektaşoğlu’nun (2018) araştırması, birçok işverenin İSG yatırımlarını hâlâ maliyet kalemi olarak değerlendirdiğini ve bu nedenle çalışanların sahaya yeterli hazırlık yapılmadan gönderildiğini ortaya koymuştur. Bu yaklaşım, kazaların oluşmasında doğrudan etkili bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Ayrıca, nitelik gerektirmeyen iş pozisyonlarında meydana gelen yüksek kaza ve ölüm oranları, sektör açısından ayrı bir risk alanı teşkil etmektedir. Gümüş’n (2017) SGK verilerine dayalı incelemesinde, düşük vasıflı iş gücünün ciddi ölçüde

risk altında olduğu ve bu durumun çoğunlukla mesleki eğitim eksikliğinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu bulgular ışığında, özellikle vasıfsız işçilere yönelik hedeflenmiş eğitim ve beceri kazandırma programlarının öncelikli bir politika alanı hâline getirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

2.1.3 Verilerin Kullanım Alanları

İnşaat sektöründe toplanan iş sağlığı ve güvenliği (İSG) verileri; yalnızca risk analizi yapmakla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda eğitim içeriklerinin oluşturulmasından politika geliştirmeye ve dijital çözümlerin sisteme entegre edilmesine kadar pek çok alanda aktif biçimde değerlendirilmektedir. Metin, ses, görsel ve sensör verilerinin bir araya gelmesiyle oluşan çok kaynaklı veri yapısı, potansiyel iş kazalarının daha erken tespit edilmesini mümkün kılmakta ve önleyici stratejilerin daha hedefe yönelik biçimde planlanmasına katkı sunmaktadır (Meng, Li & Zhou, 2022). Özellikle büyük veri teknolojilerinin sektöre entegre edilmesiyle birlikte, işçilerin davranışları anlık olarak izlenebilmekte ve bu veriler üzerinden otomatik analizler yapılabilmektedir. Böylece, geleneksel reaktif güvenlik yaklaşımlarının yerine, daha öngörülü ve dinamik bir güvenlik yönetimi modeli benimsenmektedir. Sahadan toplanan çeşitli veri türleri sayesinde oluşturulan izleme sistemleri, riskli davranışları henüz kazaya dönüşmeden saptayarak sürece müdahale şansı tanımaktadır (Meng et al., 2022).

İSG verilerinin yalnızca analiz edilmesi değil, farklı projelere uyarlanabilir ve tekrar kullanılabilir biçimde yapılandırılması da stratejik önem taşımaktadır. Bu bağlamda Pedro, Santos ve Ferreira (2022) tarafından geliştirilen ontoloji tabanlı bilgi grafiği modeli, geçmiş kazalardan elde edilen deneyimlerin şirket bağımsız şekilde aktarılmasına olanak sağlayarak kurumsal öğrenmeyi standartlaştırmakta ve geniş ölçekte yaygınlaştırmaktadır. Bununla birlikte, veri setlerindeki dengesizlik, özellikle seyrek fakat ciddi sonuçlara yol açan kazaların analizinde yapay zekâ ve makine öğrenimi tabanlı algoritmaların performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu soruna çözüm getiren Sun, Li ve Zhang (2024), ‘Genişletilmiş Kaza Üçgeni’ yaklaşımını geliştirerek, kaza sıklığı ve şiddetini dikkate alan ağırlıklı örnekleme yöntemiyle model doğruluğunu artırmayı başarmışlardır.

İSG verileri, aynı zamanda eğitim süreçlerinin kişiselleştirilmesinde de kullanılmaktadır. Örneğin Jeelani, Albert ve Gambatese (2018), çalışanların tehlike algı düzeyini ölçmek amacıyla göz hareketlerini takip eden sistemler kullanarak, bireysel farkındalığa dayalı özel eğitim senaryoları geliştirmiştir. Benzer şekilde, Tixier ve Hallowell (2016) yapılandırılmamış kaza raporlarını doğal dil işleme yöntemleriyle çözümlemiş; bu sayede kazaların temel nedenlerine ilişkin daha kapsamlı ve derin içgörüler sunan analitik modeller ortaya koymuşlardır.

2.1.4 Risk Değerlendirmesi ve Önceliklendirme

Tixier ve Hallowell (2016), yapılandırılmamış kaza metinlerinden elde edilen bilgilerle oluşturdukları simülasyon tabanlı modelin, risk faktörlerini daha hassas biçimde tanımlayabildiğini ve bu faktörlerin önceliklendirilmesinde yüksek düzeyde doğruluk sunduğunu ortaya koymuştur. Ancak analiz süreçlerinde veri dengesizliği önemli bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Özellikle seyrek gerçekleşen ancak sonuçları ağır olan kazaların, klasik analiz yöntemleriyle göz ardı edilme riski yüksektir. Bu sorunu ele alan Sun, Li ve Zhang (2024), kazaların sıklığı, şiddeti ve türüne göre ağırlıklandırılmış örneklemeyle dayanan ‘Genişletilmiş Kaza Üçgeni’ modelini geliştirmiştir. Bu yaklaşım, düşük frekanslı fakat kritik öneme sahip olayların analiz sürecine dâhil edilmesini mümkün kılarak daha kapsayıcı bir değerlendirme sunmaktadır.

Diğer yandan, insan davranışlarına ve bilişsel süreçlere dayalı analiz teknikleri de sahadaki potansiyel tehlikelerin erken saptanmasında etkili olmaktadır. Jeelani, Albert ve Gambatese (2018), çalışanların sahada nereye baktıklarını ve hangi tehditleri algıladıklarını göz hareketlerini takip ederek analiz etmiş, bu bilgilerin bireyselleştirilmiş eğitim programlarının tasarımında kullanılabileceğini göstermiştir. Türkiye bağlamındaki çalışmalarda ise, özellikle ölümle sonuçlanan kazaların yoğunlaştığı alanlar ön plana çıkmaktadır. Çavuş ve Taçgın (2016), yüksekten düşmeye bağlı ölümlerin oldukça yaygın olduğunu belirterek bu alandaki toplu koruma önlemlerinin önemine dikkat çekmiştir. Benzer şekilde Bayram (2018), iş kazalarının sabah 09:00–11:00 ve öğleden sonra 14:00–16:00 saatleri arasında yoğunlaştığını saptamış; bu zaman dilimlerinde görev dağılımının ve molaların yeniden yapılandırılmasının kazaların önlenmesinde etkili bir strateji olabileceğini ifade etmiştir.

2.1.5 Politika ve Mevzuat Geliştirme

İş sağlığı ve güvenliği politikaları, yalnızca denetim ve yaptırım ekseninde şekillenmemeli; aynı zamanda risklerin kaynağında ortadan kaldırılmasını hedefleyen önleyici stratejilerle de desteklenmelidir (ISO, 2018). Bu bağlamda “Tasarım Yoluyla Önleme” (Prevention through Design – PtD) yaklaşımı, güvenliği proje planlamasının temel bir bileşeni hâline getirerek, potansiyel tehlikelerin henüz tasarım aşamasında bertaraf edilmesini amaçlamaktadır. Hallowell (2015), bu stratejinin yalnızca risk azaltımı açısından değil, aynı zamanda güvenlik düzenlemelerinin mevzuatla entegrasyonu bakımından da katkı sunduğunu vurgulamaktadır. Politika geliştirme sürecinde, liderlik becerileri ve çalışanların teknik-yönetsel yetkinlikleri de hayati rol oynamaktadır. Tang’ın (2025) çalışması, etkin liderlik ile çalışanların güvenlik uygulamalarına aktif katılımı arasında güçlü bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Bu doğrultuda hazırlanacak mevzuatın, sadece kurumsal düzenlemeleri değil, aynı zamanda insan faktörünü ve bireysel davranış dinamiklerini de kapsamaması gereklidir.

İnşaat sözleşmelerine İSG hükümlerinin açık ve net biçimde yerleştirilmesi de uygulamada karşılaşılan boşlukların önüne geçmektedir. Latib, Akbar ve Suleiman (2016), birçok sözleşme metninde güvenlik koşullarının yeterince ayrıntılandırılmadığını ve bunun sahada ciddi uygulama zafiyetlerine yol açtığını raporlamaktadır. Bu nedenle, standart sözleşmelerin içinde yer alan iş sağlığı ve güvenliği hükümleri detaylı, bağlayıcı ve yoruma kapalı şekilde düzenlenmelidir. Uluslararası normlar ise ulusal politika ve mevzuatlara yön verici nitelikte olmaya devam etmektedir. Uluslararası Çalışma Örgütü’nün (ILO) inşaat sektörüne özel olarak geliştirdiği 1988 tarihli C167 sözleşmesi, temel güvenlik standartlarını belirlerken; ISO 45001 standardı ise, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin kurulması, uygulanması ve sürekli olarak iyileştirilmesi için kapsamlı bir yapı sunmaktadır (ILO, 1988; ISO, 2018).

2.2 Analiz Yöntemleri

2.2.1 İnşaat Sektöründe Geleneksel İSG Risk Analizi Yöntemleri

İnşaat sektöründe risk değerlendirme süreçleri, çoğu zaman tek bir yöntemle sınırlı kalmaksızın, birden fazla analitik yaklaşımın bir arada uygulanmasını gerektirir. Bu

çoklu kullanım, hem tekniğe özgü sınırlılıkların aşılmasına yardımcı olmakta hem de analizlerin doğruluk ve güvenilirliğini artırmaktadır. Örneğin, kontrol listelerinin matris yöntemiyle bütünleştirildiği analiz yapıları, tehlikelerin hem sistematik olarak tanımlanmasına hem de önceliklendirilmesine olanak tanıyarak daha dengeli sonuçların elde edilmesini sağlar (Saat, 2009). Uygulamada en sık başvuru tekniklerinden biri olan 5×5 risk matris yöntemi, basitliği ve hız kazandıran yapısıyla öne çıkarken; Fine–Kinney yöntemi ise, risk unsurlarını ayrıntılı bir biçimde puanlayarak daha hassas önceliklendirme yapma imkânı sunmaktadır. Bu iki yöntemin sahada birlikte kullanılması, özellikle büyük ölçekli projelerde pratik ve etkili risk sınıflandırmaları açısından yaygın bir tercih hâline gelmiştir.

Ancak daha karmaşık, çok sayıda bilinmeyen içeren ya da yüksek tehlike barındıran projelerde, klasik yaklaşımlar yetersiz kalabilmektedir. Bu gibi durumlarda, İş Güvenliği Analizi (JSA) veya Tehlike ve İşletilebilirlik Çalışmaları (HAZOP) gibi daha derinlemesine, sistematik ve süreç odaklı tekniklere başvurulmaktadır. Bu ileri düzey analiz yöntemleri, yalnızca tekrarlayan kazaların değil, aynı zamanda büyük ölçekli ve nadir meydana gelen olayların da önlenmesinde önemli katkı sunar. Dolayısıyla, geleneksel analiz tekniklerinin birbirini tamamlayan biçimde kombine edilmesi hem rutin sahalarda hem de özel risk barındıran ortamlarda daha sağlam ve uygulanabilir bir İSG yönetim sistemi kurulmasına olanak tanımaktadır (Saat, 2009).

2.2.1.1 Risk Matrisleri (5 × 5 veya L Tipi Matris)

Matris tabanlı risk analiz yöntemleri, tehlikelerin sistematik olarak değerlendirilmesine olanak tanıyan pratik ve yaygın uygulamalardan biridir. Bu yaklaşımda her bir risk unsuru, iki temel boyutta “Olasılık” (O) ve “Şiddet” (Ş) 1’den 5’e kadar derecelendirilir. Elde edilen puanlar, aşağıdaki formül doğrultusunda çarpılarak sayısal bir risk skoru oluşturulur:

$$R = O \times \text{Ş} \quad (2.1)$$

Böylelikle riskler, 1 ile 25 arasında değişen bir ölçek üzerinde sınıflandırılır. Olasılık, yılda bir kez yaşanabilecek durumdan günlük gerçekleşen olaylara kadar geniş bir yelpazede değerlendirilirken; şiddet düzeyi, küçük yaralanmalardan çoklu

ölümlerle sonuçlanabilecek vakalara kadar uzanır. Yaygın uygulamalarda; 1–6 arası “düşük risk”, 8–12 arası “orta risk” ve 15–25 arası ise “yüksek” veya “çok yüksek risk” kategorileri olarak kabul edilmektedir. Kurumlar, genellikle 15 ve üzerindeki skorları “kabul edilemez” bulurken; 8–12 arası “dikkate değer” ve 6’nın altındaki riskleri “kabul edilebilir” olarak sınıflandırarak müdahale sırasını bu önceliklere göre belirlemektedir.

Saat’in (2009) yürüttüğü saha çalışmasında, risk analiz süreci oldukça sistematik bir yapı içerisinde ele alınmıştır. Analizin başlangıcında, sektöre özgü kaza istatistikleri, kullanılan ekipman listesi ve geçerli İSG mevzuatı temel alınarak ayrıntılı bir kontrol listesi hazırlanmıştır. Bu liste yardımıyla şantiye sahasında gerçekleştirilen denetimlerde, mevcut tehlikeler detaylı biçimde tespit edilmiş; aynı zamanda yasal uygunluk da eş zamanlı olarak değerlendirilmiştir. Eksik ya da yetersiz bulunan alanlar için sorumlular belirlenmiş, gerekli düzeltici faaliyetler planlanmış ve uygulanacak termin süreleri tanımlanmıştır. Sonraki aşamada, tespit edilen tüm riskler, beşli O–Ş ölçeği üzerinden çok disiplinli bir uzman ekibi tarafından puanlanmış ve böylece sayısal risk dereceleri ortaya konmuştur. Bu yöntem sayesinde, yalnızca mevzuata uygunluk değil; aynı zamanda sahadaki gerçek risk durumunun da dikkate alındığı, uygulamaya dönük güçlü bir risk yönetim sistemi oluşturulmuştur (Saat, 2009).

2.2.1.2 Fine–Kinney Yöntemi

Fine–Kinney yöntemi, tehlike değerlendirmesinde oldukça yaygın kullanılan, üç boyutlu ve nicel bir risk analiz aracıdır. Bu yöntemde her bir risk unsuru, “Olasılık” (0,2–10), “Frekans” (0,2–10) ve “Şiddet” (1–100) katsayılarıyla ayrı ayrı puanlanır. Bu üç değerın çarpımıyla elde edilen toplam risk skoru, aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$R = O \times F \times \text{Ş}$$

(2.2)

Elde edilen sonuçlara göre risk düzeyleri kategorize edilir: 0–20 arası “önemsiz”, 20–70 arası “olası”, 70–200 arası “önemli”, 200–400 arası “esaslı” ve 400’ün üzeri ise “tolerans gösterilemez” risk olarak sınıflandırılır. Bu skorlama sistemi, hangi risklere öncelikli müdahale gerektiğini açık bir şekilde ortaya koyar. Erzurumluoğlu, Köksal ve Gerek’in (2015) gerçekleştirdiği saha çalışmaları, bu

yöntemin uygulamadaki etkinliğini somut bir biçimde ortaya koymuştur. Araştırma kapsamında biri 2×600 MW kapasiteli bir termik santral, diğeri ise Akdeniz Bölgesi'ndeki büyük ölçekli bir sağlık kampüsünde yürütülen kule vinç kaldırma faaliyetleri incelenmiştir. Risk analizinde; elektrik çarpması, aşırı yükleme, kuvvetli rüzgâr, operatör hatası, yetersiz topraklama ve bakım eksikliği gibi yaygın tehlikeler değerlendirilmiş; her biri O–F–Ş puanlamasına tabi tutularak sayısal risk skorları hesaplanmıştır. Risk skoru belirlenen tehlikeler arasında özellikle tolerans eşiğini aşanlar için çeşitli müdahale stratejileri geliştirilmiştir. Örneğin; operasyon alanının izolasyonu, yeterli aydınlatmanın sağlanması, yalnızca yetkilendirilmiş operatörlerin görevlendirilmesi, düzenli bakım takvimlerinin oluşturulması ve ekipman montaj altyapısının iyileştirilmesi gibi hem mühendislik hem de idari tedbirler planlanmıştır. Ayrıca, alınan önlemlerin kim tarafından ve hangi zaman diliminde uygulanacağına dair detaylı bir düzeltici ve önleyici faaliyet planı hazırlanmıştır. Sonuç olarak, Fine–Kinney yöntemi, kule vinç gibi yüksek riskli faaliyetlerde, olası tehlikelerin bilimsel ve sistematik şekilde değerlendirilmesine olanak tanımış; böylece risk azaltma adımlarının hem önceliklendirilmesini hem de somutlaştırılmasını sağlamıştır.

2.2.1.3 JSA & CJSa (Job Safety Analysis) Yöntemi

İş Güvenliği Analizi (JSA), özellikle tersaneler gibi iş akışının önceden tanımlandığı ortamlarda, görevleri küçük ve anlamlı adımlara ayırarak her bir aşamada ortaya çıkabilecek tehlikeleri sistematik biçimde belirlemeyi amaçlayan kapsamlı bir yaklaşımdır. Bu yöntemde, olası risklerin belirlenmesinin ardından mühendislik önlemleri, idari düzenlemeler ve uygun Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) kullanımı gibi çeşitli koruyucu stratejiler geliştirilir.

JSA süreci temel olarak dört aşamadan oluşur: İlk olarak iş adımları detaylı biçimde tanımlanır. Ardından, her adımda karşılaşılabilecek tehlikeler analiz edilerek, bu riskler “Olasılık $\times$ Şiddet” formülüyle nicel olarak puanlanır. Yüksek risk taşıyan adımlar için sorumlu kişiler atanır, uygulanacak önlemler ve zaman çizelgeleri netleştirilir. Süreç son olarak, yeni tehlikeler ortaya çıktıkça JSA kayıtlarının güncellenmesiyle süreklilik kazanır ve bu da sistemin dinamik bir şekilde iyileştirilmesini sağlar.

Çetinkaya'nın (2014) tersane sektörüne yönelik uygulaması, yöntemin pratikteki başarısını gözler önüne sermektedir. Bu kapsamda, iş sağlığı ve güvenliği uzmanları, işverenler, çalışan temsilcileri ve kazazedelerden oluşan çok disiplinli bir ekip, inşaat sürecine dair tüm görevleri ve kullanılan ekipmanları ayrıntılı olarak belgelemiştir. Son yedi yılın kaza kayıtları titizlikle analiz edilmiş; özellikle ölümlü ya da uzuv kaybıyla sonuçlanan kazaların ardındaki temel nedenler tespit edilmiştir.

Bu analiz sonucunda, her iş adımı için ayrı ayrı risk puanlamaları yapılmış, yüksek risk taşıyan faaliyetler için izolasyon önlemleri, sıkı denetim süreçleri ve uygun KKD kullanımı gibi somut önlemler tanımlanmıştır. Tüm bu önlemler, hangi personel tarafından ne zaman uygulanacağına dair ayrıntılı bilgiler içeren bir planla belgelenmiştir. Çetinkaya'nın hazırladığı rehber, sahada uygulanabilir düzeyde düzel-tici ve önleyici adımlar içermesi sayesinde, tersane sektöründe iş güvenliği kültürünün gelişmesine ve kaza oranlarında anlamlı bir düşüş yaşanmasına katkı sağlamıştır.

2.2.1.4 HAZOP (Hazard and Operability Analysis)

HAZOP (Hazard and Operability Analysis) yöntemi, ilk olarak kimya endüstrisinde süreç güvenliğini artırmak amacıyla geliştirilmiş olmakla birlikte, günümüzde farklı sektörlere de başarıyla uygulanmaktadır. Bu teknik, sistematik bir şekilde adım adım süreçleri ele alarak; “yok”, “daha fazla”, “daha az”, “ters” gibi kılavuz kelimeler aracılığıyla olası sapmaları ve bu sapmaların neden olabileceği tehlike ve işletme sorunlarını ortaya koymayı hedefleyen bir grup tartışma yöntemidir. Alçan'ın (2022) çalışmasında HAZOP yaklaşımı, tersane şantiyesindeki inşaat faaliyetlerine özgü olarak uyarlanmıştır. Burada, detaylı P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) diyagramları temel alınarak ana iş akışları ve kritik ekipmanlar belirlenmiş; oluşturulan HAZOP ekibi — İSG koordinatörü, saha mühendisi ve çalışan temsilcisinden oluşan çok disiplinli bir yapı — tarafından sistemli biçimde analiz edilmiştir. “Akış yok”, “basınç yüksek”, “hız düşük” gibi yönlendirici sorularla sürecin her aşamasında meydana gelebilecek sapmalar değerlendirilmiş; eksik tasarımlar, operasyonel hatalar ve çevresel etkenlerden kaynaklanabilecek risk unsurları detaylı olarak ortaya konmuştur.

Çalışmada, tespit edilen her bir sapma için yalnızca risk tanımlamasıyla yetinilmemiş, aynı zamanda uygulanabilir denetim mekanizmaları, koruyucu

mühendislik çözümleri ve gerek duyulduğunda devreye sokulabilecek acil durdurma prosedürleri de önerilmiştir. Bu bütüncül yaklaşım sayesinde, tersanedeki inşaat süreçlerinin hem güvenliği hem de işletme sürekliliği açısından daha dayanıklı hâle getirilmesi hedeflenmiştir (Alçan, 2022).

2.2.1.5 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

Arıza Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA), her iş adımıyla meydana gelebilecek arızaları belirlemek ve bu arızaların sonuçlarını önceliklendirmek amacıyla geliştirilmiş sistematik bir analiz tekniğidir. Bu yöntemde temel olarak şu üç soru üzerinden değerlendirme yapılır: "Ne tür bir arıza meydana gelebilir?", "Bu arıza ne sıklıkla ortaya çıkar?" ve "Gerçekleştiğinde ne kadar ciddi sonuçlar doğurur?" Değerlendirme sürecinde Frekans (1–5), Şiddet (1–5) ve Tespit Edilebilirlik (1–5) puanları belirlenir ve bu üç değerle Risk Öncelik Sayısı (RPN) hesaplanır. Song, Yu ve Kim'in (2007) gerçekleştirdiği çalışmada, bu analiz çelik konstrüksiyon projelerinde kiriş kaldırma işlemi özelinde uygulanmıştır. İşlem alt adımlara ayrılarak, her adım KOSHA verilerine göre ayrı ayrı puanlanmış; sonuçta, en yüksek RPN değerlerinin "operatör yetkinliğindeki eksiklik" (RPN = 48) ve "düşme koruma ağının kurulmaması" (RPN = 36) gibi hata modlarında yoğunlaştığı saptanmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, mühendislik temelli müdahaleler, idari düzenlemeler ve kişisel koruyucu donanım önlemleri geliştirilmiş ve ilgili birimlere uygulanmak üzere önerilmiştir (Song, Yu & Kim, 2007).

Benzer şekilde, Jeong ve Jeong'un (2022) çalışmasında FMEA yöntemi yine çelik konstrüksiyon işlerine uygulanmış ve kritik faaliyetler, örneğin "kiriş kaldırma", alt adımlara bölünerek analiz edilmiştir. Kaza frekansı, yaralanma şiddeti ve tespit edilebilirlik üzerinden yapılan puanlamalarla hesaplanan RPN değerleri, yüksek risk taşıyan noktaların önceliklendirilmesini sağlamış; bu kapsamda yönetim, özellikle "esaslı" ve "tolerans gösterilemez" kategorideki risklere yönelik somut önlemler geliştirmiştir. Alınan önlemler arasında saha izolasyonu, denetim planlaması ve KKD kullanımının artırılması yer almaktadır. FMEA ve benzeri ağırlıklı risk puanlama sistemleri yalnızca inşaat sektöründe değil; sağlık hizmetlerinden çevre güvenliğine, finansal analizlerden bilgi teknolojilerine kadar pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin disiplinler arası karar alma süreçlerinde sunduğu standartlaştırılmış ve nesnel yaklaşım, onları stratejik risk yönetimi açısından vazgeçilmez kılmaktadır (Aven, 2015; ISO 31010, 2019).

2.2.2 İş Kazası Riskinin Nicel Analizi

Muffi ve Abdullah'ın ahşap atölyelerinde yürüttükleri çalışmada, klasik JSA yaklaşımı olan “frekans × şiddet” çarpımı temel alınmış, ancak şiddet boyutuna geleneksel puanlamanın ötesinde bir derinlik kazandırılmıştır. Araştırmanın ilk aşamasında, beş yıllık kaza kayıtları ile eğitmen ve öğrencilerden toplanan anket verileri analiz edilerek her makineye ilişkin senaryoların görülme sıklığı tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise yaralanmalar, minör sıyrıklardan ölümcül vakalara kadar beş basamaklı bir skalada derecelendirilmiştir. Sıklıkla karşılaşılmayan ancak etkisi yüksek kazaların “orta risk” kategorisinde gözden kaçmasını önlemek amacıyla, şiddet skalasına logaritmik ağırlıklar eklenmiştir. Bu yöntem sayesinde, örneğin parmak kaybı gibi nadir fakat yıkıcı olaylar, yüzeysel kesiklerden daha yüksek risk puanları alarak öncelikli müdahale alanı olarak öne çıkmıştır. Sonuç olarak, toplam risk yükünün özellikle kollu testereler ve kombine planya makinelerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu bulgu doğrultusunda, ilk olarak eliminasyon ya da ikame stratejileri önerilmiş, ardından mühendislik çözümleri, idari tedbirler ve KKD kullanımı gibi çok katmanlı önlemler devreye alınmıştır.

Jeong ve Jeong'un inşaat sektöründe gerçekleştirdiği analizde ise risk, iki boyutlu bir ölçekle değerlendirilmektedir. Ölüm kayıtları zaman serisi analizi ile yumuşatılmış ve Monte Carlo simülasyonu kullanılarak geleceğe dönük tahminler yapılmıştır. Bu projeksiyonlar, “yıllık ortalama ölüm sayısı” gibi metriklerle frekans boyutunu belirlemiştir. Şiddet boyutu ise, toplam ölüm sayısının yaklaşık işçi sayısına oranlanmasıyla elde edilen “10.000 işçideki ölüm oranı” ile ölçülmüştür. Böylece, kalabalık kadroların çalıştığı betonarme işlerde toplam ölümler yüksek görünse de, nispeten az işçinin görev yaptığı iskele-söküm faaliyetleri, daha yüksek fatalite oranlarıyla “daha tehlikeli” kategorisine yerleştirilmiştir. Bu yaklaşım, kaynakların gerçekten riskli iş kollarına yönlendirilmesine olanak sağlamaktadır. CJSa (Construction Job Safety Analysis) yöntemi, her “kontrol kaybı senaryosu” için riski;

$$R = \text{Olasılık} \times \text{Ağırlıklı Şiddet}$$

(2.3)

Bu yöntemin ayırt edici yanı, şiddeti dört düzeyde ağırlıklandırmasıdır: küçük sıyrıklar için 1, orta düzey yaralanmalar için 5, kalıcı sakatlık için 25 ve ölüm için

100 puan. Güvenlik uzmanları, olası sonuçların dağılımını örneğin KKD kullanılan bir senaryoda %80 hafif, %20 orta yaralanma şeklinde varsayarak, ağırlıklı şiddeti $0,8 \times 1 + 0,2 \times 5 = 1,8$ olarak hesaplamaktadır. Ancak KKD'nin kullanılmadığı veya devre dışı kaldığı senaryolarda bu dağılım dramatik biçimde değişmekte ve risk katsayısı da ciddi biçimde yükselmektedir. Risk puanının, göreceli olasılık değeri ile sahada görevli işçi sayısının çarpımıyla hesaplanması ise, aynı olasılığa sahip riskler arasında dahi ölümcül sonuç doğuranların önceliğe alınmasını sağlamaktadır (Rozenfeld et al., 2010). Amiri, Ardeshtir ve Zarandi (2014) tarafından geliştirilen bir diğer nicel analiz yöntemi ise, iş kazalarını P (olasılık) ve C (şiddet) bileşenlerinin birleşiminden oluşan tek bir katsayıya indirger. Burada P, sigorta verilerinden türetilen toplam kaza sıklığı oranları (TRA, TAR/FAR) ile belirlenirken; C, kayıp iş günü, ölüm ve ağır yaralanma ağırlıklarının birleşimiyle oluşturulan bir Toplam Şiddet İndeksi'ni ifade eder.

Bu iki bileşen;

$$RF = (P + C) - (P \times C) \quad (2.4)$$

Bu yaklaşım sayesinde, "sık ama hafif" (P yüksek, C düşük) nitelikteki kazalar ile "seyrek fakat yıkıcı" (P düşük, C yüksek) olaylar aynı ölçek üzerinde karşılaştırılabilir hâle gelmiştir. Olasılık (P) ve şiddet (C) bileşenlerinin ikisinin de yüksek olduğu durumlarda, risk faktörü (RF) katsayısı çarpan etkisiyle belirgin şekilde yükselmiştir. Böylece, yüksekte düşme ya da düşen cisim gibi hem yaygın hem ağır sonuçlara yol açabilen kazalar ile elektrik çarpması ya da araç çarpması gibi nadir ama ölümcül sonuçlar doğuran olaylar, önleyici eylem planlarında öncelikli müdahale gerektiren riskler olarak öne çıkmıştır.

Suárez-Cebador, Rubio-Romero ve López-Arquillos (2014), inşaat sektörüne özel bir risk değerlendirme modeli geliştirmiştir. Model, her kazayı doktor raporları ve resmi İşyeri Kaza Bildirim Formları'ndaki tıbbi tanımlara göre dört ana şiddet grubuna ayırmaktadır: hafif yaralanma, ciddi yaralanma, çok ciddi yaralanma ve ölüm. Yaş, mesleki deneyim, kullanılan araç türü ve iş yeri koşulları gibi etkenler bu şiddet düzeyleriyle ilişkilendirilerek çapraz analizler gerçekleştirilmiştir. Her birim için kazaların bu dört gruba dağılımı hesaplanarak Toplam Şiddet İndeksi (TSI) elde edilmiştir. Frekans boyutu ise, 1.000 işçide meydana gelen kaza sayısını

temel alan Toplam Kaza Sıklığı Oranı (TRA) ile tanımlanmıştır. Sonuçta, nihai risk skoru aşağıdaki formül aracılığıyla hesaplanmaktadır:

$$RF = TRA + TSI - (TRA \times TSI) \quad (2.5)$$

Bu model, sık yaşanan fakat hafif etkili kazalar ile seyrek fakat ölümcül olayları aynı düzlemde değerlendirmeyi mümkün kılarak, çok boyutlu ve dengeli bir risk yönetim yaklaşımı sunmaktadır (Suárez-Cebador, Rubio-Romero & López-Arquillos, 2014).

Benzer şekilde Sawicki ve Szóstak (2020), iskelelerdeki çalışma alanlarında gerçekleştirdikleri analizde risk düzeyini UWz katsayısı üzerinden yedi dereceli, logaritmik olarak artan bir ölçekte sınıflandırmıştır: 0,1 (%0,0001), 0,2 (%0,001), 0,5 (%0,01), 1,0 (%0,1), 3,0 (%1), 6,0 (%10) ve 10 (%50). Bu katsayılar arasındaki 2–3 katlık sıçramalar, riskin büyüklüğündeki artışları hassasiyetle yansıtmaktadır.

$$\begin{aligned} W_{ölüm} &= \text{Ölüm sayısı} / \text{toplam kaza}, \\ W_{Hafif} &= \text{Hafif yaralı sayısı} / \text{toplam kaza} \\ Etki &= W_{ölüm} / W_{Hafif} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Bu oran, ölümcül olayların hafif yaralanmalara kıyasla ne ölçüde daha tehlikeli olduğunu nicel olarak ortaya koymaktadır. Böylelikle, düşük frekanslı ancak yüksek şiddetli kazalar göz ardı edilmeden risk önceliklendirmesi yapılabilir; İSG kaynakları en kritik tehditlere yönlendirilebilmektedir (Sawicki & Szóstak, 2020).

Tablo 2.1 İnşaat sektöründe geleneksel İSG risk analizi yöntemleri literatür tarama

Kaynak	Amaç	Analiz Yöntemi	Risk Tanımı	Risk Vurgusu	Şiddet Ölçeği
Muffi & Abdullah (2024)	Atölye makinelerini frekans + log-ağırlıklı şiddetle önceliklendirmek	JSA	$R = F \times \text{Ş} (\log)$	Şiddet	Logaritmik artış
Jeong & Jeong (2022)	İş türlerinde toplam vs. normalize ölüm riskini kıyaslamak	İkili Ölçek Yöntemi	$R = F \times \text{Ş} (\log)$	Şiddet	Sürekli fatalite oranı
Rozenfeld et al. (2010)	İş adımlarını dört kademeli ağırlıklı şiddetle sıralamak	CJSA	$R = O \times \text{Ş}$	Şiddet	1- 5- 25- 100
Amiri et al. (2014)	İran kazalarını birleşik RF (Risk Faktörü) katsayısıyla sıralamak	Oran Temelli Analiz	$R = (O + \text{Ş}) - (O \times \text{Ş})$	Dengeli	Oran Temelli

Tablo 2.2 İnşaat sektöründe geleneksel İSG risk analizi yöntemleri literatür tarama (devamı)

Kaynak	Amaç	Analiz Yöntemi	Risk Tanımı	Risk Vurgusu	Şiddet Ölçeği
Suárez-Cebador et al. (2014)	İspanya elektrik kazalarını Suárez-TSI modeliyle değerlendirmek	Oran Temelli Analiz	$R = (O + \text{Ş}) - (O \times \text{Ş})$	Dengeli	Oran Temelli
Sawicki & Szóstak (2020)	İskele riskini log aritmik olarak, ölüm/hafif oranıyla ölçmek	JSA	$R = O \times \text{Ş}$	Şiddet	0,1- 0,2- 0,5-1-3-6-10
Saat (2009)	Şantiyede kontrol listesi + 5×5 matrisle riskleri puanlamak	5×5 matris	$R = O \times \text{Ş}$	Dengeli	1-2-3-4-5
Erzurumluoğlu et al. (2015)	Kule vinç risklerini Fine–Kinney ile Nicel önceliklendirmek	Fine–Kinney	$R = O \times F \times \text{Ş}$	Dengeli	1-3–7–15–40-100

Tablo 2.3 İnşaat sektöründe geleneksel İSG risk analizi yöntemleri literatür tarama (devamı)

Kaynak	Amaç	Analiz Yöntemi	Risk Tanımı	Risk Vurgusu	Şiddet Ölçeği
Çetinkaya (2014)	Tersane görevlerinde JSA ile yüksek riskli adımları saptamak	JSA	$R = O \times \text{Ş}$	Dengeli	1-2-3-4-5
Song et al. (2007)	Çelik kiriş kaldırmada FMEA ile RPN önceliği	FMEA	$\text{Risk} = F \times \text{Ş} \times T$	Dengeli	1-2-3-4-5
Harms-Ringdahl (2001)	Etki ağırlıklı frekans skorumla ile tek gösterge üretmek	Ağırlıklı Katsayı Analizi	$R = F \times \text{Ş}$	Şiddet	$2^0 - 2^1 - 2^2 - 2^3 - 2^4 - 2^5$

2.3 İnşaat Sektöründe Yapay Zekâ ile Kaza Senaryolarının Öngörülmesi

2.3.1 Yapay Zeka ve Makine Öğrenme Yöntemleri (ML) ile Analiz

Yapay zekâ tabanlı modeller, geçmiş kaza verilerinden öğrendikleri örüntüler sayesinde, "eğer şu koşul oluşursa ne olabilir?" sorusuna olasılıklara dayalı yanıtlar üreterek, geleceğe dönük senaryolar inşa edebilmektedir. Özellikle lojistik regresyon, karar ağaçları ve destek vektör makineleri gibi sınıflandırma algoritmaları, her yeni şantiye konfigürasyonunu daha önceki benzer durumlarla eşleştirerek çalışır. Sisteme işçi profili, iş akışı ve kullanılan ekipman bilgileri girildiğinde, model bu bileşimin yaratabileceği muhtemel yaralanma türlerini ve

olası şiddet düzeylerini öngörebilir. Bu sayede proje yöneticileri, işe başlanmadan önce örneğin “bu vardiya yapısıyla ciddi düşme riski yüksek” gibi uyarılar alabilir ve önleyici tedbirleri zamanında devreye sokabilir.

Bu sistemin öngörü gücü, regresyon ve kümeleme analizleriyle daha da güçlendirilebilir. Regresyon teknikleri, belirli bir senaryonun beklenen iş günü kaybı veya olası finansal maliyeti gibi nicel çıktılar sunarken; kümeleme algoritmaları, etiketlenmemiş büyük veri kümeleri içerisinde benzer kazaları gruplayarak daha önce tanımlanmamış risk desenlerini gün yüzüne çıkarır. Yeni bir proje bu kümelerden birine düştüğünde, model o gruba ait karakteristik kaza sonuçlarını senaryo formatında sunar. Bu yöntemlerin birlikte veya sıralı biçimde çalışması, yapay zekâya milyonlarca olası "kaza gelişim yolu" kurgulama imkânı verir. Böylece yalnızca sık görülen hafif kazalar değil, nadiren meydana gelen ama yıkıcı sonuçlar doğurabilecek olaylar da iş başlamadan önce sanal ortamda modellenebilir. Bu yaklaşımlar, karar alıcılara sezgisel, veri temelli bir erken uyarı sistemi sunar.

Mostofi ve arkadaşlarının (2022) geliştirdiği çalışma, bu bakış açısını bir adım öteye taşıyarak inşaat kazalarını ilişkisel bir kaza ağı biçiminde modellemiştir. Bu sistemde, aktörler, çevresel etkenler ve neden-sonuç ilişkileri "graf-konvolüsyonel ağ (GCN)" altyapısıyla analiz edilmiş; kullanıcı yeni bir proje konfigürasyonu girdiğinde, ağdaki benzer düğümler aracılığıyla olası riskler ve kaza zincirleri hızlı biçimde tahmin edilmiştir. Böylece, sahaya çıkmadan önce "bu ekipman + bu iş akışı + şu işçi profili" kombinasyonunun potansiyel tehlikeleri öngörülebilmüş; riskli senaryolar proaktif biçimde tanımlanarak yönetim sürecine entegre edilmiştir.

Lee ve meslektaşları (2020) ise yapay zekâyı üç aşamalı bir analiz sürecine yerleştirerek, inşaat kaza kayıtlarından anlamlı öngörüler elde etmeyi başarmıştır. İlk olarak Ki-kare, Cramer's V ve değişken önem analizleriyle yüzlerce ham veri içinden istatistiksel olarak anlamlı değişkenler seçilmiştir. Ardından bu özellikler, destek vektör makineleri ve karar ağacı tabanlı topluluk modellerine aktarılmış ve model, daha önce gözlemlenmemiş kombinasyonlar için bile yüksek doğrulukla kaza gerçekleşme olasılıklarını hesaplayabilmiştir. Son adımda ise elde edilen bulgular alüvyal akış diyagramlarıyla görselleştirilmiş; örneğin “bu ekipman + şu vardiya + belirli zemin koşulu → yüksek bacak yaralanması riski” gibi çoklu neden-sonuç zincirleri yöneticiye açık ve sezgisel biçimde sunulmuştur. Bu sayede karar

vericiler, yapay zekânın sentezlediği senaryoları erken aşamada inceleyerek güvenlik önlemlerini daha planlı ve etkin bir şekilde uygulayabilmiştir.

Sorbi, Getuli, Capone ve Rahimian (2024), yapay zekâyı 4D BIM teknolojisiyle bütünleştirerek üç boyutlu ajan tabanlı bir simülasyon ortamında risk senaryoları oluşturmuştur. Bu modelde, BIM projesi zaman çizelgesiyle entegre edilerek zamansal bir sahne kurgulanmış; işçi, araç ve makineler bağımsız birer "ajan" olarak tanımlanmıştır. Her bir ajana, oyun teorisi temelli davranış kuralları, olası eylem seçenekleri ve kaza tetikleyicileri atanmıştır. Simülasyonlar hızlandırılmış zaman dilimlerinde çalıştırılarak, daha işe başlanmadan önce binlerce potansiyel kaza yolu test edilmiştir. Riskli durumlar anlık olarak tespit edilmiş, maruziyet yoğunlukları ise renkli ısı haritaları aracılığıyla görselleştirilmiştir. Bu yaklaşımla, sahadaki yerleşim düzeni ve iş akışı planları "önlemede tasarım" (PtD) ilkesi doğrultusunda daha işe başlanmadan optimize edilebilmiştir. Benzer biçimde Tixier, Hallowell ve Rajagopalan (2017), 814 metin tabanlı kaza raporundan türetilen nitelikleri, genetik algoritmalarla beslenen çekirdek yoğunluk kestiricileri ile işleyerek, geçmiş kazaların istatistiksel profiline benzer stokastik risk üreticileri geliştirmiştir. Sonrasında, Monte Carlo simülasyonlarıyla binlerce yapay kaza senaryosu oluşturulmuştur. Bu model, ağır kuyruklu frekans-şiddet dağılımlarını taklit eden ve klasik parametrik varsayımlara bağlı kalmaksızın, uç olasılıkları da içerebilen esnek, gerçekçi risk spektrumları sunmaktadır. Özellikle köprü inşaatı gibi kompleks projelerde karar vericilere belirsizlik altında yön gösterici alternatif senaryolar sağlamaktadır.

Koç, Ekmekçioğlu ve Gürgün'ün (2022) gerçekleştirdiği güncel çalışmada ise, farklı yeniden örnekleme teknikleri çeşitli makine öğrenmesi algoritmalarıyla birleştirilerek senaryo temelli derinlemesine analizler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan veri setleri genellikle ulusal otoritelerin yayımladığı istatistik raporlarından ve özel inşaat firmalarına ait saha verilerinden oluşmaktadır. Çalışma, iş kazalarının öngörülmesinde en yüksek doğruluğa sahip hibrit modelin belirlenmesine odaklanmakta hem araştırmacılara hem de uygulayıcılara karar destek niteliğinde bulgular sunmaktadır. İş kazalarının vücut üzerindeki etkilerini anlamak ve bu etkileri en aza indirmek de literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle, yaralanan vücut bölgesine göre oluşan ekonomik kayıpların farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Alizadeh vd., 2015; Sun vd., 2006). Bu nedenle, risk

temelli bir güvenlik stratejisi kapsamında çalışma alanlarının “yüksek”, “orta” ve “düşük” risk gruplarına ayrılması önerilmektedir (Sarkar, 2020). Bu sınıflandırma sayesinde bireysel riskler daha görünür hâle gelmekte, çalışanların güvenlik farkındalığı artırılmaktadır. Ramaswamy ve Mosher (2018), geliştirdikleri model aracılığıyla hangi tür kazaların hangi vücut bölgesinde yaralanmalara yol açma ihtimalinin yüksek olduğunu incelemişlerdir. Bulgular, en çok yaralanmanın üst (%25) ve alt uzuvlarda (%23) görüldüğünü ortaya koyarken, baş ve boyun bölgesi yaralanmalarının ise diğer bölgelere göre daha ölümcül sonuçlar doğurma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Chen (2017), inşaat sektöründeki iş kazalarının yaklaşık yarısının yüksekte düşme sonucu gerçekleştiğini tespit etmiştir. Farklı analitik yöntemler kullanarak geçmiş kaza verilerini değerlendiren bu araştırmaların ortak amacı, gelecekteki kazaların önlenmesi için etkin ve uygulamaya dönük risk analizleri geliştirmektir. Tixier (2016), makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak milyonlarca saatlik iş verisini incelemiş ve böylece alana geniş ölçekli, objektif ve güvenilir sonuçlarla katkıda bulunmuştur. Chen (2017), inşaat sektöründeki iş kazalarının yaklaşık yarısının yüksekte düşmelerden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Geçmiş kaza verilerinin analiziyle yapılan çeşitli çalışmalarda, ortak amaç gelecekteki kazaları önlemeye yönelik etkin ve uygulamaya geçirilebilir risk analiz yöntemleri geliştirmektir. Bu bağlamda, Tixier (2016), milyonlarca saatlik iş verisini makine öğrenmesi yöntemleriyle inceleyerek, sahaya nesnel, geniş ölçekli ve güvenilir veri temelli katkılar sağlamıştır. 2020 yılında gerçekleştirilen önemli bir çalışmada, inşaat sektörüne ait karmaşık kaza kayıtları çok katmanlı bir ön-işleme sürecine tabi tutulmuştur. LCCA yöntemiyle verideki örtük kümeler belirlenmiş, Ki-kare ve Cramer’s V analizleriyle kategorik değişkenler arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak doğrulanmıştır. En anlamlı değişkenlerin seçilmesinin ardından, destek vektör makineleri (SVM) ile karar ağacı temelli topluluk algoritmaları kullanılarak kaza şiddetlerini öngören bir tahmin modeli inşa edilmiştir. Modelin bulguları, alüvyal akış diyagramlarıyla görselleştirilmiş; doğru gruplama ve ağırlıklandırma sayesinde model başarısı kayda değer ölçüde artmıştır (Lee vd., 2020).

Bir yıl öncesine, 2019 tarihli diğer çalışmaya bakıldığında, iş güvenliği raporlarında yer alan metin verilerinin tematik yapısını ortaya çıkarmak amacıyla Latent Dirichlet Allocation (LDA) yöntemi kullanılmıştır. Ardından, SVM, yapay sinir

ağları (YSA) ve karar ağaçları entegre edilerek her kaza olayı “yaralanma”, “ramak kala” ya da “maddi hasar” biçiminde sınıflandırılmıştır. Bu bütünlük model, Ki-kare testleriyle değişken sayısını azaltarak daha yalın bir yapıya kavuşturulmuş ve tahmin performansında iyileşme sağlanmıştır. Her iki çalışma da ileri seviye veri madenciliği tekniklerinin ve makine öğrenimi algoritmalarının birlikte kullanımının, geçmiş kazalardan elde edilen bilgileri etkin risk azaltma stratejilerine dönüştürmede güçlü bir araç olduğunu göstermektedir (Lee vd., 2020).

Derin öğrenme yöntemleri de inşaat sektöründe kaza öngörüsüne katkı sunan önemli araçlardır. Özellikle, klasik yöntemlerin yakalayamadığı çok boyutlu ilişkileri ve senaryolar arası bağımlılıkları çözümlemede derin sinir ağları (deep neural networks) öne çıkar. Bu doğrultuda yürütülen bir çalışmada, Mostofi, Toğan, Ayözen ve Tokdemir (2022), geçmiş inşaat kazaları arasındaki ortak özellikleri (örneğin benzer proje tipleri, iş akışları vb.) bir grafik yapısı içerisinde modellemiş ve Grafik Evrişimsel Sinir Ağı (Graph Convolutional Network, GCN) kullanarak her kaza senaryosunun şiddet düzeyini %94 doğrulukla tahmin edebilmiştir. GCN tabanlı bu model, geleneksel ileri beslemeli ağlardan daha yüksek performans göstermiş; benzer projelerden edinilen bilgileri işleyerek “yüksek riskli senaryoların” önceden belirlenmesini mümkün kılmıştır. Bu sayede kullanıcı, proje özelinde girdiği değişkenlerle sistem üzerinden geçmişe dayalı öngörülere ulaşabilmiş; bu da güvenlik önlemlerinin sahada daha hassas ve etkin bir şekilde planlanmasına olanak tanımıştır (Mostofi et al., 2022).

Bununla birlikte, Bayesyen ağlar da inşaat kazalarını olasılık temelli olarak modelleyerek risk faktörleri ile sonuçları arasındaki nedensel ilişkileri görünür kılmaktadır. She ve çalışma arkadaşlarının (2024) geliştirdiği senaryo-tepki analiz çerçevesi, bu yaklaşıma dayanmaktadır. Bayesyen ağ yardımıyla, geçmiş kazalardan türetilen veriler aracılığıyla “önlem alınmadığı takdirde kaza olasılığı nasıl değişir?” sorusu yanıtlanmış ve sanal simülasyon ortamında muhtemel olaylar modellenmiştir. Örneğin, derin temel kazalarında çökme riskine odaklanan bir vakada; zamanında yapılan gözetim bildirimleri, denetimlerin sıklaştırılması ve kural ihlallerine yönelik yaptırımların kaza olasılığını anlamlı şekilde düşürdüğü gösterilmiştir. Bu analiz, entropi temelli TOPSIS yöntemiyle birleştirilerek karar vericilere alternatif müdahale stratejilerini nicel biçimde karşılaştırma imkânı sunmuştur. TOPSIS, ağırlıklı çok kriterli karar verme yaklaşımıyla çeşitli acil tepki

stratejilerini sıralamış ve en etkili müdahale seçeneklerini önceliklendirmiştir. Bu bütünsel yapı, hem kuramsal literatüre özgün bir katkı sunmakta hem de sahada uygulanabilir, veri destekli erken uyarı sistemlerinin tasarımı için pratik bir rehber oluşturmaktadır (She vd., 2024).

Tablo 2.2 Yapay Zekâ (YZ) ve Makine Öğrenme Yöntemleri (ML) ile analizi literatür taraması

Kaynak	Analiz Amacı	Risk Analizi Kullanımı	YZ Kullanım	YZ Türü	Yöntem
Koç et al. (2022)	Farklı yeniden örnekleme + ML modelleriyle en doğru kaza tahmin yöntemini belirlemek	Hangi hibrit modelin en doğru tahmini yaptığı karşılaştırıldı	Senaryo bazlı tahmin doğruluğu nu test etmek	ML	SMOTE + SVM, RF, GBM
Tixier (2016)	Milyonlarca saatlik iş verisinden nesnel kaza örüntüleri çıkarmak	Kaza nedenleri ve örüntülerini büyük ölçekte keşfetti	Büyük veri analiziyle içgörü üretmek	ML	RF, GBM
Lee et al. (2020)	Veri ön-işleme + modelleme ile kaza şiddeti tahmini yapmak	Kaza şiddeti sonucu başarıyla öngörüldü	Anlamlı değişkenlerle şiddeti tahmin etmek	ML	LCCA + SVM + Karar Ağaçları

Tablo 2.2 Yapay Zekâ (YZ) ve Makine Öğrenme Yöntemleri
(ML) ile analizi literatür taraması (devamı)

Kaynak	Analiz Amacı	Risk Analizi Kullanımı	YZ Kullanım	YZ Türü	Yöntem
Lee et al (2019)	Kaza raporlarını tematik olarak ayrıştırıp olay türü sınıflamak	“Yaralanma – ramak kala – hasar” ayrımı sağladı	Metin madenciliği ve sınıflama	ML / NLP	LDA + SVM, YSA + Karar Ağaçları
Mostofi et al. (2022)	İnşaat kazalarını grafik yapıda modelleyip şiddeti tahmin etmek	Şiddet sonucu %94 doğrulukla tahmin edildi	Benzer projeler arası örüntü öğrenimi	DL	GCN
She et al. (2024)	Bayesyen ağ ile senaryo-tepki olasılıklarını modellemek	Müdahale stratejilerinin kaza riskine etkisi sayısal olarak ölçüldü	Olay olasılığı ve müdahale senaryolar	ML / Bayesiana	Bayesyen Ağ + Entropi ağırlıklı TOPSIS

2.3.2 Büyük Dil Modelleri (LLM) Bazlı Senaryo Üretimi ve Analizi

Smetana ve çalışma arkadaşları (2024), ABD İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi'ne (OSHA) ait binlerce kaza kaydını ChatGPT-3.5 ile analiz etmiş; doğal dil işleme ve kümeleme tekniklerini kullanarak ısıya bağlı yaralanmalar ve çarpma kaynaklı olaylar gibi öne çıkan kaza türlerini ve bu türlerin ortak özelliklerini sistematik biçimde ortaya koymuşlardır. Bu bulgular, geniş hacimli metin verilerinin büyük dil modelleriyle işlenmesinin, kaza önleme stratejilerine dair özgün ve yenilikçi bir

bakış açısı sunabileceğini göstermektedir. Benzer biçimde, Uddin ve ekibinin (2023) yürüttüğü deneysel çalışmada, 42 inşaat mühendisliği öğrencisine yönelik ChatGPT destekli bir eğitim modülü geliştirilmiş; yapılan ön test ve son test karşılaştırmalarında, modelin özellikle tehlike tanıma yetkinliklerinde anlamlı düzeyde bir artış sağladığı görülmüştür. Bu sonuçlar, büyük dil modellerinin eğitim süreçlerine entegrasyonunun, çalışanların risk farkındalığını güçlendirebileceğini işaret etmektedir.

Aladağ (2023) ise farklı proje senaryolarını GPT-3.5'e sunarak, modelin risk tanımlama, analiz, tepki ve izleme aşamalarındaki performansını uzman değerlendirmeleriyle ölçmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, ChatGPT özellikle tepki ve izleme basamaklarında etkili bulunmuş; ancak tanımlama ve analiz aşamalarında insan uzmanların gerisinde kalmıştır. Bu nedenle modelin, bağımsız karar alıcı olmaktan ziyade, uzman kontrolünde çalışan bir karar destek aracı olarak kullanılması önerilmiştir. Finlandiya'da gerçekleştirilen başka bir çalışmada, Nyqvist ve meslektaşları (2024), ChatGPT-4'ü 16 risk yönetimi uzmanıyla kör tasarımı senaryolarda karşılaştırmıştır. Modelin, daha kapsamlı risk planları oluşturabildiği tespit edilmiş; ancak bu önerilerin uygulanabilirliği ve sahaya özgü detaylardaki yetersizlikleri, insan uzmanlığının hâlâ vazgeçilmez olduğunu göstermiştir.

Sabir ve ekibinin (2024) geliştirdiği iSafeTrainer platformu, yapay zekâyı sanal gerçeklik teknolojisiyle entegre ederek kullanıcıya kişiselleştirilmiş geri bildirim sunmayı amaçlamıştır. Platforma ilişkin yapılan anket çalışmaları; kullanıcı memnuniyeti, öğrenme etkinliği ve öz güven düzeylerinde anlamlı iyileşmeler sağlandığını ortaya koymuştur. Bu durum, LLM destekli VR çözümlerinin iş güvenliği eğitiminde etkileşimi artırma potansiyelini açıkça göstermektedir. Tran ve çalışma arkadaşları (2024), kapsamlı bir güvenlik mevzuatı derlemesini GPT-türevi bir modelle bütünleştirerek “Yapı Güvenliği Sorgu Asistanı” (CSQA) isimli aracı geliştirmiştir. İki farklı vaka çalışmasıyla test edilen CSQA, bağlama duyarlı ve doğru bilgi sunabilme becerisiyle, mevzuata uyum sürecini desteklemiş ve iş güvenliği açısından olumlu sonuçlar üretmiştir.

Diemert ve Weber (2023), insan analistlerle ChatGPT'yi “çapraz tehlike analizi” (CoHA) çerçevesinde ortak tartışma oturumlarına dahil etmiş ve elde edilen bulgular, LLM destekli görüşmelerin beyin fırtınası sürecini hızlandırarak daha

kapsamlı ve yaratıcı tehlike senaryoları üretilmesine katkı sağladığını göstermiştir. Nouri ve arkadaşları (2024), GPT-4 tabanlı bir sistemin HARA (Hazard Analysis and Risk Assessment) sürecinde ön taslak üretme kabiliyetini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre mühendisler, bu ön taslağı geliştirerek daha hızlı nihai çıktılara ulaşabilmiş ve özellikle karmaşık güvenlik gereksinimlerinin belirlenmesinde modelden anlamlı destek almıştır.

Ray ve ekibi (2024) tarafından yapılan bir başka çalışmada, OSHA raporlarından risk faktörlerinin çıkarılmasında LLM'lerin ve insan analistlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Modeller ile insanlar arasında yüksek düzeyde tutarlılık gözlenmiş; ancak LLM'in zaman zaman "halüsinatif" yani gerçeğe bağdaşmayan içerikler ürettiği tespit edilmiştir. Bu durum, model çıktılarının mutlaka uzman denetimi altında değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Son olarak, Sammour ve arkadaşları (2024), GPT-3.5 ve GPT-4 modellerini 385 soruluk bir inşaat güvenliği sertifikasyon sınavında test etmiş; GPT-4 %84,6 oranında doğrulukla GPT-3.5'i geride bırakmıştır. Bununla birlikte, her iki model de yönetim ve tehlike kontrolü konularında yüksek başarı gösterirken; acil durum müdahaleleri ve sayısal hesaplamalar gibi alanlarda sınırlı kalmıştır. Bulgular, LLM'lerin bilgiye dayalı destek sunabileceğini; ancak insan gözetiminin vazgeçilmez olduğunu teyit etmiştir.

Tablo 2.3 Büyük Dil Modelleri (LLM) bazlı senaryo üretimi
ve analizi literatür taraması

Kaynak	Analiz Amacı	LLM Kullanımı	Risk Analizi Bağlamı	LLM Yöntemi
Smetana et al. (2024)	OSHA kayıtlarından baskın kaza türlerini çıkarmak	NLP ve kümeleme ile metin sınıflaması	Kaza tiplerinin örüntülerle ayrıştırılması	ChatGPT-3.5
Uddin et al. (2023)	LLM destekli eğitimle tehlike	Etkileşimli eğitim oturumu	Ön-test/son-test ile tehlike tanıma artışı	ChatGPT

Tablo 2.3 Büyük Dil Modelleri (LLM) bazlı senaryo üretimi
ve analizi literatür taraması (devamı)

Kaynak	Analiz Amacı	LLM Kullanımı	Risk Analizi Bağlamı	LLM Yöntemi
Aladağ (2023)	LLM'nin risk yönetim faz performansını test etmek	Senaryo bazlı uzman karşılaştırması	Tepki/izleme güçlü; tanımlama zayıf	GPT-3.5
Nyqvist et al. (2024)	LLM vs. uzman risk planı karşılaştırması	Kör plan üretimi	Geniş planlar üretildi, sahaya özgü detay zayıf	ChatGPT-4
Sabir et al. (2024)	VR + LLM ile eğitim etkinliğini değerlendirmek	Kişiselleştirilmiş sanal rehberlik	Memnuniyet, öğrenme, özgüven artışı	LLM destekli VR
Tran et al. (2024)	LLM ile yapı güvenliği asistanı geliştirmek	Mevzuata dayalı soru-cevap	Uyumsuzluk riski azaltıldı, bağlamlı yanıtlar	GPT benzeri model
Diemert & Weber (2023)	LLM ile ortak beyin fırtınası etkinliğini test etmek	Senaryo üretimi oturumu	Tehlike çeşitliliği ve sayısı arttı	ChatGPT
Nouri et al. (2024)	GPT-4'ün HARA sürecine katkısını değerlendirmek	Ön taslak üretimi	Süreç hızlandı, karmaşık gereksinimler netleşti	GPT-4

Tablo 2.3 Büyük Dil Modelleri (LLM) bazlı senaryo üretimi
ve analizi literatür taraması (devamı)

Kaynak	Analiz Amacı	LLM Kullanımı	Risk Analizi Bağlamı	LLM Yöntemi
Ray et al. (2024)	LLM ve insan analist tutarlılığını karşılaştırmak	Risk faktörü çıkarımı	Halüsinasyon riski, uzman denetimi vurgusu	LLM (adı yok)
Sammour et al. (2024)	GPT’lerin sınav başarımını ölçmek	Sertifika sınavı yanıtı	GPT-4 başarılı; sayısal/tepki konuları zayıf	GPT-3.5, GPT-4

2.4 Analiz Düzenlemeleri

2.4.1 İnterpolasyon ile Katsayıların Düzenlenmesi

İnterpolasyon, eksik verilerin tahmin edilmesinde başvurulan temel yöntemlerden biridir ve özellikle fizik, mühendislik ve ekonomi gibi disiplinlerde oldukça yaygın bir uygulama alanına sahiptir. En bilinen haliyle doğrusal interpolasyon, iki nokta arasındaki bilinmeyen değerleri düz bir çizgi varsayımıyla tahmin eder (Chapra & Canale, 2015). Bu yöntemin formülasyonu, iki bilinen nokta arasında yer alan herhangi bir aralıktaki değer, o konumun koordinatına göre tahmin edilmesine olanak sağlar. Günümüzde bu işlem, sayısal analiz yazılımlarında oldukça pratik şekilde gerçekleştirilebilmektedir. MATLAB, Python (özellikle NumPy ve SciPy kütüphaneleri) gibi programlama ortamları interpolasyonu doğrudan desteklerken; Excel kullanıcıları ise =FORECAST.LINEAR() fonksiyonunu kullanarak ara değer hesaplamalarını hızlıca yapabilmektedir (Burden & Faires, 2011; Microsoft Support, 2024).

Doğrusal interpolasyonun bir diğer avantajı da farklı alt gruplardan gelen verileri aynı ölçekte normalize ederek, istatistiksel analizlerde karşılaştırılabilir ve standart hale getirmesidir (Chapra & Canale, 2015). Ancak bu yaklaşım, sabit aralıklı ölçeklerde verilerin uç noktalarında (minimum ve maksimum) yığılmalara neden

olabilir; bu durum ise ölçüm duyarlılığını azaltarak anlamlı varyasyonların göz ardı edilmesine yol açar (Arslan & Benke, 2023; Chyung, Hutchinson & Shamsy, 2020). Bu sınırlılığı aşmak için çalışmada ölçek sınırları, minimum ve maksimum değerler kontrollü şekilde genişletilerek dışarı taşınmış ve böylece verinin dağılımı daha esnek bir yapıya kavuşturulmuştur. Elde edilen yeni aralıklar, interpolasyon sürecine yeniden dâhil edilerek dağılımın sıkışması azaltılmıştır (Chapra & Canale, 2015).

Bu genişletilmiş interpolasyon tekniği, özellikle risk skorlamalarında önemli avantajlar sağlar. Hem verinin varyasyonunu korur hem de duyarlılığı artırarak farklı parametrelerin katkılarını daha net biçimde ortaya koyar. Benzer uygulamalara, sağlık alanında kullanılan APACHE II ve SOFA sistemleri ile mühendislikte sıklıkla tercih edilen FMEA metodolojisi de rastlanmaktadır (Knaus et al., 1985; Vincent et al., 1996; Stamatis, 2003). Ayrıca, verinin alt ve üst sınırlarında gözlenen yoğun yığılmalar durumunda, Tobit modeli gibi censored regresyon teknikleri devreye girerek bu taban–çatı etkilerini istatistiksel düzeyde dengeleme imkânı sunmaktadır (Tobin, 1958; Harrell, 2015).

Sonuç olarak, dikkatle yapılandırılmış interpolasyon yaklaşımları, hem uç değerlerin model üzerindeki bozucu etkilerini sınırlandırır hem de ölçüm doğruluğunu ve tahmin kabiliyetini artırır. Bu tür ölçekleme stratejileri, özellikle inşaat sektörüne ait karmaşık kaza verilerinin yapısallaştırılmasında ve güvenilir risk analizlerinin inşasında kritik rol oynar (Lee vd., 2020).

2.5 Veri Analizinin Sürdürülebilir İSG Kültürüne Etkisi

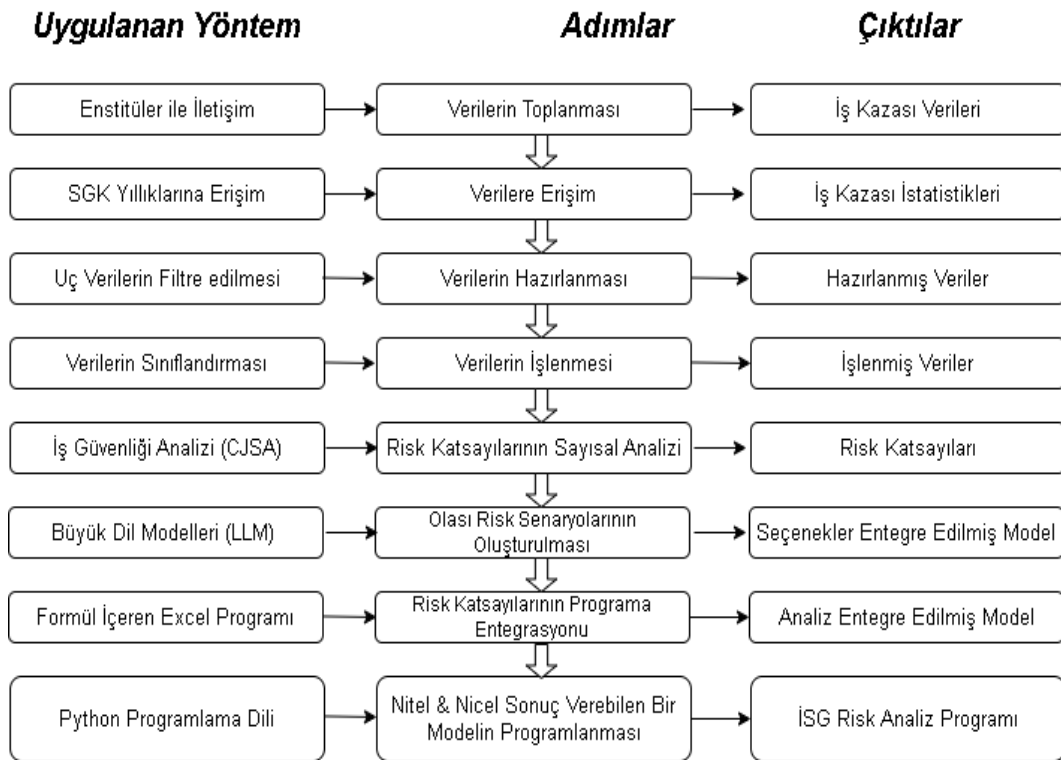
Türkiye'de iş kazası geçiren sigortalı çalışanlara ilişkin resmi bildirim süreci, 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu kapsamında düzenlenmiştir. Bu çerçevede bildirim yükümlülüğü işverene aittir. Kazanın gerçekleştiği tarihten itibaren en geç üç iş günü içinde, işverenin Sosyal Güvenlik Kurumu'na (SGK) “İş Kazası ve Meslek Hastalığı Bildirim Formu” ile başvuruda bulunması yasal bir zorunluluktur.

Söz konusu form, kazanın idari ve hukuki boyutlarını olduğu kadar, tıbbi ve iş sağlığı-güvenliği yönlerini de kapsamlı biçimde belgelemeye olanak tanıyan ayrıntılı bir yapıya sahiptir. Formda; işyeri bilgileri, bildiri yapan kişiyle ilgili

kimlik ve iletişim detayları, kazanın ne zaman ve nerede gerçekleştiği, nedeni, olayın oluş biçimi ve kazaya uğrayan çalışanın kişisel ve mesleki bilgileri gibi temel veriler yer almaktadır. Ayrıca formda, kazaya ilişkin detaylı tanım, uygulanan ilk yardım veya tıbbi müdahale, başvuru sağlık kurumu, iş göremezlik durumu (geçici ya da kalıcı) ve varsa tanıkların kimlik bilgileri de eksiksiz biçimde yer almalıdır.

Bu bütüncül bilgi yapısı sayesinde, yalnızca bir kayıt tutma aracı değil, aynı zamanda İSG açısından analitik veri üretimi için güçlü bir temel oluşturulmuş olur. Formun eksiksiz ve doğru şekilde doldurulması, hem işverenin hukuki sorumluluklarını yerine getirmesi hem de çalışanın sosyal güvenlik haklarının korunması açısından kritik bir rol üstlenir (SGK, 2024; Petrol-İş, 2022).

Diğer yandan, bu bilgilerin toplanması ve saklanması süreçlerinde veri güvenliği en az içeriğin kendisi kadar önemlidir. Tüm kullanıcı bilgileri; SSL gibi şifreleme protokolleri, kullanıcı kimlik doğrulama sistemleri ve erişim kontrol mekanizmalarıyla korunmaktadır. Sisteme girilen tüm veriler, 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) çerçevesinde güvence altına alınır ve yalnızca yetkili kurumlar tarafından erişilebilir kılınır (SGK, 2024; KVKK, 2023; PwC Türkiye, 2022).



Şekil 3.1 Yöntem akış şeması

3.1 Risk Etmenleri

3.1.1 İç Faktörler

İş kazalarının hem bireysel hem de örgütsel boyutlarını eş zamanlı olarak ele almayı amaçlayan bu çalışma; Sosyal Güvenlik Kurumu'nun (SGK) geçmiş kaza veri setinden yararlanarak, kazaya uğrayan çalışanların demografik özellikleri ile işyeri koşullarını bir arada değerlendirir. Bu bağlamda, cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi ve reel ücret seviyeleri gibi iç faktörler mantıksal sınıflandırmalarla gruplandırılmış; aynı

işyerindeki kaza yoğunluğu, vardiya türü ve mevsimsel dağılım ise çalışan-işyeri ilişkisinin göstergeleri olarak düzenlenmiştir. Bu ön sınıflandırma; veri tutarlılığını ve analitik karşılaştırılabilirliği artırarak, iş kazalarının çok boyutlu risk haritasının çıkarılmasını sağlamayı hedefler.

Çalışmanın temel hedefi, her bir alt grubun ikincil etkilerini nicel bir ölçeğe dönüştürerek “Kişisel Risk Katsayısı” ($RK_E^{Kişisel}$) adı altında bir risk derecelendirmesi yapmaktır. İş göremezlik gün sayısına dayalı yedi basamaklı etki sınıflandırması ile kazanın çalışana verdiği zararın düzeyi; 2–4 arasında değişen sabit katsayılarla çarpılarak, her yaş, eğitim ya da ücret grubuna özgü ham risk değerleri elde edilir. Bu katsayılar, kazanın hem çalışan hem de işyeri üzerindeki kayıp potansiyelini ölçmede ortak bir ölçek sunar ve böylelikle önleyici stratejilerin geliştirilmesinde kullanıcıya somut veri tabanlı girdiler sunar.

Metodolojik açıdan, ilk olarak ham verilerden türetilen gruplar arasındaki vaka frekansları toplanır, ardından katsayılarla çarpılarak alt grup düzeyinde toplam risk skorları hesaplanır. Elde edilen $HRK_E^{Kişisel}$ değerleri, ölçekler arası tutarlılığı korumak üzere doğrusal İnterpolasyon yöntemiyle 2–4 aralığına yeniden ölçeklendirilir. Son aşamada, kişisel risk analizi sonuçları genel risk değerlendirmesinin yaklaşık %10'luk ağırlık payına dahil edilerek, çalışan-işyeri risk bileşeni ile iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarına bütüncül bir bakış açısı kazandırılır. Bu yaklaşım, kazaların yalnızca teknik değil aynı zamanda psikososyal ve bireysel boyutlarının da göz önünde bulundurulmasının önemini ortaya koyar.

3.1.1.1 Risk İç Faktörler Sınıflandırma

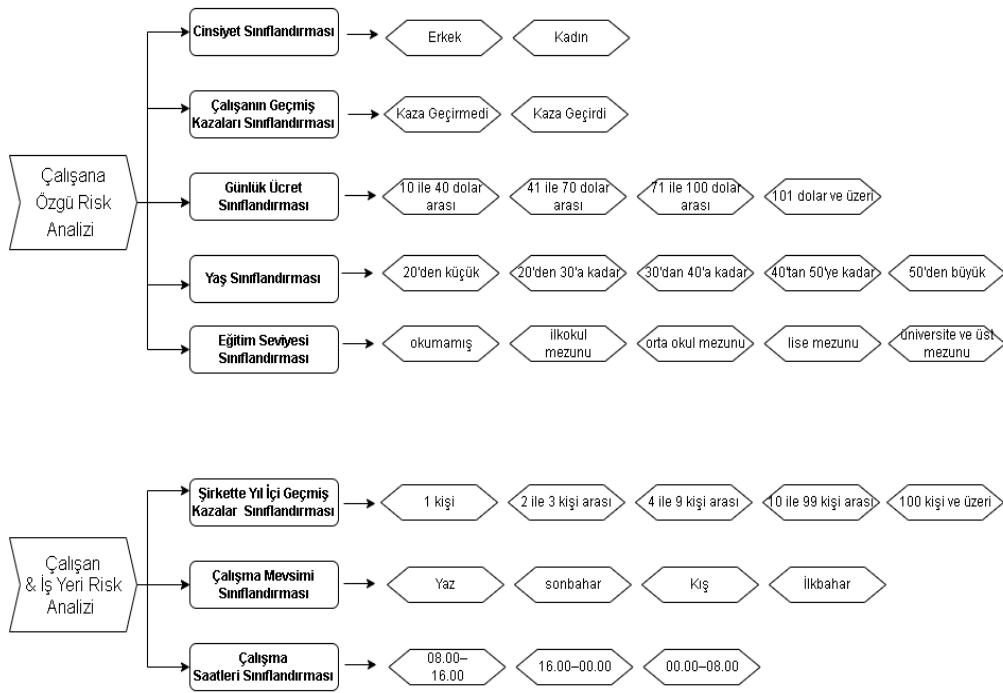
SGK'nın geçmiş kaza veri seti, iş kazalarının bireysel ve örgütsel boyutlarını birlikte incelemeye imkân tanıyan ayrıntılı bilgiler içerir. Kayıtlarda kazaya uğrayan çalışanların cinsiyeti, yaşı, eğitim düzeyi, günlük ücreti ve önceki kaza geçmişinin yanı sıra, aynı işyerine ait yıllık kaza sayıları ile kazanın gerçekleştiği yıl-ay-gün ve saat damgası bulunmaktadır. Bu ham veriler, tutarlı bir nicel analiz yapılabilmesi amacıyla önce anlamlı sınıflara ayrılmıştır; çünkü iş kazalarında mantıksal bütünlüğü yalnızca eşit aritmetik dilimlere dayandırmak her zaman gerçekçi sonuç vermemektedir.

Çalışana özgü değişkenler cinsiyet (erkek/kadın), yaş (20 yaş altı; 20-50 arası onar yıllık dilimler; 50 yaş üzeri), eğitim düzeyi (okur-yazar olmayan, ilkokul, ortaokul,

lise, üniversite ve üzeri) ve çalışanın aldığı günlük ücret aralıkları (10 \$’dan başlayıp 100 \$’a kadar 30’ar dolarlık kademeler ile 101 \$ ve üzeri) biçiminde gruplanmıştır. OGRETIM_DURUM ham değişkeni, analitik tutarlılık sağlamak amacıyla beş ana eğitim kategorisine ve belirsiz kayıtlar için ayrı bir “Bilinmeyen” sınıfına indirgenmiştir: “Okur-Yazar” ile “Okur-Yazar Değil” birleştirilerek okumamış; “İlkokul” ve “İlköğretim Mezunu” ilkokul mezunu; “Ortaokul” ortaokul mezunu; “Lise” ile “Meslek Lisesi” lise mezunu başlığı altında toplanmıştır. Yükseköğretime ilişkin tüm ayrıntılı tanımlar “Yüksek Okul”, “Üniversite”, “Master, Yüksek Mühendislik vb.” ve “Doktora” tek bir üst grup olan üniversite ve üstü mezunu kategorisine aktarılmıştır. Bu yeniden sınıflandırma, terim varyasyonlarını ortadan kaldırarak eğitim düzeyi değişkeninin karşılaştırılabilir ve analize hazır tek tip bir yapıyla kullanılmasını mümkün kılmıştır.

Ücret değişkeninin yıllar arası karşılaştırılabilirliğini sağlamak amacıyla, 2002-2020 dönemine ait ortalama yıllık döviz kurları temel alınarak parasal değerler enflasyonun bozucu etkisinden arındırılmıştır. Yöntem olarak her yıl için önce “1 ABD doları kaç TL” ve bunun tersi “1 TL kaç ABD doları” oranları belirlenmiş; örneğin 2002’de $1 \text{ USD} \approx 1,51 \text{ TL}$ (dolayısıyla $1 \text{ TL} \approx 0,66 \text{ USD}$), 2010’da $1 \text{ USD} \approx 1,50 \text{ TL}$ ve 2020’de $1 \text{ USD} \approx 7,01 \text{ TL}$ ($1 \text{ TL} \approx 0,14 \text{ USD}$) olarak kaydedilmiştir. Analizde ücretler, kendi yıllarındaki TL tutarlarıyla alındıktan sonra ilgili yılın “1 TL kaç dolar” katsayısı ile çarpılarak düşük enflasyon hassasiyetli dolar (\$) bazına dönüştürülmüştür. Böylelikle dönemler arası nominal ücret farklılıklarının doğurabileceği yanlılık en aza indirilmiş; uzun yıllara yayılan geçmiş iş kazası verilerinde çalışanlar arası ücret karşılaştırmaları tutarlı ve gerçeğe daha yakın bir biçimde gerçekleştirilebilmiştir (TCMB, 2021).

Çalışan-işyeri ilişkisini yansıtan değişkenler ise aynı yıl içindeki işyeri kaza sayısı (bir kaza, 2-3 kaza, 4-9 kaza, 10-99 kaza, 100 ve üzeri), çalışma vardiyası ya da saat aralığı (08.00-16.00, 16.00-00.00, 00.00-08.00) ve çalışma mevsimi (ilkbahar, yaz, sonbahar, kış) olarak düzenlenmiştir. Risk İç Faktörlerinin sınıflandırılması ve grup başlıkları bu şekilde gösterilmiştir (**Şekil 3.2**).



Şekil 3.2 Risk iç faktörlerinin sınıflandırılması

3.1.1.2 Risk İç Faktörlerin Analiz

SGK'nın yayımladığı Geçmiş Kaza veri seti, iş göremezlik süresine dayalı yedi basamaklı bir etki derecesi sınıflandırmasıyla incelenmiştir: “kaza günü çalışır”, “kaza günü işgörmez”, “işgörmez ödeme gün sayısı 2–50”, “51–100”, “101–150”, “151 günden fazla”. İş göremez gün sayısındaki artış, kazaya uğrayan çalışanın mahrumiyet düzeyini nicel olarak ifade etmektedir. Veri seti aynı zamanda çalışana özgü değişkenleri; cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi ve günlük ücret ile çalışan-işyeri ilişkisini yansıtan değişkenleri aynı yıl içindeki işyeri kaza sayısı, çalışma vardiyası/saat dilimi ve mevsim içermektedir. Bu değişkenler önce mantıksal bütünlüğü koruyacak şekilde gruplandırılmış, ardından seçilen sınıflandırmalar çerçevesinde sayısallaştırılmıştır. Örneğin yaş değişkeni beş kategoriye ayrılmış (“20 yaşından küçük”, “20–30”, “30–40”, “40–50”, “50 yaşından büyük”) ve her kategori için yedi ayrı ödeme-gün sınıfındaki vaka frekansları belirlenmiştir.

SGK'nin geçmiş kaza verilerinde “ödeme gün sayısı” (ÖGS) değişkeni altı basamaklı bir sınıflandırma ile modellenmiştir: ÖGS 0 ise ($KG_{\text{çalışır}}$), ÖGS 1 ise ($KG_{\text{işgörmez}}$), 2–50 gün arası (ÖGS_{IG}^2), 51–100 gün arası (ÖGS_{IG}^3), 101–150 gün

arası ($\text{ÖGS}_{\text{İG}}^{\circ 4}$) ve 151 gün üzeri ($\text{ÖGS}_{\text{İG}}^{\circ 5+}$). CJSA yöntemindeki etki derecelendirmesi baz alınarak 1 (küçük sıyrık/1 gün işten uzak kalma), 5 (orta yaralanma/uzun iş günü kaybı), 25 (kalıcı sakatlık) katsayıları ile $\text{DK}_{\text{İç}} \text{ faktörler}$ Tablosu şekildeki gibi oluşturulmuştur (**Tablo 3.1**).

Tablo 3.2 İç faktörler dönüşüm katsayısı ($\text{DK}_{\text{İç}} \text{ faktörler}$) tablosu

	$\text{KG}_{\text{İşgörmez}} \& \text{KG}_{\text{Çalışır}}$	$\text{ÖGS}_{\text{İG}}^{\circ 2}$	$\text{ÖGS}_{\text{İG}}^{\circ 3}$	$\text{ÖGS}_{\text{İG}}^{\circ 4}$	$\text{ÖGS}_{\text{İG}}^{\circ 5+}$
Etki (e) Değerleri	$e = 0$	$e = 1$	$e = 2$	$e = 3$	$e = 4$
$\text{DK}_{\text{Dış}} \text{ faktörler}$	1	5	5	5	25

$$\begin{aligned}
 \text{DK}_{\text{İç}} \text{ Faktörler} &= \text{DK}_{\text{Yaş}} = \text{DK}_{\text{Cinsiyet}} = \text{DK}_{\text{Eğitim}} = \text{DK}_{\text{Ç.G.Kaza}} \\
 &= \text{DK}_{\text{İ.G.Kaza}} = \text{DK}_{\text{Ücret}} = \text{DK}_{\text{Saat}} = \text{DK}_{\text{Mevsim}}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Ham Yaş Etki Risk Katsayısı ($\text{HRK}_E^{\text{Yaş}}$) her alt kategori için üç adımda elde edilmiştir. (i) Kaza verileri, örneğin yaş değişkeni için “20-’den küçük”, “20–30”, “30–40”, “40–50” ve “50+” dilimlerine ayrılmış; her dilimde olaylar beş etki sınıfına kodlanmıştır: kaza günü çalışır / iş-göremez ($e = 0$), $\text{ÖGS}_{\text{İG}}^{\circ 2}$ (2–50 gün, $e = 1$), $\text{ÖGS}_{\text{İG}}^{\circ 3}$ (51–100 gün, $e = 2$), $\text{ÖGS}_{\text{İG}}^{\circ 4}$ (101–150 gün, $e = 3$) ve $\text{ÖGS}_{\text{İG}}^{\circ 5+}$ (151+ gün, $e = 4$). Sonraki aşamada her hücredeki vaka frekansı, $\text{DK}_{\text{Dış}} \text{ faktörler}$ tablosunda belirlenen katsayıyla çarpılarak ağırlıklandırılmıştır; katsayılar $e = 0$ için 1, $e = 1=2=3$ için 5, $e = 4$ için 25’tir. Sonraki aşamada bu çarpılmış değerler toplanmış (örnek = 7 943) ve aynı alt sınıftaki toplam kaza sayısına (4 999) bölünerek etki-ölçekli, karşılaştırılabilir. Örneğin “20 yaş altı” grubunda $\text{HRK}_E^{\text{Yaş} < 20}$ için yapılan hesaplama örnek olarak gösterilmiştir. Aynı prosedür tüm yaş dilimlerine ve diğer boyutlara (yara türü, yara bölgesi, makine, çalışma alanı) uygulanarak veri seti, katsayılarla dengelenmiş homojen bir risk ölçüsüne dönüştürülmüştür (**Tablo 3.2 & Tablo 3.3**).

Örneğin Ham Kişisel Risk Katsayısı Yaş <20 için;

$$HRK_E^{Yaş<20} = \frac{KS_{e=0}^{Yaş<20} * DK_{e=0} + (KS_{e=1}^{Yaş<20} + KS_{e=2}^{Yaş<20} + KS_{e=3}^{Yaş<20}) * DK_{e=1=2=3} + KS_{e=4}^{Yaş<20} * DK_{e=4}}{TKS^{Yaş<20}} \quad (3.2)$$

$$HRK_E^{Yaş<20} = \frac{((4,304 + 29) * 1 + (551 + 71 + 30) * 5 + 19 * 25)}{4,304 + 29 + 551 + 71 + 30 + 19} = 1.61$$

Tablo 3.2 Etki derecelerine göre yaş sınıflandırmasındaki iş kazaları

	KS^{Yaş} < 20	20 ≤ KS^{Yaş} < 30	30 ≤ KS^{Yaş} < 40	40 ≤ KS^{Yaş} < 50	50 ≤ KS^{Yaş}
KG _{Çalışır}	4,304	17,259	11,111	8,011	3,982
KG _{İşgörmez}	29	202	138	72	43
ÖGS _{İG} ^{°2}	551	3,047	2,642	1,968	811
ÖGS _{İG} ^{°3}	71	418	449	425	229
ÖGS _{İG} ^{°4}	30	128	189	164	79
ÖGS _{İG} ^{°5+}	19	129	184	157	97

Tablo 3.3 Ham yaş etki risk katsayısı ($HRK_E^{Yaş}$) hesaplama tablosu

	DK_{İç} faktörler	KS^{Yaş} < 20	20 ≤ KS^{Yaş} < 30	30 ≤ KS^{Yaş} < 40	40 ≤ KS^{Yaş} < 50	50 ≤ KS^{Yaş}
KG _{Çalışır}	1	17,259	11,111	8,011	3,982	17,259
KG _{İşgörmez}	1	202	138	72	43	202
ÖGS _{İG} ^{°2}	5	15,235	13,210	9,840	4,055	15,235
ÖGS _{İG} ^{°3}	5	2,090	2,245	2,125	1,145	2,090
ÖGS _{İG} ^{°4}	5	640	945	820	395	640
ÖGS _{İG} ^{°5+}	25	3,225	4,600	3,925	2,425	3,225
HRK^{Yaş}		1.61	1.82	2.19	2.30	2.30

Tablo 3.4 İnterpolasyon yöntemi ile $RK_E^{Kişisel}$ hesaplama tablosu

INP_E^{Yaş}	İnterpolasyon Etki Katsayı Dönüşümü
1.58	2.0
1.77	2.5
1.96	3.0
2.15	3.5
2.34	4.0

Elde edilen $HRK_E^{Kişisel}$ 2–4 aralığı dışında kaldığında değerlerin tutarlı biçimde karşılaştırılabilmesi amacıyla Excel’de doğrusal İnterpolasyon uygulanmıştır. Sonuç olarak tüm alt grupların $RK_E^{Kişisel}$ ’ları, kişisel risk analizi testinde kullanılmaya hazır, ölçeklenmiş ve karşılaştırılabilir bir biçime dönüştürülmüştür **(Tablo 3.4)**.

Doğrusal İnterpolasyon sürecinde, her alt grup için $RK_E^{Kişisel}$ gözlemlerinden en düşük (e_{min}) ve en yüksek (e_{mak}) değerler belirlenir; ardından taban-çatı sıkışmasını azaltmak için e_{min} değeri %2 aşağıya, e_{mak} değeri %2 yukarıya kaydırılır. Ölçekleme, bu genişletilmiş uç noktalara dayalı olarak:

$$e'_{min} = e_{min} * 0.98, e'_{mak} = e_{mak} * 1.02$$

$$f_{(x)} = 2 + \left(\frac{x - e'_{min}}{e'_{mak} - e'_{min}} \right) * 2$$

(3.3)

Biçimindeki doğrusal İnterpolasyon formülüyle yapılır. Böylece örnek ham değerler $1,87 \rightarrow 2,5$; $2,12 \rightarrow 3,0$; $2,37 \rightarrow 3,5$ gibi ara puanlara dönüştürülür. 1.58 en düşük $HRK_E^{Yaş}$ değerinden %2 daha düşüğü, 2. 34 ise $HRK_E^{Yaş}$ değerinden %2 daha yükseği, bu şekilde en düşük değerin 2 en yüksek değerin 4 olması engellenmiş olmaktadır. Elde edilen $RK_E^{Yaş}$ değerleri ölçeğin uçlarına (2 ya da 4) tam olarak “yığılmadığı” için verinin %0 ya da %100 risk olarak kodlanması engellenir ve dağılım, uç değerleri dâhil ederek daha gerçekçi biçimde korunmuş olur.

$$\begin{aligned} \text{Geo, Ort} & \left(RK_E^{Yaş}, RK_E^{Cinsiyet}, RK_E^{Eğitim}, RK_E^{Ç.G.Kaza}, RK_E^{İ.G.Kaza}, RK_E^{Ücret}, RK_E^{Saat}, RK_E^{Mevsim} \right) \\ &= \sqrt[8]{RK_E^{Yaş} * RK_E^{Cinsiyet} * RK_E^{Eğitim} * RK_E^{Ç.G.Kaza} * RK_E^{İ.G.Kaza} * RK_E^{Ücret} * RK_E^{Saat} * RK_E^{Mevsim}} \\ &= RK_E^{Geo, Ort-Kişisel} = RK_{İç faktörler} \end{aligned}$$

(3.4)

Analiz yapılırken “etki (şiddet)” ve “sıklık (frekans)” bileşenleri dikkate alınmıştır. Risk katsayısı $R = Ş$ (Şiddet) $\times$ F (frekans) formülüyle hesaplanmıştır; böylece her ÖGS dilimi, iş göremezlik süresinin yarattığı şiddet katsayısı ile olayın görülme sıklığının çarpımına dayanan dengeli bir risk değeriyle temsil edilmiştir.

3.1.1.3 İç Faktörler Sonuç

Kullanıcının Kişisel Risk Analiz Testi sonucunda elde edilen yaş, cinsiyet, eğitim durumu, çalışan geçmiş kaza sayısı, işyeri (yıl içi) geçmiş kaza sayısı, günlük ücret (\$), çalışma saatleri ve çalışma mevsimine ilişkin test sorularından hesaplanan risk katsayılarının geometrik ortalaması alınarak ($RK_E^{Geo,Ort-Kişisel}$) değeri oluşturulmuştur. Şekilde gösterildiği üzere bu değerler, en düşük 2,04 ve en yüksek 3,60 arasında olacak şekilde sakallandırılmıştır.

Çalışana özgü risk analizi ve Çalışan& İşyeri ilişkisi Risk Analizi hesaplamalarından elde edilen değer verilerinin kapsamları birleştirilerek $RK_E^{Kişisel}$ değerlerini oluşturur. $RK_E^{Kişisel}$, genel risk analizinde yaklaşık %10 ağırlığa sahip olup çalışma ortamına ilişkin risk katsayılarına eklenerek olası bir iş kazasının hem çalışana hem de işyerine doğuracağı etkilerin daha gerçekçi biçimde tahmin edilmesini sağlar.

3.1.2 Dış Faktörler

Bu çalışmada kullanılan “Etki Risk Katsayısı (RK_E)” ve “Sıklık Risk Katsayısı (RK_S)” verileri, geçmiş kaza verileri ile Kaza Yıllıklarından elde edilen bilgilerin çeşitli matematiksel hesaplamalar ve formüller aracılığıyla analiz edilmesiyle oluşturulmuştur. “Etki Risk Katsayısı” ve “Sıklık Risk Katsayısı” değerleri; çalışma alanı, kullanılan makine, yara türü ve yara bölgesi gibi ana başlıklar altında gruplandırılarak her bir başlık için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

3.1.2.1 Dış Faktörler Etki Dereceleri Sınıflandırma

Çalışma Alanı Etki Risk Katsayısı (RK_E^{CA}) Değerleri elde edilirken, 2019-2023 yılları arasındaki SGK Geçmiş Kaza Yıllıkları kaynak olarak kullanılmış ve üç farklı çalışma alanı kapsamında veriler, etki derecelerine göre sınıflandırılmıştır. İlk olarak, kazanın gerçekleştiği gün çalışanın işe devam edip etmediğine göre "kaza günü çalışır" ve "kaza günü iş görmez" olmak üzere iki ana gruplandırma yapılmıştır. İkinci gruplandırma ise çalışanın kaza sonrası aldığı rapora göre yapılmıştır. Bu kapsamda geçici iş görmezlik süresine göre dört farklı etki derecesi belirlenmiştir: Geçici iş görmez gün sayısı düşük olanlar (2. dereceden), Orta düzeyde olanlar (3. dereceden), Yüksek olanlar (4. dereceden), Çok yüksek olanlar ise (5+. dereceden) sınıflandırılmıştır.

Bunlara ek olarak, iş kazası sonucu hayatını kaybedenlerin sayısı da SGK verilerinde ayrıca belirtilmiş ve bu da değerlendirmeye dahil edilmiştir. Böylece, her yıl ve çalışma alanı için toplam yedi farklı etki derecesine sahip veri grubu elde edilmiştir:

- Kaza günü çalışır,
- Kaza günü iş görmez,
- 2. dereceden geçici iş görmez,
- 3. dereceden geçici iş görmez,
- 4. dereceden geçici iş görmez,
- 5+. dereceden geçici iş görmez,
- Ölüm.

3.1.2.2 Dış Faktörler Analizi ve Etki Derecesi Dönüşüm Tabloları

Bu çalışmada çalışma alanı, makine ve yara türüne ilişkin etki derecesi dönüşüm tabloları, yara bölgesi için oluşturulan temel tabloya dayandırılarak nicel hâle getirilmiştir. Yöntem, her etki derecesine 2^n formunda üstel olarak artan katsayılar tanımlamaya dayanır; ölüm vakaları için çarpan sabit 200 olarak belirlenmiştir. Uygulamada, etki derecesi gruplarındaki iş kazası sayıları kendi katsayılarıyla çarpılır, ardından elde edilen toplam değer aynı gruba ait toplam kaza sayısına bölünerek normalleştirilir. Bu prosedürün sonunda çalışma alanı için RK_E^{CA} , kullanılan makine için RK_E^M , yara bölgesi için RK_E^{YB} ve yara türü için RK_E^{YT} katsayıları sistematik biçimde hesaplanmış olur. Böylece model, farklı risk bileşenlerini tek ve karşılaştırılabilir bir ölçeğe taşıyarak analizin bütüncül tutarlılığını garanti eder.

Risk-etki analizlerinde, veri tabanlı sınıflandırmalar arasındaki farklılıklar tek bir tekniğe bağlı kalmayı güçleştirdiğinden, en uygun sonucu üretecek “hibrit” bir mantığın benimsenmesi gerekir. Ölümlü olmayan senaryolarda kullanılan CJSA (Construction Job Safety Analysis) yöntemi, her “kontrol kaybı” durumunun riskini “Risk = Sıklık $\times$ Şiddet” formülüyle hesaplar ve şiddeti dört düzeyde ağırlıklandırır: 1 (küçük sıyrık/1 gün işten uzak kalma), 5 (orta yaralanma/uzun iş günü kaybı), 25 (kalıcı sakatlık) ve 100 (ölüm) (**Tablo 3.5**).

Tablo 3.5 DK_{Dış} faktörler tablosu

KG_{Çalışır}	KG_{Çalışır & KG_{İşgörmez}}	ÖGS_{İG}^{°2}	ÖGS_{İG}^{°3}	ÖGS_{İG}^{°4}	ÖGS_{İG}^{°5+}	Ölüm
Etki (e) Değerleri	e = 0	e = 1	e = 2	e = 3	e = 4	e = 5
DK _{Dış} faktör	1	5	5	5	25	100

Ölümcül kazalarla hafif yaralanmaların etki farkını doğru yansıtmak için Harms-Ringdahl'ın (2001) önerdiği yaklaşım entegre edilir; bu modelde her şiddet düzeyi için “kısmi tehlike katsayısı” $W = \text{kategoriye düşen kaza sayısı} / \text{toplam kaza sayısı}$ ile bulunur ve ölümcül vakaların hafif yaralanmalara göre kaç kat daha etkili olduğu $\frac{W_{\text{Ölüm}}}{W_{\text{Hafif}}}$ oranıyla ifade edilir. CJSa katsayılarının bu mantıkla güncellenmesi, şiddet skalasını 1-5-25-200 biçimine taşır ve fatal olayların ağırlığını Harms-Ringdahl yaklaşımıyla uyumlu kılar. Dönüşüm Katsayıları (DK_{YT}, DK_M, DK_{YB} ve DK_{CA}) hesabı şekildeki tablo ile yapılmıştır (**Tablo 3.6**).

$$KS_{e=\text{tümü}}^{\text{Geo,Ort}} = \sum_{n=0}^5 (KS_{e=n}^{\text{Geo,Ort}}) \quad (3.5)$$

$$W_{\text{Ölüm}} = \frac{TKS_{e=5}^{\text{Geo,Ort}}}{TKS_{e=\text{tümü}}^{\text{Geo,Ort}}} = \frac{1,232}{420,451}$$

$$W_{\text{Hafif}} = \frac{TKS_{e=0}^{\text{Geo,Ort}}}{TKS_{e=\text{tümü}}^{\text{Geo,Ort}}} = \frac{249,818}{420,451}$$

$$\frac{W_{\text{Ölüm}}}{W_{\text{Hafif}}} = \frac{0.00491}{0.99509} \approx 0.005$$

(3.6)

1 ölüm vakası $\approx 0,005$ hafif yaralanma etkisine eşittir. Bu da $KG_{İşgörmz}$ etki derecesi için Dönüşüm Katsayısı $= DK_{KG_{İşgörmz}} = 1$ iken, Ölüm etki derecesi için Dönüşüm Katsayısı $= DK_{ölüm} = 200$ değerine sahiptir.

Örneğin $KG_{Çalışır}$ için formüller:

$$\begin{aligned} & \text{Geo, Ort } (TKS_{e=0}^{YT}, TKS_{e=0}^{YB}, TKS_{e=0}^M, TKS_{e=0}^{CA}) \\ &= \sqrt[4]{(TKS_{e=0}^{YT} * TKS_{e=0}^{YB} * TKS_{e=0}^M * TKS_{e=0}^{CA})} = TKS_{e=0}^{\text{Geo, Ort}} \\ & TKS_{e=0}^{\text{Geo, Ort}} * DK_{\text{tümü}} = DK_{YT} * KS_{e=0}^{YT} \\ & DK_{YT} = \frac{KS_{e=0}^{\text{Geo, Ort}} * DK_{\text{tümü}}}{\text{Kaza Sayısı } YT_{e=0}} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Tablo 3.6 Dönüşüm katsayıları (DK_{YT} , DK_M , DK_{YB} ve DK_{CA}) hesap tablosu

	$KG_{Çalışır}$	$KG_{İşgörmz}$	$ÖGS_{İG}^2$	$ÖGS_{İG}^3$	$ÖGS_{İG}^4$	$ÖGS_{İG}^{5+}$	Ölüm
$DK_{\text{tümü}}$	1	1	5	5	5	25	200
KS^{YT}	245,968	11,884	19,647	25,293	6,869	112,802	1,147
KS^M	267,995	11,153	19,205	23,715	6,393	91,628	883
KS^{YB}	219,088	13,810	22,438	34,470	9,459	130,588	705
KS^{CA}	269,692	6,367	14,004	18,286	4,501	104,899	3,223
$KS^{YT} * DK_{\text{tümü}}$	245,968	23,768	78,588	202,344	109,904	3,609,664	229,400

Tablo 3.6 Dönüşüm katsayıları (DK_{YT} , DK_M , DK_{YB} ve DK_{CA}) hesap tablosu
(devamı)

	$KG_{\text{Çalışır}}$	$KG_{\text{İşgörmöz}}$	$\text{ÖGS}_{\text{İG}}^2$	$\text{ÖGS}_{\text{İG}}^3$	$\text{ÖGS}_{\text{İG}}^4$	$\text{ÖGS}_{\text{İG}}^{5+}$	Ölüm
KS^M * $DK_{\text{tümü}}$	267, 995	22,305	76,821	189, 720	102, 293	2,932, 103	176, 580
KS^{YB} * $DK_{\text{tümü}}$	219, 088	27,620	89,752	275, 760	151, 344	4,178, 816	141, 000
KS^{CA} * $DK_{\text{tümü}}$	269, 692	12,734	56,014	146, 288	72,023	3,356, 780	644, 564
$KS_{e=0}^{\text{Geo,Ort}}$	249, 818	10,390	18,556	24,797	6,576	109, 083	1,232
$KS_{e=0}^{\text{Geo,Ort}}$ * $DK_{\text{tümü}}$	249, 818	20,780	74,224	198, 374	105, 214	3,490, 644	246, 323

Tablo 3.7 Dönüşüm katsayıları tablosu

	$KG_{\text{Çalışır}}$	$KG_{\text{İşgörmöz}}$	$\text{ÖGS}_{\text{İG}}^2$	$\text{ÖGS}_{\text{İG}}^3$	$\text{ÖGS}_{\text{İG}}^4$	$\text{ÖGS}_{\text{İG}}^{5+}$	Ölüm
DK_{YT}	1.0	1.7	3.8	7.8	15.3	30.9	214.8
DK_M	0.9	1.9	3.9	8.4	16.5	38.1	279.0
DK_{YB}	1.1	1.5	3.3	5.8	11.1	26.7	349.4
DK_{CA}	0.9	3.3	5.3	10.8	23.4	33.3	76.4

Sonraki aşamada iş kazaları, etki düzeylerine göre ayrıldıkları andaki kaza sıklıklarıyla analiz edilir; önce geometrik ortalama yöntemiyle çıkarılan yara türü, yara bölgesi, makine ve çalışma alanı verileri bu yeni katsayılarla dönüştürülür (Tablo 3.7).

En son aşamada her sınıflandırma (yara türü, kullanılan makine, yara bölgesi ve çalışma alanı) için ayrı dönüşüm tabloları oluşturularak risk hesaplamalarında tutarlı ve karşılaştırılabilir bir temel sağlanır.

3.2 İSG Risk Analiz ve Risk Katsayıları

3.2.1. Çalışma Alanı Analizi

Kaza yıllıklarından elde edilen veri setinin çeşitli matematiksel hesaplamalar ve formüller aracılığıyla analiz edilmesi ile çalışma alanı etki risk katsayısı (RK_E^{CA}) ve çalışma alanı sıklık risk katsayısı (RK_S^{CA}) değerlerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. RK_E^{CA} ve RK_S^{CA} değerlerinin çalışma alanlarına göre hesaplanabilmesi için, inşaat sektöründe yapılan analizler NACE kodlarına göre sınıflandırılmıştır. Bu kapsamda, inşaat sektörüyle ilgili faaliyetler üç ana grupta ele alınmıştır: Bina İnşaatı (41), Bina Dışı Yapıların İnşaatı (42) ve Özel İnşaat Faaliyetleri (43).

İnşaat sektörü, NACE Rev. 2 sınıflamasına göre üç ana faaliyet grubunda incelenmektedir. 41 kodu hem konut hem de konut dışı bina inşaatlarını kapsamakta olup apartman, villa, otel, hastane, okul ve alışveriş merkezi gibi yapıların inşası bu grup altında değerlendirilmektedir. 42 kodu ise binalar dışında kalan mühendislik yapılarının, yani altyapı projelerinin inşaatını içermektedir. Bu kapsamda otoyol, demiryolu, köprü, tünel, baraj, kanal ve enerji hatlarının yapımı yer alır. 43 kodu ise özel inşaat faaliyetlerini temsil eder ve bu grupta yıkım işleri, şantiye hazırlığı, beton dökümü, elektrik ve su tesisatı, çatı yapımı, sıva ve yalıtım gibi tamamlayıcı ve uzmanlık gerektiren inşaat işleri bulunur (TOBB, 2023).

Çalışma alanı sınıflandırmasında, inşaat sektörüyle ilgili olarak NACE kodlarının ilk iki hanesi olan 41, 42 ve 43 numaralı veriler kullanılmıştır. Normalde SGK yıllıklarında bu NACE kodlarının alt sınıflandırmaları da mevcuttur; örneğin 41.1 veya 41.2 gibi detaylı kategoriler bulunmaktadır. Ancak SGK yıllıklarında, çalışan nüfusun çalışma alanlarına göre yapılan sınıflandırmada herhangi bir alt kategori

ayrımı yapılmaksızın, yalnızca 41, 42 ve 43 numaralı NACE kodları temel alınarak sınıflandırma yapılmıştır.

RK_E^{CA} değerleri SGK yıllıklarındaki faaliyet alanı ile alakalı (sigortalılardan iş kazası geçiren veya meslek hastalığına tutulan sigortalı sayılarının ekonomik faaliyet ve cinsiyete göre dağılımı) kaza dereceleri ve kaza sayıları 2019'dan 2023'e kadar elde edilen etki ve sıklık risk katsayıları yıllara göre elde edilip bunların ortalaması alınmıştır sıklık verisi çalışma alanlarındaki çalışan sayıları diğerlerine göre farklı olduğu için yıl içinde gerçekleşen kaza sayılarının ilgili çalışma alanlarındaki çalışan nüfusa bölümü ile daha tutarlı bir çalışma alanı sıklık risk verisi elde edilmektedir. SGK yıllıklarından elde edilen tabloya göre (iş kazası veya meslek hastalığı sonucu ölenlerin ekonomik faaliyet ve cinsiyete göre dağılımı) faaliyet alanına göre aynı şekilde NACE kodlarına göre ayrılmış 3 kategoride iş kazası geçirerek ölenlerin sayıları da mevcut iş kazası etki derecelerini edecek şekilde kullanılacaktır ve en yüksek etkisiz derecesini bunlar oluşturacaktır.

Kazanın gerçekleştiği iş alanının risk profili, olayın etkisini belirleyen başlıca unsur olup güvenli ortamlarda katsayı nispeten düşük, tehlikeli ve kontrolsüz alanlarda ise yüksek tutulur. İş göremezlik derecesine göre katsayılar şu biçimdedir: Kaza günü çalışmaya devam edilebiliyorsa katsayı 0,9 ($KG_{\text{Çalışır}}$), aynı gün çalışılamıyorsa 3,3 ($KG_{\text{İşgöremez}}$) alınır. İş göremezlik ödeme gün sayısı ÖGS_{IG}^2 dereceden ise $DK_{CA} = 5.3$, ÖGS_{IG}^3 dereceden ise $DK_{CA} = 10.8$, ÖGS_{IG}^4 dereceden ise $DK_{CA} = 23.4$ ve ÖGS_{IG}^{5+} dereceden ise $DK_{CA} = 33.3$ 'e yükselir. Ölümle sonuçlanan kazalarda katsayı en yüksek değer olan $DK_{CA} = 76,4$ 'e çıkar. Bu dağılım, çalışma alanının tehlike düzeyi yükseldikçe kazanın ciddiyetinin katsayıya yansıtıldığını gösterir. Çalışma Alanı Dönüşüm Katsayısı (DK^{CA}) Dönüşüm Katsayıları tablosundan elde edilir (**Tablo 3.7**).

Bina İnşaatı (NACE 41) alt faaliyet sınıfına ilişkin 2019 yılı SGK kaza verileri, toplam 25,551 iş kazası ve 727,961 çalışan üzerinden değerlendirilmiştir. Kazalar, CJSa temelli yedi etki düzeyine ayrılarak frekansları sırasıyla kaza günü çalışır ($e = 0$): 16,510, kaza günü iş-göremez ($e = 1$): 371, ÖGS_{IG}^2 ($e = 2$): 831, ÖGS_{IG}^3 ($e = 3$): 1 060, ÖGS_{IG}^4 ($e = 4$): 272, ÖGS_{IG}^{5+} ($e = 5$): 6 507 ve ölüm ($e = 6$): 207 olarak kaydedilmiştir (**Tablo 3.8**).

2019 Yılı Çalışma Alanı sınıflandırması için toplam kaza sayısı bu formül ile bulunur;

$$TKS_{CA}^{2019} = \sum_{n=0}^7 KS_{e=n}^{CA} \quad (3.8)$$

Tablo 3.8 Etki derecelerine göre çalışma alanı sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları

	KG_{Çalışır}	KG_{işgörmez}	ÖGS_{İG}^{°2}	ÖGS_{İG}^{°3}	ÖGS_{İG}^{°4}	ÖGS_{İG}^{°5+}	Ölüm	TKS_{CA}²⁰¹⁹	TCN_{CA}²⁰¹⁹
Etki (e) değerleri	e = 0	e = 1	e = 2	e = 3	e = 4	e = 5	e = 6	-	-
Bina inşaatı (41)	16, 510	371	831	1,06 0	272	6,50 7	207	25, 551	727, 961
Bina dışı yapıların inşaatı (42)	10, 685	256	539	713	161	3,57 3	105	15, 927	293, 312
Özel inşaat faaliyetleri (43)	3,60 0	100	229	315	81	1,89 8	56	6,22 3	273, 515

Her etki düzeyi, “Çalışma Alanı Dış Faktör Katsayıları” tablosunda tanımlanan DK_{CA} değerleri (0,9; 3,3; 5,3; 10,8; 23,4; 33,3; 76,4) ile ağırlıklandırılmıştır; böylece örneğin “kaza günü çalışır” hücresi $16,510 \times 0,9 = 15\,293$ olarak, diğer hücreler ise 1,211; 4,405; 11,499; 6,358; 216,528 ve 15,821 şeklinde dönüştürülmüştür. Ağırlıklı değerlerin toplamı 271,115 olup ham toplam kaza sayısına bölünerek Ham Çalışma Alanı Etki Risk Katsayısı(HRK_{E-2019}^{CA-41}) elde edilmiştir:

Örneğin 2019 yılındaki etki derecelerine göre çalışma alanı Bina İnşaatı (41) için HRK_{E-2019}^{CA-41} hesabı;

$$HRK_E^{CA} = \frac{\sum_{n=0}^7 KS_{e=n}^{CA} * DK_{e=n}^{CA}}{\sum_{n=0}^7 KS_{e=n}^{CA}} \quad (3.9)$$

$$HRK_{E-2019}^{CA-41} = \frac{(16.510 * 0.9 + 371 * 3.3 + 831 * 5.3 + 1.060 * 10.8 + 272 * 23.4 + 6,507 * 33.3)}{16,510 + 371 + 831 + 1,060 + 272 + 6,507 + 207} = 10.53$$

Ağırlıklı toplam (271,231.7), toplam kaza sayısına (25,758) bölünerek 2019 Yılı Bina İnşaatı (41) Çalışma Alanı Etki Risk Katsayısı $HRK_{E-2019}^{CA-41} = 10.53$ olarak bulunmuştur. Excel Programından elde edilen hesaplama (HRK_E^{CA}) tablosu şekilde verilmiştir (**Tablo 3.9**).

Bu değer, Bina İnşaatı alanının katsayılarla dengelenmiş göreceli etki riskini nicel olarak yansıtmaktadır. Aynı metodolojiyle hesaplanan Bina Dışı Yapıların İnşaatı (NACE 42) ve Özel İnşaat Faaliyetleri (NACE 43) alt sınıfları için HRK değerleri sırasıyla 9,48 ve 12,36 olup, çalışma alanları arasında karşılaştırılabilir homojen bir risk ölçeği sağlamaktadır. Bu veriler, Etki Derecesi Dönüşüm Tablosu kullanılarak katsayılarla eşleştirilmiş ve her etki derecesine karşılık gelen iş kazası sayısı ilgili katsayıyla çarpılmıştır. Tüm dereceler için yapılan bu işlemler sonucunda elde edilen değerler toplanmış ve aynı yıl ile çalışma alanına ait toplam iş kazası sayısına bölünerek $HRK_{E-yıl}^{CA}$ değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3.9 Ham çalışma alanı etki risk katsayısı (HRK_E^{CA}) hesaplama tablosu

	$KG_{\text{Çalışır}}$	$KG_{\text{İşgörmey}}$	$\ddot{OGS}_{IG}^2$	$\ddot{OGS}_{IG}^3$	$\ddot{OGS}_{IG}^4$	$\ddot{OGS}_{IG}^{5+}$	$\ddot{Ölüm}$	HRK_E^{CA}
DK_{CA}	0.9	3.3	5.3	10.8	23.4	33.3	76.4	-
Bina inşaatı (41)	15,293	1,211	4,405	11,499	6,358	216,528	15,821	10.53
Bina dışı yapıların inşaatı (42)	9,898	836	2,857	7,735	3,763	118,896	8,025	9.48
Özel inşaat faaliyetleri (43)	3,335	326	1,214	3,417	1,893	63,158	4,280	12.36

Çalışma Alanı Sıklık Risk Katsayısı (RK_S^{CA}) değerleri elde edilirken, 2019-2023 yılları arasındaki SGK Geçmiş Kaza Yıllıkları kaynak olarak kullanılmıştır. Bu süreçte, üç farklı çalışma alanında iş kazası geçirenlerin ve bu kazalar sonucu ölenlerin sayıları, etki derecelerine ya da ölüme göre ayrılmaksızın toplanmıştır. Ardından, her yıl için elde edilen bu toplam sayılar, ilgili yıl ve çalışma alanındaki toplam çalışan nüfusa bölünerek ham veriler oluşturulmuştur. Elde edilen bu ham veriler, en az 2 en fazla 4 arasında derecelendirilen sayısal İnterpolasyon yöntemi kullanılarak, Excel programı aracılığıyla RK_S^{CA} değerlerine dönüştürülmüştür. Son olarak, 2019, 2020, 2021, 2022 ve 2023 yıllarına ait veriler kullanılarak her bir çalışma alanı için RK_S^{CA} ortalamaları hesaplanmış ve üç çalışma alanına ait nihai RK_S^{CA} değerleri elde edilmiştir.

Örneğin 2019 yılındaki sıklık derecelerine göre çalışma alanı Bina İnşaatı (41) için HRK_S^{CA-41} hesabı;

$$HRK_S^{CA} = \frac{\sum_{n=0}^7 KS_{e=n}^{CA}}{TCN_{CA}} \quad (3.10)$$

$$HRK_{S-2019}^{CA-41} = \frac{25,551}{727,961} = 0.0354$$

Doğrusal İnterpolasyon sürecinde, her alt grup için HRK_E^{CA} gözlemlerinden en düşük (e_{min}) ve en yüksek (e_{mak}) değerler belirlenir; ardından taban-çatı sıkışmasını azaltmak için e_{min} değeri %2 aşağıya, e_{mak} değeri %2 yukarıya kaydırılır ($e_{min}' = 0,98 \times (e_{min})$; $e_{mak}' = 1,02 \times (e_{mak})$). Bu bağlamda etki derecesi İnterpolasyon işlemi için INP_E^{CA} değerleri en düşük 4.0 iken en yüksek 5.5'tir. Elde edilen bu ham veriler ($HRK_{E-yıl}^{CA}$), en az 2 en fazla 4 arasında derecelendirilen sayısal İnterpolasyon yöntemi kullanılarak, Excel programı aracılığıyla $RK_{E-yıl}^{CA}$ değerlerine dönüştürülmüştür. İnterpolasyon sonucu, $RK_{S-2019}^{CA-41} = 2.54$ olarak bulunmuştur (**Tablo 3.10**).

Tablo 3.10 İnterpolasyon yöntemi ile RK_E^{CA} & RK_S^{CA} hesaplama tablosu

INP_E^{CA}	INP_S^{CA}	İnterpolasyon Skalası
4.0	2.5	2.0
4.3	3.4	2.5
4.7	4.3	3.0
5.1	5.2	3.5
5.5	6.1	4.0

Son olarak, 2019, 2020, 2021, 2022 ve 2023 yılları için elde edilen HRK_E^{CA} değerlerinin ortalaması alınarak her bir çalışma alanı için nihai RK_E^{CA} değerleri oluşturulmuştur. Aynı şekilde sıklık derecesi için HRK_S^{CA} değerlerinin ortalaması alınarak her bir çalışma alanı için nihai RK_S^{CA} değerleri elde edilmiştir.

3.2.2. Kullanılan Makine Analizi

Kazanın meydana geldiği sırada kullanılan makinenin karmaşıklığı ve tehlike potansiyeli, şiddeti doğrudan etkiler. Basit el aletlerinden ağır iş makinelerine ilerledikçe katsayı kademeli artar: Kaza günü çalışabilen kazalar ($KG_{\text{çalışır}}$) durumunda $DK_M = 0.9$, Kaza günü işgörmez ($KG_{\text{işgörmez}}$) durumunda $DK_M = 1.9$ 'dur. İş göremezlik $\text{ÖGS}_{IG}^{\circ 2}$ etki derecelendirme grubunda ise $DK_M = 3.9$, $\text{ÖGS}_{IG}^{\circ 3}$ etki derecelendirme grubunda ise $DK_M = 8.4$, $\text{ÖGS}_{IG}^{\circ 4}$ etki derecelendirme grubunda ise $DK_M = 16.5$, $\text{ÖGS}_{IG}^{\circ 5+}$ etki derecelendirme grubunda ise $DK_M = 38,1$ olarak alınır; ölüm halinde katsayı $DK_M = 279,0$ 'a ulaşır. Bu değerler, makinenin tehlike düzeyi yükseldikçe kazanın etkisinin nasıl derecelendirileceğini açıkça ortaya koyar. Kullanılan Makine Dönüşüm Katsayısı (DK^M) Dönüşüm Katsayıları tablosundan elde edilir (**Tablo 3.7**).

Yapı ve Yüzey Unsurları (M-1) makine alt sınıflandırmasına ilişkin 2019 yılı SGK kaza verileri, toplam ~240,000 iş kazası verisi üzerinden analiz edilmiştir. Makine sınıflandırmasında “Bina, Yapı ve Yüzey Unsurları (M1)” kategorisine ait 2019 verileri toplam 17 766 kaza içermektedir. CJSA etki düzeylerine göre kaza frekansları $KG_{\text{çalışır}}$ ($e = 0$): 9 895, $KG_{\text{işgörmez}}$ ($e = 1$): 463, $\text{ÖGS}_{IG}^{\circ 2}$ ($e = 2$): 826, $\text{ÖGS}_{IG}^{\circ 3}$ ($e = 3$): 996, $\text{ÖGS}_{IG}^{\circ 4}$ ($e = 4$): 272, $\text{ÖGS}_{IG}^{\circ 5+}$ ($e = 5$): 5 173 ve ölüm ($e = 6$): 141 olarak raporlanmıştır (**Tablo 3.11**).

Tablo 3.12 Etki derecelerine göre kullanılan makine sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları

	KG_{Çalışır}	KG_{İşgörmeyen}	ÖGS_{İG}²	ÖGS_{İG}³	ÖGS_{İG}⁴	ÖGS_{İG}⁵⁺	Ölüm
Etki (e) değerleri	e = 0	e = 1	e = 2	e = 3	e = 4	e = 5	e = 6
1. Bina, yapı ve yüzey unsurları	9,895	463	826	996	272	5,173	141
2. Malzeme temini, depolama ve dağıtım sistemleri	640	32	57	82	23	418	640
3. Enerji iletim ve depolama sistemleri	373	11	23	40	10	201	373
4. Motorsuz el aletleri	16,088	667	1,263	1,811	462	6,959	16,088
5. Güç kaynağı belirtilmeyen el aletleri	2,935	129	198	307	82	1,302	2,935

Tablo 3.13 Etki derecelerine göre kullanılan makine sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları (devamı)

	KG_{Çalışır}	KG_{İşgörmeyen}	ÖGS_{İG}²	ÖGS_{İG}³	ÖGS_{İG}⁴	ÖGS_{İG}⁵⁺	Ölüm
6. Makineli el aletleri (taşınabilir)	13, 366	770	1,304	1,630	429	9,259	49
7. Kaldırma, aktarma ve taşıma ekipmanları	6,799	528	791	1,094	293	4,778	42
8. Sabit makine ve ekipmanlar	10, 180	667	1,089	1,559	455	11, 173	33
9. Kimyasal, patlayıcı, biyolojik ve radyoaktif maddeler	3,967	215	261	276	74	745	10
10. Güvenlik ve koruyucu ekipmanlar	125	5	11	11	4	44	3

Tablo 3.14 Etki derecelerine göre kullanılan makine sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları (devamı)

	KG_{Çalışır}	KG_{İşgörmeyen}	ÖGS_{İG}²	ÖGS_{İG}³	ÖGS_{İG}⁴	ÖGS_{İG}⁵⁺	Ölüm
11. Taşıtlar (Kara, deniz, hava, raylı, hafif/ağır)	15,768	452	756	1,101	289	6,203	310
12. İnsan, hayvan ve diğer biyolojik unsurlar	5,558	180	275	305	79	1,074	8
13. Kişisel, büro ve ev eşyaları (spor/oyun ekipmanı dahil)	2,860	133	232	225	58	650	2
14. Çevresel, doğal afet ve fiziksel olgular	1,833	82	148	173	35	773	15
15. Atık ve artık malzemeler	29,054	2,011	3,013	3,851	1,093	17,345	42

Tablo 3. 12 Ham kullanılan makine etki risk katsayısı (HRK_E^M) hesaplama tablosu

	$KG_{\text{Çalışır}}$	$KG_{\text{İşgörmez}}$	$\ddot{O}GS_{IG}^{\circ 2}$	$\ddot{O}GS_{IG}^{\circ 3}$	$\ddot{O}GS_{IG}^{\circ 4}$	$\ddot{O}GS_{IG}^{\circ 5+}$	Ölüm	HRK_E^M
DK_M	0.9	1.9	3.9	8.4	16.5	38.1	279.0	-
1. Bina, yapı ve yüzey unsurları	8,906	880	3,221	8,366	4,488	197,091	39,339	14.76
2. Malzeme temini, depolama ve dağıtım sistemleri	576	61	222	689	380	15,926	178,560	15.31
3. Enerji iletim ve depolama sistemleri	336	21	90	336	165	7,658	104,067	15.88
4. Motorsuz el aletleri	14,479	1,267	4,926	15,212	7,623	265,138	4,488,552	11.42
5. Güç kaynağı belirtilmeyen el aletleri	2,642	245	772	2,579	1,353	49,606	818,865	11.55
6. Makineli el aletleri (taşınabilir/küçük)	12,029	1,463	5,086	13,692	7,079	352,768	13,671	15.14

Tablo 3. 12 Ham kullanılan makine etki risk katsayısı (HRK_E^M) hesaplama tablosu
(devamı)

	$KG_{\text{Çalışır}}$	$KG_{\text{İşgörmez}}$	$\ddot{O}GS_{IG}^2$	$\ddot{O}GS_{IG}^3$	$\ddot{O}GS_{IG}^4$	$\ddot{O}GS_{IG}^{5+}$	$\ddot{O}lüm$	HRK_E^M
7. Kaldırma, aktarma ve taşıma ekipmanları	6,119	1,003	3,085	9,190	4,835	182,042	11,718	15.22
8. Sabit makine ve ekipmanlar	9,162	1,267	4,247	13,096	7,508	425,691	9,207	18.69
9. Kimyasal, patlayıcı, biyolojik ve radyoaktif	3,570	409	1,018	2,318	1,221	28,385	2,790	7.16
10. Güvenlik ve koruyucu ekipmanlar	113	10	43	92	66	1,676	837	13.97
11. Taşıtlar (Kara, deniz, hava, raylı, hafif/ağır)	14,191	859	2,948	9,248	4,769	236,334	86,490	14.26
12. İnsan, hayvan ve biyolojik unsurlar	5,002	342	1,073	2,562	1,304	40,919	2,232	7.14

Tablo 3. 12 Ham kullanılan makine etki risk katsayısı (HRK_E^M) hesaplama tablosu
(devamı)

	$KG_{\text{Çalışır}}$	$KG_{\text{İşgörmez}}$	$\ddot{OGS}_{IG}^2$	$\ddot{OGS}_{IG}^3$	$\ddot{OGS}_{IG}^4$	$\ddot{OGS}_{IG}^{5+}$	Ölüm	HRK_E^M
13. Kişisel, büro ve ev eşyaları	2,574	253	905	1,890	957	24,765	558	7.67
14. Çevresel, doğal afet ve fiziksel olgular	1,650	156	577	1,453	578	29,451	4,185	12.44
15. Atık ve artık malzemeler	26,149	3,821	11,751	32,348	18,035	660,845	11,718	13.56

Her hücre, Kullanılan Makine Dönüşüm Katsayıları (DK_M) değerleri (0.9; 1.9; 3.9; 8.4; 16.5; 38.1; 279) ile çarpılarak ağırlıklandırılmıştır. Elde edilen değerler sırasıyla 8,906; 880; 3,221; 8,366; 4,488; 197,091 ve 39,339 olup toplam $\Sigma \approx 262,291$ 'dir. Örneğin 2019 yılındaki etki derecelerine göre Makine Sınıflandırması Yapı ve Yüzey Unsurları (M-1) için Etki Risk Katsayısı (HRK_{E-2019}^{M-1}) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$HRK_E^{M-1} = \frac{\sum_{n=0}^7 KS_{e=n}^{M-1} * DK_{e=n}^M}{\sum_{n=0}^7 KS_{e=n}^{M-1}} \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} HRK_{E-2019}^{M-1} &= \\ &= \frac{9,895 * 0.9 + 463 * 1.9 + 826 * 3.9 + 996 * 8.4 + 272 * 16.5 + 5,173 * 38.1 + 141 * 279}{9,895 + 463 + 826 + 996 + 272 + 5,173 + 141} \\ &= 14.76 \end{aligned}$$

Ağırlıklı toplam (262,291), toplam kaza sayısına (17,766) bölünerek 2019 yılı için Yüzey Unsurları (M-1) sınıflandırması için Etki Risk Katsayısı $HRK_{E-2019}^{M-1} = 14.76$ olarak bulunmuştur.

Aynı prosedürle diğer makine sınıflarında Malzeme Temini, Depolama ve Dağıtım Sistemleri (15.31), Enerji İletim ve Depolama Sistemleri (15.88), Motorsuz El Aletleri (11.42), Güç Kaynağı Belirtilmeyen El Aletleri (11.55), Makineli El Aletleri (15,14) vb. değerler elde edilmiş (**Tablo 3.12**).

Doğrusal İnterpolasyon sürecinde, her alt grup için HRK_E^M gözlemlerinden en düşük (e_{min}) ve en yüksek (e_{mak}) değerler belirlenir; ardından taban-çatı sıkışmasını azaltmak için e_{min} değeri %2 aşağıya, e_{mak} değeri %2 yukarıya kaydırılır ($e_{min}' = 0,98 \times (e_{min}; e_{mak}') = 1,02 \times e_{mak}$). Bu bağlamda etki derecesi İnterpolasyon işlemi için INP_E^{CA} değerleri en düşük 7.0 iken en yüksek 19.1'dir.

Tablo 3.13 İnterpolasyon yöntemi ile RK_E^M & RK_S^M hesaplama tablosu

INP_E^M	İnterpolasyon Skalası
7.0	2.0
10.0	2.5
13.0	3.0
16.0	3.5
19.1	4.0

Böylece, $7.0 \rightarrow 2.0$; $10.0 \rightarrow 2.5$; $13.0 \rightarrow 3.0$; $16.0 \rightarrow 3.5$; $19.1 \rightarrow 4.0$ kırılma noktalarının yer aldığı İnterpolasyon Skalası uygulanmış, örneğin Yapı ve Yüzey Unsurları (M-1) makine alt sınıflandırmasının 14,76'lık ham katsayısı yaklaşık 3,3'lük ölçeklenmiş RK_{E-2019}^M değerine karşılık gelmiştir. Aynı adımlar 2020-2023 verilerine tatbik edilmiş ve beş yıllık ortalamalar alınarak her makine alt sınıfı için nihai RK_E^M katsayıları üretilmiş; böylece makine bazlı risk düzeyleri, 2 (düşük risk) ile 4 (yüksek risk) arasında karşılaştırılabilir, homojen bir ölçekte

raporlanmıştır (**Tablo 3.13**). Son olarak, 2019, 2020, 2021, 2022 ve 2023 yılları için elde edilen HRK_E^M değerlerinin ortalaması alınarak her bir çalışma alanı için nihai RK_E^M değerleri oluşturulmuştur.

3.2.3. Yara Bölgesi Analizi

Yaralanmanın vücudun hangi bölgesinde meydana geldiği, kazanın etkisini belirleyen kritik unsurlardan biridir. Hayati organlar ya da hareket kabiliyetini doğrudan etkileyen bölgelerdeki yaralanmalar, çok daha yüksek dönüşüm katsayılarıyla değerlendirilir. Kaza sonrası kişi çalışmaya devam edebiliyorsa dönüşüm katsayısı $DK_{YB} = 1.1$ 'dir, çalışamazsa ($KG_{İşgörmz}$) dönüşü katsayısı $DK_{YB} = 1.5$ olur. İş görmezlik süresi $ÖGS_{İG}^{°2}$ etki derecelendirmesinde dönüşüm katsayısı $DK_{YB} = 3.3$, $ÖGS_{İG}^{°3}$ etki derecelendirmesinde $DK_{YB} = 5.8$, $ÖGS_{İG}^{°4}$ etki derecelendirmesinde ise $DK_{YB} = 11.1$, $ÖGS_{İG}^{°5+}$ etki derecelendirmesinde ise $DK_{YB} = 26.7$ olarak belirlenmiştir. Eğer kaza ölümle sonuçlanmışsa bu katsayı $DK_{YB} = 349.4$ gibi en yüksek değere ulaşır. Bu katsayılar, yara bölgesinin hayatiyet derecesi ve fonksiyonel önemi doğrultusunda değerlendirilir. Yara Bölgesi Dönüşüm Katsayısı (DK^{YB}) Dönüşüm Katsayıları tablosundan elde edilir (**Tablo 3.7**). Yara Bölgesi – Bilekler (YB-1) alt sınıfı için 2019 yılı SGK kaza verileri, toplam 13,711 olaya dayalı olarak analiz edilmiştir. CJSA yaklaşımına göre tanımlanan yedi etki düzeyinde kaza frekansları; $KG_{Çalışır}$ ($e = 0$) 5,920, $KG_{İşgörmz}$ ($e = 1$) 364, $ÖGS_{İG}^{°2}$ ($e = 2$) 672, $ÖGS_{İG}^{°3}$ ($e = 3$) 1,061, $ÖGS_{İG}^{°4}$ ($e = 4$) 267, $ÖGS_{İG}^{°5+}$ ($e = 5$) 5,427 ve ölüm ($e = 6$) 0 olarak kaydedilmiştir (**Tablo 3.14**).

2019 yılı Yara Bölgesi – Bilekler (YB-1) sınıflandırması için Etki Risk Katsayısı (HRK_{E-2019}^{M-1}) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$HRK_E^{YB-1} = \frac{\sum_{n=0}^7 KS_{e=n}^{YB-1} * DK_{e=n}^{YB}}{\sum_{n=0}^7 KS_{e=n}^{YB-1}} \quad (3.12)$$

$$HRK_{E-2019}^{YB-1}$$

$$= \frac{5,920 * 1.1 + 364 * 1.5 + 672 * 3.3 + 267 * 11.1 + 5,427 * 26.7 + 0 * 349.4}{5,920 + 364 + 672 + 267 + 5,427 + 0}$$

$$= 11.91$$

Tablo 3.14 Etki derecelerine göre yara bölgesi sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları

	KG_{Çalışır}	KG_{İşgörmez}	ÖGS_{İG}^{°2}	ÖGS_{İG}^{°3}	ÖGS_{İG}^{°4}	ÖGS_{İG}^{°5+}	Ölüm
Etki (e) Değerleri	e = 0	e = 1	e = 2	e = 3	e = 4	e = 5	e = 6
1. Bilek	5,920	364	672	1,061	267	5,427	0
2. Dişler	262	14	12	25	5	45	0
3. Kafa; yukarıda belirtilmemiş diğer bölgeler	47,215	3,707	4,080	4,219	984	6,648	91
4. Göğüs kafesi (kaburga), eklem ve kürek kemikleri dahil olmak üzere kaburgalar	5,197	289	542	714	200	2,361	63

Tablo 3.14 Etki derecelerine göre yara bölgesi sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları (devamı)

	KG_{Çalışır}	KG_{İşgörmeyen}	ÖGS_{İG}²	ÖGS_{İG}³	ÖGS_{İG}⁴	ÖGS_{İG}⁵⁺	Ölüm
6. Sırt; sırttaki omurilik ve omur dahil	2,194	206	359	504	144	1,578	3
7. Boyun; boyundaki omurilik ve omur dahil	435	23	35	59	13	209	19
8. Dirsek dahil kol	44,520	2,379	4,202	7,066	1,975	30,038	12
9. Kalça ve kalça eklemleri	2,673	195	315	446	117	1,441	10
10. Parmak(lar)	45,812	2,221	3,987	7,059	2,173	37,075	1
11. Kulak(lar)	795	34	41	71	15	173	0

Tablo 3.14 Etki derecelerine göre yara bölgesi sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları (devamı)

	KG_{Çalışır}	KG_{İşgörmeyen}	ÖGS_{İG}²	ÖGS_{İG}³	ÖGS_{İG}⁴	ÖGS_{İG}⁵⁺	Ölüm
12. Boyun; yukarıda belirtilmeyen diğer bölgeleri	1,421	74	115	161	46	410	15
13. Sırt; yukarıda belirtilmeyen diğer bölgeleri	5,019	492	774	1,239	287	2,520	3
14. Kafa, beyin ve beyine bağlı sinir ve damarları	3,368	232	317	333	80	644	101
15. Bütün vücut	9,413	403	687	1,047	252	3,702	369
16. Kalçadan itibaren ayağa kadar bacak kısmı	25,029	1,664	3,384	5,593	1,523	19,743	16
17. Ayak ve ayak parmakları	19,815	1,513	2,916	4,873	1,378	18,574	2

Tablo 3.15 Ham yara bölgesi etki risk katsayısı (HRK_E^{YB})
hesaplama tablosu

	$KG_{\text{Çalışır}}$	$KG_{\text{İşgörmez}}$	$\ddot{O}GS_{IG}^{\circ 2}$	$\ddot{O}GS_{IG}^{\circ 3}$	$\ddot{O}GS_{IG}^{\circ 4}$	$\ddot{O}GS_{IG}^{\circ 5+}$	$\ddot{O}lüm$	HRK_E^{YB}
DK_{YB}	1.1	1.5	3.3	5.8	11.1	26.7	349. 4	-
1. Bilek	6,51 2	546	2,21 8	6,15 4	2,96 4	144, 901	0	11.9 1
2. Dişler	288	21	40	145	56	1,20 2	0	4.82
3. Kafa; yukarıda belirtilmemiş diğer bölgeler	51, 937	5,56 1	13, 464	24, 470	10, 922	177, 502	31, 795	4.72
4. Göğüs kafesi (kaburga), eklem ve kürek kemikleri dahil	5,71 7	434	1,78 9	4,14 1	2,22 0	63, 039	22, 012	10.6 1
6. Sırt; sırttaki omurilik	2,41 3	309	1,18 5	2,92 3	1,59 8	42, 133	1,04 8	10.3 5
7. Boyun; boyundaki omurilik ve omur dahil	479	35	116	342	144	5,58 0	6,63 9	16.8 1
8. Dirsek dahil kol	48, 972	3,56 9	13, 867	40, 983	21, 923	802, 015	4,19 3	10.3 7

Tablo 3.15 Ham yara bölgesi etki risk katsayısı (HRK_E^{YB})
hesaplama tablosu (devamı)

	KG_{Çalışır}	KG_{İşgörmez}	ÖGS_{İG}^{°2}	ÖGS_{İG}^{°3}	ÖGS_{İG}^{°4}	ÖGS_{İG}^{°5+}	Ölüm	HRK_E^{YB}
9. Kalça ve kalça eklemleri	2,940	293	1,040	2,587	1,299	38,475	3,494	9.65
10. Parmak(lar)	50,393	3,332	13,157	40,942	24,120	989,903	349	11.41
11. Kulak(lar)	875	51	135	412	167	4,619	0	5.54
12. Boyun; yukarıda belirtilmeyen diğer bölgeleri	1,563	111	380	934	511	10,947	5,241	8.78
13. Sırt; yukarıda belirtilmeyen diğer bölgeleri	5,521	738	2,554	7,186	3,186	67,284	1,048	8.47
14. Kafa, beyin ve beyine bağlı sinir ve damarları	3,705	348	1,046	1,931	888	17,195	35,289	11.90
15. Bütün vücut	10,354	605	2,267	6,073	2,797	98,843	128,929	15.74
16. Kalçadan itibaren ayağa kadar bacak kısmı	27,532	2,496	11,167	32,439	16,905	527,138	5,590	10.94
17. Ayak ve ayak parmakları	21,797	2,270	9,623	28,263	15,296	495,926	699	11.69

Her hücre, Yara Bölgesi Dönüşüm Katsayıları tablosundaki çarpanlarla (1.1; 1.5; 3.3; 5.8; 11.1; 26.7; 349.4) ağırlıklandırılmış; böylece sırasıyla 6,512; 546; 2 218; 6,154; 2,964; 144,901 ve 0 değerleri elde edilmiştir. Ağırlıklı değerlerin toplamın 163,294 olup, ham kaza sayısına bölünerek HRK_E^M hesaplanmıştır. Bu katsayı, bilek bölgesindeki yaralanmaların 2019 yılında sahip olduğu göreceli etki riskini nicel olarak ortaya koymaktadır; aynı yöntemle çalışılan diğer 16 yara bölgesinde HRK_E^{YB} değerleri 4,72 (kafa-beyinde belirtilmeyen damar / sinir) ile 16,81 (boyun-boyundaki omurilik ve omur dâhil) aralığında dağılmıştır (**Tablo 3.15**).

Yara Bölgesi Sıklık Risk Katsayısı (RK_S^{YB}) değerleri elde edilirken, 2019-2023 yılları arasındaki SGK Geçmiş Kaza Yıllıkları kaynak olarak kullanılmıştır. Bu süreçte, 2019 yılında ilgili yara bölgesinde iş kazası geçirenlerin ve bu kazalar sonucu ölenlerin sayıları, etki derecelerine ya da ölüme göre ayrılmaksızın toplanarak HRK_{S-2019}^{YB} değerlerini oluşturmuştur.

Örneğin, 2019 yılı Yara Bölgesi – Bilekler (YB-1) sınıflandırması için Sıklık Risk Katsayısı (HRK_{S-2019}^{YB-1}) aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$HRK_S^{YB} = \sum_{n=0}^7 KS_{e=n}^{YB} \quad (3.13)$$

$$HRK_{S-2019}^{YB-1} = 6,512 + 546 + 2,218 + 6,154 + 2,964 + 144,901 + 0 = 13,711$$

Doğrusal İnterpolasyon sürecinde, her alt grup için HRK_{E-2019}^{YB} gözlemlerinden en düşük (e_{min}) ve en yüksek (e_{mak}) değerler belirlenir; ardından taban-çatı sıkışmasını azaltmak için e_{min}) değeri %2 aşağıya, e_{mak}) değeri %2 yukarıya kaydırılır ($e_{min}' = 0,98 \times (e_{min})$; $e_{mak}' = 1,02 \times e_{mak}$). Bu bağlamda etki derecesi İnterpolasyon işlemi için INP_E^{YB} değerleri en düşük 4.6 iken en yüksek 17.2'dir. Elde edilen bu ham veriler ($HRK_{E-yıl}^{YB}$), en az 2 en fazla 4 arasında derecelendirilen sayısal İnterpolasyon yöntemi kullanılarak, Excel programı aracılığıyla $RK_{E-yıl}^{YB}$ değerlerine dönüştürülmüştür. İnterpolasyon sonucu, $RK_{E-2019}^{YB-1} = 3.16$ olarak bulunmuştur (**Tablo 3.16**).

Tablo 3.16 İnterpolasyon yöntemi ile rk_e^{yb} & rk_s^{yb} hesaplama tablosu

INP_E^{YB}	INP_S^{YB}	İnterpolasyon Skalası
4.6	355.7	2.0
7.8	25340.4	2.5
10.9	50325.2	3.0
14.0	75309.9	3.5
17.2	100294.6	4.0

Son olarak, 2019, 2020, 2021, 2022 ve 2023 yılları için elde edilen HRK_E^{YB} değerlerinin ortalaması alınarak her bir çalışma alanı için nihai RK_E^{YB} değerleri oluşturulmuştur. Aynı şekilde sıklık derecesi için HRK_S^{YB} değerlerinin ortalaması alınarak her bir çalışma alanı için nihai RK_S^{YB} değerleri elde edilmiştir.

3.2.4. Yara Türü Analizi

Yaranın türü, iş kazasının değerlendirilmesinde belirleyici diğer önemli faktördür. Yüzeysel yaralar ve sıyrıklar düşük dönüşüm katsayılarıyla değerlendirilirken, kesikler, kırıklar, uzuv kayıpları gibi ağır vakalarda bu katsayılar kademeli olarak artar. Kaza sonrası kişi çalışabiliyorsa katsayı $DK_{YT} = 1.0$ olur ($KG_{\text{Çalışır}}$), çalışamazsa bu katsayı $DK_{YT} = 1.7$ 'ye çıkar ($KG_{\text{İşgörmez}}$). İş görmezlik süresi $\text{ÖGS}_{iG}^{\circ 2}$ etki derecelendirmesinde ise dönüşüm katsayısı $DK_{YT} = 3.8$, $\text{ÖGS}_{iG}^{\circ 3}$ etki derecelendirmesinde ise $DK_{YT} = 7.8$, $\text{ÖGS}_{iG}^{\circ 4}$ etki derecelendirmesinde ise $DK_{YT} = 15.3$, $\text{ÖGS}_{iG}^{\circ 5+}$ etki derecelendirmesinde ise $DK_{YT} = 30.9$ olarak alınır. En ağır sonuç olan ölümden dönüşüm katsayısı $DK_{YT} = 214.8$ 'dir. Bu değerler, yaranın vücutta yarattığı hasarın boyutunu ve tedavi sürecinin zorluğunu göz önüne alarak belirlenmiştir. Yara Türü Dönüşüm Katsayısı (DK^{YT}) Dönüşüm Katsayıları tablosundan elde edilir (**Tablo 3.7**).

Yara Türü – “Yaralar ve Yüzeysel Yaralanmalar” (YT-1) alt sınıfı için 2019 SGK kayıtlarının işlendiği risk analizi toplam 188,141 olaya dayanmaktadır. CJSA temelli yedi etki düzeyine göre dağılım; KG_{Çalışır} (e = 0) 109,015; KG_{İşgörmez} (e = 1) 5,680; ÖGS_{İG}² (e = 2) 9,363; ÖGS_{İG}³ (e = 3) 12,408; ÖGS_{İG}⁴ (e = 4) 3,263; ÖGS_{İG}⁵⁺ (e = 5) 48,393 ve ölüm (e = 6) 19 vakadır (**Tablo 3.17**).

Tablo 3.17 Etki derecelerine göre yara türü sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları

	KG _{Çalışır}	KG _{İşgörmez}	ÖGS _{İG} ²	ÖGS _{İG} ³	ÖGS _{İG} ⁴	ÖGS _{İG} ⁵⁺	Ölüm
Etki (e) Değerleri	e = 0	e = 1	e = 2	e = 3	e = 4	e = 5	e = 6
1. Yaralar ve yüzeysel yaralanmalar	109,015	5,680	9,363	12,408	3,263	48,393	19
2. Kemik kırıkları	4,030	58	146	258	103	15,387	45
3. Çıkıklar, burkulmalar ve incinmeler	29,337	2,060	3,623	5,204	1,504	20,866	1
4. Travma sonucu organ kaybı	95	0	2	1	0	463	13
5. Beyin sarsıntısı ve iç yaralanmalar	588	18	25	25	5	271	121
6. Yanıklar, kaynar su ile kavrulma ve donmalar	6,286	272	482	673	180	3,179	16

Tablo 3.17 Etki derecelerine göre yara türü sınıflandırmasındaki iş kazası sayıları (devamı)

	KG_{Çalışır}	KG_{İşgörmeyen}	ÖGS_{İG}²	ÖGS_{İG}³	ÖGS_{İG}⁴	ÖGS_{İG}⁵⁺	Ölüm
7. Zehirlenme ve enfeksiyonlar	5,532	261	276	167	52	196	6
8. Ses, titreşim ve basınç etkileri	428	11	24	16	5	76	1
9. Aşırı ısı, ışık ve radyasyon etkileri	304	16	13	15	6	73	0
10. Şok	770	30	36	35	5	70	9
11. Birden fazla sayıda yaralanmalar	981	16	32	58	18	875	189

2019 yılı Yara Türü– Yaralar ve Yüzeysel Yaralanmalar (YT-1) sınıflandırması için Etki Risk Katsayısı (HRK_{E-2019}^{YT-1}) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$HRK_{E-2019}^{YT-1} = \frac{\sum_{n=0}^7 KS_{e=n}^{YT-1} * DK_{e=n}^{YT}}{\sum_{n=0}^7 KS_{e=n}^{YT-1}} \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned}
 HRK_{E-2019}^{YT-1} &= \\
 &= \frac{109,015 * 1.0 + 5,680 * 1.7 + 9,363 * 3.8 + 12,408 * 7.8 + 3,263 * 15.3 + 48,393 * 30.9 + 19 * 214.8}{109,015 + 5,680 + 9,363 + 12,408 + 3,263 + 48,393 + 19} \\
 &= 11.91
 \end{aligned}$$

Her hücre, Yara Türü Dönüşüm Katsayıları ile (1.0; 1.7; 3.8; 7.8; 15.3; 30.9; 214.8) ağırlıklandırılmış; böylece sırasıyla 110,721; 9,932; 35,372; 97,317; 49,980; 1,497,515 ve 4,080 değerlerine ulaşılmıştır. Ağırlıklı toplam 1,804,917 olup toplam

ilgili yara türündeki kaza sayısına (188,141) bölündüğünde $HRK_{E2019}^{YT-1} = 9.59$ değeri ilgili Excel tablosunda şekildeki gibi verilmiştir (**Tablo 3.18**).

Tablo 3.18 Ham yara türü etki risk katsayısı (HRK_E^{YT}) hesaplama tablosu

	$KG_{\text{Çalışır}}$	$KG_{\text{İşgörmez}}$	$\ddot{O}GS_{\text{İG}}^{\circ 2}$	$\ddot{O}GS_{\text{İG}}^{\circ 3}$	$\ddot{O}GS_{\text{İG}}^{\circ 4}$	$\ddot{O}GS_{\text{İG}}^{\circ 5+}$	Ölüm	HRK_E^{YT}
DK_{YB}	1.0	1.7	3.8	7.8	15.3	30.9	214. 8	-
1. Yaralar ve yüzeysel yaralanmalar	110, 721	9, 932	35, 372	97, 317	49, 980	1,49 7, 515	4, 080	9.59
2. Kemik kırıkları	4, 093	101	552	2, 024	1, 578	476, 149	9, 664	24.6 7
3. Çıkıklar, burkulmalar ve incinmeler	29, 796	3, 602	13, 687	40, 815	23, 037	645, 696	215	12.0 9
4. Travma sonucu organ kaybı	96	0	8	8	0	14, 327	2, 792	30.0 2
5. Beyin sarsıntısı ve iç yaralanmalar	597	31	94	196	77	8, 386	25, 985	33.5 9
6. Yanıklar, kaynar su ile kavrulma ve donmalar	6, 384	476	1, 821	5, 278	2, 757	98, 374	3, 436	10.6 9

Tablo 3.18 Ham yara türü etki risk katsayısı (HRK_E^{YT})
hesaplama tablosu (devamı)

	$KG_{\text{Çalışır}}$	$KG_{\text{İşgörmez}}$	$\ddot{O}GS_{IG}^2$	$\ddot{O}GS_{IG}^3$	$\ddot{O}GS_{IG}^4$	$\ddot{O}GS_{IG}^{5+}$	Ölüm	HRK_E^{YT}
7. Zehirlenme ve enfeksiyonlar	5,619	456	1,043	1,310	796	6,065	1,289	2.55
8. Ses, titreşim ve basınç etkileri	435	19	91	125	77	2,352	215	5.91
9. Aşırı ısı, ışık ve radyasyon etkileri	309	28	49	118	92	2,259	0	6.68
10. Şok	782	52	136	275	77	2,166	1,933	5.68
11. Birden fazla sayıda yaralanmalar	996	28	121	455	276	27,077	40,589	32.06

Aynı yöntem 10 diğer yara türü alt sınıfına uygulandığında $HRK_E^{YT-2019}$ değerlerinin 2.55 – 33.59 aralığında dağıldığı görülmüştür; en düşük risk “Yanıklar, Kaynar Su ile Kavrulma ve Donmalar”, en yüksek risk ise “Zehirlenme ve Enfeksiyonlar” grubunda belirlenmiştir. Yara Türü Sıklık Risk Katsayıları (RK_S^{YT}) elde edilirken, 2019-2023 yılları arasındaki SGK Geçmiş Kaza Yıllıkları kaynak olarak kullanılmıştır. Bu süreçte, 2019 yılı için 11 farklı yara türü sınıflandırmasında iş kazası geçirenlerin ve bu kazalar sonucu ölenlerin sayıları, etki derecelerine ya da ölüme göre ayrılmaksızın toplanarak $RK_S^{YT-2019}$ katsayıları elde edilmiştir.

Örneğin 2019 yılındaki sıklık derecelerine göre yara bölgesi 1. Yaralar ve yüzeysel yaralanmalar için HRK_{S-2019}^{YT-1} hesabı;

$$HRK_S^{YT} = \sum_{n=0}^7 KS_{e=n}^{YT} \quad (3.15)$$

$$HRK_{S-2019}^{YT-1} = 109,015 + 5,680 + 9,363 + 12,408 + 3,263 + 48,393 + 19 = 188,141$$

Doğrusal İnterpolasyon sürecinde, her alt grup için HRK_{E-2019}^{YT} gözlemlerinden en düşük (e_{min}) ve en yüksek (e_{mak}) değerler belirlenir; ardından taban-çatı sıkışmasını azaltmak için e_{min} değeri %2 aşağıya, e_{mak} değeri %2 yukarıya kaydırılır ($e_{min}' = 0,98 \times (e_{min})$; $e_{mak}' = 1,02 \times (e_{mak})$). Bu bağlamda etki derecesi İnterpolasyon işlemi için INP_E^{YT} değerleri en düşük 2.5 iken en yüksek 34.3'tür. Elde edilen bu ham veriler ($HRK_{E-yıl}^{YT}$), en az 2 en fazla 4 arasında derecelendirilen sayısal İnterpolasyon yöntemi kullanılarak, Excel programı aracılığıyla $RK_{E-yıl}^{YT}$ değerlerine dönüştürülmüştür. İnterpolasyon sonucu, $RK_{E-2019}^{YT-1} = 2.45$ olarak bulunmuştur (**Tablo 3.19**).

Tablo 3.19 İnterpolasyon yöntemi ile RK_E^{YT} & RK_S^{YT} hesaplama tablosu

INP_E^{YT}	INP_S^{YT}	İnterpolasyon Skalası
2.5	95.1	2.0
10.4	48,047.3	2.5
18.4	95,999.4	3.0
26.3	143,951.6	3.5
34.3	191,903.8	4.0

Son olarak, 2019, 2020, 2021, 2022 ve 2023 yılları için elde edilen HRK_E^{YT} değerlerinin ortalaması alınarak her bir çalışma alanı için nihai RK_E^{YT} değerleri

oluşturulmuştur. Aynı şekilde sıklık derecesi için HRK_S^{YT} değerlerinin ortalaması alınarak her bir çalışma alanı için nihai RK_S^{YT} değerleri elde edilmiştir.

3.3 Genel Risk Analiz Test Skoru ($RATS_{Genel}$)

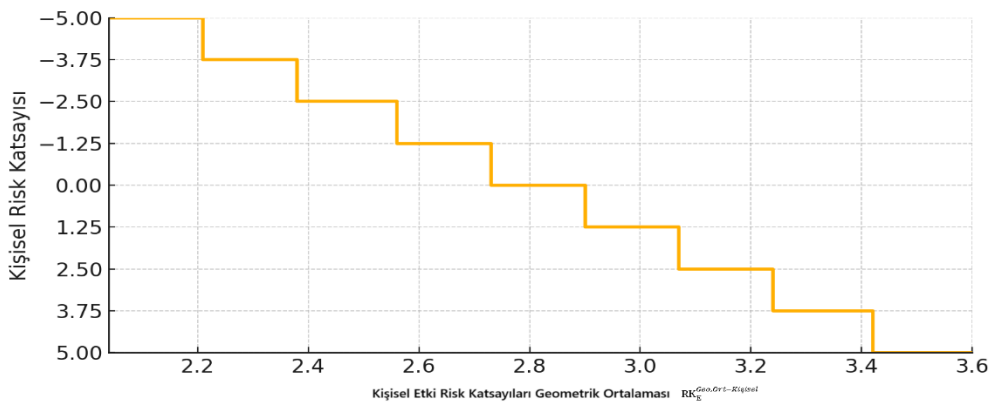
Genel risk analizinde yaklaşık %10 ağırlığa sahip olup çalışma ortamına ilişkin risk katsayılarına eklenerek olası bir iş kazasının hem çalışana hem de işyerine doğuracağı etkilerin daha gerçekçi biçimde tahmin edilmesini sağlar. Bu bağlamda $RATS_{Genel}$ riski tanımlanırken %90 (0.9) Dış Faktörlerden gelen katsayı $RK_{Dış\ faktörler}$ alınırken %10 (0.1) İç Faktörlerden gelen katsayı $RK_{İç\ faktörler}$ oluşturur.

$$RATS_{Genel} = 0.9 RK_{Dış\ faktörler} * 0.1 * RK_{İç\ faktörler} \quad (3.16)$$

3.3.1. İç Faktörler Risk Katsayısı ($RK_{İç\ faktörler}$) Değerlerinin Hesaplanması

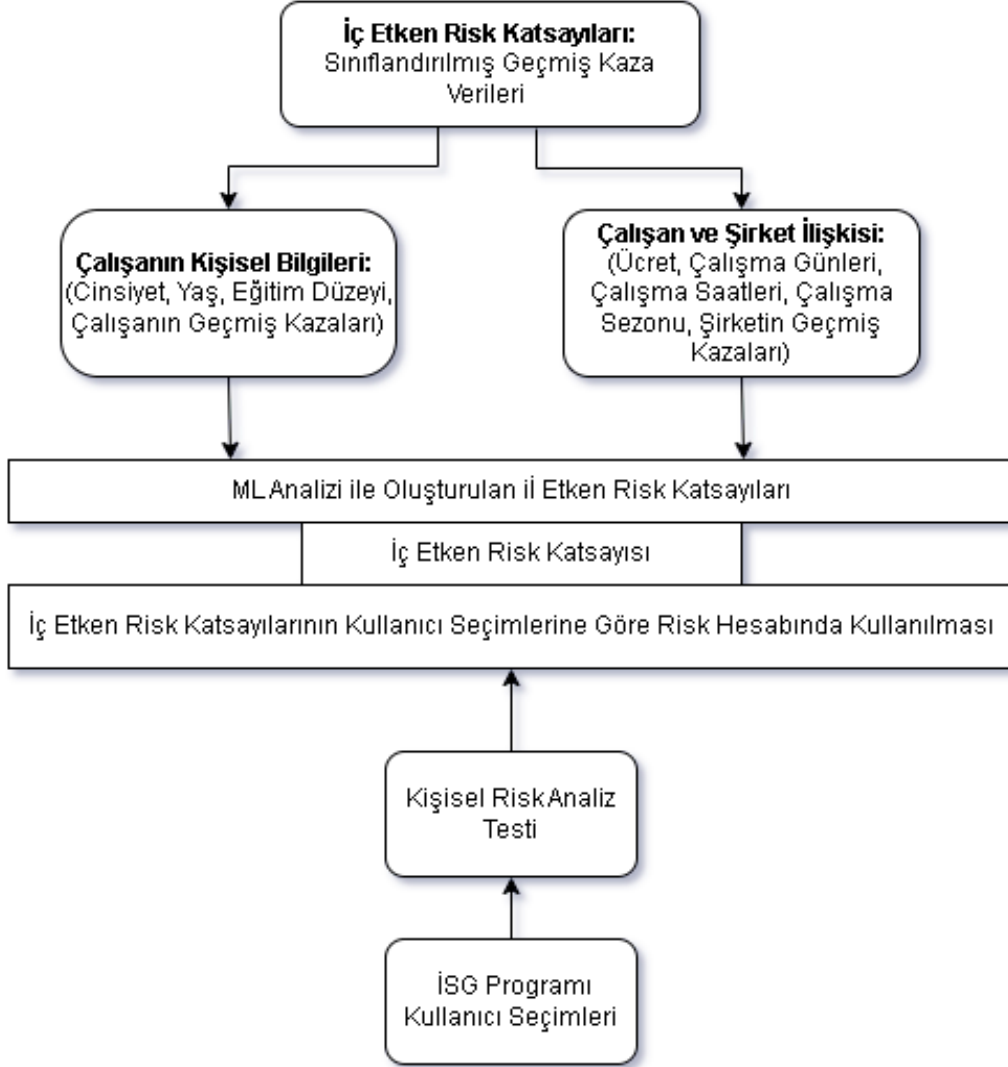
$$RK_E^{Geo,Ort-Kişisel} = RK_E^{Kişisel} = RK_{İç\ faktörler} \quad (3.17)$$

Elde edilen $RK_E^{Kişisel}$ değerlerinin geometrik ortalaması alınarak elde edilen $RK_E^{Geo,Ort-Kişisel} = RK_{İç\ faktörler}$ değerleri işlenmesi ile elde edilen İç Faktörler Risk Analiz Test Skoru ($RATS_{İç\ faktörler}$) hangi aralıkta ise Genel Risk Analiz Test Skoru ($RATS_{Genel}$) sonucunu eşleştirilen değere eklenmiştir (Şekil 3.3).



(Şekil 3.3) ($RATS_{İç\ faktörler}$) değerlerinin genel risk analiz test skoruna ($RATS_{Genel}$) etki yüzdeleri

İç Faktörlerin analizi yapıldıktan sonra oluşturulan İç Faktörler Risk Katsayılarının ($RK_{İç\ faktörler}$) İSG Risk Analiz Programında kullanılması amaçlanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 İç faktörler risk katsayılarının ($RK_{İç\ faktörler}$) elde edilmesi ve risk analiz programında kullanılması

3.3.2. Dış Faktörler Risk Katsayısı ($RK_{Dış\ faktörler}$) Değerlerinin Hesaplanması

JSA, CJSa ve oran temelli analizlerde risk genellikle şiddet (etki derecesi) $\times$ frekans (kazanın yıl içindeki tekrarlanabilirliği) biçiminde iki çarpanla tanımlanırken, Fine–Kinney yönteminde risk $R = O (1-10) \times F (1-10) \times \S (1-100)$

şeklinde gösterilir; bu formül incelendiğinde olasılık ile frekansın çarpımının şiddet değerine eşit ağırlıkta dağıldığı görülmektedir. Bu çalışmada risk puanı, “şiddet (Ş) × frekans (f)” ikilisini eşit ağırlıkla çarpan CJSa yaklaşımına uyarlanarak hesaplanmıştır; böylece Fine–Kinney’deki $O \times F \times \text{Ş}$ düzeninden farklı olarak, olasılık ve frekansın birleşik etkisi yerine her kazanın ödeme gün sayısına (ÖGS) dayalı etki katsayısı ile yıl içindeki tekrarlanma sıklığı doğrudan karşı karşıya getirilmiştir. SGK yıllıklarından derlenen veriler yara bölgesi, yara türü, çalışma alanı ve kullanılan makine başlıklarına ayrılmış, her alt gruptaki şiddet dereceleri ÖGS dilimlerine kaza günü çalışır (0), kaza günü iş göremez (1), 2-50, 51-100, 101-150 ve 151+ gün göre yeniden tanımlanmıştır. SGK kayıtlarında ölüm verisi bulunmadığı ve bazı sınıflamalar eksik raporlandığı için, ÖGS aralıkları “dönüşüm tablosu”nda ölçeklenerek her gruba tutarlı şiddet katsayıları atanmış; böylece dış faktörlerin (yara bölgesi, türü, makine, alan) etkisini yansıtan eksiksiz ve karşılaştırılabilir $R = \text{Ş} \times f$ değerleri elde edilmiştir.

Dolayısıyla bu çalışma için uyarlanmış CJSa yaklaşımı tercih edildiğinde, etki (şiddet) ile sıklık (frekans) bileşenleri eşit düzeyde ele alınacak ve oluşturulan risk analizi formülü:

$$\text{Risk Katsayısı} = \text{Etki Katsayısı (Şiddet)} * \text{Sıklık Katsayısı (Frekans)} \quad (3.18)$$

Çalışma Alanı Sınıflandırması Risk Katsayısı:

$$RK_{CA} = \sqrt{(RK_E^{CA} * RK_S^{CA})^1 * (GRK_E^{CA} * GRK_S^{CA})^{0.7}} \quad (3.19)$$

Kullanılan Makine Sınıflandırması Risk Katsayısı:

$$RK_{YT} = (RK_E^M)^1 * (GRK_E^M)^{0.7} \quad (3.20)$$

Yara Bölgesi Sınıflandırması Risk Katsayısı:

$$RK_{YB} = \sqrt{(RK_E^{YB} * RK_S^{YB})^1 * (GRK_E^{YB} * GRK_S^{YB})^{0.7}} \quad (3.21)$$

Yara Türü Sınıflandırması Risk Katsayısı:

$$RK_{YT} = \sqrt{(RK_E^{YT} * RK_S^{YT})^1 * (GRK_E^{YT} * GRK_S^{YT})^{0.7}} \quad (3.22)$$

Dış Faktörler Risk Katsayısı ($RK_{Dış\ faktörler}$) çalışma alanı, kullanılan makine, yara bölgesi ve yara türü sınıflandırmasına oluşturulan RK_{CA} , RK_M , RK_{YB} ve RK_{YT} değerlerinin geometrik ortalaması sonucu elde edilmiştir.

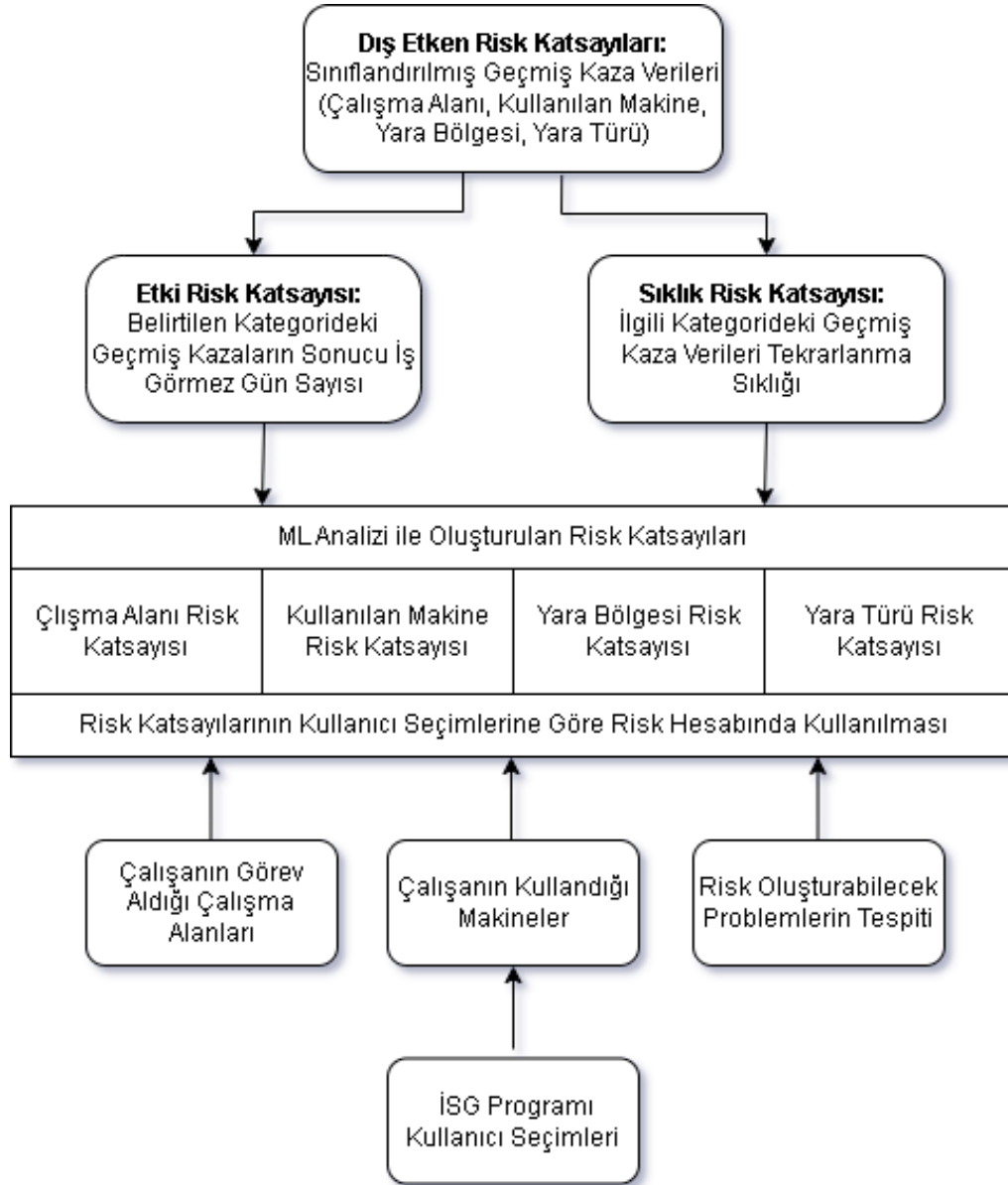
$$RK_{Dış\ faktörler} = (Geo, Ort (RK_{CA}, RK_M, RK_{YB}, RK_{YT}) = \sqrt[4]{RK_{CA} * RK_M * RK_{YB} * RK_{YT}} \quad (3.23)$$

Doğrusal İnterpolasyon sürecinde, her alt grup için $RK_{Dış\ faktörler}$ gözlemlerinden en düşük (e_{min}) ve en yüksek (e_{mak}) değerler belirlenir; ardından taban-çatı sıkışmasını azaltmak için e_{min} değeri %2 aşağıya, e_{mak} değeri %2 yukarıya kaydırılır ($e_{min}' = 0,98 \times (e_{min})$; $e_{mak}' = 1,02 \times (e_{mak})$). Bu bağlamda etki derecesi İnterpolasyon işlemi için $RK_{Dış\ faktörler}$ değerleri en düşük 3.74 iken en yüksek 2.12'dir. Elde edilen bu $RK_{Dış\ faktörler}$ değerleri yüzdesel olarak İSG riskinin her önlem alınmasına rağmen, doğal yapısından ötürü risk en az belirli bir düzeyin üzerinde olabilir. Bu bağlamda, oluşturulması planlanan $RATS_{Dış\ faktörler}$ yüzdeleri en az %20 en fazla %100 olacak şekilde arasında derecelendirilen sayısal İnterpolasyon yöntemi kullanılarak, Excel programı aracılığıyla $RATS_{Dış\ faktörler}$ değerlerine dönüştürülmüştür (**Tablo 3.20**).

Tablo 3.20 İnterpolasyon yöntemi ile $RK_{Dış\ faktörler}$ değerlerinden $RATS_{Dış\ faktörler}$ değerlerine dönüşüm tablosu

$INP_{Dış\ Faktörler}$	İnterpolasyon Yüzdelik Skalası (%)
2.12	20
2.27	30
2.42	38
2.57	44
2.71	51
2.86	56
3.01	60
3.15	66
3.30	72
3.45	80
3.59	90
3.74	100

Dış Faktörlerin analizi yapıldıktan sonra oluşturulan Dış Faktörler Risk Katsayılarının ($RK_{Dış\ faktörler}$) İSG Risk Analiz Programında kullanılması amaçlanmıştır (**Şekil 3.5**).



Şekil 3.5 Dış faktörler risk katsayılarının ($RK_{Dış\ faktörler}$) elde edilmesi ve risk analiz programında kullanılması

4.1 İSG Kişisel Risk Analiz Programı

4.1.1 Kişisel Etki Risk Katsayılarının (RK_E^K) Programdaki Seçimlere Entegrasyonu

Türkiye’de iş kazalarının önlenmesine yönelik karar süreçlerini bilimsel temele oturtmak amacıyla bu çalışma, Sosyal Güvenlik Kurumu’nun (SGK) ayrıntılı kaza yıllıklarını çok katmanlı bir risk değerlendirme iskeletine dönüştürmektedir. İlk aşamada demografik (cinsiyet, yaş, eğitim, ücret, önceki kaza) ve örgütsel (yıllık kaza sayısı, vardiya, mevsim) değişkenler tek bir havuzda toplanmış; eğitim beş temel kategoriye, belirsiz kayıtlar “Bilinmeyen” etiketine indirgenmiş, 2002-2020 ortalama döviz kurlarıyla ücretler dolar bazına çevrilmiştir. Bu ön işleme adımları veriyi karşılaştırılabilir kılar ve Python tabanlı personal_questions modülünde sekiz soruluk bir kişisel risk testi oluşturur: her yanıt SGK’dan türetilmiş katsayı getirir, geometrik ortalama $HRK_E^{Kişisel}$ hesaplanır, $\pm 5\%$ sınırına çekilerek genel risk modeline 10% ağırlıkla girer.

İkinci katmanda “Çalışma Ortamı Risk Analiz Testi” yer alır. İnşaat sektörü NACE Rev. 2 kodları 41-42-43 arayüzde “Konut Projeleri”, “Sanayi Yapıları”, “Yapısal İşler” gibi alt başlıklarla eşleştirilmiş; SGK verilerinden türetilen ana düzey RK_E^{CA} & RK_S^{CA} katsayıları nüfus-ağırlıklı olarak alt çalışma alanlarına dağıtılmıştır. Aynı ana başlık altındaki faaliyetler, dört kademeli iç ölçekle (2-4) GRK_E^{CA} & GRK_S^{CA} değerleriyle ayrıştırılır. Makine tarafında SGK’nın sınıflandırması, programın beş ana makine grubuna bağlanır; alt başlıklar çakıştığında RK_E^M & RK_S^M ’ların geometrik ortalaması alınır. Yaklaşık 500 temel makine, üçer alternatifle $>2\ 000$ seçeneğe

genişletilmiş, her biri grup-içi GRK_E^M & GRK_S^M leğinde yeniden puanlanarak sektöre ve alt çalışma alanına göre filtrelenebilir, tutarlı bir risk tabanı oluşturulmuştur.

nc katman ise LLM yapay zekâ destekli senaryo motorudur. Her makine için ≥ 15 potansiyel kaza senaryosu üretilir; etki-sıklık ekseninde en kritik dokuz kusur kullanıcıya sunulur. Seçilen problemler RK_E^M & RK_S^M ile birleşip kusur-işlev-yara üçlüsü üzerinden beklenen yaralanma şiddeti ve olasılığı hesaplanır. Beş ana yara bölgesi ile beş ana yara türü için önce RK_E^{YB} & RK_S^{YB} ve RK_E^{YT} & RK_S^{YT} değerleri, ardından dört kademeli grup-içi GRK_E^{YB} & GRK_S^{YB} ve GRK_E^{YT} & GRK_S^{YT} katsayıları atanır. LLM Yapay zekânın senaryoları SGK'nın ampirik yara dağılımlarıyla çaprazlanarak doğrulanır; sonuçta kişisel kırılğanlıklar, çalışma ortamı dinamikleri, ekipman kaynaklı tehlikeler ve olası yaralanma profilleri tek bir “Genel Risk Puanı”nda bütünleşir. Böylece model hem geçmiş istatistiklerden beslenen hem de geleceğe yönelik senaryolar üreten dinamik, izlenebilir ve kullanıcı dostu bir İSG risk analiz platformu sunar.

4.1.2 Kişisel Risk Analizi Testinin Hazırlanışı

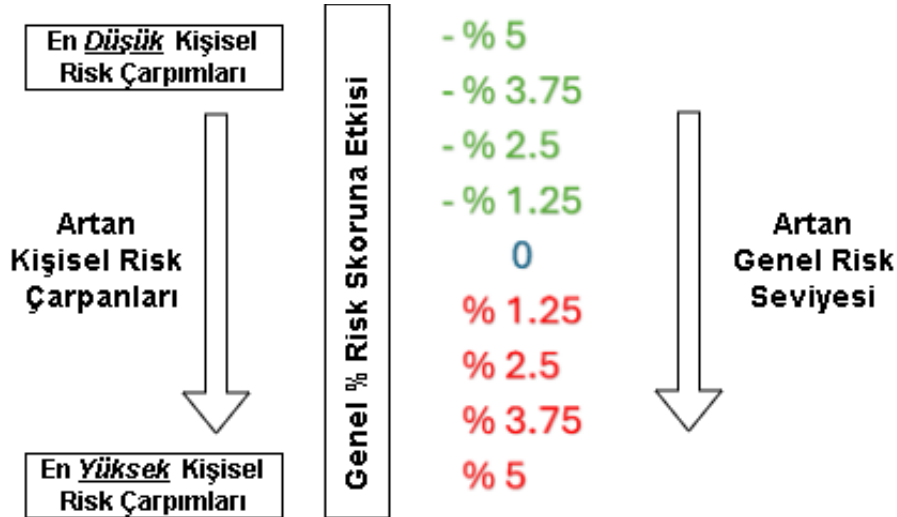
SGK'nın geçmiş iş kazası veri seti, hem çalışanın demografik özelliklerini (cinsiyet, yaş aralığı, eğitim düzeyi, günlük ücret, önceki kaza geçmişi) hem de işyeri bağlamına ilişkin değişkenleri (yıllık kaza sayısı, çalışma vardiyası, mevsim) tek bir havuzda birleştirir. Analize geçilmeden önce eğitim değişkeni, okumamış, ilkokul mezunu, ortaokul mezunu, lise mezunu, niversite ve üzeri biçiminde beş temel kategoriye indirilmiş; belirsiz kayıtlar “Bilinmeyen” başlığı altında tutulmuştur. cret verileri ise 2002-2020 döneminin ortalama döviz kurlarıyla enflasyondan arındırılarak ABD doları cinsine dönüştürülmüş, böylece uzun yıllara yayılan nominal dalgalanmaların karşılaştırılabilirliği sağlanmıştır.

Bu n işleme adımlarının ıktıları, “Kişisel Risk Analizi” modülüne doğrudan aktarılan Python tabanlı bir sözlük yapısında (personal_questions) tanımlanmıştır. Sekiz sorudan oluşan yapı; cinsiyet, yaş, eğitim, önceki kaza öyküsü, işyerindeki yıllık kaza sayısı, günlük ücret bandı, vardiya ve mevsim değişkenlerini içerir. Her seçenek, SGK verilerinden türetilmiş sabit katsayılarla eşleştirilir (rneğin cinsiyet sorusunda “Erkek” = 3.496; “Kadın” = 2.047). Kullanıcı arayüzünde radyo

düğmeleriyle işaretlenen her cevap, kendi katsayısını getirir; modül bu katsayıların geometrik ortalamasını alarak ham kişisel risk skorunu hesaplar.

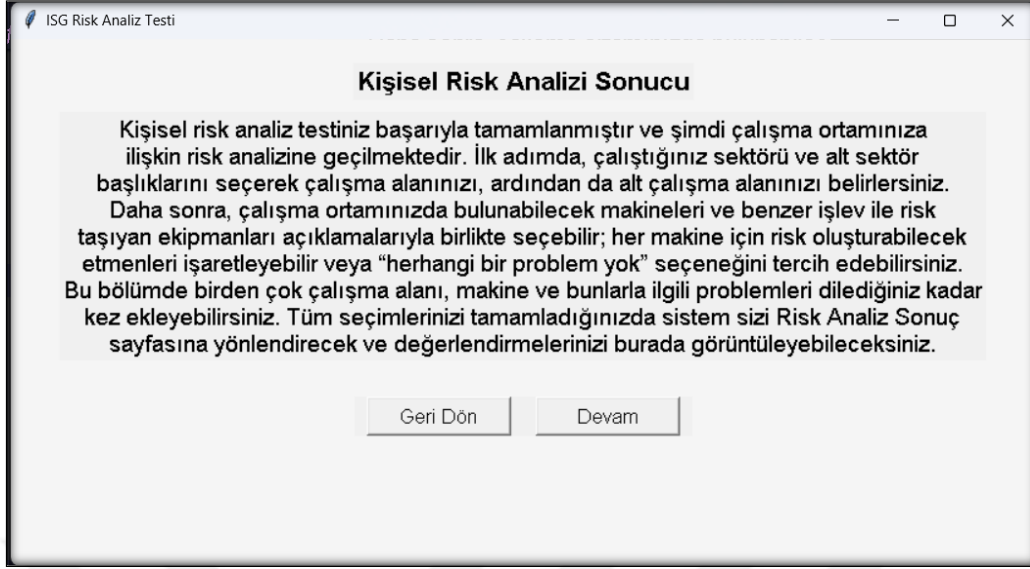
Hesaplanan kişisel risk skoru, bütüncül iş güvenliği değerlendirmesinde yaklaşık %10 ağırlık taşır; buna karşılık örgütsel risk bileşenleri yıllık kaza sıklığı, vardiya dağılımı ve mevsimsel etkiler daha yüksek oranlarla modele dâhil edilir. Sonuçta program, kişisel ve işyeri risk katsayılarının bütünleşik çıktısını “Genel Risk Puanı” olarak sunar; böylece bireysel kırılabilirlikler ile kurumsal dinamikler aynı anda ölçümlenmiş olur.

Elde edilen $RK_E^{Kisisel}$ değerleri, sekiz sorudan oluşan kişisel risk analizi testinde kullanıcının işaretlediği seçeneklere karşılık gelen katsayıların geometrik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Bu ortalama, daha önce 2–4 aralığına ölçeklenmiş RK_E^K katsayıları temelinde yeniden normlanmıştır; en yüksek olası ortalama genel risk skorunu + %5, en düşük olası ortalama ise – %5 oranında etkileyecek biçimde sınırlandırılmıştır. Böylece model, iş kazası riskinin yalnızca çalışma ortamından değil, çalışanın bireysel özelliklerinden de etkilendiği gerçeğini yansıtarak, kişisel risk bileşenini genel risk analizine yaklaşık %10 ağırlıkla dâhil etmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.2 $RK_E^{Kisisel}$ değerlerinin genel risk analiz test skoruna etkisi

4.1.3 Kişisel Risk Analizi Testi Program Çıktıları

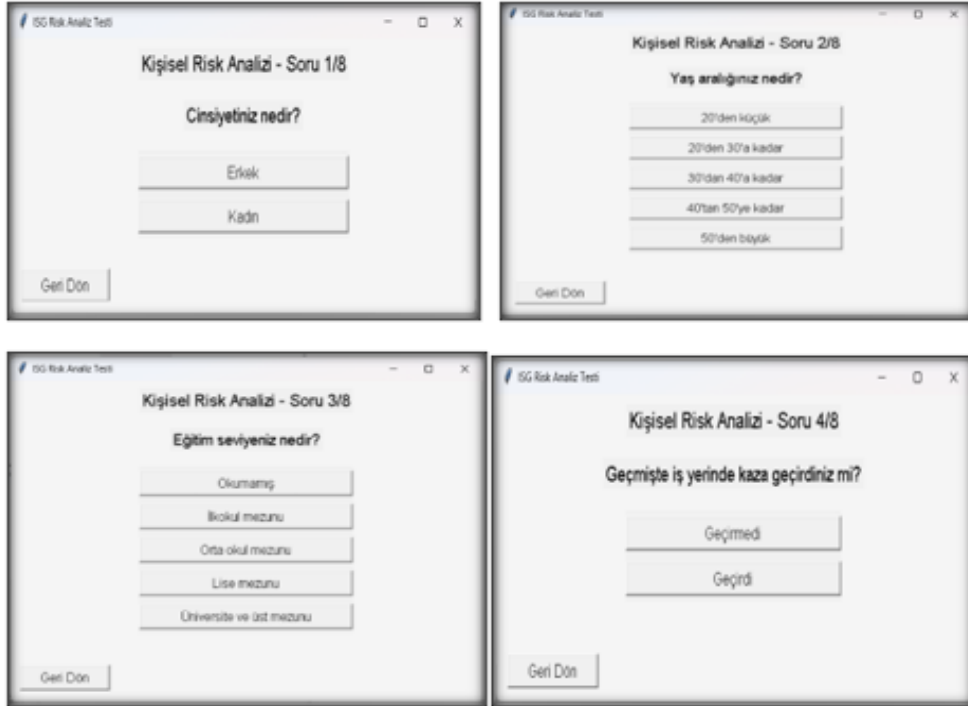


Kişisel Risk Analizi Sonucu

Kişisel risk analiz testiniz başarıyla tamamlanmıştır ve şimdi çalışma ortamınıza ilişkin risk analizine geçilmektedir. İlk adımda, çalıştığınız sektörü ve alt sektör başlıklarını seçerek çalışma alanınızı, ardından da alt çalışma alanınızı belirlersiniz. Daha sonra, çalışma ortamınızda bulunabilecek makineleri ve benzer işlev ile risk taşıyan ekipmanları açıklamalarıyla birlikte seçebilir; her makine için risk oluşturabilecek etmenleri işaretleyebilir veya "herhangi bir problem yok" seçeneğini tercih edebilirsiniz. Bu bölümde birden çok çalışma alanı, makine ve bunlarla ilgili problemleri dilediğiniz kadar kez ekleyebilirsiniz. Tüm seçimlerinizi tamamladığınızda sistem sizi Risk Analiz Sonuç sayfasına yönlendirecek ve değerlendirmelerinizi burada görüntüleyebileceksiniz.

[Geri Dön](#) [Devam](#)

Şekil 4.2 Çalışma ortamı risk analiz testi başlangıç bildirisi



Kişisel Risk Analizi - Soru 1/8

Cinsiyetiniz nedir?

[Erkek](#)

[Kadın](#)

[Geri Dön](#)

Kişisel Risk Analizi - Soru 2/8

Yaş aralığınız nedir?

[20'den küçük](#)

[20'den 30'a kadar](#)

[30'dan 40'a kadar](#)

[40'tan 50'ye kadar](#)

[50'den büyük](#)

[Geri Dön](#)

Kişisel Risk Analizi - Soru 3/8

Eğitim seviyeniz nedir?

[Okunmamış](#)

[İlkokul mezunu](#)

[Orta okul mezunu](#)

[Lise mezunu](#)

[Üniversite ve üst mezunu](#)

[Geri Dön](#)

Kişisel Risk Analizi - Soru 4/8

Geçmişte iş yerinde kaza geçirdiniz mi?

[Geçirmedi](#)

[Geçirdi](#)

[Geri Dön](#)

Şekil 4.3 Kişisel risk analiz test soru ekranı

Şekil 4.3 Kişisel risk analiz test soru ekranı (devamı)

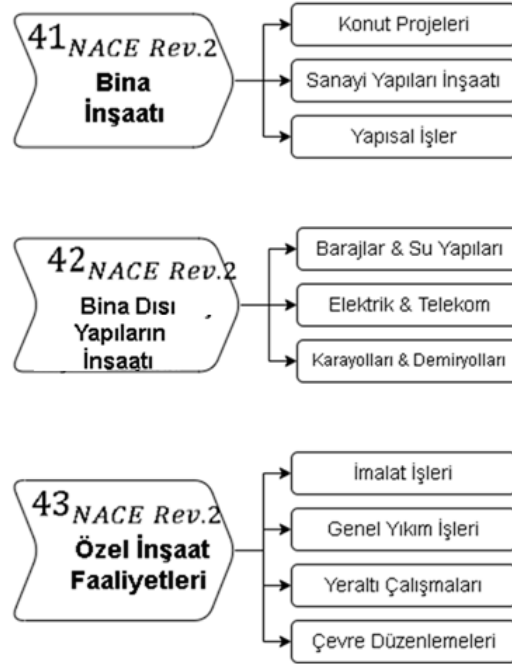
4.2 İSG Çalışma Ortamı Risk Analiz Programı

4.2.1 Çalışma Alanı Risk Analiz Testinin Hazırlanışı

4.2.1.1 Çalışma Alanı Risk Katsayılarının (RK_E^{CA} & RK_S^{CA}) Program Seçimlerine Entegrasyonu

İSG Risk Analizi Programı'nda, inşaat sektörünün alt çalışma alanları uluslararası NACE Rev. 2 sınıflamasındaki iki haneli kodlarla eşleştirilerek kullanıcıların faaliyet alanlarını gerçekçi ve pratik biçimde tanımlamaları sağlanmıştır. Bu kapsamda, 41 numaralı “Bina İnşaatı” kodu konut projeleri, sanayi yapıları ve diğer yapısal işlere yönelik doğrudan bina yapım faaliyetleriyle ilişkilendirilmiştir. 42 numaralı “” kodu ise baraj ve su yapıları, elektrik-telekom altyapısı ile kara-demir yolu gibi büyük ölçekli altyapı projelerini kapsayacak şekilde atanmıştır. Özel ve yardımcı inşaat işlerini temsil eden 43 numaralı kod da çevre düzenlemeleri, genel yıkım, imalat işlemleri ve yeraltı çalışmaları gibi spesifik faaliyetleri içerecek biçimde programda yer almıştır. Böylelikle kullanıcılar, sektörel kodlara hâkim olmak zorunda kalmadan projelerini tanımladıklarında sistem otomatik olarak doğru NACE kodu ve alt sektör başlığına yönlendirmekte; bu yapı hem veri

tutarlılığını hem de risk analizi sürecinin kullanım kolaylığını artırmaktadır (TOBB, 2023).



Şekil 4.4 Risk analiz testi çalışma alanı sınıflandırması

SGK'nın yıllık iş kazası raporları inşaat sektörü özelinde incelendiğinde, kazaya uğrayan çalışanlar üç ana NACE Rev. 2 koduna göre gruplandırılmıştır: 41 Bina İnşaatı, 42 Bina Dışı Yapıların İnşaatı ve 43 Özel İnşaat Faaliyetleri. Bu ayrım temelinde, her NACE kodu için hesaplanan Çalışma Alanı Etki Risk Katsayısı (RK_E^{CA}) ve Çalışma Alanı Sıklık Risk Katsayısı (RK_S^{CA}) değerleri, İSG Risk Analiz Programı'nda tanımlı çalışma alanı sınıflandırmasıyla bire bir eşleştirilmiştir. Böylece, SGK verilerinden türetilen risk katsayıları programın alt çalışma alanlarına güvenilir biçimde aktarılmıştır (Şekil 4.4).

Örneğin, SGK'da 41 Bina İnşaatı kodu altında derlenen verilerden elde edilen RK_E^{CA} ve RK_S^{CA} katsayıları programdaki “Konut Projeleri”, “Sanayi Yapılarının İnşaatı” ve “Yapısal İşler” alt başlıklarına atanmıştır; aynı yaklaşım 42 ve 43 numaralı kodların kapsadığı tüm alt çalışma alanları için de uygulanmıştır. Bu eşleştirme kritiktir, çünkü SGK raporları bütün alt çalışma alanları için kaza sayıları verse de çalışan nüfusunu yalnızca ana NACE kodları düzeyinde (41, 42, 43) bildirmekte, dolayısıyla doğrudan alt başlık bazında risk katsayısı üretmeye izin vermemektedir. İSG Risk Analiz Programı, ana NACE grubunda yer alan çalışan sayısını temele

olarak her alt başlığa nüfus-ağırlıklı RK_E^{CA} - RK_S^{CA} değerleri atadığından, inşaat sektöründe çalışan bir kullanıcı kendi gerçek çalışma alanını seçtiğinde, nüfus tabanı da hesaba katılmış daha gerçekçi ve karşılaştırılabilir risk katsayıları ile değerlendirilmiş olur.

Çalışma alanlarının NACE Rev. 2 kodlarıyla eşleştirilmesi daha önce ayrıntılı biçimde açıklanmıştır; bu temel üzerinde, aynı ana faaliyet başlığı altında yer alan alt çalışma alanlarının risk profillerinin birbirinden önemli ölçüde farklılaşabileceği gerçeği dikkate alınmıştır. Bu nedenle, her ana çalışma alanına bağlı alt gruplar etki ve sıklık boyutlarında kendi aralarında karşılaştırılmış ve iki yeni gösterge tanımlanmıştır: GRK_E^{CA} (çalışma alanı grup-içi etki risk katsayısı) ile GRK_S^{CA} (çalışma alanı grup-içi sıklık risk katsayısı). Yöntemde dört kademeli bir ölçek kullanılmış; etki ve sıklık bakımından düşük = 2, orta = 2,5, yüksek = 3 ve en yüksek = 4 katsayıları atanmıştır. Böylece her alt grup, ait olduğu ana çalışma alanındaki benzer faaliyetlerle doğrudan kıyaslanarak hem etki hem de sıklık açısından sayısal bir risk katsayısına kavuşmuştur. Alt çalışma alanları şekilde verilmiştir (**Şekil 4.5**).

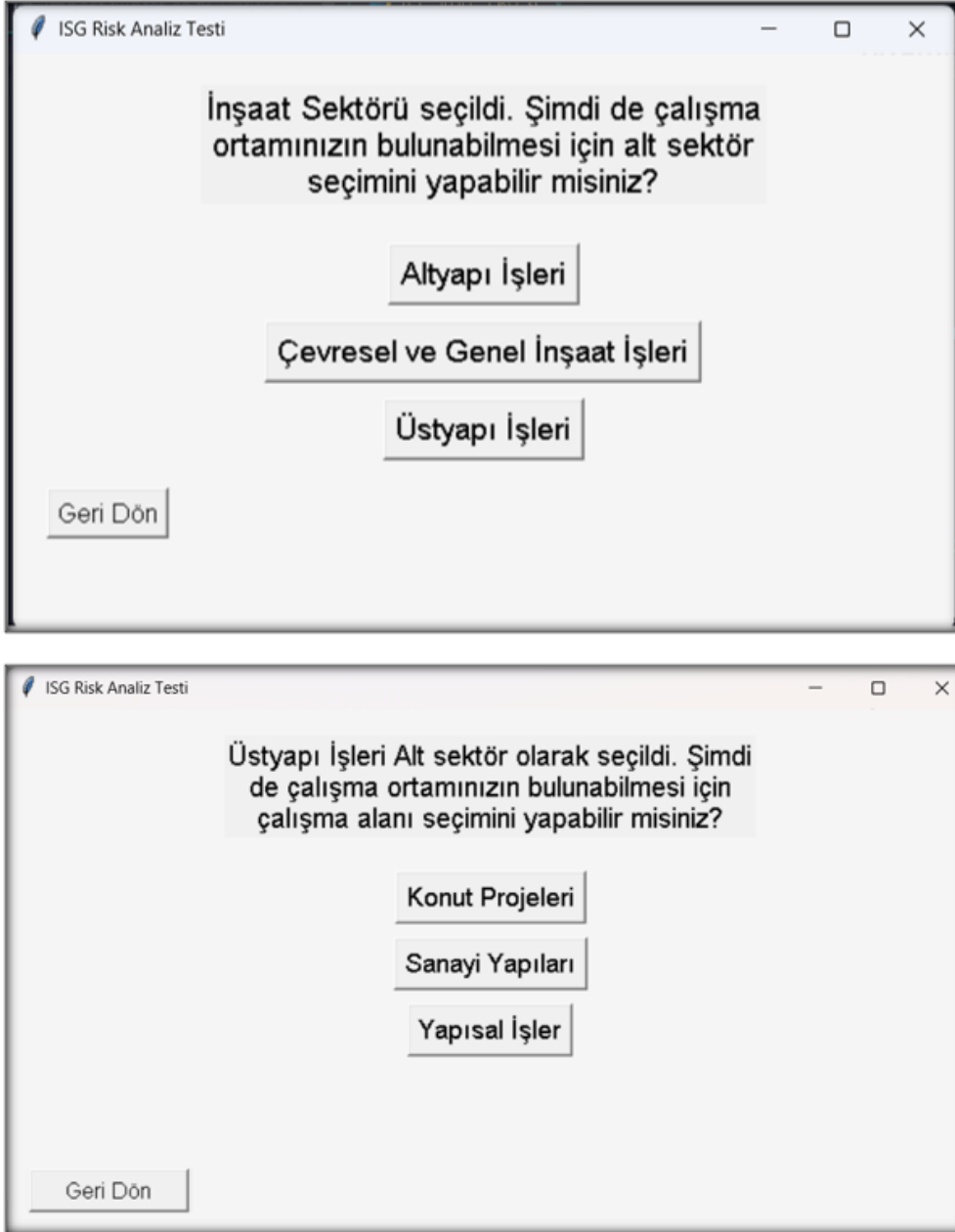
Örneğin “Konut Projeleri” ana başlığı altında yer alan “Beton ve Yapı İşleri” ile “Çatı İşleri ve İzolasyon” alt grupları, LLM yapay zekâ destekli senaryolarla değerlendirildiğinde aynı risk düzeyine sahip olmadığı görülmüştür. “Beton ve Yapı İşleri” yüksek etki ve yüksek sıklık sergilediğinden $GRK_E^{CA} = 3$ ve $GRK_S^{CA} = 3$ katsayılarıyla derecelendirilmiştir. Buna karşılık “Çatı İşleri ve İzolasyon” aynı düzeyde yüksek etki yaratmasına karşın nispeten düşük sıklıkta kaza potansiyeline sahip olduğu için $GRK_E^{CA} = 3$ ancak $GRK_S^{CA} = 2$ katsayısı almıştır. Bu yaklaşım, belirli bir ana çalışma alanında görev yapan işçilerin fiilen maruz kaldığı risk çeşitliliğini hassas biçimde yakalamış ve sonuçta üretilen İSG risk analizi çıktılarının alt çalışma alanı düzeyinde gerçekçi ve ayırt edici olmasını sağlamıştır.

Elektrik & Telekom ➤ Elektrik Dağıtım ve Altyapı ➤ Kablo Yönetimi ve Montaj ➤ Kablo Döşeme ve Yönlendirme ➤ Kablo Kesme ve İşleme ➤ Yüksek Gerilim Sistemleri	İmalat İşleri ➤ Malzeme Taşıma ve Lojistik ➤ Genel Montaj ve İşleme ➤ Metal İşleme ve Şekillendirme ➤ Yüzey İşleme ve Kaplama ➤ Otomasyon ve Robotik Sistemler ➤ Elektrik Montaj ve Test İşlemleri ➤ Atık Yönetimi ve Temizlik ➤ Güç ve Hava Sistemleri ➤ Kimyasal ve Malzeme İşleme
Çevre Düzenlemeleri ➤ Peyzaj ve Bahçe Düzenlemesi ➤ Atık Yönetimi ➤ Temizlik ve Bakım ➤ Toprak İşleme ve Hafriyat ➤ Su Yönetimi	Karayolları & Demiryolları ➤ Asfaltlama ve Yol Bakımı & yapımı ➤ Tünel İnşaatı ve Hafriyat ➤ Malzeme Taşıma ve Lojistik ➤ Yol Stabilizasyon ve Drenaj ➤ Yol Stabilizasyon ve Sıkıştırma
Genel Yıkım İşleri ➤ Enkaz Temizliği ve Yıkım Sonrası Temizlik ➤ Beton Kesme ve Delme İşleri ➤ Hafriyat ve Moloz Kaldırma ➤ Metal Kesme ve Yapı Söküm İşleri ➤ Yapı Söküm ve Kıрма İşleri ➤ Patlayıcı ile Yıkım	Konut Projeleri ➤ Su, Peyzaj ve Bahçe Düzenleme ➤ Genel Montaj ve İşleme ➤ Malzeme Taşıma ve Lojistik ➤ Beton ve Yapı İşleri ➤ Yüzey İşleme ve Kaplama ➤ İskele Sistemleri ve Erişim ➤ Çatı İşleri ve İzolasyon ➤ Elektrik ve Tesisat İşlemleri ➤ Hafriyat ve Kazı İşleri ➤ Temel İşleri, Hafriyat ve Zemin Hazırlama
Sanayi Yapıları İnşaatı ➤ Beton İşlemleri ➤ İskele, Erişim ve Güvenlik Sistemleri ➤ Kazı, Hafriyat ve Temel İşlemleri ➤ Kimyasal İşleme ve Karışım İşlemleri ➤ Lojistik, Taşıma ve Kaldırma İşlemleri ➤ Metal ve Ahşap İşleme ➤ Montaj, Kurulum ve İnşaat İşlemleri ➤ Otomasyon ve Makine İşleme ➤ Sistem, Elektrik, HVAC ve Basınçlı Sistemler ➤ Yüzey Hazırlama, İşleme ve Kaplama	Yapısal İşler ➤ İskele, Kaldırma ve Taşıma İşlemleri ➤ Yüzey İşleme ve Yapısal Destek ➤ Beton Döküm ve Kalıp İşlemleri ➤ Beton Delme ve kesme İşlemleri ➤ Çelik İşleme ve Montaj ➤ Yıkım ve Söküm İşlemleri ➤ Metal İşleme ve Montaj İşlemleri ➤ Temel İşleri ve Kazı İşlemleri
Yeraltı Çalışmaları ➤ Boru Hatları ve Yeraltı Tesisat ➤ Su ve Drenaj Sistemleri ➤ Yeraltı Kazı ve Delme İşlemleri ➤ Patlatma ve Maden Çalışmaları ➤ Tünel Kazı ve İnşaat İşleri	

Şekil 4.5 Risk analiz testi alt çalışma alanları sınıflandırması

4.2.1.2 Çalışma Alanı Program Çıktıları

Çalışma alanı seçim ekranı bütün inşaat çalışma alanlarını kapsayacak şekilde kullanıcıya sunulur (Şekil 4.6 ve Sekil 4.7).



Şekil 4.6 Risk analiz testi çalışma alanı seçim ekranı



Şekil 4.7 Risk analiz testi alt çalışma alanları seçim ekranı

4.2.2 Kullanılan Makine Risk Analiz Testinin Hazırlanışı

4.2.2.1 Kullanılan Makine Risk Katsayılarının (RK_E^M & RK_S^M) Program Seçimlerine Entegrasyonu

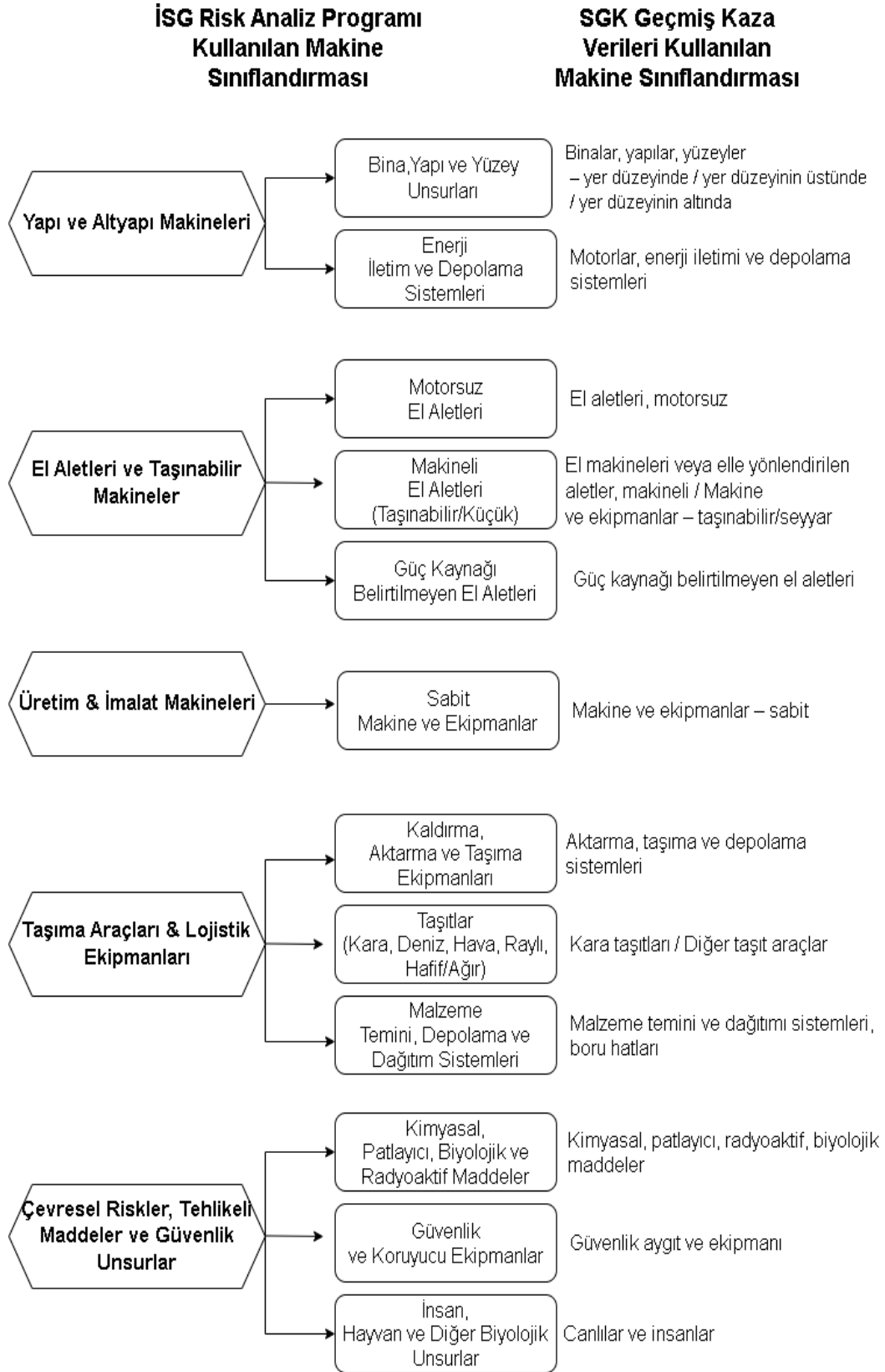
SGK kaza yıllıklarında “SGK Geçmiş Kaza Verileri Kullanılan Makine Sınıflandırması” başlığı altında listelenen makineler, İSG Risk Analiz Programı’ndaki “Kullanılan Makine Sınıflandırması” ile doğrudan eşleştirilebilmesi için önce RK_E^M (Makine Etki Risk Katsayısı) ve RK_S^M (Makine Sıklık Risk Katsayısı) değerleriyle birlikte ikili veri tabanına aktarılmıştır. Eşleştirme sürecinde, bir SGK alt başlığının programda tek bir alt başlığa karşılık gelmesi yerine birden fazla SGK alt başlığının aynı program alt başlığına bağlandığı

durumlar tespit edilmiş; bu gibi durumlarda her SGK alt başlığında hesaplanan RK_E^M - RK_S^M çiftlerinin geometrik ortalaması alınarak birleşik bir katsayı seti oluşturulmuş ve söz konusu ortalama, bağlandığı İSG Risk Analiz Programı alt başlığına atanmıştır. Örneğin SGK verilerinde “Binalar, yapılar, yüzeyler – yer düzeyinde / yer düzeyinin üstünde / yer düzeyinin altında” olmak üzere üç ayrı alt başlıkta hesaplanan risk katsayıları geometrik olarak ortalanmış ve programın “Bina, Yapı ve Yüzey Unsurları” alt başlığı için tek bir RK_E^M - RK_S^M çifti elde edilmiştir.

Bu yöntem uygulanarak SGK kaynaklı tüm makine alt başlıkları, programın sınıflandırmasıyla tam uyumlu hâle getirilmiştir. Son oluşum, parantez içinde alt başlıkları belirtilmiş beş ana grup olarak yapılandırılmıştır:

1. Yapı ve Altyapı Makineleri (Bina, Yapı ve Yüzey Unsurları; Enerji İletim ve Depolama Sistemleri)
2. El Aletleri ve Taşınabilir Makineler (Motersuz El Aletleri; Makineli El Aletleri – Taşınabilir/Küçük; Güç Kaynağı Belirtilmeyen El Aletleri)
3. Üretim & İmalat Makineleri (Sabit Makine ve Ekipmanlar)
4. Taşıma Araçları & Lojistik Ekipmanları (Kaldırma, Aktarma ve Taşıma Ekipmanları; Taşıtlar – Kara, Deniz, Hava, Raylı, Hafif/Ağır; Malzeme Temini, Depolama ve Dağıtım Sistemleri)
5. Çevresel Riskler, Tehlikeli Maddeler ve Güvenlik Unsurları (Kimyasal, Patlayıcı, Biyolojik ve Radyoaktif Maddeler; Güvenlik ve Koruyucu Ekipmanlar, İnsan, Hayvan ve Diğer Biyolojik Unsurlar)

Bu sistematik eşleştirme sayesinde, kullanıcının seçtiği her makine alt başlığı için SGK verilerinden türetilen güvenilir RK_E^M ve RK_S^M katsayıları programa eksiksiz olarak aktarılmış, böylece geçmiş kaza istatistiklerine dayalı risk ölçütleri ile programın makine sınıflandırması arasında doğrudan, tutarlı ve sayısal olarak geçerli bir bağlantı kurulmuştur (**Şekil 4.8**).



Şekil 4.8 Risk analiz testi kullanılan makine sınıflandırması

İSG Risk Analiz Programı'nda kullanıcı, çalışma alanını tanımladıktan sonra kullandığı makineleri de belirtmek zorundadır; seçilen her makine Makine Etki Risk Katsayısı (RK_E^M) ve Makine Sıklık Risk Katsayısı (RK_S^M) üzerinden değerlendirilir. İnşaat sektöründe kullanılan ekipmanlar, (i) yapı ve altyapı makineleri, (ii) el aletleri ve taşınabilir makineler, (iii) üretim-imalat makineleri, (iv) taşıma araçları ve lojistik ekipmanlar ile (v) çevresel riskler, tehlikeli maddeler ve güvenlik unsurları başlıkları altında beş ana gruba ayrılmış, her ana grubun altında ayrıntılı alt makine kategorileri oluşturulmuştur. SGK Geçmiş Kaza verilerindeki makine sınıflandırması da aynı mantıkla düzenlenmiş; böylece SGK'daki "kullanılan makine" alanları ile analizden türetilen RK_E^M - RK_S^M katsayıları doğrudan eşleştirilebilir hâle getirilmiştir. Sonuçta, SGK verilerinden türetilen makine başlıkları ve bunlara ait RK_E^M - RK_S^M değerleri, programın makine gruplarıyla bütünleştirilmiş; böylelikle "kullanılan makine sınıflandırması" kapsamında her grup için geçerli katsayılar kesinleşmiştir.

Çalışma ortamında yer alan makineleri belirlemek amacıyla yapılan kapsamlı tarama 1 800'ü aşkın makine ortaya koymuş; sektörel ayrım sonunda bunların yaklaşık 500'ünün doğrudan inşaat faaliyetlerinde kullanıldığı görülmüştür. Bu 500 makine, NACE kodlarıyla eşleştirilen sektör → alt sektör → çalışma alanı → alt çalışma alanı hiyerarşisinde, İSG açısından tehlikeli kabul edilen ekipmanlar arasından seçilmiş; LLM yapay zekâ yardımıyla her birinin işlevi ve risk profiliyle yakından örtüşen üçer "alternatif" makine adı ve açıklaması üretilmiştir (**Şekil 4.10**). Risk analizinin isabetini artırmak için temel makineler 12 makine grubunda toplanmış, kapsam dışındakiler "Diğer Makineler" başlığı altında bırakılmış ve her grubun RK_E^M ile RK_S^M değerleri ayrı ayrı geometrik ortalamayla hesaplanmıştır; aynı yöntem "Diğer Makineler" için de toplu RK_E^M - RK_S^M skorları üretmiştir.

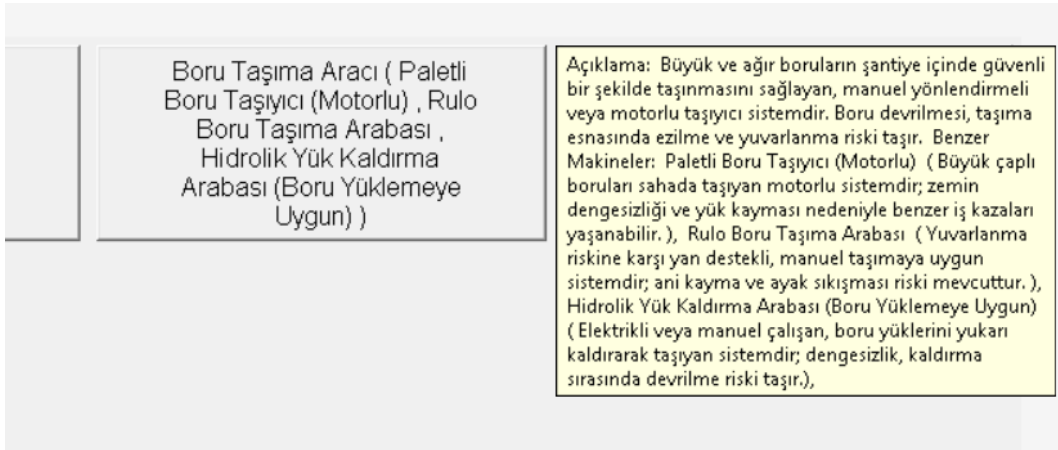
Program, kullanıcının önceden belirlediği sektör, alt sektör, çalışma alanı ve alt çalışma alanı bilgilerine dayanarak ilgili makineleri filtreler ve LLM yapay zekânın kurguladığı muhtemel iş ortamına en uygun makine listesini sunar. Grup düzeyindeki genel RK_E^M - RK_S^M değerleri tüm makineler için başlangıç referansı olsa da aynı grup içindeki ekipmanların risk profilleri birebir örtüşmediği için her makine, grup içindeki diğer makinelerle etki ve sıklık bakımından yeniden karşılaştırılır. Bu aşamada, etki yönünden düşük-orta-yüksek-en yüksek düzeylerine; sıklık yönünden de aynı düzeylere sırasıyla 2, 2,5, 3 ve 4 puan atanarak

grup-içi etki risk katsayısı (GRK_E^M) ve grup-içi sıklık risk katsayısı (GRK_S^M) tanımlanır. Böylece yaklaşık 500 özgün makineye eklenen üçer benzer alternatif sayesinde toplamda 2 000'i aşkın seçenek oluşturulur; sonuç olarak program, gerçek inşaat çalışma ortamını yansıtan ayrıntılı, tutarlı ve nicel olarak temellendirilmiş bir risk analizi sağlar. Risk analiz testindeki kullanılan makine seçimi şeklindeki gibidir (**Şekil 4.9**). Bulunamayan ama çalışanın kullandığı makineler arama çubuğu ile daha kolay bir şekilde bulunur hale gelebilir (**Şekil 4.11**).

4.2.2.2 Kullanılan Makine Program Çıktıları



Şekil 4.9 Risk analiz testi kullanılan makine seçim ekranı



Şekil 4.10 Benzer makineler ve açıklamaları



Şekil 4.11 Bulunamayan makineler için arama çubuğu ve ekranı

4.2.3 Seçilen Makine ile Alakalı Risk Oluşturabilecek Problemler

İSG Risk Analiz Programı'nda, kullanıcı makina seçimini yaptıktan sonra “Makinenin Problemleri” ekranında sunulan dokuz olası kusurdan (örneğin koruyucu kapağın çıkarılmış olması, fren arızası, elektrik kablosu izolasyonunun bozulması vb.) mevcut durumunu işaretler. Kullanıcının seçtiği bu problemler, LLM yapay zekâ tarafından daha önce üretilmiş en az on beş olası kaza senaryosu içinden ilgili olanlarla eşleştirilir; böylece makinenin işlevi + seçilen kusur kombinasyonunun, kaza gerçekleştiğinde doğurabileceği yara türü (kesik, ezilme, elektrik yanığı, amputasyon vb.) ve yara bölgesi (el-kol, bacak, baş-boyun, bel-omurga vb.) nicel olarak tanımlanır. Ardından program, sanki bu senaryolar gerçekten yaşanmış gibi davranarak geçmiş SGK kaza verilerinden hesaplanan Makine Etki Risk Katsayısı (RK_E^M) ve Makine Sıklık Risk Katsayısı (RK_S^M) değerlerini henüz gerçekleşmemiş ama gerçekleşme olasılığı yüksek bu durumlara entegre eder. Bu sayede “kusur-işlev-yara” üçlüsü için hem etkinin şiddeti hem de görülme sıklığı tahmin edilir; kullanıcı işaretlediği her problemle birlikte toplam risk skorunun nasıl arttığını sayısal olarak görebilir.

Son aşamada, İSG yıllıklarında raporlanmış gerçek yara türü ve yara bölgesi dağılımları bu kurgusal senaryoların çıktılarıyla çaprazlanır; böylece geçmiş kazalardan türetilen ampirik desenler, LLM yapay zekânın ürettiği potansiyel kaza tablolarına en gerçekçi biçimde uyarlanır. Sonuç olarak, kullanıcı-özel makine problemleri ile somut SGK istatistiklerinin birleşimi, çalışma ortamında

doğabilecek tehlikeleri hem olasılık hem de sonuç şiddeti boyutunda gerçeğe en yakın biçimde modelleyerek risk analizinin doğruluğunu belirgin şekilde yükseltir.

LLM Yapay zekâ destekli risk senaryosu üretim sürecinde, olası bir iş kazası gerçekleştiğinde çalışanın maruz kalabileceği yara bölgesi ile yara türü birlikte değerlendirilmekte; her senaryo için en yüksek risk düzeyine sahip ilk üç yara bölgesi-yara türü ikilisi, İSG Risk Analiz Programı'nda belirleyici etmen olarak kullanılmaktadır. Böylece kullanıcı hangi makineyi ve bu makineye ilişkin hangi problemleri işaretlerse işaretlesin, program o kombinasyon için üç adet yara bölgesi-yara türü ikilisini risk hesaplamasına dâhil eder.

Örneğin LLM yapay zekânın oluşturduğu bir senaryoda, kaynak makinesinin elektrik devrelerinde deformasyon sonucu devre elemanlarının yanmasıyla (i) organlara doğrudan etki etmeyen bir bölgede elektrik yaralanması oluşabilir; aynı kazada çıkan ateş (ii) dirsek dâhil kolda ikinci derece termal yanığa yol açabilir; ayrıca açığa çıkan gazı soluma (iii) göğüs kafesi-akciğer bölgesinde düşük riskli solunum yolu problemleri meydana getirebilir. Program bu üç olasılığı şöyle listeler:

1. Organlara doğrudan etki etmeyen bölge / Elektrik yaralanması
2. Dirsek dâhil kol / Yanık & termal hasar
3. Göğüs kafesi & akciğer / Solunum problemleri

Gerçek iş kazalarının çoğunlukla tek bir yara türü ya da tek bir yara bölgesiyle sınırlı kalmayıp birden fazla kombinasyonu içerdiği gerçeği göz önünde bulundurulduğunda, her makine-problem seçimi için üç yüksek-riskli yara bölgesi-yara türü ikilisini hesaba katmak, programın risk analizinin gerçeklik ve doğruluk düzeyini anlamlı biçimde yükseltir.

4.2.3.1 Seçilen Makine ile Alakalı Risk Oluşturabilecek Senaryoların Oluşturulması

İSG Risk Analiz Programı, Büyük Dil Modellerinin (LLM) desteğiyle daha önce fiilen yaşanmamış, ancak gerçekleşme olasılığı yüksek ve gerçekleştiğinde çalışan üzerindeki etkisi ciddi olabilecek kaza senaryoları üretir. Senaryolar, kullanıcının seçtiği çalışma ortamı ve makineye özgü bağlamda kurgulanır; LLM yapay zekâsı her makine için en az on beş olası kaza durumunu tasarlayarak, makinenin

eksiklikleri, düzensizlikleri ve hatalarını İSG açısından “risk oluşturabilecek problemler” olarak tanımlar. Bu yöntem sayesinde, makine sayısının yüksek olmasına karşın LLM yapay zekasının kapsamlı senaryo üretme ve neden-sonuç ilişkisi kurma yetenekleri devreye sokulur ve kullanıcıya çalışma alanıyla ilgili son derece gerçekçi, doğrulanabilir bir risk analizi sunulur.

Oluşturulan kaza senaryoları arasından, İSG açısından en yüksek risk derecesine ve en kapsamlı etki potansiyeline sahip dokuz temel problem seçilerek sınıflandırılır. Program, bu aşamada kullanıcıya “Kullandığımız makine ile alakalı aşağıdaki 9 problemi benzer problemler olarak tespit ediyor musunuz?” sorusunu yöneltir. Kullanıcı bu dokuz problemten birini veya birkaçını işaretlediğinde, seçilen makinenin temel risk düzeyine ek olarak söz konusu problemlerin varlığının çalışanın İSG riskini ne ölçüde artıracak, önceden hesaplanmış sayısal katsayılarla birleşik olarak gösterilir. Böylece program, LLM yapay zekâ tarafından üretilen senaryolarla tanımlanan riskleri kullanıcı geri bildirimiyle doğrular, sonuçları nicel verilerle pekiştirir ve çalışma ortamındaki gerçek tehlikeleri daha isabetli biçimde modelleyerek gerçekçi bir risk analizi yapar.

4.2.3.2 Yara Bölgesi Risk Katsayılarının (RK_E^{YB} & RK_S^{YB}) Program Seçimlerine Entegrasyonu

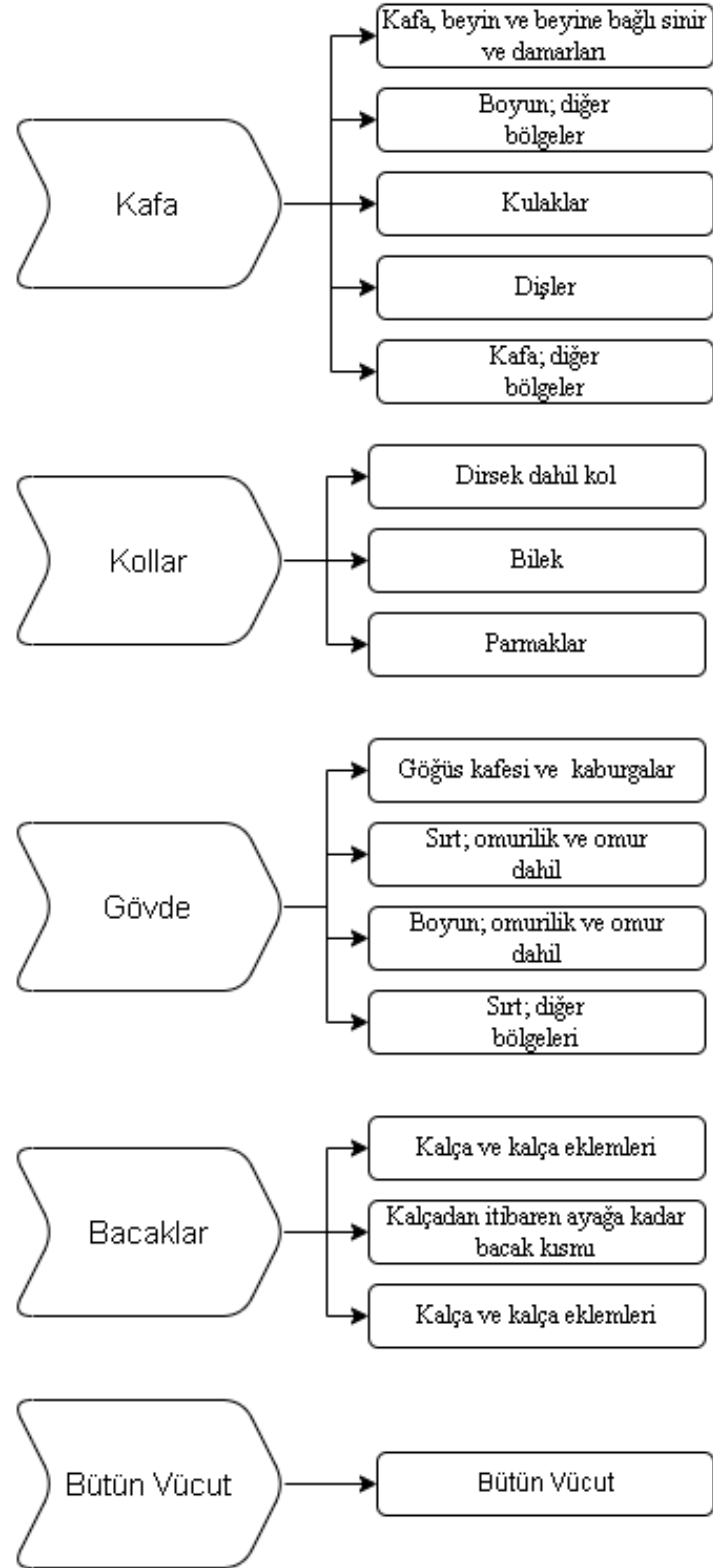
Yara bölgesi analizinde elde edilen veriler, kollar, bacaklar, gövde, kafa ve bütün vücut olmak üzere beş ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Her ana başlığın altındaki ayrıntılı bölümler, “Sınıflandırma” bölümünde tanımlanan gruplandırmaya göre birleştirilmiş ve bu gruplar için Yara Bölgesi Etki Risk Katsayısı (RK_E^{YB}) ile Yara Bölgesi Sıklık Risk Katsayısı (RK_S^{YB}) değerleri önceki kısımlarda açıklanmıştır. Bununla birlikte, aynı ana başlık altında yer alan alt yara bölgelerinin risk profillerinin özdeş olmadığı kabul edilerek, grup bazında belirlenen genel RK_E^{YB} ve RK_S^{YB} katsayıları tek tek alt bölgelere doğrudan uygulanmamış; bunun yerine grup içi ayırt edici bir değerlendirme yapılmıştır.

Bu amaçla, her ana başlıktaki alt yara bölgeleri etki ve sıklık boyutlarında yeniden karşılaştırılmış; analiz sonucu Yara Bölgesi Grup-İçi Etki Risk Katsayısı (GRK_E^{YB}) ve Yara Bölgesi Grup-İçi Sıklık Risk Katsayısı (GRK_S^{YB}) türetilmiştir. Ölçek, etki bakımından düşük-orta-yüksek-en yüksek düzeylerine karşılık gelen 2-2,5-3-4; sıklık bakımından da aynı düzeylere yine 2-2,5-3-4 katsayılarının atanması esasına

dayanmaktadır. Böylece, örneğin “kollar” ana başlığı altında el-bilek, önkol-dirsek, üst kol-omuz gibi alt bölgeler kendi aralarında farklı GRK_E^{YB} ve (GRK_S^{YB}) puanları olarak ayrılmıştır.

Toplamda 110’dan fazla yara bölgesi seçeneği bu yöntemle ayrı ayrı puanlandığından, LLM yapay zekâ tarafından üretilen kaza senaryolarında kullanıcı hangi makineyi ve hangi problemi seçerse seçsin, olası yaralanmaların bölgesel şiddeti ve görülme olasılığı daha gerçekçi biçimde öngörülebilmiştir. Sonuç olarak, grup-içi farklılıkları hesaba katan $GRK_E^{YB}-(GRK_S^{YB})$ yaklaşımı, risk analiz testinin hem doğruluk hem de gerçeklik düzeyini belirgin biçimde yükseltmiş, çalışanın olası yaralanma profilini çok daha hassas bir şekilde modellemiştir (**Şekil 4.12**).





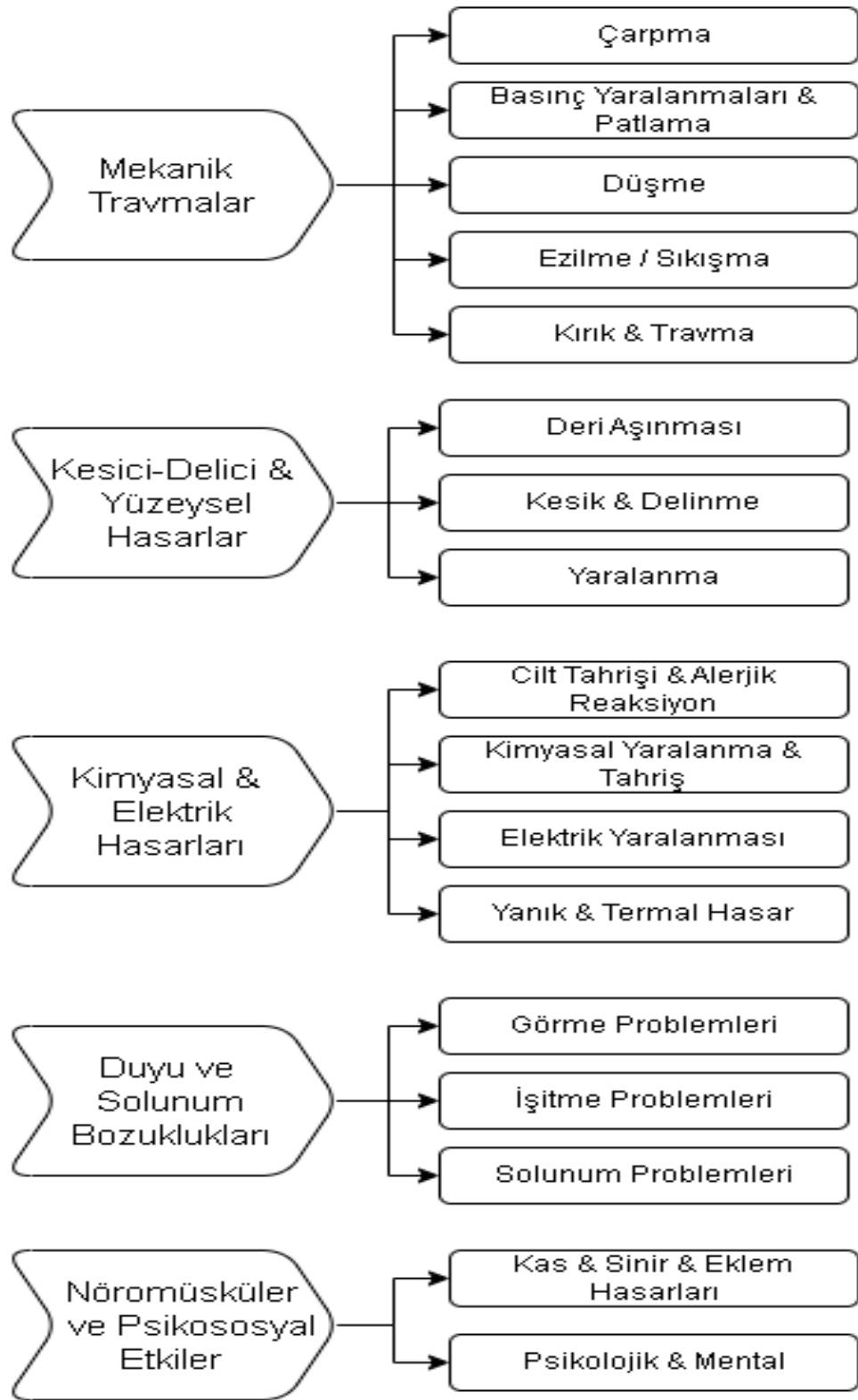
Şekil 4.22 Risk analiz testi yara bölgesi sınıflandırması

4.2.3.3 Yara Türü Risk Katsayılarının (RK_E^{YT} & RK_S^{YT}) Program Seçimlerine Entegrasyonu

SGK kaza yıllıkları üzerinde yapılan analizde, yara türleri beş ana başlık altında toplanmıştır: (i) mekanik travmalar, (ii) kesici-delici ve yüzeysel hasarlar, (iii) kimyasal ve elektrik hasarları, (iv) duyu ve solunum bozuklukları ile (v) nöromüsküler ve psikososyal etkiler. Bu ana başlıkların altındaki ayrıntılı sınıflandırma “Sınıflandırma” bölümünde tanımlanmış; her grup için önceden Yara Türü Etki Risk Katsayısı (RK_E^{YT}) ve Yara Türü Sıklık Risk Katsayısı (RK_S^{YT}) değerleri hesaplanmıştır.

Kullanıcının seçtiği makine ve ona ilişkin olası problemler temel alınarak LLM yapay zekâ tarafından üretilen İSG senaryolarında, ortaya çıkabilecek yara türleri önce bu beş başlığa göre düzenlenmiş, ardından aynı ana grup içindeki alt yara türlerinin risk düzeylerinin eşit olmadığı gerçeği dikkate alınmıştır. Bu nedenle grup seviyesinde elde edilen RK_E^{YT} ve RK_S^{YT} değerleri referans alınarak, alt yara türleri etki ve sıklık boyutlarında yeniden karşılaştırılmış; sonuçta Yara Türü Grup-İçi Etki Risk Katsayısı (GRK_E^{YT}) ve Yara Türü Grup-İçi Sıklık Risk Katsayısı (GRK_S^{YT}) türetilmiştir. Ölçeklendirme, etki bakımından düşük-orta-yüksek-en yüksek düzeylerine; sıklık bakımından da aynı düzeylere karşılık gelen 2 – 2,5 – 3 – 4 katsayılarıyla gerçekleştirilmiştir.

LLM Yapay zekânın herhangi bir kısıtlama olmaksızın yaklaşık 4 000’den fazla yara türü üretmesi, veri havuzunu gerçek kazalara en yakın biçimde genişletmiştir. Bu çok sayıda yaralanmayı yönetilebilir kılmak için üretilen yara türleri önce 17 alt yara türü grubuna birleştirilmiş, ardından her alt grubun GRK_E^{YT} ve GRK_S^{YT} değerleri az önceki ölçekle atanmıştır. Böylece, geniş senaryo seti gerçek kazalardan türetilen katsayı yapısıyla bütünleştirilmiş; çalışanın maruz kalabileceği yaralanmalar hem şiddet hem de görülme olasılığı boyutunda daha güvenilir biçimde modellendiği için İSG Risk Analizinin doğruluk ve gerçeklik düzeyi anlamlı ölçüde yükseltilmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.23 Risk analiz testi yara türü sınıflandırması

4.2.3.4.Risk Oluşturabilecek Senaryoların Seçimi Program Çıktıları

Problemlerin seçim menüsü şeklideki gibi yaklaşık 30,000 farklı problem senaryosu kullanıcıya sunulur (Şekil 4.14).

Beton Döküm Ekipmanı (Beton Pompa Sistemi , Beton Şut Olukları , Beton Döküm Hunisi (Vinçli)) Kullanmakta olduğunuz makine seçilmiştir. Makineyi veya ekipmanı kullanırken karşılaşılabileceğiniz risk oluşturabilecek eksiklikler, problemler ve hatalar aşağıda listelenmiştir. Makinenizde bu sorunlardan herhangi biri mevcutsa lütfen ilgili kutuları işaretleyiniz; benzer bir problemle karşılaşmıyorsanız listenin en altındaki "Risk oluşturabilecek bir sorun tespit edilmedi" seçeneğini seçiniz.

Beton döküm kovası veya bunkerinde çatlak, delik ya da aşınmış/keskinleşmiş kenar riski var mı?
Döküm mekanizmasında (vana, kapakçık) tıkanma, conta yıpranması ya da kaldırıcı arızası mevcut mu?
Ekipmanın tutma taşıma kollarında kaynak çatlak, eğilme veya kaplama hasan tespit ediliyor mu?
Emniyet mandalları ve kilit pimlerinde, istenmeyen açılmaları önleyecek sağlamlıkta bir çalışma eksikliği var mı?
Hidrolik sistemin hortumları veya bağlantı elemanlarında yağ sızıntısı ya da gevşeme mevcut mu?
Kontrol kumandalarında (manuel veya uzaktan) arızalanma, komut gecikmesi ya da sertleşme meydana geliyor mu?
Operatörün güvenliğini sağlayan platform, bariyer ya da korkuluklarda eksik parça, gevşeklik ya da kırık bulunuyor mu?
Vinç veya askı mekanizmasında (kanca, halat, zincir, şarjör) deformasyon, pas veya standart dışı uzama gözlemleniyor mu?
Yük sınırı sensörü (varsa) veya göstergesinde kalibrasyon hatası, hata kodu ya da yanlış alarm raporlanıyor mu?
Risk oluşturabilecek bir sorun tespit edilmedi.

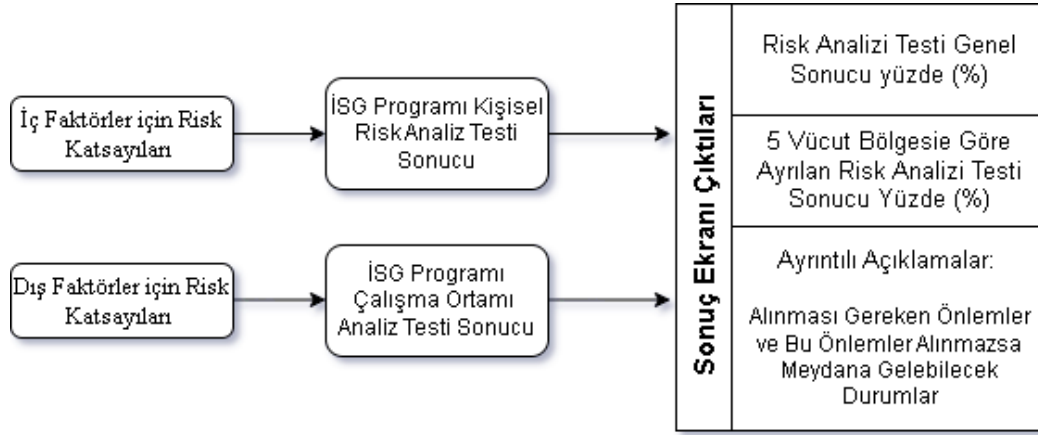
Geri Dön Devam Testi Bitir

Şekil 4.34 Kullanılan makine ile ilgili İSG riski oluşturabilecek problemlerin seçimi

4.3 Risk Analizi Sonuç Sayfası

Belirlenen risk katsayıları sayısal formüller aracılığıyla dönüştürülerek “dış etken verisi” oluşturulmuş; ayrıca İSG programı kapsamında uygulanan kişisel risk analizleri sonuçları, işyeri kaynaklı risk faktörlerinin tespit edilmesinde değerlendirilmiştir. Kullanıcıya sunulan sonuçlar üç başlık altında gruplandırılmıştır: (i) çalışma alanının genel risk seviyesi yüzdesi, (ii) dört temel vücut bölgesi için hesaplanan ayrı ayrı risk yüzdeleri ve (iii) belirlenen her bir

risktürü için önerilen önlemler ve bu önlemlerin alınmaması durumunda karşılaşılabilecek sonuçları detaylandıran açıklayıcı metinlerdir (Şekil 4.45).



Şekil 2.55 Risk analiz testi girdileri ve sonuç ekran çıktıları

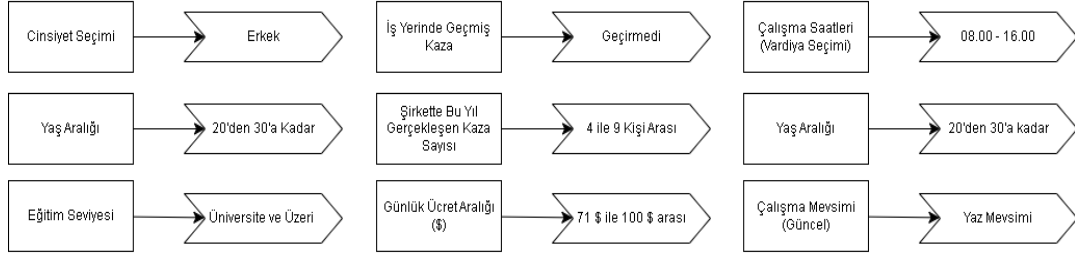
Sonuç olarak, elde edilen risk analiz testi sonucunda kullanıcı, genel risk oranını yüzde olarak görmekte ve ayrıca organ bazında (dört ayrı vücut bölgesi) oluşturulan risk analiz sonuçlarını görsel olarak inceleyebilmektedir (Şekil 4.19). Sistem, kapsamlı açıklamalar ve riski önlemek için alınması gereken önlemlerle ilgili bilgilendirme metinleri sunarak, kullanıcının iş güvenliği riskini azaltmaya yönelik bilinçli adımlar atmasına olanak tanımaktadır. (Şekil 4.20)

4.4 Risk Analiz Testi Uygulama Örneği ve Program Çıktıları

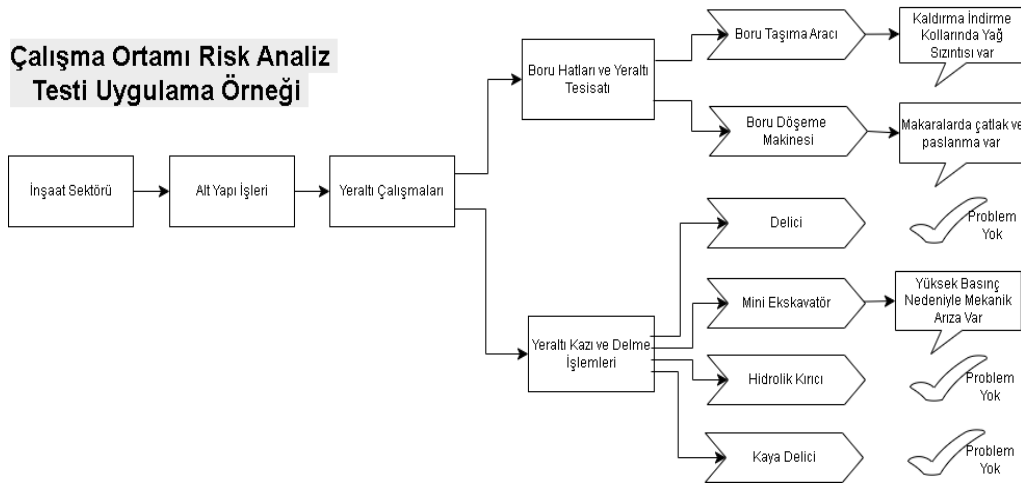
İSG Risk Analiz Programı'nı kullanan bir katılımcının, örnek amaçlı olarak çözdüğü Kişisel Risk Analizi Testi ile Çalışma Ortamı Risk Analizi Testi ve bunlara ait sonuç ekranı bu bölümde örneklenerek sunulmuştur. Şekilde görülen uygulama, kullanıcının ilgili seçenekleri işaretlemesiyle oluşturulmuştur. Buna göre 25 yaşında, üniversite mezunu, daha önce hiç iş kazası geçirmemiş bir erkek çalışan; yıl içinde beş iş kazası yaşanmış bir şirkette, günlük yaklaşık 90 \$ ücretle, yaz mevsiminde gündüz vardiyasında çalışmaktadır (Şekil 4.16). Bu parametrelere dayanarak hesaplanan Kişisel Risk Analiz Testi sonucu elde edilen

(**RATS**_{İç faktörler}) değeri 2,91 olup, bu değer Genel Risk Analizi sonucundaki riski %1,25 oranında artırmıştır (**Şekil 4.17**).

Kişisel Risk Analiz Testi Uygulama Örneği



Çalışma Ortamı Risk Analiz Testi Uygulama Örneği



Şekil 4.66 Risk analiz testi uygulama örneği

Kişisel risk analiz test sonucu= 2.91	Risk Katsayısı = + 1.25%
Seçimleriniz:	
1. Cinsiyetiniz nedir? → Erkek (3.496)=RK(Kişisel)	
2. Yaş aralığınız nedir? → 20'den 30'a kadar (2.074) =RK(Kişisel)	
3. Eğitim seviyeniz nedir? → Üniversite ve üst mezunu (2.679)=RK(Kişisel)	
4. Geçmişte iş yerinde kaza geçirdiniz mi? → Geçirmedi (3.472) =RK(Kişisel)	
5. Şirkette bu yıl yaşanan kaza sayısı nedir? → 4 ile 9 kişi arası (3.111)=RK(Kişisel)	
6. Günlük ücret aralığınız nedir? → 71 ile 100 dolar arası (2.693)=RK(Kişisel)	
7. Çalışma saatleriniz hangisi? → 08.00–16.00 vardiyası (3.278)=RK(Kişisel)	
8. Çalışma mevsiminiz hangisi? → Yaz (2.777) =RK(Kişisel)	

Şekil 4.17 Kişisel risk analiz test sonucunun

genel risk analiz test skoruna etkisi (%)

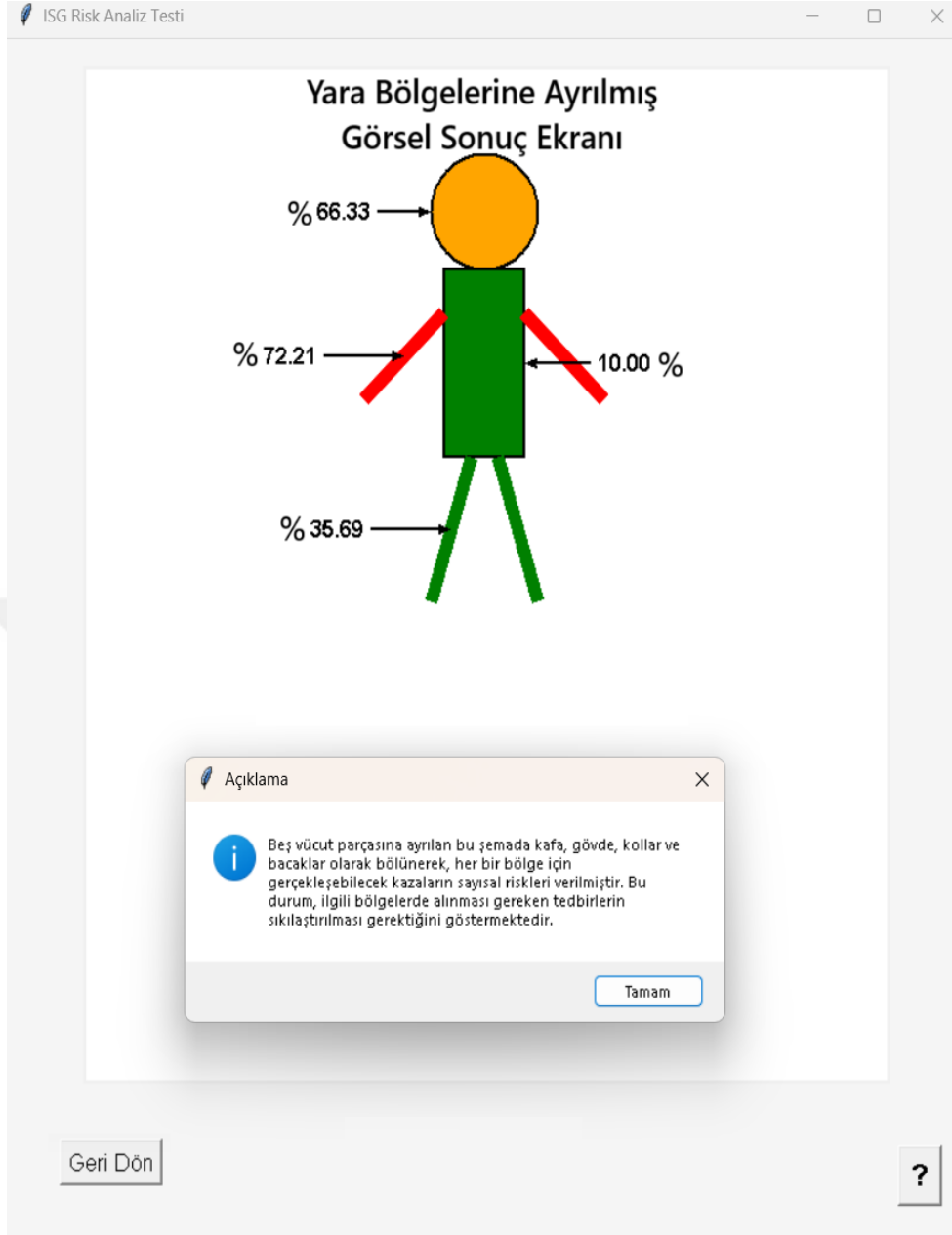
Çalışma ortamı risk analiz testini çözen kullanıcı, sırasıyla inşaat sektörü, altyapı işleri ve yeraltı çalışmaları alanlarını seçmiş; alt çalışma alanı olarak boru hatları

ile yeraltı tesisatında kullanılan ekipmanlardan, kaldırma-indirme kollarında yağ sızıntısı bulunan bir boru taşıma aracı ve makaralarında çatlak ile paslanma tespit edilen bir boru döşeme makinesini işaretlemiştir. Yeraltı kazı ve delme işlemleri alt alanında ise yüksek basınç nedeniyle mekanik arızası olan bir mini ekskavatör ile hâlihazırda risk oluşturacak sorunu bulunmayan delici, kaya delici ve hidrolik kırıcı makineleri seçilmiştir.

Bu verilerle hesaplanan İç Faktörler Risk Analiz Test Skoru ($RATS_{İç\ faktörler}$) %63,18'dir. Kişisel Risk Analizi Testi sonuçları da eklendiğinde Genel Risk Analiz Test Skoru ($RATS_{Genel}$) %64,43 olarak belirlenmiştir (**Şekil 4.18**). Kullanıcı, vücut bölgelerine göre görselleştirilen risk analiz sonuçları sayesinde hangi bölgelerinin hangi oranlarda risk taşıdığını görerek gerekli önlemleri alabilir (**Şekil 4.19**). Ayrıca açıklama-sonuç ekranında, önlem alınmadığı takdirde karşılaşılabilecek riskler ayrıntılı biçimde sunulmakta, önerilen koruyucu tedbirlerle bu risklerin nasıl önlenebileceği açıklanmaktadır. İş yeri kaynaklı bir mağduriyet söz konusu olduğunda, program aynı ekranda ilgili İSG mevzuat maddelerine atıfta bulunarak kullanıcılara hukuki tavsiyeler de sağlamaktadır (**Şekil 4.20**).



Şekil 4.18 Genel risk analiz test skoru ($RATS_{Genel}$) (%)



Şekil 4.19 Yara bölgelerine ayrılmış görsel risk analiz test skoru (%)

ISG Risk Analiz Testi

— □ ×

Açıklama Sonuç Ekranı

Boru Taşıma Aracı (Paletli Boru Taşıyıcı (Motorlu) , Rulo Boru Taşıma Arabası , Hidrolik Yük Kaldırma Arabası (Boru Yükleme Uygun))

Kaldırma/indirme kollarında (hidrolik veya mekanik) yağ sızıntısı, basınç kaybı ya da sertleşme takılma yaşıyor mu?

Açıklama 1: Önlem alınmadığı takdirde gerçekleşebilecek riskler:

Hidrolik veya mekanik kaldırma kollarında yağ sızıntısının ve sertleşme sorunlarının giderilmesi gereklidir. Eğer gerekli önlemler alınmazsa, çalışanların ellerinde kayma kaynaklı yaralanmalar meydana gelebilir. Basınç kaybı nedeniyle aşırı güç uygulanması önlenmelidir. Eğer gerekli önlemler alınmazsa, operatörlerin kollarında kas zorlanmaları meydana gelebilir. Çalışanların uygun koruyucu ekipman kullanması sağlanmalıdır. Hidrolik sızıntılar nedeniyle sıvıların göze sıçraması önlenmelidir. Eğer gerekli önlemler alınmazsa, çalışanların gözlerinde tahriş ve kimyasal yanık meydana gelebilir. ^

Açıklama 2: Alınması gereken önlemler:

^Hidrolik veya mekanik kaldırma kollarındaki yağ sızıntısı ve sertleşme sorunlarının giderilmesi gereklidir. Bu tür arızalar, basınç kaybı nedeniyle aşırı güç uygulanmasına yol açabilir. Çalışanların uygun koruyucu ekipman kullanması sağlanmalıdır. Hidrolik sızıntılardan dolayı sıvıların göze sıçraması da önlenmelidir. ^

Önlemlerin alınması için hukuki tavsiye

(6331/ISG_4, ISG_5, ISG_6)^

Boru Döşeme Makinesi (Paletli Kanal Açma Makinesi , Boru Yerleştirme Vinçi , Hidrolik Boru Taşıma Arabası)

Boru döşeme makaralarında, döner tamburlarda veya taşıyıcı kayışlarda aşınma, çatlak veya paslanma gözlemleniyor mu?

Açıklama 1: Önlem alınmadığı takdirde gerçekleşebilecek riskler:

Boru döşeme makaraları düzenli olarak kontrol edilmelidir. Aşınmış veya çatlak makaralar nedeniyle el sıkışma riski oluşabilir. Eğer gerekli önlemler alınmazsa, çalışanların ellerinde kesik veya ezilme yaralanmaları meydana gelebilir. Döner tamburların korunaklı olması sağlanmalıdır. Eğer gerekli önlemler alınmazsa, döner tamburun kopması sonucu çalışanların vücutlarına darbe olarak yaralanmalar meydana gelebilir. Paslı veya kırık parçaların çalışanlara zarar vermemesi sağlanmalıdır. Eğer gerekli önlemler alınmazsa, kopan parçalar çalışanların gözlerine kaçarak yabancı cisim yaralanmalarına neden olabilir. ^

Açıklama 2: Alınması gereken önlemler:

^Boru döşeme makinelerindeki döner tamburlar, makaralar veya taşıyıcı kayışlar, aşınma, çatlak veya paslanma durumlarında düzgün çalışmayı engelleyebilir. Bu nedenle, bu bileşenler düzenli olarak kontrol edilmelidir. Döner tamburların korunaklı olması sağlanmalıdır. Paslı veya kırık parçaların çalışanlara zarar vermemesi sağlanmalıdır. ^

Önlemlerin alınması için hukuki tavsiye

(6331/ISG_4, ISG_5, ISG_6)^

Sonraki >

Risk analiz sonucuna geri dön

Şekil 4.20 Risk analiz test açıklama sonuç ekranı

5.1 Elde Edilenler ve Yöntem

İş kazaları, çalışma ortamında aniden meydana gelen; kimi zaman ölümle, kimi zaman ise kalıcı fiziksel ya da zihinsel hasarla sonuçlanabilen ciddi olaylardır. Bu tez çalışması, özellikle yüksek risk barındıran inşaat sektöründeki kazaları mercek altına alarak, potansiyel tehlikelerin önceden belirlenmesinin ve buna bağlı olarak uygulanacak proaktif müdahalelerin ne denli kritik olduğunu vurgulamaktadır.

Çalışma kapsamında, Türkiye’de kaydedilmiş 65.000 iş kazası verisi ile Sosyal Güvenlik Kurumu’nun (SGK) yıllık kaza istatistiklerinden yararlanılmış; bu geniş veri seti, CJSA (Comprehensive Job Safety Analysis) yönteminin inşaat sektörüne uyarlanmış versiyonu aracılığıyla analiz edilmiştir. Değerlendirmede, kişisel faktörler, çalışma alanları, kullanılan makineler, yara türleri ve yaralanan vücut bölgeleri dikkate alınarak hem genel hem de beş ana vücut bölgesine özgü risk katsayıları hesaplanmıştır.

Elde edilen bu katsayılar, Python altyapısıyla geliştirilen bir İSG Risk Analiz programına entegre edilmiştir. Program, kullanıcıdan aldığı bilgilere göre "İç Faktörler" (kişisel nitelikler) ve "Dış Faktörler" (çalışma ortamı koşulları) başlıkları altında kapsamlı bir risk değerlendirmesi sunmaktadır. Yazılım geliştirme sürecinde, olası risk senaryolarını üretmek üzere güncel Büyük Dil Modellerinden (LLM) faydalanılmış; her makine türü için yüzlerce senaryo içerisinden en yüksek risk seviyesini barındıran dokuz senaryo seçilerek sistem içine dâhil edilmiştir.

Bu sayede yazılım yalnızca mevcut riskleri yüzde cinsinden belirtmekle kalmamış, aynı zamanda gerekli önlemlerin alınmadığı durumlarda kazaların nasıl seyredeceğini hem sayısal verilerle hem de sözel anlatımlarla kullanıcıya

aktarmıştır. Ayrıca, önerilen her önlemin ilgili riski ne oranda azalttığına dair bilgilendirici çıktılar sunmuştur. Yürütülen analizler, yalnızca çalışma ortamı koşullarının değil, aynı zamanda çalışanın yaş, cinsiyet ve eğitim seviyesi gibi kişisel özelliklerinin de kaza olasılığı üzerinde belirleyici etkiler yarattığını göstermiştir. Kullanıcı, programda çalışma alanı ve makine seçimini yaptıktan sonra, yatay kaydırmalı bir panel aracılığıyla on potansiyel risk faktöründen seçim yapar. Sistem, önce genel risk skorunu (yüzde olarak), ardından beş vücut bölgesi için ayrı ayrı risk oranlarını hesaplar ve her risk için alınması gereken önlemleri, bu önlemler uygulanmadığında karşılaşılabilecek olası sonuçlarla birlikte detaylı biçimde raporlar.

5.2 Çalışmanın Faydaları

İç ve dış faktörlerin ortak bir çatı altında değerlendirilmesi, literatürde sıkça önerilen bütüncül risk yönetimi yaklaşımıyla güçlü bir paralellik sergilemektedir. Bu çalışmada, geçmiş kaza verilerinin sistematik biçimde analiz edilmesi ile büyük dil modeli (LLM) destekli senaryo modellemesinin bir araya getirilmesi sayesinde, inşaat sektörüne özgü hem nicel hem de nitel öngörüler sunan yenilikçi bir iş sağlığı ve güvenliği (İSG) aracı ortaya konmuştur.

Yapay zekâ temelli bu yaklaşım yalnızca modelin doğruluk düzeyini artırmakla kalmamış, aynı zamanda farklı ülke ve sektör koşullarına uyarlanabilir esnek bir çözüm altyapısı da sunmuştur. Bu sayede hem kurumsal düzeyde yöneticilerin hem de bireysel düzeyde çalışanların İSG farkındalıkları pekişmiş; olası kaza risklerinin azaltılmasına yönelik somut katkılar sağlanmıştır.

Bununla birlikte, çalışma geçmiş verilere dayalı senaryo modellemesinin yalnızca yaşanmış vakalara değil, henüz gerçekleşmemiş potansiyel risklere de hem nicel hem de nitel açılardan ışık tutabileceğini ortaya koymuştur. Bu tür bir yöntemin farklı disiplinlerdeki veri kümelerine entegre edilerek alan bazlı özel analiz ve tahmin programlarına dönüştürülmesi, literatürdeki teorik bulguların pratik ve dijital araçlara evrilmesini mümkün kılacaktır. Böylece sadece sektörel fayda sağlamakla kalmayıp, daha geniş çapta toplumsal yararın da maksimize edilmesi hedeflenebilecektir.

5.3 Tartışma

5.3.1 Çalışmanın Uygulama Potansiyeli ve Sınırları

Geliştirilen model, hâlihazırda inşaat sektöründe etkin biçimde kullanılmakta olup; sahip olduğu veritabanı yapısı ve algoritmik esneklik sayesinde sanayi, lojistik (taşıma-depolama) ve ofis gibi farklı sektörlerle de görece düşük uyarlama maliyetleriyle entegre edilebilecek potansiyele sahiptir. Şu anki uygulamada yalnızca Türkiye'ye ait iş kazası kayıtları kullanılmakta olsa da, başka ülkelerin istatistiksel veri setlerinin sisteme entegre edilmesiyle ülkeye özgü risk katsayı tabloları üretilenilecektir. Bu yapı sayesinde kullanıcılar analiz yapmak istedikleri ülkeyi seçerek değerlendirmelerini yerel koşullara göre uyarlayabilecek; aynı zamanda çok uluslu şirketler, farklı coğrafyalarda yer alan şantiyelerini karşılaştırmalı olarak analiz edebileceklerdir.

Öte yandan, bu çalışmanın belirli sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle, veri setinde yer alan bazı kayıtların eksik ya da güncelliğini yitirmiş olması, elde edilen katsayıların doğruluğunu bir miktar sınırlayabilmektedir. İkinci olarak, CJSA yönteminin statik katsayı yapısı, dinamik iş ortamlarında hızla değişen koşullara adaptasyon konusunda yeterli esneklik sunmamaktadır. Üçüncü olarak, senaryo üretiminde ön-eleme süreci LLM tabanlı algoritmalarla gerçekleştirilse de, nihai senaryo seçimi hâlen uzman görüşüne dayandığından belirli düzeyde öznel kararları içermektedir. Son olarak, uygulama şu an yalnızca masaüstü ortamda çalışmakta; henüz mobil ya da çevrimiçi bir arayüz geliştirilmemiş olması kullanıcı etkileşimini kısıtlamaktadır.

5.3.2 Çalışmanın Geleceği

İleriki aşamalarda, makine öğrenmesi temelli regresyon ve ensemble yöntemlerinin entegre edilerek risk katsayılarının gerçek zamanlı veriler ışığında dinamik biçimde güncellenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca farklı ülkelerin iş kazası istatistiklerinin sisteme dahil edilmesiyle küresel ölçekte bir veri havuzu oluşturulması planlanmakta; bu sayede ülke bazlı katsayı setleriyle daha geniş kapsamlı, karşılaştırmalı analizler yapılabilecektir.

Kullanıcı deneyimini zenginleştirmek amacıyla, web tabanlı formlar ve mobil widget entegrasyonları gündeme alınmakta; bunun yanı sıra, IoT tabanlı

sensörlerden sağlanacak akış verileriyle anlık risk analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Çok dilli arayüz desteğiyle sistemin küresel erişilebilirliğinin artırılması da diğer önemli geliştirme hedefleri arasında yer almaktadır.



KAYNAKÇA

- Abdelhamid, T. S., & Everett, J. G. (2021). Personal protective equipment (PPE) use and its relation to occupational accidents among construction workers. *Journal of Occupational Health*, 63(1), e12234. Doi : 10.1002/1348-9585.12234
- Aghaei, M., Sadighzadeh, A., & Dehghani, M. (2021). A hybrid clustering-classification model for occupational accident analysis. *Safety Science*, 139, 105257. Doi : 10.1016/j.ssci.2021.105257
- Akboğa Kale, Ö., & Yanık, S. (2018). İnşaat sektörü çalışanlarının işçi sağlığı ve iş güvenliği eğitimleri konusundaki bilinç düzeylerini ölçmeye yönelik bir sektörel araştırma. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 639–651.
- Aksorn, T., & Hadikusumo, B. H. W. (2008). Critical success factors for safety program implementation in construction projects. *Safety Science*, 46(4), 449–458. Doi : 10.1016/j.ssci.2007.04.017
- Aladağ, H. (2023). ChatGPT'nin inşaat projelerinde risk yönetimi süreçlerindeki performansının değerlendirilmesi [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Al-Bayati, A. J., & Al-Zubaidi, H. A. (2021). Impact of construction safety culture and construction safety climate on safety behavior and safety motivation. *Safety*, 7(3), 41. Doi : 10.3390/safety7030041
- Al-Bayati, A. J., & Al-Zubaidi, H. A. (2023). PPE non-compliance among construction workers: An assessment of contributing factors. *Journal of Safety Research*, 74, 123–130. Doi : 10.1016/j.jsr.2023.05.002
- Al-Bayati, A. J., Al-Tahat, M. D., & Al-Bayati, A. J. (2021). Impact of construction safety culture and construction safety climate on safety behavior and safety motivation. *Safety*, 7(2), 41. Doi : 10.3390/safety7020041
- Alçan, H. (2022). İnşaat Sektöründe Hazop Metodu ile Risk Değerlendirmesi. *TAS Journal*, 2(3), 06–18.
- Amiri, M., Ardeshir, A., & Zarandi, M. H. F. (2014). Risk-based analysis of construction accidents in Iran during 2007–2011-meta analyze study. *Iranian Journal of Public Health*, 43(4), 507.
- Amissah, J., Badu, E., Agyei-Baffour, P., & Nakua, E. K. (2019). Predisposing factors influencing occupational injury among frontline building construction workers in Ghana. *BMC Research Notes*, 12(728). Doi : 10.1186/s13104-019-4744-8

- Arslan, J., & Benke, K. (2023). Statistical analysis of ceiling and floor effects in medical trials. *Applied Biosciences*, 2(4), 668–681. Doi : 10.3390/applbiosci2040042
- Atsu, P., & Rajgor, M. (2023). A review paper on health and safety in the construction industry. ResearchGate.
- Aven, T. (2015). *Risk Analysis*. Wiley.
- Başkaya, H., & Akkaya, B. (2021). İş Kazalarında Ağırlıklı Frekans Tabanlı Risk Değerlendirme Yaklaşımı. *İş Güvenliği ve Çevre Dergisi*, 27(2), 55–63.
- Baumgartner Law Firm. (t.y.). Understanding legal consequences of construction site accidents.
- Bayram, F. (2018). İnşaat sektöründe iş kazalarının zaman dilimine göre dağılımı: SGK verileri analizi. *Uluslararası İSG ve Ergonomi Dergisi*, 4(2), 87–102.
- Behm, M. (2005). Linking construction fatalities to the design for construction safety concept. *Safety Science*, 43(8), 589–611. Doi : 10.1016/j.ssci.2005.04.002
- Brandel. (2024). Climate change: Managing the implications on construction. Marsh.
- Burden, R. L., & Faires, J. D. (2011). *Numerical Analysis* (9th ed.). Brooks/Cole Cengage Learning.
- Capitol Technology University. (2023). Improving construction safety through predictive analytics.
- Carvajal, G. I. (2008). Modelo de cuantificación de riesgos laborales en la construcción: RIES-CO (Doktora tezi). Universidad Politécnica de Valencia.
- Centers for Disease Control and Prevention [CDC]. (2023). Hierarchy of hazard controls. NIOSH Workplace Safety and Health Topics.
- Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2015). *Numerical Methods for Engineers* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- Cheng, Y., Wang, Y., & Liu, Z. (2024). Exploring safety of machineries and training: An overview. *Processes*, 12(4), 684. Doi : 10.3390/pr12040684
- Choudhry, R. M., & Fang, D. (2008). Why operatives engage in unsafe work behavior: Investigating factors on construction sites. *Safety Science*, 46(4), 566–584. Doi : 10.1016/j.ssci.2007.06.027
- Chubb. (2023). Construction resource guide: Impact of accidents.
- Chyung, S. Y., Hutchinson, D., & Shamsy, J. A. (2020). Evidence-based survey design: Ceiling effects associated with response scales. *Performance Improvement*, 59(6), 6–13. Doi : 10.1002/pfi.21920
- Construction Management Association of America [CMAA]. (2023). Safety culture: Improving construction profitability.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2012). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. Ankara: Resmî Gazete.
- Çavuş, Z., & Taçgın, Z. (2016). İnşaat sektöründe ölümlü iş kazalarının analizi: SGK verileri ışığında. *İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 12(1), 15–28.

- Çetinkaya, O. (2014). Tersanelerde iş güvenliği analizi (JSA) (Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Institute of Science and Technology.
- Çilek, H. C. (2013). İnşaat sektöründe iş kazalarının sebep ve sonuçları üzerine bir araştırma [Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. Akdeniz Üniversitesi.
- Daniel, J., Smith, R., & Lee, A. (2025). Digital technologies in construction safety management: A systematic review. *Journal of Construction Innovation*, 12(1), 45–63.
- Darda'u Rafindadi, A., Kado, B., Gora, A. M., Dalha, I. B., Haruna, S. I., Ibrahim, Y. E., & Ahmed Shabbir, O. (2025). Caught-in/between accidents in the construction industry: A systematic review. *Safety*, 11(1), 12. Doi : 10.3390/safety11010012
- Deldar Legal. (t.y.). Psychological impact for a construction worker injured.
- Demirbilek, T., & Özsoy, F. (2020). İş kazalarının bireysel özellikler açısından analizi: Nitel bir araştırma. *İş ve İnsan Dergisi*, 7(1), 45–60. Doi : 10.4028/j.ii.2020.45
- Diemert, E., & Weber, M. (2023). Using ChatGPT for cross hazard analysis in safety engineering. *arXiv preprint arXiv:2312.07802*. Doi : 10.48550/arXiv.2312.07802
- Erzurumluoğlu, K., Köksal, K. N., & Gerek, İ. H. (2015). İnşaat sektöründe Fine-Kinney metodu kullanılarak risk analizi yapılması. 5. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 137–146.
- Esmailian, G., Hamidi, Y., & Zarei, E. (2020). Predicting severity of occupational accidents using logistic regression and decision tree methods. *Iranian Journal of Public Health*, 49(6), 1096–1103.
- European Agency for Safety and Health at Work. (2023). Climate change: Impact on occupational safety and health (OSH).
- Eurostat. (2023). Accidents at work statistics.
- Evercam. (2022). The cost impact of incidents & theft in construction industry.
- Fajarudin, K., Erwandi, D., & Kadir, A. (2021). Health impacts of psychosocial factors among construction workers: A systematic review. *PREPOTIF Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 5(2), 490.
- Friedman, M., & Sanchez, R. (2023). 5 factors that contribute to construction injuries. Friedman & Sanchez, LLP.
- Gao, Y., González, V. A., & Yiu, T. W. (2018). The effectiveness of traditional tools and computer-aided technologies for health and safety training in the construction sector: A systematic review. *arXiv preprint*.
- Gao, Y., González, V. A., & Yiu, T. W. (2019). Exploring the relationship between construction workers' personality traits and safety behaviour. *Safety Science*, 113, 18–25. Doi : 10.1016/j.ssci.2018.11.014
- Gao, Y., Gonzalez, V., & Yiu, T. W. (2018). The effectiveness of traditional tools and computer-aided technologies for health and safety training in the construction sector: A systematic review. *arXiv preprint arXiv:1808.02021*.

- Gao, Y., Li, X., & Zhang, H. (2023). Applying systems thinking to research into risk factors influencing earthmoving equipment operation safety in construction sites. *Buildings*, 14(7), 1978. Doi : 10.3390/buildings14071978
- Ghani, H. N., & Ridho, F. M. (2024). Identifying and analyzing factors influencing occupational accidents in the construction sector: A review of 10-year research. ResearchGate.
- Giri, O. P. (2020). Factors causing health and safety hazards at construction sites. *Technical Journal*, 2(1), 68–74.
- Girma, B., Tadesse, T., & Worku, A. (2025). Magnitude of self-reported non-fatal work-related injuries and associated factors among construction workers in Addis Ababa, Ethiopia. *Scientific Reports*, 15(88945). Doi : 10.1038/s41598-025-88945-x
- Guo, N., Liu, Y., Yu, S., Xia, B., & Cong, W. (2025). Examining the role of psychological symptoms and safety climate in shaping safety behaviors among construction workers. *Behavioral Sciences*, 15(1), 66. Doi : 10.3390/bs15010066
- Gümüş, S. (2017). Nitelik gerektirmeyen işlerde iş kazaları ve ölüm oranları: SGK verileri analizi. *Meslek ve Güvenlik Dergisi*, 9(1), 45–60.
- Gürbüz, S., & Tokmak, İ. (2018). İş kazalarında bireysel ve örgütsel etmenlerin rolü: Bütüncül bir değerlendirme. *Çalışma ve Toplum*, (4), 2135–2160.
- Hacıbektaşoğlu, S. E. (2018). İnşaat sektöründe yaşanan iş kazalarının analizi ve bu kazalara neden olan etkenlerin incelenmesi. *DergiPark*.
- Hallowell, M. R. (2015). Prevention through design: Application of safety through design in construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(1), 04014074. Doi : 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000821
- Hämäläinen, P., Takala, J., & Saarela, K. L. (2006). Global estimates of occupational accidents. *Safety Science*, 44(2), 137–156. Doi : 10.1016/j.ssci.2005.08.017
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). *Data Mining: Concepts and Techniques* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.
- Harms-Ringdahl, L. (2001). *Safety Analysis: Principles and Practice in Occupational Safety*. Taylor & Francis.
- Harrell, F. E. (2015). *Regression Modeling Strategies* (2nd ed.). Springer.
- Haslam, R. A., Hide, S. A., Gibb, A. G. F., Gyi, D. E., Pavitt, T., Atkinson, S., & Duff, A. R. (2005). Contributing factors in construction accidents. *Applied Ergonomics*, 36(4), 401–415. Doi : 10.1016/j.apergo.2004.12.002
- Hatami, H., Biabani, A., & Faris, M. (2018). The relationship between age and occupational accidents in the construction industry. *Journal of Occupational Health*.
- Hayashi, H., Li, Y., Sussman, D. D., Okuzono, S., Viswanath, K., & Kawachi, I. (2023). A scoping review of interventions to improve occupational safety and health of construction workers. *American Journal of Health Promotion*, 37(1), 3–15. Doi : 10.1177/08901171221140163

- Heinrich, H. W. (1931). *Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach*. McGraw-Hill Book Company.
- Heredia Morante, R. A., del Río Merino, M., & Ros Serrano, A. (2024). The accident rate in the construction sector: A work proposal for its reduction through the standardization of safe work processes. *Buildings*, 14(8), 2399. Doi : 10.3390/buildings14082399
- International Labour Organization (ILO). (1988). *Safety and Health in Construction Convention*, 1988 (No. 167).
- International Labour Organization [ILO]. (2016). *İş sağlığı ve güvenliği profili Türkiye*.
- ISO. (2018). *ISO 45001:2018 – Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization.
- Jain, A. K., Murty, M. N., & Flynn, P. J. (1999). Data clustering: A review. *ACM Computing Surveys*, 31(3), 264–323. Doi : 10.1145/331499.331504
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning: With Applications in R*. Springer.
- Jeelani, I., Albert, A., & Gambatese, J. (2016). Why do construction hazards remain unrecognized at the work interface? *Journal of Construction Engineering and Management*. Doi : 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001164
- Jeelani, I., Albert, A., & Gambatese, J. (2018). Why do construction hazards remain unrecognized at the work interface? *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(6), 04018046. Doi : 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001504
- Jeong, J., & Jeong, J. (2022). Comparative analysis of degree of risk between the frequency aspect and probability aspect using integrated uncertainty method considering work type and accident type in construction industry. *Applied Sciences*, 12(3), 1131. Doi : 10.3390/app12031131
- Juhari, M. L., Rasli, F. N., Rahman, A. H. A., Yusoff, S., & Khalid, M. S. (2023). A review of occupational safety and health in the construction sector: Negative impacts of workplace accidents. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 13(11), 19747. Doi : 10.6007/IJARBS/v13-i11/19747
- Karadağ, T., & Kepekli, T. A. (2013). *İnşaat sektöründe yaşanan iş kazaları ve kaza nedenleri*. Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi.
- Kineber, A. F., Antwi-Afari, M. F., Elghaish, F., Zamil, A. M. A., Alhusban, M., & Qaralleh, T. J. O. (2023). Benefits of implementing occupational health and safety management systems for the sustainable construction industry: A systematic literature review. *Sustainability*, 15(17), 12697. Doi : 10.3390/su151712697
- Knaus, W. A., Draper, E. A., Wagner, D. P., & Zimmerman, J. E. (1985). APACHE II: A severity of disease classification system. *Critical Care Medicine*, 13(10), 818–829.

- KVKK. (2023). Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (6698 sayılı). Kişisel Verileri Koruma Kurumu.
- Kyro. (2023). Building safety culture with an effective safety management system.
- Latib, A., Akbar, M., & Suleiman, S. (2016). Integrating safety requirements into construction contracts: A critical review. *Safety Science*, 86, 37–45. Doi : 10.1016/j.ssci.2016.02.005
- Lee, J. Y., Yoon, Y. G., Oh, T. K., Park, S., & Ryu, S. I. (2020). A study on data pre-processing and accident prediction modelling for occupational accident analysis in the construction industry. *Applied Sciences*, 10(21), 7949. Doi : 10.3390/app10217949
- Lingard, H., & Rowlinson, S. (2005). Occupational health and safety in construction project management. Routledge.
- Liu, S., Chen, Y., & Wang, Z. (2022). Enhancing safety inspections in construction through extended reality technologies. *Automation in Construction*, 135, 104171. Doi : 10.1016/j.autcon.2021.104171
- Liu, W., Zhang, X., & Chen, H. (2024). Real-time PPE detection on construction sites using YOLOv8. *Advanced Engineering Informatics*, 55, 101496. Doi : 10.1016/j.aei.2023.101496
- Lloyd's Register Foundation. (2023). Global construction industry facing endemic workplace harm problem.
- Lu, C., Yu, D., Luo, Q., & Xu, C. (2023). A study of the effects of job stress on the psychosocial safety behavior of construction workers: The mediating role of psychological resilience. *Buildings*, 13(8), 1930. Doi : 10.3390/buildings13081930
- Marsh. (2023). Climate change: Managing the implications on construction.
- Martin, L. (2022). Is technology the answer to the construction industry's injury and fatality problem? For Construction Pros.
- Martinez, Hart, Sanchez & Romero. (2025). Common causes of construction site accidents. Oso Law Firm.
- Meng, X., Li, Y., & Zhou, Z. (2022). Leveraging big data analytics for proactive safety management in construction. *Safety Science*, 147, 105569. Doi : 10.1016/j.ssci.2021.105569
- Meng, X., Li, Y., & Zhou, Z. (2023). Improving safety performance of construction workers through learning from incidents: A Bayesian network approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2101.
- Microsoft Support. (2024). FORECAST.LINEAR function.
- Miyanda, C. K., Erwandi, D., Lestari, F., & Kadir, A. (2024). The relationship between psychosocial and work stress among construction professionals during the COVID-19 pandemic. *Safety*, 10(1), 17. Doi : 10.3390/safety10010017
- Mohamed, S. (2002). Safety climate in construction site environments. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(5), 375–384. Doi : 10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:5(375)

- Mosly, I. (2020). Occupational accidents and injuries in construction industry in Jeddah City. *Journal of Occupational Health*, 62(1), e12117. Doi : 10.1002/1348-9585.12117
- Mostofi, F., Toğan, V., Ayözen, Y. E., & Tokdemir, O. B. (2022). Construction safety risk model with construction accident network: A graph convolutional network approach. *Sustainability*, 14(23), 15906. Doi : 10.3390/su142315906
- Motive. (2025). AI in construction safety: How artificial intelligence is reducing risk. Motive Blog.
- Muffi, K., & Abdullah, R. (2024). Job Safety Analysis (JSA) of Work Accidents on Wood Work Machines in the Construction Workshop. *CIVED*, 11(1), 380–393.
- Nadler, D. (2024). Machine learning applications in occupational safety and health: Challenges and opportunities. *Safety Science*, 160, 105344. Doi : 10.1016/j.ssci.2023.105344
- Namian, M., Albert, A., & Zuluaga, C. M. (2020). Safety performance of a fatigued construction worker. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(2), 04019112.
- National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH]. (2023). Engineering controls.
- National Safety Council. (2023). Work injury costs.
- Nouri, S., McDermid, J., Zhao, Y., Lai, R., & Gibson, M. (2024). Towards zero effort hazard analysis using LLMs: Automating the first HARA version. *arXiv preprint arXiv:2403.01286*. Doi : 10.48550/arXiv.2403.01286
- Nygren, M., et al. (2023). Exploring safety culture research in the construction industry. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 123. Doi : 10.3390/ijerph20010123
- Nyqvist, M., Möttönen, K., Mäkelä, A., & Maruschak, I. (2024). Comparing project risk management plans produced by ChatGPT and human experts. *International Journal of Project Management*, 42(2), 124–138. Doi : 10.1016/j.ijproman.2024.02.001
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2023). Employer Responsibilities.
- OHS Online. (2020). Injured construction workers' rights in the U.S.
- Okonkwo, P. N., & Wium, J. A. (2022). Investigating the effectiveness of health and safety management systems within construction organisations. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 28(3), 123–135. Doi : 10.1080/10803548.2022.2082137
- Oxford Research Encyclopedia. (2019). Impacts of climate change on workers' health and safety.
- Pedro, A., Santos, P., & Ferreira, P. (2022). A knowledge-graph approach to construction safety information management. *Automation in Construction*, 137, 104199. Doi : 10.1016/j.autcon.2022.104199

- Pereira, L., Costa, M., & Silva, R. (2025). Fall prevention in construction through real-time monitoring systems. *Safety Technology Journal*, 8(2), 110–124.
- Petrol-İş Sendikası. (2022). İş Kazası Bildirim Formu Kullanıcı Kılavuzu.
- Pinto, A., Nunes, I. L., & Ribeiro, R. A. (2011). Occupational risk assessment in construction industry – Overview and reflection. *Safety Science*, 49(5), 616–624. Doi : 10.1016/j.ssci.2011.01.003
- Procore. (2024). 34 Key construction safety statistics.
- PwC Türkiye. (2022). İş kazası bildirimini nedir, ne zaman ve nasıl yapılır?
- Rahman, M. H., Hasan, M. R., Chowdhury, N. I., Syed, M. A. B., & Farah, M. U. (2024). Predictive health analysis in Industry 5.0: A scientometric and systematic review of motion capture in construction. *arXiv preprint arXiv:2402.01689*.
- Ray, S., Dillig, I., Mohan, S., & Joshi, A. (2024). Can Large Language Models help safety professionals identify accident root causes? *arXiv preprint arXiv:2403.01851*. Doi : 10.48550/arXiv.2403.01851
- ResearchGate. (2022). Analysis of impact of construction accidents and their cost of prevention and consequences in HSE.
- Ringen, K., Englund, A., Welch, L., Weeks, J. L., & Seegal, J. (2013). Construction workers struggle with a high prevalence of mental distress. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 55(10), 1197–1204. Doi : 10.1097/JOM.0b013e3182a4e5f0
- Rozenfeld, O., Sacks, R., Rosenfeld, Y., & Baum, H. (2010). Construction job safety analysis. *Safety Science*, 48(4), 491–498. Doi : 10.1016/j.ssci.2009.12.017
- Saat, M. B. (2009). İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme metotlarından kontrol listesi ve matris metotlarının entegre biçimde bir inşaat şantiyesinde uygulanması: Kazaların çevresel ve teknik araştırması (Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Ankara.
- Sabir, S., Lu, J., & Moselhi, O. (2024). Generative AI and VR-based construction safety training: A framework and validation. *Automation in Construction*, 160, 105107. Doi : 10.1016/j.autcon.2023.105107
- Safeopedia. (2024). Environmental factors causing accidents. Safeopedia.
- SafetyStratus. (2021). Environmental concerns for construction projects. SafetyStratus.
- Saleh, R. A., & Othman, N. (2022). Overview of the Causes of Accident in Construction Industry: A Comparative Perspectives. *International Journal of Academic Research in Economics and Management Sciences*, 11(4), 1–12. Doi : 10.6007/IJAREMS/v11-i4/14253
- Sammour, D., Hallowell, M., & Behm, M. (2024). Evaluating ChatGPT's performance on construction safety certification exams. *Journal of Construction Engineering and Management*, 150(3), 04024001. Doi : 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002493

- Sawicki, M., & Szóstak, M. (2020). Quantitative assessment of the state of threat of working on construction scaffolding. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 5773. Doi : 10.3390/ijerph17165773
- SGK. (2024). İş Kazası ve Meslek Hastalığı Bildirim Ekranı. Sosyal Güvenlik Kurumu.
- Shakil, M., & Alam, A. (2025). Applications of ChatGPT in occupational health and safety: A practical guide. *Safety Science*, 169, 106512. Doi : 10.1016/j.ssci.2024.106512
- She, J., Guo, Z., Li, Z., Liang, S., & Zhou, Y. (2024). Research on scenario deduction and emergency decision-making evaluation for construction safety accidents. *Reliability Engineering & System Safety*, 251, 110317. Doi : 10.1016/j.ress.2023.110317
- Sherafat, B., Rashidi, A., Lee, Y. C., & Ahn, C. R. (2019). Automated activity recognition of construction equipment using a data fusion approach. *arXiv preprint arXiv:1906.02070*. Doi : 10.48550/arXiv.1906.02070
- Smetana, J., Sun, C., & Zhang, H. (2024). Identifying construction injury causes through LLM-driven analysis of OSHA reports. *Journal of Safety Research*, 84, 511–520. Doi : 10.1016/j.jsr.2023.11.006
- Song, J. W., Yu, J. H., & Kim, C. D. (2007, September). Construction safety management using FMEA technique: Focusing on the cases of steel frame work. In *23rd Annual ARCOM Conference* (pp. 3–5).
- Sorbi, T., Getuli, V., Capone, P., & Rahimian, F. P. (2024). Agent-based simulation framework for enhanced construction site risk estimation and safety management. *Journal of Information Technology in Construction*, 29.
- Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK). (2024). 2019–2023 İstatistik Yıllıkları. SGK Yayını.
- Sosyal Güvenlik Kurumu. (2024). İş Kazası ve Meslek Hastalığı Bildirim Formu Kullanım Kılavuzu.
- Sousa, V., Almeida, N. M., & Dias, L. A. (2014). Risk-based management of occupational safety and health. *Safety Science*, 66, 75–86. Doi : 10.1016/j.ssci.2014.02.009
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution* ASQ Quality Press Tobin, J. (1958). Estimation of relationships for limited dependent variables. *Econometrica*, 26(1), 24–36.
- Stovall Construction Inc. (2023). How to promote a safe work environment during construction. Stovall Construction Inc.
- Suárez-Cebador, M., Rubio-Romero, J. C., & López-Arquillos, A. (2014). Severity of electrical accidents in the construction industry in Spain. *Journal of Safety Research*, 48, 63–70.
- Sun, X., Li, Y., & Zhang, H. (2024). Extended Accident Triangle: A weighted approach for imbalanced safety data in construction. *Journal of Safety Science and Resilience*, 2(2), 105–118.
- Szóstak, M. (2019). Analysis of occupational accidents in the construction industry with regards to selected time parameters. ResearchGate.

- Tam, C. M., Zeng, S. X., & Ho, M. F. (2004). Towards adoption of prefabrication in construction. *Building Research & Information*, 32(2), 114–126. Doi : 10.1080/09613210410001669963
- Tang, Z. (2025). Leadership development and safety participation in construction: Impact on safety compliance behaviors. *Journal of Construction Management and Safety*, 10(2), 123–136.
- Tang, Z., Wang, D., & Omid, L. (2024). Safety culture in the construction industry: A proposed enhanced safety management program. *Journal of Building Management and Safety*, 7(1), 98–125.
- Tixier, A. J. P., Hallowell, M. R., & Rajagopalan, B. (2017). Construction safety risk modeling and simulation. *Risk Analysis*, 37(10), 1917–1935.
- Tixier, J., & Hallowell, M. (2016). Using natural language processing and topic modeling to extract insights from injury reports. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(3), 04015072. Doi : 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001044
- Tixier, J., & Hallowell, M. (2023). Cross-industry machine learning models for construction safety: Performance comparison with single-company datasets. *Automation in Construction*, 150, 104960. Doi : 10.1016/j.autcon.2023.104960
- TOBB. (2023). NACE Rev. 2 Faaliyet Sınıflaması - İnşaat Sektörü Kodları (41-42-43). Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği.
- Toole, T. M. (2002). Construction site safety roles. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(3), 203–210. Doi : 10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:3(203)
- Tran, C. T., Pham, H. T., & Nguyen, L. T. (2024). Construction Safety Query Assistant: A large language model-based system for safety regulation understanding. *Advanced Engineering Informatics*, 64, 102270. Doi : 10.1016/j.aei.2024.102270
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası. (2021). Yıllık Ortalama Döviz Kurları (2002-2020).
- U.S. Bureau of Labor Statistics. (2024). Injuries, illnesses, and fatalities.
- U.S. Environmental Protection Agency [EPA]. (2022). Climate change and the health of workers.
- Uddin, M. S., Anwar, A., & Mahmud, S. (2023). Enhancing hazard recognition skills in construction education using ChatGPT. *International Journal of Construction Education and Research*, Advance online publication. Doi : 10.1080/15578771.2023.2253679
- Uzdil, F., & Güllüoğlu, M. (2020). Türkiye’de inşaat sektörünün iş kazaları açısından değerlendirilmesi: 2011–2020 SGK İstatistik Yıllıkları. *Mühendislik ve Yapı Bilimleri Dergisi*, 8(3), 201–218.
- Vincent, J. L., de Mendonça, A., Cantraine, F., et al. (1996). Use of the SOFA score to assess the incidence of organ dysfunction/failure in intensive care units. *Critical Care Medicine*, 24(10), 1793–1800.

- Waehrer, G. M., Dong, X. S., Miller, T., Haile, E., & Men, Y. (2007). Costs of occupational injuries in construction in the United States. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1258–1266. Doi : 10.1016/j.aap.2007.03.012
- Wang, Y., Li, X., & Zhang, Y. (2022). Study on influencing factors of construction workers' unsafe behavior based on LDA and SNA. *Frontiers in Psychology*, 13, 886390. Doi : 10.3389/fpsyg.2022.886390
- Winge, S., Albrechtsen, E., & Mostue, B. A. (2019). Causal factors and connections in construction accidents. *Safety Science*, 112, 130–141. Doi : 10.1016/j.ssci.2018.10.020
- Wong, Q., Sapuan, N. M., & Khan, M. W. A. (2023). The impact of safety and health towards construction workforce productivity. *Journal of Governance and Integrity*, 6(1), 504–514. Doi : 10.15282/jgi.6.1.2023.9114
- Yağımlı, E., & Hacıbektaşoğlu, S. E. (2018). İşveren tutumları ve çalışan eğitiminin inşaat sektöründe iş kazalarına etkisi: SGK verileri analizi. *İş ve Toplum*, 6(4), 45–60.
- Yang, S., Wang, T., Li, H., Liu, L., Yao, W., & Ren, G. (2024). The cross-cutting effects of age expectation and safety value on construction worker safety behavior: A multidimensional analysis. *Buildings*, 14(8), 2290. Doi : 10.3390/buildings14082290
- Yıldız, A., & Türkyılmaz, M. (2018). Makine öğrenmesi yöntemleriyle iş kazası sınıflandırması: Lojistik regresyon ve karar ağacı karşılaştırması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(3), 480–491.
- Yılmaz, S., & Korkmaz, S. (2021). İnşaat sektöründe iş kazaları ve iş güvenliği maliyetlerinin incelenmesi. *ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3), 328–336.
- Zhang, J., & Zhang, L. (2021). Excavator activity monitoring using deep learning and computer vision. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(4), 04021015. Doi : 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002054
- Zhang, Y., Li, X., & Wang, Y. (2023). Establishing the root causes of unsafe behaviors among construction workers: An ISM and MICMAC analysis. *Scientific Reports*, 13, 31793. Doi : 10.1038/s41598-023-31793-4
- Zhou, Z., Goh, Y. M., & Li, Q. (2015). Overview and analysis of safety management studies in the construction industry. *Safety Science*, 72, 337–350. Doi : 10.1016/j.ssci.2014.10.006

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. İnşaat Sektöründe Random Forest Tabanlı Geçmiş İş Kazası Verilerine Dayalı İSG Risk Analiz Programı. (2025, 15 Mayıs). ISPEC 7. Uluslararası Modern Bilimsel Araştırmalar Kongresi Bildirileri (2025, 30 Mart) (ss. 820–833). Liberty Basım Evi. ISBN 979-8-89695-063-9. Doi : 10.5281/zenodo.15332133

