

Türk İnşaat Sektöründe İş Kazaları: Tanımlayıcı İstatistikler ve Olasılıksal Risk Değerlendirme Modelleri

Muhammed Furkan KAHRAMAN^{1*}
Şükrü BULUT²
Serap YÖRÜBULUT³
Ahmet Kürşad TÜRKER⁴

ÖZ

En riskli sektörlerden biri olan inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği (İSG) politikalarının etkinliği yeniden değerlendirilmelidir. Bu çalışmada, Türkiye inşaat sektöründe 2012-2021 arası Sosyal Güvenlik Kurumuna (SGK) bildirilen 434.314 iş kazası istatistiksel olarak incelenerek, kazaların ölümle sonuçlanma olasılığı Probit regresyon modeliyle test edilmiştir. Bulgular, İSG eğitiminin ölüm olasılığını marjinal olarak %1,28 azalttığını; mavi yakalı meslek gruplarının operasyonel risk önceliğinde ileri yaş faktöründen daha yüksek matematiksel ağırlığa sahip olduğunu kanıtlamıştır. Elde edilen olasılıksal katsayılar; şantiye optimizasyonu için Proses Güvenlik Risk Skoruna (PRS) ve risk-tabanlı sigortacılık için aktüeryal prim düzeltme faktörüne dönüştürülmüştür. Çalışma, inşaat güvenliğini idari bir süreçten çıkarıp veriye dayalı, somut bir risk yönetimi ve mühendislik modeline taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: İnşaat sektörü, iş kazaları, çapraz tablolama analizi, probit regresyon, risk tabanlı sigorta modeli, tasarım için güvenlik.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 1 Eylül 2025 günü ulaşmıştır. 3 Nisan 2026 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- xx xxxxx xxxxxx gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://doi.org/>

1 Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye
kahramanfurkan@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0002-0135-6143>

2 Kırıkkale Üniversitesi, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Kırıkkale, Türkiye
sukrubulut@kku.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-3816-7530>

3 Kırıkkale Üniversitesi, İstatistik Bölümü, Kırıkkale, Türkiye
serapyorubulut@kku.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-0781-4405>

4 Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye
kturker@kku.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-6686-9241>

* Sorumlu yazar

ABSTRACT

Occupational Accidents in the Turkish Construction Sector: Descriptive Statistics and Probabilistic Risk Assessment Models

The construction industry's occupational health and safety (OHS) policies require re-evaluation due to inherent risks. This study statistically analyzes 434,314 occupational accidents reported to Social Security Institute (SSI) in Turkey (2012-2021), employing a Probit regression model to test fatality probabilities. Findings demonstrate that OHS training marginally reduces fatality probability by 1.28%, while blue-collar occupations carry higher mathematical weight in operational risk than advanced age. These probabilistic coefficients were converted into Process Safety Risk Scores (PRS) for site optimization and actuarial premium adjustment factors for risk-based insurance. Consequently, this study shifts construction safety from administrative processes toward data-driven, concrete risk management and engineering models.

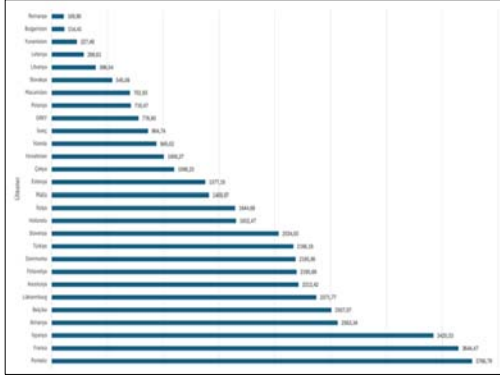
Keywords: Construction industry, occupational accidents, cross-tabulation analysis, probit regression, risk-based workers' compensation, design for safety.

1. GİRİŞ

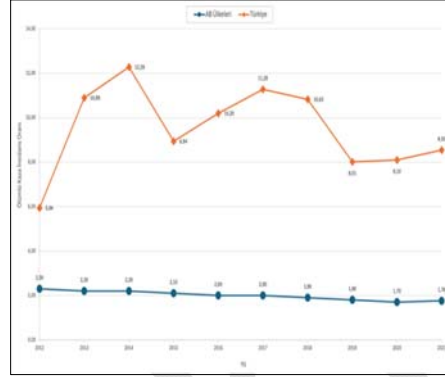
İş kazaları ve meslek hastalıkları; kendi yasal düzenlemeleri ile bütün ülkelerin önlem almaya çalıştığı, gerçekleşmemeleri için çeşitli faaliyetlerin yürütüldüğü ve çalışma ortamlarında yaşanmasının hiç istenmediği olaylardır. İSG çalışma ortamlarında gerçekleşmesi muhtemel iş kazaları ve meslek hastalıklarını önleyerek çalışanların fiziksel, zihinsel ve psikolojik olarak devamlı bir iyilik halinde olmasını amaçlamaktadır. Bunun için çalışanlara zarar verme potansiyeline sahip tüm riskleri ortadan kaldırmaya odaklanır [1].

Avrupa İstatistik Ofisi (EUROSTAT), AB üyesi ülkelerde yaşanan iş kazalarını iki ana gösterge türü üzerinden değerlendirmektedir. Bu göstergelerden bir tanesi gerçekleşen kaza sayısı iken diğeri her 100.000 çalışan başına düşen kaza sayısı olarak tanımlanan kaza insidans oranıdır [2]. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) iş kazalarının kolay bir şekilde ölçülerek ülkelerin belirli zaman dilimlerinde iş kazaları açısından karşılaştırılması amacıyla ölümlü ve ölümlü olmayan iş kazaları açısından aynı yöntemi kullanmaktadır [3]. Ülkemizde ise SGK yayımladığı istatistiklerde bir takvim yılında çalışılan 1.000.000 iş saatine veya tam gün çalışan her 100 kişiye karşılık iş kazası geçiren sigortalı sayısını gösteren iş kazası sıklık hızı ve bir takvim yılında çalışılan 1.000.000 saatte veya çalışılan her 100 saatte iş kazası nedeniyle kaybedilen iş günü sayısını gösteren iş kazası ağırlık hızını belirtmektedir. AB üye ülkeleri için EUROSTAT web sitesinden doğrudan alınan [4, 5], ülkemiz açısından ise yazarlar tarafından hesaplanan kaza insidans oranı değerleri incelendiğinde, Şekil 1'de görüleceği üzere 2012-2021 yılları arasında ortalama ölümle sonuçlanmayan iş kazası insidans oranları açısından Türkiye 28 ülke içerisinde 10. sıradadır. Şekil 2'de görüleceği üzere ise ilgili yıllarda, ülkemize kıyasla AB üyesi ülkelerdeki ortalama ölümlü iş kazası insidans oranı hem daha düşük seviyededir hem de daha az değişkenlik göstermektedir.

Gerçekleşen iş kazalarının hem sayısının fazla olması hem de şiddetinin yüksek olması dolayısıyla inşaat işleri İSG alanında özel bir öneme sahiptir. İnşaat ve mühendislik faaliyetlerindeki kazı, hafriyat, inşa vb. çalışmaların yürütüldüğü işler yeraltı veya yerüstünde gerçekleştirilmesi fark etmeksizin yapı/inşaat işleri olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 1. 2012-2021 yılları ölümle sonuçlanmayan iş kazası insidans oranı ülke ortalamaları



Şekil 2. Ölümlü iş kazası insidans oranı bakımından AB ortalaması ve Türkiye (2012-2021)

Şekil 3 - SGK verilerine göre ilgili yıllarda ülkemizde gerçekleşen ölümlü ve ölümlle sonuçlanmayan iş kazaları eğilimini göstermektedir. Ölümlle sonuçlanmayan iş kazası sayılarındaki sürekli artış ve ölümlü iş kazası sayısının istenilen seviyelerde olmaması; çalışanlar, yakınları, işyerleri, işverenler ve kamu açısından maddi ve manevi zararları beraberinde getirmekte ve İSG konusundaki iyileştirme çalışmalarının ne derecede önemli olduğunu göstermektedir.

İnşaat sektörü barındırdığı risklerin günden güne değişiklik gösterdiği bir sektör olma özelliğini taşımaktadır [6-8]. Diğer sektörlerle oranla inşaat sektöründe üç kat daha yüksek ölüm ve iki kat daha yüksek yaralanma riski barındıran iş kazaları gerçekleşmektedir. Sektörde gerçekleşen kazalar her yıl dünya genelinde ciddi yaralanmalara ve binlerce kişinin can kaybına sebebiyet vermektedir. Örneğin 2023 yılı için Amerika Birleşik Devletleri'nde inşaat işlerinde gerçekleşen iş kazaları sonucunda ölenlerin sayısı ilgili yılda tüm iş kazaları sonucunda ölenlerin yaklaşık olarak %20'sini oluşturmuştur [9-11].

2023 yılı SGK verilerine göre ölümlle sonuçlanmayan kazalar bakımından inşaat sektörü çıkartıldığında geri kalan sektörlerin insidans oranı değeri %4,14'tür. İnşaat sektöründe ise bu oran %4,26'dır. Ölümlle sonuçlanmayan iş kazasına maruz kalma oranının biraz daha yüksek olduğu sektörde, asıl çarpıcı fark ölüm oranına yansımaktadır. Ölümlü iş kazası oranı diğer sektörlerin ortalaması olan %9,8 ölümün yaklaşık 3 katına ulaşarak her yüzbin çalışan için %28,6 olarak gerçekleşmiştir. Ekonomik katma değeri yüksek olan bu sektörün SGK istatistik yıllıklarının tamamı göz önüne bulundurulduğunda iş kazası sayıları bakımından maden ve metal sektörleriyle beraber ilk sıralarda olduğu, sonucu ölüm olan iş kazaları sıralamasında ise ilk sırada yer alan sektör olduğu görülmektedir [12, 13]. Kazaya maruz kalma oranının diğer sektörlerle oranla biraz yüksek ancak kaza gerçekleştiğinde kaza sonuçlarının daha ağır olduğu inşaat sektörü için 2012-2021 yıllarına ait SGK verileri incelendiğinde ülkemizde Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistik Sınıflaması (NACE) kodlarına göre kaza geçiren ve hayatını kaybeden sigortalı çalışanlara ait bilgiler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Türk İnşaat Sektöründe İş Kazaları: Tanımlayıcı İstatistikler ve Olasılıksal Risk...

Tablo 1 - NACE Koduna göre inşaat sektörü iş kazası verileri (2012-2021)

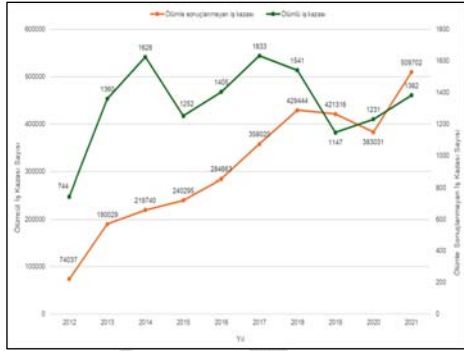
Yıl	NACE Kodu**	İş Kazası Geçiren Sigortalı Sayısı	%	İş Kazası Sonucu Ölüm Sayısı	%
2012	41	4.511	48,94	127	49,60
	42	1.948	21,15	66	25,78
	43	2.750	29,86	63	24,60
2013	41	14.252	53,41	296	56,81
	42	5.908	21,99	121	23,22
	43	6.703	24,95	104	19,96
2014	41	13.508	45,48	260	51,89
	42	7.675	25,84	143	28,54
	43	8.516	28,68	98	19,57
2015	41	15.065	45,16	239	50,53
	42	7.903	23,69	124	26,21
	43	10.393	31,15	110	23,26
2016	41	20.159	45,25	239	48,19
	42	9.516	21,36	130	26,21
	43	14.877	33,39	127	25,60
2017	41	34.952	55,65	340	57,92
	42	20.873	33,24	158	26,92
	43	6.977	11,11	89	15,16
2018	41	41.759	54,11	360	60,9
	42	27.639	35,8	162	27,4
	43	7.759	10,1	69	11,7
2019	41	25.551	53,6	207	56,3
	42	15.927	33,4	105	28,5
	43	6.223	13,0	56	15,2
2020	41	23.949	54,06	199	57,34
	42	14.225	32,10	98	28,25
	43	6.130	13,84	50	14,41

2021	41	32.131	55,30	214	55,44
	42	18.318	31,52	106	27,46
	43	7.658	13,18	66	17,10

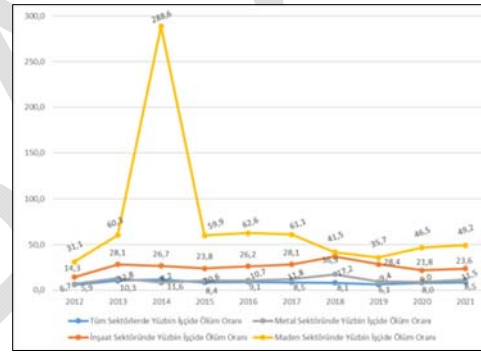
**NACE Kodu: 41-Bina İnşaatı, 42-Bina dışı yapıların inşaatı, 43-Özel inşaat faaliyetleri

Şekil 4'te, Türkiye genelinde 2012-2021 yılları arasında gerçekleşen ölümlü iş kazası sıklıkları (yüzbin işçide ölüm oranı) sektörel bazda kıyaslanmıştır. Veriler, inşaat sektörünün tüm sektörler ortalamasının üzerinde bir risk taşıdığını ve ölümlü iş kazası oranları bakımından maden sektörünün ardından en yüksek riskin yaşandığı temel sektörlerden biri olduğunu kanıtlamaktadır.

SGK tarafından yayımlanan istatistik yıllıklarında istihdam edilen her bin çalışan için binde dört ile on iki arasında saptanması beklenen ve yaklaşık her on ölümden birinin kaynağı olan meslek hastalıklarına ait veriler de bulunmaktadır [14, 15]. Tespit ve bildirim sayılarının yetersiz olması nedeniyle meslek hastalıkları bu çalışmaya dâhil edilmemiştir.



Şekil 3 - Türkiye iş kazaları eğimi (2012-2021)



Şekil 4 - Türkiye sektörel ölümlü iş kazası sıklık hızları (2012-2021)

Literatürde inşaat işlerindeki kazaların istatistiksel açıdan analiz edildiği birçok çalışma bulunmaktadır. Çeşitli ülkelerdeki inşaat iş kazası verilerinden yararlanılarak gerçekleştirilen bu çalışmaların genelinde kazazede, kaza geçirilen işyeri ve kazanın oluşumuna ait değişkenler incelenmiştir. İncelenen değişkenlerden hangilerinin en sık kazaya sebebiyet verdiği, hangilerinin kazanın ciddiyet derecesini artırdığı ve değişkenler arasındaki ilişkilerin derecesi ve yönü araştırılmıştır. Bu ilişkilerin belirlenmesi ve önemli değişkenlerin tespitinin kazaları hem sayısal olarak azaltacağı hem de kazaların ciddiyet derecesini düşüreceği öngörülmüştür. Mevcut çalışmalar incelendiğinde, inşaat kazalarına yönelik istatistiksel analizlerin genellikle belirli bir bölgeyle, kısıtlı bir çalışma alanıyla veya sınırlı verilerle yapıldığı; yöntem olarak da çoğunlukla tanımlayıcı düzeyde kaldığı görülmektedir.

López vd. [16], Tözer vd. [17], Güranlı ve Müngen [18] ve Özgürer [19] inşaat iş kazalarının analizinde betimsel istatistiksel yöntemler kullanmışlardır. Alonso vd. [20] veri kümesindeki

kategorik değişkenleri çoklu uyum analizi ile incelerken, kaza değişkenleri dağılımlarının ve bağımsız değişken çiftleri arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla Lombardi vd. [21] kümeleme analizi, Kim vd. [22], Akboğa ve Baradan [23], Baradan vd. [24], Kazan ve Usmen [25] ve Akşehir vd. [26] ise tek değişkenli sıklık analizi ve çapraz tablolama analizi uygulamışlardır. Sıklık analizi ve çapraz tablolama analizine ek olarak, Nayak vd. [27] Bayes Ağları yardımıyla kaza sınıflandırması yapmışlar, Cakan vd. [28], Kale ve Baradan [29], Yahya vd. [30], Bilim ve Çelik [31] ise lojistik regresyon analizi yardımıyla kazaya ait değişkenlerin kaza sonucunu ne derecede ve yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Bria vd. [32] ise kaza ile anlamlı ilişkisi olan değişkenleri belirlerken senaryo analizi uygulamışlardır. Bu çalışmalardan farklı olarak Erginel ve Toptancı [33] ise olasılık dağılımları aracılığıyla iş kazalarını modellemişler ve kaza kontrol grafikleri oluşturmuşlardır. Probit modelin iş kazaları analizinde kullanıldığı çalışmalarda ise; 5 ile 17 yaş arasındaki çalışan çocuk ve ergenlerin iş kazası geçirme olasılığını etkileyen faktörler [34], iş sözleşmesi olmayan yaşlı insanlar arasında iş kazalarını etkileyen sosyal ve sağlık faktörler [35], inşaat işçileri arasında öznel sağlık durumunu etkileyen faktörler [36], yüksek katlı inşaatlardaki iş kazalarını meydana getiren faktörler [37], işçi yaşının iş kazaları sonuçları üzerindeki etkisi [38], karayolu çalışma alanı kazalarında sürücü yaralanma ciddiyetini etkileyen faktörler [39], inşaat firmalarında gerçekleşen iş kazaları ile firmaların hayatta kalma olasılığı arasındaki ilişkiler [40] incelenmiştir.

Özellikle iş kazalarının önlenmesine yönelik finansal teşvik mekanizmaları, geleneksel idari denetimleri tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir. Bu bağlamda “Risk Tabanlı Sigorta Modeli” İSG literatüründe etkin bir araç olarak öne sürülmektedir [41]. Geleneksel sigorta primlerinin aksine bu model; bir işyerinin gerçek risk profilini (çalışan demografisi, meslek grupları, eğitim durumu vb.) nicel verilerle değerlendirerek dinamik prim tarifeleri oluşturmayı ve önleyici tedbir alan işyerlerini finansal olarak ödüllendirmeyi hedefler [42].

Bu çalışmanın özgün katkısı üç temel boyuttadır: Öncelikle; Türkiye’deki inşaat sektörüne ait 2012-2021 yıllarını kapsayan, 434.314 vakanın yer aldığı kapsamlı ve resmi SGK veri setinin bütüncül bir şekilde analiz edilerek sektöre özgü risk parametrelerini ortaya koyması, daha sonra ortaya çıkan bu risk parametrelerinin, proje yönetimi süreçlerinde (işe alma, eğitim planlama, güvenlik tedbirleri) ve Risk Tabanlı Sigorta primlerinin hesaplanmasında doğrudan kullanılabilir nicel bir veri tabanı sunmasıdır.

2. VERİ VE ANALİZ YÖNTEMİ

Bu çalışmada kullanılan veri, 2012-2021 yılları arasında 6331 sayılı İSG ve 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu gereğince iş kazası yaşanan yerlerdeki işverenlerin üç iş günü içerisinde SGK’ya bildirmek zorunda olduğunda bildirim formlarında yer almaktadır. Veriler 24.02.2025 tarihli ve 112604753 evrak sayılı izinleri ile SGK’dan alınmıştır.

6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) ve araştırma etiği prensipleri gereği, kazazedelerin kimliklerini açığa çıkarabilecek tüm kişisel bilgiler (isim, Türkiye Cumhuriyeti kimlik numarası, firma ünvanı vb.) SGK tarafından anonimleştirilerek veri setine aktarılmıştır. Çalışmanın temel istatistiksel sınırlılığı, SGK veri tabanına yansıyan ve işveren veya sağlık kuruluşları tarafından resmi olarak “iş kazası” statüsünde bildiri

yapılan vakalarla sınırlı olmasıdır; kayıt dışı istihdam kaynaklı vakalar ve kuruma intikal etmeyen hafif atlatılmış olaylar analiz kapsamı dışındadır.

SGK tarafından verilen 516.333 adet kaydı içeren ham veri setinde kazazedeye ilişkin; doğum tarihi, cinsiyet, medeni hal, son işe giriş tarihi, ilk işe giriş tarihi, öğrenim durumu kodu, öğrenim durumu adı, meslek kodu, meslek, mesleki eğitim durumu, İSG eğitim durumu bilgileri yer alırken kazaya ait olarak: numarası, kısa kodu, açıklaması, iş göremezlik kodu, iş göremezlik açıklaması, kaybedilen iş günü sayısı, yeri, ortamı, tarihi, ili, il kodu, ilçesi, ilçe kodu, saati bilgileri bulunmaktadır. İşyerine ilişkin ise NACE kodu ve NACE kodu açıklaması paylaşılmıştır. Ham veri setinden “41-Bina inşaatı”, “42-Bina dışı yapıların inşaatı” ve “43-Özel inşaat faaliyetleri” numaralı NACE sektör kodları dışında kodlara sahip olup kurumun sehven vermiş olduğu diğer sektörlerde ait iş kazaları, işverenler ve sağlık hizmeti sağlayıcılarının her ikisi tarafından yapıldığı için aynı kaza numarasına sahip iş kazalarından birer adeti, kazazede işe giriş tarihi ile kaza tarihinin uyuşmadığı tespit edilen iş kazaları ile yurtiçinde kayıtlı olarak faaliyet gösteren inşaat sektörü firmalarınca bildirim yapılan ancak yurt dışında gerçekleşmiş iş kazalarını içeren toplam 82.199 kayıt çıkartılarak 434.314 iş kazasının oluşturduğu ve üzerinde analizlerin yapılacağı yeni bir veri seti elde edilmiştir. Ayrıca ham veri setinde yer alan değişkenlerden aynı işleve sahip olduğu için NACE kodu açıklaması ile kaza geçiren kadın oranının %0,77 olması nedeniyle cinsiyet değişkeni kapsam dışı bırakılmıştır. Yapılan yeni tanımlamalar çerçevesinde frekansların tanımlayıcı istatistikler çerçevesinde hesaplandığı kazazedeye ilişkin değişkenler ve alt kategorileri Tablo 2’de, kazaya ilişkin değişkenler ve alt kategorileri ise Tablo 3’te gösterilmiştir.

Çalışmada ilk aşamada betimsel istatistiklerle veri setinin yapısı incelenmiş; kazazedelerin profili ve kazaların temel özellikleri frekans ve yüzde dağılımlarıyla sunulmuştur. Takip eden aşamada, kazazedelere ait sosyo-demografik ve mesleki değişkenlerle kaza sonucu arasındaki ilişkiler çapraz tablo analizleri yoluyla değerlendirilmiştir. Bu analizlerde, değişkenler arası ilişki düzeyleri Ki-kare testi ile test edilmiş, anlamlı ilişkiler ortaya konmuştur. Böylece, iş kazalarının hangi çalışan gruplarında yoğunlaştığı, hangi demografik veya mesleki özelliklerin daha ciddi kaza sonuçlarıyla ilişkili olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu analizler ile elde edilen bulgular, hem sektörel iş güvenliği önlemlerinin geliştirilmesi hem de riskli çalışan gruplarının belirlenmesi açısından önemli bir veri kaynağı sunmaktadır.

2.1. Tek Değişkenli Sıklık Analizi

Veri analiz sürecinin ilk aşamasında, çalışmada yer alan değişkenlerin temel dağılımlarını ortaya koymak amacıyla tek değişkenli sıklık analizi uygulanmıştır. Bu çalışmada kullanılan betimleyici ve ilişkisel istatistiksel yöntemler, risk modellemesi ve mühendislik karar destek sistemleri için ilk ve kritik adımı oluşturmaktadır [43, 44]. Bu analiz türü, her bir değişkenin kendi içinde nasıl dağıldığını ortaya koyarak veri kümesinin genel yapısını anlaşılır kılmakta ve karmaşık bir modelde dikkate alınacak diğer değişkenleri belirlemek için mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılan temel bir tekniktir. Sıklık analizleri sayesinde hem kazazedelere hem de kaza anına ilişkin değişkenlerin alt kategorileri belirlenmiş, veri yapısında öne çıkan gruplar tespit edilmiştir [45, 46].

Tablo 2 - Kazaya uğrayan çalışanlara ait değişkenler ve değişken alt kategorileri

Kazaze	Değişken Alt Kategorisi	Sıklık	Sıklık Oranı (%)	Kazaze	Değişken Alt Kategorisi	Sıklık	Sıklık Oranı (%)
Öğrenim Durumu	Okur yazar değil	2.998	0,7	Meslek	Yöneticiler	36.459	8,4
	Okur yazar	73.505	16,9		Profesyonel meslek mensupları	9.937	2,3
	İlkokul	132.061	30,4		Teknisyenler, teknikerler ve yardımcı profesyoneller	41.852	9,6
	Ortaokul-İlköğretim	124.889	28,8		Büro hizmetlerinde çalışan elemanlar	1.985	0,5
	Meslek Lisesi	8.833	2,0		Hizmet ve satış elemanı	5.102	1,2
	Lise	75.971	17,5		Nitelikli tarım, ormancılık ve su ürünleri çalışanları	1.021	0,2
	Yüksekokul	9.234	2,1		Sanatkârlar ve ilgili işlerde çalışanlar	183.817	42,3
	Üniversite	6.669	1,5		Tesis ve makina operatörleri ve montajcılar	37.281	8,6
	Lisansüstü	154	0,0		Nitelik gerektirmeyen meslekler	116.860	26,9
	Medeni	Bekar, Boşanmış, Dul	168.919		38,9	İSG	Yok
Evli		265.395	61,1	Var	403.186		92,8
Yaş	25 yaş altı	101.937	23,5	Mesleki Eğitim	Yok	90.953	20,9
	25-34	135.491	31,2				
	35-44	103.852	23,9				
	45-54	71.414	16,4		Var	343.361	79,1
	55-64	20.285	4,7				
	65 ve daha fazla	1.335	0,3				
Toplam Tecrübe	6 yıldan az	104.190	24,0	İşyeri Tecrübe	6 yıldan az	427.270	98,4
	6 yıl -12 yıl	122.930	28,3		6 yıl -12 yıl	4.471	1,0
	13 yıl – 18 yıl	68.103	15,7		13 yıl -18 yıl	1.099	0,3
	19 yıl – 24 yıl	54.736	12,6		19 yıl -24 yıl	455	0,1
	24 yıldan fazla	84.355	19,4		24 yıldan fazla	1.019	0,2

Tablo 3 - Kazaya ait değişkenler ve değişken alt kategorileri

Kaza Değişkeni	Değişken Alt Kategorisi	Sıklık	Sıklık Oranı (%)	Kaza Değişkeni	Değişken Alt Kategorisi	Sıklık	Sıklık Oranı (%)	
Kaza Sonucu	İş göremezlik yok	197.003	45,4	Kaza İli	Ankara	37.526	8,6	
	Yaralanma	232.027	53,4		İstanbul	138.011	31,8	
	Uzuv kaybı	1.039	0,2		İzmir	33.994	7,8	
	Ölüm	4.245	1,0		Diğer	224.783	51,8	
Kaza Ortamı	Ara dinlenmede	20.564	4,7	Kaza Saati	00:00 – 02:00	5.419	1,2	
	Çalışırken	336.567	77,5		02:00 – 04:00	5.635	1,3	
	Süt izni esnasında	214	0,0		04:00 – 06:00	4.277	1,0	
	İşyeri dışında çalışırken	20.890	4,8		06:00 – 08:00	7.670	1,8	
	İşten eve kendi arabası ile gelirken	3.430	0,8		08:00 – 10:00	70.672	16,3	
	Evden ise kendi arabası ile giderken	49.687	11,4		10:00 – 12:00	107.891	24,8	
	İşten eve servisle gelirken	1.261	0,3		12:00 – 14:00	49.655	11,4	
	Evden ise servisle giderken	1.701	0,4		14:00 – 16:00	86.714	20,0	
Kaza Yeri	İşyerinde	358.777	82,6		16:00 – 18:00	62.010	14,3	
					18:00 – 20:00	16.698	3,8	
	İşyeri dışında	75.537	17,4		20:00 – 22:00	10.243	2,4	
					22:00 – 24:00	7.430	1,7	
Kaza Yılı	2012	18.110	3,1		Kaza Ayı	Ocak	28.783	6,6
	2013	26.921	4,6			Şubat	29.251	6,7
	2014	29.918	5,2			Mart	34.831	8,0
	2015	33.893	5,8			Nisan	34.921	8,0
	2016	44.362	7,6	Mayıs		37.485	8,6	
	2017	61.982	10,7	Haziran		36.212	8,3	
	2018	75.880	13,1	Temmuz		43.250	10,0	
	2019	46.038	7,9	Ağustos		38.905	9,0	

	2020	42.003	7,2		Eylül	37.872	8,7
	2021	55.207	9,5		Ekim	39.300	9,0
Kasım				38.405	8,8		
Aralık				35.099	8,1		

Bu bağlamda, veri setinde yer alan yaş, öğrenim durumu, medeni hal, meslek grubu, iş tecrübesi, İSG eğitimi gibi kazazedeye ait değişkenler ile kazanın gerçekleştiği zaman, yer ve ortam gibi kazaya ilişkin değişkenler ayrı ayrı analiz edilmiştir.

2.2. Çapraz Tablolama Analizi ve Ki-Kare Testi

Tek değişkenli analizlerin ardından, kazazedelere ait sosyo-demografik ve mesleki değişkenler ile kaza sonucu değişkeni arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla çapraz tablolama analizi (cross-tabulation) gerçekleştirilmiştir. Çapraz tablolar, iki kategorik değişkenin ortak dağılımını satır ve sütunlarda sunarak, olası ilişkilerin görsel ve sayısal olarak analiz edilmesine olanak tanır [47, 48]. Bu analizlerde, gözlenen değerlerin teorik olarak beklenen değerlerden istatistiksel olarak sapıp saptığını test etmek için Pearson Ki-kare testi (χ^2) uygulanmıştır. Ki-kare testi ile her bir bağımsız değişkenin (örneğin yaş grubu, eğitim düzeyi, meslek) kaza sonucu üzerindeki etkisi test edilmiş; bu amaçla H_0 : “İki değişken arasında ilişki yoktur” şeklindeki sıfır hipotezi ile H_a : “İki değişken arasında anlamlı bir ilişki vardır” alternatif hipotezi karşılaştırılmıştır. Test istatistiği Eşitlik (1) ile hesaplanmıştır [47, 49]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\text{Gözlenen sıklık} - \text{Beklenen sıklık})^2}{\text{Beklenen sıklık}} \quad (1)$$

n = Örneklem sayısı

Hesaplanan Ki-kare değerinin anlamlılığı, Eşitlik (2) ile ifade edilen serbestlik derecesinin (df) dikkate alınmasıyla elde edilen p-değeri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen p değerinin 0,05’in altında olması durumunda H_0 hipotezi reddedilmiş ve değişkenler arasında anlamlı bir ilişki olduğu kabul edilmiştir [44, 50].

$$df = (\text{Sütun sayısı}-1) \times (\text{Satır sayısı}-1) \quad (2)$$

Ayrıca, iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmesinden sonra, bu ilişkinin gücünü değerlendirmek amacıyla Phi katsayısı ve Cramer’s V istatistikleri hesaplanmıştır. Bu istatistikler, özellikle nominal ölçekli verilerle çalışılan durumlarda değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü değil, ilişkinin şiddetini yansıtmak amacıyla kullanılır [48, 51]. İki değişken arasında ilişki tespit edildikten sonra bu ilişkinin ne kadar güçlü olduğunun belirlenmesi “Phi&Cramer’s V” değeri hesaplanarak gerçekleştirilir. Bu iki değere göre değişkenler arasındaki ilişki gücünün yorumlanması Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4 - Cramer's V değerine göre ilişki düzeyi

Cramer's V Değeri	İlişki Düzeyi
0,00	Değişkenler arasında ilişki yok
0,00 – 0,10	Değişkenler arası ilişki çok zayıf, kabul edilebilir düzeyde değil
0,10 – 0,20	Değişkenler arası ilişki zayıf, asgari kabul edilebilir düzeyde
0,20 – 0,25	Değişkenler arası ilişki makul, kabul edilir düzeyde
0,25 – 0,30	Değişkenler arası ilişki orta, istenen düzeyde
0,30 – 0,35	Değişkenler arası ilişki güçlü, çok istenen düzeyde
0,35 – 0,40	Değişkenler arası ilişki orta güçlü, şiddetle istenen düzeyde
0,40 – 0,50	Değişkenler arası ilişki oldukça güçlü, çok güçlü ilişki düzeyinde
0,50 – 0,99	Değişkenler arası ilişki mükemmele yakın
1,00	Değişkenler arası ilişki mükemmel

2.3. Probit Modeli

Çalışmada, kaza sonuçlarının en kritik boyutu olan fatalite (ölüm) riskini etkileyen parametrelerin olasılıksal ağırlığını belirlemek ve bu faktörlerin kaza şiddeti üzerindeki doğrudan etkilerini nicel olarak ortaya koymak amacıyla Probit Regresyon analizi uygulanmıştır. Literatürde Probit modelleme, bağımlı değişkenin iki kategorili (Ölüm Var/Yok) olduğu durumlarda, bağımsız değişkenlerdeki değişimlerin olay olasılığı üzerindeki etkisini doğrusal olmayan bir fonksiyon aracılığıyla ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir eşik modelleme yöntemidir [52].

Probit modelleme, özellikle büyük veri setlerinde kaza risk faktörlerinin eşik değerlerini ve bu değerlerin aşılması durumunda ortaya çıkan olasılık artışlarını belirlemede tercih edilmiştir. Bu yöntem, inşaat sahası gibi belirsizliğin yüksek olduğu ortamlarda, risk faktörlerinin kaza şiddeti üzerindeki etkisini tahmin etmeye olanak tanır [53]. Gözlemlenemeyen gizli bir değişken olduğu yaklaşımının kullanılarak hata teriminin standart normal dağıldığı varsayılan doğrusal olmayan probit regresyon modelinde, standart normal dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonu kullanılarak bağımlı değişkenin gerçekleşme olasılığı modellenmektedir. Model Eşitlik (3)'te ifade edildiği gibidir [54, 55].

$$Y_i^* = \alpha + \beta X_i + U_i \quad (3)$$

Y_i^* = gözlemlenemeyen gizli değişken,

X_i = bağımsız değişkenler vektörü,

β = tahmin edilecek parametreler vektörü,

U_i = hata terimi

Gözlemlenen bağımlı değişken Y, gözlemlenemeyen gizli değişkenin belirli bir eşik değerini aşmasına bağlı olarak Eşitlik (4)'te belirtildiği şekilde tanımlanır.

$$Y_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer } Y_i^* > 0 \\ 0, & \text{eğer } Y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Kümülatif normal dağılım fonksiyonu $\Phi(z)$, normal standart Z değişkeni için $P(Z \leq z)$ olarak tanımlanırsa Eşitlik (5) ve Eşitlik (6) yazılabilir.

$$P(Y_i = 1) = P(u_i > -\alpha - \beta X_i) = 1 - \Phi\left(\frac{-\alpha - \beta X_i}{\sigma}\right) \quad (5)$$

$$P(Y_i = 0) = P(u_i \leq -\alpha - \beta X_i) = \Phi\left(\frac{-\alpha - \beta X_i}{\sigma}\right) \quad (6)$$

Modelde açıklayıcı değişken sayısının birden fazla olması durumunda Eşitlik (7) tanımlanmaktadır.

$$P(Y = 1/X) = \Phi(X\beta) \quad (7)$$

Φ = standart normal olasılık dağılımı

β = Probit katsayısı

βX = Probit skoru (indeksi)

Probit katsayısı β , tahmindeki bir birimlik artışın Probit skorunda yapacağı β standart sapmalık yükselmeyi ifade eder. Probit katsayısı bağımlı değişkene ait standart z-değeri üzerinde bağımlı değişkenin yapacağı etkiyi ölçmektedir. Diğer bir ifadeyle tahmindeki bir birimlik artışta probit skorun üzerinde oluşacak β standart sapmalık yükselmeyi ifade etmektedir. Katsayıların sayısal büyüklüklerinin özel bir önemi ve yorumu bulunmayıp yalnızca ilişkinin yönünü ve derecesini belirtmektedir [56, 57].

Probit modelinde katsayıların doğrudan yorumlanması doğrusal regresyon modellerindeki kadar kolay değildir. Çünkü katsayılar bağımsız değişkenlerin gizli değişken üzerindeki etkisini temsil eder. Bu nedenle uygulamalı çalışmalarda genellikle marjinal etkiler hesaplanarak bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenin gerçekleşme olasılığı üzerindeki etkisi yorumlanmaktadır [58]. Probit modelinin parametreleri genellikle maksimum olabilirlik yöntemi ile tahmin edilmektedir. Olasılık fonksiyonunun logaritmasının alınmasıyla Eşitlik (8)'deki log-olabilirlik fonksiyonu elde edilir [55].

$$\ln L = \sum w_i \ln \Phi(x_i \beta) + \sum w_i \ln (1 - \Phi(x_i \beta)) \quad (8)$$

Model kapsamında; yaş, İSG eğitimi, meslek ve tecrübe temel bağımsız değişkenler olarak sisteme dahil edilmiştir. Analizin temel çıktısı olarak, katsayıların ötesinde, her bir risk faktörünün kaza sonucu üzerindeki net etkisini yansıtan marjinal etkiler hesaplanmıştır [59].

Bu analitik yaklaşım, betimsel çapraz tabloların sunduğu bulguları ampirik bir düzeye taşıyarak, inşaat sahasındaki belirsiz risk parametrelerini nicel bir zemine oturtmaktadır.

3. ANALİZ SONUÇLARI

3.1. Tek Değişkenli Sıklık Analizi Sonuçları

İncelenen iş kazası verilerine göre 434.314 iş kazasının %77,5'inin işyerindeki çalışma esnasında gerçekleştiği ve bu kazaların %1'inin ölüm, %0,2'sinin uzuv kaybı, %53,4'ünün de yaralanma ile sonuçlanıp %45,4'ünde ise iş göremezliğin olmayıp kazazedenin işe devam ettiği görülmüştür. Verilerin incelendiği 10 yıllık süre içerisinde toplam 4.245 çalışan inşaat sektöründe gerçekleşen kazalarda hayatını kaybetmiştir.

İş kazalarının yıllara göre dağılımı incelendiğinde, yalnızca kaza sayılarındaki değişime odaklanmak, sektördeki istihdam hacmindeki büyüme veya küçülmelerden dolayı istatistiksel açıdan yanıltıcı sonuçlar doğurabilmektedir. Sadece kaza sayılarındaki artışa bakmak, istihdam artışından kaynaklı doğal bir hacim büyümesini risk artışı gibi algılayabilir. Bu nedenle, sektördeki gerçek tehlike eğilimini istihdam değişikliklerinden bağımsız ve objektif bir biçimde ölçebilmek amacıyla; her 100 sigortalı çalışana düşen kaza sayısını ifade eden kaza sıklık oranı (AFR) hesaplanmıştır. Şekil 5, 2012-2021 dönemi için SGK verilerinden elde edilen toplam iş kazası sayıları ile matematiksel olarak hesaplanmış AFR trendini çift eksenli olarak bir arada sunmaktadır.

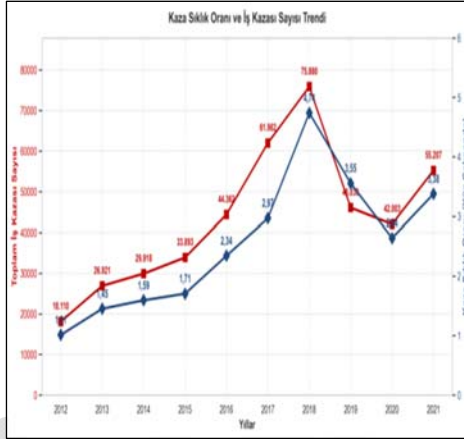
Şekil 5 incelendiğinde, 2012-2021 yılları arasında meydana gelen iş kazalarının sayısındaki artışın, sadece istihdam büyümesiyle açıklanamayacak düzeyde ciddi bir İSG risk eğilimini ortaya koyduğu görülmektedir. 2012 yılında 18.111 olan kaza sayısı (AFR: 1,01), 2021 yılında 55.350'ye (AFR: 3,38) yükselerek hem hacimsel hem de oransal olarak belirgin bir artış göstermiştir. Özellikle 2016'dan itibaren kaza sayılarında keskin bir yükseliş gözlemlenirken, 2019 ve 2020 yıllarında nispi bir düşüş yaşanmıştır. Bu durum, COVID-19 pandemisinin ekonomik ve çalışma hayatına olan daraltıcı etkileriyle ilişkilendirilebilir. Toplam kazaların %75'inin 2016-2021 yılları arasında meydana gelmiş olması ve AFR değerinin 2018 yılında 4,74 ile zirve yapması, bu dönemde iş güvenliği önlemlerinin etkinliğinin ciddi biçimde sorgulanmasını gerektirmektedir.

İş kazalarındaki bu artış, sanayileşme, istihdam artışı ve çalışma koşullarındaki değişimlerle ilişkilendirilebileceği gibi, İSG mevzuatının uygulanmasındaki yetersizlik ile de açıklanabilir. Dolayısıyla, iş kazalarının önlenmesine yönelik daha kapsamlı özendirici uygulama ve denetim mekanizmalarının geliştirilmesi gerekliliği görülmektedir. Gerçekleşen iş kazası sayılarından daha önemli olan ve esasen üzerinde yoğunlaşılması gereken nokta, sürekli iş göremezlik ve ölüm ile sonuçlanan kazalara ait verileridir. Çünkü 1 adet ölüm ya da sürekli iş göremezlikle sonuçlanan kazanın 29 hafif yaralanmalı kazadan veya 300 ramak kala olay sonucu gerçekleştiğini belirten Heinrich Piramidi Prensibi gereği; bu verilerin analiz edilmesiyle İSG açısından alınacak önlemlerin belirlenmesi otomatik olarak iş kazası sayılarında da azalma sağlayacaktır.

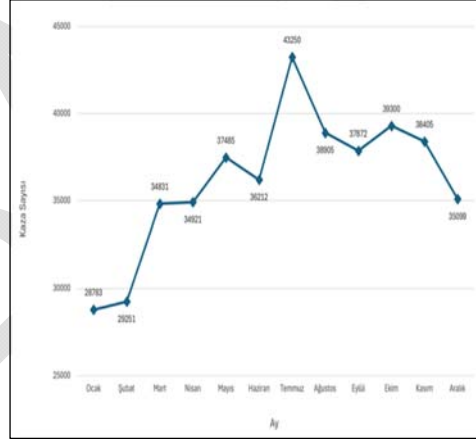
İş kazalarının aylara göre dağılımı (Şekil 6) incelendiğinde, kaza sayılarının belirli aylarda artış gösterdiği görülmektedir. Özellikle Temmuz (43.250) ayında kaza sayısının diğer aylara kıyasla daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu artış, yaz ayının ortasında inşaat sektöründe çalışma temposunun yükselmesi ve iş gücü hareketliliğinin artmasıyla ilişkilendirilebilir. Buna karşılık, Ocak (28.783) ve Şubat (29251) aylarında kaza sayıları en düşük seviyelerde olup, bu durum kış koşullarının çalışma saatleri ve iş yoğunluğu üzerindeki etkisini yansıtabilir. Yılın ilk altı ayında meydana gelen kazalar toplamının %46,4'ünü oluştururken, ikinci altı ayda bu oran %53,6'ya yükselmektedir. Bu dağılım, yılın ikinci

yarısında ve kış dönemine girmeden önce işverenlerin işleri hızlandırma çabası nedeniyle yaz sonrası azalan trende zıt olarak Ekim Kasım aylarında iş kazalarının arttığını göstermekte olup, bu dönemlerde; işverenlerin alması gereken iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin daha etkin hale getirilmesi, çalışanların alınan önlemlere ilişkin farkındalıklarının artırılması ile devletin teftiş ve denetimleri yoğunlaştırması gerektiğine işaret etmektedir.

İş kazalarının gerçekleştiği ortamlar incelendiğinde, kazaların %82,3'ünün çalışanların işyerinde ya da işyeri dışında aktif olarak çalıştıkları sırada meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, iş süreçlerinde maruz kalınan risklerin yüksek olduğunu ve iş güvenliği önlemlerinin çalışma esnasında daha etkin bir şekilde uygulanması gerektiğini göstermektedir. Dikkat çekici bir diğer bulgu, kazaların %13'ünün çalışanların evden-işe ya da işten-eve giderken meydana gelmesidir. Bu, işe gidiş geliş süreçlerinin de iş güvenliği açısından kritik bir risk faktörü olduğunu ve ulaşım güvenliği ile ilgili önlemlerin artırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, iş kazalarının büyük oranda çalışma esnasında ve işe gidiş geliş süreçlerinde meydana geldiği göz önüne alındığında hem iş güvenliği standartlarının hem de servis ya da özel araçla yapılan iş yolculuklarına yönelik trafik güvenliği politikalarının güçlendirilmesi gerektiği söylenebilir.



Şekil 5 - Kaza sıklık oranı (yüz çalışanda) ve iş kazası sayısı trendi (2012-2021)



Şekil 6 - Kazaların aylara göre dağılımı

İş kazası geçiren çalışanların öğrenim durumlarına göre sıklık dağılımları; en çok iş kazası geçirenlerin %30,4 oranı ile ilkököl mezunu çalışanlar olduğunu göstermektedir. Bu gruba okur-yazar olmayanlar ile sadece okur-yazar seviyesinde olanları (herhangi bir mezuniyeti olmayıp da okuma-yazma bilenleri) eklediğimizde %48'e ulaşmaktadır. Sanatkârlar ve ilgili işlerde çalışanlar olarak tanımlanan meslek grubundaki çalışanlar %42,3 oranı ile en çok iş kazasına uğrayan gruptur. İş kazasına uğrayan çalışanların %92,8'i İSG eğitimlerini, %79'u ise mesleki eğitimlerini almış bulunmaktadırlar. İş kazası geçirenlerin %61,1'ini evli çalışanlar oluştururken; aktif işgücünün en büyük bölümünü temsil eden 25-34 yaş aralığındaki bireyler %31,2 oranıyla kazalara en fazla maruz kalan yaş grubudur. İş kazası geçirilen çalışma saatleri incelendiğinde ise kazaların %24,8 oranıyla en sık olarak ara dinlenmesine gitmeden hemen önce 10:00 ve 12:00 saatleri arasında yaşandığı görülmektedir.

Tecrübeye göre sıklık dağılımları incelendiğinde toplam tecrübesi 6 yıl ile 12 yıl arasında olanlar %28,3 oranıyla en çok kazaya uğramışlardır. Kazazedelerin %98,4'ünün, kazanın gerçekleştiği mevcut işyerlerinde altı yıldan daha kısa süredir çalışmakta olduğu tespit edilmiştir. İllere göre kaza dağılımlarına bakıldığında ise %31,8'i İstanbul, %8,6'sı Ankara ve %7,8'i İzmir olmak üzere tüm kazaların yarıya yakını bu üç ilde gerçekleşmiştir.

3.2. Çapraz Tablolama Analizi Sonuçları

Çapraz tablolama sonuçları Tablo 5'te toplu halde verilmiştir. Tabloda yer alan yüzde değerleri kategorik değişkenlerin toplam dağılım içindeki yüzde değerlerini belirtmektedir.

Tablo 5 - Çapraz tablolama analiz sonuçları

		Kaza Sonucu				Toplam	Pearson's $X^2(df, p^{***})$
		İş göremezlik yok	Yaralanma	Uzuv Kaybı	Ölüm		
Yaş	25 yaş altı	49.737 (%11,45)	51.475 (%11,85)	166 (%0,04)	559 (%0,13)	101.937 (%23,47)	$X^2(15) =$ 2967.527, $p < .001$
	25-34	62.911 (%14,49)	71.436 (%16,45)	266 (%0,06)	878 (%0,20)	135.491 (%31,20)	
	35-44	45.354 (%10,44)	57.1679 (%13,16)	291 (%0,07)	1.040 (%0,24)	103.852 (%23,91)	
	45-54	29.961 (%6,90)	40.153 (%9,25)	231 (%0,05)	1.069 (%0,25)	71.414 (%16,44)	
	55-64	8.470 (%1,95)	11.138 (%2,56)	78 (%0,02)	599 (%0,14)	20.285 (%4,67)	
	65 ve daha fazla	570 (%0,13)	658 (%0,15)	7 (%0,00)	100 (%0,02)	1.335 (%0,31)	
Medeni Hal	Bekar, Boşanmış, Dul	81.320 (%18,72)	86.168 (%19,84)	294 (%0,07)	1.137 (%0,26)	16.8919 (%38,89)	$X^2(3) =$ 1083.712, $p < .001$
	Evli	115.683 (%26,64)	145.859 (%33,58)	745 (%0,17)	3.108 (%0,72)	265.395 (%61,11)	
Öğrenim Durumu	Okur yazar değil	1.429	1.501	7	61	2.998	$X^2(24) =$ 472.012,

Türk İnşaat Sektöründe İş Kazaları: Tanımlayıcı İstatistikler ve Olasılıksal Risk...

		(%0,33)	(%0,35)	(%0,00)	(%0,01)	(%0,69)	p < .001
	Okur yazar	34.486 (%7,94)	38.113 (%8,78)	125 (%0,03)	781 (%0,18)	73.505 (%16,92)	
	İlkokul	59.560 (%13,71)	70.651 (%16,27)	345 (%0,08)	1.505 (%0,35)	132.061 (%30,41)	
	Ortaokul- İlköğretim	55.322 (%12,74)	68.145 (%15,69)	325 (%0,07)	1.097 (%0,25)	124.889 (%28,76)	
	Meslek Lisesi	3.729 (%0,86)	4.989 (%1,15)	23 (%0,01)	92 (%0,02)	8.833 (%2,03)	
	Lise	34.582 (%7,96)	40.639 (%9,36)	185 (%0,04)	565 (%0,13)	75.971 (%17,49)	
	Yüksekokul	4.380 (%1,01)	4.767 (%1,10)	18 (%0,00)	69 (%0,02)	9.234 (%2,13)	
	Üniversite	3.435 (%0,79)	3.150 (%0,73)	9 (%0,00)	75 (%0,02)	6.669 (%1,54)	
	Lisansüstü	80 (%0,02)	72 (%0,02)	2 (%0,00)	0 (%0,00)	154 (%0,04)	
İSG Eğitimi	Yok	11.683 (%2,69)	18.341 (%4,22)	165 (%0,04)	939 (%0,22)	31.128 (%7,17)	X ² (3) = 2187.71, p < .001
	Var	185.320 (%42,67)	213.686 (%49,20)	874 (%0,20)	3.306 (%0,76)	403.186 (%92,83)	
Mesleki Eğitim	Yok	38.812 (%8,94)	50.447 (%11,62)	269 (%0,06)	1.425 (%0,33)	90.953 (%20,94)	X ² (3) = 697.02, p < .001
	Var	158.191 (%36,42)	181.580 (%41,81)	770 (%0,18)	2.820 (%0,65)	343.361 (%79,06)	
Meslek	Nitelik gerektirmeyen meslekler	50.001 (%11,51)	65.257 (%15,03)	322 (%0,07)	1.280 (%0,29)	116.860 (%26,91)	X ² (24) = 944,052, p < 0,0001
	Tesis ve makina operatörleri ve montajcılar	17.622 (%4,06)	19.020 (%4,38)	118 (%0,03)	521 (%0,12)	37.281 (%8,58)	

	Sanatkârlar ve ilgili işlerde çalışanlar	85.235 (%19,63)	96.754 (%22,28)	412 (%0,09)	1.416 (%0,33)	183.817 (%42,32)	
	Nitelikli tarım, ormancılık ve su ürünleri çalışanları	455 (%0,10)	553 (%0,13)	3 (%0,00)	10 (%0,00)	1.021 (%0,24)	
	Hizmet ve satış elemanı	2.346 (%0,54)	2.593 (%0,60)	15 (%0,00)	148 (%0,03)	5.102 (%1,17)	
	Büro hizmetlerinde çalışan elemanlar	904 (%0,21)	1.060 (%0,24)	4 (%0,00)	17 (%0,00)	1.985 (%0,46)	
	Teknisyenler, teknikerler ve yardımcı profesyoneller	18.956 (%4,36)	22.323 (%5,14)	99 (%0,02)	474 (%0,11)	41.852 (%9,64)	
	Profesyonel meslek mensupları	4.952 (%1,14)	4.867 (%1,12)	14 (%0,00)	104 (%0,02)	9.937 (%2,29)	
	Yöneticiler	16.532 (%3,81)	19.600 (%4,51)	52 (%0,01)	275 (%0,06)	36.459 (%8,39)	
Toplam Tecrübe	6 yıldan az	51.131 (%11,77)	52.158 (%12,01)	196 (%0,05)	705 (%0,16)	104.190 (%23,99)	X ² (12) = 1917,333, p < 0,0001
	6 yıl -12 yıl	56.956 (%13,11)	64.900 (%14,94)	240 (%0,06)	834 (%0,19)	122.930 (%28,30)	
	13 yıl -18 yıl	30.055 (%6,92)	37.294 (%8,59)	160 (%0,04)	594 (%0,14)	68.103 (%15,68)	
	19 yıl -24 yıl	23.619 (%5,44)	30.351 (%6,99)	157 (%0,04)	609 (%0,14)	54.736 (%12,60)	
	24 yıldan fazla	35.242 (%8,11)	47.324 (%10,90)	286 (%0,07)	1.503 (%0,35)	84.355 (%19,42)	
İşyeri Tecrübe	6 yıldan az	194.318 (%44,74)	227.787 (%52,45)	1.023 (%0,24)	4.142 (%0,95)	427.270 (%98,38)	X ² (12) = 197,835,

	6 yıl -12 yıl	1.675 (%0,39)	2.733 (%0,63)	8 (%0,00)	55 (%0,01)	4.471 (%1,03)	p < 0,0001
	13 yıl – 18 yıl	464 (%0,11)	619 (%0,14)	3 (%0,00)	13 (%0,00)	1.099 (%0,25)	
	19 yıl – 24 yıl	167 (%0,04)	279 (%0,06)	3 (%0,00)	6 (%0,00)	455 (%0,10)	
	24 yıldan fazla	379 (%0,09)	609 (%0,14)	2 (%0,00)	29 (%0,01)	1.019 (%0,23)	
Toplam		197.003 (%45,36)	232.027 (%53,42)	1.039 (%0,24)	4.245 (%0,98)	434.314 (%100)	

*** p < 0,001 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade eder.

Analiz sonuçlarına göre, en çok iş kazası 25–34 yaş grubunda meydana gelmiştir, bunu 35–44 yaş grubu ve 13–24 yaş grubu takip etmektedir. En az kaza ise 65 yaş ve üzeri çalışanlarda görülmektedir. Ancak yaş ilerledikçe ağır sonuçlu kazaların oranında artış gözlemlenmektedir. Örneğin, 65 yaş ve üzeri grupta ölüm oranı %7,5 iken, bu oran 13–24 yaş grubunda %0,5'tir. Bu durum, kalp krizi gibi sağlık nedenli ölümlerin bu yaş grubunda daha çok gerçekleşmesi, yaşlı çalışanların fizyolojik dirençlerinin daha düşük olması, riskli koşullardan daha fazla etkilenmeleri veya iş güvenliği eğitimlerinden daha az fayda sağlamaları gibi nedenlerle açıklanabilir. Pearson Ki-Kare testi, yaş grubu ile iş kazası sonucu arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir ($\chi^2(15) = 2967.527$, $p < .001$). Bu ilişki zayıf düzeyde de olsa istatistiksel olarak anlamlıdır. Cramér's V katsayısı .048 ve Phi katsayısı 0,083'tür. Bu, yaş grupları ile kaza sonuçları arasında küçük ama anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ordinal ölçümler açısından Kendall's tau-b değeri ise .050'dir ($p < .001$); bu da yaş arttıkça daha ciddi sonuçlu kazaların görülme olasılığının arttığını ortaya koymaktadır.

Medeni hal ile iş kazası sonuçları arasındaki ilişki incelendiğinde frekans dağılımına göre, evli çalışanlar arasında iş kazası sayısı daha fazladır, ancak bu durum evli bireylerin iş gücündeki daha yüksek temsil oranından kaynaklanabilir. Bununla birlikte evli bireylerde ağır sonuçlu kazaların oranının daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Evli bireylerde ölüm oranı %1,17 iken; bekar, boşanmış ya da dul bireylerde yaklaşık yarı yarıya düşen bu oran %0,67'dir. Pearson Ki-Kare testi sonucunda medeni hal ile iş kazası sonucu arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir ($\chi^2(3) = 1083.712$, $p < .001$). Olasılık oranı testi de bu bulguyu desteklemektedir ($\chi^2 = 1097.984$, $p < .001$). Etkileşimin büyüklüğü ölçütlerine bakıldığında, nominal bir ilişki olan Phi ve Cramér's V katsayıları .050 olarak bulunmuştur. Bu değerler, istatistiksel olarak anlamlı ancak zayıf düzeyde bir etkinin varlığına işaret etmektedir.

Öğrenim durumu ile iş kazası sonuçları arasındaki ilişkide ise iş kazalarının büyük çoğunluğunun ilköğretim ve ortaokul-ilköğretim düzeyindeki çalışanlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu gruplar aynı zamanda en yüksek ölüm ve uzuv kaybı oranlarına da

sahiptir. Lisans ve lisansüstü düzeyde eğitim alan bireylerde ise hem toplam vaka sayısı hem de ölüm ve ağır yaralanma oranları oldukça düşüktür. Yürütülen Pearson Ki-Kare testi sonucunda, öğrenim durumu ile iş kazası sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu bulunmuştur ($\chi^2(24) = 472.012$, $p < .001$). Bu durum, öğrenim düzeyinin kazaların türü ve ciddiyeti üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Etkileşimin gücünü gösteren Cramér's V değeri .019'dur ve Phi değeri de .033'tür; bu değerler ilişkinin zayıf düzeyde olduğunu gösterse de anlamlılığı korumaktadır. Ordinal ilişki ölçütü olan Kendall's tau-b katsayısı ise .004 ($p = .006$) olarak bulunmuştur ve bu da istatistiksel olarak anlamlı fakat çok zayıf bir sıralı ilişki olduğunu göstermektedir.

Çalışanların İSG eğitimi alıp almamaları ile maruz kaldıkları iş kazası sonuçları arasındaki ilişki analizinde İSG eğitimi almayan çalışanların toplam 31.128 kazaya karıştığı ve bunların 939'unun ölümle sonuçlandığı görülmektedir. Bu, %3'lük ölüm oranına karşılık gelmektedir. Buna karşılık, İSG eğitimi alan bireyler arasında 403.186 vaka bulunmakta olup, bu kazalardan 3.306'sı ölümle sonuçlanmıştır; bu da yaklaşık %0,82'lik bir ölüm oranına tekabül etmektedir. Benzer şekilde, uzuv kaybı oranı da İSG eğitimi almayanlarda daha yüksektir. Yürütülen Pearson Ki-Kare testi, İSG eğitimi ile kaza sonuçları arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir ($\chi^2(3) = 2187.71$, $p < .001$). Bu bulgu, İSG eğitimi alanın kaza sonuçlarını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. İlişkinin gücünü ölçen Phi ve Cramér's V değerlerinin ikisi de .071'dir. Bu değerler, ilişkinin düşük düzeyde olduğunu ancak istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca sıralı ilişkiyi değerlendiren Kendall's tau-b değeri -.050'dir ($p < .001$), bu da eğitim alındıkça kazaların şiddetinin azaldığını göstermektedir. Negatif işaret, eğitimle birlikte kazanın sonuçlarının daha hafif olma eğiliminde olduğunu yansıtır.

İş kazalarının sonuçları ile çalışanların mesleki eğitim alıp almadıkları arasındaki ilişki incelendiğinde ise çarpıcı bulgular elde edilmiştir. Mesleki eğitimi olmayan çalışanlar arasında toplam 90.953 iş kazası gerçekleşmiş ve bunların 1.425'i ölümle sonuçlanmıştır; bu, yaklaşık %1,57'lik bir ölüm oranına denk gelmektedir. Buna karşın, mesleki eğitim almış çalışanlar arasında meydana gelen 343.361 kazadan 2.820'si ölümle sonuçlanmıştır; bu da yaklaşık %0,82'lik daha düşük bir ölüm oranını göstermektedir. Benzer biçimde, uzuv kaybı oranı da eğitim almayan çalışanlarda %0,3 iken, eğitim alanlarda %0,22'dir. Bu farklılıklar, mesleki eğitimin iş kazalarının şiddetini azaltıcı etkisine işaret etmektedir. Pearson Ki-Kare testi sonuçları, mesleki eğitim durumu ile kaza sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir ($\chi^2(3) = 697.02$, $p < .001$). Bu sonuç, mesleki eğitimin kazaların sonuçlarını doğrudan etkileyebileceğine dair güçlü bir kanıt sunmaktadır. İlişkinin büyüklüğünü ifade eden Phi ve Cramér's V değerleri .040 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, ilişkinin zayıf düzeyde olduğunu ancak anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca sıralı ilişkiyi değerlendiren Kendall's tau-b katsayısı -.031'dir ($p < .001$). Negatif işaret, mesleki eğitim düzeyi arttıkça kaza sonuçlarının daha hafif olma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Meslek ve kaza sonuçları arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla yapılan çapraz tablolama analizi incelendiğinde, farklı meslek gruplarının iş kazası sonuçları üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Örneğin, sanatkârlar ile nitelik gerektirmeyen mesleklerde çalışanlarda, her kaza sonucu kategorisinde sayılar daha yüksek iken, yöneticiler gibi sahada bilfiil çalışmayan mesleklerde bu oranlar oldukça düşüktür. Bu, meslek grubunun iş kazası sonuçları üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu göstermektedir. Pearson Ki-kare testi sonuçlarına göre, meslek

ve kaza sonuçları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ($\chi^2(24) = 944,052$, $p < 0,0001$). Nominal ilişkinin büyüklüğünü gösteren Cramer's V değeri 0,027 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, operasyonel sahadaki meslek gruplarına özgü fiziksel mühendislik stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Deneyim süresi (tecrübe) ve iş kazası sonuçları arasındaki ilişkiyi analiz etmek için yapılan çapraz tablo analizine göre, çalışanların toplam deneyim süresi kaza şiddetiyle belirgin bir şekilde farklılık göstermektedir. Kazaların ölümle sonuçlanma oranlarına (kaza şiddetine) bakıldığında; 24 yıldan fazla tecrübeli grupta ölüm oranının (%1,78), 6 yıldan az tecrübelilere (%0,67) göre yaklaşık üç kat daha yüksek olduğu saptanmıştır. Pozitif yönlü ve anlamlı Kendall's tau-b değeri de (0,050, $p < 0.0001$) toplam tecrübe yılı arttıkça kaza şiddetinin arttığını doğrulamaktadır ($\chi^2(12) = 1917.333$). Bu çelişkili gibi görünen durum; yüksek tecrübenin getirdiği “aşırı özgüven ve işletme körlüğü” ile tecrübeli grubun aynı zamanda “ileri yaş” grubunda olmasından kaynaklanan fizyolojik zayıflıklarla açıklanabilir.

İşyerindeki mevcut tecrübe süresi incelendiğinde ise, toplam 434.314 kazanın %98'inin (427.270 kaza) işe girişten sonraki ilk 6 yıl içinde yaşandığı gibi son derece kritik bir gerçek ortaya çıkmıştır. Pearson Ki-kare testi ($\chi^2(12) = 197.835$, $p < 0.0001$), işyerindeki uyum süreci ile kaza yaşanması arasında anlamlı bir ilişki olduğunu kanıtlamaktadır. Bu durum, işe yeni başlayan çalışanların oryantasyon aşamasında muazzam bir kaza riski altında olduğunu; şantiye sahasına, iş akışına ve fiziki çevreye tam uyum sağlayamadan kazalara maruz kaldıklarını net bir şekilde göstermektedir. İşyeri deneyimi ile kaza sonuçları arasındaki zayıf ancak anlamlı ilişki (Cramer's V = 0,012; Kendall's tau-b = 0,019, $p < 0,0001$), daha az deneyime sahip çalışanların bu uyum sürecinde daha fazla kaza geçirdiğini destekleyici niteliktedir.

İstatistiksel olarak anlamlı bu ilişkiler, betimleyici düzeyde kalmayıp, inşaat mühendisliği ve proje yönetimi uygulamalarına yönelik nicel ve pratik bir çerçeve sunma potansiyeli taşımaktadır. Bu doğrultuda, elde edilen bulguların mühendislik perspektifiyle değerlendirilmesi aşağıda sunulmuştur.

3.3. Kaza Şiddeti Üzerindeki Faktörlerin Olasılıksal Analizi

İnşaat kazalarında ölüm riskini etkileyen parametrelerin olasılıksal ağırlıklarını belirlemek amacıyla uygulanan Probit regresyon sonuçları ve değişkenlerin ölüm olasılığı üzerindeki net etkisini belirlemek amacıyla Ai ve Norton yaklaşımı [59] doğrultusunda Marjinal Etkiler hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

Analizden elde edilen sonuçlar hem katsayıların yönü hem de marjinal etkilerin büyüklüğü açısından inşaat güvenliği alanındaki temel teorilerle güçlü bir şekilde örtüşmektedir. Modele göre, İSG eğitimi almanın ölüm riskini %1,28 oranında ($dy/dx = -0,0128$) düşürmesi, eğitimin riskleri kontrol altına almada en hayati koruyucu önlem olduğunu somut bir şekilde kanıtlamaktadır [60]. Yaş faktöründeki her bir birimlik artışın ölüm riskini %0,05 oranında artırması ise, ilerleyen yaşla birlikte azalan fiziksel direnç ve sahadaki ani gelişen tehlikelere karşı yavaşlayan tepki süresi olgularıyla paralellik göstermektedir [61]. İş tecrübesi arttıkça riskin çok küçük bir marjinal düzeyde de olsa düşmesi (-0,0001), saha deneyiminin ve işe alışkanlığın koruyucu bir faktör olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 6. İş kazası ölüm riskine ilişkin probit regresyonu ve marjinal etkiler

Bağımsız Değişkenler		Katsayı (Coef.)	Standart Hata	z-istatistiği	p-değeri ****	Marjinal Etkiler (dy/dx)
Sabit (Constant)		-2,6869	0,035	-77,16	0,000	—
Yaş		0,0210	0,001	23,19	0,000	0,0005
İSG Eğitimi		-0,5096	0,016	-32,26	0,000	-0,0128
Tecrübe		-0,0042	0,001	-4,48	0,000	-0,0001
Meslek Grupları	Mavi Yaka (Nitelikli Saha)	0,1694	0,026	6,48	0,000	0,0043
	Beyaz Yaka (İdari/Teknik)	0,0803	0,023	3,55	0,000	0,0020
Model İstatistikleri	Gözlem Sayısı (n)	434.314		Pseudo R ²	0,0481	
	Log-Likelihood	-22721		LLR p-value	0,000	

Bağımlı değişken: Kaza Sonucu (Ölüm=1, Yaralanma=0). Nitelsiz işçiler (Grup 1) referans kategori olarak alınmıştır.

****p < 0,001 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade eder.

Modele eklenen ve üç ana risk grubuna sadeleştirilen meslek değişkeninin bulguları, şantiyelerdeki tehlike maruziyetini nicel olarak ortaya koymaktadır. Nitelsiz işçiler (referans grup) ile kıyaslandığında, tesis/makine operatörleri ve sanatkârları (kalıpcı, demirci vb.) kapsayan 'nitelikli saha çalışanlarının' ölüm riski %0,43 oranında (+0,0043) daha yüksektir. Bu durum, nitelikli işçilerin yüksekte çalışma veya mekanik ekipman operasyonları gibi yüksek enerjili tehlikelere doğrudan ve sürekli maruz kalmalarıyla açıklanabilir. Öte yandan, mühendis ve teknikerleri kapsayan 'idari ve teknik personelin' ölüm riskinin de referans gruba göre %0,20 oranında (+0,0020) yüksek çıkması, bu grubun aktif fiziki iş yapmasalar dahi denetim faaliyetleri sırasında riskli sahalarda bulunmalarından kaynaklanmaktadır. Elde edilen bu olasılıksal kanıtlar, çalışmanın ilerleyen bölümlerinde önerilen Proses Güvenlik Risk Skoru (PRS) ve Risk Öncelik Skoru (RÖS) mühendislik modelleri için doğrudan, veriye dayalı bulgular sağlamaktadır.

3.4. Bulguların İnşaat Mühendisliği Açısından Olasılıksal Değerlendirilmesi

Bu çalışmada elde edilen istatistiksel bulgular, Türkiye inşaat sektöründeki iş kazalarının temel belirleyicilerini ortaya koymakla kalmayıp, aynı zamanda risk yönetimine yönelik mühendislik temelli çözümlerin geliştirilmesi için nicel bilgiler sunmaktadır. Bölüm 3.3'te detaylandırılan Probit regresyon analizi, kazaların demografik ve mesleki faktörlerle olan

ilişkinini nedensel ve olasılıksal bir zemine oturtmuştur [60]. Bu bölümde, söz konusu istatistiksel marjinal etkiler inşaat mühendisliği disiplini ve proje yönetimi uygulamaları açısından pratik karar destek modellerine dönüştürülerek üç temel başlık altında değerlendirilmektedir.

3.4.1. Marjinal Etkilere Dayalı Proses Güvenlik Risk Skoru (PRS)

Çapraz tablo analizleri belirli profillerin riskli olduğunu gösterse de bu ilişkilerin bir projenin başlangıcında PRS hesaplanması için olasılıksal bir zemine oturtulması gerekmektedir [62]. Bu kapsamda, Eşitlik (9)'daki risk indeksi önerilmektedir:

$$PRS = \sum (w_i \times P_i) \quad (9)$$

Burada:

P_i : i. risk parametresinin projedeki oransal dağılımı

w_i : i. parametre Probit modelinden elde edilen ölüm olasılığı üzeri mutlak marjinal etkisi

Tablo 7 - PRS modeli için olasılıksal ağırlık katsayıları (w_i)

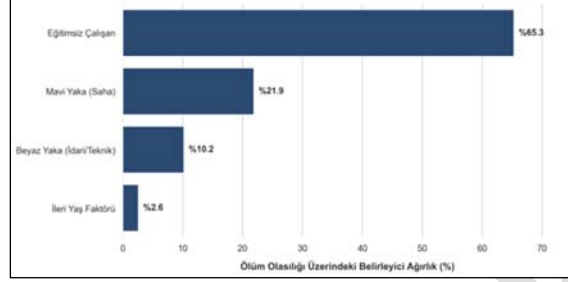
Risk Parametresi	Marjinal Etki Kaynağı	Ağırlık Katsayısı (w_i)
Eğitimsiz Çalışan	İSG Eğitimi (dy/dx)	0,0128
Mavi Yaka (Saha)	Meslek Grup 2 (dy/dx)	0,0043
Beyaz Yaka (İdari/Teknik)	Meslek Grup 3 (dy/dx)	0,0020
İleri Yaş Faktörü	Yaş (dy/dx)	0,0005

Tablo 7 ve Şekil 7'de sunulan ağırlık katsayıları ve oransal dağılımlar, değişkenlerin kaza sonucu ölüm olasılığına olan net katkısını yansıtmaktadır. Model sonuçlarına göre, İSG eğitiminin olmaması (veya eğitimsiz personel çalıştırılması) kaza şiddeti üzerinde %65,3 ile en yüksek belirleyici ağırlığa sahiptir. Mesleki maruziyet açısından ise, mavi yakalı nitelikli saha çalışanlarının (operatörler, sanatkârlar) risk ağırlığı (%21,9), idari ve teknik personelin (%10,2) ağırlığına göre iki kattan daha fazladır.

Örnek Uygulama: Çalışanlarının %30'unun İSG eğitimi almadığı ($P_{\text{eğitimsiz}} = 0,30$), saha kadrosunun %70'inin mavi yakalı operatör ve sanatkârlardan oluştuğu ($P_{\text{mavi-yaka}} = 0,70$) ve çalışanların yaş ortalamasının getirdiği risk payının 45 yaş üstü için %20 olduğu ($P_{45\text{-yaş-ustu}} = 0,20$) bir projede PRS değeri şu şekilde hesaplanır:

$$PRS = (0,0128 \times 0,30) + (0,0043 \times 0,70) + (0,0005 \times 0,20) = 0,00384 + 0,00301 + 0,00010 = 0,00695$$

Bulunan PRS = 0,00695 değeri, bu şantiyenin baz ölüm riskini yansıtmakta olup, proje yöneticilerine bütçe dağılımı, güvenlik denetim sıklığı ve hedefe yönelik eğitim programları gibi kaynakların optimizasyonu için veri odaklı bir karar destek aracı sağlamaktadır.



Şekil 7. PRS modeli ağırlık dağılımı

3.4.2. Ölüm Olasılıklarına Dayalı Aktüeryal Prim Modellemesi ve Finansal Teşvik Mekanizması

İSG eğitiminin kaza sonucu ölüm olasılığını %1,28 oranında ($dy/dx = -0,0128$, $p < 0.001$) azalttığına dair elde edilen bulgu, inşaat sektöründe risk tabanlı sigorta prim modellemesi için güçlü bir nicel temel sunmaktadır. Aktüeryal fiyatlandırma teorisinde prim teşvikleri ve indirimleri genellikle işverenin doğrudan müdahale edebileceği ve kaza öncesinde iyileştirebileceği kontrol edilebilir parametreler üzerinden kurgulanmaktadır [63]. Bu bağlamda, demografik özellikler (yaş, tecrübe) etik ve yapısal nedenlerle prim hesaplamasında bir indirim/ceza kriteri olarak değerlendirilemezken; meslek faktörü halihazırda işveren mali sorumluluk sigortalarının baz primini belirleyen ana unsurdur. Dolayısıyla, baz prim üzerine uygulanacak bir performans indirimi meslek katsayısının yeniden kullanılması, aktüeryal açıdan mükerrer fiyatlandırma sorununa yol açacaktır. Bu metodolojik gerekçelerle, işverenin risk yönetimindeki inisiyatifini en net yansıtan İSG eğitimi, bu çalışmada finansal teşvik mekanizmasının merkezine yerleştirilmiştir. Elde edilen risk azalımının sigorta primlerine yansıtılması ve işverenlerin kaza öncesi yatırımlara teşvik edilmesi amacıyla Eşitlik (10)'daki prim düzeltme faktörü önerilmektedir:

$$F_{\text{eğitim}} = 1 - [\alpha \times |dy/dx_{\text{eğitim}}| \times E_{\text{İSG}}] \quad (10)$$

Burada; $|dy/dx_{\text{eğitim}}|$ İSG eğitiminin ölüm olasılığını düşürme katsayısını (0,0128), $E_{\text{İSG}}$ şantiyede geçerli İSG eğitimi almış çalışan oranını, α ise sigorta şirketinin risk toleransına göre belirlenen aktüeryal düzeltme katsayısını ifade etmektedir. Önerilen bu prim modeli, literatürdeki Bonus-Malus sistemlerinin [42] inşaat sektörüne özgü marjinal risk parametreleriyle düzeltilmiş halidir. Eşitlik (10)'da yer alan İSG eğitiminin marjinal etkisi ($dy/dx = -0,0128$), kaza şiddeti üzerindeki azaltıcı yönü ifade ettiğinden; prim hesabı sırasında matematiksel bir anomali (negatif değerlerin çarpımı sonucu primin artması durumu) yaratmaması amacıyla mutlak değer ($|dy/dx|$) içerisinde işleme alınmıştır. Böylece, riskteki olasılıksal azalışın finansal teşviklerle birebir örtüşmesi sağlanmıştır [60].

Örnek Uygulama: Çalışanlarının %80'inin İSG eğitimi aldığı ($E_{İSG}=0,80$) ve aktüeryal katsayının $\alpha =1,5$ olarak belirlendiği bir işletme için prim düzeltme faktörü şu şekilde hesaplanır:

$$F_{\text{eğitim}} = 1 - [1,5 \times 0,0128 \times 0,80] = 1 - 0,01536 = 0,9846$$

Bu sonuç, söz konusu işletme için yaklaşık %1,54'lük net bir prim indirimine karşılık gelmektedir. Bu model, sigorta mekanizmalarının sadece kaza sonrası tazminat ödeyen bir kuruluş değil aynı zamanda işverenleri finansal açıdan koruyacak ve güvenlik yatırımları yapmaya teşvik edecek finansal bir karar destek aracı sunmaktadır [64].

3.4.3. Tasarım İçin Güvenlik Kapsamında Ampirik Risk Önceliklendirmesi (RÖS)

İnşaat projelerinde kazaların belirli faaliyet ve demografik gruplarda yoğunlaşması, tasarım ve planlama mühendislerine hangi fiziksel önlemlere öncelik vermeleri gerektiği konusunda bilgiler sunmaktadır. Geleneksel risk değerlendirmeleri genellikle şantiye profiline dair betimsel oranlara dayansa da Szymberski ve Behm tarafından [65, 66] öne sürülen Tasarım için Güvenlik (DfS - Design for Safety) prensibinin projelere tam anlamıyla entegre edilebilmesi için nedensel ve olasılıksal kanıtlara ihtiyaç vardır. Bu amaçla, mühendislik kontrollerinin önceliklendirilmesinde kullanılmak üzere aşağıdaki RÖS modeli önerilmektedir:

$$RÖS = O \times \text{Ş} \times \text{İ}$$

Burada; O kaza senaryosu gerçekleşme olasılığı, Ş kazanın ölümle sonuçlanma oranı (şiddet derecesi), İ ise insan profili risk indeksidir. Geleneksel risk matrislerindeki varsayımsal atamaların aksine bu modelde İ değeri, söz konusu faaliyeti yürüten hedef grubun (örneğin mavi yakalılar veya ileri yaş grubu) kanıtlanmış mutlak marjinal risk katsayısına ($|dy/dx|$) eşittir. Böylece çalışanın mesleki veya demografik kırılganlığı, tasarım aşamasındaki karar destek modeline matematiksel bir çarpan olarak dahil edilmektedir.

Örnek Uygulama: Tasarım ve planlama aşamasında mühendisler, sınırlı güvenlik bütçelerini en yüksek risk taşıyan alanlara kanalize etmek zorundadır. Demografik bir risk olan ileri yaş (45+) ile operasyonel bir risk olan yüksekte çalışmayı (mavi yaka) karşılaştırdığımızda:

Senaryo 1 (Yaş Faktörü): Genel veriler ışığında ilgili yaş grubunun kaza senaryosuna katılımı $O = 0,194$ ve ölümle sonuçlanma oranı $\text{Ş} = 0,0197$ olarak alınsın. Probit modeline göre yaş değişkeninin marjinal risk artışı $\text{İ} = 0,0005$ seviyesindedir.

$$RÖS = 0,194 \times 0,0197 \times 0,0005 = 0,0000019$$

Senaryo 2 (Mavi Yaka / Yüksekte Çalışma): Düşme kaynaklı kazaların genel kaza içindeki payı $O = 0,32$ ve ölümle sonuçlanma oranı $\text{Ş} = 0,15$ varsayıldığında; bu faaliyeti yürüten mavi yakalı saha personelinin marjinal risk artışı Probit modeline göre $\text{İ} = 0,0043$ 'tür.

$$RÖS = 0,32 \times 0,15 \times 0,0043 = 0,0002064$$

Elde edilen bu olasılıksal fark; operasyonel mavi yaka riskinin (0,0002064), demografik yaş riskinden (0,0000019) yaklaşık 108 kat daha yüksek bir ampirik önceliğe sahip olduğunu kanıtlamaktadır. İnşaat mühendisliği perspektifinden bu sonuç; kaynakların idari önlemlerden (iş rotasyonu, uyarı levhaları vb.) ziyade, doğrudan tehlike kaynağını izole eden fiziksel mühendislik kontrollerine (modüler iskele sistemleri, kalıcı kenar korumaları ve dış cephe güvenlik ağırları) aktarılmasının matematiksel gerekçesini oluşturmaktadır [59]. Geliştirilen bu model, şantiye güvenliğini yalnızca inşaat başladıktan sonra önlem alınan bir süreç olmaktan çıkaracak; tehlikelerin henüz tasarım aşamasında (DfS) öngörülüp engellenmesini sağlayarak olası can ve mal kayıplarını en aza indirecektir [67].

4. SONUÇLAR VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Bu çalışma kapsamında iş kazalarının sosyo-demografik ve mesleki faktörlerle olan ilişkisi detaylı biçimde incelenmiştir. Bulgular, yalnızca İSG politikaları için değil, aynı zamanda sigorta sektörü açısından da önemli çıkarımlar sunmaktadır. Bu çalışmanın en dikkat çekici bulgularından biri, İSG eğitiminin ölüm olasılığını marjinal olarak %1,28 oranında ($dy/dx = -0,0128$) düşürerek kayda değer bir risk azaltımı sağlamasıdır. Bu sonuç, eğitim müdahalelerinin hayat kurtarıcı etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

Toplam kazaların %75'inin meydana geldiği 2016-2021 yılları arasındaki artış, İSG konusunda daha kapsamlı bir politika oluşturulması ve daha sıkı bir denetleme mekanizması kurulması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, geliştirilen PRS modelinin proje başlangıç aşamalarında uygulanması, bütçe ve kaynakların etkin dağıtımı için stratejik bir araç olarak kullanılabilir. İş kazalarındaki yılın ikinci yarısında özellikle yaz aylarında görülen artış ise ilgili dönemde İSG önlem ve denetim faaliyetlerinin yoğunlaştırılmasını gerektirmektedir.

İleri yaş grubundaki çalışanların sağlık gözetimlerinin sıklaştırılması, daha düşük riskli görevlerde istihdam edilmesi ve temel İSG eğitimlerinin yaş grubuna göre uyarlanması büyük önem taşımaktadır. Geliştirilen PRS modeli, projelerdeki yaş dağılımına göre risk seviyesini kantitatif olarak değerlendirerek bu tür önlemlerin gereklilik düzeyini objektif şekilde belirleyebilmektedir. Benzer şekilde, eğitim düzeyi arttıkça iş kazalarının hem sayısal hem de ciddiyet açısından azaldığı görülmektedir. Özellikle yükseköğretim mezunu bireylerde ölüm ve uzuv kaybı oranlarının düşük olması; bu grubun genellikle daha az fiziksel risk barındıran işlerde çalışmaları, İSG konularında daha yüksek farkındalığa sahip olmaları ve kontrol yetkisi bulunan pozisyonlarda yer almaları ile açıklanabilir.

Bu çalışmada önerilen "Risk Tabanlı Sigorta Modeli" kapsamında, personeline İSG eğitimi sağlayan ve bunu belgeleyen işyerlerine aktüeryal prim indirimi uygulanması, sektörde çok güçlü bir finansal teşvik mekanizması yaratacaktır [42]. Mesleki eğitimin ve tecrübenin de kazaların sıklığını ve şiddetini azaltma potansiyeli yüksektir. Analizler, özellikle işe yeni başlayan ve deneyimi sınırlı çalışanların çok daha ciddi kaza sonuçlarına maruz kaldığını göstermektedir. Bu nedenle deneyimsiz çalışanlar için usta-çırak eşleşmesi gibi uzmanlık desteği sağlayan sistemlerin zorunlu hale getirilmesi, bu çalışmanın sahadaki en önemli çıkarımlarındandır.

Tasarım aşamasında risk önceliklendirmesi, bu çalışmanın literatüre sunduğu bir diğer önemli katkıdır. Kazaların belirli meslek gruplarında ve faaliyetlerde yoğunlaşması, tasarım

ve planlama mühendislerine nicel bir önceliklendirme matrisi sunmaktadır. Geliştirilen RÖS modeli, özellikle yüksekte çalışma gibi kritik faaliyetlerde kalıcı mühendislik kontrollerinin tasarıma entegrasyonunu (DfS) zorunlu kılacak veri temelini oluşturmuştur [68]. Model sonuçlarına göre, operasyonel tehlikelere maruz kalan mavi yakalı saha personelinin risk önceliğinin, ileri yaş gibi demografik risk faktörlerinden yaklaşık 108 kat daha yüksek bulunması; sınırlı İSG bütçelerinin idari önlemlerden (uyarı levhaları vb.) ziyade, doğrudan tehlikeyi kaynağında izole eden fiziksel kontrollere ayrılması gerektiğini bilimsel olarak ispatlamaktadır. Elde edilen bulgular, genç, düşük eğitilmiş ve iş deneyimi sınırlı çalışanların daha ciddi kaza sonuçlarına maruz kaldığını göstermektedir. Bu çalışmada geliştirilen aktüeryal model, sigorta şirketlerinin farklı risk profillerine sahip işyerleri için adil ve teşvik edici prim politikaları geliştirmesine olanak tanımaktadır. Daha az deneyime sahip çalışanların daha ciddi kaza sonuçları ile karşılaşma olasılıkları yüksektir. Bu bulgu, İSG önlemleri ve eğitim programlarının deneyimsiz çalışanlar için özel olarak tasarlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma Türkiye inşaat sektöründeki iş kazalarının temel belirleyicilerini ortaya koymakla kalmamış, aynı zamanda sigorta sektöründe veriye dayalı politika reformları için somut öneriler geliştirmiştir. SGK'nın resmi veri seti üzerinden 2012-2021 dönemini kapsayan analizler, geleneksel "olduktan sonra müdahale" yaklaşımı yerine "önceden önlem alma" prensibine dayalı yeni bir risk yönetimi yaklaşımının gerekliliğini ortaya koymuştur.

Geliştirilen Proses Güvenlik Risk Skoru, Risk Tabanlı Sigorta Modeli ve Tasarım için Güvenlik (DfS) önceliklendirme matrisi gibi mühendislik modelleri, sektördeki risk yönetim anlayışını tepkiselden önleyiciye dönüştürme potansiyeli taşımaktadır. Özellikle İSG eğitiminin ölüm olasılığını marjinal olarak %1,28 oranında düşürmesi gibi net matematiksel bulgular, politika yapıcılar için kanita dayalı bir karar destek sistemi sunmaktadır

Ancak bu çalışmada ortaya konulan bulgular ve ampirik modellerin daha da geliştirilmesi için, gelecekte planlanan çalışmalarda büyük veri setleri üzerinde makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi yapay zeka tabanlı algoritmalar ile tahmin modellerinin kullanılması önerilmektedir. Ayrıca, 6331 sayılı İSG Kanunu gibi makro politikaların net etkilerini ölçebilmek adına, kanun öncesi ve sonrası verilerin birleştirilerek Kesintili Zaman Serisi (ITS) veya uygun bir karşılaştırma sektörüyle Farkların Farkı (DiD - Difference-in-Differences) ekonometrik modellerinin kullanılması literatüre önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca, uluslararası karşılaştırmalı analizler ve diğer yüksek riskli sektörleri kapsayan disiplinlerarası çalışmalar da ileriki araştırmalar kapsamında değerlendirilebilir.

6331 sayılı İSG Kanunu sonrası dönemi kapsayan on yıllık veri setiyle, Türkiye'de inşaat sektörü özelinde en kapsamlı iş kazası analizlerinden birini sunan bu çalışmanın; hem politika yapıcılar hem mühendisler hem de sigorta sektörü için iş kazalarının önlenmesinde rehber olacağı değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

- [1] Nyirendaavwill, V., Chinniah Y., Agard, B., Identifying key factors for an occupational health and safety risk estimation tool in small and medium-size enterprises. IFAC-PapersOnLine, 48(3), 541–546, 2015.

- [2] European statistics on accidents at work (ESAW) Summary methodology, Eurostat European Commission, Luxembourg, 2013.
- [3] ILO, Indicator description: Occupational injuries [online], https://ilostat.ilo.org/methods/concepts-and-definitions/description_occupational-safety-and-health-statistics/, Erişim tarihi: 16 Kasım 2025, 2021.
- [4] EUROSTAT, Non-fatal accidents at work by NACE Rev. 2 activity and sex, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/hsw_n2_01__custom_18912669/default/table, Erişim tarihi: 16 Kasım 2025.
- [5] EUROSTAT, Fatal accidents at work by NACE Rev. 2 activity, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/hsw_n2_02/default/table?lang=en&category=hlth.hsw.hsw_acc_work.hsw_n2, Erişim tarihi: 16 Kasım 2025.
- [6] Weeks, J. L., Health and safety hazards in the construction industry, ILO Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, 4th Edition, Geneva, 1998.
- [7] Choi, S. D., Guo, L., Kim, J., Xiong, S., Comparison of fatal occupational injuries in construction industry in the United States, South Korea, and China, International Journal of Industrial Ergonomics, 71, 64-74, 2019.
- [8] Çalışma Yaşamında Sağlık Gözetimi Rehberi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, 7415, Ankara, 2012.
- [9] Sousa, V., Almeida, N. M., Dias, L. A., Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry–Part 1: Background knowledge. Safety science, 66, 75-86, 2014.
- [10] Luo, X., Li, X., Song, X., Liu, Q., Convolutional neural network algorithm–based novel automatic text classification framework for construction accident reports, Journal of Construction Engineering and Management, 149(12), 04023128, 2023.
- [11] U.S. Bureau of Labor Statistics, Census of fatal occupational injuries summary, 2023, <https://www.bls.gov/news.release/cfoi.nr0.htm>, Yayın tarihi: 19 Aralık 2024, Erişim tarihi: 10 Ocak 2025.
- [12] Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2023-İnşaat Genel Veriler- İnfografik 1, <https://guvenliinnsaat.csgb.gov.tr/media/c2nnsh33/info1.pdf>, Yayın tarihi: 2 Şubat 2025, Erişim tarihi: 10 Şubat 2025.
- [13] T.C. Sosyal Güvenlik Kurumu, SGK 2022 İstatistik Yıllığı, <https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451-ee7500eb1cb4/>, Yayın tarihi: 2023, Erişim tarihi: 10 Şubat 2025.
- [14] Leigh, J. P., Markowitz, S. B., Fahs, M., Shin, C., Landrigan, P. J., Occupational Injury and Illness in the United States: Estimates of Costs, Morbidity, and Mortality, Archives of Internal Medicine, 157(14), 1557-68, 1997.
- [15] Harrington, J. M., Gill, F. S., Aw, T. C., Gardiner, K., Occupational Health, 4th Edition, United Kingdom. John Wiley and Sons Ltd., 1998.
- [16] López, M. A. C., Ritzel, D. O., Fontaneda, I., Alcantara, O. J. G., Construction industry accidents in Spain, Journal of safety research, 39(5), 497-507, 2008.

- [17] Tözer, K. D., Çelik, T., Güranlı, G. E., Classification of construction accidents in northern Cyprus, *Teknik Dergi*, 29(2), 8295-8316, 2018.
- [18] Güranlı, G. E., Müngen, U., Analysis of construction accidents in Turkey and responsible parties, *Industrial health*, 51(6), 581-595, 2013.
- [19] Özgürer, G., Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, İnşaat Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının Analizi, *Turkish Journal of Civil Engineering*, 35(4), 95-116, 2024.
- [20] Pérez-Alonso, J., Carreño-Ortega, Á., Vázquez-Cabrera, F. J., Callejón-Ferre, Á. J., Accidents in the greenhouse-construction industry of SE Spain, *Applied Ergonomics*, 43(1), 69-80, 2012.
- [21] Lombardi, M., Fagnoli, M., Parise, G., Risk profiling from the European statistics on accidents at work (ESAW) accidents' databases: A case study in construction sites, *International journal of environmental research and public health*, 16(23), 4748, 2019.
- [22] Kim, Y. A., Ryoo, B. Y., Kim, Y. S., Huh, W. C., Major accident factors for effective safety management of highway construction projects, *Journal of construction engineering and management*, 139(6), 628-640, 2013.
- [23] Akboğa, Ö., Baradan, S., İnşaat sektöründeki ölümlü iş kazalarının karakteristiklerinin incelenmesi: İzmir alan çalışması, 5. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, İzmir, 215-224, 2015.
- [24] Baradan, S., Akboğa, Ö., Çetinkaya, U., Usmen, M. A., Ege bölgesindeki inşaat iş kazalarının sıklık ve çapraz tablolama analizleri, *Teknik Dergi*, 27(1), 7345-7370, 2016.
- [25] Kazan, E., Usmen, M. A., Worker safety and injury severity analysis of earthmoving equipment accidents, *Journal of safety research*, 65, 73-81, 2018.
- [26] Akşehir, Z. D., Oruç, Y., Elibol, A., Akleyek, S., Kılıç, E., On the analysis of work accidents data by using data preprocessing and statistical techniques. 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), 1-6, 2018.
- [27] Nayak, N. R., Kumar, S., Gupta, D., Suri, A., Naved, M., Soni, M., Network mining techniques to analyze the risk of the occupational accident via bayesian network, *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 13(1), 633-641, 2022.
- [28] Cakan, H., Kazan, E., Usmen, M., Investigation of factors contributing to fatal and nonfatal roofer fall accidents. *International journal of construction education and research*, 10(4), 300-317, 2014.
- [29] Kale, Ö. A., Baradan, S., Identifying factors that contribute to severity of construction injuries using logistic regression model, *Teknik Dergi*, 31(2), 9919-9940, 2020.
- [30] Yahya, M. Y. A., Rohani, J. M., Occupational Accidents and Prevention through Design in The Malaysian Construction Industry, *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2289-2299, 2021.
- [31] Bilim, A., Çelik, O. N., Estimating the possibility of workday loss accidents in road construction, *Gradevinar*, 75(12), 1183-1192, 2023.

- [32] Bria, T. A., Chen, W. T., Muhammad, M., Rantelembang, M. B., Analysis of Fatal Construction Accidents in Indonesia—A Case Study. *Buildings*, 14(4), 1010, 2024.
- [33] Erginel, N., Toptancı, Ş., İş Kazası Verilerinin Olasılık Dağılımları ile Modellenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(Özel Sayı), 201–212, 2017.
- [34] Kassouf, A., Hoffmann, R., Work-related injuries involving children and adolescents: Application of a recursive bivariate probit model, *Brazilian Review of Econometrics*, 2006.
- [35] Alvear-Vega, S., Arenas-Massa, A., Social and health factors affecting work-related accidents among older informal workers in Chile: A probit model analysis based on CASEN 2022, *Social Sciences & Humanities Open*, 12, 102231, 2025.
- [36] Lee, S. Y., Yang, Y. R., Factors Influencing the Subjective Health Status of Older Adult Workers in the Construction Industry Using the Ordered Probit Model: Utilization of Secondary Data. *Korean Journal of Occupational Health Nursing*, 34(2), 62-75, 2025.
- [37] Zhang, B., Lu, Q., Research on the Causes of Safety Accidents in Super High-Rise Buildings—Empirical Analysis Based on Bivariate Probit Model, 27th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate, Singapore: Springer Nature Singapore, 2022.
- [38] Bande, R., López-Mourelo, E., The impact of worker's age on the consequences of occupational accidents: empirical evidence using Spanish data, *Journal of Labor Research*, 36(2), 129-174, 2015.
- [39] Wang, H., Liu, Z., Wang, X., Huang, D., Cao, L., Wang, J., Analysis of the injury-severity outcomes of maritime accidents using a zero-inflated ordered probit model, *Ocean Engineering*, 258, 111796, 2022.
- [40] Carretero-Gómez, J. M., Forteza, F. J., Estudillo, B., Linking occupational accidents and construction firm survival, *Journal of safety research*, 85, 485-491, 2023.
- [41] Eling, M., Schmeiser, H., Insurance and the credit crisis: Impact and ten consequences for risk management and supervision, *The Geneva Papers on Risk and Insurance-Issues and Practice*, 35, 9-34, 2010.
- [42] Tompa, E., Trevithick, S., McLeod, C., Systematic review of the prevention incentives of insurance and regulatory mechanisms for occupational health and safety, *Scandinavian journal of work, environment & health*, 85-95, 2007.
- [43] Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., *Multivariate Data Analysis*, 7th Edition, Pearson Education, Upper Saddle River, 2014.
- [44] Manly, B. F. J., *Multivariate Statistical Methods: A Primer*, Second Edition, CRC Press, Florida, 1994.
- [45] Toptancı, Ş., Erginel, N., Acar, I. P., Predicting the severity of occupational accidents in the construction industry using standard and regularized logistic regression models. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(3), 778-798, 2023.

- [46] Yiğit, U., Kazar, G., Project characteristics-based predicting the likelihood of occupational accidents in public school maintenances using a topological approach, *Safety Science*, 184, 106764, 2025.
- [47] Field, A., *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*, Sage publications limited, 2024.
- [48] Büyüköztürk, Ş., *Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı*, Pegem Atf İndeksi, 001-214, 2018.
- [49] Gavanji, R., *Penalized regression methods for modelling rare events data with application to occupational injury study*, Doctoral dissertation, University of Saskatchewan, 2019.
- [50] Gonzalez-Delgado, M., Gómez-Dantés, H., Fernández-Niño, J. A., Robles, E., Borja, V. H., Aguilar, M., Factors associated with fatal occupational accidents among Mexican workers: a national analysis. *PLoS one*, 10(3), e0121490, 2015.
- [51] Cohen, J., *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)*, Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- [52] Scott Long, J., *Regression models for categorical and limited dependent variables*, *Advanced quantitative techniques in the social sciences*, 7, 1997.
- [53] Finney, D. J., *Probit Analysis*, 3rd edn Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1971.
- [54] Topcu, Y., Çiftçilerin Tarımsal Destekleme Politikalarından Faydalanma İstekliliğinde Etkili Faktörlerin Analizi: Erzurum İli Örneği, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2), 205–212, 2008.
- [55] Greene, W. H., *Econometric Analysis*, 8th ed., Pearson, 2018.
- [56] Kulendran, N., Wong, K.K.F., Determinants versus Composite Leading Indicators in Predicting Turning Points in Growth Cycle, *Journal of Travel Research*, 50(4), 417 – 430, 2011.
- [57] MacKinnon, D.P., Lockwood, C.M., Brown, C.H., Wang, W., Hoffman, J.M., The Intermediate Endpoint Effect in Logistic and Probit Regression, *Clinical Trials*, 4, 499 – 513, 2007.
- [58] Cameron, A. C., Trivedi, P. K., *Microeconometrics: Methods and Applications*, Cambridge University Press, 2005.
- [59] Ai, C., Norton, E. C., Interaction terms in logit and probit models, *Economics letters*, 80(1), 123-129, 2003.
- [60] Hallowell, M. R., Gambatese, J. A., Activity-based safety risk quantification for concrete formwork construction, *Journal of construction engineering and management*, 135(10), 990-998, 2009.
- [61] Charehzehi, A., Ahankoob, A., Enhancement of safety performance at construction site, *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 5(1), 303, 2012.

- [62] Pinto, A., Nunes, I. L., Ribeiro, R. A., Occupational risk assessment in construction industry—Overview and reflection, *Safety science*, 49(5), 616-624, 2011.
- [63] Lemaire, J., *Bonus-Malus Systems in Automobile Insurance*, Kluwer Academic Publishers, Boston-Dotrecht-London, 1995.
- [64] Tompa, E., Dolinschi, R., de Oliveira, C., Irvin, E., A systematic review of occupational health and safety interventions with economic analyses, *Journal of occupational and environmental medicine*, 51(9), 1004-1023, 2009.
- [65] Szymberski, R. T., Construction project safety planning, *Tappi journal*, 80(11), 69-74, 1997.
- [66] Behm, M., Linking construction fatalities to the design for construction safety concept, *Safety science*, 43(8), 589-611, 2005.
- [67] Toole, T. M., Gambatese, J., The trajectories of prevention through design in construction, *Journal of safety research*, 39(2), 225-230, 2008.
- [68] Okoli, C., Pawlowski, S. D., The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications, *Information & Management*, 42(1), 15-29.