

Primljen / Received: 11.2.2026.

Ispravljen / Corrected: 15.4.2026.

Prihvaćen / Accepted: 29.4.2026.

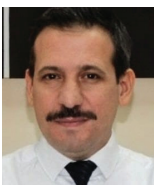
Dostupno online / Available online: 10.5.2026.

Predviđanje vjerojatnosti ishoda ozljeda na radu u građevinskoj industriji

Autori:

¹Mr.sc. **Şükrü Bulut**, dipl.ing.stroj.sukrubulut@kku.edu.tr

Autor za korespondenciju

²Mr.sc. **Muhammed Furkan Kahraman**, dipl.ing.stroj.kahramanfurkan@gmail.com¹Izv.prof.dr.sc. **Serap Yörübulut**, dipl.ing.stroj.serapyorubulut@kku.edu.tr¹Prof.dr.sc. **Ahmet Kürşad Türker**, dipl.ing.stroj.kturker@kku.edu.tr¹Prof.dr.sc. **Adnan Aktepe**, dipl.ing.stroj.aaktepe@gmail.com¹Sveučilište Kırıkkale, Turska
Građevinski fakultet²Ministarstvo rada i socijalne sigurnosti, Turska

Izvorni znanstveni rad

Şükrü Bulut, Muhammed Furkan Kahraman, Serap Yörübulut, Ahmet Kürşad Türker, Adnan Aktepe

Predviđanje vjerojatnosti ishoda ozljeda na radu u građevinskoj industriji

Građevinska industrija bilježi brojne nesreće različitih težina. Ovo istraživanje analizira 434.134 zapisa o ozljedama na radu iz građevinskog sektora u Turskoj (2012. – 2021.) primjenom ordinalne logističke regresije za modeliranje težine u četiri kategorije. Za razliku od prethodnih radova, skup podataka podijeljen je na 70 % onih za treniranje i 30 % onih za neovisni skup za testiranje. Model je postigao točnost klasifikacije od 56,0 %, pokazujući visoku osjetljivost u prepoznavanju rijetkih, jako teških ishoda poput smrti i trajnog invaliditeta. Ti rezultati pružaju validiranu prediktivnu jednadžbu i identificiraju ključne čimbenike rizika, čime se nudi okvir za strategije prevencije temeljen na podacima. Takav sveobuhvatan pristup modeliranju premošćuje jaz između teorijske regresije i praktičnog donošenja odluka o sigurnosti.

Ključne riječi:

građevinska industrija, zaštita na radu, ozljeda na radu, ordinalna logistička regresija, čimbenici rizika, težina ozljede, prediktivno modeliranje

Original research paper

Şükrü Bulut, Muhammed Furkan Kahraman, Serap Yörübulut, Ahmet Kürşad Türker, Adnan Aktepe

Predicting the probability of occupational accident outcomes in the construction industry

The construction industry experiences numerous accidents of varying severity. This study analyses 434,134 occupational accident records from the construction sector in Turkey (2012–2021) using ordinal logistic regression for four-category severity modelling. Unlike previous studies, the dataset was split into 70 % training and 30 % independent test sets. The model achieved a classification accuracy of 56.0 %, demonstrating strong sensitivity in identifying rare, high-severity outcomes, such as death and permanent disability. These results provide a validated predictive equation and identify critical risk factors, thereby offering a data-driven framework for prevention strategies. This comprehensive modelling approach bridges the gap between theoretical regression and practical safety decision-making.

Key words:

construction, occupational health and safety, occupational accident, ordinal logistic regression, risk factors, accident severity, predictive modelling

1. Uvod

Ozljede na radu definiraju se kao incidenti koji se događaju tijekom rada ili su posljedica rada, a uzrokuju štetu po zdravlje radnika ili smrt [1]. One uzrokuju troškove koji negativno utječu na zaposlenike, poduzeća i nacionalna gospodarstva. Ti troškovi uključuju gubitak života, tjelesna i mentalna oštećenja zdravlja, invaliditet, smanjenje broja kvalificirane radne snage i radne snage općenito, povećanje nezaposlenosti, isplate privremene ili trajne nesposobnosti, isplate zbog invaliditeta ili nesposobnosti, povećane troškove zdravstvene skrbi, kompenzacijske isplate, mjesečne naknade koje se isplaćuju obitelji zaposlenika te vrijeme utrošeno na sudske postupke. Neki se troškovi ne mogu odmah utvrditi na radnome mjestu i mogu se pojaviti nakon nesreće [2, 3].

Svake godine razne industrije diljem svijeta bilježe brojne ozljede na radu, pri čemu milijuni zaposlenika zadobivaju ozljede ili gube život. U građevinskoj se industriji dogodi 35 % smrtnih slučajeva na radnome mjestu [4]. U usporedbi s drugim industrijama, vjerojatnost smrtno nesreće u građevinskoj industriji može biti četiri puta veća od prosjeka u razvijenim zemljama i do šest puta veća od prosjeka u manje razvijenim zemljama [5]. U 2022. godini 20 % svih smrtnih slučajeva povezanih s radom u Sjedinjenim Američkim Državama dogodilo se u građevinskoj industriji, iako ona zapošljava samo 6 % ukupne radne snage [6]. Također, građevinska industrija ubraja se među najopasnije industrije u svijetu prema broju nesmrtnih ozljeda na radu [7]. U Turskoj je 12,1 % od ukupno 681.401 ozljede na radu i 28,1 % od 1966 smrtnih ozljeda na radu prijavljenih u 2023. zabilježeno upravo u toj industriji. Prema javno dostupnim podacima, na gradilištima u Turskoj svakodnevno se dogodi 225 ozljeda na radu. Ta statistika ističe zaštitu na radu kao jedan od glavnih izazova za građevinsku industriju [8, 9].

Dinamične i složene interakcije među ljudima, strojevima i okruženjem tijekom građevinskih aktivnosti često rezultiraju incidentima na radnome mjestu poput padova, urušavanja, sudara, električnih udara i mehaničkih ozljeda [10, 11].

Svaka povezana aktivnost nosi svoje specifične rizike. Naprimjer, u aktivnostima visokogradnje, u kojima se primjenjuju različite nove digitalne tehnologije radi znatnog povećanja razine sigurnosti, postoji osam glavnih čimbenika rizika koji obuhvaćaju otprilike 60 podčimbenika koji mogu uzrokovati ozljede na radu kao što su privremene električne instalacije na gradilištu, znakovi inspekcije i upozorenja na opasnost, osobna zaštitna oprema, radna područja, osobni čimbenici, razina znanja i vještina zaposlenika, oplata ili demontaža dizalice, skela, preopterećenje, upravljanje sigurnošću i rad na visini [12]. Svaki čimbenik rizika mora se pomno analizirati prema svojim specifičnostima. Naprimjer, upotreba osobne zaštitne opreme, posebno sigurnosnih pojaseva i neovisne sigurnosne užadi, prije početka rada ima važnu ulogu u smanjenju rizika povezanih s radnicima i sprječavanju padova pri radu na visini, no analize nesreća pokazuju da je velik udio nesreća povezan s izostankom osobne zaštitne opreme ili njezinom nepravilnom upotrebom [13, 14].

Kako bi se spriječile ozljede na radu na gradilištima, koje su u velikoj mjeri uzrokovane nedostatkom svijesti o sigurnosti među radnicima, nedostatnim upravljanjem sigurnošću na gradilištima, neadekvatnom ili neispravnom osobnom zaštitnom opremom te nepoštivanjem radnih postupaka operatora, potrebno je planirati aktivnosti na temelju naučenih lekcija iz prethodnih ozljeda na radu i izraditi sigurnosne politike radi poboljšanja uvjeta zaštite na radu i sprječavanja mogućih smrti i ozljeda [15].

Prošle nesreće i rizici zaštite na radu snažno su povezani, a pouzdane procjene rizika mogu se napraviti pomoću podataka o prethodnim nesrećama. Posljedično, nadležna tijela i dionici zaštite na radu potiču izvještavanje o ozljedama na radu i sigurnosnim incidentima [16, 17].

Izračuni rizika tradicionalno se definiraju kao umnožak vjerojatnosti definirane opasnosti i njezine posljednje štetnosti. Točno mjerenje i analiza štetnosti složeniji su od procjene vjerojatnosti, a štetnost je velik izazov u raznim industrijama. Logistička regresija, koja je česta u medicinskim i društvenim znanostima, ali rijetka u istraživanjima zaštite na radu, sve se češće primjenjuje za precizno predviđanje težine ozljede na radu. Kao inferencijalna statistička metoda, logistička regresija pomaže otkriti odnose između ovisnih i neovisnih varijabli. Ti odnosi mogu također podržati predviđanje težine ozljede na radu [18, 19].

U sklopu prethodnih istraživanja provedene su standardizirane logističke regresijske analize radi istraživanja ozljeda na radu. Utvrđivanje čimbenika i odnosa koji uzrokuju ozljede na radu može smanjiti broj i težinu nesreća.

Standardna regresijska analiza primijenjena je za utvrđivanje čimbenika koji utječu na ozljede na radu u građevinskoj industriji u Hong Kongu [20], istraživanje odnosa između ozljeda na radu i zdravstvenog stanja zaposlenika u Libanonu [21], ispitivanje povezanosti karakteristika zaposlenika i vjerojatnosti ozljede u ozljedama na radu u građevinskoj industriji u Sjedinjenim Američkim Državama [22] te identificiranje čimbenika koji utječu na ozljede na radu sa smrtnim ishodom u rudarskoj industriji [23]. Standardna binarna logistička regresija primijenjena je za predviđanje indeksa težine ozljede za ozljede na radu u dvije kategorije (više od devet i devet ili manje) pomoću varijabli iz podataka o ozljedama na radu u građevinskoj industriji [18]. U rudarskoj industriji izgubljeni radni dani zbog nesmrtnih nesreća u površinskom rudniku predviđani su pomoću varijabli kao što su zanimanje, radno područje, dob zaposlenika, uzrok nesreće i mjesto ozljede standardnom binarnom logističkom regresijom u dvije kategorije (dulje od tri dana i tri dana ili kraće) [24]. Također je primijenjena u građevinskoj industriji za predviđanje ishoda ozljeda na radu zbog padova s visine u dvije kategorije (smrtni ishod i nesmrtni ishod) na temelju varijabli vezanih uz zaposlenike koji rade na krovovima i njihove radne uvjete [25]. Primjenjuju se metode stabla odluke, slučajne šume i AdaBoost za utvrđivanje stupnja utjecaja varijabli, uključujući dob, spol, duljinu radnog

staža zaposlenika na gradilištima, vrstu gradnje, veličinu poslodavca i datum nesreće, na ishode nesreća u dvije kategorije (ozljede na radu sa smrtnim ishodom i ozljede na radu bez smrtnog ishoda) [26]. Ishodi nesreća predviđani su u dvije kategorije (s rezultatom ili bez rezultata u gubitku radnog dana) standardnom binarnom logističkom regresijskom analizom primjenom varijable vezane uz individualne i radne karakteristike zaposlenika u cestogradnji kao što su dob, spol, bračni status, osposobljavanje za zaštitu na radu, iskustvo, obrazovanje, zanimanje, godišnje doba i mjesto nesreće te materijal koji je uzrokovao nesreću [19]. Također je primijenjena za predviđanje ishoda ozljeda na radu u dvije kategorije (smrtna i nesmrtna), koristeći varijable iz skupa podataka o ozljedama na radu u građevinskoj industriji [27]. Jedno istraživanje kombiniralo je višestruku logističku regresiju sa strojem vektorske potpore, C5.0 stablom odluke, stohastičkim gradijentnim *boostanjem* i neuronskim mrežama kako bi se utvrdilo kako individualne i radne varijable utječu na ishode nesreća u dvjema kategorijama (smrtna i nesmrtna ozljede) [28].

Prema saznanjima, u literaturi postoji malo istraživanja koja primjenjuju regulariziranu regresiju radi smanjenja nestabilnosti i multikolinearnosti u standardnoj binarnoj logističkoj regresiji, čime se poboljšava učinkovitost modela robusnijim regresijskim koeficijentima. Ta su istraživanja primjenjivala Firthovu logističku regresiju [29] te logističke regresijske modele Firth, Lasso i Elastic Net [30] za predviđanje ishoda ozljeda na radu u dvije kategorije (smrtna/nesmrtna) na temelju podataka o svim ozljedama na radu, neovisno o industriji. U drugom se istraživanju pokušalo predvidjeti učestalost nesreća, gubitak radnog dana i težinu ozljede u dvije kategorije (smrtna/nesmrtna) pomoću linearnih regresijskih modela Lasso, Elastic Net i Adaptive Lasso na temelju podataka o nesrećama, tržištu rada, ekonomskim čimbenicima i strukturnim obilježjima proizvodnje [31]. U građevinskoj industriji pronađeno je samo jedno istraživanje u sklopu kojeg je primijenjena regularizirana regresija. U tom su istraživanju regularizirani logistički regresijski modeli Firth, Ridge, Lasso i Elastic Net primijenjeni uz standardnu binarnu logističku regresiju za predviđanje gubitka radnog dana uslijed ozljeda na radu u dvije kategorije (više od tri dana, tri dana ili manje) [32].

Ta istraživanja pokazuju da je logistička regresija učinkovito primijenjena za identifikaciju čimbenika koji utječu na ozljede na radu i kvantificiranje njihova učinka. Unatoč poduzetim mjerama i provedenim istraživanjima, visoka stopa incidencije i težina ozljeda na radu u građevinskoj industriji zahtijevaju dodatna istraživanja. Za razliku od prethodnih radova koji su koristili ograničene podatke iz jedne regije ili iz nekoliko područja građevinske industrije, ovo istraživanje analiziralo je podatke o 434.314 službeno prijavljenih ozljeda na radu u građevinskoj industriji u razdoblju od 2012. do 2021. Ovo je prvo istraživanje koje primjenjuje ordinalnu logističku regresiju za predviđanje vjerojatnosti ozljeda na radu na temelju

individualnih i profesionalnih karakteristika zaposlenika, pri čemu se dobivaju četiri kategorije. Podaci obuhvaćaju razdoblje od deset godina nakon što je donesen Zakon br. 6331 o zaštiti na radu, posebnog zakona o zaštiti na radu u Turskoj. Zato ovo istraživanje doprinosi literaturi otkrivanjem učinkovitosti praksi provedenih u industriji i u skladu sa zakonodavstvom tijekom navedenog razdoblja.

Prema saznanjima autora, ovo je prvo istraživanje koje analizira ozljede na radu u građevinskoj industriji primjenom ordinalne logističke regresije s četirima ordinalnim kategorijama ishoda ozljede, čime se odstupa od dosad primjenjivanih standardnih i regulariziranih modela binarne logističke regresije.

2. Podaci i metoda analize

Ovo istraživanje analiziralo je službeno prijavljene ozljede na radu u građevinskoj industriji u Turskoj u razdoblju od 2012. do 2021. Obrazac za prijavu ozljede na radu i profesionalne bolesti, koji sadržava osobne podatke o žrtvi te razne detalje o radnome mjestu i samoj nesreći, a koji poslodavci u Turskoj moraju dostaviti Zavodu za socijalno osiguranje (eng. *Social Security Institution* – SSI) nakon ozljede na radu, jedini je službeni izvor podataka te zato čini vrijednu bazu podataka za statističku analizu.

U ovome istraživanju analizirani su obrasci dostavljeni Zavodu za socijalno osiguranje povezani s nesrećama u građevinskoj industriji pod brojem dozvole 112604-753 od 24. veljače 2025. Svaki je obrazac pregledan i kodiran za statističku analizu, a varijable su kategorizirane u potkategorije kako bi se generirao skup podataka za istraživanje.

Skup podataka obuhvaćao je varijable žrtve kao što su obrazovna pozadina, bračni status, dob, ukupno radno iskustvo, zanimanje, osposobljavanje za zaštitu na radu i stručno osposobljavanje te varijable vezane uz nesreću poput ishoda nesreće, okružja, mjesta, regije, vremena, godine i mjeseca nastanka.

Težina ozljede klasificirana je u sljedeće četiri ordinalne kategorije: (1) nastavak rada, (2) ozljeda, (3) gubitak uda i (4) smrt. Za tu klasifikaciju bila je potrebna ordinalna logistička regresija, jer su ovisne varijable bile i kategorijalne i ordinalne [33]. Taj sveobuhvatni skup varijabli obuhvaća multidimenzionalne učinke na težinu ozljede.

Nakon pregleda frekvencijskih tablica za varijable razvijen je model ordinalne logističke regresije za predviđanje vjerojatnosti težine ozljeda na radu u građevinskoj industriji.

Frekvencijska analiza raspodjele potkategorija za varijable žrtava nesreća u kategoriziranome skupu podataka prikazana je u tablici 1., a rezultati frekvencijske analize za varijable nesreća prikazani su u tablici 2. Ova analiza poslužila je kao osnova za kasnije multivarijatne analize [34, 35].

Neusklađenost broja nesreća u potkategoriji "Mjesto ozljede" ("na radnom mjestu") i potkategoriji "Okružje nesreće" ("tijekom rada") povezana je s propisima Zavoda za socijalno osiguranje. Prema Zakonu o socijalnom osiguranju br. 5510, Zavod za socijalno osiguranje priznaje samo one nesreće koje su prijavljene kao ozljede na radu ako su se dogodile unutar

Tablica 1. Rezultati frekvencijske analize varijabli vezanih uz zaposlenike uključene u nesreće

| Varijabla | Potkategorije varijabli | Frekvencija | Omjer frekvencije [%] |
|---|---|-------------|-----------------------|
| Bračni status (eng. <i>Marital Status</i> - MS) | Samci, razvedeni, udovci (MS1) | 168.919 | 38,9 |
| | Oženjen (MS2) | 265.395 | 61,1 |
| Obrazovna pozadina (eng. <i>Educational Background</i> - EB) | Nepismen (EB1) | 2.998 | 0,7 |
| | Pismen (EB2) | 73.505 | 16,9 |
| | Osnovna škola (EB3) | 132.061 | 30,4 |
| | Niža osnovna škola (EB4) | 124.889 | 28,8 |
| | Srednja strukovna škola (EB5) | 8.833 | 2,0 |
| | Srednja škola (EB6) | 75.971 | 17,5 |
| | Strukovna škola (EB7) | 9.234 | 2,1 |
| | Sveučilište (EB8) | 6.669 | 1,5 |
| | Poslijediplomski (EB9) | 154 | 0,0 |
| Osposobljavanje za zaštitu na radu (eng. <i>OHS Training</i> - OT) | Ne (OT1) | 31.128 | 7,2 |
| | Da (OT2) | 403.186 | 92,8 |
| Stručno osposobljavanje (eng. <i>Vocational Training</i> - VT) | Ne (VT1) | 90.953 | 20,9 |
| | Da (VT2) | 343.361 | 79,1 |
| Zanimanje (eng. <i>Occupation</i> - O) | Rukovoditelji (O1) | 36.459 | 8,4 |
| | Stručnjaci (O2) | 9.937 | 2,3 |
| | Tehničari, tehničko osoblje i stručnjaci za podršku (O3) | 41.852 | 9,6 |
| | Uredsko osoblje (O4) | 1.985 | 0,5 |
| | Osoblje u uslužnim djelatnostima i prodaji (O5) | 5.102 | 1,2 |
| | Kvalificirano osoblje u poljoprivredi, šumarstvu i ribarstvu (O6) | 1.021 | 0,2 |
| | Obrtnici i zaposlenici u srodnim djelatnostima (O7) | 183.817 | 42,3 |
| | Rukovatelji postrojenjima i strojevima te monterima (O8) | 37.281 | 8,6 |
| | Zanimanja za koja nisu potrebne kvalifikacije (O9) | 116.860 | 26,9 |
| Dob (eng. <i>Age</i> - A) | Manje od 25 (A1) | 101.937 | 23,5 |
| | 25 – 34 (A2) | 135.491 | 31,2 |
| | 35 – 44 (A3) | 103.852 | 23,9 |
| | 45 – 54 (A4) | 71.414 | 16,4 |
| | 55 – 64 (A5) | 20.285 | 4,7 |
| | 65 i stariji (A6) | 1.335 | 0,3 |
| Ukupno radno iskustvo (eng. <i>Overall Experience</i> - OE) | Manje od 6 godina (OE1) | 104.190 | 24,0 |
| | 6 – 12 godina (OE2) | 122.930 | 28,3 |
| | 13 – 18 godina (OE3) | 68.103 | 15,7 |
| | 19–24 godine (OE4) | 54.736 | 12,6 |
| | Više od 24 godine (OE5) | 84.355 | 19,4 |

granica radnog mjesta, dok poslodavac upućuje zaposlenika izvan radnog mjesta tijekom stanke za dojenje, unutar ili izvan radnog mjesta ili tijekom prijevoza koji osigurava poslodavac. Od ukupno 358.577 ozljeda na radu za koje je prijavljeno da su se dogodile na radnome mjestu 357.131 dogodila se tijekom

radnog vremena (336.567) ili pauze (20.564). Osim potkategorije "izvan radnog mjesta", nijedna od ostalih potkategorija ne navodi detaljno jesu li se ozljede dogodile unutar ili izvan granica radnog mjesta. Zato se broj ozljeda u potkategorijama "Okruženje nesreće" i "Mjesto nesreće" ne podudara u cijelosti.

Tablica 2. Rezultati frekvencijske analize varijabli vezanih uz nesreću

| Varijabla | Potkategorije varijabli | Frekvencija | Omjer frekvencije [%] | Varijabla | Potkategorije varijabli | Frekvencija | Omjer frekvencije [%] |
|--|---|-------------|-----------------------|--|-------------------------|-------------|-----------------------|
| Vrijeme nesreće (eng. Time of the Accident - TA) | 00.00 – 2.00 (TA1) | 5419 | 1,2 | Mjesec nesreće (eng. Month of the Accident - MA) | Siječanj (MA1) | 38.895 | 6,7 |
| | 2.00 – 4.00 (TA2) | 5635 | 1,3 | | Veljača (MA2) | 37.938 | 6,5 |
| | 4.00 – 6.00 (TA3) | 4277 | 1,0 | | Ožujak (MA3) | 45.747 | 7,9 |
| | 6.00 – 8.00 (TA4) | 7670 | 1,8 | | Travanj (MA4) | 44.475 | 7,7 |
| | 8.00 – 10.00 (TA5) | 70.672 | 16,3 | | Svibanj (MA5) | 49.236 | 8,5 |
| | 10.00 – 12.00 (TA6) | 107.891 | 24,8 | | Lipanj (MA6) | 48.628 | 8,4 |
| | 12.00 – 14.00 (TA7) | 49.655 | 11,4 | | Srpanj (MA7) | 54.497 | 9,4 |
| | 14.00 – 16.00 (TA8) | 86.714 | 20,0 | | Kolovoz (MA8) | 53.713 | 9,2 |
| | 16.00 – 18.00 (TA9) | 62.010 | 14,3 | | Rujan (MA9) | 54.633 | 9,4 |
| | 18.00 – 20.00 (TA10) | 16.698 | 3,8 | | Listopad (MA10) | 53.573 | 9,2 |
| | 20.00 – 22.00 (TA11) | 10.243 | 2,4 | | Studeni (MA11) | 51.797 | 8,9 |
| | 22.00 – 24.00 (TA12) | 7430 | 1,7 | | Prosinac (MA12) | 47.793 | 8,2 |
| Ishod nesreće (eng. Accident Outcome - AO) | Bez nesposobnosti (AO1) | 197.003 | 45,4 | Regija nesreće (eng. Province of the Accident - PA) | Ankara (PA1) | 37.526 | 8,6 |
| | Ozljeda (AO2) | 232.027 | 53,4 | | Istanbul (PA2) | 138.011 | 31,8 |
| | Gubitak uda (AO3) | 1039 | 0,2 | | Izmir (PA3) | 33.994 | 7,8 |
| | Smrt (AO4) | 4245 | 1,0 | | Ostalo (PA4) | 224.783 | 51,8 |
| Okružje nesreće (eng. Accident Environment - AE) | Tijekom pauze (AE1) | 20.564 | 4,7 | Godina nesreće (eng. Year of the Accident - YA) | 2012 (YA1) | 18.111 | 3,1 |
| | Tijekom rada (AE2) | 336.567 | 77,5 | | 2013 (YA2) | 26.922 | 4,6 |
| | Na roditeljskom dopustu (AE3) | 214 | 0,0 | | 2014 (YA3) | 29.919 | 5,2 |
| | Rad izvan radnog mjesta (AE4) | 20.890 | 4,8 | | 2015 (YA4) | 33.894 | 5,8 |
| | Vožnja kući s posla (AE5) | 3430 | 0,8 | | 2016 (YA5) | 44.362 | 7,6 |
| | Vožnja na posao od kuće (AE6) | 49.687 | 11,4 | | 2017 (YA6) | 61.985 | 10,7 |
| | Na putu kući s posla službenim prijevozom (AE7) | 1261 | 0,3 | | 2018 (YA7) | 75.880 | 13,1 |
| | Na putu na posao od kuće službenim prijevozom (AE8) | 1701 | 0,4 | | 2019 (YA8) | 46.038 | 7,9 |
| Mjesto nesreće (eng. Location of the Accident - LA) | Na radnom mjestu (LA1) | 358.777 | 82,6 | | 2020 (YA9) | 42.004 | 7,2 |
| | Izvan radnog mjesta (LA2) | 75.537 | 17,4 | | 2021 (YA10) | 55.350 | 9,5 |

2.1. Analiza ordinalne logističke regresije

Analiza ordinalne logističke regresije uobičajena je statistička metoda koja se primjenjuje za ispitivanje odnosa između ovisne varijable mjerene na ordinalnoj skali s najmanje trima kategorijama i neovisnih varijabli mjerenih na kategorijskoj ili kontinuiranoj skali [33]. Pretpostavka proporcionalnih omjera na kojoj se temelji ovaj model ključna je pretpostavka u analizi [36]. Prema toj pretpostavci, odnos između ovisne i neovisnih varijabli ne mijenja se kroz kategorije ovisne varijable [37, 38].

Analiza ordinalne logističke regresije pretpostavlja da opažena kontinuirana latentna slučajna varijabla Y^* leži u osnovi kategorijski mjerene ovisne varijable Y . Uzastopni intervali na kontinuiranoj ravnini, koji se nazivaju granične vrijednosti, odgovaraju kategorijama varijable [33]. Neopažena varijabla Y^* izražava se kao što je to prikazano u izrazu (1), gdje vrijedi: $\theta_{s-1} < Y^* < \theta_s$, $s = 1, \dots, j$ i $\theta_0 = -\infty$ te $\theta_j = +\infty$ [39].

$$Y^* = \sum_{k=1}^K \beta_k \chi_k + \varepsilon \tag{1}$$

U izrazu (1) θ označava graničnu vrijednost, χ_k vektor neovisnih varijabli, β_k vektor parametara, a ε član pogreške. Odnos između opažene varijable Y i neopažene varijable Y^* prikazan je izrazom (2) [40].

$$y = \begin{cases} 1 & \text{ako } y_i^* \leq \theta_1 \\ 2 & \text{ako } \theta_1 \leq y_i^* \leq \theta_2 \\ 3 & \text{ako } \theta_2 \leq y_i^* \leq \theta_3 \\ \vdots & \vdots \\ j & \text{ako } \theta_{j-1} \leq y_i^* \end{cases} \quad (2)$$

Vrijednosti θ u izrazu (2) predstavljaju granične vrijednosti koje razdvajaju kategorije ovisne varijable. Ukupna vjerojatnost da ovisna varijabla za neovisne varijable pripada kategoriji k izražena je izrazom (3):

$$Prob(y = j | x) = F\left[\theta_j - \sum_{k=1}^K \beta_k \chi_k\right] - F\left[\theta_{j-1} - \sum_{k=1}^K \beta_k \chi_k\right] \quad (3)$$

U izrazu (3) F označava distribucijsku funkciju člana pogreške i pretpostavlja se da slijedi logističku distribuciju. Povezničke funkcije u ordinalnoj logističkoj regresiji transformacije su kumulativnih vjerojatnosti, kako je to prikazano u tablici 3 [41]. Izraz (4) prikazuje vjerojatnosti da neovisne varijable pripadnu kategorijama ovisne varijable u ordinalnoj regresijskoj analizi, gdje je L funkcija raspodjele logita [42].

$$Prob(y = 1) = L\left(-\sum_{k=1}^K x_k \beta_k\right)$$

$$Prob(y = 2) = L\left(\theta_2 - \sum_{k=1}^K x_k \beta_k\right) - L\left(-\sum_{k=1}^K x_k \beta_k\right)$$

$$Prob(y = 3) = L\left(\theta_3 - \sum_{k=1}^K x_k \beta_k\right) - L\left(\theta_2 - \sum_{k=1}^K x_k \beta_k\right)$$

$$Prob(y = j) = 1 - L\left(\theta_{j-1} - \sum_{k=1}^K x_k \beta_k\right) \quad (4)$$

Tablica 3. Povezničke funkcije ordinalne logističke regresije

| Funkcija | Oblik | Pojedinosti |
|------------------------|----------------------------------|--|
| Logit | $\log\left(\frac{x}{1-x}\right)$ | Kategorije su raspoređene ravnomjerno. |
| Komplementarni log-log | $\log(-\log(1-x))$ | Vjerojatnost viših kategorija je veća. |
| Negativni log-log | $-\log(-\log(x))$ | Vjerojatnost nižih kategorija je veća. |
| Probit | $F^{-1}(x)$ | Varijabla je normalno raspodijeljena. |
| Couchit | $\tan(\pi(x - 0.5))$ | Varijabla ima ekstremne vrijednosti. |

Ključna točka u tumačenju predviđanja parametara jest ta da pozitivni β koeficijenti upućuju na to da povećanje neovisne varijable povećava vjerojatnost opažanja ovisne varijable u višim kategorijama [43]. Prema literaturi, vrijednosti $\exp(\beta)$ koriste se za izračunavanje omjera izgleda, a pri tumačenju rezultata treba uzeti u obzir i ostale varijable [44].

Preporučuje se da se pretpostavke modela testiraju metodama kao što su Brantov test [45] ili *score*-testovi. Kada je pretpostavka proporcionalnih omjera narušena, treba razmotriti alternativne pristupe poput generaliziranoga ordinalnog logita ili modela djelomičnih proporcionalnih omjera.

Metodološka razmatranja uključuju osiguravanje odgovarajuće veličine uzorka, procjenu problema multikolinearnosti i vrednovanje prilagodbe modela. Informacijski kriteriji kao što su Hosmer-Lemeshow test, Akaikeov informacijski kriterij (AIC) i Bayesov informacijski kriterij (BIC) također su ključni pri odabiru modela.

Zaključno, pridržavanje rigorozne metodologije i provođenje odgovarajućih statističkih provjera u analizama ordinalne logističke regresije ključno je za dobivanje valjanih rezultata.

3. Rezultati analize

3.1. Trendovi u učestalosti nesreća i stopama incidencije

Deskriptivna analiza ozljeda na radu u turskoj građevinskoj industriji između 2012. i 2021. otkrila je znatan uzlazni trend i u apsolutnome broju nesreća i u stopama incidencije. Kao što je to prikazano u tablici 4., broj nesreća povećao se s 18.110 u 2012. na 55.207 u 2021. Još važnije, stopa incidencije, koja predstavlja broj nesreća na 1000 zaposlenih, utrostručila se tijekom tog razdoblja, odnosno porasla je s 10,12 u 2012. na 33,85 u 2021. Najviša stopa incidencije zabilježena je 2018. (IR = 47,39), što upozorava na to da je rizik od nesreća rastao znatno brže od širenja radne snage u industriji.

Kako bi se dobio sveobuhvatan pregled regionalne raspodjele rizika, u tablici 5. prikazane su godišnje stope incidencije za tri najveće regije (Istanbul, Ankara i Izmir), zajedno s nacionalnim prosjekom za ostale regije. Ti longitudinalni podaci pokazuju da, iako je apsolutni broj nesreća najveći u Istanbulu, relativni rizik na 1000 zaposlenih pokazuje volatilni, ali općenito rastući trend u svim regijama.

Kao što je to prikazano u tablici 5., stope incidencije u Ankari i Izmiru često su nadmašivale one u Istanbulu, osobito 2018. i 2021. To upozorava na to da je velik broj nesreća u Istanbulu

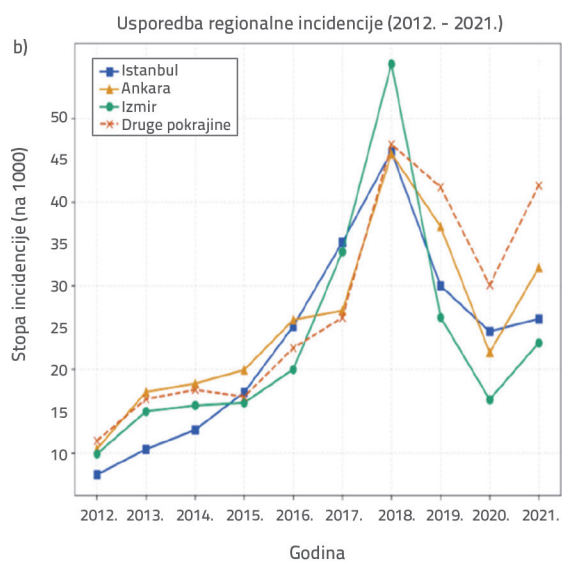
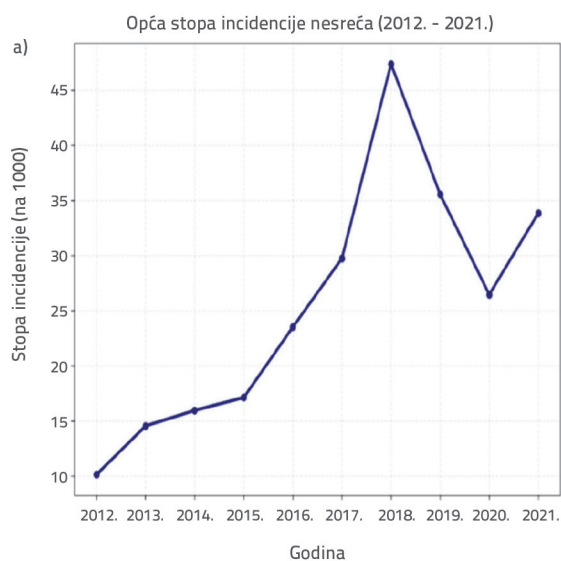
Tablica 4. Godišnji broj nesreća i stope incidencije u građevinskoj industriji (2012. – 2021.)

| Godina | Nesreće (n) | Ukupno zaposlenih (N) | Stopa incidencije (SI) |
|--------|-------------|-----------------------|------------------------|
| 2012. | 18.110 | 1.789.487 | 10,12 |
| 2013. | 26.921 | 1.851.942 | 14,54 |
| 2014. | 29.918 | 1.876.129 | 15,95 |
| 2015. | 33.893 | 1.980.130 | 17,12 |
| 2016. | 44.362 | 1.887.099 | 23,51 |
| 2017. | 61.982 | 2.083.431 | 29,75 |
| 2018. | 75.880 | 1.601.184 | 47,39 |
| 2019. | 46.038 | 1.294.688 | 35,56 |
| 2020. | 42.003 | 1.587.666 | 26,46 |
| 2021. | 55.207 | 1.630.740 | 33,85 |

Tablica 5. Regionalne stope incidencije (SI) nesreća na 1000 zaposlenih (2012. – 2021.)

| Godina | Istanbul (SI) | Ankara (SI) | Izmir (SI) | Ostale regije (SI) |
|--------|---------------|-------------|------------|--------------------|
| 2012. | 7,42 | 10,47 | 9,90 | 11,46 |
| 2013. | 10,45 | 17,30 | 14,97 | 16,45 |
| 2014. | 12,76 | 18,31 | 15,69 | 17,56 |
| 2015. | 17,25 | 19,94 | 16,02 | 16,74 |
| 2016. | 25,16 | 25,92 | 20,01 | 22,56 |
| 2017. | 35,22 | 27,03 | 34,08 | 26,20 |
| 2018. | 46,03 | 45,78 | 56,52 | 46,91 |
| 2019. | 29,99 | 37,09 | 26,24 | 41,79 |
| 2020. | 24,54 | 22,02 | 16,40 | 30,10 |
| 2021. | 26,05 | 32,17 | 23,19 | 42,01 |

Napomena: Stope incidencije (eng. *incidence rates*) izračunane su kao $(n/N) \times 1000$. Fluktuacije između 2018. i 2021. bile su povezane s promjenama gospodarskih aktivnosti i ograničenjima na radnome mjestu uzrokovanim pandemijom.



Slika 1. Distribucija stopa incidencije nesreća u turskoj građevinskoj industriji (2012. – 2021.): a) Vremenska, b) Regionalna

razmjeran njegovoj velikoj radnoj snazi, dok se u drugim regijama pojavljuju veći relativni rizici, neovisno o ukupnoj veličini radne snage. Takav rastući rizik, koji nadilazi jednostavan demografski rast, učinkovito umanjuje zabrinutost oko "pristranosti prema veličini" i opravdava prelazak s deskriptivne statistike na napredno prediktivno modeliranje ordinalnom logističkom regresijom radi istraživanja složenih čimbenika koji utječu na težinu ozljede.

Kao što je to prikazano na slici 1.a, nacionalna stopa incidencije pokazala je nagli uzlazni trend tijekom desetljeća, dosegnuvši vrhunac 2018. prije nego što je došlo do relativne stabilizacije. Oštre fluktuacije zabilježene između 2018. i 2021. povezane su s promjenama u gospodarskim aktivnostima i transformativnim utjecajem pandemije COVID-19 na građevinske aktivnosti. Međutim, dosljedan ukupni porast u odnosu na razinu iz 2012. potvrđuje da su izazovi zaštite na radu u sektoru postali izraženiji, a ne manji.

Regionalna usporedba prikazana na desnome panelu slike 1.b dodatno razbija pojednostavljene pretpostavke o "pristranosti prema veličini". Iako Istanbul bilježi najveći apsolutni broj nesreća, regije poput Izmira i Ankare u određenim su godinama imale znatno veće relativne rizike (stope incidencije). Ta volatilnost upućuje na to da su industrijska gustoća regije i lokalizirana kultura sigurnosti snažniji pokretači učestalosti nesreća od samog ukupnog broja zaposlenih.

3.2. Analiza ordinalne logističke regresije

Ovo istraživanje primjenjuje ordinalnu logističku regresiju za analizu čimbenika koji utječu na težinu ozljeda na radu u turskoj građevinskoj industriji u razdoblju od 2012. do 2021. U skladu s najboljim metodološkim praksama i radi osiguranja prediktivne valjanosti rezultata skup podataka ($N = 434.134$) podijeljen je na 70 % skupa za učenje ($N = 304.019$) za procjenu modela i 30 % neovisnog skupa za testiranje ($N = 130.295$) za validaciju. Kako bi se obuhvatili suptilni učinci vremenskih, demografskih i okolišnih čimbenika, neovisne varijable uključene su u model kao kategorijske prediktorske varijable kodirane pomoću lažnih varijabli.

Tablica 8. Rezultati analize ordinalne logističke regresije (puni model: $N = 304.019$)

| Grupa varijabli | Varijabla | Koef. (B) | Standardna pogreška | z-vrijednost | p-vrijednost | Omjer izgleda | Značajnost |
|------------------------------|-----------|-----------|---------------------|--------------|--------------|---------------|------------|
| Godina nesreće (Ref: YA1) | YA2 | 0,180 | 0,024 | 7,548 | 0,000 | 1,198 | *** |
| | YA3 | 0,148 | 0,024 | 6,253 | 0,000 | 1,159 | *** |
| | YA4 | 0,026 | 0,023 | 1,116 | 0,264 | 1,026 | |
| | YA5 | -0,353 | 0,022 | -15,993 | 0,000 | 0,702 | *** |
| | YA6 | -0,548 | 0,021 | -25,785 | 0,000 | 0,578 | *** |
| | YA7 | -0,506 | 0,021 | -24,170 | 0,000 | 0,603 | *** |
| | YA8 | -0,396 | 0,022 | -18,006 | 0,000 | 0,673 | *** |
| | YA9 | -0,316 | 0,022 | -14,197 | 0,000 | 0,729 | *** |
| | YA10 | -0,078 | 0,053 | -1,484 | 0,138 | 0,925 | |

3.2.1. Pretpostavke modela i prilagođenost modela

Temeljna "pretpostavka proporcionalnih omjera" (poznata i kao pretpostavka paralelnih linija) ponovno je ispitana na 70 % skupa za učenje pomoću Brant testa. Kao što je to prikazano u tablici 6., rezultati ($\chi^2 = 89,52$, $df = 73$, $p = 0,091$) pokazuju da pretpostavka paralelnih linija nije narušena. Iako su se statistike testa promijenile zbog revidirane veličine uzorka i uključivanja detaljnih lažnih varijabli, p-vrijednost ostala je iznad granične vrijednosti od 0,05, što opravdava upotrebu okvira ordinalne logističke regresije.

Tablica 6. Test pretpostavke proporcionalnih omjera

| Varijabla | Hi-kvadrat | P > χ^2 | Stupnjevi slobode |
|-----------|------------|--------------|-------------------|
| Sve | 89,52 | 0,091 | 73 |

Ukupna značajnost i prikladnost uspostavljenog modela procijenjene su pomoću hi-kvadrat testa omjera vjerojatnosti (LR) na skupu podataka za treniranje. U tablici 7. prikazan je sažetak statistika prilagodbe modela.

Tablica 7. Test prilagodbe modela

| Test varijable | Vrijednost |
|--|-------------|
| Log vjerojatnost | -225.331,70 |
| LR hi-kvadrat (χ^2) | 7.301,98 |
| Stupanj slobode (df) | 73 |
| Vjerojatnost > χ^2 (p-vrijednost) | < 0,001 |

Uzimajući u obzir 73 stupnja slobode, visoka vrijednost LR Chi-kvadrat testa (7.301,98) upućuje na to da je model statistički značajan na razini 0,001. Ti nalazi potvrđuju odbacivanje nulte hipoteze, prema kojoj model s prediktorima ne daje bolju prilagodbu od modela koji sadržava samo presretanje. Time se pokazuje da je model robusan te da su uključeni vremenski, demografski i okolišni čimbenici snažni prediktori težine ozljede u ovome velikom skupu podataka.

Tablica 8. Rezultati analize ordinalne logističke regresije (puni model: N = 304.019) - nastavak

| Grupa varijabli | Varijabla | Koef. (B) | Standardna pogreška | z-vrijednost | p-vrijednost | Omjer izgleda | Značajnost |
|--|-----------|-----------|---------------------|--------------|--------------|---------------|------------|
| Mjesec ozljede na radu (Ref: MA1) | MA2 | 0,180 | 0,020 | 8,982 | 0,000 | 1,197 | *** |
| | MA3 | 0,194 | 0,019 | 10,111 | 0,000 | 1,214 | *** |
| | MA4 | 0,172 | 0,019 | 8,954 | 0,000 | 1,188 | *** |
| | MA5 | 0,123 | 0,019 | 6,518 | 0,000 | 1,131 | *** |
| | MA6 | 0,123 | 0,019 | 6,457 | 0,000 | 1,131 | *** |
| | MA7 | 0,140 | 0,018 | 7,593 | 0,000 | 1,150 | *** |
| | MA8 | 0,070 | 0,019 | 3,723 | 0,000 | 1,072 | *** |
| | MA9 | 0,129 | 0,019 | 6,829 | 0,000 | 1,137 | *** |
| | MA10 | 0,130 | 0,019 | 6,936 | 0,000 | 1,138 | *** |
| | MA11 | 0,148 | 0,019 | 7,894 | 0,000 | 1,160 | *** |
| | MA12 | 0,143 | 0,019 | 7,478 | 0,000 | 1,154 | *** |
| Vrijeme nesreće (Ref: TA1) | TA2 | 0,133 | 0,046 | 2,884 | 0,004 | 1,142 | *** |
| | TA3 | 0,187 | 0,049 | 3,796 | 0,000 | 1,206 | *** |
| | TA4 | 0,236 | 0,043 | 5,437 | 0,000 | 1,266 | *** |
| | TA5 | 0,212 | 0,034 | 6,243 | 0,000 | 1,236 | *** |
| | TA6 | 0,179 | 0,034 | 5,334 | 0,000 | 1,196 | *** |
| | TA7 | 0,125 | 0,034 | 3,627 | 0,000 | 1,133 | *** |
| | TA8 | 0,103 | 0,034 | 3,045 | 0,002 | 1,108 | *** |
| | TA9 | 0,086 | 0,034 | 2,517 | 0,012 | 1,090 | ** |
| | TA10 | 0,148 | 0,038 | 3,928 | 0,000 | 1,160 | *** |
| | TA11 | -0,033 | 0,040 | -0,815 | 0,415 | 0,968 | |
| | TA12 | 0,050 | 0,043 | 1,171 | 0,242 | 1,052 | |
| Regija nesreće (Ref: PA1) | PA2 | -0,007 | 0,014 | -0,476 | 0,634 | 0,993 | |
| | PA3 | 0,065 | 0,018 | 3,605 | 0,000 | 1,068 | *** |
| | PA4 | 0,098 | 0,014 | 7,258 | 0,000 | 1,103 | *** |
| Dob (Ref: A1) | A2 | -0,055 | 0,014 | -3,900 | 0,000 | 0,946 | *** |
| | A3 | 0,004 | 0,018 | 0,254 | 0,800 | 1,004 | |
| | A4 | 0,081 | 0,021 | 3,888 | 0,000 | 1,084 | *** |
| | A5 | 0,152 | 0,026 | 5,840 | 0,000 | 1,165 | *** |
| | A6 | 0,251 | 0,072 | 3,512 | 0,000 | 1,286 | *** |
| Bračni status (Ref: MS1) | MS2 | 0,045 | 0,010 | 4,482 | 0,000 | 1,046 | *** |
| Obrazovna pozadina (Ref: EB1) | EB2 | -0,114 | 0,045 | -2,510 | 0,012 | 0,892 | ** |
| | EB3 | -0,098 | 0,045 | -2,182 | 0,029 | 0,906 | ** |
| | EB4 | -0,026 | 0,045 | -0,587 | 0,557 | 0,974 | |
| | EB5 | 0,036 | 0,052 | 0,697 | 0,486 | 1,037 | |
| | EB6 | -0,044 | 0,045 | -0,960 | 0,337 | 0,957 | |
| | EB7 | -0,087 | 0,051 | -1,697 | 0,090 | 0,916 | * |
| | EB8 | -0,197 | 0,054 | -3,624 | 0,000 | 0,821 | *** |
| | EB9 | -0,207 | 0,200 | -1,034 | 0,301 | 0,813 | |
| Osposobljavanje za zaštitu na radu (Ref: OT1) | OT2 | -0,126 | 0,017 | -7,622 | 0,000 | 0,882 | *** |
| Stručno osposobljavanje (Ref: VT1) | VT2 | -0,095 | 0,010 | -9,465 | 0,000 | 0,910 | *** |

Tablica 8. Rezultati analize ordinalne logističke regresije (puni model: N = 304.019) - nastavak

| Grupa varijabli | Varijabla | Koef. (B) | Standardna pogreška | z-vrijednost | p-vrijednost | Omjer izgleda | Značajnost |
|-------------------------------------|-----------|---------------|---------------------|-------------------------|--------------|---------------|------------|
| Zanimanje (Ref: O1) | O2 | -0,063 | 0,029 | -2,195 | 0,028 | 0,939 | ** |
| | O3 | 0,052 | 0,024 | 2,212 | 0,027 | 1,054 | ** |
| | O4 | 0,181 | 0,059 | 3,095 | 0,002 | 1,199 | *** |
| | O5 | 0,186 | 0,041 | 4,475 | 0,000 | 1,204 | *** |
| | O6 | 0,053 | 0,077 | 0,688 | 0,491 | 1,054 | |
| | O7 | 0,115 | 0,025 | 4,607 | 0,000 | 1,122 | *** |
| | O8 | 0,060 | 0,027 | 2,193 | 0,028 | 1,062 | ** |
| | O9 | 0,212 | 0,025 | 8,369 | 0,000 | 1,236 | *** |
| Ukupno radno iskustvo (Ref: OE1) | OE2 | 0,095 | 0,013 | 7,125 | 0,000 | 1,100 | *** |
| | OE3 | 0,146 | 0,017 | 8,849 | 0,000 | 1,157 | *** |
| | OE4 | 0,160 | 0,019 | 8,427 | 0,000 | 1,173 | *** |
| | OE5 | 0,161 | 0,020 | 8,135 | 0,000 | 1,175 | *** |
| Mjesto nesreće Ref: LA1) | LA2 | -0,039 | 0,046 | -0,840 | 0,401 | 0,962 | |
| Okružje nesreće (Ref: AE1) | AE2 | 0,084 | 0,018 | 4,635 | 0,000 | 1,087 | *** |
| | AE3 | 0,060 | 0,164 | 0,369 | 0,712 | 1,062 | |
| | AE4 | 0,242 | 0,050 | 4,820 | 0,000 | 1,274 | *** |
| | AE5 | 0,074 | 0,059 | 1,257 | 0,209 | 1,077 | |
| | AE6 | -0,016 | 0,052 | -0,302 | 0,763 | 0,985 | |
| | AE7 | -0,108 | 0,084 | -1,284 | 0,199 | 0,898 | |
| | AE8 | -0,087 | 0,078 | -1,115 | 0,265 | 0,916 | |
| Pragovi | Prag 1 | -0,072 | 0,005 | - | - | - | |
| | Prag 2 | 1,534 | 0,005 | - | - | - | |
| | Rez 3 | -1,506 | 0,008 | - | - | - | |
| Srednja vrijednost ovisne varijable | | 1,568 | | LR Chi-kvadrat | | | 7.301,98 |
| SD zavisne varijable | | 0,556 | | Vjerojatnost > \chi2 | | | 0,000 |
| Broj opažanja (N) | | 304.019 | | Akaikeov kriterij (AIC) | | | 450.809,41 |
| Pseudo R2 (McFadden) | | 0,016 | | Bayezeov kriterij (BIC) | | | 451.585,02 |

*** p < 0,01, ** p < 0,05, * p < 0,1.

3.2.2. Tumačenje regresijskih koeficijenata

Rezultati analize ordinalne logističke regresije (tablica 8.) identificirali su nekoliko ključnih prediktora težine ozljede. Nalazi modela interpretirani su pomoću procijenjenih koeficijenata (B) i omjera izgleda, čime je omogućen multidimenzionalni uvid u čimbenike rizika. Vremenska analiza u tablici 8. pokazuje da je težina ozljede na radu porasla 2013. (B = 0,180, p < 0,001) i 2014. (B = 0,148, p < 0,001) u odnosu na 2012., ali je nakon 2016. uslijedio znatan silazni trend. Konkretno, godine 2019. (B = -0,396, p < 0,001) i 2020. (B = -0,316, p < 0,001) povezane su s blažim posljedicama nesreća. Mjesečni podaci pokazuju da su veljača (B = 0,180) i ožujak (B = 0,194) razdoblja najvećeg rizika u usporedbi sa siječnjem. Nadalje, težina ozljede na radu doseže vrhunac u ranim jutarnjim satima (4.00 – 8.00) i ostaje znatno

viša tijekom večernjih (B = 0,065) i noćnih (B = 0,098) sati u odnosu na dnevno razdoblje, što se vjerojatno može pripisati smanjenoj vidljivosti i umoru.

Regionalni nalazi izravno adresiraju zabrinutosti vezane uz "pristranost prema veličini". Unatoč visokoj učestalosti nesreća, Istanbul nije pokazao statistički znatnu razliku u težini u odnosu na Ankaru (p = 0,634). Suprotno tomu, Izmir (B = 0,065, p < 0,001) i druge regije (B = 0,098, p < 0,001) imali su veću vjerojatnost za teže ishode. To potvrđuje da su regionalna industrijska gustoća i razina provedbe sigurnosnih mjera ključniji čimbenici za određivanje težine nego ukupni obujam radne snage. Demografska analiza pokazala je da se težina ozljede na radu progresivno povećava s dobi, pri čemu je najveći rizik zabilježen u dobnoj skupini 65+ (B = 0,251, p < 0,001). Zaposlenici u braku (B = 0,045, p < 0,001) također su imali nešto veću vjerojatnost za teže posljedice.

Ovaj model snažno potvrđuje zaštitnu ulogu obrazovanja i sigurnosnih intervencija. U usporedbi sa skupinom nepismenih, radnici s osnovnim ($B = -0,114$) ili srednjoškolskim obrazovanjem ($B = -0,098$) imali su manju težinu ozljede. Najvažnije, provedba osposobljavanja iz zaštite na radu ($B = -0,126$, $p < 0,001$) i stručnog osposobljavanja ($B = -0,095$, $p < 0,001$) znatno je smanjila vjerojatnost težih posljedica, naglašavajući da ciljana osposobljavanja učinkovito ublažavaju incidente visokog rizika. Radna mjesta znatno su utjecala na težinu, pri čemu su rukovatelji postrojenjima i strojevima ($B = 0,060$, $p < 0,05$) te nekvalificirani radnici ($B = 0,212$, $p < 0,001$) bili izloženiji većim rizicima u odnosu na rukovoditelje. Profesionalno iskustvo pokazalo je i trend povezan s radnim stažem. Radnici s više od 24 godine iskustva suočavali su se s većim rizicima nastanka težih ozljeda ($B = 0,161$, $p < 0,001$), što se može pripisati činjenici da stariji zaposlenici češće preuzimaju opasnije operativne zadatke. Uvjeti okoline u trenutku nesreće ključni su pokazatelji težine. Rad izvan radnog mjesta ($B = 0,242$, $p < 0,001$) i obavljanje aktivnosti tijekom rada ($B = 0,084$, $p < 0,001$) imali su najteže posljedice u usporedbi s pauzama. Nesreće koje su se dogodile tijekom vožnje iz kuće ($B = 0,262$) ili povratka kući s posla ($B = 0,360$) također su bile povezane sa znatno većom težinom, što upozorava na znatne rizike izvan tradicionalnih granica građevinske industrije.

3.2.3. Granične vrijednosti u modelu ordinalne logističke regresije

U modelu ordinalne logističke regresije, granične vrijednosti (eng. *cutoff points*) pragovi su koji određuju prijelaz između uzastopnih kategorija. One predstavljaju granice između promatranih ordinalnih kategorija i temeljnih kontinuiranih (latentnih) varijabli trenda. Tri granične vrijednosti (Cut) dobivene u modelu prikazane su i interpretirane kako slijedi:

Cut1 = $-0,072$, SE = $0,005$, 95% interval pouzdanosti = $[-0,082, -0,062]$

Cut2 = $1,534$, SE = $0,005$, 95% interval pouzdanosti = $[1,524, 1,544]$

Cut3 = $-1,506$, SE = $0,008$, 95% interval pouzdanosti = $[-1,522, -1,490]$

Granične vrijednosti dobivene primjenom modela ordinalne logističke regresije bile su statistički značajne. Predviđene

granične vrijednosti za model iznosile su: Cut1 = $-0,07$ (SE = $0,005$), Cut2 = $1,53$ (SE = $0,005$) i Cut3 = $-1,51$ (SE = $0,008$). Time je prikazano kako se nevidljiva latentna varijabla trenda može podijeliti u četiri ordinalne razine ovisne varijable [46].

Sve granične vrijednosti bile su statistički značajne i imale su uske intervale pouzdanosti (IP) (Cut1: IP $[-0,08, -0,06]$; Cut2: IP $[1,52, 1,54]$; Cut3: IP $[-1,52, -1,49]$), što upućuje na to da je ordinalna struktura modela bila odgovarajuća te da su prijelazi između promatranih kategorija bili znatni [47]. Vrijednost Cut1 predstavljala je prijelaznu točku između "nastavka rada" (Kategorija 1.) i "lakše ozljede" (Kategorija 2.) nakon nesreće, Cut2 definirao je razliku između "lakše ozljede" i "gubitka uda" (Kategorija 3.), a Cut3 definirao je razliku između "gubitka uda" i "smrti" (Kategorija 4.).

Rezultati su potvrdili da su ordinalna struktura i granične vrijednosti statistički valjane, čime je potvrđena valjanost modela. Značajnost graničnih vrijednosti također je upućivala na to da je pretpostavka proporcionalnih omjera bila zadovoljena u modelu [48]. Zaključno, granične vrijednosti pokazale su sposobnost modela da razlikuje ordinalne kategorije, a ordinalna logistička regresija bila je statistički značajna i pouzdana. Zato se model smatrao teorijski i praktično valjanim.

3.2.4. Sažetak modela ordinalne logističke regresije i rezultati analize prediktivnih margina

Prediktivne margine izračunane su radi procjene prosječne vjerojatnosti za četiri različita ishoda nesreće na temelju validiranog skupa podataka za obuku ($N = 304.019$). Te vrijednosti odražavaju sposobnost modela da identificira raspodjelu rizika pri srednjim vrijednostima neovisnih varijabli. Zbog velikog uzorka, za standardne pogreške i intervale pouzdanosti korišteno je izvješćavanje visoke preciznosti radi osiguranja statističke transparentnosti.

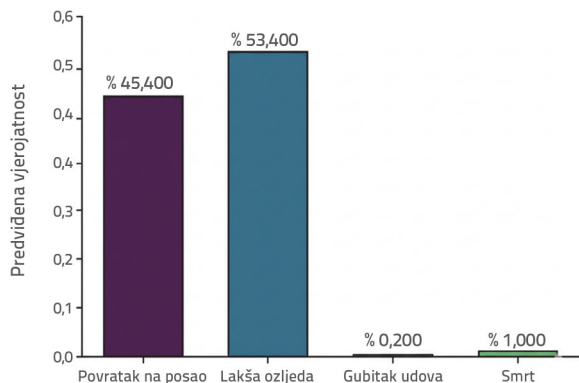
Kao što je to sažeto u tablici 9., najčešći ishod bile su ne-smrtno ozljede (Kategorija 2.), s predviđenom vjerojatnošću od $0,53400$ (SE = $0,00075$, $z = 714,75$, $p < 0,001$). Slijedila je vjerojatnost povratka na rad (Kategorija 1.) od $0,45400$ (SE = $0,00075$, $z = 608,79$, $p < 0,001$). Iako su teži ishodi bili brojčano rijetki, njihova statistička značajnost bila je snažna. Vjerojatnost smrti (Kategorija 4.) procijenjena je na $0,01000$ (SE = $0,00015$, $z = 65,52$, $p < 0,001$), a vjerojatnost gubitka uda (Kategorija 3.) iznosila je $0,00200$ (SE = $0,00006$, $z = 32,28$, $p < 0,001$).

Tablica 9. Rezultati analize prediktivnih margina (N = 304.019)

| Kategorija ishoda | Margina (vjerojatnost) | Standardna pogreška (eng. <i>standard error</i> - SE) | Z-vrijednost | P > z | [95% Interval pouzdanosti] |
|---------------------------------|------------------------|---|--------------|-------|----------------------------|
| Kategorija 1. (Povratak na rad) | 0,45400 | 0,00075 | 608,79 | 0,000 | 0,45253 – 0,45547 |
| Kategorija 2. (Ozljeda) | 0,53400 | 0,00075 | 714,75 | 0,000 | 0,53253 – 0,53547 |
| Kategorija 3. (Gubitak uda) | 0,00200 | 0,00006 | 32,28 | 0,000 | 0,00188 – 0,00212 |
| Kategorija 4 (Smrt) | 0,01000 | 0,00015 | 65,52 | 0,000 | 0,00970 – 0,01030 |

Visoke Z-vrijednosti i iznimno uski intervali pouzdanosti u svim kategorijama pokazuju robusnost modela ordinalne logističke regresije. Ti nalazi naglašavaju činjenicu da su čak i najteži ishodi sustavno pod utjecajem identificiranih prediktora poput dobi, stručnog osposobljavanja i radnog okruţja, a ne slučajnih događaja.

Raspodjela tih vjerojatnosti prikazana je na slici 2., koja ističe izraţen disbalans klasa prisutan u podacima o ozljedama na radu, dok istodobno pokazuje sposobnost modela da kvantificira rijetke, ali ključne događaje.



Slika 2. Predviđene marginalne vjerojatnosti ishoda ozljeda na radu u turskoj građevinskoj industriji (N = 304.019)

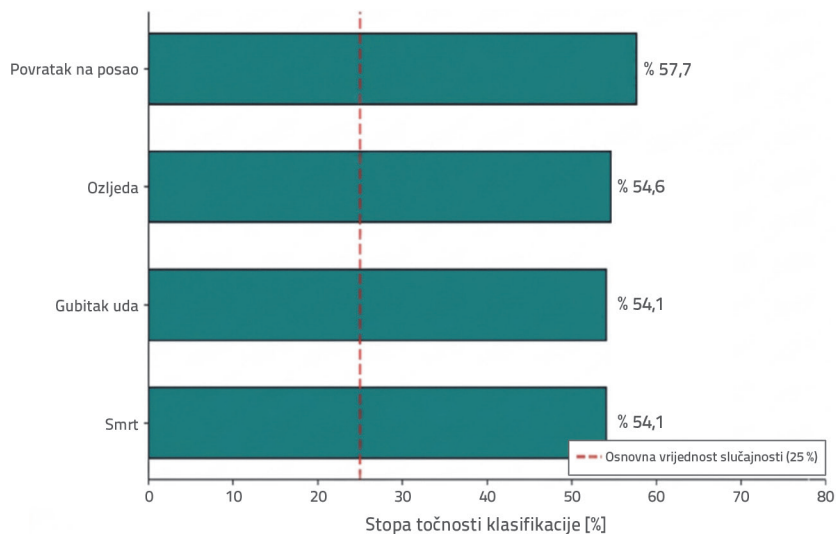
3.2.5. Učinkovitost validacije modela ordinalne logističke regresije

Prediktivna pouzdanost i mogućnost generalizacije modela temeljito su procijenjene pomoću neovisnog testnog skupa podataka (N = 130.295). Učinkovitost klasifikacije, detaljno prikazana matricom zabune u tablici 10., pokazuje uspješnost modela u razlikovanju četiriju razina težine ozljede, s ukupnom stopom točnosti od 56,0 %. U kontekstu velikih administrativnih skupova podataka s izrazito neuravnoteţenim kategorijama, ukupna točnost veća od 50 % smatra se znatnom, što upućuje na to da model učinkovito upravlja znatnom inherentnom

varijabilnošću sociodemografskih i okolišnih prediktora [49].

Model je pokazao najveću učinkovitost klasifikacije u kategoriji "Povratak na posao" (57,7 %) te održao ujednačenu izvedbu u kategoriji "Ozljeda" (54,6 %). Posebno je vaţno istaknuti da je model uspješno adresirao pristranost rijetkih događaja ispravnom klasifikacijom 54,1 % slučajeva "Gubitak uda" i "Smrt". Takva izvedba posebno je vaţna u usporedbi sa slučajnom osnovnom vrijednošću od 25 % za model s četiri kategorije. Postizanje stope točnosti veće od 54 % za smrtnu nesreću znatno je poboljšanje u odnosu na slučajnu dodjelu, što potvrđuje analitičku dubinu modela i njegovu sposobnost prepoznavanja specifičnih pragova rizika.

Kao što je to prikazano na slici 3., dosljedna točnost u svim kategorijama, osobito za ishode visoke težine, potvrdila je da su neovisne varijable učinkovito obuhvatile pragove rizika potrebne za razlikovanje smrtnih slučajeva od manjih incidenata. Snaţna podudarnost između točnosti validacije i uspješnosti po kategorijama upućuje na to da je model dobro kalibriran, pruţajući znanstveno utemeljenu osnovu za intervencije u zaštiti na radu temeljene na podacima u građevinskoj industriji.



Slika 3. Točnost klasifikacije prema kategoriji težine ozljede na neovisnome skupu za validaciju (N = 130.295), u usporedbi sa slučajnom osnovnom vrijednosti

Tablica 10. Učinkovitost klasifikacije (matrica zabune) na neovisnome skupu za testiranje (N = 130.295)

| Promatrana težina ozljede | Pred: Kategorija 1 | Pred: Kategorija 2 | Pred: Kategorija 3 | Pred: Kategorija 4 | Postotak točnih |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| Kategorija 1 (Povratak na posao) | 34.103 | 24.196 | 54 | 748 | 57,7 % |
| Kategorija 2 (Ozljeda) | 30.753 | 37.926 | 82 | 661 | 54,6 % |
| Kategorija 3 (Gubitak uda) | 59 | 74 | 166 | 8 | 54,1 % |
| Kategorija 4 (Smrt) | 353 | 316 | 3 | 793 | 54,1 % |
| Ukupni postotak | 50,1 % | 47,9 % | 0,2 % | 1,8 % | 56,0 % |

4. Rasprava

Empirijski nalazi ove desetogodišnje analize pružaju čvrst okvir za razumijevanje multidimenzionalnih prediktora težine ozljede na radu u turskoj građevinskoj industriji ($N = 434.134$). Glavna metodološka snaga leži u rigoroznoj validaciji ordinalne logističke regresije pomoću neovisnog skupa za testiranje ($N = 130.295$), pri čemu je postignuta točnost od 56,0 %. Iako se to može činiti nižim u odnosu na eksperimentalne modele, predstavlja veliko postignuće u velikim administrativnim skupovima podataka s velikom heterogenošću i neuravnoteženim klasama [49, 50].

Prema tradicionalnim mjerama prilagodbe poput vrijednosti pseudo R^2 , te se mjere u logističkoj regresiji trebaju tumačiti s oprezom, jer niske vrijednosti ne znače neophodno slabu uporabljivost modela kada prediktori pokazuju visoku statističku značajnost i snažnu validaciju na podacima izvan uzorka [51, 52]. Niske vrijednosti R^2 statistički su očekivane u vrlo velikim skupovima podataka te ne znače da je model beskoristan [53, 54]. Kako bi se prevladalo to ograničenje, snaga modela potvrđena je stopom točnosti predviđanja od 56,0 % u neovisnome skupu za testiranje koji obuhvaća 130.295 ozljeda na radu. Takva razina uspješnosti, koja je više nego dvostruko viša od razine slučajnog pogađanja (25 %), znatno robusnije potvrđuje praktičnu valjanost modela nego pseudo R^2 [55].

Kao što naglašavaju He i Garcia [56], sposobnost ispravne klasifikacije rijetkih i ekstremnih ishoda poput visoke uspješnosti u prepoznavanju smrtnih slučajeva i gubitka uda u ovome istraživanju predstavlja važniji pokazatelj učinkovitosti od ukupne točnosti. Međutim, budući da logistička regresija može podcijeniti vjerojatnost rijetkih događaja u velikim skupovima podataka [57], specijalizirani fokus autora na prediktivnu točnost modela za te ključne kategorije bio je opravdan. Ta sposobnost prevladavanja "pristranosti rijetkih događaja" osigurava da identificirani čimbenici rizika nisu samo statistički značajni, već i praktično relevantni za procjenu rizika visoke štetnosti. Valjanost modela dodatno je potvrđena potvrdom pretpostavke proporcionalnih omjera [33] i visokom značajnošću graničnih vrijednosti [46], čime je dokazana njegova učinkovitost u razlikovanju četiriju razina težine ozljede.

Vremenski i regionalni obrasci identificirani regresijskom analizom nude stratešku perspektivu razvoja rizika kroz vrijeme. Prelazak s rastućeg trenda težine ozljeda između 2012. i 2014. na znatan pad nakon 2016. upućuje na sazrijevanje sigurnosnih protokola i regulatornog nadzora. Još važnije, geografski nalazi učinkovito razbijaju pretpostavke o pristranosti povezanoj s veličinom, pokazujući da Istanbul, unatoč najvećoj učestalosti ozljeda, ne pokazuje znatno veći rizik od teških ishoda u usporedbi s Ankarom ($p = 0,634$). Umjesto toga, Izmir i druge regije izdvajaju se kao područja s povećanim rizikom od teških posljedica, što implicira da su lokalne sigurnosne kulture i industrijska gustoća snažniji pokretači težine ozljeda nego

ukupan broj zaposlenih. Ta regionalna varijabilnost, osobito vršni rizici zabilježeni u određenim razdobljima i lokacijama, naglašava potrebu za dinamičnim i lokalno prilagođenim sigurnosnim intervencijama, umjesto jedinstvene nacionalne politike.

Iznad geografskih i vremenskih trendova, socio-demografski i strukturni nalazi naglašavaju ključnu ulogu "ljudskog čimbenika" u ishodima nesreća. Znanstvena potvrda zaštitne uloge osposobljavanja za zaštitu na radu i stručnog osposobljavanja ($p < 0,001$) pružila je empirijske dokaze o učinkovitosti ciljanog obrazovanja o sigurnosti kao sredstva za smanjenje ekstremne težine ozljede [58]. Međutim, uočeno povećanje težine ozljede s dobi i profesionalnim iskustvom (više od 24 godine) uvodi ključni "paradoks radnog staža". To sugerira da iskusni radnici mogu biti raspoređeni na operativne zadatke s većim opasnostima ili razviti smanjenu percepciju rizika zbog navikavanja, pri čemu pretjerano samopouzdanje i smanjena osjetljivost na rutinske opasnosti, što se u literaturi o sigurnosti često naziva "pristranost optimizma", povećavaju vjerojatnost težih ishoda unatoč visokoj tehničkoj kompetenciji, što zahtijeva preispitivanje osposobljavanja za zaštitu na radu za starije zaposlenike [59]. Nadalje, identificirani utjecaji okruženja, posebno povećani rizik tijekom ranih jutarnjih sati i prelazak izvan tradicionalnih granica radnog mjesta, upozoravaju na to da postojeće mjere sigurnosti treba proširiti kako bi obuhvatile operativne rizike izvan gradilišta.

Sinteza prediktivnih marginalnih vjerojatnosti i graničnih vrijednosti pruža temelj za proaktivno upravljanje sigurnošću temeljen na podacima. Kvantificiranjem prosječnih vjerojatnosti ozljede (0,534) i smrti (0,010) s visokom preciznošću ovo istraživanje omogućilo je dionicima da prijeđu s deskriptivne statistike na prediktivno određivanje prioriteta rizika. Uski intervali pouzdanosti i visoke Z-vrijednosti prikazane tijekom analize [44] potvrđuju da su ti ishodi sustavno povezani s identificiranim prediktorima. Posljedično, nalazi sugeriraju da smanjenje težina ozljeda na radu u građevinskom sektoru zahtijeva višestruki pristup koji integrira regionalni nadzor, unapređenje stručnog osposobljavanja za visokorizična zanimanja i specijalizirane protokole sigurnosti. Integracija tih prediktivnih uvida u nacionalne sustave praćenja zaštite na radu može transformirati reaktivni nadzor u proaktivan okvir upravljanja rizicima, usklađen s međunarodnim standardima sigurnosti za starije i iskusnije radnike. Takav sveobuhvatan pristup modeliranju, kako potvrđuje postojeća literatura, uspješno premošćuje jaz između teorijskih pretpostavki regresije i praktičnog odlučivanja u području zaštite na radu. Unatoč svojim doprinosima, ovo istraživanje imalo je nekoliko ograničenja. Iako koristi opsežan administrativni skup podataka, podložno je inherentnim ograničenjima takvih zapisa, uključujući moguće neprijavlivanje manjih incidenata. Buduća istraživanja trebala bi integrirati podatke senzora u stvarnome vremenu ili kvalitativne psihološke procjene kako bi se dodatno unaprijedila prediktivna snaga paradoksa senioriteta.

5. Zaključak

Ovo istraživanje jedna je od najopsežnijih longitudinalnih analiza težine ozljeda na radu u turskoj građevinskoj industriji te pruža znanstveno potvrđen prediktivni okvir. Prelaskom s tradicionalne deskriptivne statistike na robustan model ordinalne logističke regresije ovo istraživanje uspješno je kvantificiralo utjecaj vremenskih, regionalnih i socio-strukturnih čimbenika na ishode ozljeda. Rigorozan proces validacije, korištenjem velikoga neovisnog skupa za testiranje ($N = 130.295$), potvrdio je da identificirani čimbenici rizika nisu samo retrospektivna opažanja, već pouzdani prediktori koji mogu informirati politike sigurnosti temeljene na dokazima. Dosljedna izvedba modela kroz sve razine težine ozljeda, osobito njegova sposobnost prevladavanja pristranosti rijetkih događaja u slučaju smrtnih nesreća i trajnih invaliditeta, premošćuje ključni jaz između teorijskog modeliranja i praktičnog odlučivanja u području zaštite na radu.

Rezultati su pokazali da je težina ozljeda na radu sustavno određena složenim međudjelovanjem ljudskih i okolišnih čimbenika. Identifikacija "paradoksa radnog staža" ključni je zaključak ovog istraživanja te upućuje na to da iskusniji radnici imaju veći rizik od težih ishoda zbog navikavanja i pristranosti optimizma. Nadalje, utvrđena regionalna volatilnost, pri čemu regije poput Izmira i Ankare bilježe veće relativne rizike u odnosu na Istanbul, pokazuje da nadzor sigurnosti mora nadilaziti puko oslanjanje na broj zaposlenika te obuhvatiti lokalne industrijske gustoće i kulture sigurnosti. Ovi nalazi upućuju na potrebu prelaska s reaktivnog izvještavanja na proaktivan, podatkovno

utemeljen pristup upravljanju kako bi se postiglo sigurnije građevinsko okruženje.

Na temelju ovih rezultata dionici industrije i donositelji javnih politika trebali bi razmotriti nekoliko strateških preporuka. Prvo, prediktivne marginalne vjerojatnosti utvrđene u ovome istraživanju mogu se integrirati u nacionalne sustave praćenja zaštite na radu kako bi se omogućila proaktivna prioritizacija rizika. Drugo, programe osposobljavanja za sigurnost potrebno je redizajnirati kako bi se adresirao paradoks radnog staža. Iskusniji radnici trebali bi pohađati specijalizirane "obnovne tečajeve sigurnosti" usmjerene na rekalkulaciju percepcije rizika i ponašajnu sigurnost. Nadalje, empirijski dokazi o zaštitnoj ulozi stručnog osposobljavanja podupiru uvođenje obveznog, visokostandardiziranog certificiranja sigurnosti u svim podsektorima građevinske industrije. Konačno, regionalne uprave za zaštitu na radu potrebno je osnažiti za razvoj decentraliziranih intervencijskih strategija usmjerenih na specifične regionalne profile rizika, uz poseban naglasak na visokorizičnim operativnim vremenskim okvirima poput ranih jutarnjih sati i prijelaznih faza izvan gradilišta.

Zaključno, ovo istraživanje pruža validiranu mapu puta za smanjenje težine ozljeda na radu u građevinskoj industriji na tržištima u razvoju. Provedbom preporuka temeljenih na podacima industrija može znatno smanjiti ekstremne rizike i napredovati prema održivome cilju "Viziji nula". Ovdje uspostavljeni okvir služi kao ishodište za buduća istraživanja koja bi mogla dodatno unaprijediti te prediktivne uvide integriranjem podataka u stvarnome vremenu sa senzora ili kvalitativnih procjena ponašanja u postojeće administrativne skupove podataka.

LITERATURA

- [1] Istraživanje ozljeda na radu i profesionalnih bolesti: Praktični vodič za inspektore rada, Međunarodna organizacija rada, Ženeva, 2014.
- [2] Çakar, A.E., Akbaba, T., Yazıcı, M., Tekin, B., Çakar, Y.: Izvješće Odbora za zdravlje i sigurnost radnika, 718, TMMOB Komora strojarških inženjera, Ankara, 2020.
- [3] Öztürk, T.: Procjena čimbenika koji utječu na ozljede na radu multivarijantnim statističkim metodama, Doktorska disertacija, Istanbul Aydın University, Istanbul, 2019.
- [4] Chiang, Y.H., Wong, F.K.W., Liang, S.: Smrtne nesreće na gradilištima u Hong Kongu, *Journal of Construction Engineering and Management*, 144 (2018) 3, str. 04017121.
- [5] Choi, J., Gu, B., Chin, S., Lee, J.S.: Prediktivni model strojnog učenja temeljen na nacionalnim podacima za smrtonosne nesreće građevinskih radnika, *Automation in Construction*, 110 (2020), str. 102974.
- [6] Američki Zavod za statistiku rada, <https://www.bls.gov/news.release/cfoi.nr0.htm>, 19.12.2024
- [7] Koc, K., Ekmekcioğlu, Ö., Gurgun, A.P.: Predviđanje nesreća u građevinskoj industriji primjenom hibridnog modela valične analize i strojnog učenja, *Automation in Construction*, 133 (2022), str. 103987.
- [8] Statistika Zavoda za socijalno osiguranje, <https://guvenliinsaat.csgeb.gov.tr/media/3w4lph4f/in%C5%9Faat-sekt%C3%B6r%C3%BC-2023-istatistikleri.pdf>, 10.05.2025
- [9] Podaci o ozljedama na radu u građevinskom sektoru, <https://guvenliinsaat.csgeb.gov.tr/media/2dwpj5a/2023-in%C5%9Faat-genel-veriler-info-1.pdf>, 10.05.2025
- [10] Cabello, A.T., Martínez-Rojas, M., Carrillo-Castrillo, J.A., Rubio-Romero, J.C.: Analiza ozljeda na radu prema profesionalcima različitih faza gradnje pomoću pravila asocijacije, *Safety Science*, 144 (2021), str. 105457.
- [11] Qi, H., Zhou, Z., Irizarry, J., Lin, D., Zhang, H., Li, N., Cui, J.: Automatsko prepoznavanje uzročnih čimbenika iz izvještaja o istragama nesreća povezanih s padovima korištenjem metoda strojnog učenja i skupnog učenja, *Journal of Management in Engineering*, 40 (2024) 1, str. 04023050.
- [12] Ruilei Lei, W., Khoiry, M.A., Mutalib, A.A.: Sustavni pregled identifikacije, procjene i ublažavanja sigurnosnih rizika u visokogradnji, *GRAĐEVINAR*, 76 (2024) 12, str. 1099-1114, <https://doi.org/10.14256/JCE.4073.2024>.
- [13] Yalçın, E.: Analiza nesreća zbog padova sa skele u građevinskoj industriji, *GRAĐEVINAR*, 76 (2024) 10, str. 907-917, <https://doi.org/10.14256/JCE.4106.2024>.

- [14] Leonavičiūtė, G., Dėjus, T., Antucheviciene, J.: Analiza i prevencija nesreća na gradilištima, GRAĐEVINAR, 68 (2016) 5, str. 399-410, <https://doi.org/10.14256/JCE.1428.2015>.
- [15] Andrić, J., Xiang, L.: Istraživanje uzroka nesreća, sigurnosnog ponašanja i ozljeda u tri regije Kine, GRAĐEVINAR, 78 (2026) 2, str. 107-117, <https://doi.org/10.14256/JCE.4402.2025>.
- [16] Chua, D.K.H., Goh, Y.M., Model uzroka incidenata za poboljšanje povratnih informacija o sigurnosnom znanju, Journal of Construction Engineering and Management, 130 (2004) 4, str. 542-551.
- [17] Goh, Y.M., Ubeynarayana, C.U.: Klasifikacija narativa o nesrećama u građevinarstvu: Evaluacija tehnika rudarenja teksta, Accident Analysis & Prevention, 108 (2017), str. 122-130.
- [18] Kale, Ö.A., Baradan, S.: Identifikacija čimbenika koji doprinose težini ozljeda u građevinskoj industriji primjenom logističke regresije, Teknik Dergi, 31 (2020) 2, str. 9919-9940.
- [19] Bilim, A., Çelik, O.N.: Procjena vjerojatnosti ozljeda na radu s gubitkom radnog dana u cestogradnji, GRAĐEVINAR, 75 (2023) 12, str. 1183-1192, <https://doi.org/10.14256/JCE.3660.2022>
- [20] Chau, N., Mur, J.M., Benamghar, L., Siegfried, C., Dangelzer, J.L., François Jacquin, R.M., Sourdot, A.: Odnos između određenih individualnih karakteristika i ozljeda na radu za različita zanimanja u građevinskoj industriji: studija slučaja-kontrole, American Journal of Industrial Medicine, 45 (2004) 1, str. 84-92
- [21] Nuwayhid, I.A., Usta, J., Makarem, M., Khudr, A., El-Zein, A.: Zdravlje djece koja rade u malim gradskim industrijskim radionicama, Occupational and Environmental Medicine, 62 (2005) 2, str. 86-94.
- [22] Dong, X.: Dugi radni sati, raspored rada i ozljede povezane s radom među građevinskim radnicima u Sjedinjenim Državama, Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 2005, str. 329-335.
- [23] Sanmiquel, L., Freijo, M., Edo, J., Rossell, J.M.: Analiza nesreća na radu u španjolskom rudarskom sektoru od 1982. do 2006. godine, Journal of Safety Research, 41 (2010) 1, str. 1-7.
- [24] Onder, S.: Procjena ozljeda na radu s gubitkom radnih dana među radnicima u površinskim rudnicima ugljena primjenom logističkih regresijskih modela, Safety Science, 59 (2013), str. 86-92.
- [25] Cakan, H., Kazan, E., Usmen, M.: Istraživanje čimbenika koji doprinose smrtonosnim i nesmrtonosnim nesrećama padova krovopokrivača, International Journal of Construction Education and Research, 10 (2014) 4, str. 300-317.
- [26] Choi, J., Gu, B., Chin, S., Lee, J.S.: Prediktivni model strojnog učenja temeljen na nacionalnim podacima za smrtnu nesreću građevinskih radnika. Automation in Construction, 110 (2020), str. 102974.
- [27] Yahya, M.Y.A., Rohani, J. M.: Profesionalne nesreće i prevencija kroz dizajn u malezijskoj građevinskoj industriji, Zbornik radova Međunarodne konferencije o industrijskom inženjerstvu i operacijskom menadžmentu, 2021, str. 2289-2299.
- [28] Recal, F., Demirel, T.: Usporedba metoda strojnog učenja u predviđanju binarne i višeklasne ozbiljnosti ozljeda na radu, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 40 (2021) 6, str. 10981-10998.
- [29] Gonzalez-Delgado, M., Gómez-Dantés, H., Fernández-Niño, J.A., Robles, E., Borja, V.H., Aguilar, M.: Čimbenici povezani sa smrtnim ozljedama na radu među meksičkim radnicima: nacionalna analiza, Plo S one, 10 (2015) 3, str. e0121490.
- [30] Gavanji, R.: Metode penalizirane regresije za modeliranje podataka o rijetkim događajima s primjenom na istraživanje ozljeda na radu, doktorska disertacija, Sveučilište Saskatchewan, Kanada, 2019.
- [31] Gallego, V., Sánchez, A., Martón, I., Martorell, S.: Analiza ozljeda na radu u Španjolskoj primjenom metoda shrinkage regresije, Safety Science, 133 (2021), str. 105000.
- [32] Toptancı, Ş., Erginel, N., Acar, I.P.: Predviđanje težine ozljeda na radu u građevinskoj industriji primjenom standardnih i regulariziranih logističkih regresijskih modela, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (2023) 3, str. 778-798.
- [33] McCullagh, P.: Regresijski modeli za ordinalne podatke, Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 42 (1980) 2, str. 109-127.
- [34] Babbie, E.R.: Osnove društvenih istraživanja, 5. izdanje, Wadsworth Publishing, Kalifornija, 2010.
- [35] Akboğa, Ö.: Modeliranje težine nesreće u građevinskim ozljedama na radu pomoću logističke regresije, doktorska disertacija, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Izmir, 2014.
- [36] Long, J.S., Freese, J.: Regresijski modeli za kategorijalne zavisne varijable pomoću Stata, 3. izdanje, Stata Press College Station, Texas, 2014.
- [37] Hayat, E., Özden, A.S.: Utvrđivanje čimbenika koji utječu na razinu sreće pojedinaca pomoću generalizirane ordinalne logističke regresijske analize, OPUS International Journal of Society Researches, 18 (2021) 40, str. 2288-2316.
- [38] Akin, H.B., Şentürk, E.: Ispitivanje razine sreće pojedinaca pomoću ordinalne logističke regresije, Öneri, 10 (2012) 37, str. 183-193.
- [39] Anderson, J. A.: Regresija i uređene kategoričke varijable. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 46 (1984) 1, str. 1-22
- [40] Liao, T.F.: Tumačenje modela vjerojatnosti, Logit, Probit i drugi generalizirani linearni modeli, Sage Publications, u seriji Sage University Papers, Thousand Oaks, Kalifornija, 1994.
- [41] Norusis, M.J.: IBM SPSS Statistics 19 Advanced Statistical Procedures Companion, Addison Wesley, Boston, 2012.
- [42] Akkus, Ö., Türkan, S., Tatlıdıl, H.: Primjena modela za sekvencijalno zavisne varijable i diskriminantne analize u klasifikaciji komercijalnih banaka prema njihovoj financijskoj uspješnosti, Suleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences, 15 (2010) 2, str. 319-332.
- [43] Liu, X.: Primijenjena ordinalna logistička regresija pomoću Stata: Od jednorazinskog do višerazinskog modeliranja, Sage publications, 2015.
- [44] Hosmer, D.W., Lemeshow, S., Sturdivant, R.X.: Primijenjena logistička regresija, Wiley, New York, 2000.
- [45] Brant, R.: Procjena proporcionalnosti u modelu proporcionalnih omjera za ordinalnu logističku regresiju, Biometrics, 1990, str. 1171-1178.
- [46] Calvin, J.A.: Regresijski modeli za kategorijalne i ograničene zavisne varijable, 1998.
- [47] Williams, R.: Generalizirani uređeni logit/djelomični modeli proporcionalnih omjera za ordinalne zavisne varijable, The Stata Journal, 6 (2006) 1, str. 58-82.
- [48] Agresti, A.: Analiza ordinalnih kategorijalnih podataka, 2. izd., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2010.
- [49] McFadden, D.: Kvantitativne metode za analizu putničkog ponašanja pojedinaca: Neki noviji razvoj, u Behavioural travel modelling, Routledge, (2021) str. 279-318.
- [50] Menard, S.: Primijenjena analiza logističke regresije (2. izd.), SAGE Publication, 2001.

- [52] Allison, P.D.: Mjere prilagodbe za logističku regresiju, u Zborniku radova sa SAS Global Forum 2014 konferencije, str. 1–13, 2014.
- [53] McFadden, D.: Kondicionalna logit analiza kvalitativnog ponašanja pri odabiru, 1972.
- [54] Hox, J., Roberts, J.K.: Priručnik za naprednu višerazinsku analizu, Psychology Press, 2011.
- [55] Weisberg, S.: Primijenjena linearna regresija (Vol. 528), John Wiley & Sons, 2005.
- [56] Harrell Jr, F.E.: Ordinalna logistička regresija. U: Strategije modeliranja regresije: s primjenama na linearne modele, logističku i ordinalnu regresiju te analizu preživljavanja (str. 311–325), Cham: Springer International Publishing, 2015.
- [57] He, H., Garcia, E.A.: Učenje iz neuravnoteženih podataka, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 21 (2009) 9, str. 1263–1284
- [58] King, G., Zeng, L.: Logistička regresija kod podataka o rijetkim događajima, Political Analysis, 9 (2001) 2, 137–163
- [59] Cohen, J.: Statistička analiza snage za bihevioralne znanosti, Routledge, 2013.
- [60] Tutz, G.: Regresija za kategorijalne podatke (Vol. 34), Cambridge University Press, 2011.