

## ارزیابی میزان ریسک در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده با استفاده از مدل

### آلکام

فرزانه محمدی کیان، کارشناس ارشد، گروه مهندسی ایمنی در راه آهن، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران  
حمیدرضا احدی (مسئول مکاتبات)، استادیار، گروه مهندسی حمل و نقل ریلی، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران،

ایران

E-mail: ahadi@iust.ac.ir

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵

دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۲

### چکیده

سیستم حمل و نقل ریلی ایمن‌ترین شیوه حمل و نقل زمینی برای حمل انبوه بار و مسافر است. یکی از چالش‌های مهم سیستم حمل و نقل ریلی وقوع تصادفات در تقاطع‌های همسطح ریل و جاده است. زیر ساخت مورد استفاده در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده غالباً بصورت یکی از گزینه‌های زیرگذر، روگذر و یا تقاطعات همسطح است. در حال حاضر گذرگاه‌های همسطح در ایران با استفاده از شاخص ریسک  $IP^1$  اولویت بندی می‌شوند. در این تحقیق، روش‌های مختلف ارزیابی ریسک در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده در کشورهای مختلف بررسی شده است و سپس با بررسی داده‌های راه آهن ایران و شرایط موجود زیر ساخت‌ها در گذرگاه‌های همسطح و همچنین سوانح رخ داده در ده سال اخیر در این گذرگاه‌ها، عوامل اصلی وقوع سوانح شناسایی شده است. از مسائل مهم در تعیین ریسک، شناسایی روش‌های مناسب ارزیابی ریسک و بکارگیری روش مناسب می‌باشد، لذا با استفاده از روش آلکام<sup>۲</sup> که اولین بار در کشور استرالیا معرفی شده است، میزان ریسک در تقاطع‌های همسطح راه آهن ایران بر اساس هر منطقه ارزیابی و محاسبه شده است. از آنجایی که روش آلکام علاوه بر در نظر گرفتن مشخصه‌های فیزیکی گذرگاه، عامل مواجهه و پیامد را برای اولویت‌بندی گذرگاه‌ها در نظر می‌گیرد، در نتیجه روش پیشنهادی منجر به محاسبه عدد ریسک و اولویت‌بندی دقیق تر تقاطع‌ها می‌گردد. بر اساس یافته‌های این تحقیق، در بین گذرگاه‌های مورد بررسی، یک تقاطع در خراسان (شهید مطهری-فریمان) و ۵ تقاطع در ناحیه تهران به ترتیب: پیشوا-ورامین، بهرام-ورامین، ری-بهرام، تپه سفید-تهران و ورامین-پیشوا بیشترین عدد ریسک را دارند و می‌توان این گذرگاه را به عنوان پر خطرترین گذرگاه همسطح ریل و جاده در ایران نامید. در نهایت با توجه به شرایط موجود در مناطق پر ریسک و با در نظر گرفتن علل اصلی وقوع سوانح در این مناطق به ارائه راهکارهایی جهت کاهش ریسک پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: تقاطع همسطح، راه آهن، ایمنی، ریسک، آلکام

## ۱. مقدمه

تقاطع‌ها در کشور ایران به طور کلی به سه نوع با راهبند دستی، راهبند برقی و بدون راهبند دسته‌بندی شده است. که تعداد ۱۴۷ تقاطع از نوع با راهبند دستی، ۱۷ تقاطع از نوع راهبند برقی و ۶۳ تقاطع بدون راهبند است. لازم به ذکر است در ایران تعداد ۲۴۶ تقاطع غیرمجاز ریل و جاده نیز شناسایی شده است [اداره کل خط و سازه‌های فنی، ۲۰۲۰].

از آنجایی ارزیابی ریسک شامل مراحل شناسایی ریسک، تخمین ریسک و سنجش ریسک است. بنابراین در ابتدا باید با استفاده از بررسی آمار سوانح و حوادث گذشته تمامی خطراتی که منجر به بروز سانحه یا حادثه شده است را شناسایی کرد و سپس به تخمین ریسک پرداخت و با قرار دادن عدد ریسک بدست آمده در ماتریس ریسک به سنجش ریسک پرداخت. در نهایت با توجه به بررسی‌های صورت گرفته می‌توان تصمیمات و برنامه‌ریزی‌های مناسبی برای کاهش ریسک انجام داد. بنابراین با وجود چالش‌هایی که در تقاطع همسطح ریل و جاده موجود است و با توجه به هزینه‌ی بالا برای ساخت پل و تبدیل این گذرگاه‌ها به غیرهمسطح، در این تحقیق با استفاده از مدل آکام میزان ریسک در تقاطع همسطح ریل و جاده مورد سنجش قرار داده می‌شود و با توجه به عدد ریسک به دست آمده تدبیر مناسبی برای اصلاح پیشنهاد داده می‌شود.

## ۲. ادبیات پژوهش

ارزیابی ریسک در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده یکی از موضوعات مهم و مورد توجه بسیاری از محققین در سال‌های اخیر بوده است. در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره شده است.

لیانگ و همکاران در مطالعات خود با توسعه چندین مدل پیش‌بینی سوانح با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند میانگین ترافیک روزانه جاده ای و ریلی، سرعت مجاز ریلی، عرض جاده، طول تقاطع به بررسی ریسک در تقاطع همسطح کشور فرانسه پرداخته اند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که از میان چهار نوع تقاطع همسطحی که در کشور فرانسه وجود دارد، تقاطعی با فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال شانزدهم / شماره چهارم (۶۵) / تابستان ۱۴۰۴

ایمنی در تقاطع همسطح ریل و جاده بسیار مهم است. در سال ۲۰۲۰ تعداد ۳۵۰ سانحه در تقاطع همسطح در اتحادیه اروپا رخ داده است که منجر به آسیب ۲۱۳ نفر شد که ۱۷۹ نفر دچار آسیب جدی شدند. تصادفات در تقاطع همسطح ۲۷ درصد از کل سوانح ریلی و همینطور ۲۸ درصد از کل تلفات در راه آهن به جز خودکشی را شامل می‌شود. در ضمن از هر صد نفر کاربر جاده‌ای که جان خود را هر ساله در جاده از دست می‌دهند، یک نفر جان خود را در تقاطع‌ها از دست می‌دهد. میزان خسارت ناشی از تصادفات در تقاطع‌های همسطح ریل و جاده در سال ۲۰۲۰ در اروپا ۳۵۰ میلیون یورو تخمین زده شده است. سوانح در تقاطع‌ها تاثیر مخربی بر نقاط قوت حمل و نقل ریلی مانند: ایمنی، قابلیت اطمینان و سرعت دارد [Potenza, 2021].

بررسی‌های مشابهی در ایران با استفاده از تحلیل و بررسی آمار دریافتی از اداره کل ایمنی راه آهن ج.ا. ایران، نشان می‌دهد ۲۷۸ نفر فوتی و جرحی بین سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰ ناشی از سوانح رخ داده در تقاطع‌های همسطح به ثبت رسیده است. در سال ۱۴۰۰ تعداد ۳۶ سانحه ریلی در تقاطع‌های همسطح ایران به ثبت رسیده است که در مجموع منجر به آسیب و فوت ۲۵ نفر شده است. لازم به ذکر است که با بررسی سوانح رخ داده مشخص شده که بیشترین سوانح در تقاطع‌های غیرمجاز و ناشی از برخورد قطار با وسیله نقلیه از نوع سواری (۴۷,۵ درصد) است. میزان خسارت ناشی از تصادفات در تقاطع‌های همسطح ریل و جاده در سال ۱۴۰۰ در ایران ۱۸ میلیارد و ۸۸۰ میلیون ریال تخمین زده شده است [گزارش اداره کل ایمنی راه آهن ج.ا.ا، ۱۴۰۱].

همینطور اطلاعات دریافتی از اداره خط و سازه‌های فنی نشان می‌دهد طول کل خطوط ریلی ایران شامل خطوط اصلی، فرعی، مانوری و صنعتی جمعا ۱۸۳۵۲ کیلومتر است و تعداد کل تقاطع‌های مجاز ۲۲۳ مورد است که تراکم تقاطع همسطح در ایران تقریبا ۳۲ تقاطع در هر ۱۰ کیلومتر خط است. همچنین

## ارزیابی میزان ریسک در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده با استفاده از مدل آکام

بالا بوده است که در اولویت ایمن سازی یا غیرهمسطح سازی قرار گرفته است [مالکیان، ۱۳۹۳].

محسنی و همکاران با استفاده از مدل دو جمله‌ای منفی عواملی مانند: میانگین وسایل نقلیه عبوری روزانه، نوع روسازی جاده: در جاده‌هایی با روسازی آسفالت به دلیل بالا بودن سرعت وسایل نقلیه احتمال وقوع تصادفات افزایش یافته است، موقعیت گذرگاه (درون شهری یا برون شهری)، سرعت قطارهای عبوری از جمله عوامل تاثیر گذار بر بروز سانحه در تقاطع‌های همسطح کشور ایران معرفی شده‌اند [محسنی و همکاران، ۱۳۹۹].

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در این مطالعات بیشتر به شناسایی ریسک و عوامل تاثیرگذار بر بروز سانحه یا پیش بینی سانحه پرداخته شده است که از نوع ارزیابی کمی ریسک است. از جمله دلایلی که موجب انتخاب مدل آکام برای ارزیابی ریسک در تقاطع‌های همسطح ریل و جاده کشور ایران بوده است، موارد زیر می‌باشد:

- استفاده از ورودی‌های زیاد که موجب افزایش دقت مدل می‌شود.
- در نظر گرفتن و محاسبه‌ی هر دو عامل احتمال و پیامد وقوع سانحه که سبب می‌شود عدد ریسک دقیق‌تری به دست آید.
- در نظر گرفتن عوامل زیرساختی موثر بر وقوع سانحه و همینطور امتیاز دهی بر اساس نوع سیستم کنترلی پیاده شده در تقاطع و تاثیر آن بر مکانیزم سانحه می‌باشد.

### ۲-۱ مروری بر مدل‌های پیش‌بینی تصادفات ایران و

#### امریکا

کارشناسان برای شناسایی تقاطع‌های پرخطر و اولویت بندی آن‌ها و همینطور تخصیص منابع جهت ارتقا ایمنی از مدل‌های پیش‌بینی تصادف و شاخص‌های خطر استفاده می‌کنند که در نهایت با استفاده از این مدل‌ها تعداد تصادفات مورد انتظار و شاخص نسبی برای هر گذرگاه، جهت مقایسه ارائه می‌دهند. از جمله پارامترهایی که در این مدل‌ها در نظر گرفته می‌شود می‌توان

دو نیمه راهبند اتوماتیک و چراغ چشمک‌زن پرکاربردترین تقاطع در فرانسه است. همینطور موتورسواران بیشترین عامل وقوع سوانح در تقاطع‌ها بوده‌اند [Liang et al., 2018].

کیم و همکاران با بررسی تشخیص موانع در تقاطع‌های همسطح کشور کره جنوبی، طراحی سیستم ایمنی برد یاب لیزری پیشنهاد داده‌اند [Kim et al., 2012].

سینگهال و همکاران در مطالعات خود با استفاده از هوش مصنوعی به شناسایی عوامل موثر در بروز سانحه در تقاطع همسطح پرداخته‌اند و با اصلاح دو عامل اصلی یعنی دامنه دید قطار و زاویه تلاقی، موجب کاهش ۸۵ درصدی ریسک وقوع سانحه شده‌اند [Singhal et al., 2020].

ترنر و همکاران با بررسی داده‌های سوانح ۲۰۱۲-۲۰۱۹ کشور نیوزلند به ارزیابی ریسک در تقاطع‌های همسطح با استفاده از مدل آکام به شناسایی عوامل ریشه‌ای که سبب بروز سانحه شده پرداخته‌اند. بر اساس این تحقیق بیشترین آمار تصادفات مربوط به عبور دوچرخه سواران بوده و در نهایت نصب چراغ‌های چشمک زن و استفاده از دروازه‌های اتوماتیک در گذرگاه‌ها برای کاهش ریسک پیشنهاد داده شده است [Turner et al., 2021].

کرامتی و همکاران با استفاده از مدل ریسک رقابتی به این نتیجه رسیدند که افزودن دستگاه‌های صوتی به گذرگاه‌های دارای راهبند، منجر به کاهش قابل توجه سالانه در احتمال وقوع تصادف (۲۵ درصدی) می‌شود. همان دستگاه نصب شده در گذرگاه‌هایی که توسط دروازه‌ها و چراغ‌های چشمک‌زن کنترل می‌شوند، منجر به کاهش کمتر احتمال تصادف (۱۴ درصدی) می‌شود [Keramati et al., 2021].

مالکیان در مطالعه خود با شناسایی نواحی مخاطره‌آمیز با استفاده از الگوریتم k-means نشان داده که بیش از ۵۲ درصد از سوانح ناشی از برخورد قطار و وسایل نقلیه در تقاطع همسطح غیر مجاز رخ داده است، همینطور ریسک بروز سانحه در ۵ تقاطع بسیار

[Jacob Mathew & Rahim F. Benekohal, 2020].

### ۲-۱-۲ مدل نرخ خطر کالیفرنیا

فرمول رتبه‌بندی خطر کالیفرنیا، به تخمین ریسک در تقاطع‌های همسطح با استفاده از داده‌های سوانح ده سال اخیر می‌پردازد. فرمول رتبه‌بندی خطر کالیفرنیا به صورت زیر تعریف شده است:

$$HI = \frac{V \times T \times PF}{1000} + AH \quad (7)$$

HI: شاخص خطر

V: تعداد نقلیه

T: تعداد قطار

PF: ضریب حفاظت بر مبنای نوع کنترل گذرگاه، به ترتیب

برای گذرگاه F, G, S: ۰,۰۱, ۱,۲۵ و ۰,۲۵.

AH: تعداد کل تصادفات ده سال اخیر [Abioye et al.,

2020].

### ۲-۳-۱ مدل نرخ خطر نیوهمپشایر

فرمول شاخص خطر نیوهمپشایر یک روش نسبتاً ساده برای تخمین شاخص ریسک در تقاطع‌های همسطح ریل و جاده می‌باشد. در این مدل:

$$NHHI = \frac{TrainADT \times HighwayADT \times PF}{100 \times SD_f \times T_s \times AH_f} \quad (8)$$

NHHI: شاخص خطر نیوهمپشایر

T<sub>s</sub>: سرعت قطار (mph)

PF: ضریب بر مبنای نوع کنترل گذرگاه، به ترتیب برای

گذرگاه F, G, S: ۰,۵۸, ۰,۱۱ و ۰,۲.

SD<sub>f</sub>: فاکتور فاصله دید به ترتیب برای عدم محدودیت و

محدودیت یک و بیشتر ۱, ۲, ۱,۵ و ۰,۳.

AH<sub>f</sub>: جمع تعداد تصادفات در ضرایب وزنی ۰,۱, ۰,۲ و ۰,۳

برای آسیب جزئی، زخمی و کشته

ADT: میانگین ترافیک روزانه [Abioye et al., 2020].

### ۲-۱-۴ مدل نرخ خطر کانزاس

به تعداد وسیله نقلیه ریلی و جاده‌ای عبوری، فاصله دید، سوانح سانحه، تعداد خطوط ریلی و جاده‌ای، سرعت قطار و وسیله نقلیه، نوع سیستم کنترل گذرگاه، علائم، هندسه راه-راه‌آهن اشاره کرد. در ادامه تعدادی از مدل‌های مورد استفاده ایالت متحده و مدل مورد استفاده در ایران نشان داده شده است.

### ۲-۱-۱ مدل پیش‌بینی تصادف در آمریکا USDOT

در راه آهن کشور آمریکا برای پیش‌بینی تصادفات از مدل USDOT استفاده می‌شود. در این مدل:

$$A = 0.8239 \times B \text{ for passive} \quad (1)$$

$$A = 0.6935 \times B \text{ for Flashing Lights} \quad (2)$$

$$A = 0.6714 \times B \text{ for Gate} \quad (3)$$

که در آن:

$$B = \frac{T_0(a)}{(T_0 + T)} + \left[ \frac{T}{(T_0 + T)} \right] \left( \frac{N}{T} \right) \quad (4)$$

A: تعداد تصادف سالانه

N: تعداد تصادفات مشاهده شده در T سال

$$T_0 = \frac{1.0}{0.5 + a} \quad (5)$$

$$a = K \times EI \times DT \times MS \times HP \times HL \times HT \quad (6)$$

HL: فاکتور تعداد خطوط جاده،

K: ثابت،

EL: شاخص حجم،

DT: فاکتور تعداد قطارهای عبوری روزانه،

MS: فاکتور حداکثر سرعت،

HT: فاکتور تعداد خطوط اصلی و

HP: فاکتور روسازی جاده.

که این فاکتورها، روابط توسعه یافته برای ۳ دسته گذرگاه‌ها می‌باشد:

۱. غیرفعال (Passive): گذرگاه مجهز به علائم (Sign) و

با علامت S

۲. فعال (Active): گذرگاه مجهز به چراغ چشمک‌زن

(Flashlight) و با علامت F.

۳. گذرگاه مجهز به راهبند (Gate) و با علامت G

## ارزیابی میزان ریسک در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده با استفاده از مدل آلکام

HT: ترافیک جاده

NFT: تعداد قطارهای تندرو

NSST: قطارهای کند (شامل قطارهای سویچ شده نمی‌باشد)

D: فاکتور خطوط اصلی به ترتیب برای خطوط ۴، ۳، ۲،

اخطی: ۱، ۱،۵، ۱،۸ و ۲ [Abioye et al., 2020].

۲-۱-۵ مدل میسوری

با در نظر گرفتن نوع حفاظت مورد استفاده در تقاطع همسطح

فعال و غیر فعال، مدل میسوری یک شاخص مواجهه در نظر

می‌گیرد. این مدل بصورت زیر تعریف شده است:

مدل شاخص خطر کانزاس، یک شاخص خطر را با استفاده از

جایگزین تعداد تصادفات در تقاطعات همسطح ریل و جاده

محاسبه می‌کند. که در آن:

$$KDHR = \frac{A \times (B + C + D)}{4} \quad (9)$$

که در آن:

$$A = \frac{HT \times (2 \times NFT + NSST)}{400} \quad (10)$$

$$B = 2 \times \sqrt[3]{\frac{8000}{\text{sum of max sight distance 4ways}}} \quad (11)$$

$$C = \sqrt{\frac{90}{\text{Angle of Intersection}}} \quad (12)$$

KDHR: نرخ خطر طراحی کانزاس

$$MEI = TI + SDO(TI) \quad (13)$$

$$TI = \frac{(VM \times VS)[(FM \times FS) + (PM \times PS) + (SM \times 10)]}{10000} \quad (14)$$

$$SDO = \text{Sight Distance Obstruction Factor} = \frac{\text{Required Sight Distance} - \text{Actual Sight Distance}}{\text{Required Sight Distance}} \quad (15)$$

FS: سرعت قطار باری

SM: تغییر مسیر [Abioye et al., 2020].

۲-۱-۶ مدل ایلینویز

شاخص خطر ایلینویز به شناسایی عوامل مختلف موثر بر وقوع

سوانح در تقاطع همسطح ریل و جاده می‌پردازد. که این مدل

بصورت زیر تعریف شده است:

$$IHI = 10^{-6} A^{2.59088} B^{0.09673} C^{0.40227} D^{0.59262} (15.59 N^{5.60977} + PF) \quad (16)$$

PF: ضریب حفاظت بر مبنای نوع کنترل گذرگاه به ترتیب برای

گذرگاه F، G، S : ۳۵،۵۷ و ۶۸،۹۸ [Abioye et al., 2020].

al., 2020]

۲-۱-۷ شاخص ریسک IP در ایران

مدل مورد استفاده در کشور ایران به نام شاخص ریسک IP که

با استفاده از مشخصه‌های فیزیکی و زیرساختی گذرگاه به

اولویت‌بندی تقاطع‌ها جهت پیاده‌سازی اقدامات ایمنی می‌پردازد.

که بصورت زیر تعریف شده است:

$$A = \ln(ADT \times NTT) \quad (17)$$

ADT: متوسط حجم ترافیک روزانه

NTT: تعداد قطارهای عبوری روزانه

B: حداکثر سرعت قطار (mph)

C: تعداد کل خطوط ریلی

D: خطوط جاده

N: متوسط تعداد تصادف سالانه

شرایط گذرگاه	KVR
جاده در قوس و مسافت دید کم و گذرگاه در مسیر مستقیم	۱,۲
جاده در قوس و مسافت دید کم و خط آهن در مسیر قوس	۱,۳
جاده در قوس و مسافت دید کم و خط آهن در مسیر قوس	۱,۴

جدول ۴. پارامتر زاویه تقاطع

زاویه (درجه)	AN
۹۰	۱
(۶۰ و ۹۰)	۱,۲
(۳۰ و ۶۰)	۱,۳
>۳۰	۱,۵

### ۳. ساختار کلی مدل آلكام

مدل آلكام یک مدل تحلیل و ارزیابی ریسک در تقاطع‌های همسطح ریل و جاده است. این مدل به منظور بررسی و تحلیل ریسک ناشی از تصادفات در تقاطع‌های همسطح ریل و جاده استفاده می‌شود. آلكام به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر ریسک در تقاطع‌های همسطح، عوامل مربوط به جاده (مانند ترافیک جاده‌ای، سرعت وسایل نقلیه و فضای فرارگیری تقاطع) و عوامل مربوط به ریل (مانند سرعت قطارها، تعداد قطارهای عبوری و نوع تقاطع) را مورد توجه قرار می‌دهد. با استفاده از این مدل، می‌توان مخاطرات مرتبط با تصادفات در تقاطع‌های همسطح ریل و جاده را تحلیل کرده و اقدامات مناسب جهت کاهش مخاطرات را شناسایی کرد.

مدل ریسک آلكام از ترکیب سه مدل مجزا ساخته شده است که در معادله (۲۰) مشاهده می‌شود. در ادامه به معرفی بیشتر مدل‌ها و پارامترهای مورد استفاده برای هر مدل پرداخته شده است [Alenoori et al., 2023].

$$ALCAM \text{ risk Score} = \text{Infrastructure Factor} \times \text{Exposure Factor} \times \text{Consequence Factor} \quad (20)$$

$$IP = 0.25 (NRWV * NRV * av * (ak + NTL + KVR + AN)) \quad (18)$$

که در آن:

NRWV: تعداد وسیله نقلیه ریلی عبوری در روز،

NRV: تعداد وسیله نقلیه جاده در طول روز،

$$NRV = NLV + aNHGV + bNRCV + gNT \quad (19)$$

NRWV: تعداد وسایل نقلیه ریلی در طول شبانه روز

NRV: تعداد وسایل نقلیه جاده‌ای در طول شبانه-روز

NTL: تعداد خطوط ریلی در گذرگاه

av: ضریب تاثیر سرعت وسایل نقلیه ریلی

ak: ضریب اهمیت جاده

KVR: شاخص مسافت دید برای جاده

AN: پارامتر زاویه گذرگاه است. [آداره کل خط و سازه‌های

فنی، ۱۴۰۰].

جزئیات مربوطه در جداول ۱ تا ۴ ارائه شده است.

جدول ۱. ضریب اهمیت جاده (ak)

نوع جاده	ak
خاکی-روستایی	۰,۸
آسفالته کم عرض	۱
آسفالته دو طرفه	۱,۲
اتوبان	۱,۴

جدول ۲. ضریب تاثیر سرعت حمل و نقل ریلی (av)

سرعت (km/h)	av
۶۰	۱
(۶۰ و ۸۰)	۱,۲
(۸۰ و ۱۲۰)	۱,۳
(۱۲۰ و ۱۶۰)	۱,۶

جدول ۳. شاخص دید مسافت برای جاده

شرایط گذرگاه	KVR
جاده در قوس و مسافت دید متوسط و گذرگاه در مسیر مستقیم	۱,۱

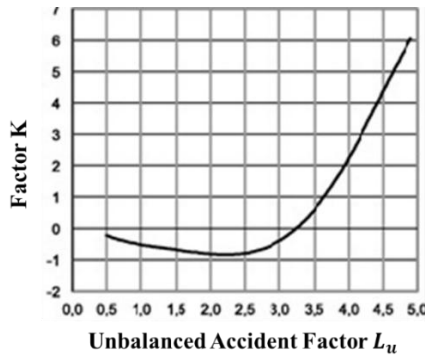
## ارزیابی میزان ریسک در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده با استفاده از مدل آکام

V: میانگین حجم وسیله نقلیه جاده ای عبوری از تقاطع در روز

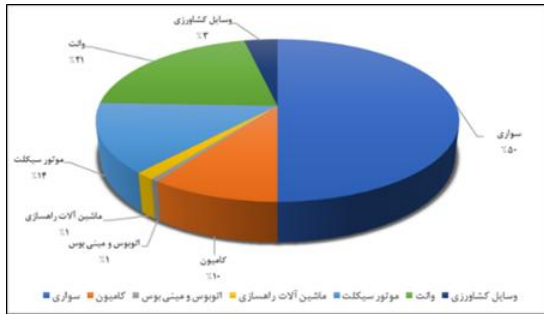
T: میانگین تعداد قطار عبوری از تقاطع در روز

P: ضریب حفاظت ایمنی

مقدار K با استفاده از نمودار نشان داده شده در شکل ۱ محاسبه می‌شود [Alenoori et al., 2023].



شکل ۱. مقدار K بر حسب عامل  $L_u$



شکل ۲. سهم هر کدام از وسایل نقلیه در بروز سوانح ده سال اخیر (۱۳۹۰-۱۴۰۰)

P بر اساس داده‌های تصادف استرالیا و نیوزلند با استفاده از حداقل مربعات متناسب با منحنی‌های داده‌های گذشته برای احتمال تصادف برای ترافیک جاده‌ای و ترافیک ریلی محاسبه شده است. ضریب واحد P برای هر نوع کنترل ترافیک (راهبند اتوماتیک، چراغ چشمک زن، آذیر، تابلوهای هشدار) وجود دارد. در جدول ۵ مقادیر مختلف ضریب حفاظت P بر اساس نوع سیستم هشداردهنده نشان داده شده است [Alenoori et al., 2023].

جدول ۵. مقدار ضریب حفاظت ایمنی P بر حسب نوع سیستم هشداردهنده

نوع سیستم هشداردهنده	ضریب حفاظت ایمنی (P)
تابلو	۱,۶۵

### ۳-۱ مدل ضریب زیرساخت<sup>۴</sup>

ضریب زیرساخت با در نظر گرفتن مشخصات فیزیکی گذرگاه‌ها که بر رفتار کاربران تاثیرگذار است به رتبه دهی می‌پردازد. ضریب زیرساخت بعنوان یک مقدار عددی بیان می‌شود که نشان دهنده اثر مورد انتظاری است که شرایط گذرگاه بر احتمال وقوع سانحه یا حادثه تاثیر می‌گذارد و به طور کلی شامل ضریب زیرساخت خام و ضریب تعدیل است که از حاصلضرب این دو مقدار مطابق با رابطه ۲۱، ضریب زیرساخت بدست می‌آید [Alenoori et al., 2023].

Infrastructure Factor

= Raw Infrastructure Factor (۲۱)

× Infrastructure Modifier

### ۳-۲ مدل ضریب مواجهه

ضریب مواجهه تابعی از نوع کنترل، حجم وسیله نقلیه و قطار است. این مدل نشان‌دهنده احتمال اولیه تصادف در تقاطع‌های همسطح است، به استثنای وضعیت خاص که در شرایط زیرساخت ثبت شده است. ضریب مواجهه بعنوان احتمال حادثه در سال بیان می‌شود. این ضریب بعنوان یک مدل پیش‌بینی تصادف است که در ایالات متحده استفاده می‌شود. با استفاده از به روز رسانی فرمول Peabody-Dimmick توسط کمیته آکام در نهایت رابطه ۲۲ برای بدست آوردن ضریب مواجهه مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$A5 = L_u + K \quad (22)$$

که در آن:

A5: تعداد تصادفات مورد انتظار در پنج سال

$L_u$ : عامل نامتعادل سانحه

K: پارامتر مکمل

پارامتر  $L_u$  بصورت زیر محاسبه می‌شود که در آن:

$$L_u = 1.28 \times \frac{(V^{0.170})(T^{0.151})}{p^{0.171}} \quad (23)$$

نوع سیستم هشداردهنده	ضریب حفاظت ایمنی (p)
آزیر	۱,۷۸
چراغ ایست	۱,۹۹
چراغ ایست و آزیر	۲,۰۳
چراغ چشمکزن	۲,۱۸
چراغ چشمکزن و آزیر	۲,۲۵
چراغ ایست و چراغ چشمکزن	۲,۲۷
چراغ ایست و چراغ چشمکزن و آزیر	۲,۳۵
داشتن نگهبان به مدت ۸ ساعت	۲,۲۷
داشتن نگهبان به مدت ۱۶ ساعت	۲,۴۳
داشتن نگهبان به مدت ۲۴ ساعت	۲,۵۲
راهبند	۲,۵۶
راهبند اتوماتیک	۲,۷۰

(... در سرعت‌های مختلف وزن‌دهی می‌شود. [Alenoori et al., 2023].

### ۳-۳ مدل ضریب پیامد

با استفاده از جدول ۶، عوامل موثر در پیامد (عوامل محیطی مانند: سرعت، وجود قوس در منطقه، شیب/فراز، خطوط چند خطه

جدول ۶. جدول امتیازدهی ضریب پیامد

عوامل موثر بر پیامدها	سرعت				
	>۱۲۰	۱۲۰-۱۰۱	۱۰۰-۸۱	۸۰-۶۱	۶۰-۰
عوامل محیطی	۵	۴	۳	۲	۱
شاخص	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۴
وجود قوس در مسیر	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۴
زیرگذر یا پل رودخانه	۱۰	۱۰	۱۰	۴	۴
شیب خاکریز ۳متر +	۱۰	۱۰	۱۰	۴	۳
چند خطی بودن	۱۰	۱۰	۱۰	۴	۳
مسیر اتوبوس مدرسه	۱۰	۱۰	۱۰	۴	۳
وسایل نقلیه سنگین با سهم بالای ۱۰٪	۱۰	۱۰	۴	۳	۰,۱
وجود تونل در مسیر ترمز	۱۰	۱۰	۳	۳	۰,۱
خاکریز متوسط	۴	۴	۳	۳	۲
وجود قوس در مسیر ترمز	۳	۳	۳	۲	۱
مسیر مستقیم خطوط مسافری	۳	۳	۳	۱	۱
مسیر مستقیم خطوط باری	۳	۳	۱	۱	۰,۱

#### ۴. مقایسه روش آکام و شاخص ریسک

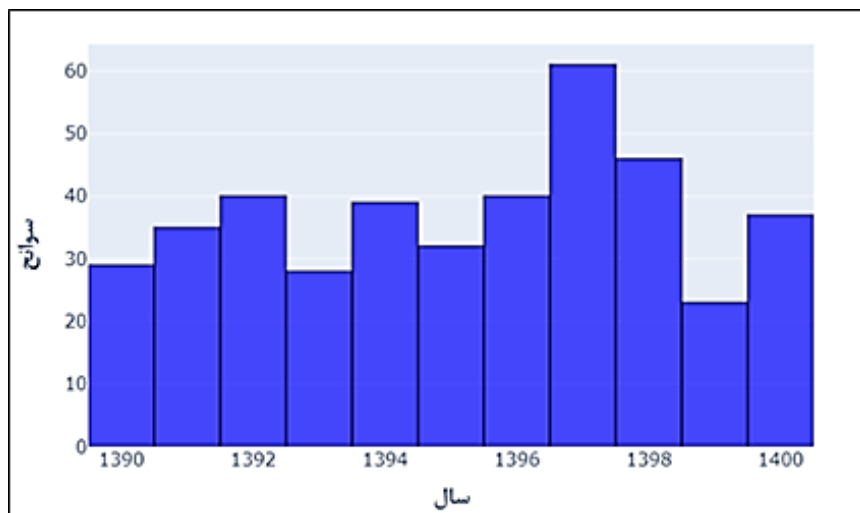
##### IP

مدل آکام با استفاده از ورودی‌های متنوع و جامع و در عین حال ساده به محاسبه عدد ریسک می‌پردازد و در نهایت گذرگاه‌ها را اولویت بندی می‌کند. یکی از فاکتورهای مهمی که این مدل را از سایر مدل‌ها متمایز می‌سازد، پیش‌بینی سوانح برای هر تقاطع با استفاده از داده‌های ده سال اخیر و در نظر گرفتن عامل مواجهه برای محاسبه عدد ریسک نهایی می‌باشد. همانطور که در بخش ۳ ذکر شد، در روش مورد استفاده در ایران، برای اولویت‌بندی گذرگاه‌ها با استفاده از مشخصه‌های فیزیکی گذرگاه، به محاسبه عدد ریسک پرداخته می‌شود در حالی که در مدل آکام علاوه بر مشخصه‌های فیزیکی و کنترل‌کننده‌ها، دو عامل مواجهه و پیامد نیز در نظر گرفته می‌شود. با در نظر گرفتن سوانح ده سال اخیر و پیش‌بینی احتمال وقوع برای هر تقاطع به پیاده‌سازی مدل پرداخته می‌شود که همین عامل سبب افزایش دقت مدل و در نتیجه اولویت‌بندی دقیق‌تر تقاطع‌ها می‌شود.

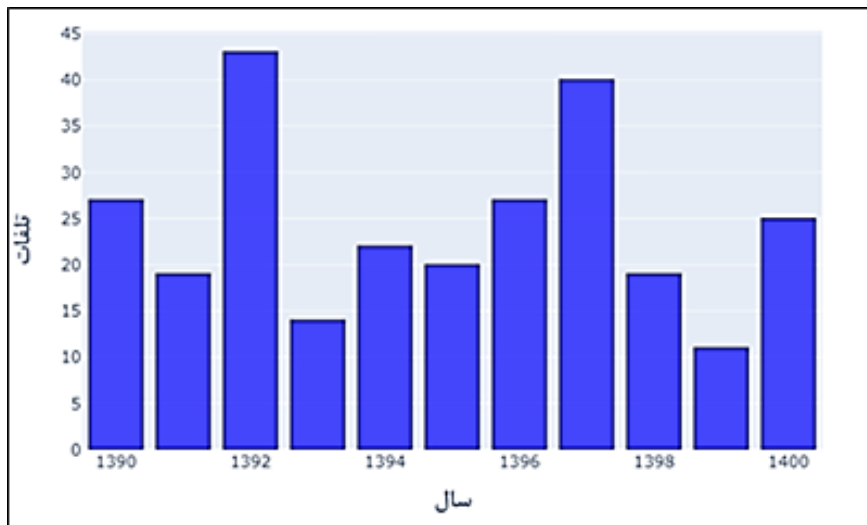
#### ۵. تحلیل داده‌ها

برای پیاده‌سازی مدل آکام نیاز به اطلاعات سوانح ده سال اخیر برای محاسبه عامل مواجهه و پیامد می‌باشد که این اطلاعات از اداره کل ایمنی و نظارت بر شبکه راه آهن ج.ا.ا دریافت شد. همچنین اطلاعات مربوط به تقاطع‌ها که برای محاسبه عامل زیرساخت مورد نیاز است از اداره کل خط و سازه‌های فنی راه آهن ج.ا.ا دریافت و آماده‌سازی و مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از داده‌های دریافتی از اداره ایمنی و نظارت بر شبکه راه آهن ج.ا.ا به تحلیل سوانح رخ داده در تقاطع‌های همسطح ریل و جاده بین سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۰ پرداخته شده است. در شکل ۲ سهم هر کدام از وسایل نقلیه در وقوع تصادفات در دوره مورد نظر نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود تعداد سوانح در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ دارای بیشترین و در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۳۹۳ دارای کمترین رخ وقوع می‌باشند. لازم به ذکر است که یکی از دلایل اصلی کاهش تعداد سوانح در سال ۱۳۹۹ کاهش سیر قطارهای مسافری بعلت شیوع ویروس کوید - ۱۹ می‌باشد.

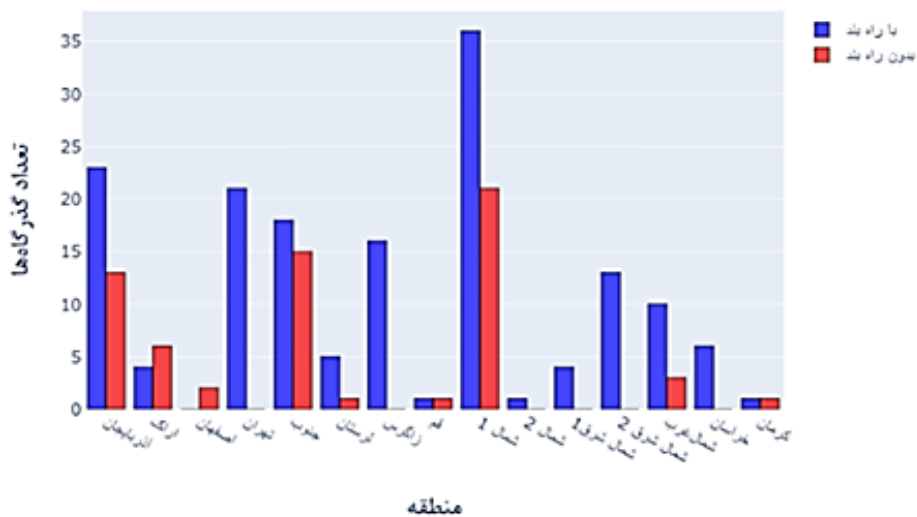


شکل ۳. سوانح رخ داده در تقاطع همسطح ده سال (۱۳۹۰-۱۴۰۰)



شکل ۴. تعداد تلفات ده سال (۱۳۹۰-۱۴۰۰)

در اطلاعات دریافتی از اداره خط و سازه‌های فنی، تقاطع‌ها در ایران به دو دسته با راهبند و بدون راهبند تقسیم می‌شوند. در شکل ۵ توزیع تقاطع‌های همسطح در ایران بر حسب منطقه (اداره کل) مشاهده می‌شود.



شکل ۵. توزیع تقاطع‌های همسطح در ایران بر حسب منطقه

بر اساس گزارش اداره ایمنی و نظارت بر شبکه راه‌آهن ج.ا.ا. تعداد ۳۱۴ سانحه در تقاطعات همسطح ریل و جاده طی ده سال (۱۳۹۰-۱۴۰۰) رخ داده است که در مجموع منجر به ۱۱۶ فوتی و جرحی شده است. در جدول شماره ۷، سوانح بر اساس نوع تقاطع دسته بندی شده اند.

جدول ۷. تعداد سوانح و تلفات در تقاطعات همسطح بر حسب نوع تقاطع

کل	محل غیرمجاز	بدون راهبند	با راهبند	
۴۶۷	۲۴۶	۶۳	۱۵۹	تقاطع همسطح
۳۱۴	۱۹۸	۱۰۰	۱۶	تعداد سوانح (۱۳۹۰-۱۴۰۰)
۱۱۶	۷۵	۲۴	۱۴	مجموع تلفات (۱۳۹۰-۱۴۰۰)

## ارزیابی میزان ریسک در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده با استفاده از مدل آکام

### ۱-۵ فرضیات و محدودیت‌های تحقیق

برای پیاده‌سازی مدل آکام نیاز به ورودی‌های متعددی می‌باشد و با توجه به جمع‌آوری این اطلاعات از بخش‌های مختلف راه آهن ج.ا.ایران، یکی از محدودیت‌هایی که این تحقیق با آن مواجه شد، عدم یکپارچگی داده‌های جمع‌آوری شده بود. به طور مثال داده‌های دریافتی از اداره کل خط و سازه‌های فنی راه آهن ج.ا.ا. مربوط به اطلاعات کلی زیرساختی هر گذرگاه می‌باشد که بر اساس نام گذرگاه ثبت شده است اما در اطلاعات دریافتی از اداره کل ایمنی و نظارت بر شبکه راه آهن ج.ا.ا. که مربوط به سوانح ده سال اخیر در تقاطعات همسطح ریل و جاده می‌باشد، این اطلاعات بر اساس مبدا و مقصد و اسم ناحیه ثبت شده است نه نام گذرگاه، لذا از آنجایی که مدل آکام از حاصلضرب سه عامل زیرساخت، پیامد و مواجهه بدست می‌آید و از آنجایی که ضریب زیرساخت بر اساس هر گذرگاه بدست آمده ولی دو ضریب دیگر بر اساس مبدا مقصد بدست آمده است و فاقد نام گذرگاه است، در نهایت میانگین دو عامل مواجهه و پیامد برای هر ناحیه بدست آمد و برای عامل زیرساخت که بر اساس هر گذرگاه محاسبه شده است مورد استفاده قرار گرفت و نهایتاً عدد ریسک برای هر گذرگاه تعیین گردید. محدودیت دیگر مربوط به ثبت دقیق اطلاعات نوع حفاظت مورد استفاده در گذرگاه‌ها می‌باشد. بر اساس مدل آکام نوع حفاظت ایمنی گذرگاه‌ها دسته بندی خاص خود را دارد، در مقابل داده‌های دریافتی از راه آهن ج.ا.ایران در مورد گذرگاه‌های هم سطح به سه دسته شامل با راهبند دستی، چراغ راهنما و راهبند برقی به ثبت رسیده است و اطلاعاتی در مورد تابلوهای هشدار یا استفاده از آژیر خطر و ... ثبت نشده است. در صورت یکپارچه بودن داده‌ها و همینطور ثبت دقیق تر نوع سیستم حفاظتی مورد استفاده در گذرگاه‌های هم سطح، می‌توان به عدد ریسک دقیق تری برای هر گذرگاه دست یافت.

### ۲-۵ امکان‌پذیری مدل

این مدل با استفاده از ورودی‌های متنوع و در عین حال ساده به

محاسبه عدد ریسک می‌پردازد و در نهایت گذرگاه‌ها را اولویت بندی می‌کند. یکی از فاکتورهای مهمی که این مدل را از سایر مدل‌ها متمایز می‌سازد، استفاده از داده‌های ده سال اخیر برای پیش‌بینی سوانح برای هر تقاطع و در نظر گرفتن عامل مواجهه برای عدد ریسک نهایی می‌باشد. همچنین با بررسی صورت گرفته از نوع داده‌های جمع‌آوری شده از راه آهن ج.ا.ایران می‌توان به این نتیجه رسید که این مدل، روش دقیقی برای اولویت‌بندی گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده در ایران می‌باشد.

### ۶. پیاده‌سازی مدل

#### ۶-۱ ضریب زیرساخت برای تقاطع‌های همسطح راه

##### آهن ایران

از جمله عوامل تاثیرگذار و اصلی در وقوع سوانح در تقاطع همسطح ریل و جاده در کشور ایران می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- بی‌توجهی به حرکت قطار (۲۰۳ مورد)
  - ورود غیر مجاز به حریم (۱۰۱ مورد)
  - عبور از محل غیرمجاز (۸۷ مورد)
  - عدم رعایت آیین‌نامه راهنمایی و رانندگی (۲۱ مورد)
  - تخطی از سرعت (۱۴ مورد)
  - تاخیر در پایین آوردن تیرک راهبند (۴ مورد)
- همینطور مشخصه‌هایی که برای ضریب زیرساخت در نظر گرفته شده است شامل:

- شیب/فراز مسیر وقوع سانحه (۲ مورد)
- وجود قوس در مسیر (۲۰ مورد)
- دید محدود یا بدون دید (۴۲ مورد)
- دو خطی و چند خطی بودن خطوط ریلی (۴۳ مورد)
- تعداد قطار عبوری (بیش از ۱۵ قطار عبوری در روز ۳۸ مورد)
- جاده خاکی (۶۸ مورد)

همانطور که قبلاً نیز اشاره شده است، این مشخصه‌ها با استفاده

از همبستگی بین داده‌ها بدست آمده است و عواملی هستند که احتمال وقوع سانحه را تشدید می‌کنند. جزئیات مربوطه در جدول شماره ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸. ماتریس مشخصه

مشخصه / مکانیزم سانحه	شیب	قوس	قطار عبوری	دو یا چند خطی	دید محدود یا بدون دید	جاده خاکی
تاخیر در پایین آمدن تیرک	۱	۲	۳	۴	۵	۶
تخطی از سرعت	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲
عدم رعایت قوانین	۳	۶	۹	۱۲	۱۵	۱۸
عبور از محل غیر مجاز	۴	۸	۱۲	۱۶	۲۰	۲۴
ورود غیرمجاز به حریم	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
بی‌توجهی به حرکت قطار	۶	۱۲	۱۸	۲۴	۳۰	۳۶

کنترل کننده‌ها به ترتیب رتبه ۱ تا ۴ را کسب کرده‌اند. لازم به ذکر است از آنجایی که اطاعات دقیقی از سیستم کنترلی پیاده شده در تقاطع‌های همسطح کشور ایران در اختیار نیست، صرفاً با توجه به اطلاعاتی که اداره کل خط و سازه‌های فنی در اختیار قرار داده ۴ نوع (راهبند دارای روشنایی/راهبند دستی/راهبند بصورت میله/راهبند برقی) به عنوان سیستم کنترلی موجود در تقاطع‌های همسطح در نظر گرفته شده است.

با استفاده از آمار دریافتی از اداره کل خط و سازه‌های فنی، ستون مربوط به مشخصات فیزیکی گذرگاه‌ها دسته‌بندی شده است و با توجه به فاکتورهایی که راه آهن استرالیا برای روش آلکام پیشنهاد داده است، با در نظر گرفتن فراوانی آن‌ها در سوانح ده سال اخیر امتیاز دهی شده‌اند. در ماتریس کنترل کننده در جدول ۹ سطرها بر اساس همان تعریف فراوانی برای مکانیزم سانحه تنظیم شده است و ستون‌ها نیز براساس اهمیت بیشتر

جدول ۹. ماتریس کنترل کننده‌ها

کنترل کننده / مکانیزم سانحه	راهبند برقی	راهبند بصورت میله	راهبند دستی	دارای روشنایی
تاخیر در پایین آمدن تیرک	۱	۲	۳	۴
تخطی از سرعت	۲	۴	۶	۸
عدم رعایت قوانین	۳	۶	۹	۱۲
عبور از محل غیر مجاز	۴	۸	۱۲	۱۶
ورود غیرمجاز به حریم	۵	۱۰	۱۵	۲۰
بی‌توجهی به حرکت قطار	۶	۱۲	۱۸	۲۴

با در نظر گرفتن همبستگی بین ضریب زیر ساخت خام و تعداد وسیله نقلیه عبوری در روز که در جدول ۱۰ نشان داده شده است؛ محاسبه‌ی ضریب زیرساخت صورت گرفته است.

در نهایت با استفاده از همبستگی داده‌های ده سال اخیر و نرمال سازی داده‌ها بر اساس حجم وسایل نقلیه و قطار عبوری، به محاسبه تعدیل کننده ضریب زیرساخت پرداخته شد و در نهایت ضریب زیر ساخت خام برای هر تقاطع بدست آمد.

## ارزیابی میزان ریسک در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده با استفاده از مدل آکام

جدول ۱۱. مقدار ضریب حفاظت ایمنی بر اساس نوع تقاطع در

راه آهن ایران

نوع سیستم کنترلی	ضریب حفاظت ایمنی
بدون راهبند	۱,۶۵
راهبند دستی	۲,۱۷
راهبند برقی	۲,۷

در جدول ۱۲ مقدار A5 بدست آمده برای ده گذرگاه که بیشترین مقدار را داشتند نشان داده شده است.

جدول ۱۲. ده گذرگاه با بالاترین مقدار A5 (احتمال وقوع حادثه)

A5	نام گذرگاه	اداره کل	ردیف
۳۳,۸۹	مشهد	تهران	۱
۳۱,۹۵	کشتارگاه	خراسان	۲
۳۱,۳۳	کاشمر	خراسان	۳
۲۸,۵	پالایشگاه	آذربایجان	۴
۲۷,۹۱	شهر قدس	تهران	۵
۲۵,۰۲	مهرشهر	تهران	۶
۲۳,۳۶	امام‌آباد	شمال شرق	۷
۲۲,۷	شیخ‌آباد	تهران	۸
۲۱,۳۹	باقرآباد	تهران	۹
۱۸,۸۴	قرچک	تهران	۱۰

۶-۳ ضریب پیامد برای برای تقاطع‌های راه آهن

ایران

در ادامه با استفاده از جدول امتیازدهی پیامد، به وزن دهی هرکدام از عوامل محیطی پرداخته شده است. با دسته بندی سرعت در زمان وقوع سانحه مطابق جدول زیر و در نظر گرفتن عواملی مانند نوع قطار(باری یا مسافری)، وجود قوس، شیب بیش از ۳ درصد، پل، تک یا چند خطی بودن مسیر ریلی و نوع وسیله نقلیه درگیر سانحه برای هرکدام از سوانح رخ داده شده طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، وزن کلی ضریب پیامد بر اساس هر منطقه بدست آمده است که در جدول ۱۳ نشان داده شده است. بیشترین وزن مربوط به ناحیه تهران (پیشوا-ورامین) می‌باشد. از جمله عواملی که باعث امتیاز بالای این منطقه شده است می‌توان به: سرعت

$$\text{Infrastructure factor} = 0.38 \times \text{Row infrastructure factor} \quad (24)$$

جدول ۱۰. همبستگی بین ضریب زیرساخت خام و وسیله نقلیه و

قطار عبوری از گذرگاه

نرمالسازی	نرمالسازی	ضریب	همبستگی
(max- min) ADTT	(max- min) ADTV	زیرساخت خام	
۰,۳۸	۰,۰۲۹	۱	ضریب زیرساخت خام
۰,۲۷	۰,۰۲۹	۱	نرمالسازی (max-min) ADTV
۱	۰,۳۸	۰,۲۷	نرمالسازی (max-min) ADTT

۶-۲ ضریب مواجهه برای تقاطع‌های راه آهن ایران

لازم به ذکر است که در راه‌آهن استرالیا مقدار ضریب حفاظت ایمنی بین ۱,۶۵ تا ۲,۷ می‌باشد و نوع سیستم هشدار دهنده‌ی مورد استفاده در تقاطع‌های این کشور، متفاوت با نوع سیستم مورد استفاده در کشور ایران می‌باشد. در داده‌های دریافتی از راه آهن ایران نوع تقاطع‌ها بر اساس نوع آن‌ها به "با راهبند" و "بدون راهبند" دسته‌بندی شده است. که راهبندها نیز به دو نوع دستی و برقی تقسیم بندی شده است.

بیشترین مقدار ضریب حفاظت مربوط به تقاطعات دارای راهبند اتوماتیک (۲,۷) و کمترین ضریب حفاظت مربوط به تقاطع‌هایی که تنها مجهز به تابلوهای هشدار (۱,۶۵) می‌باشد در نظر گرفته شده است.

لذا با توجه به نوع تقاطع‌های کشور ایران، مقدار ضریب حفاظت بر اساس نوع تقاطع‌های ایران در جدول ۱۱ نشان داده شده است. کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب به بدون راهبند و راهبند برقی و میانگین این دو عدد برای راهبند دستی در نظر گرفته شد.

رتبه	منطقه	ابتدا - انتها	مقدار پیامد
۵	شمال ۲	زیاران - کهنده	۳۳
۶	تهران	ورامین-بهرام	۲۵
۷	تهران	ری-بهرام	۲۴
۸	تهران	کردان-هشتگرد	۲۳
۹	خراسان	ابومسلم-ترت	۱۸
۱۰	قم	رودشور-پرنده	۱۷

### ۶-۴ عدد ریسک آکام

عدد ریسک آکام با حاصلضرب سه فاکتور زیرساخت، مواجهه و پیامد بدست می آید. لذا در جدول ۱۴ میانگین ریسک بر اساس هر منطقه و به ازای هر تقاطع نشان داده شده است.

جدول ۱۴. میانگین عدد ریسک آکام بر اساس منطقه

ردیف	منطقه	تعداد تقاطع مجاز	متوسط عدد ریسک آکام	میانگین ریسک به ازای هر تقاطع مجاز
۱	ازاک	۱۰	۱۷,۸۲	۱,۷۸
۲	اصفهان	۲	۶۳,۸۸	۳۱,۹۴
۳	آذربایجان	۳۶	۲۹,۹۳	۰,۸۳
۴	تهران	۲۱	۱۹۷,۴۹	۹,۴۰
۵	جنوب	۳۳	۱۱,۱۰	۰,۳۴
۶	جنوب شرق	۱۵	۱,۰۸	۰,۰۷
۷	خراسان	۶	۲۶۷,۲۸	۴۴,۵۵
۸	شمال	۵۷	۲۰,۶۳	۰,۳۶
۹	شمال شرق	۱۷	۸۵,۰۶	۵,۰۰
۱۰	شمال غرب	۱۳	۳۴,۵۶	۲,۶۶
۱۱	قم	۲	۲۲,۶۱	۱۱,۳۱
۱۲	لرستان	۶	۱۴,۳۴	۲,۳۹

ریسک کمتر اما تلفات بیشتری دارد. این نتایج نشان می دهد که در ناحیه شمال احتمال وقوع سانحه کمتر اما در صورت وقوع، شدت پیامد بیشتری دارد.

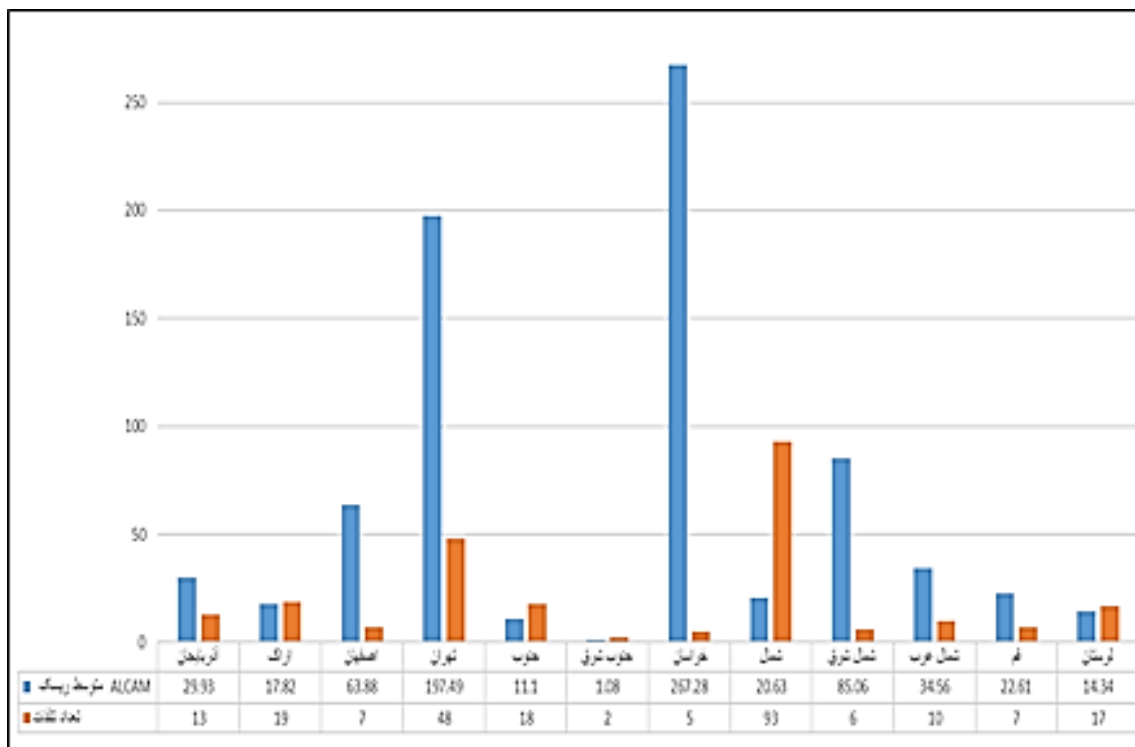
بالای قطار هنگام وقوع سانحه (۱۱۰ کیلومتر بر ساعت)، چند خطی بودن مسیر، برخورد با سواری که سهم ۵۰ درصدی در وقوع سوانح در ده سال اخیر داشته است و شیب بیش از ۳ درصد اشاره کرد.

جدول ۱۳. وزن دهی در مناطق مختلف بر اساس جدول امتیاز

دهی پیامد			
رتبه	منطقه	ابتدا - انتها	مقدار پیامد
۱	تهران	پیشوا - ورامین	۴۳
۲	خراسان	شهید مطهری - فریمان	۴۲
۳	تهران	بهرام - ورامین	۳۷
۴	فارس	شهرضا - مهیار	۳۵

در شکل ۶ میانگین ریسک بر اساس هر منطقه و تعداد تلفات سوانح ده سال اخیر بر اساس هر منطقه مشاهده می شود. ناحیه تهران و خراسان بیشترین مقدار ریسک را دارند و ناحیه شمال

## ارزیابی میزان ریسک در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده با استفاده از مدل آکام



شکل ۶. میانگین ریسک آکام و تعداد تلفات سوانح بر حسب هر ناحیه (۱۳۹۰-۱۴۰۰)

گریز از مرکز اغلب سبب خروج از خط قطار می‌شود پی برد. دلایل دیگر عبارتند از چند خطه بودن خطوط در این تقاطع‌ها، برخورد با وسایل نقلیه سواری و موتورسیکلت با سهمی بیش از ۱۰ درصد در وقوع سوانح در ده سال اخیر و وجود شیب یا فراز در این نواحی. در نواحی متوسط رو به بالا و متوسط، عوامل دخیل در سوانح کم‌رنگ‌تر می‌باشد.

### ۷. جمع‌بندی

در این پژوهش درگام اول به بررسی شرایط گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده در ایران و همچنین تحلیل و بررسی سوانح رخ داده شده طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۴۰۰ پرداخته شد. سپس با استفاده از مدل آکام محاسبه میزان ریسک در تقاطع‌های همسطح صورت گرفت. در ادامه با تحلیل داده‌های دریافتی از اداره کل خط و سازه‌های فنی و همچنین اداره کل ایمنی و نظارت بر شبکه، شرایط زیرساخت راه‌آهن ایران، مشخصه‌ها و همینطور نوع سیستم کنترلی مورد استفاده در تقاطع‌های همسطح راه‌آهن ایران بررسی شد. در گام بعدی آماده سازی هر کدام از پایگاه داده

### ۵-۶ اولویت بندی تقاطع‌ها بر اساس عدد ریسک

#### ناحیه

به دلیل اینکه اطلاعات دقیقی از اسم تقاطع‌هایی که دچار سانحه شده‌اند، در پایگاه داده اداره ایمنی و نظارت بر شبکه راه‌آهن ج.ا.ا ثبت نشده است و تنها به ابتدا و انتهای مسیر اشاره شده است. لذا بر اساس همین اطلاعات به اولویت‌بندی تقاطع‌ها بر اساس منطقه وقوع سانحه و مسیر قرارگیری تقاطع پرداخته شده است. بر اساس تعریف مدل آکام در نهایت رتبه بندی صورت گرفته است و نواحی به ۵ دسته تقسیم شده اند که عبارتند از: بالا، متوسط رو به بالا، متوسط، متوسط رو به پایین، پایین. که بر اساس همین رتبه بندی، ۸۵ گذرگاه با ریسک بالا (پرخطر) و همینطور ۸۵ گذرگاه با ریسک متوسط رو به بالا شناسایی شده است.

با بررسی تقاطع‌هایی که در ناحیه پر ریسک قرار گرفته اند می‌توان به علل اصلی وقوع سوانح در چنین تقاطع‌هایی به سرعت بالای قطار هنگام وقوع سانحه (۱۰۰ تا ۱۳۸ کیلومتر بر ساعت) و وجود قوس در نزدیکی تقاطع که این عامل به دلیل نیروی

۲) در نواحی پر ریسک راه آهن ج.ا.ایران، کدام گذرگاه بالاترین ریسک را دارد؟  
یک تقاطع در خراسان (شهید مطهری-فریمان) و ۵ تقاطع در ناحیه تهران به ترتیب در تقاطع‌های محور: پیشوا-ورامین، بهرام-ورامین، ری-بهرام، تپه سفید-تهران، ورامین-پیشوا بیشترین مقدار عدد ریسک را بر اساس خروجی مدل دارند.

۳) با استفاده از مدل آکام در صورت پیاده سازی کدام اقدامات ایمنی، سطح ریسک کاهش بیشتری می یابد؟

از آنجایی که در گذرگاه‌ها با ریسک زیاد، همگی در نزدیکی تقاطع دارای قوس و شیب/فراز و همینطور سابقه برخورد با وسایل نقلیه مانند سواری و موتور سیکلت را دارند و این عوامل امتیازی بالایی (۱۰) در محاسبه‌ی ضریب پیامد دارد. از آنجایی که هرچه مقدار ضریب حفاظت ایمنی بیشتر باشد، سبب کاهش ضریب مواجهه و در نتیجه کاهش ریسک می‌شود. در این تقاطع‌هایی که وجود قوس و شیب/فراز در نزدیکی گذرگاه سبب افزایش ضریب پیامد می‌شود، می‌توان با تعبیه سیستم کنترلی که بالاترین ضریب حفاظت ایمنی را دارد، ریسک کل را کاهش داد. بطور کلی با توجه به بالاترین مقدار ضریب حفاظت بر اساس روش آکام می‌توان به استفاده از راهبند اتوماتیک در این تقاطع‌ها یا بکارگیری نگهبان در تقاطع، چراغ ایست و چراغ چشمک‌زن و آژیر اشاره کرد که باید برای هر تقاطع بصورت جداگانه بررسی و با استفاده از تحلیلی هزینه-منفعت بهترین شیوه را جهت کاهش ریسک پیشنهاد داد. همچنین برای حفاظت از سمت جاده می‌توان به مواردی مانند: استفاده از خط کشی جاده منتهی به تقاطع و نصب تابلوهای هشدار دهنده در نزدیکی و نرسیده به تقاطع اشاره کرد. همچنین در صورت پیاده سازی سیاست تبدیل گذرگاه‌های همسطح به غیر همسطح تقاطع‌هایی که دارای قوس، شیب/فراز در نزدیک گذرگاه یا چند خطی بودن مسیر قرار دارند، در اولویت قرار داده شوند.

۴) راهکارهای مناسب جهت کاهش ریسک در گذرگاه‌های

پرخطر چیست؟

انجام شد و داده‌های آماده شده وارد فاز مدل سازی شدند. سپس در سه مرحله هر کدام از فاکتورهای زیرساخت، مواجهه و پیامد برای ۲۴۲ تقاطع همسطح بدست آمد. در نهایت با استفاده از میانگین ریسک بدست آمده بر اساس هر ناحیه، مشخص شد که ناحیه خراسان و تهران دارای بالاترین میزان ریسک می‌باشند. همچنین با توجه به میزان تلفات ناشی از سوانح رخ داده در تقاطع‌های همسطح ریل و جاده مشخص شد که در ناحیه راه آهن شمال، احتمال وقوع سانحه پایین ولی شدت تلفات زیاد است. در نهایت نیز با توجه به عدد ریسک هر ناحیه رتبه بندی تقاطع‌ها همسطح صورت گرفت.

## ۸ نتیجه گیری

یکی از پارامترهای مهم در سیستم حمل و نقل ریلی، زیرساخت مورد استفاده در خطوط ریلی است. شبکه خطوط ریلی در نقاط متعددی با شبکه جاده ای تلافی پیدا می‌کند و در صورتیکه تدابیر مناسبی اتخاذ نگردد، این نقاط می‌تواند خطر آفرین باشد. در تقاطعات ریل و جاده یکی از گزینه های زیرگذر، روگذر و تقاطعات همسطح مورد استفاده قرار می‌گیرد. تقاطعات همسطح در شبکه ریلی غالباً حادثه خیز است و لازم است مخاطرات موجود در این نقاط، در صورت امکان حذف و در غیر اینصورت به محدوده قابل قبول کاهش یابد.

همچنین در این پژوهش سوالات زیر پاسخ داده شده است:

۱) کدام یک از تقاطع‌های همسطح در ایران بالاترین مقدار

ریسک را بر اساس مدل آکام دارد؟

با توجه به بررسی انجام شده ناحیه خراسان و ناحیه تهران در دوره مورد بررسی بیشترین میزان ریسک را دارند. لازم به ذکر است که تعداد تقاطع‌های ناحیه تهران ۲۱ تقاطع و ناحیه خراسان ۶ تقاطع می‌باشد و به دلیل بیشتر بودن تعداد گذرگاه‌های ناحیه تهران در مجموع میانگین عدد ریسک کمتری نسبت به ناحیه خراسان دارد. اما از نظر تعداد گذرگاه‌های پرخطر شناسایی شده در بین ۸۴ گذرگاه سهم بیشتری متعلق به ناحیه تهران می‌باشد.

## ارزیابی میزان ریسک در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده با استفاده از مدل آلکام

• استفاده از داده‌های سوانح ده سال اخیر و ارزیابی آن بر اساس علل اصلی موثر در وقوع سوانح، در صورتی که در روش کنونی تنها با استفاده از مشخصه‌های فیزیکی گذرگاه به موضوع محاسبه ریسک و اولویت‌بندی پرداخته می‌شود.

• در نظر گرفتن ضریب زیرساخت برای بدست آوردن میزان احتمال وقوع سانحه و همچنین دسته‌بندی ضریب زیرساخت بر اساس مشخصه‌های فیزیکی گذرگاه و نوع سیستم کنترلی مورد استفاده که کار را برای دسته‌بندی داده‌ها راحتتر می‌کند.

• امتیاز دهی بر اساس نوع سیستم کنترل ریسک مورد استفاده در تقاطع و تاثیر آن بر مکانیزم سانحه.

### ۸-۲ پیشنهادات اجرایی

تحقیق انجام شده میزان ریسک در تقاطع‌ها را بر اساس متغیرهای متنوع و همچنین تاثیرگذار در وقوع سانحه ارزیابی می‌کند. در صورت پیاده سازی مدل پیشنهادی می‌توان به اولویت بندی دقیق تقاطع‌های همسطح پرداخت و در صورت تغییر در مشخصات فیزیکی گذرگاه می‌توان میزان ریسک را به روز رسانی و به کارشناسان ایمنی کمک کرد تصمیم مناسبی برای کاهش ریسک اتخاذ نمایند. از این رو نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند مورد استفاده مرکز تحقیقاتی مرتبط با صنعت ریلی کشور باشد.

### ۸-۳ پیشنهادات برای مطالعات آینده

روش‌های مختلف ارزیابی ریسک دارای درجات متفاوتی از سهولت اجرا و دقت نتایج می‌باشند. بر همین اساس موارد زیر برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد.

(۱) انجام مطالعه تطبیقی و مقایسه نتایج حاصله از این مطالعه با روش موجود ارزیابی ریسک در راه آهن ج.ا. ایران و تحلیل نتایج.

(۲) انجام مطالعه تطبیقی و مقایسه نتایج حاصله از این مطالعه با روش‌های دیگر ارزیابی ریسک در صنعت ریلی بویژه روش

ALARP

### ۹. پی‌نوشت‌ها

#### 1. Identification and Prioritization

در ۸۴ گذرگاه شناسایی شده با ریسک بالا مواردی مانند: تخطی از سرعت مجاز، وجود قوس در نزدیکی گذرگاه‌ها، چند خطه بودن مسیر و برخورد با وسیله نقلیه موتوری و سواری از جمله موارد شناسایی شده در این گذرگاه‌ها می‌باشد، لذا توصیه‌های جهت کاهش سطح ریسک به شرح زیر پیشنهاد می‌گردد:

• توجه ویژه به تقاطع‌هایی که محل گذر قطارهای باری حامل کالای خطرناک می‌باشند و پیاده سازی حداکثری تمهیدات ایمنی ممکن برای این تقاطع‌ها.

• نصب تابلوهای هشدار قبل از گذرگاه و نزدیکی گذرگاه همسطح ریل و جاده.

• استفاده از خط کشی در جاده منتهی به تقاطع‌های همسطح.

• توجه به پوشش گیاهی اطراف تقاطع همسطح و ارزیابی میزان تاثیر آن بر زاویه دید کاربران جاده و لکوموتوررانان.

• استفاده لکوموتورران از سوت قطار هنگام نزدیک شدن به تقاطع همسطح برای آگاه کردن کاربران جاده‌ای.

### ۸-۱ نوآوری

نوآوری‌هایی که این مطالعه را از سایر مطالعات مشابه متمایز می‌سازد، به اختصار شامل موارد زیر می‌باشد:

• استفاده از اطلاعات دقیق برای ارزیابی وضعیت گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده.

• قابلیت تشخیص کارایی گزینه‌های کاهش ریسک در مقابل سوانح مختلف.

• اولویت بندی تقاطع‌ها با توجه به عدد ریسک بدست آمده.

• استفاده از متغیرها و ورودی‌های متنوع و جامع در مقایسه با روش شاخص ریسک IP مورد استفاده در ایران، که در نتیجه سبب افزایش دقت مدل میگردد.

• در نظر گرفتن هر دو عامل احتمال وقوع و پیامد حادثه برای محاسبه میزان ریسک در گذرگاه‌ها، در صورتی که در روش کنونی مورد استفاده در راه آهن ج.ا. ایران (IP)، جهت اولویت‌بندی گذرگاه‌ها فقط عامل احتمال در نظر گرفته می‌شود.

Alcam) Automation Of The Australian Level Crossing Assessment Process. June.

– Jacob Mathew, & Rahim F. Benekohal. (2020). A New Accident Prediction Model for Highway-Rail Grade Crossings Using the USDOT Formula Variables. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.17265/2328-2142/2020.01.001>

– Keramati, A., Lu, P., Ren, Y., Tolliver, D., & Ai, C. (2021). Investigating the effectiveness of safety countermeasures at highway-rail at-grade crossings using a competing risk model. *Journal of Safety Research*, 78(May), 251–261. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2021.04.008>

– Kim, G., Baek, J., Jo, H., Lee, K., & Lee, J. (2012). Design of safety equipment for railroad level crossings using laser range finder. *Proceedings - 2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2012, Fskd*, 2909–2913. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2012.6234334>

– Liang, C., Ghazel, M., Cazier, O., & El-Koursi, E. M. (2018). Developing accident prediction model for railway level crossings. *Safety Science*, 101, 48–59. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.08.013>

– Potenza, G. (2021). Level crossing safety in the EU 6. December.

– Singhal, V., Jain, S. S., Anand, D., Singh, A., Verma, S., Kavita, Rodrigues, J. J. P. C., Jhanjhi, N. Z., Ghosh, U., Jo, O., & Iwendi, C. (2020). Artificial Intelligence Enabled Road Vehicle-Train Collision Risk Assessment Framework for Unmanned Railway Level Crossings. *IEEE Access*, 8, 113790–113806. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3002416>

2. Australian Level Crossing Assessment Model (ALCAM)

3. United State Department of Transportation

4. Infrastructure Factor

5. Average Daily Traffic Vehicle

6. Average Daily Traffic Train

## ۱۰. مراجع

– اداره کل خط و سازه‌های فنی. (۱۴۰۰). گزارش بررسی روش‌های افزایش ایمنی در گذرگاه‌های همسطح.

– اداره کل خط و سازه‌های فنی. (۲۰۲۰). خلاصه گزارش ایمنی در تقاطع‌های همسطح در اروپا.

– گزارش اداره کل ایمنی راه آهن ج.ا.ا. (۱۴۰۱).

– مالکیان، س. (۱۳۹۳). توسعه مدل ارزیابی ریسک گذرگاه‌های همسطح ریلی-جاده‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: حمیدرضا احدی، تهران: دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران.

– محسنی، م.، حسینی، س.ع. و باقری، م. (۱۳۹۹). مدلسازی فراوانی تصادفات در گذرگاه‌های همسطح جاده و ریل ایران. فصلنامه مهندسی حمل و نقل، ۴۷، ۲۸۸–۲۷۳.

– Abioye, O. F., Dulebenets, M. A., Pasha, J., Kavooosi, M., Moses, R., Sobanjo, J., & Ozguven, E. E. (2020). Accident and hazard prediction models for highway-rail grade crossings: a state-of-the-practice review for the USA. *Railway Engineering Science*, 28(3), 251–274. <https://doi.org/10.1007/s40534-020-00215-w>

– Alenoori, H., Thompson, J., Murray, P., & Mctiernan, D. (2023). Automation Of The Australian Level Crossing Assessment (

ارزیابی میزان ریسک در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده با استفاده از مدل آکام

– Turner, S., Cook, E., & Boshier, S. (2021).  
Level crossing safety impact assessments for  
vehicle and pedestrian crossings.  
Transportation Research Record, 2675(9),  
1482–1492.  
<https://doi.org/10.1177/03611981211007857>

فرزانه محمدی کیان، حمیدرضا احدی

فرزانه محمدی کیان درجه کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی ایمنی در راه آهن در سال ۱۴۰۳ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان: تحلیل داده، داده کاوی و ارزیابی ریسک در حوزه حمل و نقل ریلی است.



حمیدرضا احدی دکتری خود را در سال ۲۰۰۳ در رشته مهندسی حمل و نقل ریلی از دانشگاه جیائوتونگ پکن اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدیریت لجستیک و زنجیره تامین، اقتصاد حمل و نقل، مدیریت عملیات و مهندسی مجدد فرآیندهای ایمنی در حوزه حمل و نقل ریلی است. ایشان در حال حاضر عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی راه آهن در دانشگاه علم و صنعت ایران می باشد.

