مجله علمی- پژوهشی مهندسی عمران مدرس
دوره ۲۵، شماره ۱، سال ۱۴۰۴
صفحات ۲۱ تا ۳۱

بررسی تفسیرپذیری الگوریتم پروبیت ترتیبی در تجزیه‌وتحلیل تأثیر زمان وقوع بر شدت تصادفات در آزادراه‌های برون‌شهری

میثم عفتی[1*]، امیرمحمد رمضانپور[2]

۱. دانشیار، گروه مهندسی عمران (راه و ترابری)، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان.
۲. کارشناسی ارشد مهندسی عمران (راه و ترابری)، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان.

* رایانامه نویسنده مسئول: meysameffati@guilan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵

چکیده

با توجه به کارایی روش‌های هوشمند، مدل‌های آماری توجه زیادی را در مطالعات ایمنی و تحلیل تصادفات به خود جلب کرده است. از طرفی بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که مطالعات کمی در خصوص آثار خاص بازه‌های ساعتی شبانه‌روز بر روی شدت تصادفات انجام‌شده است.پس، هدف از این تحقیق ضمن لحاظ تفسیرپذیری الگوریتم پروبیت ترتیبی، بررسی تأثیر شرایط زمان‌های مختلف شبانه‌روز برشدت آسیب تصادفات با استفاده از داده‌های شش سال تصادف آزادراه برون‌شهری لوشان-قزوین است. در این راستا الگوریتم پروبیت ترتیبی به‌صورت جداگانه در چهار بازه زمانی برای پیش‌بینی آثار عوامل مختلف هندسی و محیطی و ترافیکی برشدت آسیب ناشی از تصادفات روی داده‌های تصادفات پیشین پیاده‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفت و از آزمون نسبت احتمال برای توجیه‌پذیری مدل‌ها استفاده شد. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که حواس‌پرتی راننده در بازه‌های زمانی صبح، ظهر، غروب و شب به ترتیب با ضریب ۱/۳۳، ۱/۲۱، ۱/۲۵ و ۰/۹۸ مهم‌ترین عامل افزایش شدت تصادفات در محور موردمطالعه است. در مقابل، برخورد با شیء ثابت در همان بازه‌های زمانی به ترتیب با ضریب ۰/۵۸-، ۱/۸۳-، ۱/۲۴- و ۰/۷۵- با افزایش شدت تصادفات رابطه عکس دارد.

کلمات کلیدی: ایمنی راه، شدت تصادفات، پروبیت ترتیبی، آزمون نسبت احتمال، تحلیل آماری.

۱- مقدمه

طبق آمار سازمان بهداشت جهانی (۲۰۲۳) در مورد تصادفات جاده‌ای در سال ۲۰۲۱، سالانه ۱/۱۹ میلیون نفر در جاده‌ها جان خود را از دست می‌دهند، یعنی از هر صد هزار نفر، پانزده نفر در تصادفات جاده‌ای کشته می‌شوند. همچنین بر اساس گزارش این سازمان، تلفات سرنشینان وسایل نقلیه در ایران و کشورهای مدیترانه شرقی نسبت به سال ۲۰۱۳، ۱۱ درصد افزایش یافته و میزان تصادفات منجر به مرگ در این مناطق کم‌درآمد دو برابر مناطق پردرآمد است [1]. همچنین آسیب‌های ناشی از تصادفات جاده‌ای در کشور، یکی از پنج علت مهم مرگ‌ومیر به شمار می‌رود؛ بنابراین در برنامه‌های توسعه کشور اهمیت این موضوع موردتوجه قرارگرفته و از دستگاه‌های مربوطه خواسته‌شده تا برای کاهش تلفات و حوادث جاده‌ای اقدامات لازم صورت گیرد.

بر اساس گزارش شورای ملی ایمنی[1] (NSC) در سال ۲۰۲۰ بیشترین تصادفات مرگبار (۲۳ درصد) در بازه ساعتی ۱۶ تا ۲۰ عصر در آمریکا رخ داده است [2]. بر اساس گزارش پلیس راهور ایران در فروردین ۱۳۹۸ بیشترین تصادفات برون‌شهری بین ساعت ۱۶ تا ۲۰ با سهم ۲۸ درصدی رخ‌داده است؛ پس‌ازاین ساعت، ساعت ۱۲ تا ۱۶ بیشترین تصادفات را به خود اختصاص داده است. همچنین، طبق آمار شورای ملی ایمنی آمریکا در سال ۲۰۲۰، بیشترین تصادفات مرگبار در بازه‌های زمانی خاصی از شبانه‌روز

[1] National Safety Council

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-01-30]

[DOI: 10.22034/25.1.21]

رخ‌داده است.

گرچه در برخی مطالعات به بررسی مدل‌های شدت تصادفات پرداخته‌شده است اما هنوز ارتباط بین شدت تصادف و بازه زمانی شبانه‌روز به‌طور کامل درک و تحلیل نشده است. از طرفی در بیشتر تحقیقات انجام‌شده برای مدل‌سازی شدت تصادفات از مدل‌های آماری استفاده شد و تعیین روابط بین شدت و عوامل مؤثر با این مدل‌ها به دلیل وجود روابط پیچیده‌ای بین متغیرها دشوار است. در مطالعات جدید وضعیت روشنایی جاده به‌عنوان پارامتر مهمی در فراوانی و شدت تصادفات رانندگی در نظر گرفته‌شده است.

این پژوهش با استفاده از داده‌های تصادفات آزادراه برون‌شهری، توجیه‌پذیری مدل پروبیت ترتیبی[1] را در تجزیه‌وتحلیل تأثیر زمان شبانه‌روز در شدت آسیب تصادف موردبررسی قرار داده است. درواقع مدل پیشنهادی برای به دست آوردن درک بهتر از روابط پیچیده بین بازه‌های زمانی مختلف روز و عوامل مؤثر موجود در تصادفات این بازه‌ها استفاده می‌شود.

۲- مروری بر تحقیقات پیشین

در دو دهه گذشته، پژوهشگران ایمنی ترافیک از الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین برای تحلیل شدت تصادفات استفاده کرده‌اند [11-3]. این روش‌ها به دلیل انعطاف‌پذیری بالا، توانایی مدیریت داده‌های گم‌شده و نویز دار و نیاز کم به فرضیات اولیه موردتوجه قرارگرفته‌اند [12].

در رویکردهای پژوهشی، مدل‌های انتخاب گسسته از کاربردی‌ترین تکنیک‌ها برای تحلیل شدت آسیب ناشی از تصادفات به شمار می‌روند [13–16]. مدل‌های لجستیک چندجمله‌ای[2] و پروبیت ترتیبی[3] شاخص‌ترین مدل‌های انتخاب گسسته برای تجزیه‌وتحلیل شدت تصادفات رانندگی هستند [17]. زای و همکاران از مدل پروبیت ترتیبی با پارامترهای تصادفی برای تحلیل عوامل مؤثر بر شدت تصادفات در جاده‌های دوخطه برون‌شهری چین استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که رفتار راننده، نوع وسیله نقلیه و شرایط جاده به‌طور معناداری بر شدت تصادفات تأثیر می‌گذارند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مدل پروبیت ترتیبی توانایی خوبی در پیش‌بینی شدت تصادفات دارد [18]. خان و همکاران برای بررسی تأثیر طرحی هندسی راه و خطرات کنار جاده بر شدت تصادفات خروج از جاده در راه‌های برون‌شهری استرالیا از مدل پروبیت ترتیبی سلسله‌مراتبی استفاده کردند. نتایج نشان داد که طرح هندسی و وضعیت کنار جاده تأثیر زیادی بر شدت تصادفات دارند و مدل پروبیت ترتیبی توانسته است این آثار را به خوبی نشان دهد [19].

از طرفی، نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که عوامل محیطی ازجمله شرایط روشنایی، ارتباط نزدیکی با افزایش شدت آسیب تصادفات دارند [23-20]. تاماکوله و همکاران برای شناسایی عوامل مؤثر در شدت تصادفات وسیله نقلیه اتوبوس و مینی‌بوس در جاده‌های با روسازی ضعیف[4]، از یک رویکرد داده‌کاوی در شرایط روشنایی مختلف استفاده کردند. مطابق نتایج تحقیق، اغلب تصادفات مرگبار در برخورد با عابران پیاده و در مسیرهای با هندسه مستقیم و هموار در بازه زمانی شب رخ‌داده‌اند [20]. ابیدت و همکاران اثربخشی روشنایی جاده را بر کاهش تصادف شبانه را در کشور اردن قبل و بعد از نصب سیستم روشنایی مورد بررسی قراردادند. نتایج تأیید کننده این مطلب بود که روشنایی شدت تصادفات مورد انتظار را کاهش می‌دهد [21]. حسین و همکاران با استفاده از داده‌های تصادف‌های فوتی و جرحی عابر پیاده در لوئیزیانا (۲۰۱۰–۲۰۱۹)، به شناسایی الگوهای پنهان در عوامل مؤثر بر شدت تصادفات با توجه به سه شرایط روشنایی مختلف (نور روز، تاریکی با نور خیابان و تاریکی مطلق) پرداختند. نتایج نشان داد که تصادفات با عابر پیاده در نور روز بیشتر با کودکان زیر ۱۵ سال، عابران پیاده سالخورده بالای ۶۴ سال، رانندگان مسن‌تر از ۶۴ سال و رفتارهای رانندگی مانند بی‌توجهی، حواس‌پرتی، بیماری، خستگی و خواب‌آلودگی ارتباط دارد. همچنین، رانندگان جوان (۱۵ تا ۲۴ سال) در شرایط نور روز با افزایش شدت تصادفات با عابر پیاده ارتباط مستقیمی دارند [22]. انارکولی و حسینلو به بررسی تأثیر شرایط روشنایی مختلف بر شدت آسیب تصادفات در جاده‌های برون‌شهری دوخطه ایالت واشنگتن پرداختند. نتایج مدل‌سازی نشان داد که شدت آسیب تصادفات تحت تأثیر هر یک از شرایط روشنایی (نور روز، تاریکی و تاریکی با نور خیابان) به شکل‌های متفاوتی با عوامل مختلف مانند مکان تصادف، محدودیت سرعت، عرض شانه، رفتار راننده و نوع

[1] ordered probit
[2] Multinomial logit
[3] ordered logit/probit
[4] Poor pavement condition

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-01-30]
[DOI: 10.22034/25.1.21]

تصادف مرتبط است [23]. علاوه بر این، ژای و همکاران با استفاده از یک مدل لاجیت به بررسی شدت آسیب تصادفات وسیله نقلیه در جاده‌های برون‌شهری پرداختند. نتایج نشان داد که تاریکی هوا می‌تواند احتمال تصادفات بدون آسیب را افزایش دهد. آن‌ها همچنین ادعا کردند که رانندگان در هنگام غروب و شب با احتیاط بیشتری رانندگی می‌کنند [24].

بیشتر پژوهشگران از شرایط روشنایی به عنوان یک متغیر مستقل در کنار سایر عوامل در تحلیل شدت تصادفات استفاده کرده‌اند. درحالی‌که پاهوکولا و همکاران به بررسی تأثیر مستقیم زمان روز بر شدت تصادف پرداختند [25]. آن‌ها مدل‌های لجستیک ترکیبی را با استفاده از داده‌های سیستم ضبط اطلاعات تصادف[1] (CRIS) در تگزاس (شامل تصادفات کامیون‌های سنگین در آزادراه‌های شهری بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰) ایجاد کردند. داده‌های تصادفات به پنج بازه زمانی مختلف شامل صبح زود، صبح، اواسط روز، بعدازظهر و عصر تقسیم‌بندی شدند. نتایج مطالعه نشان داد که مدل‌های تک زمانی تفاوت‌های قابل‌توجهی را در تأثیر متغیرها در هر بازه زمانی نشان می‌دهند و دوره‌های زمانی مختلف عوامل مؤثر خاص خود را در تعیین سطح‌های شدت آسیب دارند [25].

با توجه به پژوهش‌های پیشین، فقدان رویکردی که تأثیر عوامل مؤثر بر شدت تصادفات در شرایط روشنایی مختلف را بررسی کند، مشهود است. پژوهشگران به‌طورمعمول شرایط روشنایی را به‌عنوان یک متغیر مستقل در تحلیل ایمنی راه در نظر گرفته‌اند که یک رویکرد دارای محدودیت است، زیرا عوامل مختلف تحت شرایط روشنایی متفاوت می‌توانند به طور پیچیده‌ای با یکدیگر تعامل داشته و بر شدت آسیب تأثیر بگذارند. با توجه به محدودیت‌های مطرح‌شده، هدف مطالعه حاضر این است که تأثیر عوامل مختلف بر شدت آسیب در بازه‌های ساعتی مختلف روز را از طریق مدل‌سازی جداگانه برای هر بازه زمانی بررسی کند.

۳- روش پژوهش

بر مبنای روش پیشنهادی در این تحقیق، ابتدا داده‌های تصادفات از پلیس‌راه جمع‌آوری‌شده و پایگاه داده ایجادشده مورد پیش‌پردازش و تحلیل آماری قرار می‌گیرد. از آزمون نسبت احتمال برای اثبات توجیه‌پذیری تحلیل جداگانه بازه‌های زمانی استفاده شد. سپس، با استفاده از الگوریتم پروبیت ترتیبی توسعه‌یافته بر اساس بازه زمانی و شدت تصادف، متغیرهای مؤثر بر تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی در زمان‌های مختلف روز شناسایی شدند. این فرآیند برای هر بازه زمانی به‌صورت جداگانه انجام شد. در ادامه تفسیر و توجیه‌پذیری مدل پروبیت ترتیبی در پیش‌بینی شدت تصادفات بازه‌های زمانی مختلف روز با استفاده از متغیرهای مؤثر در شدت تصادفات موردبررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

۳-۱- داده و منطقه موردمطالعه و روش پژوهش

بر مبنای روش محور موردمطالعه در این پژوهش آزادراه لوشان قزوین در استان گیلان و قزوین است. این محور یک راه برون‌شهری دوخطه-دوطرفه جداشده به طول ۷۲ کیلومتر است. این آزادراه از کوه‌های البرز می‌گذرد و باهدف تقویت محور تهران-رشت- انزلی-آستارا که جزئی از مسیر کریدور بین‌المللی شمال- جنوب بوده و یکی از مهم‌ترین محورهای ارتباطی کشور محسوب می‌شود، احداث شده است. کریدور شمال-جنوب کوتاه‌ترین، ارزان‌ترین و مناسب‌ترین مسیر حمل کالا بین آسیا و اروپاست. آزادراه قزوین-رشت ازنظر حمل‌ونقل جاده‌ای یکی از مهم‌ترین قطعات شبکه آزادراهی کشور است و استان‌های گیلان و اردبیل را به پایتخت کشور متصل می‌نماید که از دلایل اصلی انتخاب این محور برای انجام پژوهش بوده است.

داده‌های مورداستفاده در این مطالعه مربوط به سوابق شش سال تصادف (۱۳۹۰-۱۳۹۵) آزادراه برون‌شهری لوشان-قزوین است که از پلیس‌راه و سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای گرفته شده است. در مجموعه داده‌های تصادفات مورد تحلیل، در سه سطح شدت فوتی، جرحی و خسارتی تعریف می‌شوند؛ مجموعه داده شامل بیش از ۳۰ متغیر است. بر اساس هدف تحقیق و داده‌های در دسترس ۲۳ عامل مؤثر برشدت تصادف به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شدند. این متغیرها مرتبط با عوامل انسانی، آب‌وهوا، کنترل تقاطع، کاربری زمین، وضعیت روشنایی، محل تصادف، زمان تصادف (روز، ماه، سال و ساعت)، نوع و وضعیت روسازی، خط‌کشی راه، تعمیرات راه، نوع برخورد و هندسه راه می‌باشند.

به منظور تحلیل دقیق‌تر عوامل مؤثر بر شدت تصادفات، داده‌ها به چهار بازه زمانی تقسیم شدند تا امکان بررسی و شناسایی الگوهای زمانی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات فراهم شود. با توجه به داده‌های

[1] Crash Records Information System

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-01-30]

[DOI: 10.22034/25.1.21]

در دسترس، هدف تحقیق و همچنین نتایج مطالعات پیشین من‌جمله پاهالوکا و همکاران [25]، زو و همکاران [26] و مورگان و منرینگ [27] تجزیه‌وتحلیل شدت تصادفات در چهار بازه زمانی صبح از ۶:۰۰ تا ۱۰:۰۰، ظهر از ۱۰:۰۰ تا ۱۵:۰۰، غروب از ۱۵:۰۰ تا ۱۹:۰۰ و شب از ۱۹:۰۰ تا ۶:۰۰ موردبررسی قرار گرفت؛ شکل (۱)، فراوانی تصادفات به تفکیک بازه‌های زمانی را نشان می‌دهد.

شکل ۱. فروانی تصادفات با توجه به زمان روز

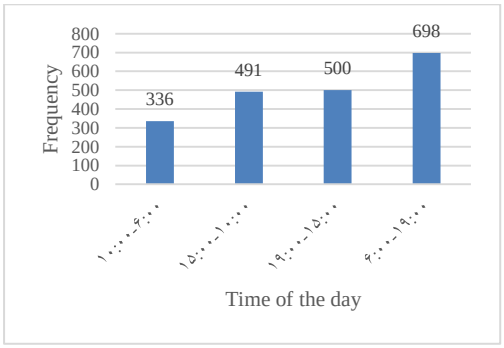

Fig 1. Crash frequency by time of the day

در مجموع ۲۱۲۵ داده تصادف، تعداد تصادفات فوتی، خسارتی و جرحی به ترتیب ۶۹، ۱۶۷۰ و ۳۸۶ مورد است. تحلیل آماری مجموعه داده‌های تصادفات در چهار بازه زمانی موردمطالعه در جدول (۱) ارائه‌شده است.

۴- سنجش ویژگی‌های مدل

پس از توسعه مدل‌ها، از آزمون‌های نسبت احتمال به دلیل توانایی ارزیابی معناداری آماری برای تعیین توجیه‌پذیری استفاده از مدل‌های جداگانه بر اساس بازه‌های زمانی استفاده شد. در ابتدا مدل کامل با تمام مدل‌های بازه مختلف زمانی مقایسه، و سپس مدل‌ها به صورت جداگانه با یکدیگر مقایسه شدند. لگاریتم آزمون نسبت احتمال برای انتقال‌پذیری به شرح رابطه (۱) است [24 و 27].

$$x^2 = -2\left[LL(\beta_T) - \sum_{k}^{k=j} LL(\beta_k)\right] \qquad (۱)$$

جدول ۱. تحلیل آماری متغیرهای ورودی و خروجی روش پیشنهادی به تفکیک بازه‌های زمانی شبانه‌روز در محور موردمطالعه

Variables and description	Noon (10:00-15:00)		Sunset (15:00-19:00)		Night (19:00-6:00)		Morning (6:00-10:00)	
	mean	Std.dev	mean	Std.dev	mean	Std.dev	mean	Std.dev
Injury severity								
Fatal (1 if true; otherwise 0)	0.036		0.032		0.035		0.029	
Injury (1 if true; otherwise 0)	0.124		0.15		0.156		0.122	
Property Damage Only (1 if true; otherwise 0)	0.839		0.818		0.808		0.848	
Driver info								
Distraction (1 if true; otherwise 0)	0.179	0.383	0.186	0.389	0.189	0.391	0.181	0.385
Road condition								
Level terrain (1 if true; otherwise 0)	0.993	0.077	0.992	0.089	0.994	0.075	0.988	0.108
Mountainous terrain (1 if true; otherwise 0)	0.002	0.045	0.002	0.044	0.004	0.065	0.011	0.108
Crash location (1 if on roadway; otherwise 0)	0.90	0.299	0.874	0.331	0.873	0.331	0.727	0.452
Crash location (1 if near Ghazvin; otherwise 0)	0.810	0.391	0.846	0.360	0.790	0.406	0.830	0.375
Crash location (1 if near Kuhin; otherwise 0)	0.810	0.391	0.846	0.360	0.789	0.407	0.830	0.375
Divided road (1 if true; otherwise 0)	0.802	0.398	0.798	0.401	0.793	0.404	0.815	0.387
Road marking (1 if broken line; otherwise 0)	0.702	0.457	0.656	0.475	0.664	0.472	0.645	0.478
Non-residential land use (1 if true; otherwise 0)	0.792	0.405	0.77	0.420	0.762	0.425	0.773	0.418
Straight road (1 if true; otherwise 0)	0.857	0.349	0.844	0.362	0.828	0.806	0.806	0.395
Curve road (1 if true; otherwise 0)	0.142	0.349	0.156	0.362	0.171	0.193	0.193	0.395
Environmental factors								
Sunny weather (1 if true; otherwise 0)	0.839	0.374	0.812	0.390	0.813	0.389	0.809	0.392
Snowy weather (1 if true; otherwise 0)	0.052	0.223	0.086	0.280	0.065	0.248	0.053	0.225
Road surface (1 if dry; otherwise 0)	0.841	0.365	0.83	0.375	0.830	0.374	0.818	0.385
Road surface (1 if icy and snowy; otherwise 0)	0.050	0.219	0.064	0.244	0.045	0.209	0.086	0.280
Collision info								
Fixed-object collision (1 if true; otherwise 0)	0.397	0.489	0.262	0.480	0.345	0.475	0.473	0.499
Collision with a vehicle (1 if true; otherwise 0)	0.309	0.457	0.324	0.446	0.328	0.469	0.247	0.431
Collisions with animals (1 if true; otherwise 0)	0.010	0.100	0.016	0.125	0.011	0.106	0.011	0.108
Roadway departure (1 if true; otherwise 0)	0.078	0.268	0.086	0.280	0.067	0.250	0.065	0.247
Vehicle rollover (1 if true; otherwise 0)	0.134	0.341	0.154	0.360	0.166	0.372	0.175	0.380
Head-on (1 if true; otherwise 0)	0.134	0.361	0.15	0.367	0.140	0.247	0.163	0.369
Rear-end (1 if true; otherwise 0)	0.167	0.372	0.176	0.380	0.174	0.379	0.127	0.334

Table 1. Statistical analysis of the input and output variables of the proposed method to separate day and night time periods on the studied road

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-01-30]

[DOI: 10.22034/25.1.21]

$LL(\beta_T)$ احتمال همگرایی برای مدل کامل است (۹۸۰۶/۴۲۴-). $LL(\beta_k)$ احتمال همگرا بودن مدل در بازه زمانی k (ظهر، غروب، شب، صبح) با استفاده از متغیرهای یکسان در مدل کلی است. k برابر با تعداد بازه‌های زمانی است ($\sum_{k=0}^{k=K} LL(\beta_k) = -۹۵۰/۱۸$). آمار مربع گای برای آزمون نسبت احتمال با ۴۷ درجه آزادی، با ضریب اطمینان بالای ۹۹/۹۹ درصد ($x^2 = -۱۰۵۰/۴۰$) به دست آمد که به معنای رد فرضیه صفر است؛ به این معنی که فرض یکسان بودن پارامترهای مدل بازه‌های زمانی کلی و جداگانه، رد می شود. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که مدل‌ها دارای پارامترهای مؤثر متفاوت ازنظر آماری هستند. برای توجیه بیشتر استفاده از مدل مجزا در هر بازه زمانی، دومین آزمون درست نمایی لگاریتمی برای آزمایش قابلیت انتقال ضرایب رگرسیون از مدل کلی به هر مدل بازه زمانی انجام می‌شود:

$$x^2 = -2\left[Lk\beta_{(k_1k_2)} - LU\beta_{(k_I)}\right] \quad (۲)$$

$LL(\beta_{k_1k_2})$ لگاریتم درست نمایی در همگرایی یک مدل با استفاده از پارامترهای مدل k_2 برای داده‌های بازه زمانی k_1 است و $LL(\beta_{k_1})$ لگاریتم درست نمایی در همگرایی مدل با استفاده از داده‌های بازه زمانی k_1 (بدون محدودیت پارامترها) است.

آمار x^2 با درجات آزادی برابر با تعداد پارامترهای برآورد شده در $\beta_{k_1k_2}$ این احتمال را به همراه دارد که مدل‌ها دارای پارامترهای متفاوتی باشند. هر یک از آمارهای مربوط به تست بالاتر از مقدار x^2با درجه آزادی خاص در سطح اطمینان ۹۹/۹۹ درصد است (P= ۰/۰۰۰۱). درنتیجه این نتایج توسعه مدل جداگانه در بازه‌های زمانی مختلف را توجیه می‌کنند.

جدول (۲) نتایج دومین آزمایش قابلیت انتقال‌پذیری را نشان می‌دهد (رابطه ۲). ترکیبی از این دو آزمون نسبت احتمال، ارزیابی خوبی از تفاوت‌های آماری بازه‌های زمانی مختلف ایجاد می‌کند [27]؛ بنابراین، مشخص شد که چهار مدل جداگانه ازنظر آماری توجیه‌پذیر هستند (با سطح اطمینان بیش از ۹۹/۹۹ درصد).

جدول ۲. آزمایش انتقال‌پذیری برای بررسی چهار مدل

k1	k2			
	Morning	**Night**	**Sunset**	**Noon**
Noon	10144/83 (df=16)	93/62 (df=22)	6174/93 (df=19)	0
Sunset	292/38 (df=16)	19/04 (df=22)	0	22/03 (df=21)
Night	4459/65 (df=16)	0	3063/10 (df=19)	36/18 (df=21)
Morning	4459/5 (df=16)	26/17 (df=22)	238/58 (df=19)	21/06 (df=21)

Table 2. Transferability test comparing the four models

۵- پیاده‌سازی و نتایج

از مدل پروبیت ترتیبی به‌صورت جداگانه برای هریک از بازه‌های زمانی استفاده شد و در نهایت به تفسیر نتایج مدل و تحلیل روابط بین عوامل تأثیرگذار در شدت تصادفات پرداخته شد. متغیرهایی که p-value آن‌ها کمتر از ۰/۰۵ (سطح معمول پذیرفته‌شده) است، از نظر آماری معنی‌دار بوده و با سطح اطمینان ۹۵ درصد بر شدت آسیب تأثیر می‌گذارند. در نتایج به دست آمده مقدار ضریب مثبت برای یک متغیر مستقل بدین معناست که با شدت آسیب ارتباط مثبت داشته و با افزایش میزان آن، میزان شدت آسیب افزایش می‌یابد و برعکس. همچنین در ادامه آثار حاشیه‌ای برای هر یک از متغیرهایی که ازنظر آماری در هر مدل دارای اهمیت هستند محاسبه می‌شود. آثار حاشیه‌ای، تأثیر تغییرات هر واحد متغیر را روی سطوح شدت آسیب، به صورت جداگانه نشان می‌دهند و نتایج مدل پروبیت ترتیبی را بر اساس هریک از سطوح شدت تصادف (فوتی، جرحی و خسارتی) تفسیرپذیر می‌کنند.

۵-۱- نتایج مدل پیشنهادی در بازه زمانی ۱۰:۰۰ الی ۱۵:۰۰ به منظور تحلیل شدت تصادفات

جدول شماره (۳) نتایج برآورد شدت آسیب را در بازه زمانی ۱۰:۰۰ الی ۱۵:۰۰ نشان می‌دهد. سطح جاده یخ‌زده و برفی، آب‌وهوای برفی، حواس‌پرتی راننده، محل تصادف باند سواره‌رو و تصادف با شیء ثابت به ترتیب با ضریب‌های ۱/۷۷-، ۱/۷۴، ۱/۳۳، ۰/۸۷- و ۰/۵۸- متغیرهای معنادار در تعیین سطح شدت تصادفات در بازه زمانی ظهر هستند.

جدول شماره (۳) همچنین نشان می‌دهد، در طی ظهر، جاده یخبندان و برفی با اثر حاشیه‌ای ۰/۳ با تصادفات خسارتی ارتباط مستقیمی دارد. یک توضیح احتمالی برای این یافته این است که علاوه بر تردد کمتر وسایل نقلیه در این شرایط، رانندگان معمولاً در جاده یخبندان و برفی با احتیاط بیشتری رانندگی می‌کنند و

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-01-30]
[DOI: 10.22034/25.1.21]

درنتیجه تصادفات فوتی و جرحی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، متغیر آب‌وهوای برفی، تأثیر مثبتی برافزایش شدت آسیب در آزادراه‌های برون‌شهری دارد. آب هوای برفی باعث حواس‌پرتی راننده، کاهش دید و همچنان لغزنده شدن جاده می‌شود که می‌تواند دلیل این متغیر برافزایش شدت تصادفات باشد.

طبق آیین‌نامه ایمنی راه‌ها (وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۳) عامل انسانی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر ایمنی راه است. طبق نتایج جدول (۳)، حواس‌پرتی راننده در بازه زمانی ظهر، با صدمات فوتی و جرحی سرنشینان به ترتیب با اثر حاشیه‌ای ۰/۰۷ و ۰/۱۵ ارتباط مستقیم دارد. حواس‌پرتی زمان عکس‌العمل راننده را در مقابل اتفاقات رخ‌داده در محیط پیرامون افزایش داده که به دنبال آن در این تصادفات برخورد با شدت بالا بیشتر رخ می‌دهد.

نتایج جدول (۳) مبین این مطلب است که متغیر محل تصادف باند سواره‌رو و برخورد با شیء ثابت با وقوع تصادفات منجر به فوت و جرح در بازه زمانی ظهر ارتباط عکس دارد. در این زمان، حجم ترافیک معمولاً کمتر از ساعات اوج است که باعث کاهش تراکم خودروها و درنتیجه کاهش احتمال تصادفات شدید می‌شود. همچنین نور روز و بهبود دید رانندگان امکان تشخیص بهتر خطرات و واکنش سریع‌تر را فراهم می‌کند.

جدول ۳. نتایج مدل‌سازی شدت تصادفات به روش پروبیت ترتیبی در ظهر (۱۰:۰۰ الی ۱۵:۰۰)

Variable	Coefficient	Std.Error	Z-value	Marginal effects		
				PDO	Injury	Fatal
Level terrain	5.781736	191.4746	0.03	-1.00307	0.66685	0.336216
Mountainous terrain	2.636185	432.5434	0.01	-0.45735	0.30405	0.153298
Roadway crash location	-0.87517	0.222969	-3.93	0.151832	-0.10094	-0.05089
Ghazvin crash location	0.085518	0.221208	0.39	-0.01484	0.009863	0.004973
Divided road	-0.23755	0.213824	-1.11	0.041211	-0.0274	-0.01381
Broken line marking	0.101561	0.229517	0.44	-0.01762	0.011714	0.005906
Non-residential land use	0.088319	0.307861	0.29	-0.01532	0.010187	0.005136
Sunny weather	-0.22352	0.367139	-0.61	0.038778	-0.02578	-0.013
Snowy weather	1.741827	0.794918	2.19	-0.30219	0.200898	0.10129
Dry road surface	-0.03261	0.388817	-0.08	0.005657	-0.00376	-0.0019
Icy and snowy road surface	-1.77013	0.826067	-2.14	0.307098	-0.20416	-0.10294
Driver distraction	1.326082	0.179487	7.39	-0.23006	0.152947	0.077113
Straight road	0.264018	0.244417	1.08	-0.0458	0.030451	0.015353
Fixed-object collision	-0.57891	0.293078	-1.98	0.100435	-0.06677	-0.03366
Collision with a vehicle	-0.49095	0.299237	-1.64	0.085173	-0.05662	-0.02855
Collisions with animals	-4.32189	169.0745	-0.03	0.749798	-0.49847	-0.25132
Roadway departure	-0.13782	0.35872	-0.38	0.023911	-0.0159	-0.00801
Vehicle rollover	-0.38519	0.328679	-1.17	0.066825	-0.04443	-0.0224
Head-on collision	-0.06072	0.331216	-0.18	0.010535	-0.007	-0.00353
Rear-end collision	-0.53636	0.29619	-1.81	0.093052	-0.06186	-0.03119
Model statistics						
μ_1	5.954704	191.4753				
μ_2	7.026608	191.4754				
Log likelihood at convergence	-196.169					
Log likelihood ratio index (ρ2)	0.2426					
Number of observations	491					

Table 3. The results of crash severity modeling by ordered probit method at noon (10:00 to 15:00)

۵-۲- نتایج مدل پیشنهادی در بازه زمانی ۱۵:۰۰ الی ۱۹:۰۰ به‌منظور تحلیل شدت تصادفات

نتایج برآورد شدت تصادفات در بازه زمانی ۱۵:۰۰ الی ۱۹:۰۰ بر اساس جدولی مشابه جدول (۳) از مدل پروبیت ترتیبی استخراج شده است. حواس‌پرتی، برخورد جلو با شیء ثابت، تصادف جلو به عقب و محل تصادف در نزدیکی قزوین به ترتیب با ضریب ۱/۲۵، ۱/۲۴-، ۱/۰۶- و ۰/۴۹ متغیرهای معنادار در تعیین سطح شدت تصادفات در بازه زمانی غروب هستند.

بر اساس نتایج مدل پیشنهادی در بازه زمانی غروب، متغیرهای حواس‌پرتی راننده و محل تصادف در نزدیکی شهر قزوین با افزایش شدت تصادفات ارتباط مستقیمی دارند. در این بازه زمانی، غروب خورشید باعث کاهش وضوح جاده و عوامل محیطی شده و میدان دید کاهش می‌یابد. حواس‌پرتی راننده، ترافیک بیشتر و وجود عوامل حادثه‌ساز بیشتر نزدیک شهر در کنار کاهش میدان

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-01-30]

[DOI: 10.22034/25.1.21]

دید، زمان عکس‌العمل را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد و این تأخیر در واکنش می‌تواند باعث تصادفات شدیدتر و خطرناک‌تر شود.

با توجه به نتایج مدل پروبیت ترتیبی تصادفات جلو با شیء ثابت و جلو به عقب در هنگام غروب در آزادراه‌های برون‌شهری با افزایش شدت تصادفات ارتباط مستقیمی دارند. دلیل این اتفاق می‌تواند کاهش میدان دید ناشی از تغییرات روشنایی، خستگی رانندگان در پایان روز و رانندگی با سرعت زیاد در آزادراه‌ها باشد. در زمان غروب، تشخیص اشیاء ثابت و تغییرات سرعت خودروهای جلویی دشوارتر می‌شود که می‌تواند منجر به برخوردهای شدیدتر شود. علاوه بر این، خستگی ناشی از رانندگی طولانی در مسیرهای برون‌شهری و کمبود روشنایی کافی در برخی قسمت‌های آزادراه‌ها، خطر و شدت این تصادفات را افزایش می‌دهد.

۵-۳- نتایج مدل پیشنهادی در بازه زمانی ۱۹:۰۰ الی ۶:۰۰ به‌منظور تحلیل شدت تصادفات

عوامل مؤثر برشدت تصادفات در بازه زمانی ۱۹:۰۰ الی ۶:۰۰ بر اساس نتایج مدل پروبیت ترتیبی مانند جدول (۳) به دست آمده است. حواس‌پرتی، برخورد با شیء ثابت، برخورد با وسیله نقلیه، تصادف جلو به عقب، محل تصادف باند سواره به ترتیب با ضریب ۰/۹۸، ۰/۵۷-، ۰/۵۳-، ۰/۴۷- و ۰/۷۳- متغیرهای معنادار در تعیین سطح شدت تصادفات در بازه زمانی شب هستند.

تحلیل‌های مدل پروبیت ترتیبی نشان می‌دهد که شدت تصادفات در باند سواره‌رو در ساعات شب کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد رانندگان در هنگام تردد شبانه در باند سواره‌رو با آگاهی از محدودیت‌های دید و خطرات بالقوه، تدابیر ایمنی بیشتری را اتخاذ می‌کنند. این رفتار محتاطانه بیشتر شامل کاهش سرعت و افزایش هوشیاری است که به‌طور مستقیم منجر به کاهش شدت آسیب‌های ناشی از تصادفات احتمالی می‌شود.

بر اساس نتایج مدل پروبیت ترتیبی برخورد با شیء ثابت، برخورد با وسیله نقلیه و تصادفات جلو به عقب در هنگام شب، رابطه معکوسی با افزایش شدت تصادفات دارند. افزایش هوشیاری و احتیاط رانندگان در روشنایی کم شب، کاهش حجم ترافیک شبانه و افزایش زمان واکنش به دلیل سرعت کمتر و فاصله بیشتر بین خودروها می‌تواند از دلایل کاهش شدت این نوع تصادفات در بازه زمانی شب باشد.

۵-۴- نتایج مدل پیشنهادی در بازه زمانی ۶:۰۰ الی ۱۰:۰۰ به‌منظور تحلیل شدت تصادفات

مشابه جدول (۳) متغیرهای تأثیرگذار برشدت تصادفات در بازه زمانی ۶:۰۰ الی ۱۰:۰۰ از مدل پروبیت ترتیبی به دست آمدند. برخورد با شیء ثابت، شرایط آب و هوایی صاف، حواس‌پرتی، برخورد با وسیله نقلیه، واژگونی و سقوط، محل تصادف باند سواره و محل تصادف در نزدیکی قزوین به ترتیب با ضریب ۱/۸۳-، ۱/۶۱، ۱/۲۱، ۱/۴۳-، ۱/۱۶-، ۰/۷۶- و ۰/۶۵ متغیرهای معنادار در تعیین سطح شدت تصادفات در بازه زمانی صبح هستند.

مطابق نتایج مدل پروبیت ترتیبی باند سواره‌رو ارتباط عکسی با افزایش شدت تصادفات دارد. شرایط نوری مطلوب صبحگاهی دید بهتری را فراهم می‌کند؛ ترافیک در این ساعات بیشتر روان‌تر و با سرعت یکنواخت‌تری جریان دارد و رانندگان در شروع حرکت که اغلب هنگام صبح است تمرکز بیشتری بر رانندگی دارند. همچنین، در صبح معمولاً شرایط جوی مساعدتر است و خطر خواب‌آلودگی کمتر از ساعات شب یا بعدازظهر است.

آب‌وهوای صاف طبق نتایج مدل پروبیت ترتیبی با افزایش شدت تصادفات رابطه مثبتی دارد. دلیل آن میل رانندگان به رانندگی به‌سرعت زیاد در این نوع آب‌وهوا و جاده خلوت هنگام صبح است. افزایش سرعت رانندگی موجب افزایش زمان عکس‌العمل راننده و افزایش شدت تصادفات است. همچنین حواس‌پرتی که می‌تواند به دلیل خواب‌آلودگی نیز باشد، موجب افزایش زمان عکس‌العمل راننده و درنتیجه افزایش شدت تصادفات می‌شود.

در ساعات صبح، به‌ویژه در آزادراه‌هایی که به شهرهای بزرگ مانند قزوین منتهی می‌شوند، تلاقی ترافیک ورودی به شهر با خستگی ناشی از یک سفر طولانی می‌تواند عامل مهمی در افزایش شدت تصادفات باشد. همچنین دمای پایین صبحگاهی و احتمال یخ‌زدگی مقطعی جاده‌ها در فصل‌های سرد سال، به‌ویژه در مسیرهای کوهستانی اطراف قزوین، می‌تواند خطر لغزندگی و تصادفات را بیشتر کند.

مطابق نتایج مدل پروبیت ترتیبی برخورد با وسیله نقلیه، واژگونی و سقوط و برخورد با شیء ثابت در بازه زمانی صبح و آزادراه‌های برون‌شهری موردمطالعه رابطه عکسی با افزایش شدت

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-01-30]

[DOI: 10.22034/25.1.21]

تصادفات دارند. در این بازه، ترافیک صبحگاهی می‌تواند باعث کاهش سرعت متوسط وسایل نقلیه شود و درنتیجه، تصادفات رخ‌داده به شدت کمتری منجر شوند. همچنین، در ساعات ابتدایی صبح، رانندگان معمولاً به دلیل هوشیاری بیشتر و تمرکز بر رانندگی، قادر به واکنش سریع‌تر در مواجهه با شیء ثابت یا مانورهای خودروی جلویی هستند.

۶- ارزیابی و بحث

با توجه به نتایج پژوهش، حواس‌پرتی راننده با افزایش شدت آسیب در تمامی بازه‌های زمانی مورد تحلیل تحقیق ارتباط مثبت دارد. مطابق نتایج مدل پروبیت ترتیبی در بازه زمانی ظهر نسبت به زمان‌های دیگر، حواس‌پرتی راننده بیشتر موجب افزایش شدت تصادفات می‌شود. در بازه زمانی ظهر، افزایش حجم ترافیک و تنش ناشی از رانندگی در شرایط شلوغ، احتمال از دست رفتن تمرکز رانندگان را افزایش می‌دهد. این حواس‌پرتی، به‌ویژه در ساعات شلوغ، می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست و کاهش تمرکز رانندگان شود که درنتیجه احتمال وقوع تصادفات شدیدتر افزایش می‌یابد. تحقیقات واندرسیتز بر روی ۱۸۶ تصادف فوتی و جرحی در استرالیای جنوبی از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ نشان داد که تقریباً یک‌سوم تصادفات شامل بی‌توجهی و حواس‌پرتی راننده بوده و بسیاری از این موارد می‌توانستند پیشگیری شوند. البته آن‌ها اثر زمان روز و صرفاً مسیر برون‌شهری را در این تحقیق در نظر نگرفتند [28].

بر اساس نتایج برآورد مدل پروبیت ترتیبی، تصادفات رخ‌داده در باند سواره‌رو در همه بازه‌های زمانی با شدت تصادفات رابطه عکس دارد. آثار حاشیه‌ای متغیر محل تصادف نشان می‌دهد که تصادفاتی که در باند سواره‌رو رخ می‌دهد اغلب خسارتی هستند. این مورد می‌تواند در حالت کلی به دلیل احتیاط بیشتر رانندگان در این باند باشد؛ بنابراین به دنبال احتیاط، سرعت برخورد کاهش‌یافته، شدت صدمات تصادفات در این نقاط از جاده برون‌شهری موردمطالعه کاهش می‌یابد. شینیستاین و همکاران در مطالعه خود رابطه منفی تأثیر باند سواره‌رو برشدت تصادفات را نشان دادند. البته در تحقیق مذکور بازه‌های زمانی مختلف در نظر گرفته نشده است [29].

دلیل رابطه معکوس بین انواع برخورد و شدت تصادفات در آزادراه برون‌شهری در تمام بازه‌های زمانی می‌تواند طراحی هندسی ایمن‌تر آزادراه‌ها (مسیرهای با قوس کمتر و عرض بیشتر)، کمتر بودن عوامل به هم زننده تمرکز رانندگان مانند عابران پیاده و چراغ‌های راهنمایی، شرایط جوی و دید بهتر در مسیرهای برون‌شهری و وجود عوامل حادثه‌ساز کمتر در این جاده‌ها باشد. هولدریج و همکاران به تحلیل شدت آسیب در تصادفات با اشیاء ثابت در سیستم جاده‌ای شهری ایالت واشنگتن انجام پرداختند. در این تحقیق، مشخص شد که تصادف با اشیاء ثابت مانند انتهای گاردریل‌ها و تیرک‌های چوبی (درختان و تیر برق) احتمال تصادفات فوتی و جرحی را افزایش می‌دهد درحالی‌که برخورد با وسط گاردریل‌ها و موانع بتنی با طراحی مناسب می‌توانند شدت جراحات را کاهش دهند [30].

بر اساس نتایج تحقیق آب‌وهوای برفی با افزایش شدت تصادفات در بازه زمانی ظهر رابطه مستقیم دارد، درحالی‌که سطح جاده یخبندان و برفی با افزایش شدت تصادفات در محور موردمطالعه رابطه عکس دارد. در ساعات ظهر، ترافیک معمولاً بیشتر است و بارش برف می‌تواند شرایط جاده را به طور ناگهانی تغییر دهد و دید رانندگان را مختل کند. درحالی‌که جاده‌های یخبندان و برفی معمولاً از قبل اطلاع‌رسانی می‌شوند و اطلاع‌رسانی به‌موقع درباره وضعیت این جاده‌ها می‌تواند به کاهش ترافیک، افزایش احتیاط در رانندگی و استفاده از تجهیزات ایمنی مناسب در خودروها کمک کند. اودین و هوین به بررسی تأثیر شرایط جوی مختلف بر شدت آسیب تصادفات کامیون‌ها با استفاده از داده‌های تصادفات آزادراه‌های ایالت اوهایو در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ پرداختند. بر اساس نتایج تحقیق آن‌ها شرایط جوی برفی به‌ویژه در جاده‌های برون‌شهری موجب افزایش شدت تصادفات می‌شود. البته این تحقیق نیز تأثیر زمان بر شدت تصادفات را در نظر نگرفته بود [31].

۷- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که با تفسیر نتایج الگوریتم‌های آماری می‌توان از میان حجم زیادی از داده‌های تصادفات، الگوهای مفیدی استخراج کرده و شدت تصادفات را تحلیل کرد. الگوریتم پروبیت ترتیبی یکی از ابزارهای قدرتمند مدل‌سازی شدت تصادفات است که می‌تواند با ارائه آماره‌هایی همچون آزمون z و اثر حاشیه‌ای در

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-01-30]

[DOI: 10.22034/25.1.21]

خروجی از مدل، رابطه پیچیده میان متغیرهای ورودی و شدت تصادفات را نشان دهد. در این مقاله، از مدل ثابت پروبیت ترتیبی برای بررسی تفاوت بازه‌های زمانی مختلف درشدت آسیب تصادفات برای آزادراه‌های برون‌شهری استفاده‌شده است. با استفاده از داده‌های محور لوشان-قزوین، مدل‌سازی جداگانه‌ای برای چهار بازه زمانی تهیه شد. مجموعه‌ای از آزمون‌های نسبت احتمال انجام شد تا توجیه‌پذیر بودن این مدل‌ها را بررسی نماید. نتایج برآورد نشان می‌دهد که سطوح شدت آسیب تصادف در بازه‌های زمانی مختلف با عوامل مختلف به طرق مختلف مرتبط است و این تفاوت‌ها را نمی‌توان با برآورد تنها یک مدل کلی کشف نمود.

روش پیشنهادی تحقیق و توسعه چهار مدل شدت تصادفات مجزا بر اساس بازه‌های زمانی برای تصادفات در آزادراه‌ها موردمطالعه، اطلاعات جدیدی را از الگوهای مؤثر بر شدت تصادفات شناسایی نمود که در تحقیقات مربوط به ایمنی و تصادفات در آزادراه‌های کشور قابل به‌کارگیری و تعمیم است. با این حال، مانند بسیاری از مطالعات گذشته، مطالعه حاضر نیز دارای محدودیت‌هایی است، مانند استفاده از یک پایگاه داده واحد و متغیرهای محدود که به عنوان نمونه شرایط راننده در هنگام تصادف که یکی از عوامل مهم است در اختیار نیست؛ برای مطالعات آینده، بسته به اهداف مختلف تحقیقاتی، می توان شکل عمیق‌تری از تجزیه‌وتحلیل وضعیت بازه‌های مختلف‌تر روز یا روزهای هفته را با توجه به دسته‌های مختلف داده مانند منطقه، نوع تصادف، شرایط محیطی و غیره انجام داد. همچنین می‌توان به‌جای شرایط بازه‌های زمانی مختلف، سایر شرایط سطح جاده نیز به‌طور جداگانه موردبررسی قرار گیرد.

۸- قدردانی

سپاس و تشکر فراوان از اداره راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای و پلیس‌راه کشور برای داده‌های متنی و توصیفی که در اختیار قرار دادند.

۹- مراجع

[1] WHO, V., 2023. Global status report on road safety 2023. *World Health Organization*.

[2] National Safety Council (NSC) analysis of National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) Fatality., 2020. Analysis Reporting System (FARS) and Crash Report Sampling System (CRSS).

[3] Effati, M., Thill, J.C. and Shabani, S., 2015. Geospatial and machine learning techniques for wicked social science problems: analysis of crash severity on a regional highway corridor. *Journal of Geographical Systems*, *17*, pp.107-135.

[4] Hasan, A.S., Kabir, M.A.B., Jalayer, M. and Das, S., 2023. Severity modeling of work zone crashes in New Jersey using machine learning models. *Journal of Transportation Safety & Security*, *15*(6), pp.604-635.

[5] Mittal, M., Gupta, S., Chauhan, S. and Saraswat, L.K., 2022. Analysis on road crash severity of drivers using machine learning techniques. *International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation*, *13*(2), pp.154-163.

[6] Zhang, Z., Nie, Q., Liu, J., Hainen, A., Islam, N. and Yang, C., 2024. Machine learning based real-time prediction of freeway crash risk using crowdsourced probe vehicle data. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, *28*(1), pp.84-102.

[7] Effati, M. and Saheli, M.V., 2022. Examining the influence of rural land uses and accessibility-related factors to estimate pedestrian safety: The use of GIS and machine learning techniques. *International journal of transportation science and technology*, *11*(1), pp.144-157.

[8] Effati, M., Behbahani, H., Mortezaei, S. and Vahedi Saheli, M., 2021. Modelling and analyzing the severity of two-lane highway crashes using the spatial data mining, case study: Old Corridor of Qazvin-Loshan. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, *51*(105), pp.81-95.

[9] Effati, M. and Asgari, A., 2020. Developing a model based on geospatial information systems (GIS) and adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS) for providing the spatial distribution map of landslide risk. Case study: Alborz Province. *Journal of Geomatics Science and Technology*, *9*(3), pp.185-200.

[10] Saheli, M.V. and Effati, M., 2019. Investigation of factors contributing to pedestrian crash severity in rural roads. *Journal of Injury and Violence Research*, *11*(4 Suppl 2).

[11] Effati, M. and Abedi, F., 2018. Developping an Uncertainty Based Reasoning Approach for Bus Rapid Transit Systems Deployment Planning, Case Study: BRT Lane of Rasht City. *Computational Research Progress in Applied Science & Engineering (CRPASE)*, *4*(Special Issue).

[12] Tang, J., Zheng, L., Han, C., Yin, W., Zhang, Y., Zou, Y. and Huang, H., 2020. Statistical and machine-learning methods for clearance time prediction of road incidents: A methodology review. *Analytic Methods in Accident Research*, *27*.

[13] Chang, F., Haque, M.M., Yasmin, S. and Huang, H., 2022. Crash injury severity analysis of E-Bike Riders: A random parameters generalized ordered probit model with heterogeneity in means. *Safety Science*,

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-01-30]

[DOI: 10.22034/25.1.21]

[26] Zou, W., Wang, X. and Zhang, D., 2017. Truck crash severity in New York city: an investigation of the spatial and the time of day effects. *Accident Analysis & Prevention*, *99*, pp.249-261.

[27] Morgan, A. and Mannering, F.L., 2011. The effects of road-surface conditions, age, and gender on driver-injury severities. *Accident Analysis & Prevention*, *43*(5), pp.1852-1863.

[28] Wundersitz, L., 2019. Driver distraction and inattention in fatal and injury crashes: Findings from in-depth road crash data. *Traffic injury prevention*, *20*(7), pp.696-701.

[29] Shinstine, D.S., Wulff, S.S. and Ksaibati, K., 2016. Factors associated with crash severity on rural roadways in Wyoming. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, *3*(4), pp.308-323.

[30] Holdridge, J.M., Shankar, V.N. and Ulfarsson, G.F., 2005. The crash severity impacts of fixed roadside objects. *Journal of Safety Research*, *36*(2), pp.139-147.

[31] Uddin, M. and Huynh, N., 2020. Injury severity analysis of truck-involved crashes under different weather conditions. *Accident Analysis & Prevention*, *141*.

146.

[14] Kang, Y. and Khattak, A.J., 2022. Deep learning model for crash injury severity analysis using SHapley Additive exPlanation values. *Transportation research record*, *2676*(12), pp.242-254.

[15] Kitali, A.E., Kidando, E., Alluri, P., Sando, T. and Salum, J.H., 2022. Modeling severity of motorcycle crashes with Dirichlet process priors. *Journal of Transportation Safety & Security*, *14*(1), pp.24-45.

[16] Adanu, E.K., Agyemang, W., Islam, R. and Jones, S., 2022. A comprehensive analysis of factors that influence interstate highway crash severity in Alabama. *Journal of Transportation Safety & Security*, *14*(9), pp.1552-1576.

[17] Savolainen, P.T., Mannering, F.L., Lord, D. and Quddus, M.A., 2011. The statistical analysis of highway crash-injury severities: A review and assessment of methodological alternatives. *Accident Analysis & Prevention*, *43*(5), pp.1666-1676.

[18] Xie, S., Ji, X., Yang, W., Fang, R. and Hao, J., 2020. Exploring Risk Factors with Crash Severity on China Two-Lane Rural Roads Using a Random-Parameter Ordered ProbitModel. *Journal of advanced transportation*, *2020*(1), p.8870497.

[19] Khan, S.A., Afghari, A.P., Yasmin, S. and Haque, M.M., 2023. Effects of design consistency on run-off-road crashes: An application of a Random Parameters Negative Binomial Lindley model. *Accident Analysis & Prevention*, *186*, p.107042.

[20] Tamakloe, R., Sam, E.F., Bencekri, M., Das, S. and Park, D., 2022. Mining groups of factors influencing bus/minibus crash severities on poor pavement condition roads considering different lighting status. *Traffic injury prevention*, *23*(5), pp.308-314.

[21] Obeidat, M.S., Khrais, S.K., Bataineh and, B.S. and Rababa, M.M., 2022. Impacts of roadway lighting on traffic crashes and safety in Jordan. *International journal of crashworthiness*, *27*(2), pp.533-542.

[22] Hossain, A., Sun, X., Thapa, R. and Codjoe, J., 2022. Applying association rules mining to investigate pedestrian fatal and injury crash patterns under different lighting conditions. *Transportation research record*, *2676*(6), pp.659-672.

[23] Anarkooli, A.J. and Hosseinlou, M.H., 2016. Analysis of the injury severity of crashes by considering different lighting conditions on two-lane rural roads. *Journal of safety research*, *56*, pp.57-65.

[24] Xie, Y., Zhao, K. and Huynh, N., 2012. Analysis of driver injury severity in rural single-vehicle crashes. *Accident Analysis & Prevention*, *47*, pp.36-44.

[25] Pahukula, J., Hernandez, S. and Unnikrishnan, A., 2015. A time of day analysis of crashes involving large trucks in urban areas. *Accident Analysis & Prevention*, *75*, pp.155-163.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-01-30]

[DOI: 10.22034/25.1.21]

Exploring the Interpretability of the Ordered Probit Algorithm on Analyzing the Influence of Time on Rural Freeways Crash Severity

Meysam Effati[1*], Amirmohammad Ramazampoor[2]

1. Associate Professor, Department of Civil Engineering (Road and Transportation), Faculty of Engineering, University of Guilan, Iran.
2. M.Sc., Department of Civil Engineering (Road and Transportation), Faculty of Engineering, University of Guilan, Iran.

* Corresponding Author Email: meysameffati@guilan.ac.ir

Received: 2024/02/01 - Accepted: 2024/11/25

Abstract

According to the World Health Organization report, Iran ranks 113th out of 175 countries with an estimated rate of 20.5 deaths per 100,000 population due to crashes. Additionally, road crash injuries are considered one of the top five leading causes of mortality in the country. Due to the efficiency of intelligent methods, statistical models have attracted a lot of attention in safety studies and crash analysis. Investigations show that few studies have been done regarding the specific effects of time periods of the day on the crash severity. Moreover, in most conducted researches for modeling crash severity, statistical models have been utilized, and determining the relationships between severity and influential factors with these models is challenging due to the complex relationships between variables that vary in different time intervals throughout the day. In recent studies, road lighting conditions have been considered as an important parameter in the frequency and severity of driving crashes. The lighting conditions, especially on rural roads, depend on various factors such as drivers' visibility to perceive road geometry, traffic, and roadside objects. The variables considered for analyzing crash severity include human factors, weather conditions, primary causes of crashes, intersection control, land use, lighting conditions, location of crash, time of crash (day, month, year, and hour), type and condition of road surface, road markings, road repairs, collision type, and road geometry. Therefore, the purpose of this research, while considering the interpretability of the Ordered Probit algorithm, is to investigate the effect of the conditions of different times of the day and night on the crash severity with six years data of Lushan-Qazvin rural freeway crahses. The Ordered Probit algorithm was implemented and evaluated separately in four time periods to predict the effects of various geometric, environmental and traffic factors on the severity of damage caused by crashes and the likelihood ratio test was used to justify the models. The results obtained from the research not only contribute to predicting preventive measures for crashes but also aid in reducing their severity and analyzing the relationships between various factors. One of the stages in conducting research on crash injuries involves identifying important factors affecting the severity of injuries. The estimation results indicate that the levels of crash severity in different time intervals are associated with various factors in different ways, and these differences cannot be discovered by estimating only one general model. The present study has shown that by interpreting machine learning algorithms, useful patterns can be extracted from a large volume of crash data and analyze crash severity. The ordinal probit algorithm is one of the powerful tools for modeling crash severity, which can demonstrate the complex relationship between input variables and crash severity by providing statistics such as z-test and marginal effect in the model output. The analysis results indicate that driver distraction during the morning, noon, evening, and night periods, with coefficients of 1.33, 1.21, 1.25, and 0.98 respectively, is the most significant factor contributing to the increased crashes severity on the studied road. Conversely, collisions with fixed objects during the same periods, with coefficients of -0.58, -1.83, -1.24, and -0.75 respectively, have an inverse relationship with the crashes severity.

Keywords: road safety, crash severity, ordered probit, likelihood ratio test, statistical analysis.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-01-30]

[DOI: 10.22034/25.1.21]