فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و دوم، شماره ۹۱، زمستان ۱۴۰۱، ص. ۵۵-۴۳

مدل پیش‌بینی شدت و تعداد تصادفات میدان‌های تداخلی بر اساس مشخصات هندسی با استفاده از تحلیل لوجیت-مبنا و الگوریتم بیان ژنی

(مطالعهٔ موردی: شهر قم)

علیرضا امین‌فر، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
امین میرزا بروجردیان (مسئول مکاتبات)، دانشیار گروه مهندسی راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
امید رحمانی، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران
امیرسامان عبداله زاده نصیری، فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران
E-mail: boroujerdian@modares.ac.ir

چکیده

میدان‌ها معمولاً در مقایسه با سایر انواع تقاطع‌ها از ایمنی ترافیکی بالاتری برخوردار هستند؛ اما با وجود تبدیل تقاطعات به میادین باز هم تصادفاتی با شدت بالا در آن‌ها رخ می‌دهد. بهبود مدل‌های پیش‌بینی تصادفات و متغیرهای آن می‌تواند به اولویت اقدام و کاهش هزینهٔ اصلاح هندسی کمک نماید. هدف از این پژوهش بررسی عوامل هندسی میدان‌های تداخلی بر شدت و تعداد تصادفات در این نوع میادین است. در این پژوهش با استفاده از آمار تصادفات شش میدان واقع در شهر قم به بررسی عوامل مؤثر بر شدت و تعداد تصادفات با استفاده از مدل لوجیت و الگوریتم بیان ژنی پرداخته شد. نتایج پژوهش نشان داد که عرض ناحیهٔ تداخلی بیش‌ترین تأثیر را نسبت به سایر متغیرهای هندسی میدان بر وقوع تصادفات داشت. هم‌چنین نوع تصادفاتی که در آن کاربر آسیب‌پذیر مانند دوچرخه و موتورسیکلت وجود داشت احتمال جرحی شدن تصادفات را به‌شدت افزایش می‌داد از طرفی وجود دسترسی غیرمجاز به ناحیهٔ گردشی میدان موجب افزایش شدت تصادفات از خسارتی به جرحی می‌شد.

واژه‌های کلیدی: شدت و تعداد تصادف، میدان، مشخصات هندسی، لوجیت، بیان ژنی

۱. مقدمه

میدان‌ها معمولاً در مقایسه با سایر انواع تقاطع‌ها از ایمنی ترافیکی بالاتری برخوردار هستند؛ بنابراین، طراحان راه، میدان‌ها را به‌عنوان انتخاب ارجح، نسبت به سایر تقاطعات کنترل‌شده با چراغ راهنمایی و رانندگی یا کنترل نشده در نظر می‌گیرند. با توجه به آن‌که میدان‌ها تعداد نقاط تداخلی[1] کم‌تری نسبت به سایر تقاطعات دارند و هم‌چنین به‌واسطهٔ طراحی هندسی آن‌ها موجب کاهش سرعت بالقوهٔ وسایل نقلیه می‌شوند فضای ایمن‌تری را برای کاربران راه میسر می‌کنند. میدان‌ها در بسیاری از کشورهای جهان برای کاهش تصادفات، تأخیر در ترافیک، مصرف سوخت و آلودگی هوا و درعین‌حال افزایش ظرفیت و بهبود ظاهر تقاطع مورداستفاده قرار گرفته‌اند. میدان‌ها هم‌چنین در محله‌های مسکونی برای کنترل سرعت ترافیک و افزایش ایمنی استفاده شده‌اند. مطالعات بین‌المللی نشان داده است که تبدیل تقاطع به میدان موجب کاهش تصادفات جراحتی و فوتی شده است. طبق مطالعات هرچند تصادفات در میادین تک خطه نرخ کلی تصادفات را ۱۸ درصد کاهش داده است اما در میادین دوخطه نرخ تصادفات را ٦٢ درصد افزایش داده است، علیرغم مزایایی که میادین فراهم می‌کنند، اما تصادفات همچنان در میادین رخ می‌دهد.

ریچاردسون[2] و همکاران احتمال انواع تصادفات خاص در میدان‌هایی واقع در استرالیا را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تصادفات جلو به پهلو، تصادف با شیء ثابت و تصادفات جلو به عقب، از تصادفات برجسته در میدان‌ها هستند. نابلسی[3] و جادان[4] تابع عملکرد ایمنی[5] را برای میدان‌های واقع در اردن توسعه دادند. نتایج نشان داد که شعاع میدان، عرض گردشی میدان و تعداد رویکردهای میدان بر تعداد تصادفات مؤثر است. دانیلز[6] و همکاران به بررسی شدت تصادفات هزار و ٤٩١ تصادف در ١٤٨ میدان واقع در کشور بلژیک با استفاده از مدل لوجیت پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که گروه‌های آسیب‌پذیر راه (عابران پیاده، دوچرخه‌سواران و موتورسواران) بیش از سایرین در معرض تصادفات جرحی یا فوتی هستند. شدت آسیب‌ها در تصادف با افزایش سن افراد درگیر در حادثه افزایش می‌یابد هم‌چنین تصادفات در شب و تصادفات در خارج از مناطق مسکونی شدیدتر هستند. بابازاده به بررسی اثر سن رانندهٔ مقصر بر شدت تصادفات در میادین استان گیلان پرداخت. نتایج نشان داد که احتمال وقوع تصادفات شدید برای رانندگان جوان بیش‌تر از رانندگان میانسال و مسن است. شریفی و همکاران به بررسی شدت تصادفات وسیله نقلیه با موتورسیکلت تک‌سرنشین با استفاده از داده‌های پایگاه دادهٔ سامانهٔ اطلاعات ایمنی راه اداره فدرال پرداختند، مشخص شد که موتورسواران مسن‌تر، موتورسواران تحت تأثیر دارو یا الکل، استفاده نکردن از کلاه ایمنی، وقوع تصادف در تابستان و آخر هفته‌ها، تصادف با اجسام ثابت و سرعت غیرمجاز باعث افزایش شدت جراحات در موتورسیکلت‌سواران می‌شود.

در میادین تداخلی به دلیل عدم رعایت حق تقدم توسط کاربران راه امکان وقوع تصادفات با شدت بالا برای عابران آسیب‌پذیر وجود دارد. هدف از این پژوهش بررسی عوامل هندسی میدان‌های تداخلی با تعداد تصادفات روی‌داده و هم‌چنین بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات در میادین است. برای این منظور هندسه و تصادفات میادینی واقع در شهر قم موردمطالعه قرار گرفت و مدل‌هایی برای پیش‌بینی شدت و تعداد تصادفات در میادین، با استفاده از مدل رگرسیون لوجیت و شبکهٔ عصبی، توسعه داده شد.

۲. روش پژوهش

در این قسمت ابتدا به بررسی مشخصات هندسی میادین و آمار تصادفات آنان پرداخته شده است. سپس به بررسی شاخص همسنگ خسارت مالی، مدل رگرسیون لوجیت و مدل الگوریتم بیان ژنی پرداخته شده است.

۲-۱ مشخصات هندسی میدان‌ها

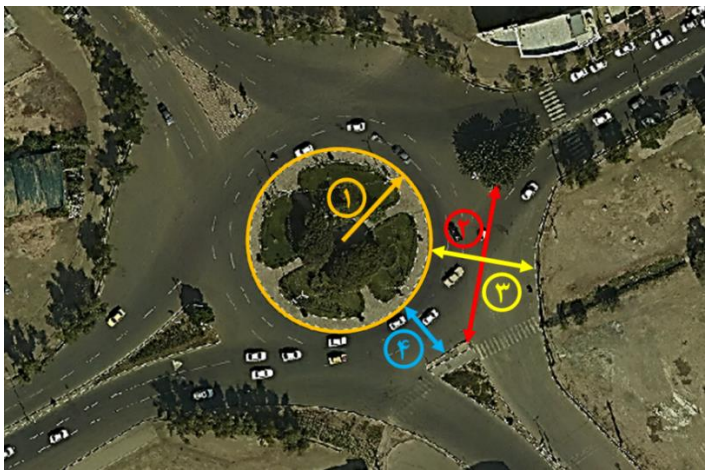
مطالعهٔ موردنظر بر روی میادین شهر قم انجام شد. پس از بررسی ۱۸ میدان از میادین شهر قم، شش میدان شامل میدان بسیج، میدان

جهاد، میدان جوان، میدان شهرداری، میدان نبوی و میدان نواب با توجه به هندسهٔ ثابت میدان طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ انتخاب شدند. شکل (۱) عکس‌های هوایی از میادین موردبررسی در شهر قم را نشان می‌دهد.

شکل ۱. عکس هوایی از میدان‌های موردمطالعه در شهر قم

مشخصات هندسی میادین موردمطالعه مطابق شکل (۲) با استفاده از نرم‌افزار *Civil 3D* با استفاده از نقشه‌های هوایی استخراج شد. این مشخصات شامل موارد زیر است:

۱. شعاع میدان
۲. طول ناحیهٔ تداخلی
۳. عرض ناحیهٔ تداخلی
٤. عرض ناحیهٔ غیرتداخلی



شکل ۲. مشخصات هندسی برداشت‌شده از میادین موردمطالعه

جدول (۱) مشخصات هندسی میدان‌های موردمطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به آن‌که نقطهٔ دقیق تصادفات در میادین موردمطالعه مشخص نبود. میانگین مقادیر طول ناحیهٔ تداخلی، عرض ناحیهٔ تداخلی و عرض ناحیهٔ غیرتداخلی گزارش شده

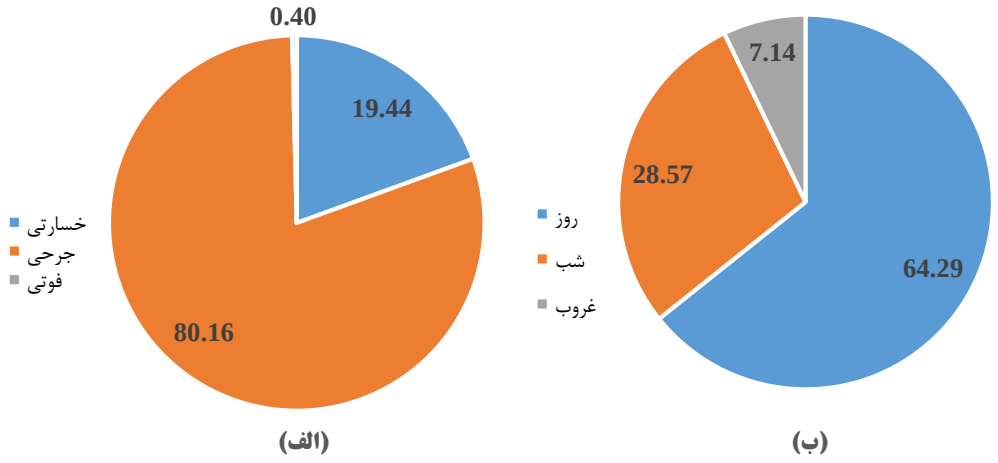
است که از چهار نقطهٔ میدان برداشت شده است. مطابق جدول (۱) شعاع میدان‌های موردمطالعه در بازهٔ ۱۰/۵ تا ۲۳ متر قرار دارد. هم‌چنین میدان‌های جهاد، نبوی و نواب دارای دسترسی غیراستاندارد به ناحیهٔ گردشی میدان هستند.

جدول ۱. مشخصات میادین موردمطالعه در شهر قم

نام میدان	شعاع میدان (متر)	تعداد خطوط گردشی دور میدان	تعداد رویکرد میدان	میانگین طول نواحی تداخلی (متر)	میانگین عرض نواحی تداخلی (متر)	میانگین عرض نواحی بدون تداخل (متر)	دسترسی غیراستاندارد
نماد	R_r	N_l	N_a	$ave.\ L_{con}$	$ave.\ W_{con}$	$ave.\ W_{non-con}$	Access
بسیج	۱۹/۵	۳	٤	٤۰	۲۱	۱٤	ندارد
جهاد	۱٦	۳	٤	۳۸	۲۱	۱٦	دارد
جوان	۱۵	۲	۳	۳٤	۱۲	۱۰	ندارد
شهرداری	۲۰	۲	٤	٤۱	۱٦	۱٤	ندارد
نبوی	۱۰/۵	۲	٤	۲٦	۱٤	۱۰	دارد
نواب	۲۳	۲	۳	٤٤	۱۷	۱۵	دارد

۲-۲ آمار تصادفات میدان‌ها

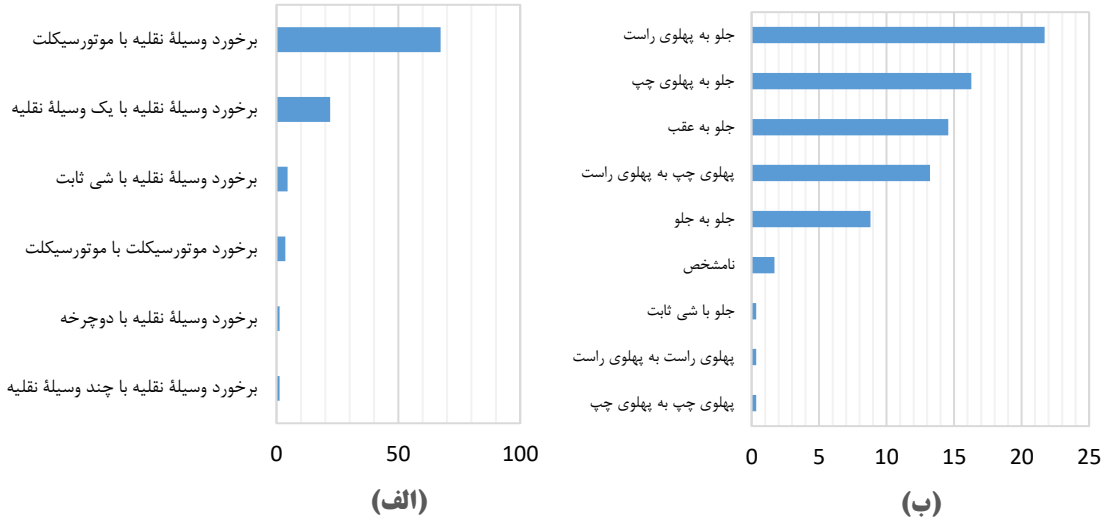
داده‌های ۸ سالهٔ تصادفات شش میدان موردمطالعه در شهر قم که شامل سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ است از پلیس راهور استان قم دریافت شد. تعداد تصادفات روی‌داده در این سال‌ها برابر با ۲۵۲ تصادف بود. مطابق شکل (۲-الف) بیش از ۸۰ درصد تصادفات روی‌داده در میادین موردمطالعه از نوع جرحی است و حدود ۲۰ درصد از تصادفات خسارتی است. طبق گزارش پلیس راهور استان قم حدود ٦۵ درصد تصادفات در میدان‌های موردنظر در طول روز اتفاق افتاده‌اند و مابقی آن‌ها مربوط به شب و غروب بوده است (شکل (۲-ب)).



شکل ۲. نمودار توزیع نسبی الف) شدت تصادفات و ب) زمان تصادفات در میدان‌های موردمطالعه

شکل (۳-الف) نمودار توزیع نسبی نوع تصادفات در میدان‌های موردمطالعه را نشان می‌دهد طبق این نمودار برخورد وسیله نقلیه با موتورسیکلت (٦۷ درصد) بیش‌ترین درصد را بین نوع تصادفات در میدان‌ها داشته است. از طرفی طبق نمودار شکل (۳-ب) بیش‌ترین درصد ناحیهٔ برخورد در تصادفات مربوط به

تصادف جلو به پهلوی راست و جلو به پهلوی چپ است که به ترتیب ۲۱ و ۱۶ درصد تصادفات را شامل می‌شود.



شکل ۳. نمودار توزیع نسبی الف) نوع تصادف و ب) ناحیهٔ برخورد تصادفات در میدان‌های موردمطالعه

۲-۳ شاخص همسنگ خسارت مالی[۷]

شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO) ضرایب وزنی را به شدت تصادفات (فوتی، جرحی، خسارتی) اختصاص می‌دهد تا یک امتیاز ترکیبی از فراوانی و شدت تصادفات در هر نقطه یا قطعه ارائه کند. ضرایب وزنی اغلب نسبت به هزینهٔ تصادفات خسارتی[۸] (PDO) محاسبه می‌شود. معادلهٔ شاخص EPDO مطابق با رابطهٔ ۱ است.

$$EPDO = \alpha \times fatal + \beta \times injury + PDO \qquad (۱)$$

که در آن (fatal) معادل تصادف فوتی و (injury) معادل تصادف جرحی است. ضرایب α و β ضرایب وزنی بوده و بر اساس تجربه متخصصین و یا هزینهٔ متوسط تصادف فوتی و جرحی نسبت به تصادف خسارتی به دست می‌آید. در ایران طبق دستورالعمل وزارت مسکن، راه و شهرسازی (دستورالعمل نحوهٔ شناسایی و اولویت‌بندی نقاط پر تصادف راه‌ها - ۱۳۹٤) ضریب معادل تصادف فوتی برابر با ۹ و ضریب معادل تصادف جرحی برابر با ۳ و ضریب مربوط به تصادف خسارتی برابر با ۱ در نظر گرفته شده است.

۲-٤ مدل رگرسیون لوجیت

رگرسیون لجستیک به‌منظور برآورد یک متغیر وابستهٔ گسسته با چندین متغیر مستقل پیوسته یا گسسته و یا ترکیبی از این دو نوع متغیر مستقل، کاربرد دارد. فرم بستهٔ این مدل مطابق با رابطهٔ شمارهٔ ۲ است.

$$Ln(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \cdots + \beta_n X_n \qquad (۲)$$

که در آن β_0 ثابت مدل است و β_1،...، β_K ضرایب مربوط به متغیرهای توضیحی x_1،...x_n هستند. برای تخمین ضرایب مدل از روش برآورد درستنمایی بیشینه[۹] (MLE) استفاده شد.

۲-۵ مدل الگوریتم بیان ژنی

مدل الگوریتم بیان ژن[۱۰] (GEP)، یکی از انواع الگوریتم ژنتیک است که بر اساس تعریف مشخصات و تعداد کروموزوم‌ها اقدام به ساخت روابط و مدل‌سازی‌های آماری و رگرسیون غیرخطی می‌کند. GEP یک الگوریتم ژنتیک پیشرفته است که در سال ۱۹۹۹ توسط فریرا[۱۱] ابداع و برنامه‌نویسی شد. الگوریتم GEP در حقیقت نگاه حاکم بر دو الگوریتم وراثتی پیش از خود را در راستای پوشش نقاط ضعف این دو، تجمیع می‌کند. در این روش، ژنوتایپ کروموزوم‌ها مشابه الگوریتم ژنتیک[۱۲] یک ساختار خطی

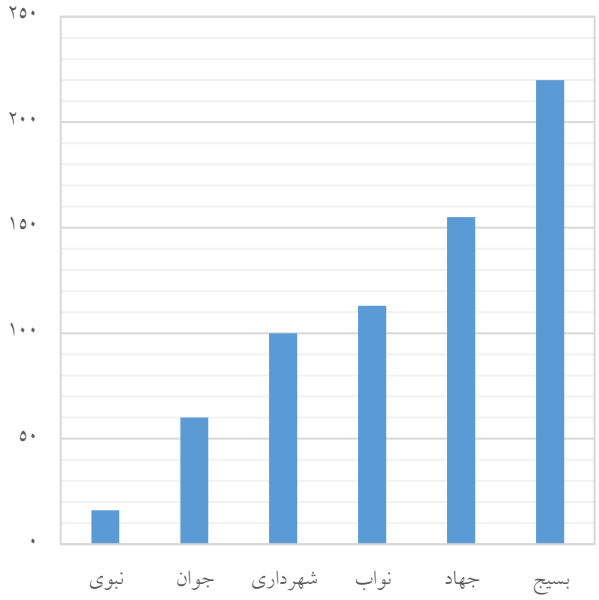
دارد و فنوتایپ این کروموزوم‌ها به‌صورت یک ساختار درختی با طول و اندازهٔ متغیر مشابه الگوریتم برنامه‌سازی ژنتیک[۱۳] است. ازاین‌رو الگوریتم *GEP* با غلبه بر محدودیت نقش دوگانهٔ کروموزوم‌ها در الگوریتم‌های پیش از خود امکان اعمال عملگرهای متعدد ژنتیک را با ضمانت سلامت همیشگی کروموزوم‌های فرزند فراهم می‌سازد.

۳. تحلیل داده‌ها

در این بخش به بررسی شاخص *EPDO* میادین موردمطالعه در شهر قم پرداخته می‌شود، هم‌چنین به بررسی عوامل مؤثر بر شدت و فروانی تصادفات با استفاده از مدل لوجیت و الگوریتم بیان ژنی پرداخته می‌شود.

۳-۱ شاخص *EPDO* برای میادین

با توجه به رابطهٔ (۱) شاخص *EPDO* برای آمار تصادفات هشت‌سالهٔ میادین موردمطالعه محاسبه شد. شکل (٤) نمودار این شاخص را برای میدان‌های مختلف نشان می‌دهد طبق این نمودار میدان بسیج بالاترین ضریب *EPDO* را به خود اختصاص داده است. در شکل (٤) مشاهده می‌شود که میدان‌های انتخاب‌شده، دارای *EPDO* های غیر یکسان است و از کم‌ترین مقدار شاخص همسنگ خسارت مالی، برابر با ١٦ تا بیش‌ترین مقدار ۲۲۰ را شامل می‌شود.



شکل ٤. نمودار شاخص EPDO در میدان‌های موردمطالعه

۳-۲ توضیح داده‌ها

در این بخش به بررسی متغیرهای مستقل و وابسته در مدل‌های توسعه داده‌شده می‌پردازیم. متغیر وابسته در مدل لوجیت شدت تصادفات است که به دو دستهٔ خسارتی و جرحی یا فوتی، تقسیم‌بندی می‌شود. هم‌چنین متغیرهای مستقل در مدل لوجیت شامل متغیرهای ساختگی ازجمله نوع تصادف، ناحیهٔ برخورد، روشنایی روز و وجود دسترسی غیرمجاز به ناحیهٔ گردشی میدان است. جدول (۲) خلاصه‌ای از متغیرهای وابسته و مستقل استفاده‌شده در مدل لوجیت را نشان می‌دهد. متغیر وابسته در مدل الگوریتم بیان ژنی مربوط به تعداد تصادفات روی‌داده در میادین است هم‌چنین متغیرهای مستقل در این مدل شامل شعاع میدان، تعداد خطوط گردشی دور میدان، میانگین عرض و طول ناحیهٔ تداخلی و میانگین عرض ناحیهٔ بدون تداخل در میدان است.

جدول ۲. توضیح متغیرهای ساختگی مدل لوجیت

متغیر	نماد	نوع	توضیح	متغیر ساختگی[۱۴]
شدت	$Severity$	وابسته	خسارتی	صفر
			جرحی یا فوتی	یک
نوع برخورد	$Collision$	مستقل	تصادفات وسیله نقلیه با وسیله نقلیه تصادفات وسیله نقلیه با شیء ثابت	صفر
			تصادفات وسیله نقلیه با موتورسیکلت تصادفات وسیله نقلیه با دوچرخه تصادف موتورسیکلت با موتورسیکلت	یک
ناحیهٔ برخورد	$Zone_{Col}$	مستقل	تصادفات پهلوبه‌پهلو	صفر
			تصادف جلو به عقب یا جلو به جلو یا جلو با شیء ثابت	یک
			تصادفات جلو به پهلو	دو
روشنایی روز	Day_{light}	مستقل	روز	صفر
			شب یا غروب	یک
دسترسی	Access	مستقل	ندارد	صفر
			دارد	یک

۳-۳ رگرسیون لوجیت

در این پژوهش برای بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای شدت تصادفات در میادین با استفاده از نرم‌افزار $STATA$ از روش انتخاب رو به عقب برای تعیین متغیرهای مستقل مؤثر بر شدت تصادفات با توجه به معنی‌داری ضرایب استفاده شده است. متغیرهای مستقل روشنایی روز، شعاع میدان، تعداد خطوط گردشی دور میدان، تعداد رویکرد میدان، میانگین طول ناحیهٔ تداخلی، میانگین عرض ناحیهٔ تداخلی و میانگین عرض ناحیهٔ بدون تداخل، با توجه به عدم معنی‌داری ضرایب در مدل لوجیت، تأثیری بر شدت تصادفات در میادین نداشتند. جدول (۳) خلاصه‌ای از مدل برازش شده با متغیرهای مستقل معنی‌دار را نشان می‌دهد. میزان ρ^2 مدل برابر با ٦٩ درصد شد. فرم بستهٔ مدل به‌صورت رابطهٔ (۳) است.

$$Ln(Sev) = 0.16 + 3.55 \times Zone_{Col} + 1090.21 \times Collision + 0.14 \times \text{Access} \quad (۳)$$

جدول ۳. نتایج مدل رگرسیون لجستیک در عوامل مؤثر بر شدت تصادفات

متغیر	Odds ratio	انحراف معیار	Z	p-value
$Zone_{Col}$	۳/۵۵	۱/٦٤	۲/۷٦	۰/۰۰٦
Collision	۱۰۹۰/۲۱	۱۳۱۷/۲٦	۵/۷۹	۰/۰۰۰
Access	۰/۱٤	۰/۱۰	-۲/۷۱	۰/۰۰۷
constant	۰/۱٦	۰/۱۱	-۲/۷۲	۰/۰۰٦

با توجه به جدول (۳) متغیر نوع برخورد ($collision$) دارای بیش‌ترین بخت[۱۵] بین متغیرهای مستقل دیگر است. با توجه به تعریف این متغیر اگر در تصادف بین دو وسیله نقلیه، یکی از وسایل درگیر در تصادف موتورسیکلت و یا دوچرخه باشد احتمال جرحی شدن تصادف به شدت افزایش می‌یابد. متغیر مستقل ناحیهٔ برخورد ($zone_{col}$) دارای رابطه‌ای مثبت با شدت تصادفات است، با توجه به تعریف این متغیر اگر ناحیهٔ برخورد در تصادفات، جلو به پهلو باشد احتمال جرحی شدن تصادفات افزایش می‌یابد. هم‌چنین با توجه به مثبت بودن ضریب بخت متغیر دسترسی غیرمجاز به ناحیهٔ گردشی دور میدان ($access$)، وجود دسترسی غیرمجاز موجب افزایش شدت تصادفات از خسارتی به جرحی می‌شود.

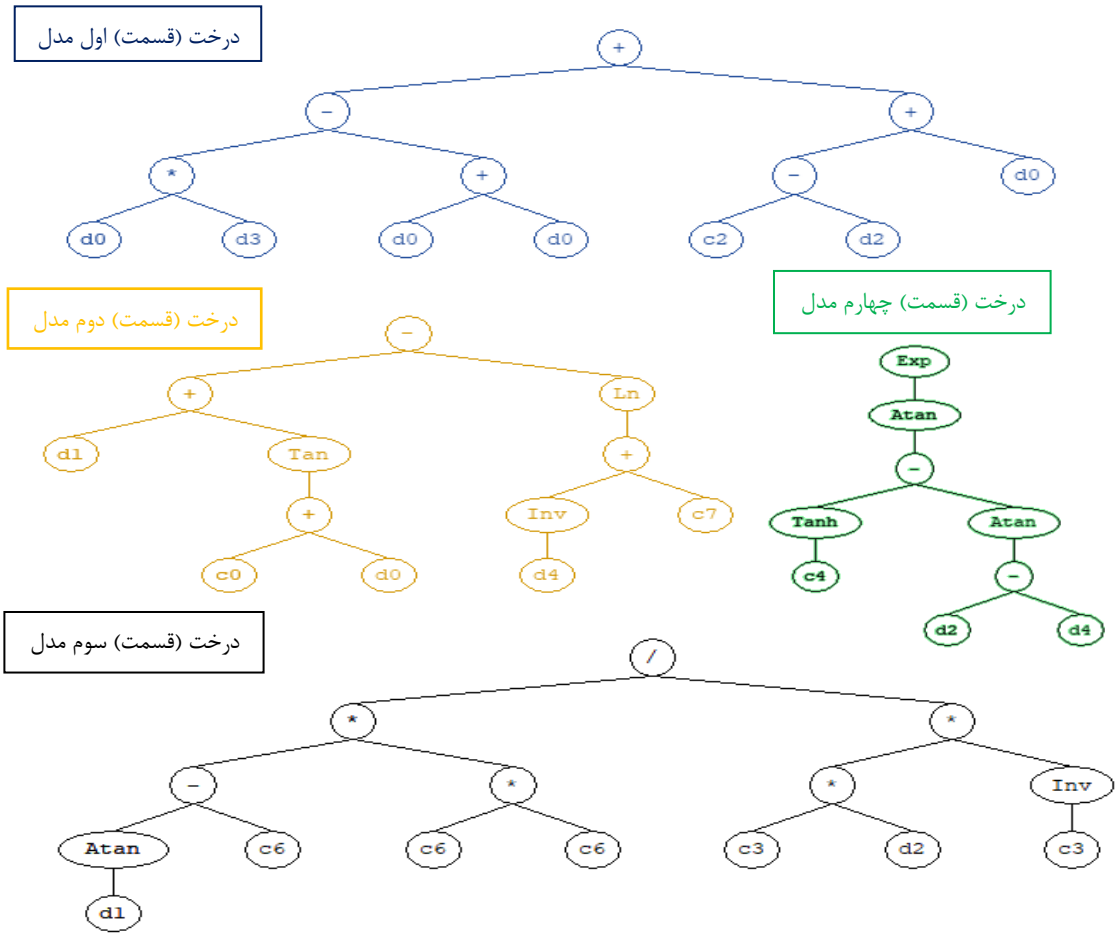
۳-٤ مدل برآورد تعداد تصادفات میدان‌ها با استفاده از الگوریتم بیان ژنی

در این قسمت با واردکردن داده‌ها به نرم‌افزار برنامه‌نویسی *MATLAB* و با استفاده از زبان یادگیری ماشین، اقدام به ساخت مدل شد. با توجه به روند تغییرات و شکل داده‌ها، ساخت مدل‌های خطی چند متغیره به‌راحتی امکان‌پذیر نیست. دلیل این موضوع را زمانی می‌توان بیان نمود که تعداد داده‌ها کم است و هم‌چنین خروجی‌های مدل برازش مناسب را نشان نمی‌دهد. هم‌چنین نرم‌افزارهای تحلیلی معمول مانند *Excel* و *STATA* توانایی ساخت مدل‌های غیرخطی با برازش مناسب، ضریب دقت (تعیین) بالا و خطای کم را ندارند هم‌چنین ارتباط مناسب بین داده‌ها پیش‌بینی‌شده از مدل و مشاهدات میدانی آن‌ها نامناسب هستند. به همین منظور در این تحقیق اقدام به ساخت یک مدل چند متغیرهٔ غیرخطی شد. برای ساخت مدل زبان یادگیری ماشین، از الگوریتم شبکه عصبی (GEP) استفاده شد.

برای انجام مدل‌سازی محدودیت گذاری با استفاده از توابع ریاضی لگاریتمی[۱۶]، تانژانت معکوس[۱۷] و توابعی بر پایهٔ چهار عمل اصلی (توابع کسری، ضربی، جمع و تفاضل)، صورت گرفت. تعداد کروموزوم‌ها در این الگوریتم برابر با ۳۰، با هدسایز[۱۸] برابر با ۳ لحاظ شد. هم‌چنین $\frac{۲}{۳}$ داده‌ها، معادل ۷۰ درصد، برای یادگیری ماشین[۱۹] و ساخت مدل و $\frac{۱}{۳}$ داده‌ها، معادل ۳۰ درصد، برای اعتبارسنجی[۲۰] مدل استفاده شد.

مدل ساخته‌شده (رابطهٔ ٤) دارای پنج متغیر مستقل است. این متغیرها مربوط به هندسهٔ ناحیهٔ تداخلی میدان‌ها هستند که شامل: شعاع جزیره مرکزی میدان[۲۱] (R_r)، میانگین طول نواحی تداخلی[۲۲] ($ave.L_{con}$)، میانگین عرض ناحیه‌های تداخلی[۲۳] ($ave.W_{con}$)، میانگین عرض ناحیهٔ بدون تداخل[۲٤] ($ave.W_{non-con}$) و تعداد خطوط موجود در سواره روی گردشی[۲۵] (N_l) هستند. برای این مدل متغیر وابستهٔ تعداد تصادفات وسایل‌نقلیه[۲٦] (N_a) تعریف شد که مربوط به ارزیابی ایمنی میدان است. شکل بستهٔ مدل چندمتغیره غیرخطی به‌دست‌آمده از الگوریتم بیان ژنی به‌صورت رابطهٔ (٤) است:

$$
\begin{aligned}
N_a &= (\mathrm{N}_l \times ave.L_{con}) - \mathrm{N}_l - 7.52 \\
&- ave.W_{con} + \tan(7.18 + \mathrm{N}_l) \\
&+ ave.W_{non-con} - \log\left(\frac{1}{R_r} + 3.61\right) \\
&+ \frac{(\tan^{-1}(ave.W_{non-con}) - 8.06) \times 64.96}{ave.W_{con}} \\
&+ e^{\tan^{-1}(\tanh(4.42) - \tan^{-1}(ave.W_{con} - R_r))}
\end{aligned}
\qquad (٤)
$$



شکل ۵. درخت ریاضی خروجی از زبان یادگیری ماشین برای ساخت مدل تعداد تصادفات میادین

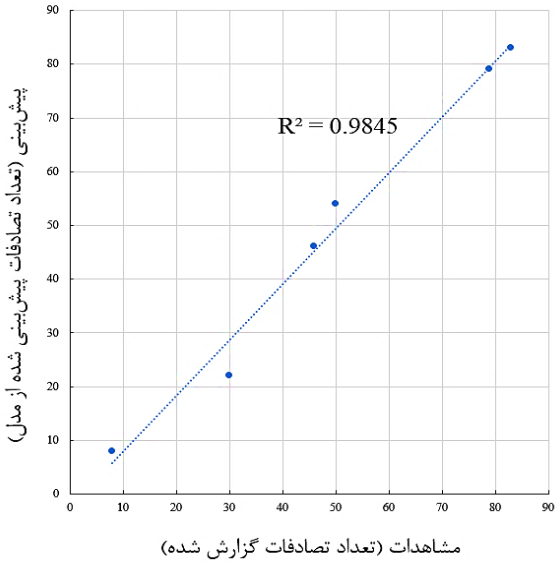
مقدار ضریب تعیین (R^2) برای این مدل برابر با ۰/۹۹۹ است که بسیار نزدیک به عدد یک است که نشان می‌دهد مدل از برازش کافی برخوردار است. برای استخراج مدل غیرخطی به‌دست‌آمده از محاسبات الگوریتم *GEP*، نرم‌افزار *MATLAB* عبارت‌های ریاضی را به‌صورت درخت توصیفی الگوریتم بیان ژنی ارائه می‌کند (شکل ۵). با استفاده از این درخت، چهار عبارت ریاضی (چهار درخت) به دست می‌آید؛ که این درخت مطابق رابطهٔ ٤ است.

به‌منظور اعتبارسنجی مدل‌های غیرخطی چند متغیره حاصل از شبکه‌های عصبی، از روش ارزیابی خطاهای مدل و مقایسهٔ داده‌های مشاهده و داده‌های پیش‌بینی، استفاده شده است. در روش اول برای اعتبارسنجی مدل با استفاده از ارزیابی خطاهای مدل به بررسی مقادیر خطای میانگین مربعات[۲۷] (MSE)، جذر میانگین مربعات خطا[۲۸] (RMSE)، خطای مطلق نسبی[۲۹] (RAE)، میانگین خطای مطلق[۳۰] (MAE)، ریشهٔ خطای مربع نسبی[۳۱] (RRSE) پرداخته شده است. مطابق جدول (٤)، مشاهده می‌شود که مقادیر کلیه خطاهای تعریف‌شده برای مدل به سمت صفر میل می‌کنند و مدل از اعتبار کافی برخوردار است.

جدول ٤. نتایج آماری برای کنترل و اعتبارسنجی مدل به‌دست‌آمده

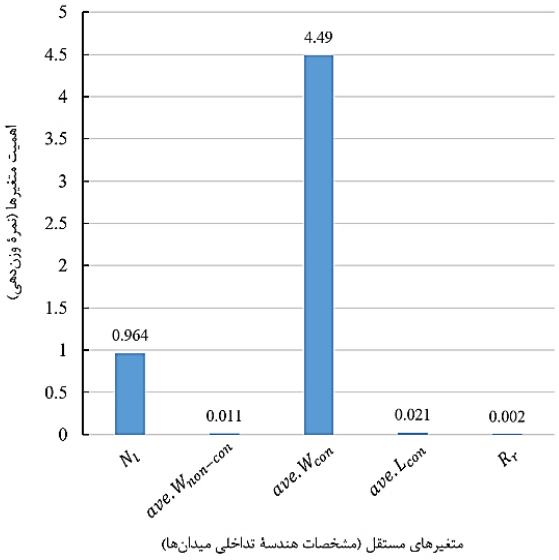
نوع خطای اعتبارسنجی	RRSE	MAE	RSE	RAE	RMSE	MSE
مقدار خطا	0/000	0/000	0/000	0/000	0/004	0/000

در روش دوم با مقایسهٔ داده‌های مشاهدات (تصادفات) و داده های پیش‌بینی مدل، به اعتبارسنجی مدل پرداخته شده است. در این روش درصورتی‌که خط برازش بین داده‌ها به معادلهٔ $Y=X$ ($R^2=1$) نزدیک باشد، مدل صحت و اعتبار کافی دارد. مطابق شکل (٦)، مقدار R^2 برابر با ۰/۹۸ است که مناسب تلقی می‌شود.



شکل ٦. نمودار اعتبارسنجی داده‌های خروجی مدل پیش‌بینی تصادفات میدان‌ها با مقایسهٔ مشاهدات تصادفات

در مدل ارائه‌شده، مهم‌ترین عامل از بین پنج متغیر مستقل، میانگین عرض ناحیه‌های تداخلی ($ave.W_{con}$)، است. دلیل این موضوع بررسی مقدار وزن این متغیر در میدان است که برابر با ٤/٤٩ است. این موضوع نشان می‌دهد که تأثیرگذاری متغیر مستقل $ave.W_{con}$ نسبت به سایر متغیرهای مستقل (N_l، $ave.W_{non-con}$، $ave.L_{con}$ و R_r) بیش‌تر است. تأثیرگذاری هر پنج متغیر مستقل بر مدل پیش‌بینی، در شکل (۷) آورده شده است.



شکل ۷. نمودار تأثیرگذاری متغیرهای مستقل در مدل پیش‌بینی

٤. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدل پیش‌بینی شدت و تعداد تصادفات بر مبنای بررسی آمار تصادفات جمع‌آوری‌شده از پلیس راهور استان قم، با استفاده از مدل لوجیت و الگوریتم بیان ژنی ساخته شد. سایر مدل‌هایی که در کشورهای مختلف توسعه داده شده‌اند صرفاً بر مبنای مدل ریاضی با استفاده از معادلهٔ نمایی ساخته شده‌اند و با توجه به این‌که حجم ترافیک میدان را به‌صورت میانگین ترافیک سالانه ($AADT$) وارد مدل می‌کنند، احجام کم یا ساعت اوج ترافیکی که تصادفات در آن‌ها اتفاق افتاده است را در برآوردها و پیدا کردن عامل مؤثر بر وقوع تصادفات، در مدل نادیده می‌گیرند. هم‌چنین اهمیت سایر متغیرهای هندسی میدان نسبت به شاخص $AADT$ کاهش می‌یابد که برای اولویت‌بندی اقدامات برای اصلاح هندسی (در صورت نیاز)، تصمیم گیران ممیزی ایمنی شهری را به‌اشتباه خواهد انداخت. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

۱. مدل‌های پیش‌بینی تصادفات میدان‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که اثر جریان ترافیک را به‌صورت توأم با متغیرهای هندسی ببینند. این موضوع به‌ویژه در ناحیهٔ تداخلی میدان‌های تداخلی اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که در مدل تعداد تصادفات در این مطالعه، به‌عنوان متغیر مستقل وارد مدل شده است.

۲. مدل پیش‌بینی تصادفات ارائه‌شده در این مطالعه با استفاده از آزمایش اهمیت متغیرها نشان داد که از بین متغیرهای هندسی میدان‌های تداخلی، بیش‌ترین اهمیت مربوط به عرض ناحیه تداخلی است و سایر متغیرها شامل تعداد خط عبور ناحیهٔ گردشی، میانگین طول ناحیهٔ تداخلی، میانگین عرض ناحیهٔ بدون تداخل و شعاع جزیرهٔ مرکزی میدان به ترتیب، در وقوع تصادفات اهمیت خواهند داشت.

۳. مدل شدت تصادفات نشان داد که نوع تصادفاتی که در آن کاربر آسیب‌پذیر مانند دوچرخه و موتورسیکلت وجود دارد احتمال جرحی شدن تصادفات به شدت افزایش می‌یابد هم‌چنین وجود دسترسی غیرمجاز به ناحیهٔ گردشی میدان موجب افزایش شدت تصادفات از خسارتی به جرحی می‌شد.

٥. پی‌نوشت‌ها

1. Conflict
2. Richardson
3. Nabulsi
4. Jadaan
5. Safety performance function
6. Daniels
7. The equivalent property damage only
8. Property Damage Only
9. Maximum likelihood estimation
10. Gene expression programming
11. Ferreira
12. Genetic algorithm
13. Genetic programming
14. Dummy Variable
15. Odds ratio
16. Log
17. Arctan
18. Head size
19. Training
20. Validation
21. Radius of Central Island
22. Average length of conflict section
23. Average width of conflict section
24. Average width of non-conflict section
25. Number of Lanes at Circular Carriageway
26. Number of Accidents
27. Mean squared error
28. Root mean square error
29. Relative absolute error
30. Mean absolute error
31. Root relative squared error

٦. منابع

– ع. بابازاده، تأثیر سن راننده مقصر بر شدت تصادف: مقایسه نتایج مدل رگرسیون لجستیک و مدل شبکه عصبی برای تصادفات استان گیلان، سومین کنفرانس ملی تصادفات جاده‌ای، سوانح ریلی و هوایی.

– م. شریفی، س. ناصرعلوی و ا. مظاهری، استفاده از مدل رگرسیون لجستیک رتبه‌ای جهت مدلسازی شدت آسیب تصادف موتورسیکلت تک سرنشین، اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران، توسعه هوشمند و سیستم‌های پایدار.

– ع. ا. صادقی، م. ج. قاضی‌زاده، ح. ف. ملاشاهی و ا. محمدزاده مقدم، "معرفی معیارهایی برای ارزیابی روش‌های متفاوت شناسایی نقاط حادثه‌خیز (مطالعه موردی: تقاطع‌های چراغ‌دار مشهد)، چهارمین کنفرانس بین‌المللی حوادث رانندگی و جاده‌ای، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

– E. Polders, S. Daniels, W. Casters, and T. Brijs, "Identifying Crash Patterns on Roundabouts," Traffic Inj. Prev., vol. 16, no. 2, pp. 202–207, Feb. 2015, doi: 10.1080/15389588.2014.927576.

– S. Daniels, T. Brijs, E. Nuyts, and G. Wets, "Extended prediction models for crashes at roundabouts," Saf. Sci., vol. 49, no. 2, pp. 198–207, Feb. 2011, doi: 10.1016/j.ssci.2010.07.016.

– E. Waddell, "Evolution of roundabout technology: a history-based literature review," presented at the Institute of Transportation Engineers 67th annual MeetingInstitute of Transportation Engineers (ITE), 1997. Accessed: Dec. 21, 2022. [Online]. Available: https://trid.trb.org/view/485254

– S. Daniels, T. Brijs, E. Nuyts, and G. Wets, "Externality of risk and crash severity at roundabouts," Accid. Anal. Prev., vol. 42, no. 6, pp. 1966–1973, Nov. 2010, doi: 10.1016/j.aap.2010.06.001.

– M. Mamlouk and B. Souliman, "Effect of traffic roundabouts on accident rate and severity in Arizona," J. Transp. Saf. Secur., vol. 11, no. 4, pp. 430–442, Jul. 2019, doi: 10.1080/19439962.2018.1452812.

– Kathirgamalingam Somasundaraswaran and Megan Richardson, "Investigating the Possibilities of Specific Crash Type at Roundabouts," J. Traffic Transp. Eng., vol. 7, no. 5, Oct. 2019, doi: 10.17265/2328-2142/2019.05.002.

– Autodesk, "Civil 3D." 2022. [Online]. Available: https://www.autodesk.com/

– American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Highway Safety Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Washington, DC., 2010.

– C. Ferreira, Gene Expression Programming, vol. 21. Springer Berlin Heidelberg, 2006. doi: 10.1007/3-540-32849-1.

– StataCorp, "Stata Statistical Software: Release 17. College Station, TX: StataCorp LLC." 2021.

– MathWorks, "MATLAB." 2022. Accessed: Jan. 06, 2023. [Online]. Available: https://www.mathworks.com/products/matlab.html

Prediction Model for Severity and Number of Accidents at Weaving Section (Roundabout) Based on Geometric Characteristics using Logit-Based Analysis and Gene Expression Algorithm
(Case Study: Qom City)

Alireza Aminfar, Master of Science Student, road and transportation department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Amin Mirza Boroujerdian*, Associate Professor, road and transportation department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Omid Rahmani, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, West Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Amir Saman Abdollahzadeh Nasiri, Master of Science Student, Department of Civil Engineering, Highway and Transportation Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

E-mail: boroujerdian@modares.ac.ir

Abstract
Roundabouts usually have higher traffic safety compared to other types of intersections. Despite the transformation of intersections into roundabouts, high-severity accidents still occur in them. Improving accident prediction models and their parameters can help prioritize action and reduce the cost of geometric modification. This research aims to investigate the geometric factors of severity and the number of accidents in the weaving section at these roundabouts. In this research, by using the accident statistics of six roundabouts located in Qom city, the influencing factors on the severity and number of accidents were investigated using the logit model and gene expression algorithm. The results showed that the width of the weaving section had the greatest impact on the occurrence of accidents compared to other geometrical variables of the roundabout. Also, the type of accidents in which there was a vulnerable user such as a bicycle and motorcycle greatly increased the probability of being injured in the accidents, on the other hand, the presence of unauthorized access to the circular carriageway of the roundabout increased the severity of accidents from damage to injuries.

Keywords: severity and number of accidents, roundabout, geometric characteristics, logit