



## آنالیز نقاط تصادف با توسعه عملیاتی شبکه‌ی احتمالاتی بیزین در محیط GIS

علی مسگر<sup>۱</sup>، روزبه شاد<sup>۲</sup>، سید علی صحاف<sup>۳</sup>، راحیل مقیمی<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجو کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی، واحد بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد
- ۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد\*
- ۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۴- دانشجو کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی، واحد بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد

Email: [ali136863@gmail.com](mailto:ali136863@gmail.com)

Email: [Rouzbeh\\_Shad@yahoo.com](mailto:Rouzbeh_Shad@yahoo.com)

Email: [asahaf@um.ac.ir](mailto:asahaf@um.ac.ir)

Email: [Elnazmoghimi@gmail.com](mailto:Elnazmoghimi@gmail.com)

### خلاصه

تصادفات ترافیکی و اثرات آن به عنوان یک مشکل اصلی در سطح جهان شناخته شده است. پدیده تصادف اغلب منجر به هزینه های گزافی همانند صدمات جانی (به شکل مرگ، جراحت و نظیر آن)، توقف فعالیتها (مانند از دست رفتن موقعیت کاری) و خسارات اقتصادی می شود. در ایران به علت ضعف زیر ساختهای حمل و نقل ریلی، هوایی و دریایی، تقریباً ۹۰ درصد جابجایی ها از طریق جاده ها صورت می گیرد که در نتیجه آن تصادفات جاده ای افزایش خواهند یافت. لذا بحث ایمنی جاده ای و پیش بینی محل رخداد تصادفات از اهمیت بالایی برخوردار است.

از علل اصلی وقوع تصادفات، رفتارهای رانندگان در حین هدایت وسیله نقلیه می باشد که متأثر از شرایط ترافیکی اطراف و پارامترهای محیطی موثر است. در این راستا مدل سازی پارامترهای اساسی وقوع تصادف و پیش بینی نحوه ی تأثیر متقابل آن ها در احتمال وقوع، نقش قابل ملاحظه ای در کنترل و مدیریت وقوع تصادف خواهد داشت، لذا در این مقاله با هدف ارزیابی عملکرد هر یک از عوامل در محیط GIS از شبکه بیزین (Bayesian Network) استفاده شده و عملکرد آن با روش های دیگر نظیر یادگیری ماشین و شبکه عصبی مقایسه می شود. از مشکلات اصلی یادگیری ماشین نقطه ضعف آن در تعمیم داده ها به محدوده های مطالعاتی مختلف می باشد، همچنین شبکه عصبی به دلیل لزوم تضمین کیفیت ورودی و خروجی ها عملکرد مناسبی در این مساله ارائه نمی دهد. لذا شبکه بیزین به منظور یادگیری روابط بین پارامترها و پیش بینی اثر گذاری هر یک از متغیرها پیشنهاد شده و نحوه تلفیق آن با محیط GIS ارزیابی می گردد. نتایج نهایی منجر به ارائه مدلی جامع و مکانمند به منظور پیش بینی محل وقوع تصادفات به همراه اعتبار سنجی نتایج خواهد بود.

کلمات کلیدی: تصادفات ترافیکی، پیش بینی، شبکه بیزین، GIS.

<sup>۱</sup> دانشجو

<sup>۲</sup> استادیار

<sup>۳</sup> استادیار

<sup>۴</sup> دانشجو



## ۱. مقدمه

تصادفات عمدتاً پیامد افزایش تحرک، فعالیت و حمل و نقل در جوامع امروزی هستند که در نتیجه‌ی آن مساله‌ای به نام ایمنی حمل و نقل به عنوان چالشی اصلی جهت تصمیم‌گیری مدیران، دولت‌مردان و محققین مطرح می‌گردد. عواملی چون نوشیدنی الکلی، مصرف داروهای خواب‌آور، دخانیات و خواب‌آلود بودن، خوردن و آشامیدن در حین رانندگی، همیشه مشکل‌ساز هستند. برخی از تصادفات رانندگی ناشی از خرابی خودرو و یا از عوامل محیطی اطراف می‌باشند، با این وجود در بسیاری از زمینه‌ها اشتباهات انسانی همواره از نخستین علل وقوع به شمار می‌روند. لذا داده‌های تصادفات شامل: تعداد، شدت، محل وقوع و نظیر آن که در طی سال‌ها و بازه‌های زمانی مختلف جمع‌آوری می‌شوند، به عنوان پایه‌های اصلی برنامه‌های کاهش تصادفات و طرح‌های ایمن‌سازی راه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. شرایط رخداد تصادفات جاده‌ای در ایران، وجود سیستم‌های مکانیکی برای آنالیز تصادفات و پیش‌بینی وقوع آن‌ها را امری اجتناب‌ناپذیر می‌گرداند. بر اساس گزارشات سازمان بهداشت جهانی، تصادفات جاده‌ای یکی از علل اصلی مرگ و میر افراد (۵-۴۴) سال می‌باشد [1]. در ایالات متحده تصادفات ترافیکی سبب از دست رفتن جان بیش از ۴۰۰۰۰ نفر در سال می‌گردد [2]. عوامل موثر بر رخداد تصادفات و شدت آن‌ها، توجه ویژه پژوهشگران ایمنی ترافیک را به خود جلب کرده است. همچنین این پژوهش‌ها تنها معطوف به جلوگیری از رخداد تصادفات نیست بلکه کاهش شدت تصادفات نیز در کانون توجه پژوهشگران این عرصه قرار دارد. درک شرایطی که تحت آن رانندگان و مسافران بیشتر در معرض آسیب دیدگی و مرگ قرار می‌گیرند، می‌تواند به بهبود شرایط ایمنی راه‌ها کمک کند. در نتیجه با توجه به روند روزافزون تلفات رانندگی، تصادفات جاده‌ای به عنوان پنجمین عامل مرگ و میر تا سال ۲۰۲۰ عنوان شده و سالیانه باعث ۲.۴ میلیون تلفات انسانی در جهان می‌گردد [3]. تصادفات ترافیکی علاوه بر تحمیل هزینه‌های مالی سنگین به جامعه باعث تأخیر در سفرهای شهری، عدم اطمینان به برنامه‌ریزی سفر، افزایش آلودگی صوتی و تخریب محیط زیست می‌شود. مدل‌های پیش‌بینی تصادفات ترافیکی راه‌ها برای درک بهتر عوامل موثر بر تصادفات ترافیکی و کاهش فراوانی خسارات مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کره جنوبی طول کل آزاد راه‌ها بیش از ۳۰۰۰ کیلومتر می‌باشد که در میان ۱۰ کشور برتر جهان (از لحاظ طول آزاد بزرگراهها) قرار دارد. اما شمار تصادفات آن به ازای هر کیلومتر بزرگراه بیش از دیگر کشورهاست. رشد سریع تقاضای سفر و زیرساخت‌های حمل و نقل پس از سال ۱۹۸۰، در نرخ بالای تصادفات بزرگراه‌های این کشور نقشی اساسی دارد. ابعاد هر تصادف را می‌توان برحسب شمار خودروهای درگیر، تعداد خودروهای آسیب‌دیده، میزان مرگ و میر و تعداد آسیب‌دیدگان بیان نمود. ابعاد وقوع تصادف یکی از شاخص‌های مهم اندازه‌گیری سطح ایمنی راه‌ها و بزرگراههاست. عواملی مانند شرایط هندسی راه، ویژگی‌های راننده، نوع خودرو و ویژگی‌های مربوط به جریان ترافیک مانند: سرعت و حجم با ابعاد تصادف ارتباط تنگاتنگی دارد [4].

متغیرهای ناوابسته زیادی روی شمار تصادفات اثر می‌گذارند که این عوامل معمولاً با حجم ترافیک، طول قطعه راه، ویژگی‌های زیرساخت‌های هندسی راه، وضعیت رویه راه، روشنایی، آب‌وهوا و رفتارهای رانندگان مرتبط است. گاهی برآورد مقدار برخی متغیرها دشوار بوده به نحویکه ممکن است اثرات چنین متغیرهایی روی تصادفات با یکدیگر برابر نباشند. از این رو پژوهشگران عموماً از مجموعه گسترده‌تری از متغیرهای ناوابسته استفاده نموده و شمار کاهش یافته‌ای از متغیرها را برای ورود به مدل استخراج می‌کنند. برای نمونه حجم ترافیک و هندسه راه برای سالیان متمادی به عنوان عوامل عمده رخداد تصادفات شناخته می‌شد، در حالی که اخیراً به طور فزاینده‌ای رفتارهای انسانی به عنوان یک عامل غالب در رخداد تصادفات شناخته شده است [5,6].

روش‌های مدل‌سازی که تا کنون برای پیش‌بینی تصادفات به کار رفته‌اند، به چهار گروه عمده شامل: تحلیل‌های چندمتغیره، تئوری بیز (تجربی و کامل)، منطق‌فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی قابل‌تقسیم‌اند. در روش‌های تحلیل چندمتغیره، اغلب مدل‌های رگرسیون جهت پیش‌بینی تصادفات به کار گرفته می‌شوند. منطق‌فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی تصادف زمان‌بر و پیچیده‌اند، اما روش‌های بیزین با توجه به خصوصیت تحلیل و بررسی چندین باره داده‌ها در آن‌ها، مناسب‌تر می‌باشد. از مهمترین پیش‌نیازهای لازم جهت ارائه‌ی طرح‌ها، برنامه‌های کنترلی و برنامه‌های نظارتی، به کارگیری و توسعه امکانات و قابلیت‌های سیستم‌های نوین، بر بستری از ارتباط‌ها و تعاملات مکان‌مند است. سیستم اطلاعات مکانی (GIS) با به کارگیری اجزائی مانند: نرم‌افزار، سخت‌افزار، نیروی متخصص، داده و شبکه‌های ارتباطی، قادر است چارچوبی هدفمند و کارآمد را به منظور بهبود فرآیندهای تحلیل تصادفات و تسریع در عملکردهای نظارتی، در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار دهد. بدین ترتیب تصمیم‌سازان و برنامه‌ریزان قادر می‌گردند که با ایجاد ارتباط بین پایگاه‌های اطلاعاتی جمع‌آوری شده توسط کارشناسان و ناظران تصادفات، گزارش‌هائی مطمئن (در سطوح و ترازهای



در خور، ارائه دهند. در انتها، با ادغام و اعتبار سنجی نتایج در محیط سیستم اطلاعات مکانی و بررسی نتایج آن‌ها در شبکه بیزین، می‌توان به نتایج دلخواه در زمینه پیش بینی محل و احتمال وقوع تصادفات دست یافت.

## ۲. مروری بر کارهای گذشتگان

درک چگونگی رخداد، عوامل موثر بر وقوع، ویژگی‌ها و مکانهایی که تصادفات معمولاً در آنجا رخ می‌دهد از اصول اولیه تحلیل و بررسی تصادفات بوده تا از این رهگذر از وقوع آن‌ها جلوگیری، یا از شدت اثرشان کاسته شود. از جمله علل وقوع مانند: ویژگی‌های هندسی راه، ترافیک، شرایط آب-هوایی، خطاهای انسانی و اندرکنش‌ها باید بر حسب شدت اثرشان در رویداد هر برخورد، ارزش‌دهی شوند. یکی از معیارهای اصلی در وقوع تصادفات شهری فرکانس یا تعداد تصادف در هر کیلومتر از خیابان است که با در نظر گرفتن ارتباط موثر و متقابل فرکانس تصادفات با محل وقوع، محققین عاملی به نام رتبه بندی مناطق بر اساس درجه تصادفات را مورد توجه قرار دادند [7,8]. راهکاری که امروزه پژوهشگران برای رویارویی با پدیده تصادف در پیش گرفته‌اند، ساخت مدل‌های پیش‌بینی تصادفات بر پایه عوامل موثر بر رخداد می‌باشد، همچنین از مدل‌های پیش‌بینی تصادفات می‌توان برای ارزیابی شرایط ایمنی راه و شناسایی مناطق پرخطر راهها بهره گرفت. بسیاری از موسسات و پژوهشکده‌های حمل و نقل از فراوانی تصادفات و مدل‌های آماری فراوانی، به عنوان مبنایی جهت اولویت بندی طرح‌های ارتقای ایمنی راهها استفاده می‌کنند. اما استفاده از شدت تصادفات در برنامه‌های ایمن‌سازی، اغلب به ارزیابی منطقه‌ای میزان مرگ و میر محدود شده و کمتر به‌طور اساسی به مقوله شدت تصادفات در راهها و توزیع آن مانند: تصادفات با زیان مالی و جانی در این طرح‌ها توجه شده است [9,10]. بر اساس گزارش سازمان ایمنی جاده‌ای جهان در سال ۲۰۱۳ و با جامعه آماری بالغ بر ۱۸۲ کشور، نشان داده شد که تلفات جاده‌ای به‌طور غیر قابل انتظاری بالا و معادل ۲۴.۱ میلیون نفر در سال بوده و در حال حاضر هشتمین عامل مرگ و میر و مهمترین عامل کشتار جوانان (بین ۱۵ تا ۲۹ سال) محسوب می‌شود. یافته‌های این گزارش بیان می‌کند که فقط ۲۸ کشور که ۷ درصد جمعیت جهان را تشکیل می‌دهند، دارای قوانین تفصیلی و کامل پیرامون ۵ عامل اصلی خطر در ترافیک جاده‌ای می‌باشند، ضمن آنکه بخش عمده‌ای از تلفات حوادث جاده‌ای در کشورهای با درآمد متوسط به‌خصوص در حوزه کشورهای آفریقایی اتفاق می‌افتد و علت اصلی آن نیز عدم وجود قوانین جامع در زمینه کنترل عوامل اصلی ریسک ترافیک جاده‌ای می‌باشد. عدم دسترسی به اطلاعات جامع و کامل حوادث ترافیکی نیز از مهمترین مشکلات موجود می‌باشد. در عموم کشورهای جهان ۷۱ درصد سیستم اطلاعات تصادفات فقط بر مبنای داده‌های پلیس بوده و فقط در ۱۷ درصد از کشورها سیستم اطلاعات جامع (یعنی اطلاعات پلیس در ترکیب با اطلاعات اورژانس و بیمارستانها) وجود دارد. سازمان بهداشت جهانی در گزارش سال ۲۰۱۳ و به‌منظور بهبود و ایجاد هماهنگی در اطلاعات تلفات حوادث ترافیکی، اطلاعات ۷۸ کشور جهان منجمله ایران را با استفاده از مدل‌های اماری تخمین و اصلاح کرد. بنا بر مقایسه‌ای از وضعیت ایمنی در ۱۸۰ کشور و شاخص کشته‌بازاء هر صد هزار نفر، ایران رتبه ۱۷۷ را در میان دیگر کشورها بدست آورد.

## ۳. تئوری کار

با نگرش به زیان‌های سنگین و آسیب‌های جبران‌ناپذیری که در اثر تصادفات وسایل نقلیه به جامعه وارد می‌شود، در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی روی علل بروز حوادث رانندگی در کشور های مختلف صورت گرفته است. از آن‌جا که داده‌های مربوط به نوع رانندگی شامل: شتاب، اطلاعات جهت‌دهی و ترمز، پاسخ راننده به عوامل بیرونی و دسته‌هایی از این جهت، چندان قابل دستیابی نیستند، پژوهشگران توجه خود را روی فاکتورهای هندسی کاربری‌های مختلف راه و متغیرهای ترافیکی آن معطوف کرده‌اند تا از این طریق بتوانند با شناسایی عوامل تاثیرگذار روی انواع مختلف تصادف، سیاست‌های لازم را برای جلوگیری از رخداد تصادفات ارائه کنند. این رویکرد به مشخصات زمانی و مکانی تصادفات که در قالب داده‌های فراوانی تصادفات ارائه می‌شود نیاز دارد.

برای تهیه مدل‌های پیش‌بینی تصادفات از مرحله ابتدایی تا پایان ساخت آن‌ها، روندی کلی شامل گردآوری مجموعه‌ای فراگیر از داده‌ها، آماده‌سازی و دسته‌بندی آن‌ها، پیشنهاد شکل مدل، پرداخت آن‌ها، مقایسه و انتخاب بین آن‌ها و در نهایت جمع‌بندی و ارائه آن‌ها لازم است. تاکنون روش‌های مدل‌سازی گوناگونی برای پیش‌بینی تصادفات ارائه شده‌اند که هر یک دارای ویژگی‌ها و کاستی‌های مربوط به خود هستند که در ادامه برخی از این روش‌ها معرفی خواهند شد.



## • مدل بیزین

شبکه راه ها، ناشی از عملکرد انسان شامل تعداد بسیار زیادی متغیرهای غیر قطعی شامل پارامترهای محیطی و پیرامونی می باشد، پس ارائه مدلی که توانایی یکپارچه سازی و به کارگیری توأم متغیرها را داشته باشد ضروری است. مدل بیزین با احتساب انتگرال و دیفرانسیل تحت عدم قطعیت جهت متغیرهای ناقص به کار می رود. این روش یک سری متغیر دلخواه با شرایط خاص را به وسیله یک گراف مارپیچی ارائه می کند. یک شبکه بیزین شامل: تعدادی متغیر ولینک های مستقیم بین آن ها، متغیرهایی که به وسیله لینک های مستقیم به گراف تبدیل می شوند و جدول احتمال وقوع هر متغیر می باشد و به صورت رابطه ۱ بیان می گردد.

$$P(H \setminus D) = \frac{P(H) * P(D \setminus H)}{P(D)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه:

H احتمال و D داده می باشد، P(H) احتمال قبلی H به صورت احتمالی که H درست باشد قبل از اینکه داده D دیده شود.  $P(D \setminus H)$ : شرایط احتمالی که داده D داده شود و احتمال H درست باشد.  $P(D)$ : احتمال مرزی داده D،  $P(H \setminus D)$ : به عنوان احتمال موخر، احتمال اینکه فرض درست است، داده و شرایط قبلی در مورد فرض مبنا می باشد.

## • شبکه عصبی

شبکه عصبی شامل اجزایی مرتبط باهم است که می تواند با استفاده از یک الگوی ورودی یک الگوی خروجی تولید کند و قابلیت فراگیری و تعمیم را نیز داراست. در استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، سعی می شود با آموزش شبکه ای پردازشگر، بدون یافتن قانون ریاضی حاکم بر پارامترها، ویژگی ها و روابط ذاتی میان متغیرها به شبکه آموزش داده شود و پس از تضمین یادگیری، از آن در تعمیم دهی و ایجاد رابطه ی غیر خطی بین دو فضای ورودی و خروجی استفاده گردد. در واقع سرعت بسیار بالای انجام عملیات منطقی توسط کامپیوتر و ساختار پردازش موازی شبکه های عصبی مصنوعی به عنوان دو مکمل هم باعث شده، شبکه عصبی مصنوعی به عنوان ابزاری مناسب بسیاری از مسائل استفاده شوند. فلسفه اصلی شبکه های عصبی مصنوعی، مدل کردن عمده ویژگی های مغز و نحوه عملکرد آن در جهت ساخت کامپیوترهایی است که اکثر ویژگی های مفید مغز را از خود نشان دهند. کاربرد های روز افزون شبکه های عصبی مصنوعی در مسائل مختلف امکان دستیابی به حافظه ی گسترده و نیز جایگزینی مکانیزم یادگیری به جای الگوریتم برنامه ریزی، موجب شده تا دامنه تحقیقات در این خصوص روز به روز گسترده تر شود مانند: طبقه بندی شناسایی و تشخیص الگو، پردازش سیگنال، پیش بینی سری های زمانی مدل سازی و کنترل و بهینه سازی منجمله این موارد می باشند.

## • مدل پواسون

از آنجا که داده های فراوانی تصادفات اعداد صحیح غیر منفی هستند، استفاده از مدل رگرسیون کمترین مربعات که متغیر وابسته را پیوسته فرض می کند روش مناسبی برای تحلیل این گونه داده ها نیست. با توجه به این ویژگی مهم این داده ها، در بسیاری از مطالعات اخیر به عنوان نقطه شروع از مدل پواسون استفاده شده است. در مدل رگرسیون پواسون، احتمال بروز  $y_i$  تصادف در قطعه  $i$  از شبکه حمل و نقل در یک بازه زمانی مشخص از رابطه ۲ محاسبه می شود.

$$p(y_i) = \frac{EXP(-\lambda_i) \lambda_i^{y_i}}{(y_i)!} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه:

$p(y_i)$  احتمال بروز  $y_i$  تصادف در قطعه  $i$  از مسیر و  $\lambda_i$  پارامتر پواسون برای قطعه  $i$  از مسیر است که برابر است با تعداد تصادف مورد انتظار سالانه برای قطعه  $i$ .  $(E(y_i))i$

برآورد مدل پواسون با تعیین پارامتر پواسون  $\lambda_i$  یا تعداد تصادف مورد انتظار، به عنوان تابعی از متغیرهای توصیفی انجام می شود. رایج ترین فرم این تابع به شکل  $(\lambda_i) = EXP(\beta X_i)$  است که در آن بردار متغیر توصیفی و  $\beta$  بردار پارامترهای برآورد شده هستند.



با این که مدل پواسون نقش مهمی در آغاز مدل‌سازی پیش‌بینی تصادفات داشته است، اما تجربه نشان داده است از آنجا که این مدل در تحلیل داده های تصادفات با مشکلات پیش و کم پراکندگی و همچنین نمونه های کوچک و میانگین نمونه پایین روبروست، نتایج درستی ارائه نمی دهد.

#### ۴. پیاده سازی

در این بخش مراحل پیاده سازی شامل: بررسی محدوده مطالعاتی، تحقیقات میدانی، داده ها و عوامل، روال پردازش و آماده سازی، پیاده سازی در شبکه بیزین، نحوه تلفیق وزن‌ها و نتایج به بررسی پرداخته خواهد شد.

#### ۴-۱- محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی در این تحقیق، منطقه ۲ شهر مشهد (مرکز استان خراسان رضوی) در نظر گرفته شده است. این منطقه با مساحتی حدود ۸۳/۰۸ کیلومتر مربع، از شمال به بزرگراه‌های قائم و شهید فهمیده، جنوب به بلوارهای شهید قزنی و فردوسی، شرق به بلوار آیت الله عبادی و از غرب به بلوار آزادی محدود شده است. بعد از منطقه ۱۲ منطقه ۲ با جمعیت ۳۸۰۴۵۴ نفر، کمترین تراکم جمعیتی را در نواحی شهرداری مشهد دارد. علاوه بر این طبق گزارشات سالانه سازمان کنترل ترافیک بالاترین تعداد تصادف در این منطقه اتفاق می افتد.

#### ۴-۲- داده های تصادفات

آمار تصادفات در محدوده شهر مشهد که از بایگانی سازمان ترافیک تهیه شده است، شامل جداول جداگانه ای از تعداد تصادفات ثبت شده در خیابان-ها و تقاطعات هر منطقه (در سال ۱۳۸۸) می باشد. این داده ها به دلیل مشخص نبودن مکان دقیق وقوع در طول خیابانها از دقت پایینی برخوردارند، از اینرو فقط تقاطعات مورد بررسی قرار می گیرند. در ۱۰ تقاطع از نقاط مذکور که به عنوان نقاط چک (check) استفاده شده است. آمار تعداد تصادفات به صورت جدولی تخصیص می یابد. تقاطع مربوط به خیابان‌های خیام و هدایت با ۱۲۰ تصادف، در میان کلیه داده‌های در نظر گرفته شده، پرحادثه‌ترین است (جدول ۱). ۵ تقاطع دیگر که نقاط کنترل نامیده می شوند، با کمک عملگرهای ریاضی جهت پیش‌بینی احتمال وقوع تصادف مورد استفاده قرار میگیرند.

جدول ۱- آمار ۱۵ تقاطع حادثه خیز در منطقه ۲

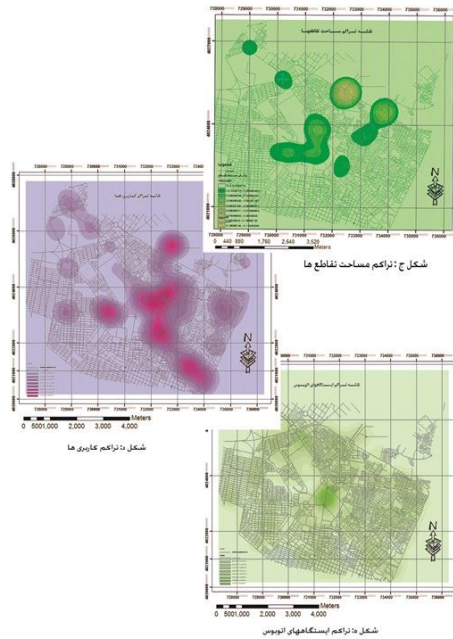
اولویت بندی نقاط حادثه خیز منطقه ۲			
اولویت	نوع مکان	نام مکان	تعداد تصادف
1	تقاطع	خیام - هدایت	120
2	میدان	فهمیده	112
3	تقاطع	توس - خیام	72
4	تقاطع	خیام - فردوسی	69
5	میدان	سپاد	63



6	میدان	جانباز	55
7	تقاطع	ابوطالب - شفا	46
8	تقاطع	ابوطالب - عبدالمطلب	40
9	میدان	ولیعصر	40
10	میدان	معراج	36
11	میدان	ابوطالب	34
12	میدان	فردوسی	30
13	تقاطع	توس - توس ۷۸	28
14	تقاطع	فردوسی - مهدی	28
15	میدان	بوعلی	26

#### ۴-۳- آماده سازی داده ها

پس از انتخاب محدوده مطالعاتی و تخصیص تعداد تصادف به تقاطع‌ها (جدول ۱)، بررسی‌های لازم جهت شناسایی عوامل موثر در تعداد تصادف انجام شده و با توجه به داده‌های موجود، عواملی مانند: تراکم ایستگاه‌های اتوبوس در منطقه، عرض معابر، مساحت تقاطع‌ها، طول خیابان‌ها و تراکم کاربری-های خاص که در شکل‌گیری ترافیک موثر می‌باشند، به عنوان عوامل تاثیرگذار، انتخاب و نقشه‌ی تراکم هر یک از آنها تهیه می‌گردد (شکل ۴). نقشه چگالی برای تمامی عوامل به استثنای طول و عرض خیابان‌ها، به روش کرنل (kernel density) تهیه می‌گردد. همچنین برای به دست آوردن نقشه تراکم خیابان‌ها و عرض معابر از روش لاین (line density) استفاده می‌شود. در ادامه تاثیر میزان چگالی هر عامل در ایجاد تصادف، با پیاده سازی در شبکه بیزین و استفاده از متد یادگیری آن و اصلاح اوزان، وزن‌دهی به صورت عددی معین می‌گردد. به عنوان مثال در جایی که چگالی طول خیابان بیشتر باشد، احتمال وقوع تصادف بیشتر است و به همین منظور وزنی معادل ۹ به آن تعلق می‌گیرد. بالعکس، انتساب عدد یک به کمترین چگالی بیانگر احتمال کم وقوع تصادف در آن محدوده است. در مورد تراکم ایستگاه‌های اتوبوس و کاربری‌های خاص نیز وزن نسبت داده شده، همانند وزن تراکم خیابان است (شکل ۴). لیکن در مورد عرض معابر و مساحت تقاطع‌ها، با توجه به اینکه با افزایش عرض خیابان و مساحت تقاطع، احتمال وقوع تصادف کاهش می‌یابد، عدد ۹ به چگالی کمتر و عدد ۱ به چگالی بیشتر اختصاص می‌یابد.



شکل ۴- عوامل و فاکتورهای آماده‌سازی شده در پیش‌بینی تصادفات

با بررسی خروجی مربوط به وزن هریک از لایه‌ها در نقاط تصادف، مشاهده می‌شود که به ترتیب: مساحت تقاطع، عرض معابر، طول خیابان‌ها، ایستگاه‌های اتوبوس و کاربری‌ها در ایجاد تصادف موثر هستند. اکنون برای به‌دست آوردن نقشه‌ی همپوشانی عوامل، مطابق جدول ۲ خروجی‌ها در مرحله قبل دوباره در شبکه بیزین پیاده‌سازی شده و در انتها نتایج حاصله به هریک از عوامل، وزنی بین ۰ تا ۱۰۰ اختصاص می‌یابد و پارامترهای مختلف با یکدیگر تلفیق می‌شوند. بدین ترتیب نقشه‌ای حاصل شده که احتمال وقوع تصادف در نقاط کنترل را در اختیار قرار می‌دهد.

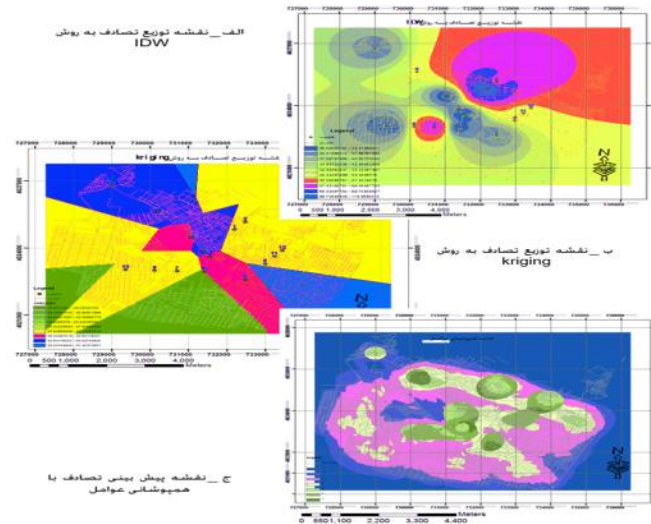
جدول ۲- وزن دهی به عوامل موثر بر اساس نظر کارشناسی

عامل موثر	سطح تقاطع	عرض معابر	ایستگاه‌های اتوبوس	تراکم خیابان‌ها	کاربری‌ها
وزن	۳۰٪	۲۷٪	۲۰٪	۱۶٪	۷٪

#### ۴-۴- اجرا

با استفاده از خروجی‌های شبکه بیزین و دو عملگر IDW و Kriging توزیع تصادفات در منطقه صورت می‌گیرد و امکان تخمین میزان تصادف در نقاط کنترل فراهم می‌گردد (شکل ۶). در بررسی نقشه حاصل از عملگر IDW، (شکل ۶ الف) رنگ آبی بیانگر بیشترین احتمال تصادف در محدوده می‌باشد که در مجاورت تقاطع‌هایی با تصادفات بالا شکل گرفته است. با دور شدن از نقاط پرحادثه به ترتیب رنگهای بنفش، قرمز و زرد بیانگر کاهش احتمال تصادف می‌باشند، به گونه‌ای که رنگ آبی کم حال در اطراف نقاط با تصادف کم رویت می‌گردد. طبقه‌بندی رنگی مذکور در نقشه، نشان دهنده‌ی نحوه توزیع تصادفات بر مبنای فاصله است. در بررسی نقشه‌های توزیع تصادفات با عملگر kriging (شکل ۶ ب)، نیز رنگهای آبی و سبز بیانگر بیشترین و کمترین تعداد تصادف می‌باشند. آنچه که در اینجا مشاهده می‌شود، دامنه‌ی توزیع تصادفات است که بسته به تعریف تعداد نقاط همسایگی،

تغییر می‌کند. بدین ترتیب با تعریف ۴،۷ و ۲ نقطه‌ی همسایگی در این عملگر، اختلاف مقدار مینیمم و ماکزیمم تعداد تصادفات به ترتیب برابر ۲۶، ۳۶ و ۶۸ بدست می‌آیند که دلیل آن نرمال بودن وضعیت نقاط همسایگی و حذف شدن تعدادی از آن‌ها (با شرایط غیر نرمال) است. در نقشه‌ی حاصل از همپوشانی عوامل مختلف (شکل ۶ج)، رنگ سبز پررنگ، بیان‌کننده‌ی بالاترین احتمال وقوع تصادف به دلایلی مانند: تراکم بالای خیابان‌ها، کمبود عرض معابر یا مساحت تقاطع، وجود ایستگاه‌های اتوبوس و نزدیکی به کاربری‌های خاص می‌باشد. همچنین رنگ آبی ناحیه‌ای را نشان می‌دهد که عوامل در آنجا تعریف نشده‌اند، لذا احتمال وقوع تصادف پایین می‌باشد.



شکل ۶- نقشه‌های بدست آمده از عملگرهای IDW ، Kriging و همپوشانی عوامل

برای مقایسه و ارزیابی مقادیر به دست آمده، لازم است که نتایج حاصل از همپوشانی با استفاده از تابع ذیل استانداردسازی شوند.

$$۳۰۹.۳۳ - (\text{عدد بدست آمده از همپوشانی}) \times ۱۵.۳۳ = \text{تعداد تصادف پیش‌بینی شده}$$

این تابع با تخصیص بیشترین و کمترین تعداد تصادف به بیشترین و کمترین وزن بدست آمده از نقشه همپوشانی، پیاده‌سازی میگردد. نتایج حاصل از الگوریتم‌های درونیابی، همپوشانی عوامل و میزان خطای هر یک از آنها در تخمین مقدار تصادف با استفاده از نقاط کنترل نشان داده شده است (جدول ۳).

میزان خطا در روش kriging با ۷ نقطه‌ی همسایگی نسبت به سایر روش‌ها پایین‌تر است که نشان می‌دهد افزایش تعداد نقاط همسایگی با کاهش خطا، رابطه مستقیم دارد. در این روش می‌توان با افزایش تعداد داده‌ها (با توجه به نرمال شدن آن‌ها) قبل از توزیع تصادفات، میزان خطا را کاهش داد. خطای زیاد در روش همپوشانی می‌تواند ناشی از منظور نکردن تاثیر عواملی مانند: سطح کیفیت روسازی، عوارض محیطی، سیستم چراغ‌های راهنمایی و نظیر آن باشد. از آنجا که تعداد تصادف در یک نقطه وابستگی مکانی به آمار برخوردها در سایر نقاط ندارد، وجود خطا در روش IDW امری بدیهی است.

شماره تقاطع	نتایج روش kriging با ۴ نقطه همسایگی	نتایج روش kriging با ۷ نقطه همسایگی	نتایج روش IDW	نتایج همپوشانی	تعداد تصادفات ثبت شده
3	38	53	32	89	72





40	105	46	40	50	34	5
112	120	47	32	53	62	6
55	105	48	49	48	38	8
40	105	49	83	50	66	12
	2260.6	1198.2	2062	818.2	931.4	میزان خطا:

جدول ۳- نتایج بدست آمده از الگوریتم‌های درونبایی

## ۵. نتیجه گیری

در این تحقیق با انجام اعمالی مانند: بررسی ماهیت پدیده تصادف، شناسایی عوامل ایجاد آن، مدل‌سازی در شبکه بیزین و بررسی نتایج در سیستم اطلاعات مکانی و ارزیابی آمار نتایج در نقاطی مشخص، نقشه‌ی احتمال وقوع تصادف در سایر نقاط تولید می‌گردد. با بررسی مدل‌های گوناگون پیش بینی تصادفات و ادغام نتایج آن‌ها در حیطه‌های مختلف می‌توان نتیجه گرفت که مدل بیزین می‌تواند نسبت به سایر مدل‌ها در زمینه پیش بینی احتمال وقوع بسیار کارآمد باشد، شبکه بیزین به منظور توصیف و بیان کیفیت روابط بین فاکتورهای اصلی در وقوع یک برخورد مناسب می‌باشد. محدودیت اصلی تئوری بیزین، عدم ارائه مکانیسمی مستقیم جهت بیان وابستگی‌های زمانی در حل یک مشکل می‌باشد. روش‌های گوناگونی جهت حل این مشکل ارائه شده است اما تغییر ماهیت بیزین امکان پذیر نمی‌باشد. سپس بدین منظور عواملی مانند: عرض معابر، تراکم خیابانها، مساحت تقاطعها، پراکندگی ایستگاههای اتوبوس و کاربری‌ها در ناحیه دو شهرداری مشهد در ایجاد نقشه وقوع تصادفات ارزیابی گردیدند. لذا در بازه زمانی سال ۸۸ تعداد تصادف‌های اتفاق افتاده در ۱۵ محل جمع آوری شده و ۱۰ نقطه از آن‌ها برای تهیه نقشه وقوع مورد استفاده قرار گرفت. در این رابطه برای دستیابی به داده‌های دقیق لازم است که خطاهای ثبت مکان و تعداد وقوع برخورد کاهش یابند. از این رو چنانچه کارشناس ثبت تصادف به جای ثبت دستی مشخصات و فاکتورهای تصادف، از سیستم موقعیت یاب ماهواره‌ای استفاده نموده و نتایج مشاهداتی خود را توسط یک سیستم فرستنده به مرکز کنترل ارسال نماید، میزان خطا در داده‌ها کم شده و به تبع آن آنالیزهای دقیق تری جهت تشخیص نقاط پرحادثه و دلایل وقوع آن در اختیار قرار خواهد گرفت. از میان داده‌های جمع آوری شده تعداد ۵ نقطه به عنوان نقطه کنترل در نظر گرفته شده و در موقعیت هر یک، مقدار تصادف حاصل از ترکیب معیارها (مقدار محاسباتی) با مقادیر مشاهداتی مقایسه می‌گردد. با بررسی نقشه‌های حاصل از دو عملگر IDW و Kriging محرز می‌گردد که نتایج حاصل از الگوریتم kriging به آمار واقعی تصادف در نقاط کنترل، نزدیکتر شده و میزان خطا به میزان قابل توجهی کمتر می‌باشد. بدین نحو که هرچقدر عملگر kriging، تولید نقشه توزیع تصادف را با تعداد نقاط همسایگی بیشتری انجام دهد، میزان خطا کاهش یافته و خروجی حاصل از پیش‌بینی تصادفات، با دقت بالاتری تعداد و محدوده‌ی وقوع را مشخص می‌کند. همچنین مدل‌سازی مکانی تصادفات بر مبنای عوامل موثر، منجر به تخمین بهتر توزیع هندسی معابر، وضعیت ایستگاه‌های اتوبوس و توزیع کاربری‌های خاص می‌شود که در طرح گسترش شبکه حمل و نقل قابل استفاده‌اند. نتایج بدست آمده از این روش توانایی ارائه راه‌حل‌های گوناگون در جهت اقدامات پیشگیرانه به سبب کنترل و بهبود جریان‌های عبوری و جلوگیری از رخداد تصادفات ترافیکی را دارد. با بررسی میزان خطای عملگرهای مختلف ریاضی، مشخص می‌شود که به منظور دسترسی به خروجی‌های دقیق‌تر، به داده‌های بیشتری از تعداد تصادفات و مکان صحیح آن‌ها نیاز است. توانایی شبکه بیزین در بیان وزن متغیرها و تعیین اثر هر کدام از عوامل بر وقوع، آن را به عنوان بهترین گزینه جهت آنالیزهای مربوط به پیش‌بینی تصادفات عنوان می‌کند.

## ۶. مراجع

[1] Juan de Ona, Randa Oqab Mujalli, Francisco J. Calvo. (2011). "Analysis of traffic accident injury severity on Spanish rural highways using Bayesian networks" Accident Analysis and Prevention 43, pp 402-411.



- [2] GES. (2005). "National Automotive Sampling System General Estimates System", National Center for Statistics and Analysis of the National Highway Traffic Safety Administration.
- [3] WHO. (2011). Global Plan for the Decade of Action for Road Safety. pp 2011-2020.
- [4] Lee, J. Y., Chung, J.-H., Son, B., (2008). Analysis of traffic accident size for Korean highway using structural equation models. Accident Analysis and Prevention 40, pp 1955-1963.
- [5] Caliendo, C., Guida, M., Parisi, (2011). "A crash-prediction model for multilane roads". Accident Analysis And Prevention., pp 639-657.
- [6] Quddus, M.A., (2008). Time series count data models: An empirical application to traffic accidents. Accident Analysis and Prevention 40, pp 1732-1741.
- [7] T. K. Anderson, (2009). "Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hot spots". Accident Analysis and Prevention, 41 , PP. 359-364.
- [8] NHTSA, (2005). Traffic Safety Fact: Research Notes. National Highway Traffic Safety Administration, Report DOT HS 809 831. January. Washington, DC.
- [9] Andreas Gregoriades and Kyriacos C. Mouskos., (2010). "Black spots identification through a Bayesian Networks quantification of accident risk index". Transportation Research, Part C 28. Pp. 28-43.
- [10] Blincoe, L., Seay, A., Zaloshnja, E., Miller, T., Romano, E., Luchter, S., Spocer, R., (2002). The Economic Impact of Motor vehicle Crashes, 2000. U.S. DOT, Washington, DC.