

## کاربرد اتوماتای سلولی نامنظم فازی در رتبه‌بندی ایمنی جاده‌ها

مصطفی کاشانی، دانشجوی دکتری، پژوهشگاه برق و فناوری اطلاعات، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران  
سعید گرگین (مسئول مکاتبات)، استادیار، پژوهشگاه برق و فناوری اطلاعات، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران

**E-mail: gorgin@ipm.ir**

سید عبدالوهاب شجاع‌الدینی، دانشیار، پژوهشگاه برق و فناوری اطلاعات، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۴

دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۹

### چکیده

پیچیدگی مسائل دنیای واقعی همواره در حال افزایش است و بسیاری از مسائل دنیای واقعی را نمی‌توان با روش‌های فعلی مدل‌سازی کرد. به همین دلیل، برای غلبه بر چالش‌ها و کاستی‌های موجود باید همواره مدل‌های محاسباتی جدیدی ارائه شود تا با استفاده از آن‌ها بتوانیم مسائل مختلف را حل کنیم. برخی از مسائل دنیای واقعی ماهیت گراف دارند و استفاده از اتوماتای سلولی نامنظم در این‌گونه مسائل مطلوب خواهد بود؛ اما این اتوماتا قادر به بازنمایی مفاهیم نادقیق فازی نیست. در همین راستا، در این مقاله یک مدل محاسباتی جدید بنام اتوماتای سلولی فازی نامنظم معرفی خواهد شد. مدل پیشنهادی در این مقاله که تلفیقی از اتوماتای سلولی فازی و اتوماتای سلولی نامنظم است، باهدف ترکیب مزایای هر دو این مدل‌ها در یک مدل واحد و کاستن از معایب آن‌ها در حالت تکی معرفی شده است. در نهایت، از مدل پیشنهادی برای حل یک مسئله کاربردی دنیای واقعی بنام مسئله رتبه‌بندی ایمنی جاده‌ها استفاده می‌شود. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در این مقاله نشان‌دهنده آن است که مدل پیشنهادی قادر است قطعات مختلف جاده‌ها را به لحاظ ایمنی با دقت بالا رتبه‌بندی نماید. بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام‌شده مدل پیشنهادی در مقایسه با داده‌های واقعی توانسته به دقت ۷۵٪ درصد تخمین ایمنی جاده‌ها دست یابد.

واژه‌های کلیدی: اتوماتای سلولی، تصادفات جاده‌ای، رتبه‌بندی جاده‌ها، عامل جاده

## ۱. مقدمه

آن تأثیرگذار است، تأثیر عوامل خارجی (فشارهای سیاسی مانند نزدیکی انتخابات مجلس شورای اسلامی و ... و عدم نظارت بر پروژه‌ها مانند استفاده از آزمایشگاه‌های مکانیک خاک غیراستاندارد) نیز می‌تواند در نظر گرفته شود (البته در این مطالعه از عوامل خارجی صرف نظر شده است). یکی از شاخص‌های بررسی تعداد تصادف‌ها، نرخ تصادف بر کیلومتر است. نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه حاکی از آن است که رابطه معکوسی بین ایمنی جاده بر اساس کیفیت ساخت جاده و نرخ تصادف وجود دارد. این امر بدان معناست که افزایش راندمان مجموعه دخیل در ساخت جاده‌ها باعث کاهش تصادفات منجر به مرگ می‌شود. هدف این مطالعه تقویت نهادها و مؤسسات ذی‌ربط و همچنین ایجاد مشارکت‌های مؤثر جهت اصلاح و بهبود سیستم‌های ایمنی راه می‌باشد تا از این طریق سیستم‌های سالم‌تر و ایمن‌تری برای عبور و مرور راه‌ها و جاده‌ها مهیا شود. این‌گونه مشارکت‌ها بایستی به‌صورت عرضی بین بخش‌های مختلف دولت و مردم و به‌صورت طولی بین سطوح مختلف دولتی، همچنان که بین سازمان‌های دولتی و غیردولتی وجود دارد ایجاد گردد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با تغییر رویکرد افزایش نظارت بر ساخت جاده امکان کاهش تلفات ناشی از تصادفات وجود دارد. مدل ارائه‌شده در این مقاله برای مطالعه و بررسی رتبه‌بندی ایمنی جاده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در انتها نتایج این پژوهش در قالب شبیه‌سازی و آزمایش‌ها ارائه می‌شود.

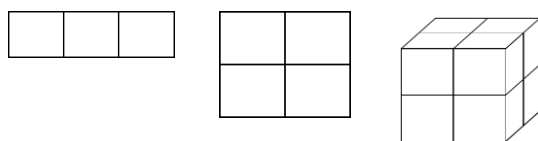
در ادامه، این مقاله به‌صورت زیر ساختاردهی شده است:

در بخش دوم مفاهیم بنیادین و اصطلاحات مربوط به اتوماتای سلولی و چالش‌های مرتبط با آنکه به درک ضرورت ارائه‌ی مدل جدید کمک می‌کند ارائه می‌شود. در بخش سوم چالش‌های مدل موردبررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم مدل پیشنهادی ارائه‌شده است. در بخش پنجم مدل پیشنهادی در حل یک مسئله‌ی دنیای واقعی بنام رتبه‌بندی ایمنی جاده‌ها به‌کاررفته است. در بخش ششم مقایسه نتایج روش پیشنهادی با نتایج

امروزه روند رو به رشد تصادف‌ها در راه‌ها و تلفات و خسارت‌های ناشی از این‌گونه حوادث باعث اتلاف سرمایه‌های کشور می‌شوند؛ بنابراین، سرمایه‌گذاری صحیح و شناخت هر یک از عوامل چهارگانه تصادف (راه، راننده، وسیله نقلیه و قانون)، بررسی اصولی مشکلات ناشی از این عوامل و ارائه‌ی راه‌حل‌های کاربردی در این زمینه می‌تواند تا حد زیادی از بروز این‌گونه حوادث بکاهد.

یکی از معضلات اساسی شبکه راه‌های کشور کیفیت نامناسب جاده‌ها است که موجب افزایش تعداد تصادفات رانندگی منجر به مرگ می‌باشد. یکی از مشکلات اساسی در حوزه‌ی عامل جاده نبود مدلی برای شناسایی وضعیت ایمنی هر قطعه از جاده (منظور از قطعه در این مقاله مسافت یک کیلومتری جاده می‌باشد که از این‌پس به‌عنوان یک سلول در نظر گرفته می‌شود) با در نظر گرفتن تأثیرات قطعات (سلول‌های) قبلی و بعدی و همچنین تأثیرات غیرمستقیم است. بسیاری از مسائل دنیای واقعی ماهیت گراف دارند. سیستم توصیه‌کننده دوست<sup>۶</sup> در شبکه‌های اجتماعی [۳۲]، یافتن کوتاه‌ترین مسیر در شبکه [۳۳] مثال‌هایی از این دسته مسائل هستند. استفاده از اتوماتای سلولی نامنظم در این‌گونه مسائل مطلوب خواهد بود؛ اما این اتوماتا قادر به بازنمایی مفاهیم نادقیق فازی نیست. از این‌رو در این مقاله مدلی ترکیبی بر اساس منطق فازی و اتوماتای سلولی نامنظم توسعه داده می‌شود. مدل پیشنهادی یک اتوماتای سلولی نامنظم است که مجموعه حالات هر سلول در آن یک متغیر زبانی فازی است. علاوه بر این تابع انتقال حالت فعلی هر سلول به حالت بعدی آن نیز فازی می‌باشد.

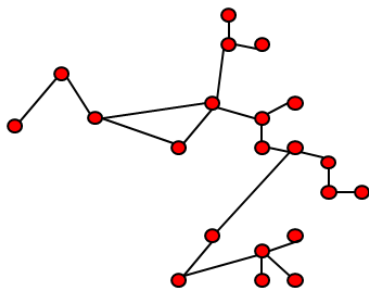
پس از معرفی اتوماتای سلولی فازی نامنظم از آن برای حل مسئله رتبه‌بندی ایمنی جاده‌ها استفاده خواهد شد. در مدل پیشنهادی علاوه بر اینکه وضعیت جاری هر قطعه از جاده و قطعات مجاور



شکل ۱. نمونه‌ای از آرایه‌های سلولی ۱، ۲ و ۳ بعدی

## ۲-۲ اتوماتای سلولی نامنظم<sup>۴</sup>

اتوماتای سلولی نامنظم یک پیکربندی شامل مجموعه‌ای از نقاط در فضا است که هیچ‌گونه محدودیت از قبل تعیین شده‌ای بر آن‌ها حاکم نیست و هر نقطه تعدادی از نقاط دیگر را در فضا به‌عنوان همسایگان خود انتخاب می‌کند. ایده‌ی اولیه این روش در اواسط دهه ۸۰ معرفی شد [Couclelis, 1985]، اما به دلیل پیچیدگی محاسباتی بسیار زیاد به‌منظور محاسبه‌ی همسایگی نامنظم چندان با استقبال مواجه نشد. محدود پژوهش‌هایی که بر پایه‌ی اتوماتای سلولی نامنظم ارائه شده است از چندضلعی‌های ورنوی<sup>۵</sup> و روش مثلث‌بندی دیلانی<sup>۶</sup> به‌منظور افزایش فضا و مشخص کردن همسایگان هر نقطه استفاده می‌کنند [Stevens, 2005]. شکل (۲) نمونه‌ای از ساختار اتوماتای سلولی نامنظم را در فضا نمایش می‌دهد.



شکل ۲. نمونه‌ای از ساختار اتوماتای سلولی نامنظم

## ۳-۲ اتوماتای سلولی فازی

کاربرد ماشین‌ها سلولی ابتدا به منطق بولی محدود می‌شد که در آن مقادیر سلول‌ها معادل ۰ یا ۱ (true, false) بودند. در بسیاری از کاربردها مطلوب است منطق بولی را به درجه‌ای از درستی گسترش دهیم تا بتوانیم مفاهیم و گزاره‌های نادقیق در

واقعی انجام می‌گیرد. در بخش نهایی به‌مرور، جمع‌بندی و ارائه کارهای آتی بالقوه می‌پردازد.

## ۲. مفاهیم نظری تحقیق

### ۱-۲ اتوماتای سلولی

ماشین‌های سلولی مدل‌های محاسباتی‌ای هستند که اولین بار در سال ۱۹۴۰ توسط جان فن نیومن<sup>۱</sup> مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند. هدف اصلی این ماشین‌ها طراحی سیستم‌های خود تکراری<sup>۲</sup> (خود تکرارشونده) بود که از نظر محاسباتی کامل باشند. به دنبال نظرات فن نیومن، اولام<sup>۳</sup> برای ماشین‌های سلولی یک شبکه دوبعدی متناهی متشکل از اجزایی بنام سلول را در نظر گرفت که این سلول‌ها به‌طور محلی با یکدیگر در ارتباط هستند [Schiff, 2005]. ماشین سلولی یک سیستم دینامیکی گسسته در فضا و زمان است که شامل آرایه‌ای از سلول‌های هم‌جوار می‌باشد و هر یک از این سلول‌ها می‌تواند در یکی از حالت‌های محدود تعریف شده باشد. سلول‌های هر ماشین سلولی اغلب در بازه‌های زمانی همگام یا ناهمگام مطابق با مجموعه‌ای از قوانین تغییر حالت می‌دهند. حالت هر سلول در گام زمانی بعدی با استفاده از حالت فعلی سلول و حالت همسایگان آن مشخص می‌شود. آرایه‌های سلولی می‌توانند در ابعاد  $D = \{1, 2, 3, \dots\}$  باشند که در عمل معمولاً  $D = \{1, 2, 3\}$  مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱).

ماشین‌های سلولی تاکنون در کاربردهای مختلف علمی و مهندسی همچون رمزنگاری [S. Nandi et al, 1994]، شبیه‌سازی ترافیک [P. Korčec et al, 2011]، حسگر بی‌سیم [Q. Yu et al, 2013]، شناسایی الگو [Raghavan, 1993] و بسیاری از زمینه‌های دیگر با موفقیت بکار رفته‌اند.

پدیده‌های غیرقطعی را با استفاده از آن مدل کنیم [Hüllermeier, 2015]. به‌عنوان مثال جمله «هوا تقریباً ابری است» به‌طور قطع بیان نمی‌کند که هوا کاملاً ابری است (درست) و یا هوا اصلاً ابری نیست (غلط)، بلکه در آن ابری بودن (درست) و ابری نبودن (غلط) که نقیض یکدیگرند توأمأً بکار رفته‌اند. بدین منظور از منطق فازی بهره می‌گیریم. نظریه فازی در سال ۱۹۶۵ توسط یک دانشمند ایرانی به نام پروفیسور لطفی زاده معرفی گردید [Zadeh, 1965]. امروزه در کاربردهای وسیعی مانند تشخیص دیابت [Lee and Wang, 2011]، برنامه‌ریزی منابع آبی [Opricovic, 2011]، پیش‌بینی سری‌های زمانی [Song et al, 2010]، ناوبری خودکار ربات [Saffiotti, 1997] و ... بکار گرفته شده است.

### ۳. چالش‌های پیرامون ماشین‌های سلولی

ابتدایی‌ترین چالش پیش روی ماشین‌های سلولی همسایگی ثابت و منظم سلول‌هاست. استفاده از اتوماتای سلولی با ساختار منظم در بسیاری از کاربردها مناسب نمی‌باشد. به‌عنوان مثال در شبیه‌سازی محیط‌های شهری، استفاده از اتوماتای سلولی منظم با ساختار توری مستطیلی شکل نواحی هندسی همگنی را ایجاد می‌کند که ممکن است در عمل اشکال متنوعی داشته باشند؛ بنابراین، یک ساختار توری منظم از سلول‌ها نمی‌تواند به‌طور دقیق قطعات مختلف زمین‌های زراعی مانند آنچه در مناطق شهری وجود دارند را مدل‌سازی کند [Besussi et al, 1998]. در مرجع [Saffiotti, 1997] پیشنهاد شده است تا برای غلبه بر این مشکل از یک چارچوب مکانی نامنظم استفاده شود.

دومین چالش پیش روی ماشین‌های سلولی تصمیم‌گیری بر سر حالت بعدی هر سلول با استفاده از توابع انتقال و حالت فعلی خود سلول و همسایگان آن است. در روش‌های سنتی مانند آنچه در ماشین سلولی مقدماتی بیان شده است حالات هر سلول

محدود به ۰ یا ۱ است و قوانین حاکم بر همسایگی و توابع انتقال حاکم بر ماشین سلولی برای تمامی سلول‌ها یکسان است. در بسیاری از کاربردها حالت هر سلول به‌صورت دقیق قابل بازنمایی نیست. علاوه بر این استخراج قوانین دقیق حاکم بر همسایگی‌ها در بسیاری از کاربردها امکان‌پذیر نیست. برای غلبه بر این چالش، اتوماتای سلولی فازی توسط پژوهشگران معرفی شده است. در این مطالعه قصد داریم تا به‌طور هم‌زمان بر هر دو این چالش‌ها غلبه کنیم و مدلی را معرفی نماییم تا مزایای اتوماتای سلولی نامنظم و اتوماتای سلولی فازی را باهم ادغام کند. این ویژگی باعث می‌شود تا استفاده از مدل پیشنهادی در مقایسه با اتوماتای سلولی نامنظم و اتوماتای سلولی فازی در بسیاری از کاربردها مانند رتبه‌بندی ایمنی جاده‌ها مناسب‌تر باشد.

### ۴. مدل پیشنهادی (اتوماتای سلولی فازی

#### نامنظم)

در این مقاله از اتوماتای سلولی فازی نامنظم که پیش‌تر در مرجع [Kashani et al, 2020] توسط نگارندگان مقاله‌ی پیش‌رو معرفی شده است برای رتبه‌بندی ایمنی جاده‌ها استفاده می‌شود. در مدل‌سازی اتوماتای سلولی فضای اطلاعاتی موجود در مطالعه به سلول‌های مختلف تقسیم می‌گردد که به‌صورت منظم و از پیش تعریف شده این سلول‌ها با یکدیگر همسایه می‌باشند. در مورد اتوماتای سلولی نامنظم، کمی این موضوع متفاوت است. این تفاوت می‌تواند ناشی از تعیین ساختار بندی سلول‌ها و یا تعیین همسایه‌ها باشد. در این مطالعه نوع اتوماتای سلولی نامنظم بر اساس تعیین همسایه‌ها می‌باشد به‌نحوی که سلول‌ها به‌صورت دویعدی در نظر گرفته می‌شود و هر مسئله مورد مطالعه بر اساس ماهیت به قطعاتی تقسیم می‌شود. حال بایستی رفتار سلول‌ها را و همچنین تأثیر آن‌ها بر سایر سلول‌ها را مورد ارزیابی قرار دهیم و نهایتاً این سلول‌ها با رفتارشان می‌توانند رفتار سیستم مورد مطالعه را مشخص نمایند؛ بنابراین با توجه خصوصیات

همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود آمار فوتی‌ها و مجروحین تصادفات در مهر و موم‌های اخیر رو به افزایش نهاده است و این موضوع باعث اهمیت همه عوامل مؤثر در تصادف شده است. شاید خیلی از محققان عامل جاده را عامل مهمی در نظر نمی‌گیرند و این خود می‌تواند فاجعه تصادفات را بشدت افزایش دهد و دلیل آن نیز عدم توجه به زمان‌های مؤثر در تصادف می‌باشد. اگر دقت کرده باشید تصادف سه لحظه حیاتی دارد که عبارت‌اند از ۱- قبل از تصادف ۲- حین تصادف ۳- بعد از تصادف؛ با یک بررسی ساده در مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته در این حوزه به این نتیجه می‌رسیم که ۹۰ درصد پژوهش‌ها در حوزه قبل از تصادف انجام می‌شود و توجه خاصی به حوزه حین تصادف و بعد از تصادف نمی‌شود؛ اما اگر دقت کنیم در میابیم که لحظه تصادف مهم‌ترین لحظه برای حفظ جان و کاستن از تلفات جاده‌ای است چون در این لحظه است که جاده‌بخشندگی خود را به نمایش گذاشته و این امکان را به راننده می‌دهد که بتواند از مرگ‌رهایی یابد. افزایش روشنایی در محورها؛ افزایش شانه جاده؛ وجود گارد ریل از عواملی است که می‌تواند ناجی افراد در حین تصادف باشند. با این توضیحات درمی‌یابیم که تحقیق روی عامل جاده نه تنها کم‌اهمیت نیست بلکه می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد.

در این تحقیق ما از مدل اتوماتای سلولی نامنظم فازی [Kashani et al, 2020] برای مطالعه در خصوص ایمنی جاده استفاده نموده‌ایم. این مدل با در نظر گرفتن تأثیر عوامل مختلف بر ایمنی یک قطعه از جاده و تأثیر ایمنی هر قطعه بر قطعه دیگر، ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی و مطالعه بر روی جاده‌ها می‌باشد.

#### ۵-۱ تاریخچه مطالعه

مطالعات زیادی در حوزه رتبه‌بندی امنیت جاده‌ها با استفاده از مشخصات جاده‌ای انجام پذیرفته است. در سال ۲۰۰۵ مطالعه‌ای با ارائه مدل جدیدی از اتوماتای سلولی بجهت شبیه‌سازی

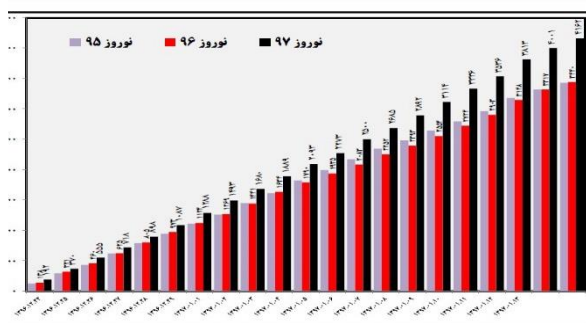
همسایه‌های هر سلول می‌توان خصوصیات آن سلول را محاسبه نمود؛ بنابراین برای هر سلول خصوصیات و مشخصات ورودی سیستم تصمیم‌گیر و خصوصیات خروجی تعیین می‌گردد و بر اساس خصوصیات همسایه‌های هر سلول که در سیستم اتوماتای سلولی تعریف می‌گردد، خصوصیات خروجی آن نیز تعیین می‌گردد.

با توصیفات فوق می‌توان مزایای استفاده از اتوماتای سلولی نامنظم فازی را به‌صورت زیر نوشت [Kashani et al, 2020]:

- استفاده از فضای دو یا چندبعدی برای مدل‌سازی و کلاس‌بندی ساختارهای پیچیده.
- استفاده از همسایگی‌های متفاوت و سلول‌ها با مختصات مختلف.
- یادگیری ساختارهای مختلف برای حالت‌های متفاوت و پیچیده.
- غلبه بر عدم قطعیت موجود در داده‌های ساختارهای پیچیده.

#### ۵. ایمنی جاده

در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی جهت بهبود ایمنی حمل‌ونقل ایجاد شده است و این تلاش‌ها به‌صورت سازمان‌یافته شکل گرفته است که توانسته تأثیرات شگرفی در ایمنی حمل‌ونقل ایجاد نماید.



شکل ۳. نمودار ستونی آمار تصادفات بین سالهای ۹۵ تا ۹۷ در ایران

## ۲-۵ مزایای رویکرد پیشنهادی (مسئله‌ی رتبه‌بندی

### ایمنی جاده‌ها)

تاکنون از رویکردهای متفاوتی همچون شبکه‌های عصبی [Shen et al, 2010]، تحلیل پوششی داده‌ها [Egilmez and McAvoy, 2013] TPB<sup>7</sup> [Brijs et al, 2014] برای رتبه‌بندی ایمنی جاده‌ها استفاده شده است. روش پیشنهادی در این مقاله مزایای متعددی نسبت به دیگر روش‌ها دارد. برخی از این مزایای رویکرد پیشنهادی عبارت‌اند از:

(۱) در دنیای واقعی ایمنی هر بخش از جاده وابسته به بخش‌های مجاور آن خواهد بود روش ارائه شده در این مقاله به دلیل افراز جاده به سلول‌های مختلف و تعریف همسایگی می‌تواند ایمنی هر کیلومتر از جاده را بر اساس شاخص‌های همسایگانش تعیین کند.

(۲) امکان بررسی محلی وضعیت جاده و شناسایی کیلومترهایی از جاده که از لحاظ ایمنی وضعیت مطلوبی ندارند (در آینده به وضعیت نامطلوبی دچار خواهند شد).

(۳) با تعریف مناسب تابع انتقال می‌توان مسئله را به صورت توزیع شده حل نمود، در حالتی که شبکه‌ی جاده‌ای گسترده و بزرگ باشد این رویکرد بسیار کارآمدتر از رویکردهای متمرکز رایج است.

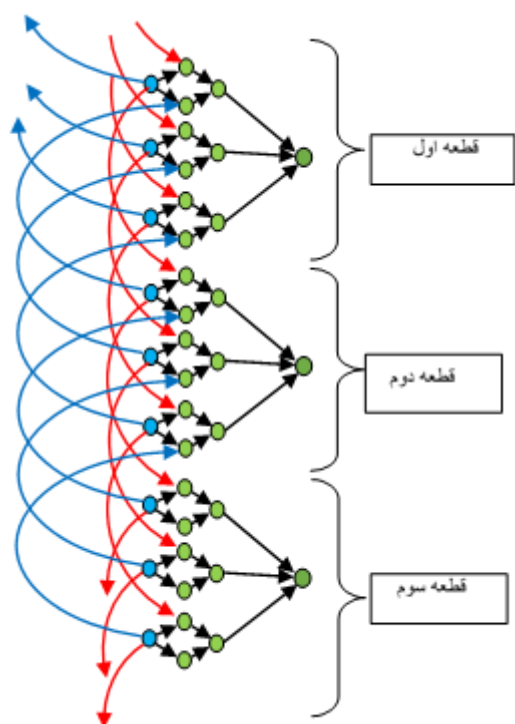
(۴) در مطالعات گذشته [Egilmez and McAvoy, 2010; Shen et al, 2013] تأثیر عوامل (ایمنی جاده) بر یکدیگر مورد ارزیابی قرار نگرفته است. در این مطالعه تأثیرات این عوامل نیز محاسبه می‌شود.

(۵) در مطالعات گذشته فاکتورهای مورد بررسی به صورت آمیخته (جاده، انسان، خودرو) مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مطالعه تأثیر عامل جاده را مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

## ۳-۵ روش تحقیق

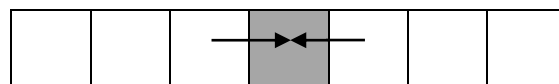
ترافیک جاده‌های شهری صورت گرفت و در این مطالعه با استفاده از این مدل حرکات غیرمعقول خودروها که خارج از عرف رانندگی می‌باشد شناسایی و به‌عنوان حرکات خطرناک در نظر گرفته شد؛ و مناطقی که بیشترین تخلفات را داشتند به‌عنوان مناطق خطرناک تلقی شد [Sven Maerivoet, 2005]. در سال ۲۰۱۶ در مطالعه‌ای با استفاده از مدل اتوماتای سلولی عبور عابران پیاده از محورهای حمل‌ونقل شبیه‌سازی شد و نشان داده شد که در محورهایی با ترافیک پایین (کمتر از ۲۵ خودرو در ساعت) عبور عابر پیاده از نقاط مختلف محور تأثیری در تصادفات ندارد ولی در محورهایی با ترافیک بالای ۶۰ خودرو در ساعت عبور عابر از محل تعیین شده نقش اساسی در کاهش تلفات جاده‌ای دارد. [Han-TaoZhao, 2016] در سال ۲۰۱۸ در مطالعه‌ای با استفاده از اتوماتای سلولی محورهای پرتراфик شبیه‌سازی شد و تقاطع‌های خطرناک با استفاده از دوربرگردان جایگزین شد. نتیجه این تحقیق کاهش تصادفات و کم شدن مناطق پرخطر در محورها بود. [Younes Rezagui, 2018] در سال ۲۰۱۹ در مطالعه‌ای منابع داده‌ای مناسب برای برنامه‌های کاربردی ایمنی جاده‌ها بررسی شده است. مباحث مربوط به فضا و مکان که در عدم قطعیت داده‌ها تأثیر دارد نیز مورد بحث قرار گرفته است. علاوه بر این، روش‌هایی برای بهتر شدن آنالیز داده‌های ایمنی جاده تشریح شده است [Schlögl and Stütz, 2019]. در سال ۲۰۱۹ در مطالعه‌ای نشان داده شد که مهندسان عمران وظایف ویژه‌ای در طراحی و نگهداری از جاده‌های ایمن و سرویس‌دهی مطلوب آن‌ها دارند. در این مطالعه برخی از چالش‌های طراحان و تأثیر تصمیمات آن‌ها بر روی افراد استفاده‌کننده از جاده بررسی شده است. و نتیجه‌گیری شده است که یک متخصص سازنده جاده باید در انجام کارهایش با متخصصان دیگر حوضه‌ها نیز مشورت و تعامل داشته باشد تا نتایج مطلوبی کسب کند [Pritchard, 2019].

ورودی مدنظر ما ۳ عدد شامل: وضعیت روشنایی، وضعیت رویه و علائم راهنمایی نصب‌شده در جاده بوده است. واضح است که این پارامترها می‌تواند به پارامترهای دیگری تغییر نماید. لازم به ذکر است که این اعداد حاصل امتیاز پارامتر مربوطه و همچنین وزن این پارامتر در ایمنی جاده بوده است که بر اساس مصاحبه با کارشناسان اداره کل راه و شهرسازی استان کرمان به دست آمده است در این مدل جاده مفروض را که قصد محاسبه میزان ایمنی آن را داریم به قطعات برابر تقسیم نموده و اطلاعات پارامترهای سه‌گانه فوق از هر قطعه را به‌عنوان مقادیر ورودی مدل استفاده می‌کنیم. سپس برای محاسبه میزان ایمنی جاده میزان ایمنی هر قطعه را مشخص و نهایتاً میزان متوسط ایمنی از روی ایمنی قطعات محاسبه می‌نماییم. به این منظور از دو موتور استنتاج فازی استفاده شده است که اولی برای محاسبه تأثیر پارامترهای مشابه در قطعات متوالی جاده بر روی هم و دومی برای محاسبه میزان ایمنی جاده از روی پارامترهای هر قطعه می‌باشد.

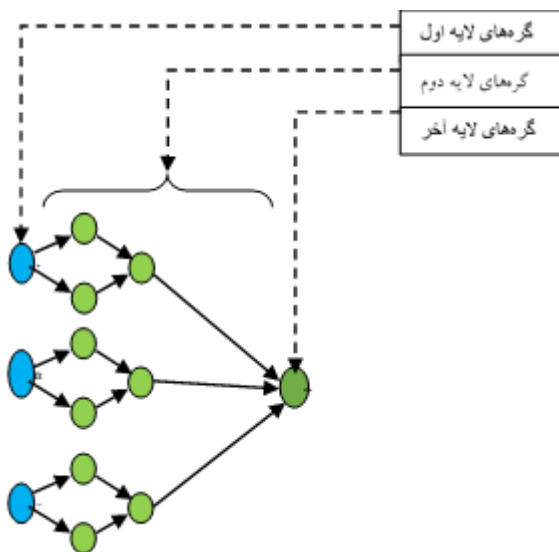


شکل ۶. نحوه ارتباط اجزای آتاماتاهای قطعات متوالی یک جاده

در این مدل برای پیش‌بینی وضعیت ایمنی جاده از ساختار اتوماتای سلولی نامنظم فازی استفاده شده است. ساختار این اتوماتا بر مبنای گراف جهت‌دار بوده و از ۴ لایه تشکیل شده است که گره‌های لایه اول برای ورود مقادیر پارامترهای جاده‌ای بوده و گره‌های لایه آخر نشان‌دهنده وضعیت ایمنی جاده می‌باشد. گره‌های دولایه میانی مربوط به محاسبات فازی بوده و مدل را قادر می‌سازد تا از روی مقادیر ورودی مقادیر نهایی را به دست آورد. از پارامترهای جاده‌ای به اقلامی مانند وضعیت رویه جاده، نصب تابلوها و علائم هشداردهنده، روشنایی و... می‌توان اشاره نمود.

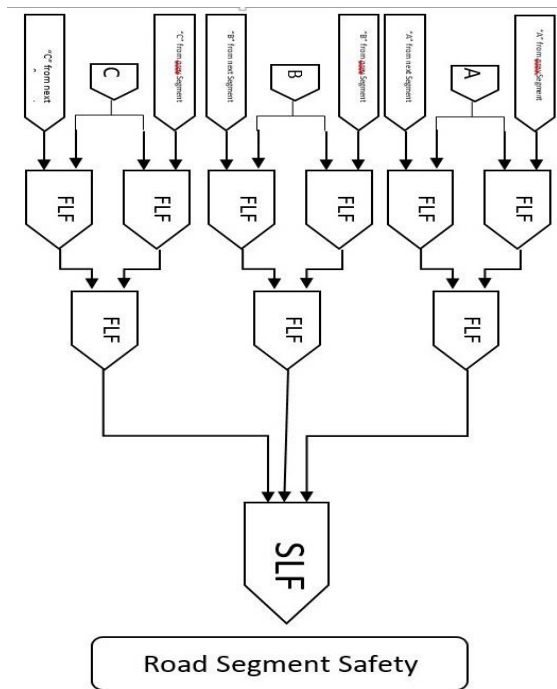


شکل ۴. نحوه تقسیم‌بندی محور مو اصلانی



شکل ۵. آتاماتای طراحی شده برای محاسبه میزان ایمنی یک قطعه از جاده

همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌کنید اطلاعات میدانی احصاء شده از هر قطعه جاده به‌صورت اعداد خام در گره‌های A, B, C وارد مدل شده و بعد از اعمال قوانین فازی نتیجه از گره D به دست می‌آید. تعداد گره‌های ورودی بستگی به تعداد پارامترهای اخذشده از جاده دارد. در این مدل تعداد پارامترهای



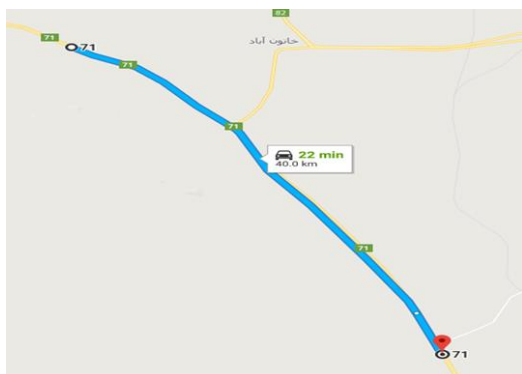
شکل ۷. نحوه ترکیب دو موتور استنتاج فازی برای به دست

آوردن ایمنی یک قطعه از جاده

همان‌طور که در شکل ۷ ملاحظه می‌کنید در این مدل از دو موتور استنتاج فازی<sup>۸</sup> FLF و<sup>۹</sup> SLF استفاده شده است. موتور FLF برای محاسبه میزان تأثیر پارامترهای مشابه در قطعات متوالی بر روی یکدیگر بوده و دارای مقادیر ورودی از ۱ تا ۵ که ۱ نماینده وضعیت نامطلوب و ۵ نماینده وضعیت خیلی خوب بوده و مقادیر مابین طیفی از حالات نامطلوب تا مطلوب می‌باشد و مقدار خروجی نیز مقادیر ۱ تا ۵ بوده و همان حالات قبلی را نشان می‌دهد. این موتور دارای ۲۵ قانون استنتاج می‌باشد. موتور SLF برای محاسبه میزان ایمنی جاده از روی پارامترهای هر قطعه می‌باشد. این موتور دارای سه ورودی با مقادیر از ۱ الی ۵ و یک خروجی با مقادیر ۱ الی ۳ که نشان‌دهنده وضعیت ایمنی جاده به ترتیب بد، متوسط و خوب می‌باشد. مقادیر ورودی مدل پنج وضعیتی بوده و مقادیر گسسته از ۱ الی ۵ می‌باشد که به ترتیب زیر نشان‌دهنده وضعیت "نامطلوب" تا "مطلوب" است. مقدار خروجی مدل سه وضعیتی بوده و مقادیر گسسته از ۱ الی

در این مدل تأثیر قطعات متوالی را بر روی هم مدنظر قرار دادیم. به‌طور مثال: وضعیت رویه جاده در دو قطعه متوالی چه تأثیر بر ایمنی جاده خواهد داشت. شاید این سؤال مطرح گردد که چرا از پارامترهای مؤثر هر قطعه برای محاسبه ایمنی همان قطعه استفاده نشود چه دلیلی دارد که تأثیر پارامترهای مشابه در قطعات جانبی محاسبه شود. پاسخ این سؤالات بدین شرح می‌باشد: فرض کنید خودرویی برحسب وضعیت روسازی جاده که شرایط خوبی دارد با سرعت بالایی وارد قطعه‌ای از جاده می‌شود که وضعیت روسازی آن خوب نیست اگر بفرض خودرو همان سرعت قبلی خود را حفظ کند مسلماً میزان خطر تصادف افزایش پیدا می‌کند. این بدان معناست که میزان مرغوبیت روسازی جاده در قطعه دوم ممکن است متوسط باشد و ایمنی متوسط را القا کند ولی به دلیل وضعیت خوب قطعه قبلی میزان خطر افزایش‌یافته و سطح پایین‌تری از ایمنی برای قطعه موردنظر محاسبه می‌گردد [Obregón-Biosca et al, 2018]. در شکل ۷ ساختار مدل اتوماتای سلولی نامنظم فازی برای سه قطعه متوالی که نماینده‌ای از کل جاده می‌باشد مشاهده می‌گردد. در این شکل ارتباط پارامترهای مشابه در قطعه میانی با قطعات قبل و بعد نشان داده شده است.





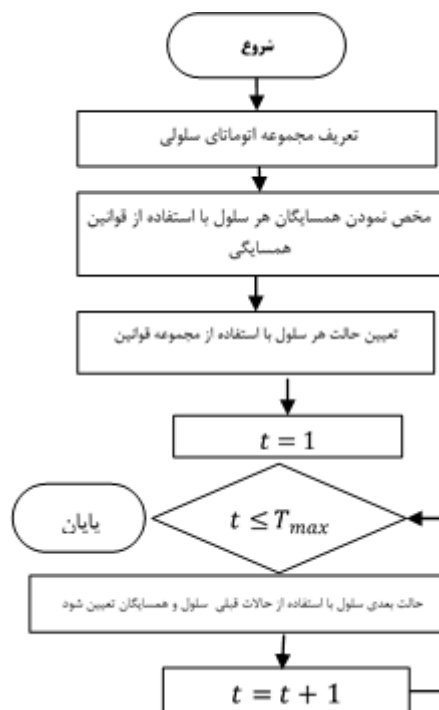
شکل ۹. قطعه جاده مورد بررسی به طول ۴۰ کیلومتر

قطعه مورد ارزیابی به لحاظ پهنه‌بندی ترافیک و شرایط کلی برداشت همگن می‌باشد. برای بررسی جاده و تعیین سطح امنیت جاده، این محور را با توجه به استاندارد AASHTO-37 به بخش‌های ۱۰۰۰ متری قطعه‌بندی نمودیم و هرکدام از این قطعه‌ها را به‌صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار دادیم. برای هر قطعه سه مشخصه در نظر گرفته شد که شامل شاخص ناهمواری، پروفیل طولی و روشنایی و تابلوهایی راهنمایی بوده است. لازم به ذکر است مدل ارائه‌شده در این مقاله قابلیت پذیرش آیت‌های تأثیرگذار بیشتر را نیز دارد که به دلیل هزینه و زمان‌بر بودن جمع‌آوری اطلاعات آیت‌های مختلف ما در این مقاله به این سه آیت بسنده کردیم. برای تعیین شاخص ناهمواری، این محور با طول ۴۰ کیلومتر با دستگاه  $RSP^{10}$  مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص  $IRI^{11}$  برای تعیین ناهمواری جاده و ارتباط آن با راحتی راننده بسیار حائز اهمیت می‌باشد. نیمرخ‌های طولی که توسط دستگاه  $RSP$  در امتداد محور راه اندازه‌گیری شد، حاوی اطلاعاتی نظیر شیب طراحی، ناهمواری و بافت راه می‌باشد. نیمرخ راه، روسازی یا زمین را می‌توان در طول هر خط فرضی ممتد، واقع بر روی همان سطح، اندازه‌گیری نمود. شاخص  $IRI$  از پروفیل‌های طولی اندازه‌گیری شده در مسیر چرخ چپ و راست وسیله نقلیه با استفاده از شبیه‌سازی روش یک‌چهارم ماشین در سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت به دست می‌آید.

## ۶. بحث

۳ می‌باشد که به ترتیب زیر نشان‌دهنده وضعیت "پائین" تا "بالا" است.

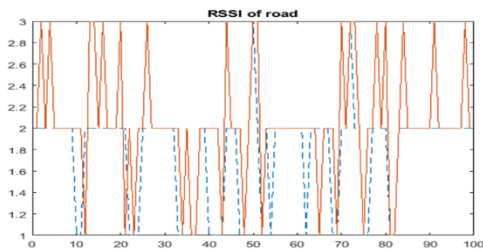
با توجه به مطالب فوق‌الذکر یک فلوچارت برای گام به گام تحقیق به‌صورت زیر ارائه می‌گردد.



شکل ۸. فلوچارت گام به گام مراحل اجرای مدل پیشنهادی

## ۵-۴ جاده مورد مطالعه

قطعه مورد بررسی در این مطالعه به طول ۴۰ کیلومتر بوده و از کیلومتر ۸۰ تا ۴۰ باند برگشت محور سیرجان-شهر بابک واقع در استان کرمان می‌باشد. دلیل انتخاب این محور ترافیک بالا و در دسترس بودن محور برای جمع‌آوری اطلاعات بوده است. در شکل ۹ نقطه شروع و پایان این بخش از جاده نمایش داده شده است.



شکل ۱۱. نمودار ایمنی قطعات جاده در این شبیه‌سازی

نمونه داده‌های ورودی و محاسبات انجام‌شده و درجه ایمنی جاده برای قطعات ۳۳ الی ۴۳ جاده فوق‌الذکر در جدول ۱ نمایش داده‌شده است. در این جدول مقادیر ستون Mid Level با اعمال مقادیر ستون First Level در موتور فازی FLF به دست می‌آید. به‌طور مثال مقدار sign برای قطعه ۳۳ در ستون Mid. با اعمال مقادیر sign قطعات ۲۳، ۳۲ و ۳۴ در موتور FLF به‌دست‌آمده است.

مقدار درجه ایمنی (RSSI) برای قطعه ۳۳ نیز با اعمال مقادیر sign، light و surface ستون Mid به موتور SLF به‌دست‌آمده است. همان‌طور که در ستون RSSI<sup>12</sup> مشاهده می‌کنید مقادیر این ستون ۱ الی ۳ می‌باشد. که نشان‌دهنده وضعیت ایمنی جاده به ترتیب "پائین"، "متوسط" و "بالا" می‌باشد.

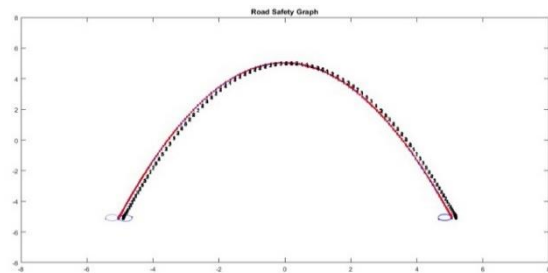
جدول ۱. مقادیر قطعات جاده ۳۳ الی ۴۳ و درجه ایمنی محاسبه‌شده بر اساس محاسبه مدل پیشنهادی

ایمنی	خروجی مدل			ورودی مدل			کیلومتر
	روسازی	روشنایی	علائم	روسازی	روشنایی	علائم	
۳	۳	۴	۴	۵	۴	۱	۳۳
۲	۱	۴	۴	۳	۵	۵	۳۴
۲	۱	۲	۴	۱	۵	۵	۳۵
۲	۲	۱	۴	۲	۱	۴	۳۶
۲	۲	۲	۳	۳	۲	۴	۳۷
۲	۲	۳	۳	۳	۲	۴	۳۸
۲	۳	۴	۲	۲	۵	۲	۳۹
۲	۳	۳	۲	۴	۳	۴	۴۰
۲	۲	۲	۲	۴	۵	۱	۴۱

برای آزمایش مدل از مقادیر زیر استفاده شده است:

- جاده شهر بابک - سیرجان به طول ۴۰ کیلومتر که به قطعات ۱ کیلومتری قطعه‌بندی شده است.
- اطلاعات ثبت‌شده از هر قطعه شامل ۳ پارامتر روشنایی، تابلو نصب‌شده و کیفیت سطح جاده می‌باشد.
- برای تمام قطعات مقادیر پارامترهای نرمال‌سازی شده و مقداری بین ۱ الی ۵ دارد.

نتیجه شبیه‌سازی در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ قابل مشاهده می‌باشد. شکل ۱۰ ساختار اتوماتای سلولی نامنظم فازی را برای کل جاده نشان می‌دهد. شکل ۱۱ نیز میزان ایمنی هر قطعه را در نموداری مستقل نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. گراف کامل اتوماتای سلولی نامنظم فازی در شبیه‌سازی

کیلومتر	ورودی مدل			خروجی مدل			ایمنی
	علائم	روشنایی	روسازی	علائم	روشنایی	روسازی	
۴۲	۴	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۴۳	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱

#### ۷. ایده ستاره‌دار نمودن جاده‌ها

با توجه به انجام آزمایش‌های صورت گرفته بر روی محور مورد مطالعه و همچنین بررسی داده‌های سایر محورها به این نتیجه می‌رسیم که خروجی حاصل از این مدل را که عددی بین ۰ تا ۵ می‌باشد را به صورت ستاره نمایش دهیم تا عملاً با استفاده از این کار استاندارد را در این عرصه ارائه کرده باشیم.

\* وضعیت کیفیت جاده خیلی ضعیف

\*\* وضعیت کیفیت جاده ضعیف

\*\*\* وضعیت کیفیت جاده در حد احتیاط

\*\*\*\* وضعیت کیفیت جاده در حد نرمال

\*\*\*\*\* وضعیت کیفیت جاده در حد عالی

با اسکن کل جاده با استفاده از آیت‌های ذکر شده می‌توان وضعیت کیلومتر به کیلومتر جاده را مشخص نمود [Al-Nuaimi, 2019] و در انتهای این عملیات با گرفتن میانگین از همه کیلومترهای جاده می‌توان به جاده نمره موردنظر را داد که اگر این نمره را در ابتدای ورودی هر جاده نصب نماییم می‌توان به راننده پیام روشنی اعلام نمود و راننده در طول مسیر از آگاهی بهتر و بیشتری نسبت به جاده برخوردار است و این موضوع می‌تواند در کاهش تلفات جاده‌ای نقش ایفا نماید [Mikšová et al, 2018]. پیش‌بینی می‌شود با ارتقاء کیفیت جاده و افزایش بخشندگی آن تعداد تصادفات جاده‌ای کاهش یابد و این مسئله باعث می‌گردد مسئولین محلی و کشوری نیز برای ارتقاء و افزایش تعداد ستاره‌ها در جاده‌ها تلاش نمایند و فقط به فکر ساخت جاده حتی به قیمت کاهش کیفیت جاده نباشند. این پیشنهاد پیام روشنی به متصدیان امر ساخت جاده می‌دهد که

حال مقادیر واقعی قطعات ۳۳ الی ۴۳ جاده فوق‌الذکر شامل تعداد حوادث رانندگی، تعداد فوتی‌های این حوادث، بدین شرح می‌باشد:

جدول ۲. نمونه مقادیر واقعی جمع‌آوری شده از قطعات جاده مورد مطالعه و درجه ایمنی محاسبه شده

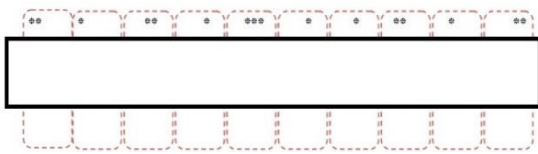
شماره کیلومتر	تعداد تصادفات	تعداد فوتی	تعداد ایمنی	رنگ تخصیصی
۳۳	۰	۰	۲	سبز
۳۴	۰	۰	۳	سبز
۳۵	۴	۱	۲	زرد
۳۶	۴	۰	۲	زرد
۳۷	۴	۱	۲	زرد
۳۸	۲	۰	۲	زرد
۳۹	۲	۰	۲	زرد
۴۰	۰	۰	۳	سبز
۴۱	۵	۲	۱	قرمز
۴۲	۸	۴	۰	قرمز
۴۳	۶	۳	۱	قرمز

داده‌های جمع‌آوری شده در جدول (۲) از طریق اداره کل راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای استان کرمان دریافت شده است. این داده‌ها در بازه زمانی دوساله بین سال ۱۳۹۷ تا انتهای سال ۱۳۹۸ می‌باشند. در این جدول آیت  $N. accidents$  نشان‌دهنده تعداد حوادث ترافیکی در کیلومتر موردنظر و  $N. deaths$  نشان‌دهنده تعداد فوتی‌های این حوادث می‌باشد. با توجه به مقایسه جدول (۱) و جدول (۲) درمی‌یابیم که روش پیشنهادی در این مقاله حدوداً ۷۵ درصد دقت داشته و این میزان می‌تواند برای چنین مسئله مهم و حیاتی بسیار حائز اهمیت باشد.

برای انجام این کار از یکسری پرسشنامه (۲۵ نفر کارشناس خبره) استفاده شده است تا بتوانیم اهمیت هرکدام از آیتم‌های هفتگانه را ارزش‌دهی نماییم. ارزش کل آیتم‌ها ۱۰۰ می‌باشد که به نسبت به هرکدام از آیتم‌ها تقسیم شده است [Hughes et al, 2019]

جدول ۳. عوامل مؤثر در عامل جاده

نام آیتم مؤثر در عامل جاده	امتیاز از ۱۰۰
ترافیک	۱۰
زیرسازی	۲۵
روسازی	۱۰
طراحی جاده	۳۵
علائم	۱۰
نور و روشنایی جاده	۱۰
نگهداری	۱۰



شکل ۱۲. نحوه ستاره‌دار نمودن جاده به صورت کیلومتری

برخی از محورها از تعداد تصادفات بالاتری برخوردار هستند که با دقت در عوامل تصادفات (نیروی انسانی، ماشینی، جاده) به این نتیجه می‌رسیم که عامل جاده می‌تواند تأثیر زیادی بر دو عامل دیگر (انسان و خودرو) داشته باشد لذا بهبود این عامل می‌تواند باعث کمک به دو عامل دیگر در لحظه تصادف نماید و بخشندگی عامل جاده را افزایش دهد. امید است متصدیان این حوزه با تلاش و کوشش بیشتر به سمت بهبود روزافزون این عامل مهم پیش روند.

## ۸. دلایل استفاده از مدل پیشنهادی برای

### موضوع ایمنی جاده

عملکرد آن‌ها می‌تواند تأثیر مستقیم بر اقتصاد و سلامت جامعه داشته باشد. [Weekley et al, 2016]. برای محاسبه هرکدام از آیتم‌های عامل جاده داده‌های مربوطه از نهادهای مختلفی مانند آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک و سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای و هواشناسی جمع‌آوری گردیده است.

### ۱-۷ نحوه محاسبه نمره یا کیفیت یک محور

بعد از محاسبه کیفیت هر کیلومتر یا هر قطعه از جاده حال زمان امتیازدهی به کل محور فرامی‌رسد در این مطالعه با استفاده از میانگین کل قطعات نمره محور لحاظ می‌شود که پیشنهاد می‌شود از این نمره به صورت یک تابلو یا نماد در ابتدای محور استفاده شود تا رانندگان اطلاع یابند که در چه نوع محوری در حال رانندگی هستند.

$$QR=Q1+Q2+Q3+Q4 \quad (1)$$

$$QR=WQ1+WQ2+WQ3+WQ4 \quad (2)$$

با توجه به فرمول (۲) و بجهت وزن دهی آیتم‌ها برای یافتن اهمیت هرکدام از آیتم‌های موردبررسی در مقاله می‌بایست از طریق نظر کارشناسان خبره (وزارت راه و شهرسازی) این مهم انجام پذیرد. این کارشناسان در چند مجموعه شامل اداره کل آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان کرمان، اداره ایمنی راه، حوزه مهندسی و ساخت اداره کل راه و شهرسازی استان کرمان و اداره کل پایانه و حمل‌ونقل جاده‌ای استان کرمان مشغول بکار هستند. به این منظور از روش دلفی استفاده شد. روش دلفی فرآیندی است که برای جمع‌آوری نظرات از متخصصان و ایجاد اجماع میان قضاوت‌های آن‌ها به کار می‌رود. این فرآیند با استفاده از مجموعه‌ای از روش‌ها برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها در ترکیب با بازخورد نتایج به متخصصان صورت می‌پذیرد. استفاده از روش دلفی به عنوان روش تحقیق زمانی مناسب است که دانش یکپارچه‌ای درباره یک موضوع یا مسئله‌ای وجود نداشته باشد. این روش به‌ویژه زمانی که هدف، بهبود درک ما از مشکلات، فرصت‌ها، راه‌حل‌ها و ایجاد پیش‌بینی‌هاست، مناسب می‌باشد لذا

کند. این ویژگی باعث می‌شود تا استفاده از مدل پیشنهادی در مقایسه با اتوماتای سلولی نامنظم و اتوماتای سلولی فازی در رتبه‌بندی ایمنی جاده‌ها مناسب‌تر باشد.

## ۹. نتیجه‌گیری

در این مقاله ابتدا دو چالش عمده برای مدل اتوماتای سلولی پایه تشریح و با استفاده از مدل پیشنهادی بر هردوی این چالش‌ها غلبه نموده و مدلی معرفی شده است که مزایای اتوماتای سلولی نامنظم و اتوماتای سلولی فازی باهم ترکیب شده است. مزیت روش پیشنهادی آن است که به‌طور هم‌زمان هر دو چالش مطرح‌شده در بخش‌های قبل را برطرف کرده است. این ویژگی باعث می‌شود تا استفاده از مدل پیشنهادی در مقایسه با اتوماتای سلولی نامنظم و اتوماتای سلولی فازی در رتبه‌بندی ایمنی جاده‌ها، مناسب‌تر باشد.

همچنین در این مطالعه با استفاده از مدل پیشنهادی امکان رتبه‌بندی ایمنی هر قطعه به‌صورت مجزا و همچنین کل محور مهیا شده است؛ و می‌تواند کمک مؤثری در تصمیم‌گیری مدیران حوزه ساخت و نگهداری جاده باشد. با در نظر گرفتن برخی محاسبات که نتیجه خروجی مدل پیشنهادی می‌باشد این امکان فراهم می‌شود که با ارتقاء رتبه جاده از تلفات جاده‌ای کاسته شود. با احتساب هزینه ساخت هر کیلومتر از جاده به مبلغ ۱۵۰ میلیون تومان؛ می‌توان نتیجه گرفت که جاده‌های کشور ما اکثراً دو یا سه ستاره می‌باشند؛ که این خود عامل اصلی تلفات در این جاده‌ها می‌باشد. در صورتی‌که به فکر اصلاح جاده‌های کشور باشیم می‌بایست حداقل جاده‌ها از استاندارد سه ستاره به بالا برخوردار باشند. در چنین شرایطی می‌توانیم شاهد کاهش چشمگیر آمار تصادفات و همچنین جلوگیری از لطمات جانی؛ اقتصادی؛ به جامعه باشیم.

• ابتدایی‌ترین چالش پیش روی ماشین‌های سلولی همسایگی ثابت و منظم سلول‌هاست. استفاده از اتوماتای سلولی با ساختار منظم در بسیاری از کاربردها مناسب نمی‌باشند. نمونه بارز این موضوع در جاده‌ها مشهود است که محورهای جاده هیچ‌گاه به‌صورت منظم نبوده و این موضوع باعث می‌شود که نتوان از اتوماتای سلولی ساده استفاده نمود و ممکن است در عمل اشکال متنوعی داشته باشند؛ بنابراین، یک ساختار توری منظم از سلول‌ها نمی‌تواند به‌طور دقیق قطعات مختلف جاده را مدل‌سازی کند [Besussi et al, 1998]. هرچه تفکیک‌پذیری قطعات این مدل افزایش یابد این مدل‌سازی نامناسب‌تر خواهد شد. به‌عنوان مثال جاده‌های کوهستانی با پیچ‌وخم‌های متعدد همه دارای اندازه‌ها و اشکال نامنظم هستند. اگر از یک شبکه منظم از سلول‌ها برای تعمیم دهی این جاده‌ها استفاده شود، اغلب موجب از دست رفتن یا تغییر شکل اطلاعات بر اساس مرزبندی و همپوشانی این مناطق می‌شود. دو تصویر از یک منطقه یکسان با اندکی انحراف منجر به بازنمایی‌های مختلف می‌شود [Saffiotti, 1997]. لذا برای غلبه بر این مشکل باید از یک چارچوب مکانی نامنظم استفاده شود.

• دومین چالش پیش روی ما در حوزه اعلام کیفیت جاده بود که در حالت ساده تنها می‌توان از گزینه باکیفیت و بی‌کیفیت استفاده نمود که استفاده از این نوع تقسیم‌بندی حالت دقیق هر سلول را بازنمایی نمی‌کرد. علاوه بر این استخراج قوانین دقیق حاکم بر همسایگی‌ها در بسیاری از کاربردها امکان‌پذیر نبود. اتوماتای سلولی فازی برای غلبه بر این چالش معرفی شد.

ما در این مطالعه بر هردوی این چالش‌ها غلبه نموده و مدلی را معرفی کردیم که مزایای اتوماتای سلولی نامنظم و اتوماتای سلولی فازی را باهم ترکیب کرد. مزیت روش پیشنهادی آن است که قادر است به‌طور هم‌زمان بر هر دو چالش مطرح‌شده غلبه

ضرر سالانه که به اقتصاد و خانواده‌ها وارد می‌شود جلوگیری می‌شود.

در پایان امید است مدل ارائه‌شده در این مقاله بتواند کمک هرچند کوچک در بهبود زیرساخت‌های جاده‌ای نماید تا بلکه شاهد کاهش تلفات جاده‌ای و همچنین کاهش اثرات منفی این معضل بر جامعه بشری باشیم.

### ۹-۱ کارهای آتی

محورهای پژوهشی مختلفی را می‌توان به‌عنوان کارهای آتی دنبال کرد. نخست، موضوعی که می‌تواند به‌عنوان محور پژوهش‌های آتی مطرح شود، مطالعه‌ی تأثیر قواعد فازی بر کارایی مدل پیشنهادی است. دومین موضوعی که می‌تواند جالب باشد ارائه‌ی مدل اتوماتای سلولی فازی نامنظم مبتنی بر فازی نوع دوم (Type II) و کاربرد آن برای مسائل ترافیکی است.

### ۱۰. پی‌نوشت‌ها

1. John Von Neumann
2. Self-replication
3. Ulam
4. Irregular Cellular Automata
5. Voronoi Polygons
6. Delaunay Triangulation
7. Theory of Planned Behavior
8. First Level Fuzzification
9. Second Level Fuzzification
10. Road Surface Profiler
11. International Roughness Index
12. Road Safety Status Indicator

### ۱۱. منابع

- Al-Nuaimi, A. N. (2019) "An application of data mining techniques to determine the effectiveness of multiple road safety countermeasures", [Doctoral dissertatio]. University of Birmingham.

### جدول ۴. مشخصات محورها از نظر کیفی

نام محور	تعداد ستاره	هزینه ساخت برای هر کیلومتر
کرمان - رفسنجان	***	۲۵۰ میلیارد ریال
سیرجان - شهربابک	**	۱۸۰ میلیارد ریال
کرمان - بافت	*	۱۰۰ میلیارد ریال

هزینه‌ای که با فوت هر فرد در جاده‌های کشور به‌صورت ریالی به اقتصاد کشور وارد می‌شود عبارت است از:

### جدول ۵. هزینه تحمیل هر فرد فوتی در تصادف

دیه	۲۷۰۰ میلیون ریال
حداقل مستمری	۱۵۰۰۰۰۰۰ ریال
میانگین سن تصادف	۲۵ سال
امید به زندگی در ایران	۷۰ سال
مانده سال از زمان تصادف	۴۵ سال
هزینه کل بدون در نظر گرفتن مسائل اجتماعی	۱۰۸۰۰۰۰۰۰۰ ریال

### جدول ۶. هزینه هر فرد فوتی بر اساس نوع جاده

هزینه کل	تعداد فوتی	تعداد تصادف	کیفیت جاده
۲۷۰۰۰۰۰۰۰۰*	۲۵	۲۰۰	*
۵۴۰۰۰۰۰۰۰*	۵	۴۰	**

### جدول ۷. نسبت هزینه بر اساس نوع جاده

نسبت تصادفات	کیفیت
۵=۴۰/۲۰۰	* به **

همان‌گونه که در جدول ۷ مشاهده می‌کنید نسبت تعداد تصادفات در جاده‌هایی باکیفیت یک ستاره پنج برابر بیشتر از جاده‌هایی باکیفیت دو ستاره می‌باشد حال اگر با انجام محاسبات ساده به این موضوع نگاهی بیندازیم به این نتیجه می‌رسیم که اگر با هزینه حداقلی جاده یک ستاره تبدیل به جاده‌ای با دو ستاره شود اولاً پنج برابر تعداد تصادفات کاهش می‌یابد و ثانیاً مبلغ هنگفتی از

- Han-TaoZhao, ShuoYang, Xiao-XuChen. (2016), "Cellular automata model for urban road traffic flow considering pedestrian crossing street", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* Volume 462, 15 November 2016, Pages 1301-1313  
<https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.06.146>
- Hughes, B., Anund, A., and Falkmer, T. (2019), "The relevance of Australasian road safety strategies in a future context", *Journal of the Australasian College of Road Safety*, Vol.30, No.1, pp.34-45.
- Hüllermeier, E. (2015), "Does machine learning need fuzzy logic?" *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.281, pp.292-299.
- Kashani, M., Gorgin, S., and Shojaedini, S. V. (2020), "A fuzzy irregular cellular automata-based method for the vertex colouring problem", *Connection Science*, Vol.32, No.1, pp.37-52.  
<https://doi.org/10.1080/09540091.2019.1650329>
- Lee, C.-S., and Wang, M.-H. (2011), "A fuzzy expert system for diabetes decision support application", *IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, Vol.41, No.1, pp.139-153.
- Mikšová, D., Elgner, J., Valach, O., and Ambros, J. (2018), "Rating road safety performance of Czech regions using composite indicators", *Advances in Transportation Studies*, Vol.46, pp.153-162.
- Obregón-Biosca, Saúl. A., Betanzo-Quezada, E., Romero-Navarrete, J. A., and Ríos-Nuñez, - Besussi, E., Cecchini, A., and Rinaldi, E. (1998) "The diffused city of the Italian North-East: Identification of urban dynamics using cellular automata", *urban models, Computers, Environment and Urban Systems*, Vol.22, No.5, pp.497-523.  
[https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(98\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(98)00022-2)
- Brijs, K., Cuenen, A., Brijs, T., Ruiter, R. A. C., and Wets, G. (2014), "Evaluating the effectiveness of a post-license education program for young novice drivers in Belgium", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.66, pp.62-71.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.01.015>
- Chen, F., Wang, J., and Deng, Y. (2015), "Road safety risk evaluation by means of improved entropy TOPSIS-RSR", *Safety Science*, Vol.79, pp.39-54.  
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.05.006>
- Couclelis, H. (1985), "Cellular worlds: A framework for modeling micro—Macro dynamics", *Environment and Planning A*, Vol.17, No. 5, pp.585-596.
- Egilmez, G., and McAvoy, D. (2013), "Benchmarking road safety of U.S. states: A DEA-based Malmquist productivity index approach", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.53, pp.55-64.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.038>
- Elvik, R. (2019), "How to trade safety against cost, time and other impacts of road safety measures". *Accident Analysis & Prevention*, Vol.127, pp.150-155.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.02.028>

Reports, Volume 419, Issue 1, November 2005, Pages 1-64

<https://doi.org/10.1016/j.physrep.2005.08.005>

- S. Nandi, B. K. Kar, and P. Pal Chaudhuri. (1994), "Theory and applications of cellular automata in cryptography", IEEE Transactions on Computers, Vol.43, No.12, pp.1346–1357.

<https://doi.org/10.1109/12.338094>

- Saffiotti, A. (1997), "The uses of fuzzy logic in autonomous robot navigation", Soft Computing, Vol.1, No.4, pp.180–197.

- Schiff, J. L. (2005), "Introduction to cellular automata".

- Schlögl, M., and Stütz, R. (2019), "Methodological considerations with data uncertainty in road safety analysis", Road Safety Data Considerations, Vol.130, pp.136–150. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.001>

- Shen, Y., Li, T., Hermans, E., Ruan, D., Wets, G., Vanhoof, K., and Brijs, T. (2010), "A hybrid system of neural networks and rough sets for road safety performance indicators", Soft Computing, Vol.14, No.12, pp.1255–1263.

- Song, H., Miao, C., Roel, W., Shen, Z., and Catthoor, F. (2010), "Implementation of fuzzy cognitive maps based on fuzzy neural network and application in prediction of time series", IEEE Transactions On Fuzzy Systems, Vol.18, No.2, pp.233–250.

- Steenberghen, Thérèse, Aerts, K., and Thomas, I. (2010), "Spatial clustering of events on a network", Tourism and Climate Change, Vol.18, No.3, pp.411–418.

<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2009.08.005>

M. (2018), "Rating road traffic education", Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol.56, pp.33–45.

<https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.03.033>

- Openshaw, S. (1984), "Ecological Fallacies and the Analysis of Areal Census Data", Environment and Planning A: Economy and Space, Vol.16, No.1, pp.17–31.

<https://doi.org/10.1068/a160017>

- Opricovic, S. (2011), "Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning", Expert Systems with Applications, Vol.38, No. 10, pp.12983–12990.

- P. Korček, L. Sekanina, and O. Fušík. (2011), "A scalable cellular automata based microscopic traffic simulation", IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), pp.13–18. <https://doi.org/10.1109/IVS.2011.5940393>

- Pritchard, M. S. (2019), "Safety, security, and serviceability in road engineering", Accident Analysis & Prevention, Vol.127, pp.172–176. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.02.026>

- Q. Yu, N. An, T. Wang, S. Leng, and Y. Mao. (2013), "AODV-ECA: Energy-efficient AODV routing protocol using cellular automata in wireless sensor networks", Vol.2, pp.29–33.

<https://doi.org/10.1109/ICCCAS.2013.6765279>

- Raghavan, R. (1993), "Cellular automata in pattern recognition", Information Sciences, Vol.70, No.1, pp.145–177.

[https://doi.org/10.1016/0020-0255\(93\)90052-N](https://doi.org/10.1016/0020-0255(93)90052-N)

- S. Maerivoet, Bart De Moor. (2005), "Cellular automata models of road traffic", Physics



with Multiple Roundabouts”, Elsevier,2018, HAL Id: hal-01773462.

<https://doi.org/ff10.1016/j.cjph.2018.02.010>

- Yamada, I., and Thill, J.-C. (2010), “Local Indicators of Network-Constrained Clusters in Spatial Patterns Represented by a Link Attribute”, Annals of the Association of American Geographers, Vol.100, No.2, pp.269–285.

<https://doi.org/10.1080/00045600903550337>

- Zadeh, L. A. (1965), “Fuzzy sets”, Information and Control, Vol.8, No.3, pp.338–353.

- Stevens, D. (2005), “Integration of an irregular cellular automata approach and geographic information systems for high-resolution modelling of urban growth”, Department of Geography-Simon Fraser University.

- Weekley, J., Barrell, J., and McCarthy, T. (2016), “Developing a Road Safety Review Tool to Identify Design Standard and Safety Deficits on High Risk Road Sections”, Transport Research Arena TRA2016, Vol.14,pp.4130–4139.

<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.384>

- Younes Regraguia , Najem Moussa(2018),“A Cellular Automata Model for Urban Traffic

مصطفی کاشانی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی نرم‌افزار کامپیوتر را در سال ۸۶ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافت و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی نرم‌افزار کامپیوتر در سال ۹۱ را از دانشگاه شیراز اخذ نمود. در حال حاضر، دانشجوی دکتری رشته مهندسی نرم‌افزار کامپیوتر در سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران (IROST) است زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان الگوریتم‌های محاسباتی، پردازش داده‌های حجیم، سیستم‌های هوشمند است.



سعید گرگین مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر خود را به ترتیب از دانشگاه آزاد اسلامی تهران جنوب و علوم و تحقیقات تهران دریافت کرد. همچنین، او مدرک دکتری معماری کامپیوتر را از دانشگاه شهید بهشتی، در سال ۱۳۸۹ دریافت کرد. وی هم‌اکنون استادیار مهندسی کامپیوتر در گروه فناوری اطلاعات و سیستم‌های هوشمند سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران (IROST) است. علایق تحقیقاتی وی شامل حسابی کامپیوتری و الگوریتم‌های محاسباتی، سیستم‌های باقابلیت پیکربندی مجدد، پردازش سریع و طراحی VLSI است.



سید وهاب شجاع‌الدینی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی مخابرات در سال ۱۳۷۷ در دانشگاه صنعتی امیرکبیر و در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی بیوالکترونیک به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ در دانشگاه تربیت مدرس به پایان رسانده است. وی هم‌اکنون دانشیار گروه مهندسی پزشکی و معاون پژوهش‌گده مهندسی برق و فناوری اطلاعات سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران (IROST) می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی موردعلاقه ایشان عبارت‌اند از: هوش مصنوعی، محاسبات نرم و کاربردهای آن، بازشناسی الگو و پردازش سیگنال.

