Archive of SID

ایجاد سیستم خبره در انتخاب نوع گذرگاه عابر پیاده در معابر بین تقاطعی

توحید رستمی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
حمیدرضا بهنود*، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
بابک میربهاء، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: behnood@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۷/۲۳- پذیرش: ۹۷/۰۱۱/۰۵
صفحه ۲۰۶-۱۹۵

چکیده

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های حضور انسان در فضاهای شهری که سبب سرزندگی و پویایی این فضاها و نیز افزایش نقش اجتماعی آنها می‌شود، حرکت پیاده است. عابرین پیاده جزو اصلی کاربران آسیب‌پذیر راه محسوب می‌شوند و آسیب‌های وارد شده به آنها اغلب غیرقابل جبران و بازگشت است و باعث جرح یا فوت آنها می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی درصد استفاده از پل‌های عابر پیاده موجود در شهر تهران و عوامل محیطی و انسانی اثرگذار بر استفاده یا عدم استفاده عابرین پیاده‌ای که در حوزه نفوذ آن پل در حال عبور بوده‌اند، بوده است. در این تحقیق تصمیم‌گیری در محیط فازی که یک محیط چندارزشی است، انجام شده است. خروجی این تحقیق درصد استفاده عابرین پیاده از هر پل با ویژگی‌های محیطی و انسانی متفاوت بوده است. پایگاه دانش قابل استفاده در یک سیستم خبره با استفاده از استدلال فازی تشکیل شده و می‌تواند به عنوان سیستم پشتیبانی از تصمیم فازی در مدیریت و برنامه‌ریزی برای احداث پل‌های عابر پیاده جدید یا اصلاح پل‌های موجود مورد استفاده قرار گیرد. نتایج گرفته شده از این تحقیق می‌تواند به منظور مشخص شدن پل‌هایی با حجم عبور زیاد و تجهیز پلهای دیگر، مکان‌یابی احداث پل‌های جدید، ارزیابی وضع موجود هر پل و میزان استفاده از آن مورد استفاده قرار گیرد. نتایج نشان داده است از بین عوامل محیطی، تسهیلات پل عابر پیاده و از بین عوامل انسانی، هویت درک شده در درصد استفاده عابرین پیاده از پل‌های عابر پیاده بسیار تاثیرگذار بوده است. مقایسه بین تمامی نتایج واقعی و نتایج براورد شده فازی در این تحلیل، ضریب همبستگی ۰/۹۸ و درصد خطای ۲۰ درصد را نشان داده، که نزدیکی بسیار زیاد دو دسته نتایج را نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: گذرگاه عابر پیاده، عوامل انسانی، عوامل محیطی، سیستم خبره، استدلال فازی

۱- مقدمه

عابر پیاده به فردی اطلاق می‌شود که یک مسافت را با پا به صورت پیاده‌روی طی می‌کند. پیاده‌روی آسان‌ترین و دردسترس‌ترین شیوه برای جابجایی است و علاوه بر این که هزینه‌ای به همراه ندارد، باعث سلامت فرد و کمک به کاهش صدمات زیست‌محیطی می‌شود. عابرین پیاده شامل درصد بالایی از مرگ و میرها در تصادفات می‌شوند. در کشورهای در حال توسعه بیشترین علت ناتوانی جسمی در افراد، تصادفات رانندگی گزارش شده است. در حدود ۲۲ درصد از تصادفات در جهان و ۲۱ درصد در ایران شامل عابرین پیاده می‌شود. رفتارهای عابرین پیاده در هنگام عبور تحت تاثیر عوامل انسانی و محیطی مختلفی است، عوامل انسانی مانند سن، جنسیت، مصرف الکل و غیره و عوامل محیطی مانند کارایی محیط، تسهیلات عابر پیاده و تاثیر سازه‌های محیطی بر احساس لذت و ایمنی عابرین است. یکی از تجهیزات مورد استفاده عابر پیاده برای دوری از برخورد با وسایل نقلیه سواری استفاده از گذرگاه‌های عابر پیاده است. گذرگاه‌های عابر پیاده به دو صورت همسطح و غیرهمسطح می‌باشند. یکی از دلایل اصلی در ایجاد گذرگاه‌های عابر پیاده افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

ایمنی عبور و مرور است. در طراحی گذرگاه‌های عابر پیاده ضروری است که معیارهای مهم و مؤثر در انتخاب محل گذرگاه ایمن عابر پیاده بررسی شود و تجهیزات مورد استفاده برای افزایش ایمنی عابر پیاده مورد ارزیابی قرار گیرد. از سیستم خبره برای کمک به کاربران در بررسی عبور از هندسه راه‌های متفاوت، ویژگی‌های ترافیکی و رفتاری عابر پیاده استفاده می‌شود. هدف آن است که بطور خودکار بسیاری از توابع تصمیم‌گیری برای مدلسازی رفتار عابرین پیاده در حال عبور از راه استفاده شود. در نتیجه روند تصمیم‌گیری در این حوزه حاصل عبوری ایمن است. در سال‌های اخیر، پیشرفت در فناوری‌های اطلاعات به برنامه‌های کاربردی ایمنی راه پیچیده که قادر به مقابله با شرایط متنوع هستند، منجر شده است.

یکی از مهم‌ترین نکات در عرصه عابرین پیاده ایجاد ایمنی هرچه بیشتر برای عابر پیاده در هنگام عبور از گذرگاه‌ها و جلوگیری از تصادف عابرین با وسایل نقلیه عبوری است [کلاهدوز و همکاران، ۱۳۹۶] عابرین پیاده جزو کاربران آسیب‌پذیر راه محسوب می‌شوند و آسیب‌های وارد شده به آنها اغلب غیرقابل جبران و بازگشت است و باعث جرح یا فوت آنها می‌شود. از آنجا که انسان، دارای خصوصیات رفتاری متفاوت و تصادفی است، مدل‌های ریاضی نمی‌توانند به صورت کامل رفتار انسان را بیان کنند، لذا در ساخت مدل‌های رفتاری با استفاده از سیستم خبره، می‌توان از منطق فازی برای وارد کردن رفتار مبهم انسان در مدل استفاده کرد [عدل‌پرور، ۱۳۹۱]. بیش از نیمی از مرگ‌ومیر عابرین پیاده در مکان‌های بدون خط‌کشی و دور از تقاطع رخ می‌دهد. با این حال، تحقیقات کمی صورت گرفته که چرا عابرین پیاده از محل‌های غیرایمن از خیابان عبور می‌کنند. در سال ۲۰۱۰، ۱۳ درصد از کشته‌شدگان در سوانح ترافیکی، عابرین پیاده بوده‌اند که ٦٨/١ درصد آن در خارج از تقاطع‌ها رخ داده است. به طور متوسط در حدود ۱۳/۸۹ درصد از عبور عابرین پیاده از خیابان در مکان‌های خط کشی نشده غیرتقاطعی رخ داده است [Balk, 2014].

هدف از انجام این تحقیق ارائه یک سیستم تصمیم‌گیری فازی است که در آن بر اساس ویژگی‌های عابران پیاده در محیط یک معبر بین تقاطعی شهری و همچنین ویژگی‌های محیطی موجود و در نظر گرفته شده برای یک پل روگذر عابر پیاده، مشخص نماید آیا عابران از آن روگذر غیرهمسطح استفاده خواهند کرد یا خیر. بر این اساس می‌توان تصمیم‌گیری نمود که برای بهره‌برداری کامل از یک پل موجود یا در دست مطالعه، چه ویژگی‌هایی را لازم است رعایت نمود تا حداکثر افراد از آن به عنوان گذرگاه عابر پیاده استفاده کنند.

۲- پیشینه تحقیق

مهم است که برنامه‌های کاربردی ترافیک و ایمنی راه موضوع مشترک در حوزه سیستم‌های خبره است، همچنین در دسترس بودن فناوری‌های مدرن این اجازه را می‌دهد که با توسعه الگوریتم‌های مدرن و پیشرفته با استفاده از پیشرفت‌ها برای جلوگیری از تصادفات جاده‌ای یا کاهش تکرار آنها ایجاد شود [García, 2014] . مشخص است که در بسیاری از موارد عابرین به دنبال سریع‌ترین و مستقیم‌ترین مسیر از مبدا به مقصد هستند. با این حال، طراحی مسیر باید خصوصیات محیطی سفر، توانایی‌های فیزیکی، سطح خطر(واقعی یا درک شده)، در میان فاکتورهای دیگر را درنظر بگیرد [Balk, 2014]. مردم از فرایندهای تصمیم‌گیری پیچیده برای تعیین مسیر راه رفتن برای رسیدن به موقعیت خاص استفاده می‌کنند. در عوض عابرین پیاده با احتمال به برنامه‌ریزی یک مسیر عمومی و به دیگر عوامل کاهش انتخاب‌ها در مسیر وابسته‌اند. از جمله عوامل موثر بر ایمنی عابرین پیاده عوامل انسانی و محیطی عابرین پیاده می‌باشد، که شامل جنسیت، سن، الکل، هویت، کنترل درک شده، کارایی وغیره است [Balk, 2014].

یک سیستم فازی در حقیقت یک سیستم غیرخطی است که یک بردار ورودی غیرخطی را به یک خروجی اسکالر غیرفازی تبدیل می‌نماید. در بسیاری از مسایل مربوط به حوزه حمل‌ونقل نیز هدف محقق از مدل‌سازی به طور دقیق همین است. نظریه مجموعه‌های فازی سابقه موفقیت‌آمیزی را در حل مسایل حمل‌ونقل داشته‌اند که از آن جمله می‌توان به کارهای انجام شده توسط لوتان و کوتسوپولوس در سال ۱۹۹۳، ژو و چان در سال ۱۹۹۳، چن و همکاران در سال ۱۹۹۰ و غیر اشاره نمود که همگی نمونه‌های موفقیت‌آمیز

www.SID.ir

Archive of SID

بکارگیری نظریه مجموعه‌های فازی در حوزه مربوط به برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و ترافیک هستند [جاسبی، ۱۳۹۰].

در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۱ یک سیستم فازی خبره برای پیش‌بینی برخورد که از آن برای اجتناب از تصادفات عابر پیاده استفاده شده، ایجاد شده است. در این مطالعه یک سیستم خبره که با استفاده از تجزیه و تحلیل محتوای ویدیویی برای پیش‌بینی برخورد، تشخیص اشیا در معرض خطر و هشدار این واقعیت در زمان واقعی با هدف بهبود ایمنی در بسیاری از موارد استفاده شده است. تشخیص و پیش‌بینی در زمان واقعی نقطه قوت این روش نسبت به دیگر روش‌ها بوده است. همچنین دو هدف اصلی این مقاله شامل یک مدل انتزاعی برای پیش‌بینی برخوردها میان اشیا با استفاده از داده ویدیویی بوده است و همچنین یک سیستم پیش‌بینی برای زمانی که یک عابر در خطر است، بوده است. در این مطالعه یک سیستم پیاده‌سازی واقعی از مدل انتزاعی پیشنهاد شده است. به علاوه، توابع فازی که در این مدل استفاده شده توانسته به راحتی با توجه به هر وضعیت مطالعه‌ای تنظیم شود. در نتیجه این سیستم یک ابزار خوب برای بهبود ایمنی عابران پیاده در مناطق ترافیکی بوده است، از این رو سیستم هشدار در زمان واقعی در حوادثی بوده است که در آن عابرین پیاده توسط وسایل نقلیه آسیب دیده‌اند [Castro, 2011]. دافنی ایوانز و پاول نرمن در سال (۱۹۹۹) در مقاله‌ای مطالعه کاربرد نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده (TPB) را برای پیش‌بینی مقاصد عبور از معبر عابرین پیاده انجام داده‌اند. پاسخ‌دهندگان پرسشنامه‌هایی را تکمیل کرده بودند که شامل سه سناریو از رفتارهای عبور از معبر خطرناک بالقوه شامل درک نگرش، هنجار درونی، کنترل رفتاری درک شده، هویت و هدف بوده است. نتایج نشان داد که متغیرهای روانشناسی اجتماعی تحت شرایطی قادر به توضیح بین ۳۹ تا ۵۲ درصد از واریانس اهداف عبور از معبر در شیوه‌ای که در سناریوها نشان داده، بوده است. اجزای کنترل رفتاری درک شده (TPB) به عنوان قوی‌ترین پیش‌بینی‌کننده اهداف عابرین پیاده، نشان داد که تصورات کنترلی نقش مهمی را در رفتار ایمنی راه داشته است.

هلند و همکاران در سال (۲۰۰۹) در مقاله‌ای به درک نقش هویت فردی در رفتارهای مخاطره آمیز تصمیمات عبور از معبر عابرین پیاده در طول عمر پرداخته‌اند. در این مقاله شواهد نشان داد که هویت فردی ممکن است پیش‌بینی‌کننده بهتری نسبت به روش‌ها و رفتارها در موقعیت‌هایی که سبک‌های تصمیم‌گیری به راه‌های عادی برای پاسخ دادن تبدیل شده، بوده باشد. این مقاله توضیع‌های هویت فردی و روش‌ها و رفتارها را برای پیش‌بینی اهداف در دو وضعیت متفاوت در سطح انتظار عبوری عادی و رفتار عبور مقایسه کرده است. ۳۶۲ بزرگسال پرسشنامه اندازه‌گیری هویت فردی، روش‌ها و رفتارها، اهداف، تجربه، متغیرهای هویت اجتماعی (از قبیل سن و جنسیت) و محدودیت‌های فردی را تکمیل کرده‌اند. ۲۰۵ شرکت‌کننده همچنین شبیه‌سازی عبور از معبر را تکمیل کرده‌اند. هویت فردی و رفتار هر دو به عنوان پیش‌بینی کننده‌های مهم مستقل هدف در هر دو موقعیت نشان داده شده است. اگرچه، هویت فردی به عنوان یک پیش‌بینی کننده در سناریو با ریسک بالا کمتر موثر بوده است، در جایی که قصد انجام دادن رفتار پایین بوده است. نتایج همچنین نشان داد که هویت فردی به شدت هدف عبور را پیش‌بینی کرده است که به نوبه خود رفتار را پیش‌بینی کرده اما هویت فردی بطور مستقیم رفتار را پیش‌بینی نکرده است. هویت فردی به شدت توسط سن پیش‌بینی شده است.

۳- روش تحقیق

اگر بخواهیم سیستم‌های خبره را در یک جمله توصیف کنیم، باید بگوییم که این سیستم‌ها به طور کلی برنامه‌هایی هستند که قادرند همانند انسان مسایل خاصی را استدلال کنند. این سیستم‌ها برای استدلال، از الگوهای منطقی خاصی استفاده می‌کنند که مشابه همان کاری است که انسان در زمان حل یک مساله عمل می‌کند. در واقع همانطور که انسان برای حل یک مساله، تعقل یا اندیشه می‌کند، سیستم‌های خبره نیز برای این کار به الگوها و راه و روش‌هایی متوسل می‌شوند که انسان برای آنها مشخص کرده است. بنابراین چون از منطق بشری استفاده می‌کنند می‌توان گفت که تا حدودی همانند انسان فکر می‌کنند [Durkin, 1994].

نظریه مجموعه فازی اولین بار توسط پرفسور لطفی‌زاده در سال (۱۹۶۵) پیشنهاد شده و اولین بار در کنترل توسط ممدانی استفاده شده است. نظریه مجموعه فازی در درجه

www.SID.ir

Archive of SID

اول به کمّی کردن و استدلال با استفاده از زبان بدیهی که در آن بسیاری از کلمات دارای معانی مبهم هستند، مرتبط شده است. نظریه مجموعه فازی ابزاری قوی برای مواجه با عدم قطعیت ناشی از ابهام است. اگرچه سیستم‌های فازی پدیده‌های غیرقطعی و نامشخص را توصیف می‌کنند، با این حال خود نظریه فازی یک نظریه دقیق است [Wang, 1999].

فناوری اطلاعات می‌تواند برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در یک سازمان مورد استفاده قرار گیرد. سیستم‌های پشتیبانی از تصمیم، مبحثی اساسی را در عرصه سیستم‌های اطلاعاتی مدیریت تشکیل می‌دهند. با گسترش روش‌های استدلال و کنترل فازی در سال‌های اخیر، سیستم‌های پشتیبانی تصمیم فازی (FDSS)[1] به منظور فراهم کردن فرایندی یکپارچه در اجرای روش‌های تصمیم گیری فازی معرفی شده‌اند [بهنود و همکاران، ۱۳۹۲].

آزمون فرض فازی تعمیم آزمون فرض آماری کلاسیک است، که دارای ارزشی قطعی (۱ و ۰) است. آزمون فرض فازی برای تعیین درجه درستی (نادرستی) یک فرضیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرضیه ممکن است شامل داده‌های قطعی یا فازی باشد [آذر و فرجی، ۱۳۹۵].

آزمون فرض فازی همانند آزمون فرض کلاسیک دارای چهار گام است:

۱. تدوین فرضیه‌ها؛
۲. نمونه‌گیری؛
۳. آزمون فرضیه‌ها؛ و
٤. تصمیم‌گیری.

با استفاده از آزمون فرض فازی، به اهمیت هر یک از فرضیه‌ها نسبت به فرضیه‌های جایگزین دست می‌یابیم، موضوعی که در آزمون فرض آماری امکان‌پذیر نیست. در آزمون فرض فازی برای محاسبه میزان «خوب بودن» نمونه، از تابع درجه‌ی رضایت (DoS)[2] که بیانگر میزان اعتقاد به «خوب بودن» نمونه است، استفاده می‌گردد. همچنین محاسبه اندازه نمونه در روش فازی بستگی به توزیع جامعه و فرضیه‌ای که می‌خواهیم آن را آزمون کنیم، ندارد [آذر و فرجی، ۱۳۹۵].

اولین مرحله در فرایند تصمیم‌گیری فازی، فازی‌سازی متغیرهای واقعی (قطعی) است؛ یعنی در این مرحله متغیرهای قطعی به متغیرهای زبانی تبدیل می‌گردند. در مرحله دوم (استنتاج فازی)، با استفاده از مجموعه‌ای از قواعد «اگر–آنگاه» رفتار سیستم تعریف می‌گردد. در مرحله سوم (قطعی‌سازی)، ارزش‌های زبانی به اعداد قطعی تبدیل می‌گردند تا تصمیم‌گیری صورت گیرد. فرایند تصمیم‌گیری در محیط فازی را می‌توان مشابه تصمیم‌گیری در مغز انسان دانست؛ چرا که روزانه انبوهی از اطلاعات نادقیق (فازی) را اخذ نموده، تجزیه و تحلیل کرده و تصمیم‌گیری می‌نماید [آذر و فرجی، ۱۳۹۵].

برای تشکیل تابع عضویت هر متغیر از نرم افزار FuzzyTECH که یک نرم افزار فازی می‌باشد، استفاده شده است. این نرم افزار، یک نرم افزار پیشرو و قدرتمند برای ارایه راه حل در زمینه مسایل فازی و فازی–عصبی بوده است. در این نرم‌افزار به آسانی متغیرهای ورودی و خروجی زبانی و بلوک‌های قواعد تعریف شده است.

برداشت اطلاعات مورد نیاز این مطالعه به دو صورت مشاهده در محل و پرسشنامه صورت گرفته است. در ابتدا برای بررسی موقعیت و ویژگی‌های پل‌های عابر پیاده موجود در شهر تهران٤٠ عدد پل انتخاب شده است. نحوه انتخاب با درنظر گرفتن تنوع در ویژگی‌های پل‌ها و همچنین موقعیت قرارگیری آنها صورت پذیرفته است.

برای تهیه پرسشنامه در ارتباط با فاکتورهای انسانی افراد استفاده کننده از پل‌های عابر پیاده، دو فاکتور هویت و کنترل درک شده هر فرد مورد بررسی قرار گرفته است. برای هر فاکتور ۹ سوال طراحی شده است. همچنین گزینه‌های این پرسشنامه مطابق طیف لیکرت طراحی شده است. مقیاس لیکرت یکی از رایج‌ترین مقیاس‌های اندازه‌گیری در تحقیقاتی است که براساس پرسشنامه انجام شده و توسط رنسیس لیکرت (۱۹۰۳ – ۱۹۸۱) ابداع شده است. در این مقیاس یا طیف محقق با توجه به موضوع تحقیق خود، تعدادی گویه را در اختیار شرکت کنندگان قرار داده تا براساس گویه‌ها و پاسخ‌های چندگانه، میزان گرایش خود را مشخص کنند. هر پرسشنامه و همچنین هر پل یک کد منحصربفرد به خود اختصاص داده است. برای هر پرسشنامه یک کد ۱۰ رقمی به شرح زیر در نظر گرفته شده است. رقم اول کد در ارتباط با متغیر عرض خیابان بوده، که به ۵ خوشه (خیلی زیاد – زیاد – متوسط – کم– خیلی کم) تقسیم‌بندی شده است. رقم دوم کد در ارتباط با موقعیت هر پل بوده که

www.SID.ir

Archive of SID

هر خوشه از عرض خیابان دارای ۵ موقعیت منحصربفرد از پل‌ها بوده است. رقم سوم کد در ارتباط با متغیر نحوه هدایت عابرین پیاده به سمت پل عابر پیاده بوده که به ۵ خوشه (خیلی خوب – خوب – معمولی – بد – خیلی بد) تقسیم‌بندی شده است. رقم چهارم کد در ارتباط با متغیر تسهیلات پل عابر پیاده بوده که به ۵ خوشه (خیلی زیاد – زیاد – متوسط – کم – خیلی کم) تقسیم‌بندی شده است. رقم پنجم کد در ارتباط با متغیر حجم خودروهای عبوری در خیابان است که به ۵ خوشه (خیلی شلوغ – شلوغ– معمولی – خلوت– خیلی خلوت) تقسیم‌بندی شده است. رقم ششم کد در ارتباط با متغیر خروجی تعداد افراد عبور کرده از پل عابر پیاده بوده که به ۵ خوشه (خیلی زیاد – زیاد – متوسط – کم– خیلی کم) تقسیم‌بندی شده است. رقم هفتم کد در ارتباط با متغیر طول مانع میانی بوده که به ۵ خوشه (خیلی زیاد – زیاد – متوسط – کم– خیلی کم) تقسیم‌بندی شده است. رقم هشتم تا دهم شماره هر پرسشنامه بوده که از ۰۰۱ تا ٦۰۰ شماره‌گذاری شده است.

به دلیل آن که حجم جامعه آماری افرادی که در حوزه نفوذ پل عابر پیاده (فاصله ۲۵۰ متری از مرکز پل) قرار داشته‌اند، نامعلوم بوده است، از فرمول کوکران برای بدست آوردن حجم نمونه استفاده شده است.

$$n = \frac{Z^2 S^2}{d^2} \qquad (۱)$$

مهم‌ترین پارامتر در رابطه (۱) S^2 بوده، که همان واریانس نمونه اولیه بوده است. برای محاسبه S^2، تعداد ۲۰ عدد پرسشنامه از ٤ عدد پل مختلف جمع‌آوری شده است. سپس با توجه به پاسخ‌های داده شده به سوالات پرسشنامه طراحی شده توسط عابرین در حال عبور، واریانس هر یک از متغیرهای هویت و کنترل درک شده محاسبه شده است و ماکزیمم آنها به عنوان واریانس نمونه اولیه انتخاب شده است. در نهایت مقدار S^2 برابر ۰/۰۸٦ بدست آمده است. با قرار دادن مقدار واریانس در رابطه (۱) و درنظر گرفتن سطح خطای ۱۵٪ (مقدار d) و سطح اطمینان ۹۵٪، تعداد حجم نمونه برابر ٦۰۰ نفر شده که با در نظر گرفتن ٤۰ عدد پل نیاز به جمع‌آوری ۱۵ عدد پرسشنامه از هر پل بوده است.

بهترین خوشه‌بندی آن است که مجموع تشابه بین مرکز خوشه و همه اعضای خوشه را حداکثر و مجموع تشابه بین مراکز خوشه‌ها را حداقل کرده باشد. برای انتخاب بهترین خوشه ابتدا براساس نظرات خبره و مطالعات قبلی یک محدوده پیشنهادی برای تعداد خوشه‌ها مشخص شده است. در این مطالعه با استفاده از روش خوشه‌بندی k-means تعداد ۵ خوشه برای هر متغیر در نظر گرفته شده است.

٤- مدل‌سازی و تحلیل داده‌ها

فازی‌سازی اولین مرحله در روند تصمیم‌گیری فازی است که در آن متغیرهای قطعی به متغیرهای زبانی تبدیل می‌شود. در این تحقیق توابع عضویت خطی نشان دهنده محدوده حمایت هر کدام از تعاریف زبانی از مقادیر قطعی است. برای متغیرهای قطعی مورد استفاده در این تحقیق پنج سطح توصیفی برای بیان ویژگی عملکرد پیاده شده در هر واحد تصمیم‌گیری به این شرح معرفی می‌شود: خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم، خیلی کم.

توابع عضویت مورد استفاده در این تحقیق برای هر کدام از مقادیر ورودی (شامل هفت شاخص محیطی و انسانی) و مقدار خروجی (شامل درصد عابرین عبور کننده از هر پل) از توابع مثلثی استفاده شده است. شکل (۱) توابع عضویت مثلثی ایجاد شده بر اساس این رویکرد را نشان می‌دهد.

$$R(u,v) = \mu_{\widetilde{ID}}(u).\mu_{\widetilde{CO}}(v).\mu_{\widetilde{TR}}(v).\mu_{\widetilde{WI}}(v).\mu_{\widetilde{BA}}(v).\mu_{\widetilde{GU}}(v).\mu_{\widetilde{FA}}(v).\mu_{\widetilde{FA}}(v) \qquad (۲)$$

$\mu_{\widetilde{ID}}(u)$: درجه حمایت متغیر هویت؛
$\mu_{\widetilde{CO}}(u)$: درجه حمایت متغیر کنترل درک شده؛
$\mu_{\widetilde{TR}}(u)$: درجه حمایت متغیر حجم خودروهای عبوری؛
$\mu_{\widetilde{WI}}(u)$: درجه حمایت متغیر عرض خیابان؛
$\mu_{\widetilde{BA}}(u)$: درجه حمایت متغیر طول مانع میانی؛
$\mu_{\widetilde{GU}}(u)$: درجه حمایت متغیر نحوه هدایت؛

www.SID.ir

Archive of SID

$\mu_{\widetilde{FA}}(u)$: درجه حمایت متغیر تسهیلات؛

$\mu_{\widetilde{PA}}(u)$: درجه حمایت متغیر درصد افراد عبور کرده؛

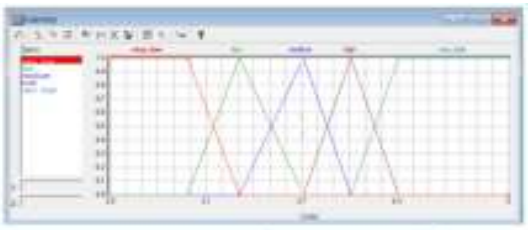
پس از تشکیل توابع عضویت متغیرها توسط نرم‌افزار، برای تشکیل بلوک قواعد فازی ابتدا مقادیر قطعی هر متغیر با استفاده از تابع عضویت آن متغیر تبدیل به متغیر زبانی شده است. همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده، برای مثال دو متغیر هویت و کنترل درک شده هر فرد آورده شده است. نمره هویت فرد اول ۳/٤ شده است، که با توجه به تابع عضویت هویت به اندازه‌ی ۰/۷۸ کم و ۰/۲۲ متوسط شده است. سایر متغیرها نیز به همین صورت بدست آمده است.

پس از تبدیل کردن تمام داده‌های قطعی به زبانی نوبت به تشکیل بلوک قواعد رسیده است. برای هر فرد تعدادی قواعد معنادار شده است. درجه حمایت هر فرضیه در هر واحد تصمیم‌گیری بر اساس استلزام لارسن با ضرب درجه‌های عضویت متناظر قیاس‌ها با استفاده از رابطه (۲) بدست آمده است. در مجموع، ۱۲٤۱۵ فرضیه متشکل از قواعد «اگر- آنگاه» فازی با درجه حمایت بیشتر از صفر بدست آمده است. سپس درجه حمایت قواعد مشابه با یکدیگر جمع و بر تعداد کل افراد (٦۰۰) تقسیم شده است. بنابراین، ۲۰۹ قاعده با درجه حمایت بزرگ‌تر از ۰/۰۱ همانطور که در جدول (۲) آورده شده، به عنوان قواعد نهایی برای تصمیم‌گیری در این مطالعه در نظر گرفته شده است.

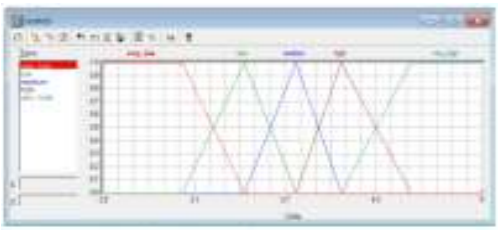
اکنون با داشتن یک پایگاه قواعد، اثربخشی طیف گسترده‌ای از گزینه‌های ممکن در تصمیم‌گیری را برای انتخاب محل مناسب پل عابر پیاده و اجرای بهترین راهبردها برای استفاده حداکثر عابرین پیاده برآورد شده است.

جدول ۱. فازی‌سازی داده‌های قطعی

فرد	هویت						کنترل درک شده					
	نمره	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	نمره	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
۱	۳/۴	–	۰/۷۸	۰/۲۲	–	–	۳/۴	۰/۰۸	۰/۹۲	–	–	–
۲	۴	–	–	۰/۰۴	۰/۹۶	–	۴	–	–	۰/۲۳	۰/۷۷	–
۳	۳/۶	–	۰/۲۷	۰/۷۳	–	–	۴	–	–	۰/۲۳	۰/۷۷	–
۴	۴/۴	–	–	–	–	۱	۴/۶	–	–	–	–	۱
۵	۳/۴	–	۰/۷۸	۰/۲۲	–	–	۴/۲	–	–	–	۰/۷۳	۰/۲۷
۶	۲/۴	۱	–	–	–	–	۴/۸	–	–	–	–	۱
۷	۳	۰/۹۵	۰/۰۵	–	–	–	۴/۶	–	–	–	–	۱
۸	۳/۸	–	–	۰/۷۲	۰/۲۸	–	۳/۸	–	–	۰/۹	۰/۱	–
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۵۹۹	۴/۶	–	–	–	–	۱	۲/۶	۱	–	–	–	–
۶۰۰	۴	–	–	۰/۰۴	۰/۹۶	–	۳/۲	۰/۵۶	۰/۴۴	–	–	–



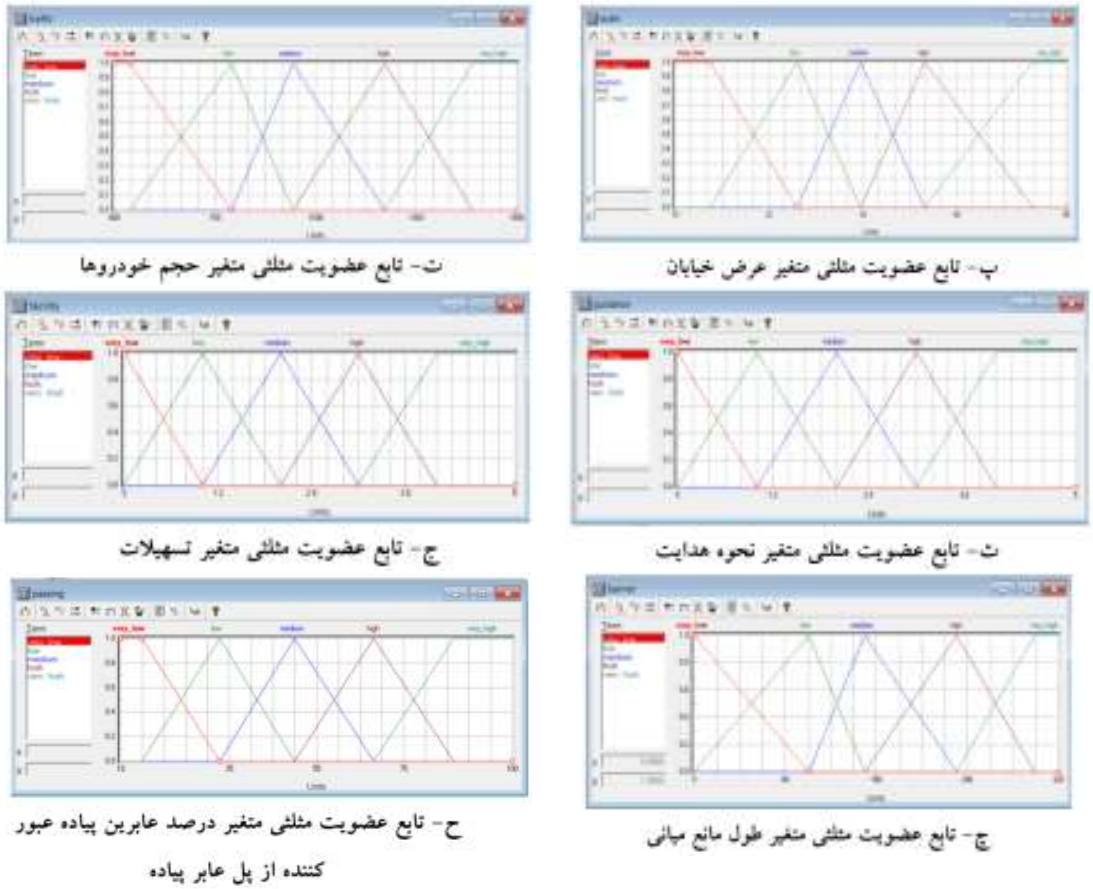
الف- تابع عضویت مثلثی متغیر هویت



ب- تابع عضویت مثلثی متغیر کنترل درک‌شده

www.SID.ir

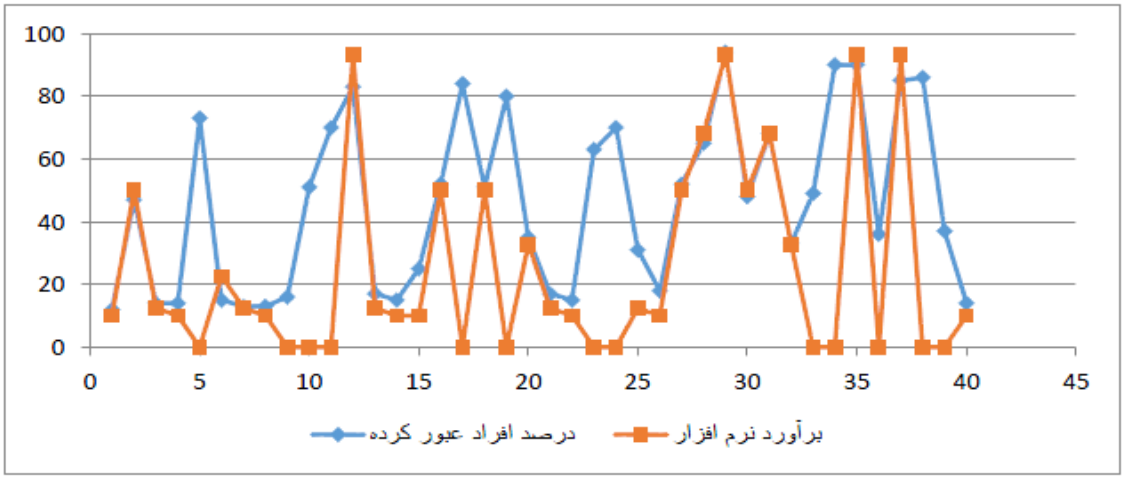
Archive of SID



شکل ۱. توابع عضویت متغیرها

مقایسه بین تمامی نتایج واقعی و نتایج برآورد شده فازی در این تحلیل، ضریب همبستگی ۰/۹۸ و درصد خطای ۲۰ درصد را نشان داده، که نزدیکی بسیار زیاد دو دسته نتایج را نشان داده است.

شکل ۲. مقایسه درصد افراد عبور کرده از هر پل برآورد شده با استدلال فازی و نرخ واقعی جمع‌آوری شده



www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. بلوک قواعد متشکل از قواعد با درجه حمایت بزرگتر یا مساوی ۰/۰۱

شماره قواعد	اگر								آنگاه	
	هویت	کنترل	ترافیک	عرض	مانع	نحوه هدایت	تسهیلات	تعداد افراد عبور کرده	درجه رضایت‌بخشی (DOS)
۱	خیلی کم	خیلی زیاد	زیاد	خیلی کم	خیلی کم	کم	متوسط	خیلی کم	۰/۰۳۹
۲	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	کم	زیاد	متوسط	۰/۰۳۶
۳	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	خیلی کم	خیلی کم	۰/۰۳۱
٤	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	کم	متوسط	زیاد	۰/۰۳۳
٥	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	کم	زیاد	متوسط	۰/۰۳۵
٦	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی کم	خیلی کم	متوسط	کم	خیلی کم	۰/۰۲۸
۷	خیلی زیاد	زیاد	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	خیلی کم	خیلی کم	۰/۰۲۹
۸	خیلی زیاد	خیلی کم	کم	خیلی زیاد	خیلی زیاد	کم	کم	خیلی زیاد	۰/۰۲۲
۹	زیاد	خیلی کم	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی کم	خیلی کم	کم	۰/۰۳٤
۱۰	خیلی کم	خیلی زیاد	متوسط	کم	کم	کم	کم	خیلی کم	۰/۰۷۹
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۲۰۷	خیلی زیاد	کم	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	کم	زیاد	متوسط	۰/۰۲٤
۲۰۸	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد	کم	خیلی زیاد	خیلی زیاد	۰/۰۳۲
۲۰۹	کم	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	کم	خیلی کم	کم	۰/۰۱۳

به منظور ارائه نمونه‌ای از کاربرد مدل ارائه شده و همچنین روش براورد نتایج، از ٤ حالت در ارتباط با نیاز به احداث یا عدم احداث پل عابر پیاده در موقعیتهای مختلف استفاده شده است. در ارتباط با این حالت‌ها اگر درصد عابرین عبور کننده بزرگتر یا مساوی ۵۰ درصد باشد، پل عابر پیاده احداث شده و اگر کمتر از ۵۰ درصد باشد نیاز به احداث پل نبوده است. در جدول (۳) چهار حالت برای تصمیم‌گیری در مورد احداث پل عابر پیاده تعریف شده است، که هر یک از حالت‌های در نظر گرفته شده دارای ویژگی‌های متفاوتی نسبت به یکدیگر بوده‌اند. مقادیر فازی مربوط به متغیرها نیز براساس توابع عضویت آنها به دست آمده و در جدول (۳) درج شده است.

شکل (۲) نمودار مقایسه بین دو دسته نتایج حاصل از برآورد نرم افزار و اطلاعات جمع‌آوری شده در محل را نشان داده است. اکنون با توجه به دقت بالای سیستم خبره تصمیم

www.SID.ir

Archive of SID

فازی ایجاد شده می توان به پاسخ‌های آن در تعیین درصد افراد عبور کرده از هر پل اطمینان کافی داشته و آن را به عنوان ابزاری دقیق برای مقایسه عملکرد پل‌های مختلف و اثربخشی گزینه‌های مختلف در تصمیم عبور از پل بکار گرفته شود.

جدول ۳. در نظر گرفتن چهار حالت با استفاده از متغیرهای تعریف شده

حالت	هویت		کنترل درک شده		عرض خیابان		حجم خودروهای عبوری		نحوه هدایت		تسهیلات		طول مانع میانی	
۱	VH(1)	٤/٨	VH(1)	٤/٦	M(0.23) H(0.77)	٤٠	H(0.26) VH(0.74)	١٤٠٠	L(1)	١	H(1)	٣	VH(0.28) H(0.72)	٢٥٠
۲	H(0.28) M(0.72)	٣/٨	H(0.94) VH(0.06)	٤/١	L(0.21) M(0.79)	٣٢	H(0.6) M(0.4)	١١٠٠	M(1)	٢	VL(1)	٠	VH(1)	٣٠٠
۳	L(0.35) VL(0.65)	٣/١	VL(0.31) L(0.69)	٣/٣	VL(1)	١٤	VL(0.33) L(0.67)	٦٥٠	L(1)	١	L(1)	١	VL(1)	٠
٤	VH(0.3) H(0.7)	٤/١	H(0.43) M(0.57)	٣/٩	M(0.3) L(0.7)	٢٨	VL(1)	٤٠٠	L(1)	١	H(1)	٣	L(0.39) VL(0.61)	٤٠

جدول (٤) فرآیند نافازی‌سازی را به طور نمونه برای **حالت** اول نشان داده است. در این جدول ابتدا ترکیب‌های ممکن برای قرارگیری مقادیر فازی متغیرهای ورودی درج شده است. هر ترکیب معرف قاعده‌ای بوده که ممکن است در بلوک قواعد جدول (۲) درج شده باشد. درصورت وجود قاعده در بلوک قواعد مقدار درجه رضایت‌بخشی منسوب به آن در جدول (٤) ثبت شده است. با ضرب درجه رضایت بخشی هر قاعده در کمترین مقدار فازی متغیرهای ورودی سطح زیر منحنی تابع عضویت (درجه درستی هر قاعده) به دست آمده است. از طرفی برخی از قاعده‌ها دارای نتایج یکسان بوده‌اند. در این موارد، قبل از قطعی‌سازی داده‌های فازی با استفاده از عملگر Max (یا عملگرهای تناسب) با یکدیگر ترکیب شده است.

با استفاده از نرم‌افزار FuzzyTECH، فرآیندهای استدلال فازی برای مقدار هر یک از متغیرهای خروجی هر حالت محاسبه شده است. با اجرای سریع محاسبه مقدار هر متغیر خروجی هر حالت توسط نرم‌افزار مقادیر درصد عبور عابرین پیاده از هر پل برای هر حالت به ترتیب برابر ۵۰، ۹۳، ۳۳، ۵۰ به دست آمده است. در جدول (۵) ارزش قطعی متغیر درصد عابرین استفاده کننده از هر پل در هر حالت آورده شده است. با توجه به مقادیر قطعی به دست آمده هر حالت، مشخص شده است که تنها در حالت ۳ نیاز به احداث پل نبوده و در حالت‌های دیگر پل عابر پیاده مورد استفاده عابران پیاده قرار خواهد گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤. نمونه‌ای از فرآیند استدلال فازی و نافازی سازی برای حالت ۱

هویت		کنترل درک شده		عرض خیابان		حجم خودروهای عبوری		نحوه هدایت		تسهیلات		طول مانع میانی		حداقل	شماره قاعده	حالت درصد افراد عبور کرده	درجه درستی هر فرضیه	درجه درستی هر قاعدی	مقدار قطعی درصد افراد عبور کننده
VH	۱	VH	۱	M	۰/۲۳	H	۰/۲۶	L	۱	H	۱	VH	۰/۲۸	۰/۲۳	NA	همه	۰	۰	۵۰
H	۱	L	۱	H	۰/۷۲	۰/۲۳	NA	همه	۰	۰									
VH	۱	L	۱	H	۰/۲۸	۰/۲۳	NA	همه	۰	۰									
VH	۱	L	۱	H	۰/۷۲	۰/۲۳	NA	همه	۰	۰									
H	۱	L	۱	H	۰/۲۸	۰/۲۶	NA	همه	۰	۰									
H	۱	L	۱	H	۰/۷۲	۰/۲۶	NA	همه	۰	۰									
VH	۱	L	۱	H	۰/۲۸	۰/۲۸	۲	M	۰/۰۴	۰/۰۱۲									
VH	۱	L	۱	H	۰/۷۲	۰/۷۲	NA	همه	۰	۰									

NA: در بلوک قواعد تعریف نشده

جدول ۵. ارزش قطعی متغیر درصد عابرین استفاده کننده

حالت	۱	۲	۳	٤
ارزش قطعی	۵۰	۹۳	۳۳	۵۰

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه از دو روش مشاهده و پرسشنامه برای جمع‌آوری اطلاعات حاصل از ٤۰ پل عابر پیاده مختلف استفاده شده است. متغیرهای استفاده شده در این مطالعه در مجموع شامل هویت، کنترل درک شده، حجم خودروهای عبوری، عرض خیابان، طول مانع میانی، نحوه هدایت عابرین پیاده، تسهیلات پل عابر پیاده و درصد عابرین عبور کرده از پل عابر پیاده بوده است. که از این متغیرها، ۷ متغیر به عنوان متغیر ورودی و ۱ متغیر به عنوان متغیر خروجی در آزمون فرض فازی استفاده شده است. از استلزام لارسن که براساس ضرب عملگرها عمل کرده، استفاده شده است. همچنین از روش K-Means در نرم‌افزار SPSS برای خوشه‌بندی داده‌ها استفاده شده است. با توجه به توابع عضویت معرفی شده و همچنین با توجه به نوع متغیرهای این مطالعه از تابع عضویت مثلثی که با استفاده از نرم‌افزار FuzzyTECH ایجاد شده، برای تشکیل توابع عضویت همه متغیرها استفاده شده است. پس از تشکیل توابع عضویت هر متغیر توسط نرم‌افزار FuzzyTECH ، مقادیر قطعی هر متغیر به مقادیر زبانی تبدیل شده است. سپس یک مجموعه قواعد فازی با درجه حمایت بیشتر از ۰/۰۱ ساخته شده است، که از این بلوک قواعد برای تصمیم‌گیری فازی استفاده شده است. در آخر نتایج به دست آمده از نرم‌افزار FuzzyTECH با نتایج جمع‌آوری شده مقایسه شده و در غالب یک نمودار نشان داده شده است.

سیستم فازی خبره ارایه شده در این مطالعه به تصمیم‌گیران حوزه حمل‌ونقل کمک می‌کند تا متغیرهای انسانی و محیطی تاثیرگذار بر درصد استفاده از هر پل را بهتر بشناسند. در احداث پل‌های جدید و مکان‌یابی آنها تصمیمات بهتری را اتخاذ کنند. استفاده از مدل فازی برای دستیابی به نتایج در این سیستم در قالب درصد عبور عابرین پیاده از پل عابر پیاده بیان شده است. روش تصمیم‌گیری در محیط فازی با بهره‌گیری از رویکرد استدلالی ما را قادر ساخته تا مدلی را برای پیش‌بینی ایجاد کنیم که با استفاده از روش‌های رایج آماری امکان‌پذیر نبوده است. توابع عضویت ۵ حالتی و مثلثی معرفی شده در این مطالعه پاسخ‌های دقیقی را نتیجه داده است که همبستگی خوبی با نتایج اصلی برگرفته از

www.SID.ir

Archive of SID

اطلاعات جمع‌آوری شده داشته است. با توجه به نتایج بدست آمده از این مطالعه در زمینه ایمنی عبور عابرین پیاده از معبر بین تقاطعی با استفاده از پلهای عابر پیاده، اکنون پیشنهاداتی در زمینه بهبود وضع موجود پلهای عابر پیاده و همچنین تصمیم‌گیری در ارتباط با احداث یا عدم نیاز به احداث پل‌های عابر پیاده در زیر آورده شده است.

۱-بسیاری از پل‌های عابر پیاده با عرض خیلی کم مشاهده شده است که درصد عابرین استفاده کننده از آنها خیلی کم بوده است. در ارتباط با این مورد چند راهکار پیشنهاد شده است: اولین راهکار جمع‌آوری این گونه از پل‌ها می‌باشد. دومین راهکار درصورتی که حجم خودروهای عبوری خیلی زیاد بوده باشد، اگر خیابان یک طرفه باشد، بین پیاده‌رو و خیابان مانع ایجاد شود تا از عبور عابرین از بین خودروها جلوگیری شود. اگر خیابان دو طرفه باشد؛ مانع در میانه خیابان ایجاد شود تا از عبور عابرین از بین خودروها جلوگیری شود.

۲-در ارتباط با پل‌های عابری که مانع میانی نداشته‌اند یا طول مانع آنها از مقدار استاندارد تعیین شده کمتر بوده است، راهکارهای زیر پیشنهاد شده است: اولین راهکار ایجاد مانع استاندار در میانه خیابان بوده است. دومین راهکار ایجاد مانع بین پیاده‌رو و خیابان است. سومین راهکار وجود همزمان موارد ۱ و ۲ جهت افزایش درصد عابرین است.

۳- تسهیلات پل عابر پیاده بسیار تاثیرگذار در درصد استفاده عابرین پیاده از آن پل بوده است. در ارتباط با این مورد راهکارهای زیر ارایه شده است: بسیاری از عابرین پیاده دلیل استفاده نکردن خود را از پل عابر پیاده دشواری بالا رفتن از پله‌های پل عابر پیاده عنوان کرده‌اند؛ وجود پله‌برقی یا آسانسور می‌تواند تاثیر زیادی را در استفاده بیشتر عابرین پیاده داشته باشد. داشتن پله‌های نرم و مناسب و استاندار به صورتی که دارای لغزندگی در زمستان نباشند، و به آسانی بتوان از آنها بالا و پایین آمد نیز موثر است. روشنایی پل‌ها در هنگام تاریکی هوا؛ برای آسان کردن دید عابرین پیاده و افزایش امنیت آنها بسیار مهم است. مسقف بودن پل عابر پیاده چه در فصل تابستان برای جلوگیری از تابش مستقیم آفتاب در ظهر و چه در فصل زمستان برای جلوگیری از لغزندگی پله‌ها بسیار تاثیرگذار است.

٤-فاکتورهای هویت و کنترل درک شده عابرینی که در حوزه نفوذ پل در حال عبور هستند، در استفاده آنها از پل‌های عابر پیاده بسیار اثرگذار بوده است. با توجه به بلوک قواعد به دست آمده در این تحقیق، موارد زیر در ارتباط با فاکتورهای انسانی وجود داشته است: اگر هویت و کنترل درک شده دارای کیفیت خوبی باشند، آنگاه در اکثر موارد درصد عابرین استفاده کننده از پل عابر پیاده زیاد خواهد بود. اگر هویت دارای کیفیت خوب و کنترل درک شده دارای کیفیت خیلی خوبی باشند، مشاهده شده است که به دلیل ضعیف بودن تسهیلات پل و نحوه هدایت بد، در اکثر موارد درصد عابرین استفاده کننده از پل عابر پیاده کم بوده است. اگر هویت و کنترل درک شده دارای کیفیت متوسط باشند؛ آنگاه در اکثر موارد درصد عابرین استفاده کننده از پل عابر پیاده متوسط خواهد بود. مشخص شده است که هویت و کنترل درک شده خیلی کم، باعث عبور خیلی کم عابرین پیاده از هر پل شده است. از این موارد می توان نتیجه گرفت که فاکتورهای هویت و کنترل درک شده عابرین می‌تواند با توجه به فاکتورهای محیطی مختلف بطور زیادی در درصد استفاده از پل‌های عابر پیاده اثرگذار باشد. پیشنهاد شده که با توجه به اهمیت این دو فاکتور انسانی می‌توان از طریق آموزش بیشتر و آگاه کردن عابرین پیاده از خطرهای بالقوه موجود در عبور از خیابان، سطح کیفی هویت و کنترل درک شده عابرین پیاده را بالا برد تا بتوان شاهد استفاده بیشتر از پل‌های عابر پیاده بود.

۵-در خیابان‌هایی با عرض خیلی زیاد، به دلیل حجم بالای خودروهای عبوری و وجود مانع میانی در بسیاری از موارد عابرین پیاده مجبور به عبور بوده‌اند. درحالی که وضعیت پل-های عابر پیاده از لحاظ تسهیلات و نحوه هدایت بسیار ضعیف بوده است و عابرین با هر کیفیتی از هویت و کنترل درک شده از پل عابر پیاده استفاده کرده‌اند. پیشنهاد می‌شود که در خیابانهای عریض، صددرصد پل عابر پیاده احداث شود. نحوه هدایت عابرین پیاده توسط تابلوهای محل عبور پیاده، نرده‌کشی پیاده‌رو، تغییر سنگ‌فرش پیاده‌رو، وجود ایستگاه مترو یا اتوبوس در حوزه نفوذ پل عابر پیاده همگی در استفاده عابرین پیاده از پلهای عابر پیاده اثرگذار بوده است. وجود تابلو محل عبور عابر پیاده بسیار کم مشاهده شده است، لذا پیشنهاد شده به عنوان اولین راهکار در حوزه

www.SID.ir

Archive of SID

نفوذ پل‌های عابر پیاده موجود، تابلوی محل عبور عابر پیاده نصب شود. دومین راهکار نرده‌کشی بین پیاده‌رو و سواره‌رو می‌باشد. سومین راهکار احداث پل‌های عابر پیاده در نزدیکی ایستگاه‌های مترو و اتوبوس به منظور استفاده بیشتر عابرین پیاده از پل‌های عابر پیاده است. تغییر سنگ‌فرش پیاده‌رو از دو منظر زیبایی و جلب توجه عابرین پیاده برای استفاده از پل عابر پیاده بسیار دارای اهمیت است.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. Fuzzy Decision Support System
2. Degree of Satisfaction

۷- مراجع

-ایرانمنش، س.ح. و پاشاپور، ش. و آسترکی، م.، (١٣٩٤)، "سیستم‌های خبره: رویکردی کاربردی"، ناشر شرکت هزاره سوم اندیشه.

-آذر، ع. و فرجی، ح. (۱۳۹۵)، "علم مدیریت فازی" (چاپ پنجم)، مؤسسه کتاب مهربان نشر.

-بهنود، ح. و پیرایش نقاب، م. ح. و آیتی، ا.، (۱۳۹۲)، "ایجاد سیستم پشتیبانی از تصمیم فازی در مدیریت و برنامه ریزی اقدامات ایمن سازی راه"، مهندسی حمل‌ونقل، سال پنجم، شماره دوم.

-جاسبی، ج. و مکوندی، پ. (۱۳۹۰)، "مدلسازی فرآیند پیش‌بینی سفر در برنامه‌ریزی حمل و نقل درون شهری مبتنی بر رویکرد ترکیبی استنتاج فازی"، فراسوی مدیریت، سال پنجم، شماره ۱۷، تابستان ۱۳۹۰، ص. ۷-۳۲.

-عدل‌پرور، م. (۱۳۹۱)، "بکارگیری منطق فازی در مدل سازی انتخاب وسیله نقلیه سفرهای برون شهری"، مهندسی حمل و نقل، پاییز ۱۳۹۱، سال چهارم، شماره اول.

-کلاهدوز، ع. و ملاسلمانی، م. و کلی، ز. (١٣٩٤)، "تحلیل و ارزیابی ایمنی عبور عابرین پیاده از عرض خیابان در تقاطعهای چراغدار بر اساس ویژگیهای رفتاری عابرین"، پانزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، ۱۲-۱۱اسفند، تهران، ایران.

-Balk, S.A. And Bertola, M.A. And Shurbutt, J. And Do, A. (2014), "Human Factors Assessment of Pedestrian Roadway Crossing Behavior". Publication No. fhwa-hrt-13-098.

-Castro, J.L. and Delgado, M. and Medina, J. and Ruiz-Lozano, M.D. (2011), "An expert fuzzy system for predicting object collisions". Its application for avoiding pedestrian accidents. Expert Systems with Applications 38 (2011), pp.486–494.

-Durkin, J. (1994), Expert Systems: Design and Development, New York.

-Evans, D. and Norman, P. (1998), 'Understanding pedestrians' road crossing decisions: an application of the theory of planned behaviour', Health Education Research, vol.13 no.4, pp.481-489.

García, F. and García, J. and Ponz, A. and DE LA Eacalera, A. and Armingol, J.M. (2014), "Context aided pedestrian detection for danger estimation based on laser scanner and computer vision". Expert Systems with Applications 41 (2014), pp.6646–6661.

-Holland, C.A. and Hill, R. and Cooke, R. (2009) 'Understanding the role of self-identity in habitual risky behaviours: pedestrian road crossing decisions across the lifespan', Health Education Research, 24(4), pp.674-685.

-Hong, T.P. and Lee, CH. Y.(1996) 'Induction of fuzzy rules and membership functions from training examples', Fuzzy Sets and Systems 84, pp.33-47.

-Obaidat, M.T. and Al-Masaeid, H. and Al-Haji, J. and Qudah, A. (2007), "A Knowledge-based System for Pedestrian's Roadway Crossing Behavior through Video Cameras". Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 1, No. 2.

-Wang, L. X. (1999), "A course in fuzzy systems: Prentice-Hall press", USA.

www.SID.ir