یادداشت پژوهشی

شناسایی نقش اجزای مختلف راههای دو خطه دو طرفه بین شهری در ایمنی با استفاده از یک رویکرد ناهمفزون

میقات حبیبیان ، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
E-mail: habibian@aut.ac.ir

دریافت: ۹۱/۰۳/۲۰ پذیرش: ۹۱/۱۰/۰۲

چکیده

یکی از مشکلات دست اندرکاران و متولیان ایمنی راههای برون شهری، ارتقای سطح ایمنی جاده‌ها در شرایط فقدان اطلاعات و یا دقیق نبودن آمار تصادفات جاده ای است. این مساله بویژه در تعیین اولویت تخصیص بودجه ارتقای سطح ایمنی به نقاط مختلف یک جاده یا شبکه جاده ای به چشم می‌خورد. هر چند در برخی مطالعات، میزان خطرآفرینی نسبی برخی معیارهای ایمنی از دیدگاه کلان مورد بررسی قرار گرفته است، لزوم یک نگرش ناهمفزون برای شناسایی نقش تمامی اجزای راه به چشم می‌خورد تا بتوان میزان خطرآفرینی نقاط مختلف جاده را در شرایط فقدان آمار تصادفات نیز محاسبه کرد. در این مقاله با استفاده از یک رویکرد ناهمفزون نقش ٤٧ عامل از اجزای راه دو خطه دو طرفه بین شهری در میزان خطرآفرینی آن به دست آمده است. به این منظور با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در تحلیل میزان خطرآفرینی هر یک از محدوده‌های جاده، نقش هر یک از این اجزا و عوامل تشکیل دهنده آنها در احتمال بروز حادثه برای وسایل نقلیه محاسبه شده است. تحلیل پرسشنامه هایی که توسط متخصصین ایمنی جاده ای تکمیل شده، نشان می‌دهد که محدوده‌های شامل کاربریهای حاشیه راه و پارکینگهای بین راهی، پلها، دسترسیها و تقاطعات، تونلها، قوسها و محدوده مسیر مستقیم، به ترتیب بیشترین نقش در بروز تصادفات جاده ای را برعهده دارند. این مطالعه نشان می‌دهد که از بین عوامل مورد بررسی، ۱۲ عامل مهم تر، در بروز حوادث جاده ای در مجموع ۵۰ درصد از احتمال بروز حادثه را تشکیل می‌دهند.

واژه های کلیدی: ایمنی، راه دوخطه دو طرفه، اجزای جاده، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، خطر.

۱. مقدمه

در دهه گذشته هر سال بیش از ۲۰ هزار کشته در تصادفات رانندگی در کشور ایران گزارش شده است که از این میزان حدود ۷۰ درصد آن در خارج از محوطه‌های شهری رخ داده است [ILMO, 2009]. صرفنظر از راههای دسترسی به روستاها، ۸۵ درصد از شبکه راههای بین شهری ایران را راههای اصلی و فرعی تشکیل می‌دهند که اکثریت قریب به اتفاق آن، راههای دوخطه دوطرفه اند[RMTO, 2012]. آمارها نشان می‌دهند که این بخش از شبکه راههای برون شهری، محل وقوع بین ۵۰ تا ۶۰ درصد از تصادفات برون شهری در سالهای گذشته بوده اند [Saffarzadeh et al., 2007]. بر اساس اهمیت مساله ایمنی راههای دوخطه دوطرفه در کشور، مطالعات متنوعی نیز بر این مساله تمرکز یافته است که از جمله آن می‌توان به توسعه مدلهای پیش بینی تصادفات در قوسها [Saffarzadeh et al., 2007]، بررسی شدت مصدومیت تصادفات [Shariat Mohaymani & Kashani, 2010]، ارزیابی شدت تصادفات واژگونی خودروها [Fotovati et al., 2010] و مواردی از این قبیل در این بخش از شبکه معابر بین شهری اشاره کرد. در مطالعات ایمنی ترافیک به طور کلی چهار عامل اصلی انسان (راننده)، راه، وسیله نقلیه و شرایط محیطی مد نظر قرار می‌گیرند [Evans, 2004; Ogden, 1996] و این در حالی است که مهندسین ترافیک تنها بر عامل راه به طور مستقیم کنترل دارند. هرچند مبحث ایمنی ترافیک در مراجع مختلف به صورتهای متفاوتی بررسی شده است، ولی اساس آن أثرگذاری بر عوامل فوق است [Christoforou et al., 2010; Das et al., 2009; Sobhani et al., 2010]. بر اساس دسترسی به اطلاعات تصادفات، تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه پیش بینی تعداد تصادفات با استفاده از مدلهای آماری انجام شده است که به عنوان نمونه هایی از آنها می‌توان به [Chung et al., 2009; Haung et al., 2009; Li et al., 2008]اشاره کرد. در شرایط فراهم بودن اطلاعات بیشتر، برخی از مطالعات، اقدام به تحلیل شدت تصادفات کرده [Jung et al., 2010; Zhu et al., 2010] و در مواردی نیز تلاش برای برآورد تعداد تصادفات با شدتهای مختلف انجام شده است [Naderan & Shahi, 2010; Ma et al., 2008].

چنان که دیده می شود، اطلاعات تصادفات، منجر به پیشرفتهایی در راستای شناسایی نقاط حادثه خیز و برآورد میزان حادثه خیزی آنها شده است. از سوی دیگر، استفاده از اطلاعات تصادفات ممکن است به دلایلی چون فراهم نبودن اطلاعات، وجود خطا، نقصان و کمبود دقت مورد نیاز، امکان‌پذیر نباشد. از آنجا که در آزادراهها و بزرگراهها نظارت و کنترل پلیس به علت سرعت بیشتر خودروها و افزایش احتمال خطرآفرینی آنها شدیدتر است، اطلاعات تصادفات نیز نسبت به سایر راهها از دقت بیشتری برخوردار بوده و این امر ممکن است منجر به اعتماد کمتر به فرآیند ثبت دقیق اطلاعات تصادفات حتی در راههای دوخطه دوطرفه دارای آمار تصادفات شود. با این وصف، عدم ثبت محل وقوع تصادفات بر اساس کیلومتراژ دقیق محل سانحه و ثبت آن در بازه‌های مکانی بزرگ (حداقل پنج کیلومتر)، عملا حساسیت اطلاعات را نسبت به عامل راه به عنوان یکی از چهار عامل اصلی بروز تصادف از بین می‌برد. این امر موجب می شود تا مطالعات انجام گرفته بر اساس اطلاعات تصادفات در کشور نیز صرفا قابلیت پیش بینی بازه‌های حادثه خیز (به جای محل دقیق نقاط حادثه خیز) را داشته باشند. در این راستا، برخی از مطالعات، تأکید بر لزوم پایه گذاری روشهای مستقل از آمار تصادفات کرده [Saffarzadeh et al. 2008] و مطالعاتی نیز به تبیین جایگاه روشهای غیر آماری در آیین نامه‌های معتبر ایمنی پرداخته اند [Mesbah and Habibian, 2006].

در این مطالعه در نظر است تا در رویکردی ناهمفزون[1] نقش اجزای راههای دوخطه دوطرفه بین شهری در ایمنی شناسایی شود تا بتوان بر اساس آن اقدام به برآورد میزان سطح خطر جاده‌ها در شبکه جاده ای در شرایط فقدان آمار تصادفات کرد. با شناسایی سطح خطر جاده، می‌توان در شرایط فقدان آمار تصادفات برآوردی از اولویت اختصاص بودجه‌های ارتقای سطح ایمنی به شبکه جاده ای به دست آورد. مطالعات پیشین نشان می‌دهند که در شرایط فقدان آمار تصادفات، بازرسی ایمنی راه از معدود روشهای قابل استفاده در مطالعات ایمنی راههای دوخطه دوطرفه بین

شهری است [Habibian & Karamroudi, 2007]. در حقیقت توجه ویژه متخصصین ایمنی در ترافیک به بازرسی ایمنی راه[۲] در سالهای اخیر، منجر به تدوین آئین نامه هایی در برخی کشورها مثل آفریقای جنوبی [CLTO, 1999]، کانادا [Transportation Dept, 1999]، و استرالیا [AUSTROADS, 1994] شده که می‌توانند مبنایی برای ارزیابی ایمنی شبکه معابر قرار گیرند. صفارزاده و همکاران در مطالعه ای بر روی راههای یکطرفه و دوطرفه بین شهری، میزان اثر معیارهای موثر بر ایمنی شامل وضعیت فیزیکی، هندسی، ترافیکی، فاصله از مراکز جمعیتی و نقاط خاص جاده (پل، تونل، گردنه و نقاط مه گیر) را با استفاده از روش دلفی محاسبه کردند [Saffarzadeh et al. 2008]. هرچند این معیارها تا حدودی با یکدیگر همبستگی دارند، این مطالعه نشان می‌دهد که بر اساس نظرات کارشناسان آشنا به مسایل ایمنی، معیارهای وضعیت هندسی، فاصله از مراکز جمعیتی، نقاط خاص جاده، وضعیت فیزیکی و وضعیت ترافیکی به ترتیب در ایمنی شبکه معابر بین شهری اثر گذارند. مطالعه فوق نقش ١٤ مورد (شامل معیارها و عاملهای درنظر گرفته شده) را در تصادفات محورهای بین شهری ارایه کرده است. در مطالعات کلانی که توسط انجمن راههای ایالتی و حمل‌ونقل آمریکا[۳] و بر اساس بررسی آمار سالیانه تصادفات انجام گرفته و مبنای مطالعات بسیاری چون [Cafiso et al. 2007; Cafiso et al. 2010] در ایمنی راههای دو خطه دو طرفه بین شهری در ایتالیا نیز قرار گرفته است، میزان خطرآفرینی نسبی پل برابر ۵، خاکریزی برابر با ۳، مقاطع خطرناک راه برابر با ۲، موانع ثابت نظیر پایه تجهیزات و درختان برابر با ۲ و زهکش‌های کنار راه برابر با ۱ گزارش شده شده است [AASHTO, 2002]. آیتی و همکاران بر اساس نظرات کارشناسان ایمنی ترافیک با تعریف ۱۲ عامل برای مجموعه اجزای مورد اشاره در مطالعه انجمن راههای ایالتی و حمل‌ونقل آمریکا، با استفاده از روش دلفی اثر اجزای فوق را در بروز تصادفات خروج از محور در راههای دوخطه دوطرفه بین شهری به دست آوردند [Ayati et al. 2012]. حبیبیان و همکاران در رویکردی ناهمفزون بر مبنای افراز راه دوخطه دوطرفه به اجزای هندسی آن شامل قسمت مستقیم، قوس‌های افقی و قایم، تونل، پل، دسترسیها و تقاطعات، و مقاطع خطرناک راه (وجود کاربریها و پارکینگهای حاشیه ای راه)، ضمن شناسایی عوامل موثر بر ایمنی هریک از بخشهای هندسی مسیر، چگونگی تعریف و محاسبه شاخصی برای محاسبه ایمنی راه دوخطه دوطرفه را ارایه کرده اند [Habibian et al. 2011]. مطالعات مورد اشاره در بالا نشان دهنده آن است که اگرچه در برخی موارد نسبت خطرآفرینی اجزای جاده های دوخطه دوطرفه بین شهری به طور کلان مورد بررسی قرار گرفته است، اما مطالعه جامعی بر شناسایی عوامل هر یک از معیارهای کلی انجام نشده است. به عنوان مثال در مطالعه اداره راههای ایالتی و حمل و نقل آمریکا صرفا به دسته بندی عوامل به پنج دسته کفایت شده و یا در مطالعه صفارزاده و همکاران تفاوت عوامل بروز خطر (مانند نا مناسب بودن روسازی، زهکشی و علایم افقی نامناسب) در مقاطع مختلف جاده مانند قوس قایم، قوس افقی، پل یا تونل با بخش مستقیم مسیر یکسان فرض شده است. از آنجا که چنین مطالعاتی بر استفاده از روشی چون بازرسی ایمنی راه که بر مبنای نظر کارشناسان استوار است، اشاره دارند، اهمیت ویژه شناسایی دقیق تر عوامل بروز تصادف به صورت گسترده و به صورت ناهمفزون مشخص می شود.

این مطالعه به طور مشخص بر راههای دوخطه دوطرفه بین شهری و بر اساس نظرات کارشناسان ایمنی راههای دوخطه دوطرفه بین شهری تمرکز یافته است. به این منظور، بر اساس تقسیم بندی پیشنهاد شده توسط حبیبیان و همکاران بر مبنای خصوصیات هندسی مسیر، نقش عوامل موثر بر وضعیت ایمنی این دسته از راهها به دست آمده است. در این راستا با بررسی جامع عوامل موثر بر ایمنی در هر یک از بخشهای مسیر که مجموعا ٤٧ عامل را تشکیل می‌دهد، تلاش شده تا مجموعه ای کامل برای بررسی مساله ایمنی راههای دوخطه دوطرفه بین شهری تدوین شود که می‌تواند در امر بازرسی ایمنی این دسته از راهها نیز مد نظر قرار گیرد. بر این اساس، ضمن معرفی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در بخش دوم و تعریف معیارها و عاملها در بخش سوم، نقش آنها در

ایمنی راههای دوخطه دوطرفه بین شهری در بخش چهارم ارایه شده است. در بخش پنجم نتایج و در بخش ششم نیز جمع بندی و پیشنهادات این پژوهش ارایه شده است.

۲. روش مطالعه

۲-۱ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[۴]، بر اساس شکستن مسئله به یک سیستم چند لایه‌ای (ترتیبی) متشکل از تعدادی معیار و عامل صورت می‌گیرد [Saaty, 1990]. در این فرآیند هر معیار شامل تعدادی زیرمعیار است که اصطلاحا عامل نامیده می شوند. ساختاری که در این فرآیند برای حل مسأله در نظر گرفته می‌شود تا حدودی مشابه ساختاری است که در روش نمره دهی[۵] بیان می‌شود [Habibian & Karamroudi, 2007]؛ با این تفاوت که در روش نمره دهی بازرس ایمنی مستقیماً وزن معیارها را مشخص می‌کند، در حالی که در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی این وزنها از مقایسه‌های متعدد وی بین معیارها و عاملها با روشی ریاضی به دست می‌آید. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی شامل پنج گام است [Saaty, 1990]: در گام اول پس از تعیین هدف، کلیه معیارها و عاملهای مطرح در مسئله مشخص می‌شوند. بر اساس هدف مطالعه، در گام دوم، با دسته بندی عامل های مربوط به هر معیار، ساختار سلسله مراتبی معیارها و عامل‌ها مشخص می‌شود. در گام سوم، با مقایسه‌های متعدد و متناظر بین عاملهای طبقه بندی شده در هر معیار، و سپس بین خود معیارها، ماتریس هایی به نام ماتریسهای مقایسه، A، تشکیل می‌شود. گام چهارم تعیین وزن هر معیار و سپس تعیین وزن هر عامل است، که مجموعه این وزن ها به صورت برداری ستونی بوده و ترانهاده آن را می توان به صورت رابطه (۱) نشان داد.

$$w^T=(w^1, w^2, \ldots, w^n) \quad (۱)$$

ساتی در مطالعه‌ای نشان داد که مطابق با رابطه (۲)، بردار w معادل با بردار ویژه نظیر بزرگ ترین مقدار ویژه ماتریس A است [Saaty, 1990].

$$Aw=\lambda_{max}w \quad (۲)$$

در این رابطه λ_{max} برابر با بزرگ ترین مقدار ویژه ماتریس A است. چنانچه ذکر شد در این روش تمام معیارها به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه شده و از این رو پاسخگو باید به درستی قادر به تمایز اثر آنها از یکدیگر باشد. بر این اساس لازم است تا میزان مطابقت پاسخهای پاسخگویان سنجیده شود. در گام پنجم، به منظور بررسی تطابق و هماهنگی در پاسخهای ارایه شده توسط متخصصین، کمیتی تحت عنوان نسبت سازگاری[۶]، CR، به کار گرفته می‌شود، که از رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$CR=CI/RI \quad (۳)$$

در این رابطه، RI، نشان دهنده اندیس سازگاری تصادفی[۷] است که مقدار آن به صورت تابعی از بعد ماتریس A، که با m نمایش داده می شود، از جدول ۱ به دست می‌آید. از آنجا که با افزایش بعد ماتریس مقایسه (افزایش تعداد عامل ها یا معیارها)، پیچیدگی مساله افزایش می یابد، آستانه سازگاری قابل قبول نیز مطابق جدول ۱ افزایش یافته است.

همچنین شاخص سازگاری[۸]، CI، برای ماتریس مربع m بعدی A، به صورت رابطه ٤ تعریف می‌شود.

$$CI=(\lambda_{max}-m)/(m-1) \quad (۴)$$

اوزان به دست آمده از هر متخصص برای معیارها و عامل‌های مورد بررسی تنها در صورتی مورد قبول است که نسبت

جدول ۱. مقادیر **RI** بر حسب بعد ماتریس **A**، **(m)**

m	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
RI	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲٤	۱/۳۲	۱/٤۱	۱/٤٥

سازگاری حاصل از رابطه ۳، کمتر از ۰/۱ باشد [Saaty, 1990].

۲-۲ معیارها و عامل‌ها

در این مطالعه معیارها بر اساس محدوده های قابل وقوع در راههای دوخطه دوطرفه بین شهری به صورت اجزای راه در نظر گرفته شده است. این اجزا شامل محدوده دسترسی‌ها و تقاطعات، محدوده کاربریهای حاشیه ای (مسکونی و خدماتی) و پارکینگهای بین راهی، محدوده پلها، محدوده تونلها، محدوده قوسها و محدوده مسیر مستقیم به عنوان معیارهای مستقل راه دوخطه دوطرفه بین شهری درنظر گرفته شده است.

به منظور در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف ایمنی، لازم است تا کلیه عوامل موثر بر هر یک از معیارهای فوق مورد مطالعه قرار گیرد. بر این اساس با بررسی آیین نامه‌ها و دستورالعملهای مربوط به بازرسی ایمنی راه، ٤٧ عامل به عنوان عوامل موثر بر ایمنی استخراج گردید [AUSTROADS, 1994; CLTO, 1999; Iran. Min.Edu, Res. and Tech, 2004; Transportation Dept, 1999]. جدول ۲ عاملهای موثر در هر یک از معیارهای این مطالعه را به اختصار نشان می‌دهد. از آنجا که در بخش بعد نیاز به علایم اختصاری برای نشان دادن عامل‌های مورد بررسی است، به هر عامل از معیارهای مورد بررسی یکی از حروف الفبا اختصاص داده شده است. چنان‌که ملاحظه می‌شود، در این رویکرد در مجموع ٤٧ عامل برای تبیین دقیق تر شش معیار مورد مطالعه در نظر گرفته شده است، که می‌تواند به عنوان لیست کنترلی در برداشت وضع موجود راههای دوخطه دوطرفه بین شهری استفاده شود.

۳. نقش معیارها و عامل‌ها

برای تعیین وزن معیارها و عاملها لازم بود تا از نظر کارشناسان ایمنی استفاده شود. برای این منظور در مرحله ابتدایی که صرفا مقایسه معیارها مطرح بود، پرسشنامه ای تنظیم شد و به صورت اینترنتی برای بیش از ۳۰ کارشناس و افراد مرتبط با ایمنی جاده ای ارسال گردید تا در صورت تمایل آنان، از نظراتشان در ایمنی راههای دوخطه دوطرفه بین شهری استفاده شود. متاسفانه در ۱۰ پرسشنامه از ۱۵ پرسشنامه پاسخ داده شده، نسبت سازگاری پاسخها قابل قبول نبود و از این رو تمرکز مطالعه بر پنج کارشناس باقیمانده قرار گرفت. در مرحله بعد با رجوع به این پنج کارشناس که سابقه فعالیت در پروژه طراحی راه ایمن دوخطه دوطرفه بین شهری در کشور را نیز داشتند [Atiehsaz, 2007]، از آنان دعوت به عمل آمد تا با پاسخ به مقایسه‌های بین عاملها، میزان اهمیت نسبی آنها را نیز مشخص کنند. به این ترتیب در مرحله اول اطلاعات مربوط به مقایسه معیارها و در مرحله دوم اطلاعات مربوط به مقایسه عاملها گردآوری شد. با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ماتریسهای مقایسه برای هریک از کارشناسان تشکیل و مقادیر شاخص سازگاری و نسبت سازگاری کارشناسان برای هر یک از فرآیندهای مقایسه توسط نرم افزار Matlab محاسبه شد. به دلیل برآورده نشدن آزمون نسبت سازگاری برای یکی از کارشناسان در مرحله دوم[۹]، نظرات وی از مطالعه حذف شد و در نهایت، وزن معیارها و در مرحله بعد وزن عاملهای مورد مطالعه از دید کارشناسان باقیمانده توسط نرم افزار مورد اشاره به دست آمد. ذکر این نکته لازم به نظر می رسد که با افزایش مقایسه ها و به تبع آن افزایش بعد ماتریس A، احتمال سازگار بودن نتایج بسیار پایین می آید و به همین دلیل مقدار اندیس سازگاری تصادفی در جدول ۱ نیز تابع بعد ماتریس A در نظر گرفته می شود. از این رو، در مقایسه عاملها که بعضا تا نه مورد را نیز شامل می شد، از طرح مساله برای سایر کارشناسان مرحله اول صرفنظر شد. جدول ۳ نشان دهنده میانگین مقادیر وزن دهی کارشناسان است. چنان که ملاحظه می‌شود کاربریهای حاشیه ای و پارکینگها بیشترین و

جدول ۲. عاملهای بررسی شده در معیارهای مورد مطالعه

معیار / عامل	دسترسی‌ها و تقاطعات	کاربریها و پارکینگ‌های بین راهی	محدوده تونل ها	محدوده قوس‌ها	محدوده پل ها	محدوده مسیر مستقیم
الف	عدم وجود تابلوی اطلاع رسانی	عدم وجود تابلوهای اطلاع رسانی لازم	عدم وجود تابلوهای اطلاع رسانی لازم	عدم وجود تابلوهای اطلاع رسانی لازم	عدم وجود تابلوهای اطلاع رسانی لازم	عدم وجود تابلوهای حداکثر سرعت و سبقت ممنوع
ب	عدم آشکارسازی مناسب و تامین روشنایی کافی	عدم آشکارسازی مناسب و تامین روشنایی کافی	عدم تأمین روشنایی کافی در طول تونل	عدم آشکارسازی مناسب و تامین روشنایی کافی	عدم آشکارسازی پل توسط تابلوها و یا وسایل آشکارساز	عدم وجود روشنایی کافی و آشکار سازها
ج	عدم وجود خط‌کشی (طولی، عرضی و فلش گذاری)	عدم وجود خط کشی‌های لازم	وجود قوس افقی در تونل	عدم وجود خط‌کشی‌های طولی، و عرضی هشداردهنده قبل از شروع قوس	عدم وجود خط‌کشی‌های طولی، و عرضی هشداردهنده قبل از شروع پل	عدم وجود خط‌کشی‌های طولی و عرضی هشداردهنده
د	عدم وجود پارکینگ‌های ایمن به دلیل کمبود عرض شانه	استفاده کاربری‌ها از شانه راه و عدم تأمین ورود و خروج ایمن	عدم وجود خط کشی طولی مناسب در طول تونل	کمبود عرض شانه در قوسهای افقی	کاهش عرض مقطع در پل‌ها نسبت به مسیر اصلی	عدم کفایت عرض شانه راه
ه	روسازی نامناسب	روسازی نامناسب	عدم پوشش آبروهای طولی و یا کمبود عرض شانه راه	ترکیب همزمان قوس‌قائم و قوس افقی	روسازی نامناسب	روسازی نامناسب
و	زهکشی نامناسب	زهکشی نامناسب	روسازی نامناسب	روسازی نامناسب	زهکشی نامناسب	زهکشی نامناسب
ز	عدم تأمین فاصله دید کافی	ناکافی بودن تعداد توقفگاهها و استراحتگاه ها	زهکشی نامناسب	زهکشی نامناسب	مهار نامناسب نرده و حفاظ پل	
ح	مکان نامناسب و تعدد تقاطع‌ها و دسترسی ها	عدم آرام سازی ترافیک قبل از مناطق مسکونی و یا کاربریهای خاص	وجود ضربه گیر نامناسب (حادثه ساز) در ورودی تونل	عدم تامین قابلیت دید در قوس افقی		
ط	عدم انجام آرامسازی قبل از محل مورد نظر			عدم تامین بربلندی در قوس افقی		

جدول ۳. وزن معیارهای مختلف در ایمنی جاده‌های بین شهری

معیار	دسترسی‌ها و تقاطعات	کاربریهای حاشیه ای و پارکینگهای بین راهی	تونلها	قوسها	پلها	مسیر مستقیم
وزن	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۰۵

بر اساس روش ارایه شده، وزن نسبی عاملهای هر یک از معیارهای مورد مطالعه نیز محاسبه گردید که مقادیر آن در جدول ٤ مشاهده می‌شود.

جدول ٤. وزن عاملهای هر معیار در ایمنی جاده‌های بین شهری

عامل	دسترسیها و تقاطعات	کاربریهای حاشیه ای و پارکینگهای بین راهی	تونلها	قوسها	پلها	مسیر مستقیم
الف	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۷
ب	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۱٦	۰/۲۰	۰/۲٤
ج	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۹
د	۰/۰۳	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۱۲
ه	۰/۱۳	۰/۰٦	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۰٦	۰/۱۹
و	۰/۰۷	۰/۰٤	۰/۰٦	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۸
ز	۰/۱٦	۰/۱۰	۰/۰٦	۰/۰٤	۰/۲۲	ن*
ح	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۱۹	ن	ن
ط	۰/۱۵	ن	ن	۰/۱۳	ن	ن
جمع	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰

*ن: معیار مورد نظر، عاملی تحت این عنوان ندارد (به بخش تعریف معیارها و عامل‌ها مراجعه شود).

مسیر مستقیم کمترین مشارکت را در احتمال بروز تصادف دارند.

٤. نتایج

بر اساس اهمیت نسبی معیارها ملاحظه می‌شود که در راههای دوخطه دوطرفه بین شهری حادثه خیزترین قسمت راه، محدوده کاربریهای حاشیه راه و پارکینگهای بین راهی است. از این رو، ایمن سازی این محدوده‌ها می‌تواند موثرتر از سایر محدوده‌ها در کاهش عوامل بروز تصادف کمک کند. همچنین در محدوده هایی که به دلیل تأمین نشدن حریم راه، احتمال توقف وسایل نقلیه در حاشیه راه وجود دارد، احتمال بروز تصادف بسیار بیشتر است. از این مبحث می‌توان به لزوم مدیریت کاربریهای حاشیه راههای بین شهری اشاره کرد. ازسوی دیگر تردد عابرین پیاده در این مقاطع بر شدت حادثه‌خیزی محدوده نیز می‌افزاید. با نگاهی به عاملهای تشکیل دهنده این معیار ملاحظه می‌شود که عاملهای ب: عدم آشکار سازی مناسب و تامین روشنایی، د: استفاده کاربریهای حاشیه راه از شانه راه (عدم وجود مکان مناسب برای توقف ایمن وسایل حمل و نقل همگانی و کامیونها، و یا عدم وجود فضای کافی برای تخلیه و بارگیری ملزومات کاربری ها) و عدم تأمین لچکی به منظور ورود و خروج ایمن در پارکینگ و کاربریهای حاشیه ای، و ح: عدم وجود وسایل آرام ساز ترافیکی (تابلوهای حداکثرسرعت، چشم گربه‌ای، سرعتگاه) قبل از ورودی به مناطق مسکونی و یا مناطق با کاربریهای خاص، بیشترین تاثیر را بر حادثه خیزی محدوده کاربریهای حاشیه راه و پارکینگها دارند.

پس از محدوده کاربریهای حاشیه ای و پارکینگهای بین راهی در شبکه جاده ای، محدوده پلها، دارای بیشترین احتمال بروز خطر است. با مطالعه جدول ٤، ملاحظه می‌شود که عاملهای د: وجود کاهش عرض مقطع در پلها نسبت به مسیر اصلی، ز: مهار نامناسب نرده و حفاظ پل، و ب: عدم آشکارسازی پل توسط

تابلوها و یا وسایل آشکارساز، به ترتیب بیشترین نقش را در احتمال بروز حادثه ایفا می کنند.

محدوده خطرآفرین بعدی محل دسترسی‌ها و تقاطعات همسطح در شبکه جاده ای است، که استفاده نکردن از تجهیزات آشکارسازی و نبودن روشنایی کافی در دسترسیها و تقاطعها مهم ترین عامل بروز تصادف شناخته شده است. پس از این عامل، عاملهایی چون، ز: نبود فاصله دید کافی در تقاطعها و دسترسیها، ح: مکان نامناسب و تعدد تقاطعها و دسترسیها و ط: عدم انجام آرامسازی قبل از محل مورد نظر، با اهمیتی تقریبا یکسان منجر به بروز حادثه می‌شوند.

محدوده‌های تونلها و قوسها محدوده های خطرآفرین بعدی با اولویتی برابرند. برای محدوده تونلها عاملهای ب: عدم تأمین روشنایی کافی در طول تونل، و ج: وجود قوس افقی در تونل، حادثه زا ترین عوامل به شمار می‌روند. همچنین برای قوسها نیز عاملهای ه: ترکیب همزمان قوس‌قائم و قوس افقی، و ح: عدم تامین قابلیت دید در قوس افقی، به عنوان خطرناک ترین عوامل شناسایی شده اند.

در قسمت مستقیم مسیر نیز هرچند احتمال بروز حادثه بین یک سوم تا یک چهارم سایر محدوده‌های مورد اشاره در بالا است، اما عاملهای ب: عدم وجود روشنایی کافی و آشکار سازها، ج: نبود خط‌کشی‌های طولی و عرضی هشداردهنده، ه: وجود روسازی نامناسب و الف: نبود تابلوهای حداکثر سرعت وسبقت ممنوع، به ترتیب خطرناک ترین عوامل هستند.

با درنظرگرفتن وزن معیارها در عاملهای تشکیل دهنده آنها، می‌توان میزان خطرآفرینی هر یک از ٤٧ عامل مورد بررسی را به دست آورد. جدول ۵ نشان دهنده ۱۲ عامل مهم تر احتمال بروز حادثه در راههای دوخطه دوطرفه بین شهری است.

۵. جمع بندی و پیشنهادات

در این مقاله نقش اجزای راههای دو خطه دو طرفه بین شهری در احتمال بروز سوانح رانندگی بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمده است. از آنجا که یکی از بزرگ ترین مشکلات در تحلیل وضعیت حادثه خیزی جاده‌های کشور، عدم ثبت دقیق آمار تصادفات است و حتی در شرایط وجود آمار تصادفات نیز به دلیل طولانی بودن قطعات ثبت شده به عنوان محل سانحه در گزارشهای راهنمایی رانندگی، امکان تحلیل دقیق بر اساس اجزای راه وجود ندارد، استفاده از نتایج این مطالعه می‌تواند گام موثری در شناسایی و ایمن سازی نقاط حادثه خیز جاده ای داشته باشد. بر این اساس، در شرایطی که نیاز به اولویت بندی تخصیص بودجه برای ایمن سازی نقاط حادثه خیز بر اساس معیاری کمی است، نتایج این مقاله به شکلی مؤثر و عملی می‌تواند در راستای کمی کردن خطرآفرینی جاده‌ها بکار رود.

چنان که ملاحظه می شود، ۱۲ عامل مهم تر بررسی شده در این مطالعه مجموعا حدود ۵۰ درصد احتمال بروز تصادف را شامل می‌شوند که بیانگر اولویت رفع آنها در پروژه‌های ایمن سازی این دسته از معابر است. به بیان دیگر، در برنامه‌های ارتقای ایمنی راههای دوخطه دوطرفه بین شهری، با اختصاص بودجه به این ۱۲ عامل می‌توان احتمال بروز حادثه را تقریبا به نصف رساند. به طور کلی این مطالعه نشان می‌دهد که به ایمن سازی و بهبود عوامل مربوط به محدوده‌های کاربریهای حاشیه راه و پل‌ها باید توجه بیشتری نسبت به سایر محدوده‌ها مبذول داشت.

هرچند مبنای متفاوت در نظر گرفتن معیارها و بررسی دقیق تر عاملها در این مطالعه نسبت به دیگر مطالعات پیشین امکان مقایسه متناظر نتایج را فراهم نمی سازد، تفاوتهای نسبی میزان خطرآفرینی عوامل بررسی شده در مطالعاتی از این دست را می‌توان به نوعی به تفاوت اثر سه عامل اصلی دیگر (انسان، وسیله نقلیه و محیط) نیز نسبت داد. انتظار می رود تفاوت در فرهنگ رانندگی، تجهیزات ایمنی خودروها (کمربند ایمنی، سیستمهای هشدار درون خودرویی و...) و تفاوتهای اقلیمی منجر به تفاوت اثر اجزای راه در ایمنی راههای کشورهای مختلف شود.

قابل ذکر است که با تغییر برخی از فرضیات صورت گرفته در این مطالعه، می‌توان پیشنهاداتی را به شرح زیر برای پژوهشهای آینده مطرح کرد:

به منظور افزایش قابلیت اعتماد به نتایج به دست آمده، همواره

جدول ۵. نقش عوامل بروز حادثه در راههای دوخطه دوطرفه بین شهری

رتبه	عامل	نمره کل (از ۱۰۰)
۱	وجود کاهش عرض مقطع در پل ها نسبت به مسیر اصلی	۵/۰۰
۲	عدم وجود آشکار سازی مناسب و تامین روشنایی کاربریهای حاشیه‌ای	٤/۸۳
۳	عدم وجود وسایل آرام ساز ترافیکی (تابلوهای حداکثرسرعت، چشم گربه‌ای، سرعتکاه) قبل از ورودی به مناطق مسکونی و یا مناطق با کاربریهای خاص	٤/٦۰
٤	استفاده کاربری‌های حاشیه راه از شانه راه و عدم تأمین لچکی به منظور ورود و خروج ایمن در پارکینگ و کاربری های حاشیه ای	٤/٦۰
۵	عدم تأمین روشنایی کافی در طول تونل	٤/۵۹
٦	مهار نامناسب نرده و حفاظ پل	٤/٤۰
۷	عدم آشکارسازی پل توسط تابلوها و یا وسایل آشکارساز	٤/۰۰
۸	وجود قوس افقی در تونل	۳/۷٤
۹	عدم آشکارسازی (وسایل آشکارساز) و تامین روشنایی کافی در دسترسیها و تقاطعها	۳/۷۸
۱۰	ترکیب همزمان قوس قائم و قوس افقی	۳/٤۰
۱۱	عدم تامین قابلیت دید در قوس افقی	۳/۲۰
۱۲	عدم تأمین فاصله دید کافی در تقاطعها و دسترسی ها	۲/۸۸

می‌توان از تعداد بیشتری از کارشناسان ایمنی مجرب استفاده کرد. با این وصف، این مطالعه نشان می دهد که مساله برآورده شدن نسبت سازگاری در این مطالعه دغدغه اصلی بوده است و شاید استفاده از روشهای دیگری چون تصمیم گیری گروهی بتواند تا حدودی این مساله را بهبود ببخشد. از سوی دیگر، در این مطالعه اگرچه اتفاق نظر خوبی بین کارشناسان ایمنی در تشخیص اهمیت عامل‌های مورد مطالعه ملاحظه می‌شود، تغییراتی در مورد اهمیت معیارها نیز دیده می‌شود که به نظر می‌رسد افزایش تعداد کارشناسان بخصوص در زمینه وزن دهی به معیارها منجر به افزایش اعتماد به نتایج شود.

در این مطالعه تلاش شده تا با افراز هندسی مسیر، نقش اثر اصلی[۱۰] عامل ها در هر یک از محدوده ها شناسایی شود، که به طور مثال می توان به نقش عامل زهکشی و تفاوت اثر آن در بخش های مختلف مسیر اشاره کرد. با این حال، در این مطالعه از اثرات متقابل[۱۱] عاملهای واقع در یک معیار صرفنظر شده است. این امر علاوه بر اجتناب از پیچیدگی مساله به دلیل عدم امکان مقایسه ترکیبات عاملها و اثرات اصلی آنان توسط پاسخگویان بوده است. هرچند برآورده نشدن نسبت سازگاری پاسخهای اکثر کارشناسان در مورد اثرات اصلی عاملها حاکی از منطقی بودن فرضیه مورد نظر است، انجام مطالعه با عاملهای کمتر و در نظرگرفتن اثرات متقابل می تواند موردنظر قرار گیرد.

از روش ارایه شده در این مقاله می‌توان برای شناسایی میزان خطرآفرینی سایر محورهای شبکه مانند آزاد راهها، بزرگ راهها و راههای فرعی استفاده کرد. بر این اساس لازم است که نظرات کارشناسان در مورد این محورها گردآوری شده و فرآیند مشابهی بر روی آن انجام گیرد.

این پژوهش با رویکرد بررسی وضعیت ایمنی رانندگان (وسیله نقلیه) انجام شده است و به منظور مطالعه ای کامل تر لازم است

ملاحظات ایمنی برای عابران پیاده نیز انجام شود. بر این اساس می‌توان در مطالعه ای مستقل اقدام به بررسی مساله ایمنی عابران پیاده نمود.

٦. پی نوشت ها

1 - Disaggregate

2 - Road Safety Audit, RSA

3 - American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO

4 - Analytical Hierarchy Process, AHP

5 - Scoring

6 - Consistency Ratio

7 - Random Consistency Index

8 - Consistency Index

۹ – برای این فرد نسبت سازگاری بدست آمده در ماتریس مقایسه عامل های مربوط به پل و تونل از حداکثر مقدار قابل قبول (۰/۱) بزرگتر بود.

10 - Main effect

11 - Interaction effect

۷. مراجع

-AASHTO (2002) “Roadside design guide”, Washington DC.

-Atiehsaz (2007) “Haraz safety study”, Tehran: Ministry of Road and Transportation Research Center

-AUSTROADS (1994) “Road safety audit”, Sydney, Australia: Austroads

-Ayati, S., Neghab, M.A.P., Sadeghi, A.A. and Moghaddam, A.M. (2012) “Introducing roadside hazard severity indicator based on evidential reasoning approach”, Safety Science, 50, pp.1618-26.

-Cafiso, S. (2010) “Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure geometry, consistency and context variables”, Accident Analysis and Preventation, 42, pp.1072-79.

-Cafiso, S., La Cava, G. and Montella, A. (2007) “Safety index for evaluation of two-lane rural highways”, Journal of Transportation Research Record, 2019, pp.136-45.

-Christoforou, Z., Cohen, S. and Karlaftis, M. G. (2010) “Vehicle occupant injury severity on highways: An empirical investigation”, Accident Analysis and Prevention, 42, pp.1606-20.

-Chung, k., Regland, D. R., Madanat, S. and Oh, S.M. (2009) “The continuous risk profile approach for the identification of high collision concentration locations on congested highways. In Wong, S. C. and Lo, H. K. Transportation and Traffic Theory. New York: Springer.

-CLTO (1999) “South African Road Safety Manual”, South Africa: Committee of Land Transport Officials

-Das, A., Abdel-Aty, M. and Pande, A. (2009) “Using conditional inference forests to identify the factors affecting crash severity on arterial corridors”, Journal of Safety Research, 40(4), pp.317-27.

-Evans, L. (2004) “Traffic safety”, MI, United States of America: Science Serving Society

-Fotovati, M. H., Najaf, P. and Habibian, M. (2010) “Evaluatuion of different cars in rollover accidents”, In 6th National Congress on Civil Engineering, Semnan, Iran

-Habibian, M. and Karamroudi, M. (2007) “An approach for safety assessment of rural transportation networks”, 4th National Congress on Civil Engineering, Tehran, Iran.

-Habibian, M., Mesbah, M. and Sobhani, A. (2011) “Ranking of hazardous road locations in two-

lane two-way rural roads with no crash record", Australasian Transport Research Forum, Adelaide, Australia.

-Haung, H. L., Chin, H. C. and Haque, M. M. (2009) "Hotspot identification: A full bayesian hierarchichal modeling approach", In Wong, S.C. & Lo, H.K. Transportation and Traffic Theory, New York: Springer.

-Iran. Ministry of Science, Research and Technology (2004) "Guidelines for road safety audit", Tehran, Iran: Ministry of Road and Transportation.

-Iran Legal Medicine Organisation (2009) "Fatal data report of crashes referred to forensic medicine centers", Tehran, ILMO.

-Iran Road Maintenance and Tansportation Organisation,RMTO (2012) [Online] Iran Road Maintenance and Transportation Organization Available at http://www.rmto.ir/newtto/Download/Roads.pdf [Accessed 15 January 2012].

-Jung, S., Qin, X. and Noyce, D.A. (2010) "Rainfall effect on single-vehicle crash severities using polychotomous response models", Accident Analysis and Prevention, 42(1), pp.213-24.

-Li, X., Lord, D., Zhang, Y. and Xie, Y. (2008) "Predicting motor vehicle crashes using Support Vector Machine models", Accident Analysis and Prevention, 40(4), pp.1611-18.

-Ma, J., Kockelman, K.M. and Damien, P. (2008) "A multivariate Poisson-lognormal regression model for prediction of crash counts by severity, using Bayesian methods", Accident Analysis and Prevention, 40(3), pp.964-75.

-Mesbah, M. and Habibian, M. (2006) "An approach for safety assessment of urban transportation networks", In 7th International Congress on Civil Engineering. Tehran, Iran.

-Naderan, A. and Shahi, J. (2010) "Aggregate crash prediction models: Introducing crash generation concept", Accident Analysis and Prevention, 42(1), pp.339-46.

-Ogden, K.W. (1996) "Safer roads: A guide to road safety engineering", England: Avebury.

-Saaty, T. L. (1990) "Decision making for leaders", RWS Publications.

-Saffarzadeh, M., Pirdavani, A. and Abdi, A. (2008) "Identifying the effective criteria for prioritizing accident black-spots and their measure of importance", Transportation Research (Pajouheshnameh Haml va Naghl), 5(2), pp.145-56.

-Saffarzadeh, M., Shabani, S. and Azarmi, A. (2007) "Accident prediction model in two-way two-lane highway curves", Transportation Research (Pajouheshnameh Haml va Naghl), 4(3), pp.213-21.

-Shariat Mohaymani, A. and Kashani, A.T. (2010) "Analysis of two-lane, two-way rural roads traffic injury severity based on data mining models", Transportation Research (Pajouheshnameh Haml va Naghl), 7(2), pp.153-66.

-Sobhani, A., Young, W., Logan, D. and Bahrololoom, S. (2010) "A kinetic energy model of two vehicle crash injury severity", Accident Analysis and Prevention, 43(3), pp.741-54.

-Transportation Department (1999) "Road safety audit guidelines" Canada: Civil Eng Faculty, New Brunswick University.

-Zhu, H., Dixon, K. K., Washington, S. and Jared, D. M. (2010) "Single-vehicle fatal crash prediction for two lane rural highways in the Southeastern United States", 89th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, USA.