ارزیابی واولویت‌بندی پارامترهای جاده‌ای مؤثر بر تصادفات، جهت بهبود ایمنی با استفاده از فاکتور اصلاح تصادفات (CMF) به روش تاپسیس
(مطالعه موردی: بزرگراه قزوین-آبیک)

حمید بهبهانی[1]،آرش یزدان پور[2]، بنیامین قریشیه[3]
۱- استاد تمام، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
۲- دانشجوی کارشناسیارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده
مسئله ایمنی ازجمله پارامترهای مهم و اصول پایه‌ای در مهندسی ترافیک محسوب می‌شود و همواره طی مطالعات، جهت افزایش ایمنی و کاهش تصادفات تلاش شده است. به دلیل وجود تعداد فراوان پارامترهای مؤثر بر تصادف‌ها، شناسایی و اولویت‌بندی گزینه‌های اصلاحی همواره جزء مشکلات مدیریتی در این زمینه بوده است. در راستای این تصمیم‌گیری شناخت تأثیر پارامترها به‌عنوان یک اقدام اصلاحی بر کاهش تصادفات حائز اهمیت است که جهت ارزیابی آناز نتایج مطالعات قبل و بعد استفاده می‌شود. با توجه به فقدان این نوع اطلاعات در ایران، در این پژوهش از نظر کارشناسان که یک معیار کیفی است، استفاده شد؛ اما با توجه به نیاز به یک معیار کمی، از فاکتور اصلاح تصادفات[4] (CMF) که نسبت فراوانی تصادفات یک محور در شرایط مختلف است استفاده شد. نتیجه ی آناولویت‌بندی پارامترهای جاده‌ای با معیار کمی و کیفی در کنار هم در جهت بهبود ایمنیبه روش تاپسیس است.

کلید واژه: اولویت‌بندی- ایمنی - فاکتور اصلاح تصادف‌ها (CMF)- روش تاپسیس

۱- مقدمه

حمل‌ونقل و ارتباطات از بخش‌های زیر بنایی در اقتصاد هر کشور به‌حساب می آیند و این پدیده به‌عنوان یکی از شاخص‌های توسعه‌یافتگی کشورها محسوب می‌شود. در این راستا مدیریت ایمنی و کاهش تصادفات جاده‌ای یک موضوع کلیدی به‌حساب می‌آید.

از دیدگاه اقتصادی، خسارت تصادفات جاده‌ای در کشورهای با درآمد کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۱ و ۱/۵ و ۲ درصد تولید ناخالص ملی است. تصادفات جاده‌اینه‌تنها بار ملی سنگینی برای کشورها دارند بلکه به خانواده ی قربانیان نیز لطمات سنگینی وارد می‌کنند. اما با نگاه علمی و صحیح به آن، امری قابل جلوگیری و کنترل است. پارامترهای بسیاری بر تصادفات مؤثر بوده که با شناخت آن‌هاو به‌کارگیریروش‌های علمی و استفاده از تجربیات سایر کشورها می توان خسارت‌های جانی و مالی را بسیار کاهش داد. این مطلب مستلزم وجود سیاست‌گذاری، تصمیم‌گیری و استفاده از متخصصان وارد که بتوانند با ارائه راه‌کارهای مناسب به حل مشکل آسیب‌های ترافیکی و کاهش اثرات آن کمک نماید.

رانندگی در بستری از محیط‌های گوناگون انجام می‌شود و فاکتورهای بسیار زیادی بر آن تأثیر دارند که انسان بر آن تسلط ندارد. این فاکتورها تأثیر بسزایی بر رفتار راننده و نحوه تصمیم‌گیری او در هنگام رانندگی می‌گذارد. پارامترهای جاده‌ای بر رفتار انسان اثر متقابل گذاشته و منجر به بروز سلسله‌ای از حوادث شده که احتمال وقوع تصادف را تغییر می دهند که با شناخت این پارامترها در حوزه موردمطالعه و بررسی و اولویت‌بندی آن‌ها جهت بهبود ایمنی می‌توان در کاهش تصادفات و خسارات ناشی از آن گامی مؤثر برداشت [۴].

1-Behbahani@ iust.ac.ir
2- arash.yzp@gmail.com
3-benyaminghoreishi@yahoo.com
4-Crash Modification Factor

۲- مروری بر ادبیات موضوع

در اولین نسخه از HCM روش‌های عمومی و ابزارهای آماری برای برآورد تعداد تصادفات فراهم‌شده بود. محققان با تحقیقات خود برای مناطق خاص و جاده‌های با کیفیت متفاوت نرم‌افزارهای با اعتبار کافی ارائه نمودند. به‌طور خاص، اثرات ایمنی باروش‌ها یا فاکتورهای متعدد، اخیراً ظهور کرده که اکنون یک مسئله مهمی از HCM است.

در این قسمت به بررسی چند پژوهش‌کار شده در این زمینه در داخل و خارج از ایران پرداخته می‌شود.

توسعه و تخمین فاکتور اصلاح تصادفات (CMF) که به عناصر کنار جاده وابسته است:

عناصر کنار جاده‌ای به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار برای ایمنی جاده است. Zeng و Schrock در سال ۲۰۱۳ تأثیر شانه‌های متفاوتی از مسیر را در فصل زمستان و فصول دیگر برای فاکتور ایمنی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها فاکتور اصلاح تصادفات (CMF) را با استفاده از روش‌های مقطعی توسعه دادند. نتایج از این بررسی نشان داده است که شانه‌هایعریض‌تر و با ارتفاع بلندتر در زمستان تاثیرات کمتری بر روی ایمنی داشته، ولی در فصول دیگرمؤثرتر بوده است[۱].

ترنر و دوستان در سال ۲۰۱۲ با نصب نوار لرزان دریافتند که انجام این کار حدود ۱۲ درصد از تصادفات کل و حدود ۴۰ درصد از تصادفات که به علت خروج از خط اتفاق می‌افتادرا کاهش داده است. این نتایج به‌دست‌آمده، حاصل مطالعه بر روی ۳۱ منطقه مختلف است [۲].

ترنر و دوستان در سال ۲۰۰۹ در ۵ مطالعه خود نشان دادند که نصب نوار لرزان[1] حدود ۲۳درصد از تصادفات حادثه‌خیز را کاهش داده است [۳].

۳- فرآیند اولویت‌بندی پارامترهای جاده‌ای در ایمن‌سازی

تصمیم‌گیری فرایندی است که در سه مرحله کلی صورت می‌گیرد[۴].

مرحله اول: شناخت مشکلات موجود، مرحله دوم: بررسی راه‌حل‌های موجود مناسب

مرحله سوم: تعیین راه‌حل‌های بهینه[۴].

راهکارهای بهبود ایمنی جاده با تعریف اقدامات اصلاحی صورت می‌پذیرد که در نهایت در مدل تصمیم‌گیری تحت عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری شناخته می شوند. هر چند تأثیر اقدامات اصلاحی بر ایمنی مهم‌ترین ملاک است اما به تنهایی منجر به تصمیم‌گیری در مورد اولویت‌بندی نمی‌شود.

۳-۱- حوزه مورد مطالعه

محور قزوین- آبیک بزرگراه ۳ خطه است که قزوین را به آبیک متصل می کند. این جاده در مجموعه جاده‌های نیمه کوهستانی کشور قرار دارد. در تمام طول این محور جاده جدا شده است. سالانه تصادفات بسیاری در این محور به وقوع می پیوندد که باعث تلفات زیادی می‌شود. هرچند اقدامات ایمن‌سازی به‌طور محدود در برخی نقاط صورت گرفته اما همچنان دارای مشکلات فراوان ایمنی است که در این پژوهش سعی به بررسی آن ها شده است.

۳-۱-۲- تعیین نقاط موردبررسی در حوزه

با توجه به متفاوت بودن پارامترهای جاده‌ای در طول هر محور نیاز به مطالعه در سطح ریز و با جزئیات بیشتر احساس می‌شود. لذا با توجه به اهمیت نقاط پرحادثه‌ای که اداره کل راه و شهرسازی استان قزوین در اختیار گذاشت، پنج نقطه موردبررسی قرار گرفت که مشخصات آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

	نام نقطه/مقطع	مشخصات GPS					
		N			E		
۱	باند جنوبی روبه روی شهرک کاسپین	۴۴	۱۰	۳۶	۲۲	۱۶	۵۰
۲	باند جنوبی روبه روی شرکت نهال گستر	۶	۵	۳۶	۱۶	۲۷	۵۰
۳	باند جنوبی بعد از پل طالقان	۲۸	۴	۳۶	۱۷	۲۸	۵۰
۴	باند جنوبی قبل از دکل BTS	۱۹	۳	۳۶	۲۹	۳۰	۵۰
۵	باند شمالی	۲۷	۳	۳۶	۱۵	۲۰	۵۰

جدول ۱:مناطق مورد بررسی از جاده

1-Rumble Strip

۳-۱- فرایند اولویت‌بندی

اولویت‌بندی به ترتیب مراحل زیر انجام می شود:
تعیین گزینه‌های تصمیم ← تعیین شاخص‌های تصمیم‌گیری ← جمع‌آوری اطلاعات و آنالیز تصادفات ← ارزیابی گزینه‌ها برحسب شاخص تعریف شده ← ورود به مدل تصمیم‌گیری ← اولویت‌بندی[۴].

۳-۲-۱- تعیین گزینه‌های تصمیم

تعیین گزینه‌های نهایی تصمیم با بررسی مشکلات موجود حوزه موردمطالعه تعیین می‌شود. اقدامات اصلاحی باید دارای شرایطیباشند تا در تصمیم‌گیری بتوان آن‌ها را به‌عنوانگزینه‌های ممکن شناخت؛ که این شرایط عبارت‌اند از:

۱- امکان‌پذیرازلحاظ فنی،
۲- قابل‌پذیرش بودن و هدفمند بودن،
۳-قابل‌پذیرش از لحاظ مدیریتی،
۴- سازگاری با برنامه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت،
۵-کارایی اقتصادی،

پس از بررسی حوزه مورد مطالعه در نقاط پرحادثه،گزینه‌های ممکن که قابل‌اجرا هستند مشخص شد که در جدول ۲ به تفکیک نشان داده شده است.

اقدامات اصلاحی تعریف‌شده	نقاط تحت تأثیر				
	۱	۲	۳	۴	۵
افزایش عرض شانه	√	√			
روکش شانه	√				
اصلاح شیب شیروانی	√		√	√	√
افزایش عرض ناحیه عاری از مانع	√		√	√	√
نصب ضربه‌گیر	√		√	√	√
نصب گاردریل و بستن دسترسی‌های خاکی	√		√		
نصب علائم خطر تصادف	√	√	√	√	√
نصب علائم هشدار سرعت	√	√	√	√	√
خط‌کشی کنار مسیر		√		√	√
اجرای نوار لرزان کناری	√	√		√	√
اصلاح خط تغییر سرعت	√	√		√	√
نصب دوربین کنترل سرعت	√	√		√	√

جدول ۲: گزینه‌های ممکن که در مناطق قابل‌اجرا هستند

۳-۲-۲- تعیین شاخص‌های تصمیم‌گیری

شاخص‌های تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده در این پژوهش عبارت‌اند از [۴]:

- شاخص تأثیر اقدام اصلاحی بر کاهش نوع خاص برخورد،
- شاخص هزینه اقدامات اصلاحی

شاخص کاهش تصادفات بر اساس ضریب.

۳-۲-۲-۱- شاخص تأثیر اقدام اصلاحی بر کاهش نوع خاص برخورد

بهترین روش ارزیابی اصلاحات بر کاهش تصادفات، استفاده از نتایج قبل و بعد از انجام اصلاحات است. با توجه به فقدان این نوع مطالعات در ایران ارزش هر اقدام قابل کمی کردن نیست. مطالعات پیش‌بینی صورت گرفته نیز تمامی پارامترهای جاده‌ای را در برنمی‌گیرد. بدین ترتیب برای ارزیابی هر گزینه بر کاهش تصادفات ازنظر کارشناسان و تجربیات آنان به‌صورت کیفی استفاده گردید.

۳-۲-۲-۲- شاخص هزینه اقدامات اصلاحی

با توجه به اینکه عمر مفید هر اقدام متفاوت است، باید از هزینه یکنواخت سالیانه استفاده شود بنابراین [۴]:

$$EUAC_i = C_i \times CRF \qquad (۱)$$

که در آن:

$EUAC_i$ = هزینه یکنواخت سالیانه،

C_i = هزینه اولیه به ارزش سال جاری،

CRF = فاکتور بازگشت سرمایه که برای یک نرخ بهره و عمر خدمت‌دهی مشخص می‌شود.

۳-۲-۳- تعیین شاخص‌های تصمیم‌گیری

$$\mathrm{CRF} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \qquad (۲)$$

i: نرخ بهره سالیانه،

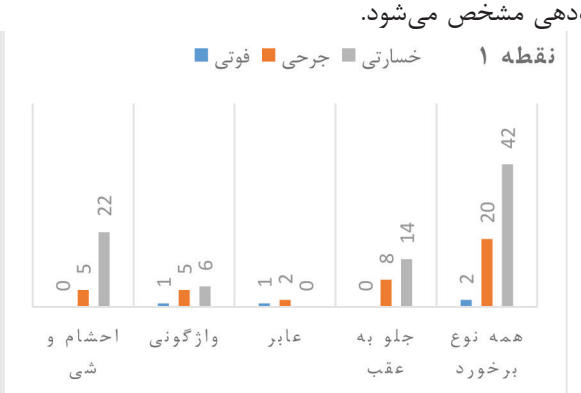
n: عمر خدمت‌دهی گزینه.

۳-۲-۳-۱- شاخص فاکتور اصلاح تصادفات CMF

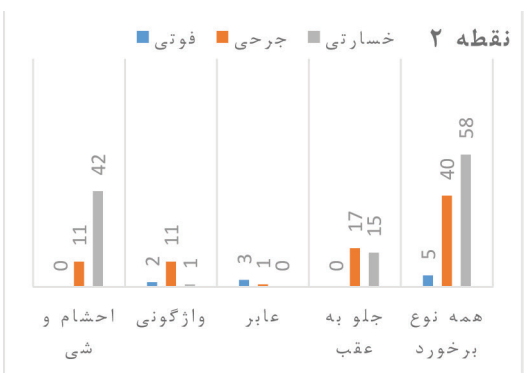
با توجه به نیاز یک معیار کمی در جهت ارزیابی تأثیر اقدامات اصلاحی بر کاهش تصادفات می توان از فاکتور اصلاح تصادفات CMF استفاده نمود. CMF تغییر نسبی در فراوانی تصادفات که ناشی از ایجاد تغییر در یک وضعیت خاص است را بیان می کند؛ بنابراین می تواند برای ارزیابی تأثیر یک اقدام اصلاحی (طرح هندسی و ابزار ترافیکی و ...) مورداستفاده قرار گیرد [۵].

۳-۲-۳-۲- بررسی و آنالیز تصادفات

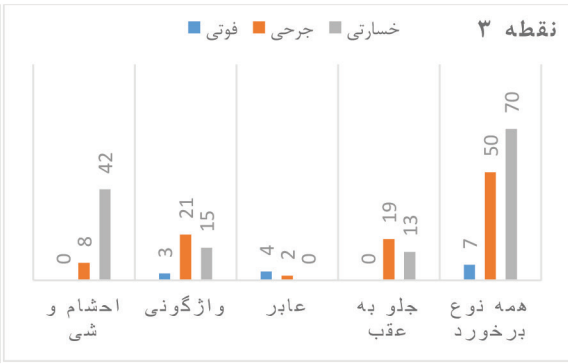
با بررسی آمار تصادفات سال‌های ۹۰، ۹۱، ۹۲ گردآوری شده از پلیس راه استان قزوین، اطلاعات ثبت شده تصادفات بزرگراه قزوین - آبیک موردبررسی قرار گرفت که به تفکیک نوع برخورد در نمودارهای ۱ تا ۵ نشان داده‌شده است.



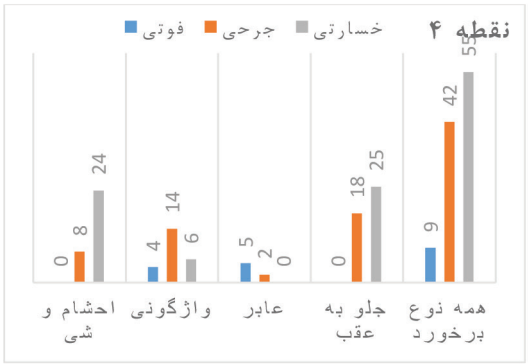
نمودار ۱: اطلاعات ثبت شده تصادفات در نقطه ۱



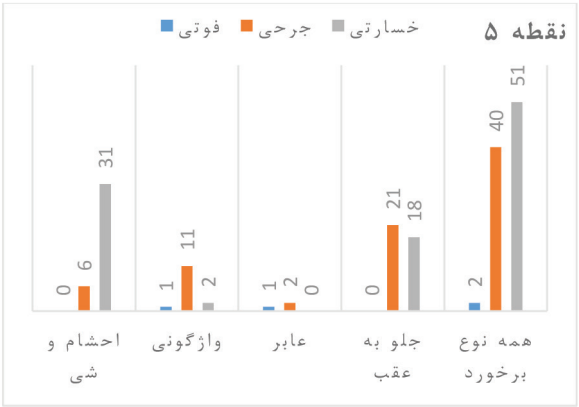
نمودار ۲: اطلاعات ثبت شده تصادفات در نقطه ۲



نمودار ۳: اطلاعات ثبت شده تصادفات در نقطه ۳



نمودار ۴: اطلاعات ثبت شده تصادفات در نقطه ۴



نمودار ۵: اطلاعات ثبت‌شده تصادفات در نقطه ۵

۳-۲-۳-۱- محاسبه تصادفات معادل خسارتی

بررسی اهمیت تصادفات با تأثیر دادن اهمیت نسبی شدت برخورد به دستمی‌آید. طبق تعریف تصادفات معادل خسارتی عبارت است از تعداد تصادفات معادل شده با تصادف خسارتی با در نظر گرفتن اهمیت نسبی شدت برخورد.

$$EAPDO = N \times W$$

که در آن:

N: تعداد تصادفات برحسب نوع برخورد

W: اهمیت نسبی شدت برخورد

طبق نتایجی که از مطالعات پژوهشکده حمل‌ونقل در تصادفات برون‌شهری به دست آمده، اهمیت نسبی تصادفات طبق جدول ۳ ارائه شده است.

نوع تصادفات	فوتی	جرمی	خسارتی
وزن نسبی هزینه	۲۵۰۰	۲/۵	۱

جدول ۳: اهمیت نسبی شدت برخورد در تصادفات برون‌شهری

تعداد تصادفات معادل خسارتی به تفکیک نوع برخورد در جدول ۴محاسبه‌شده است.

تعداد تصادفات معادل خسارتی				
احشام و شیء	واژگونی	عابر	جلو به عقب	نقاط
۳۴/۵	۲۵۱۸/۵	۵۰۰۵	۳۴	۱
۶۹/۵	۵۰۲۸/۵	۷۵۰۲/۵	۵۷/۵	۲
۶۲	۷۵۶۷/۵	۱۰۰۰۵	۶۰/۵	۳
۴۴	۱۰۰۴۱	۱۲۵۰۵	۷۰	۴
۴۶	۲۵۲۹/۵	۲۵۰۵	۷۰/۵	۵
۲۵۶	۲۷۶۸۵	۳۵۰۲۲/۵	۲۹۲/۵	جمع کل

جدول ۴:تعداد تصادفات معادل خسارتی به تفکیک نوع برخورد

در جدول ۵، تعداد تصادفات معادل خسارتی تحت تأثیر در کل مسیر برای هر گزینه با توجه به جداول شماره ۲ و ۴ محاسبه شده است.

اقدامات اصلاحی تعریف‌شده	تعداد تصادفات معادل خسارتی تحت تأثیر				
	واژگونی	برخورد جلو به عقب	برخورد با عابر	برخورد با احشام و شیء	مجموع
افزایش عرض شانه	۷۵۴۷	۹۱/۵	۱۰۰۰۷/۵	۱۰۴	۱۷۷۵۰
روکش شانه	۲۵۱۸/۵	۳۴	۲۵۰۵	۳۴/۵	۵۰۹۲
اصلاح شیب شیروانی	۲۲۶۵۶/۵	۲۳۵	۲۷۵۲۰	۱۸۶/۵	۵۰۵۹۸
افزایش عرض ناحیه عاری از مانع	۲۲۶۵۶/۵	۲۳۵	۲۷۵۲۰	۱۸۶/۵	۵۰۵۹۸
نصب ضربه‌گیر	۲۲۶۵۶/۵	۲۳۵	۲۷۵۲۰	۱۸۶/۵	۵۰۵۹۸
نصب گاردریل و بستن دسترسی‌های خاکی	۱۰۰۸۶	۹۴/۵	۱۲۵۱۰	۹۶/۵	۲۲۷۸۷
نصب علائم خطر تصادف	۲۷۶۸۵	۲۹۲/۵	۳۵۰۲۲/۵	۲۵۶	۶۳۲۵۶
نصب علائم هشدار سرعت	۲۷۶۸۵	۲۹۲/۵	۳۵۰۲۲/۵	۲۵۶	۶۳۲۵۶
خط‌کشی کنار مسیر	۱۷۵۹۹	۱۹۸	۲۲۵۱۲/۵.۵	۱۵۹/۵	۴۰۴۶۹
اجرای نوار لرزان کناری	۲۰۱۱۷/۵	۲۳۲	۲۵۰۱۷/۵	۱۹۷	۴۵۵۶۱
اصلاح خط تغییر سرعت	۲۰۱۱۷/۵	۲۳۲	۲۵۰۱۷/۵	۱۹۴	۴۵۵۶۱
نصب دوربین کنترل سرعت	۲۷۶۸۵	۲۹۲/۵	۳۵۰۲۲/۵	۲۵۶	۶۳۲۵۶

جدول ۵: تعداد تصادفات معادل خسارتی تحت تأثیر در کل مسیر

۳-۲-۴-ارزیابی گزینه‌ها برحسب شاخص‌های تعریف‌شده

با بررسی آمار تصادفات سال‌های ۹۰، ۹۱، ۹۲ گردآوری شده از پلیس راه استان قزوین، اطلاعات ثبت شده تصادفات بزرگراه قزوین - آبیک موردبررسی قرار گرفت که به تفکیک نوع برخورد در نمودارهای ۱ تا ۵ نشان داده‌شده است.

۳-۲-۴-۱-شاخص تأثیر اقدام اصلاحی بر کاهش نوع برخورد با توجه به نظرسنجی کارشناسان

نتایج پرسشنامه که از ۱۰ کارشناس درزمینه‌ی ایمنی درخواست شده است و در جدول ۶ به‌صورت میانگین هندسی محاسبه شده که تأثیر هر اقدام را در کاهش نوع خاص برخورد نشان می‌دهد.

اقدامات اصلاحی تعریف‌شده	اهمیت تأثیر اقدام اصلاحی بر کاهش برخورد			
	واژگونی	برخورد جلو به عقب	برخورد با عابر	برخورد با احشام و شیء
افزایش عرض شانه	۵۹/۱	۳۱/۶	۲۳/۵	۴۶/۶
روکش شانه	۶۱/۶	۳۲/۱	۲۱	۳۰/۶
اصلاح شیب شیروانی	۷۳/۶	۱۰/۵	۱۲	۱۸/۵
افزایش عرض ناحیه عاری از مانع	۵۰/۶	۲۰/۶	۲۶/۹	۶۱/۶
نصب ضربه‌گیر	۵۷/۱	۱۳/۶	۲۷/۶	۳۹/۶
نصب گاردریل و بستن دسترسی‌های خاکی	۳۳/۶	۳۵/۶	۲۳/۱	۳۱/۶
نصب علائم خطر تصادف	۵۱/۱	۶۱/۱	۵۰/۱	۴۹/۱
نصب علائم هشدار سرعت	۶۲/۱	۶۷/۶	۵۱/۱	۵۱/۶
خط‌کشی کنار مسیر	۶۱/۶	۲۸/۶	۴۲/۶	۳۸/۶
اجرای نوار لرزان کناری	۷۵/۶	۲۷/۶	۳۸/۱	۳۷/۱
اصلاح خط تغییر سرعت	۴۵/۶	۷۲/۱	۱۷/۶	۲۰/۱
نصب دوربین کنترل سرعت	۶۲/۶	۶۸/۶	۵۵/۶	۵۳/۱

جدول ۶: تأثیر هر اقدام را در کاهش نوع برخورد

وزن نهایی هر گزینه نسبت به شاخص‌های کاهش تصادفات بر اساس نظر کارشناسان در جدول ۷ محاسبه شد که حاصل‌ضرب تعداد تصادف معادل خسارتی تحت تأثیر (جدول ۵) در میانگین هندسی نظر کارشناسان (جدول ۶) است.

اقدامات اصلاحی تعریف‌شده	تعداد تصادفات معادل خسارتی تحت تأثیر				
	واژگونی	برخورد جلو به عقب	برخورد با عابر	برخورد با احشام و شیء	مجموع
افزایش عرض شانه	۴۴۶۰/۲۸	۲۸/۹۱	۲۳۵۱/۷۶	۴۸/۴۶	۶۸۸۹/۴
روکش شانه	۱۵۵۱/۴۰	۱۰/۹۱	۵۲۶/۰۵	۱۰/۵۶	۲۰۹۸/۹
اصلاح شیب شیروانی	۱۶۶۷۵/۱۸	۲۴/۶۸	۳۳۰۲/۴۰	۳۴/۵۰	۲۰۰۳۶/۸
افزایش عرض ناحیه عاری از مانع	۱۱۴۶۴/۱۹	۴۸/۴۱	۷۴۰۲/۸۸	۱۱۴/۸۸	۱۹۰۳۰/۴
نصب ضربه‌گیر	۱۲۹۳۶/۸۶	۳۱/۹۶	۷۵۹۵/۵۲	۷۳/۸۵	۲۰۶۳۸/۲
نصب گاردریل و بستن دسترسی‌های خاکی	۳۳۸۸/۹۰	۳۳/۶۴	۲۸۸۹/۸۱	۳۰/۴۹	۶۳۴۲/۸
نصب علائم خطر تصادف	۱۴۱۴۷/۰۴	۱۷۸/۷۲	۱۷۵۴۶/۲۷	۱۲۵/۷۰	۳۱۹۹۷/۷
نصب علائم هشدار سرعت	۱۷۱۹۲/۳۹	۱۹۷/۷۳	۱۷۸۹۶/۵۰	۱۳۲/۱۰	۳۵۴۱۸/۷
خط‌کشی کنار مسیر	۱۰۶۶۴/۹۹	۵۶/۶۳	۹۵۹۰/۳۳	۶۱/۵۷	۲۰۳۷۳/۵
اجرای نوار لرزان کناری	۱۵۲۰۸/۸۳	۶۴/۰۳	۹۵۳۱/۶۷	۷۱/۹۷	۲۴۸۷۶/۵
اصلاح خط تغییر سرعت	۹۱۷۳/۵۸	۱۶۷/۲۷	۴۴۰۳/۰۸	۳۸/۹۹	۱۳۷۸۲/۹
نصب دوربین کنترل سرعت	۱۷۳۳۰۸۱	۲۰۰/۶۶	۱۹۴۷۲/۵۱	۱۳۵/۹۴	۳۷۱۳۹/۹

جدول ۷: وزن نهایی هر گزینه نسبت به شاخص‌های کاهش تصادفات

۳-۲-۴-۲-شاخص هزینه اقدامات اصلاحی

در جدول ۸ هزینه یکنواخت سالیانه برای هر گزینه محاسبه‌شده است [۶].

اقدامات اصلاحی تعریف‌شده	واحد	مقدار	هزینه اولیه (میلیون)	عمر مفید (سال)	نرخ بهره سالیانه	CRF	هزینه یکنواخت سالیانه $EUAC_i$
افزایش عرض شانه	متر	۱۶۰	۷/۴	۲۰	۰/۲۲	۰/۲۲	۱/۶۶
روکش شانه	متر	۸۰	۳/۷	۱۰	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۹۴
اصلاح شیب شیروانی	مترمکعب	۳۰۰	۰/۱۶	۲۰	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۰۴
افزایش عرض ناحیه عاری از مانع	مترمکعب	۲۲۵	۰/۱۱	۲۰	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۰۲
نصب ضربه‌گیر	عدد	۴	۰/۷۸	۵	۰/۲۲	۰/۳۵	۰/۲۷
بستن دسترسی‌های خاکی	متر	۵۰۰	۲۱/۸	۱۰	۰/۲۲	۰/۲۵	۵/۵۶
نصب علائم خطر تصادف	کیلومتر	۵۰	۱۲/۶	۱	۰/۲۲	۰/۲۲	۱۵/۳۷
نصب علائم هشدار سرعت	کیلومتر	۵۰	۱۲/۶	۱	۰/۲۲	۱/۲۲	۱۵/۳۷
خط‌کشی کنار مسیر	کیلومتر	۱/۵	۷/۷	۱	۰/۲۲	۱/۲۲	۹/۳۹
اجرای نوار لرزان کناری	کیلومتر	۳	۱/۶	۵	۰/۲۲	۰/۳۵	۰/۵۶
اصلاح خط تغییر سرعت	متر	۱۶۰	۲۶/۸	۲۰	۰/۲۲	۰/۲۲	۶/۰۱
نصب دوربین کنترل سرعت	عدد	۵	۴۵۰	۵	۰/۲۲	۰/۳۵	۱۵۷/۱۴

جدول ۸: هزینه یکنواخت سالیانه

۳-۲-۴-۳- شاخص فاکتور اصلاح تصادفات CMF[۷].

کاهش تصادفات با در نظر گرفتن شاخص CMF برای مجموع تصادفات معادل خسارتی هر گزینه اصلاحی در جدول (۹) محاسبه شد [۵].

اقدامات اصلاحی تعریف‌شده	تعداد کل تصادفات معادل خسارتی	ضریب CMF	تعداد تصادفات کاهش‌یافته
افزایش عرض شانه	۱۷۷۵۰	۰/۰۵	۸۸۷/۵
روکش شانه	۵۰۹۲	۰/۰۲	۱۰۱/۸۴
اصلاح شیب شیروانی	۵۰۵۹۸	۰/۰۶	۳۰۳۵/۸۸
افزایش عرض ناحیه عاری از مانع	۵۰۵۹۸	۰/۲۲	۱۱۱۳۱/۵۶
نصب ضربه‌گیر	۵۰۵۹۸	۰/۶۹	۳۴۹۱۲/۶۲
نصب گاردریل و بستن دسترسی‌های خاکی	۲۲۷۸۷	۰/۲۲	۵۰۱۳/۱۴
نصب علائم خطر تصادف	۶۳۲۵۶	۰/۴۴	۲۷۸۳۲/۶۴
نصب علائم هشدار سرعت	۶۳۲۵۶	۰/۴۶	۲۹۰۹۷/۷۶
خط‌کشی کنار مسیر	۴۰۴۶۹	۰/۰۳	۱۲۱۴/۰۷
اجرای نوار لرزان کناری	۴۵۵۶۱	۰/۱۸	۸۲۰۰/۹۸
اصلاح خط تغییر سرعت	۴۵۵۶۱	۰/۰۷	۳۱۸۹/۲۷
نصب دوربین کنترل سرعت	۳۶۲۵۶	۰/۱۷	۱۰۷۵۳/۵۲

جدول ۹: کاهش تصادفات با در نظر گرفتن شاخص CMF

۳-۲-۵- ورود به مدل تصمیم‌گیری

روش تاپسیس روش شناخته‌شده‌ای است که در حوزه‌های مختلف حمل‌ونقل مورداستفاده قرارگرفته است. این روش باعث می‌شود تا در تصمیم‌گیری‌ها قضاوت مهندسی کمتر مورداستفاده قرار گیرد و به‌جای آن با استفاده از روش‌های ریاضی و معیارهای تعریف‌شده گزینه‌های موردنظر اولویت‌بندی شوند. در جدول ۱۰ ماتریس تصمیم‌گیری با توجه به اطلاعات محاسبه‌شده تشکیل شد.

اقدامات اصلاحی تعریف‌شده	شاخص تصمیم‌گیری		
	نظرسنجی	CMF	هزینه اقدام
افزایش عرض شانه	۶۸۸۹/۴	۸۸۷/۵	۱/۶
روکش شانه	۲۰۹۸/۹	۱۰۱/۸	۰/۹۴
اصلاح شیب شیروانی	۲۰۰۳۶/۸	۳۰۳۵/۹	۰/۰۴
افزایش عرض ناحیه عاری از مانع	۱۹۰۳۰/۴	۱۱۱۳۱/۶	۰/۰۲
نصب ضربه‌گیر	۲۰۶۳۸/۲	۳۴۹۱۲/۶	۰/۲۷
نصب گاردریل و بستن دسترسی‌های خاکی	۶۳۴۲/۸	۵۰۱۳/۱	۵/۵۶
نصب علائم خطر تصادف	۳۱۹۹۷/۷	۲۷۸۳۲/۶	۱۵/۳۷
نصب علائم هشدار سرعت	۳۵۴۱۸/۷	۲۹۰۹۷/۸	۱۵/۳۷
خط‌کشی کنار مسیر	۲۰۳۷۳/۵	۱۲۱۴/۱	۹/۳۹
اجرای نوار لرزان کناری	۲۴۸۷۶/۵	۸۲۰۱/۰	۰/۵۶
اصلاح خط تغییر سرعت	۱۳۷۸۲/۹	۳۱۸۹/۳	۶/۰۱
نصب دوربین کنترل سرعت	۳۷۱۳۹/۹	۱۰۷۵۳/۵	۱۵۷/۱۴

جدول ۱۰: ماتریس تصمیم‌گیری

بعد از بی‌بعد شدن ماتریس از رابطه ۴ و اعمال وزن هر شاخص (۰/۶۹، ۰/۶۹، ۰/۱۹) که از کارشناسان خواسته‌شده بود، ماتریس بی‌بعد شده وزن‌دار به‌صورت جدول (۱۱) وارد مدل تاپسیس شد.

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum (r_{ij})^2}} \qquad (۴)$$

اقدامات اصلاحی تعریف‌شده	شاخص تصمیم‌گیری		
	نظرسنجی	CMF	هزینه اقدام
افزایش عرض شانه	۰/۰۶۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۲
روکش شانه	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
اصلاح شیب شیروانی	۰/۱۷۷	۰/۰۳۷	۰/۰۰۰۰۴
افزایش عرض ناحیه عاری از مانع	۰/۱۶۸	۰/۱۳۷	۰/۰۰۰۰۳
نصب ضربه‌گیر	۰/۱۸۲	۰/۴۲۸	۰/۰۰۰۳
نصب گاردریل و بستن دسترسی‌های خاکی	۰/۰۵۶	۰/۰۶۱	۰/۰۰۷
نصب علائم خطر تصادف	۰/۲۸۲	۰/۳۴۱	۰/۰۱۹
نصب علائم هشدار سرعت	۰/۳۱۳	۰/۳۵۷	۰/۰۱۹
خط‌کشی کنار مسیر	۰/۱۸۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲
اجرای نوار لرزان کناری	۰/۲۲۰	۰/۱۰۱	۰/۰۰۱
اصلاح خط تغییر سرعت	۰/۱۲۲	۰/۰۳۹	۰/۰۰۷
نصب دوربین کنترل سرعت	۰/۳۲۸	۰/۱۳۲	۰/۱۹۵

جدول ۱۱: ماتریس بی‌بعد شده وزن‌دار

۳-۲-۶- نتیجه اولویت‌بندی

روش تاپسیس گزینه‌هایی را به‌عنوان گزینه برتر معرفی کرده است که تأثیر بسیار زیادی بر ایمنی داشتند و در مرحله ارزیابی امتیاز بالایی را به خود اختصاص داده است. درعین‌حال هزینه پایینی را در برداشته که می توان نصب علائم هشدار سرعت را نمونه بارز این نتیجه‌گیری دانست که اولویت بالایی را کسب کرده است. مشکلی که همواره تصمیم گیران در فرایند تصمیم‌گیری با آن روبه رو بوده اند، واردکردن قضاوت مهندسی از ابتدای فرایند تا پایان آن است که تبع آن اختلاف‌نظرها حتی تا مرحله نتیجه‌گیری و پس‌ازآن نیز ادامه می یافت. این مسئله به خاطر غیرقابل مقایسه بودن برخی گزینه‌ها نسبت به یکدیگر بوده است که با واردکردن فاکتور اصلاح CMF و استفاده از روش تاپسیس سعی شده است که تا حد امکان این مشکل حل شود، اما مهم این است که مدیران و تصمیم گیران به نتایج آن اطمینان کرده و از قضاوت مهندسی پرهیز نمایند. اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی را می توان در جدول شماره ۱۳ مشاهده کرد.

اقدامات اصلاحی تعریف‌شده	امتیاز داده‌شده بر اساس مدل تاپسیس
افزایش عرض شانه	۰/۲۸۵
روکش شانه	۰/۲۶۸
اصلاح شیب شیروانی	۰/۳۷۷
افزایش عرض ناحیه عاری از مانع	۰/۴۵۷
نصب ضربه‌گیر	۰/۷۷۳
نصب گاردریل و بستن دسترسی‌های خاکی	۰/۳۰۵
نصب علائم خطر تصادف	۰/۸۲۳
نصب علائم هشدار سرعت	۰۸۶۸
خط‌کشی کنار مسیر	۰/۳۵۷
اجرای نوارلرزان کناری	۰/۴۶۲
اصلاح خط تغییر سرعت	۰/۳۳۰
نصب دوربین کنترل سرعت	۰/۴۸۷

جدول ۱۲: امتیاز اقدامات اصلاحی تعریف‌شده

ردیف	اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی تعریف‌شده	امتیاز داده شده بر اساس مدل تاپسیس
۱	نصب علائم هشدار سرعت	۰/۸۶۸
۲	نصب علائم خطر تصادف	۰/۸۲۳
۳	نصب ضربه‌گیر	۰/۷۷۳
۴	نصب دوربین کنترل سرعت	۰/۴۸۷
۵	اجرای نوارلرزان کناری	۰/۴۶۲
۶	افزایش عرض ناحیه عاری از مانع	۰/۴۵۷
۷	اصلاح شیب شیروانی	۰/۳۷۷
۸	خط‌کشی کنار مسیر	۰/۳۵۷
۹	اصلاح خط تغییر سرعت	۰/۳۳۰
۱۰	نصب گاردریل و بستن دسترسی‌های خاکی	۰/۳۵۰
۱۱	افزایش عرض شانه	۰/۲۸۵
۱۲	روکش شانه	۰/۲۶۸

جدول ۱۳: اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی تعریف‌شده

همان‌طور که از جدول۱۳ مشخص است، برای افزایش ایمنی و کاهش تصادفات، به ترتیب عوامل نصب علائم هشدار سرعت، نصب علائم خطر تصادف، نصب ضربه‌گیر دارای اولویت‌های بالایی است. ولی اولویت‌های مشخص‌شده در ستون‌های آخر جدول ۱۳ از اهمیت کمتری نسبت به ستون‌های بالای همان جدول است.

۴- مراجع

1-H. Zeng and S. D. Schrock, 2013, Safety Effectiveness of Various Types of Shoulders on Rural Two-Lane Roads in Winter and Non-winter Periods. InTransportation Research Board 92nd Annual Meeting (No. 13-4943).

2- B. Turner, L. Steinmetz, A. Lim and K. Walsh, 2012, Effectiveness of road safety engineering treatments (No. AP-R422/12).

3- B. Turner, J. Affum, M. Tziotis and C. Jurewicz, 2009, Review of iRAP Risk Parameters. ARRB Group Contract Report for iRAP.

۴- دهقان بنادکی، مصطفی.، بررسی، طبقه بندی و اولویت‌بندی پارامترهای جاده‌ای در ایمن‌سازی جاده‌های دوخطه برون‌شهری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علم و صنعت ایران

5- Davis, Gary A. "Crash reconstruction and crash modification factors." Accident Analysis & Prevention 302-294 :(2014) 62..

۶- فهرست بهای واحد پایه رشته راه و راهداری سال ۹۳

6- HSM (2010) Highway Safety Manual/ 1 st Edition

۸- باور، محمد صدیق؛ محسن حدیقه جوانی و عبدالله کمالی دشت ارژنه، ۱۳۹۱، ارزیابی و اولویت‌بندی ایمن‌سازی محورهای حادثه‌خیز کلان‌شهر شیراز مبتنی بر روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، دوازدهمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران، تهران، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران،

۹- رصافی، امیرعباس؛ فرشته مومنی؛ زهرا آسترکی و بهنام امینی، ۱۳۹۱، کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره در شناسایی نقاط پرحادثه: استفاده از روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل همایی، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل

۱۰- رصافی، امیرعباس؛ فرشته مومنی؛ زهرا آسترکی و بهنام امینی، ۱۳۹۱، کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره در شناسایی نقاط پرحادثه: استفاده از روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل همایی، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل

۱۱- مهاجری برج قلعه، رضا و محمدمهدی افرا، ۱۳۹۳، ارزیابی و اولویت‌بندی محورهای حادثه‌خیز درون‌شهری به روش سلسله‌مراتب تحلیلی (AHP) (مطالعه موردی شهر شاهرود)، سومین کنفرانس ملی تصادفات جاده‌ای، سوانح ریلی و هوایی، زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان

12- Park, Juneyoung, Mohamed Abdel-Aty, and Chris Lee. "Exploration and comparison of crash modification factors for multiple treatments on rural multilane roadways." Accident Analysis & Prevention 177-167 :(2014) 70.

13- Delen, Dursun, Ramesh Sharda, and Max Bessonov. "Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks." Accident Analysis & Prevention 38.3 444-434 :(2006).