

ارائه مدل ایمن سازی طرح هندسی راه‌های دوخطه مسیرهای درون شهری

افشین عندلیبی^۱

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند، بیرجند، ایران

afshinandalibi@gmail.com

چکیده

روش مطرح شده در این پژوهش بر مبنای پارامتر جدید طراحی به نام نرخ تغییر انحنای یک قوس به همراه قوس‌های اتصال آن (CCRs) هست. این پارامتر جدید برای داده‌های بسیاری از لحاظ نرخ تصادف (AR) و نرخ هزینه تصادفات (ACR) مورد آزمایش قرار گرفت و مشخص شد که می‌تواند به‌عنوان توصیف‌کننده اصلی ایمنی مسیرها باشد. با در نظرگیری این پارامتر جدید و نیز بر اساس اطلاعات زیادی که از سرعت عملکردی و آمار تصادفات در اروپا و آمریکا فراهم بود، رده‌های طراحی ایجاد شدند تا مقاطع مسیر ای را از نظر ایمنی ترافیک در سه سطح طراحی خوب (خطر کم)، متوسط (دارای نقص‌های ایمنی متوسط) و ضعیف (خطرناک) تقسیم‌بندی کنند. این گروه‌های طراحی بر اساس سه معیار ایمنی تقسیم‌بندی می‌شوند و یک فرآیند ارزیابی کمی (مقداری) ایمنی را برای راه‌های دوخطه درون شهری ایجاد کرده‌اند. این سه معیار ایمنی عبارت‌اند از: سازگاری در طراحی، پایداری در سرعت عملکردی، تناسب و هماهنگی در دینامیک رانندگی. به‌منظور دستیابی به یک فرآیند ارزیابی کلی و سراسری، این سه معیار ایمنی باهم ترکیب شده و به‌صورت یک مقیاس ایمنی سراسری درآمدند. همچنین توصیه‌هایی برای در نظرگیری شعاع مناسب قوس‌هایی که بعد از طول مستقیم مماس می‌آیند (در حالت با یا بدون قوس‌های اتصال کلوتوئید) ارائه شده است و نیز نحوه جداسازی مماس‌های مستقل (طویل) از غیرمستقل (کوتاه) بیان شده است.

واژه‌های کلیدی: نرخ تغییر انحنای یک مقطع قوسی شکل، معیارهای ایمنی، نرخ تصادفات، AR، نرخ هزینه تصادفات، ACR، راه‌های دوخطه برون شهری.

۱- مقدمه

وقتی تصادفی اتفاق می افتد رانندگان به خاطر این رویداد ناگوار مقصر دانسته شده و سرزنش می شوند. زمانی که حالت هماهنگی و پایداری رانندگان در نقاط خاصی از مسیر از بین می رود مشخص می شود که مشکل فقط از رانندگان نیست، بلکه اساساً طرح هندسی مسیر نیز مرتبط با این موضوع است. از آنجایی که تصادفات به طور مساوی در سرتاسر شبکه راه توزیع نشده اند، نقاط با نرخ تصادف بالا دلایل آشکاری هستند که نشان می دهند فاکتورهای دیگری علاوه بر خطای راننده در تصادفات دخالت دارد.

تقریباً ۱۲۰۰۰۰۰ نفر در سال در اثر حوادث مسیر ای کشته می شوند. این گونه تخمین زده می شود که تقریباً ۶۰ درصد از تلفات مسیره های درراه های دوخطه درون شهری رخ می دهد و تقریباً نیمی از این تلفات در مقاطع قوسی شکل مسیر اتفاق می افتد. بررسی تصادفات نشان داده است که در راه های دوخطه درون شهری، نرخ تصادفات در قوس های افقی ۳ تا ۵ برابر بیشتر از مقاطع مماس مسیر هست.

بسیاری عقیده دارند که دستورالعمل ها طرح هندسی راه، مقیاس مشخص و صحیحی را از ارزیابی سطح ایمنی راه ها ارائه نمی کند. تعداد کثیری از نویسندگان نگرانی خود را پیرامون عدم در نظرگیری ملاحظات ایمنی به صورت کمی (مقداری) در دستورالعمل های طرح هندسی، بیان کردند. به عنوان مثال:

[۳] Feuchtinger and Christoffers:

وقتی مسیر ای مورد بهره برداری قرار می گیرد تصادفات رخ داده در آن، تنها نشان دهنده عملکرد ایمنی مسیر است. در فاز طراحی، روشی برای بیان ایمنی ترافیک وجود ندارد.

[۴] Bitzl:

برخلاف سایر رشته های مهندسی، در طراحی راه تقریباً غیرممکن است که بتوان سطح ایمنی مسیر را تعیین کرد. به عبارت دیگر، دستورالعمل ها مقادیر بنیادی و اصولی را برای توصیف سطح ایمنی راه در ارتباط با پارامترهای طراحی و شرایط ترافیکی فراهم نکرده اند، در حالی که در سایر رشته های مهندسی مانند سازه ها ضوابط و معیارهای ایمنی برای ساخت پل ها و ساختمان ها وجود دارد.

[۵] Kerbs and Kloeckner:

اگر دستورالعمل های طراحی مسیر ایمنی مسیره ها را تضمین می کنند، پس هیچ یا تعداد اندکی تصادف باید رخ دهد. وقتی تصادفی اتفاق می افتد، فقط رانندگان به خاطر این اتفاق ناگوار سرزنش می شوند. تصادفات به طور یکنواخت در سطح شبکه راه توزیع نشده اند. نقاطی که تصادفات بالاتری دارند نشانه آشکاری هستند که علاوه بر اشتباه راننده، پارامترهای تأثیرگذار دیگری دخالت دارند.

[۶] Mackenroth:

وقتی راننده ای در نقطه حادثه خیزی از مسیر تصادف می کند، اغلب گفته می شود که طرز رانندگی او عامل تصادف بوده است. وقتی رانندگان به دفعات زیاد در یک نقطه از مسیر دچار حادثه می شوند مشخص می شود که مشکل تنها از رانندگان نیست، بلکه اساساً طرح هندسی مسیر نیز مرتبط با این موضوع است.

بنابراین جابجایی مؤثر و ایمنی ترافیک به طور قابل ملاحظه ای تحت تأثیر مشخصات هندسی مسیر است. مشاهده نقشه های نقاطی که تصادف در آن ها رخ داده است نشان می دهد که تصادفات در محل قوسی ها، به ویژه قوس های بسیار تیز، تجمع یافته اند.

در همین ارتباط، این یک واقعیت است که راه های دوخطه درون شهری بیشترین خطر تصادفات و صدمات را ایجاد می کنند؛ بنابراین به این بخش از شبکه راه باید در مراحل طراحی، طراحی های مجدد و همچنین انجام فعالیت های RRR (ترمیم، نوسازی و بازسازی رویه راه) توجه و تأکید خاصی داشت.

بسیاری از متخصصان بر این عقیده‌اند که تغییرات ناگهانی در سرعت عملکردی منجر به تصادفات در راه‌های دوخطه درون‌شهری می‌شود و این ناپایداری و ناسازگاری در سرعت ممکن است به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای ناشی از تغییرات ناگهانی در مشخصات و المان‌های مسیر باشد.

بنابراین اگر مقاطع راه نسبت به هم سازگارتر و هماهنگ‌تر ساخته شوند، رفتار رانندگی نیز پایدارتر و سازگارتر شده و این یکی از گام‌های ارزشمند در جهت کاهش مانورهای پرخطر راننده و افزایش ایمنی ترافیک در راه‌های دوخطه درون‌شهری هست.

بنابراین مقاطع قوسی شکل مسیر و قوس‌های اتصالی که با آن‌ها مرتبط است می‌تواند عامل مهمی برای کاهش تعداد و شدت تصادفات باشد. عدم سازگاری و هماهنگی بین سرعت خودرو و شرایط مسیر و هندسه آن موجب به وجود آمدن حادثه می‌شود که یکی از اهداف اصلی در این پژوهش کاهش این نوع از تصادفات است.

اگر المان‌های راستای افقی مسیر با یکدیگر سازگار نباشند، راننده به علت مواجه شدن با تغییرات ناگهانی در مشخصات مسیر، نمی‌تواند سرعت مناسبی برای خودرو تعیین کند و بنابراین کنترل وسیله نقلیه به‌ویژه در قوس‌ها از دست او خارج می‌شود. این ناسازگاری‌ها باید توسط مهندس کنترل شود. از آنجایی که راه‌های دوخطه درون‌شهری میزان نرخ تصادفات و نرخ هزینه تصادفات بالاتری را نسبت به راه‌های چند خطه از خود نشان می‌دهند، تأکید و توجه خاصی باید به این بخش از شبکه راه در طی فرآیندهای طراحی، طراحی‌های مجدد، پروژه‌های ترمیم، نوسازی و بازسازی رویه راه قرار داده شود.

روش توصیف‌شده در این پژوهش، یافته‌های حاصل از معیارهای سنجش:

۱ - سازگاری در طراحی

۲ - پایداری در سرعت عملکردی

۳ - تناسب و هماهنگی در دینامیک رانندگی

را تأیید و تصدیق می‌نماید.

سپس این معیارهای ایمنی باهم ترکیب‌شده و به‌صورت یک مدل ساده‌سازی شده کلی جهت ارزیابی فرآیند ایمنی درآمد. همچنین در این تحقیق، موضوع ایمنی با ملاحظات اقتصادی، زیست‌محیطی و مسائل زیباشناختی هماهنگ گردیده و در نظر گرفته شده است. این پژوهش می‌تواند به‌عنوان راهنما و کمک‌کننده‌ای گران‌بها برای اساتید و مربیان، دانشجویان، مشاوران و مهندسان راه و همچنین پژوهشگرانی که در زمینه طرح راه و مهندسی ایمنی ترافیک فعالیت می‌کنند باشد.

بر اساس اطلاعات و داده‌های بسیار زیادی که پیرامون سرعت عملکردی و تصادفات در اروپا و امریکا فراهم بود، رده‌های طراحی ایجاد شدند تا از نظر ایمنی ترافیک، مقاطع مسیر را در سه سطح طراحی خوب (خطر کم)، متوسط (دارای نقص‌های ایمنی متوسط) و ضعیف (خطرناک) تقسیم‌بندی کنند. این سطوح طراحی بر اساس ۳ معیار ایمنی ارزیابی می‌شوند که سرعت طرح و سرعت عملکردی و تناسب در دینامیک رانندگی را برای طراحی راه‌های جدید و بررسی راه‌های موجود دوخطه درون‌شهری، مورد ارزیابی قرار می‌دهند.

به‌منظور دستیابی به یک فرآیند ارزیابی کلی و سراسری، این سه معیار ایمنی باهم ترکیب‌شده و به‌صورت یک مقیاس ایمنی سراسری درآمدند. در نهایت، روابط بین نرخ تصادفات (AR) و نرخ هزینه تصادفات (ACR) با پارامترهای طراحی (نرخ تغییر انحنای یک مقطع قوسی شکل، شعاع قوس، پهنای روسازی) برای سطوح سه‌گانه تجهیزات مسیر ای مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت.

هدف از انجام این پژوهش ارائه فرآیند کمی ارزیابی ایمنی راه‌های دوخطه برون‌شهری هست. در این فرآیند رده‌های طراحی ایجاد شدند تا مقاطع مسیر ای را از نظر ایمنی ترافیک در سه سطح طراحی خوب (خطر کم)، متوسط (دارای نقص‌های ایمنی متوسط) و ضعیف (خطرناک) تقسیم‌بندی کنند. این گروه‌های طراحی بر اساس سه معیار ایمنی تقسیم‌بندی می‌شوند و یک فرآیند کمی ارزیابی ایمنی را برای راه‌های دوخطه برون‌شهری ایجاد کرده‌اند. این سه معیار ایمنی عبارت‌اند از: سازگاری در طراحی، پایداری در سرعت عملکردی، تناسب و هماهنگی در دینامیک رانندگی.

از دیگر اهداف انجام تحقیق، دستیابی به یک فرآیند ارزیابی کلی و سراسری جهت بررسی ایمنی شبکه راه‌های دوخطه برون‌شهری بوده که با ترکیب این سه معیار ایمنی حاصل شد. همچنین در این پژوهش توصیه‌هایی برای در نظرگیری شعاع مناسب قوس‌هایی که بعد از طول مستقیم مماس می‌آیند (در حالت با یا بدون قوس‌های اتصال کلوتوئید) و نیز نحوه جداسازی مماس‌های مستقل (طول) از غیرمستقل (کوتاه) ارائه شده است.

۲- ادبیات پژوهش

نرخ تغییر انحنای یک قوس به همراه قوس‌های اتصال آن

تحقیقاتی که تأثیر پارامترهای طراحی (نرخ تغییر انحنای یک قوس، طول قوس، میزان برابندی، عرض خط، عرض شانه، مسافت دید، شیب‌های طولی) و حجم ترافیک بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ وسیله نقلیه در روز در راه‌های دوخطه درون‌شهری ایالات متحده آمریکا، آلمان، یونان و ایتالیا را ارزیابی کرده است نشان داده‌اند که موفق‌ترین پارامتر در بیان میزان تغییرپذیری سرعت عملکردی و نرخ تصادفات عبارت است از پارامتر طراحی با نام (نرخ تغییر انحنای یک قوس). تمامی دیگر پارامترهای طراحی در مدل‌های رگرسیونی با سطح اطمینان ۹۵٪ آزمایش شدند و با اهمیت عنوان نشدند. جهت تعیین نرخ تغییر انحنای یک قوس با قوس‌های اتصال آن از معادله زیر استفاده می‌کنیم [۶، ۷]:

$$CCR_s = \frac{\left(\frac{L_{Cl_1} + L_{Cr} + L_{Cl_2}}{2R} + \frac{L_{Cl_2}}{2R}\right)}{L} \times \frac{200}{\pi} \times 10^3 = \frac{\left(\frac{L_{Cl_1} + L_{Cr} + L_{Cl_2}}{2R} + \frac{L_{Cl_2}}{2R}\right)}{L} \times 63700 \quad (1)$$

CCR_s نرخ تغییر انحنای یک قوس دایره‌ای ساده و قوس‌های اتصال آن [gon/km]

$$L = L_{Cl_1} + L_{Cr} + L_{Cl_2} \quad [m] \quad \text{کل طول قوس هم‌جهت}$$

$$L_{Cr} \quad [m] \quad \text{طول قوس دایره‌ای}$$

$$R \quad [m] \quad \text{شعاع قوس دایره‌ای}$$

$$L_{Cl_1} \text{ و } L_{Cl_2} \quad [m] \quad \text{طول قوس‌های کلوتوئید (قبل و بعد از قوس دایره‌ای)}$$

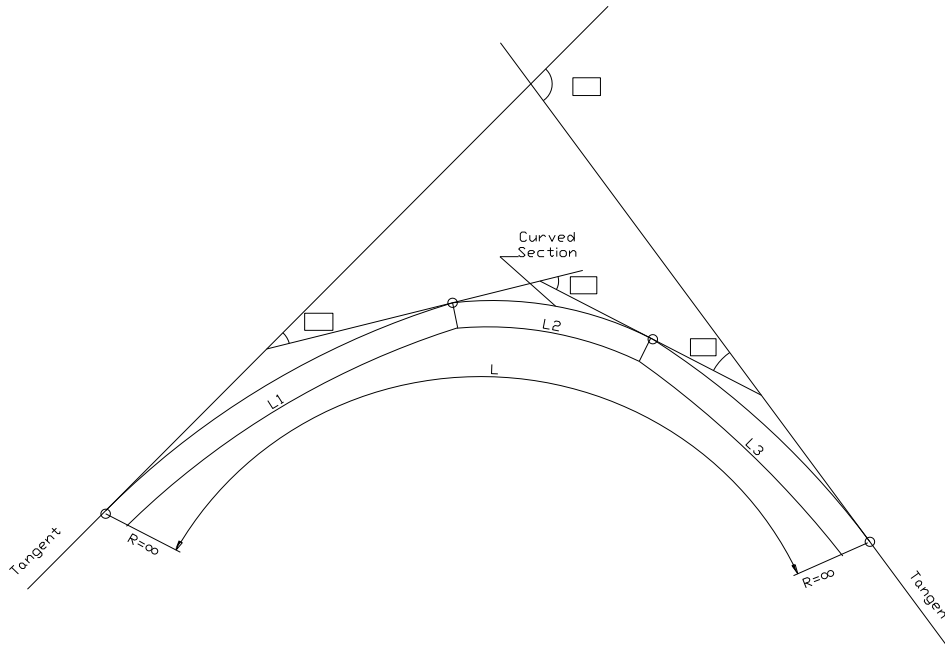
$$\frac{200}{\pi} \times 10^3 = 63700 \quad \text{ضریب تبدیل}$$

دیمانسیون gon مربوط می‌شود به ۴۰۰ درجه داخلی یک دایره به جای ۳۶۰ درجه (طبق تعریف جدید اروپا).

تعریف کلی از CCR_s در شکل (۱) نشان داده شده است. مقدار CCR_s برای حالات مختلف طراحی در نقشه‌های a تا e

ارائه شده است.

نقشه a تعریف کلی

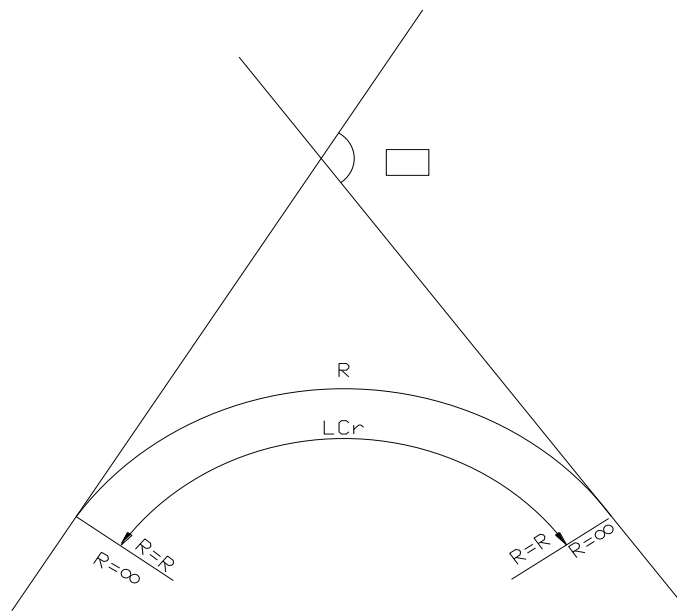


In General : $CC^{R_s} = \frac{|\gamma| \cdot 63700}{L}$ [gon/km] (۲)

For Example : $CC^{R_s} = \frac{(|\varphi_1| + |\varphi_2| + |\varphi_3|) \cdot 63700}{L}$ (۳)

$$L = L_1 + L_2 + L_3$$

نقشه (b) قوس شامل یک قوس دایره‌ای با شعاع R



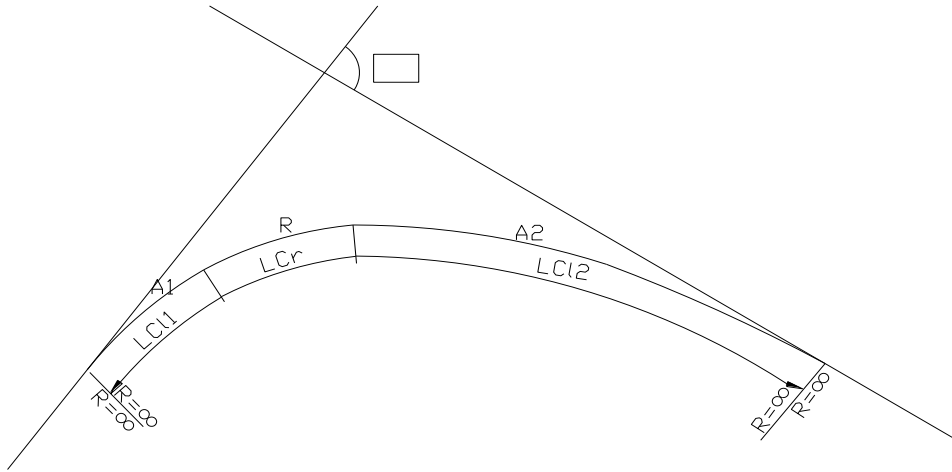
$$CC^{R_s} = \frac{\frac{L_{Cr}}{R} \cdot 63700}{L} \text{ [gon/km]}$$

$$L = L_{Cr}$$

$$|\gamma| = \frac{L_{Cr}}{R}$$

(۵)

نقشه (c) قوس شامل یک قوس دایره‌ای با شعاع R و دو قوس کلوئوئید مجاور با پارامترهای A_1 و A_2



$$|\gamma| = \left(\frac{L_{cl1}}{2R} + \frac{L_{cr}}{R} + \frac{L_{cl2}}{2R} \right)$$

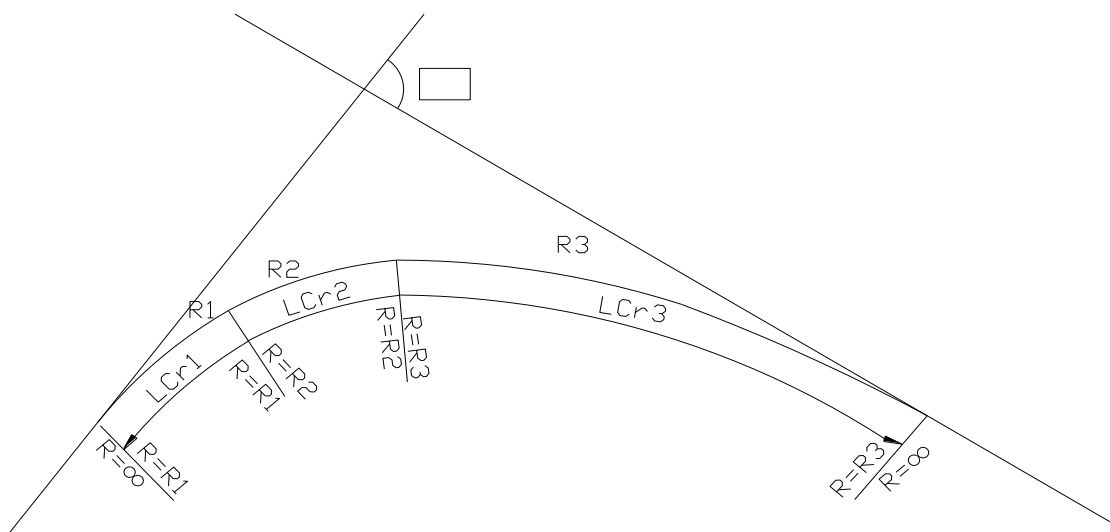
$$= \frac{A_1^2}{R} L_{cl2} = \frac{A_2^2}{R} L_{cl1}$$

$$ccR_s = \frac{\left(\frac{L_{cl1}}{2R} + \frac{L_{cr}}{R} + \frac{L_{cl2}}{2R} \right) \cdot 63700}{L} \quad [\text{gon/km}]$$

(۶)

$$L = L_{cl1} + L_{cr} + L_{cl2}$$

نقشه (d) نقشه قوس مرکب هم‌راستا شامل سه قوس دایره‌ای با شعاع‌های R_3 , R_2 , R_1



$$|\gamma| = \frac{L_{Cr1}}{R_1} + \frac{L_{Cr2}}{R_2} + \frac{L_{Cr3}}{R_3}$$

$$CC R_s = \frac{\left(\frac{L_{Cr1}}{R_1} + \frac{L_{Cr2}}{R_2} + \frac{L_{Cr3}}{R_3}\right) \cdot 63700}{L} \quad [\text{gon/km}] \quad (\gamma)$$

$$L = L_{Cr1} + L_{Cr2} + L_{Cr3}$$

حالت d در شرایطی برای قوس های مرکب معتبر است که شرط زیر برقرار باشد :

$$R_{\max} \leq 3R_{\min} \quad R_{\min} <$$

در غیر این صورت، دو یا سه قوس دایره ای متصل به هم و هم جهت با شعاع های مختلف را نمی توان برای تعیین CCRs به صورت یک قوس ترکیبی در نظر گرفت.

نقشه e قوس هم راستا شامل دو قوس دایره ای با شعاع های R_1, R_2 ، دو قوس کلوئوئید با پارامترهای A_1, A_2 و یک قوس

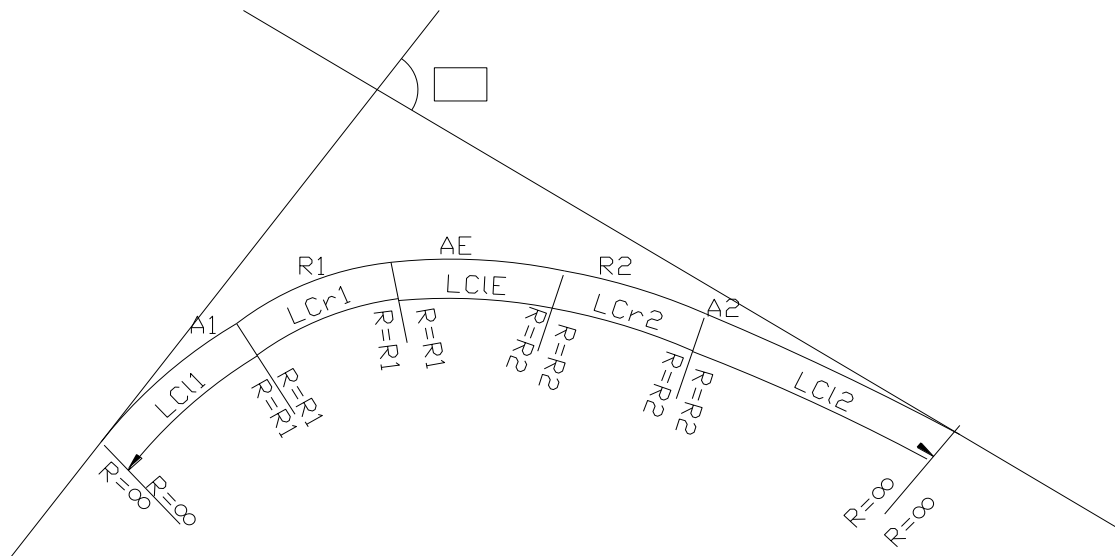
کلوئوئید بیضی شکل با پارامتر A_E

$$|\gamma| = \frac{L_{Cl1}}{2R_1} + \frac{L_{Cr1}}{R_1} + \frac{A_E^2}{2R_2^2} - \frac{A_E^2}{2R_1^2} + \frac{L_{Cr2}}{R_2} + \frac{L_{Cl2}}{2R_2}$$

$$L_{Cl2} = \frac{A_2^2}{R_2} \quad L_{ClE} = \frac{A_E^2}{R_2} - \frac{A_E^2}{R_1} \quad (R_1 > R_2) \quad L_{Cl1} = \frac{A_1^2}{R_1}$$

$$CC R_s = \frac{\left(\frac{L_{Cl1}}{2R_1} + \frac{L_{Cr1}}{R_1} + \frac{A_E^2}{2R_2^2} - \frac{A_E^2}{2R_1^2} + \frac{L_{Cr2}}{R_2} + \frac{L_{Cl2}}{2R_2}\right) \cdot 63700}{L} \quad [\text{gon/km}] \quad (\lambda)$$

$$L = L_{Cl1} + L_{Cr1} + L_{ClE} + L_{Cr2} + L_{Cl2}$$



[m] (i) طول قوس دایره ای = L_{Cri}

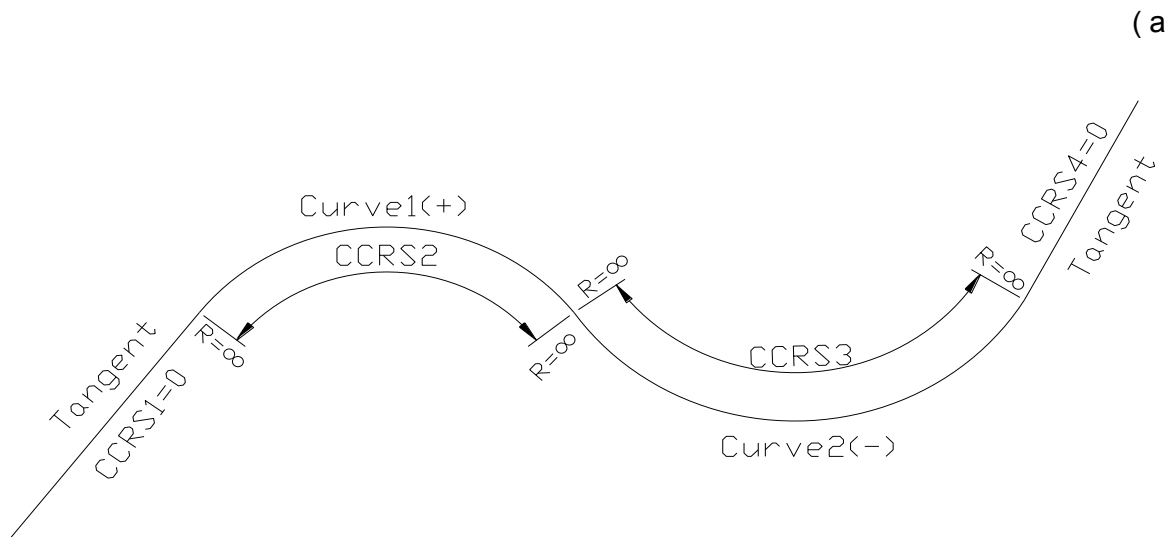
[m] (j) طول قوس کلوئوئید = L_{Clj}

L = طول کل قوس [km]

شکل (۱): نقشه‌ها و معادلات جهت تعیین CCRs برای حالات طراحی a تا e [۲]

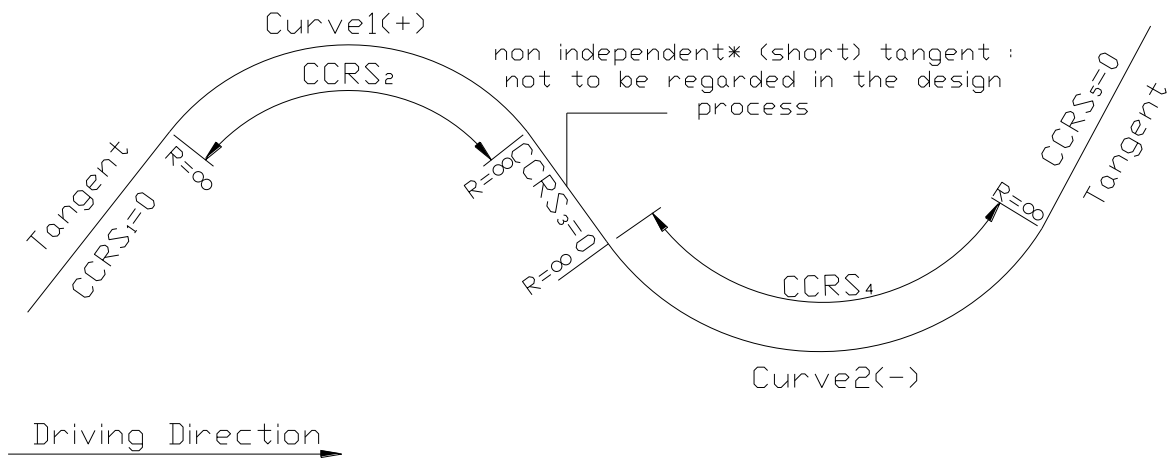
بعد از محاسبه پارامتر جدید طراحی (CCRs) برای یک قوس هم‌راستا مطابق شکل (۱)، سرعت هشتادوپنج درصد (۷۵) را می‌توان مستقیماً از شکل (۲) که مربوط به کشورهای خاصی هست و یا بر اساس معادلات بخش ۲ تا ۸ تخمین زد. همچنین نقشه‌های a تا e در شکل (۳) چگونگی تعیین CCRs در قطعه‌ای از راه را بر اساس نحوه ترکیب قوس‌ها و مماس‌های مستقل و غیرمستقل نشان می‌دهد.

مماس مستقل به مماسی گفته می‌شود که به اندازه کافی طویل است که بتوان آن را در فرآیند ارزیابی ایمنی به صورت قوس-مماس-قوس در نظر گرفت؛ یعنی می‌توان آن را به عنوان المان طراحی مجزا و مستقل در نظر گرفت. مماس کوتاه، مماس غیرمستقل نامیده می‌شود و می‌توان از آن صرفه نظر کرد. نحوه تفکیک مماس‌های مستقل و غیرمستقل از یکدیگر در فصل سوم عنوان می‌شود.

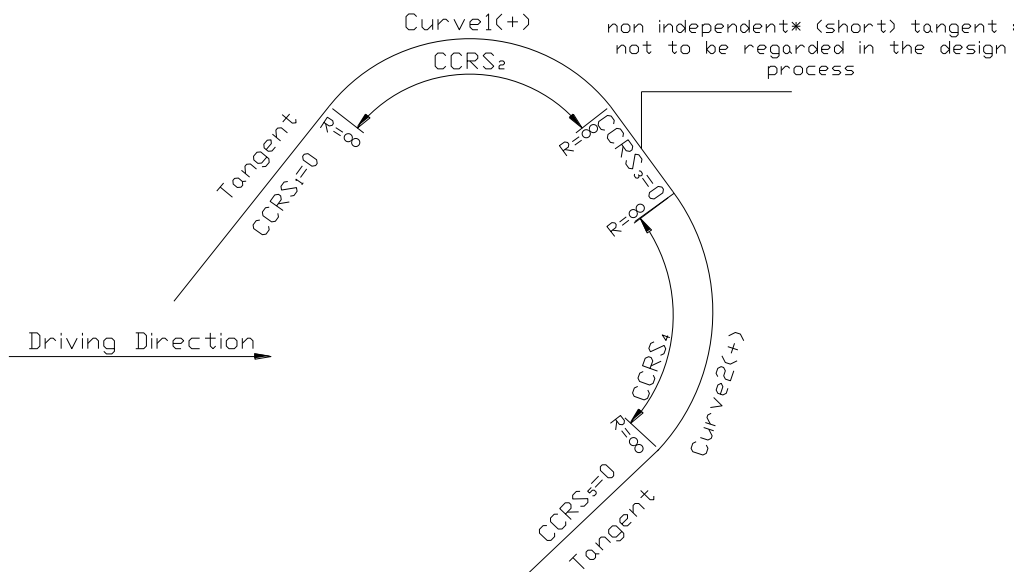


(b) مماس غیرمستقل (کوتاه) (Non Independent Tangent(NIT)) :

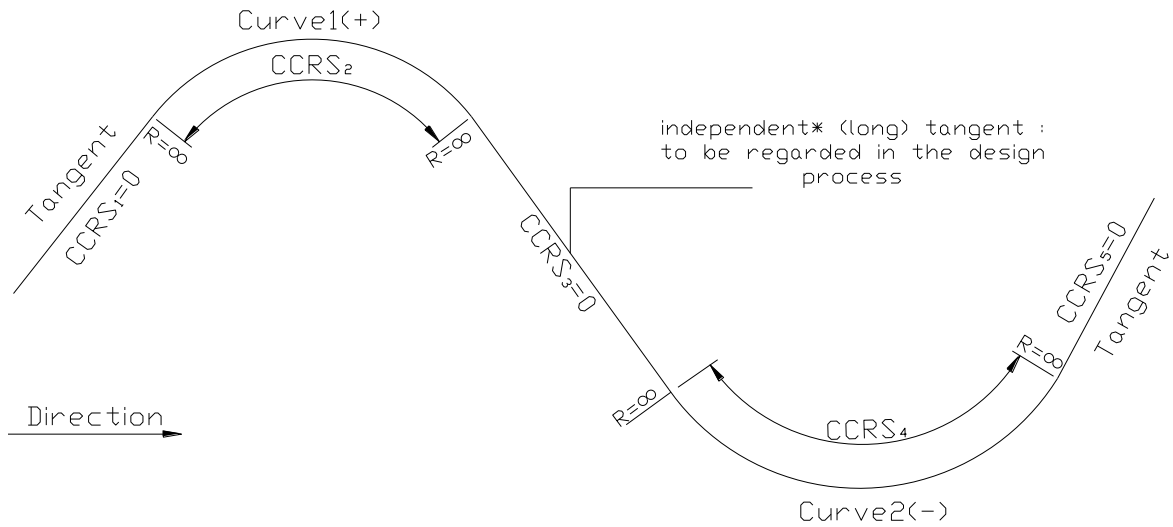
در فرآیند طراحی از آن صرفه نظر می‌شود و به عنوان یک المان مجزا در طراحی به حساب نمی‌آید.



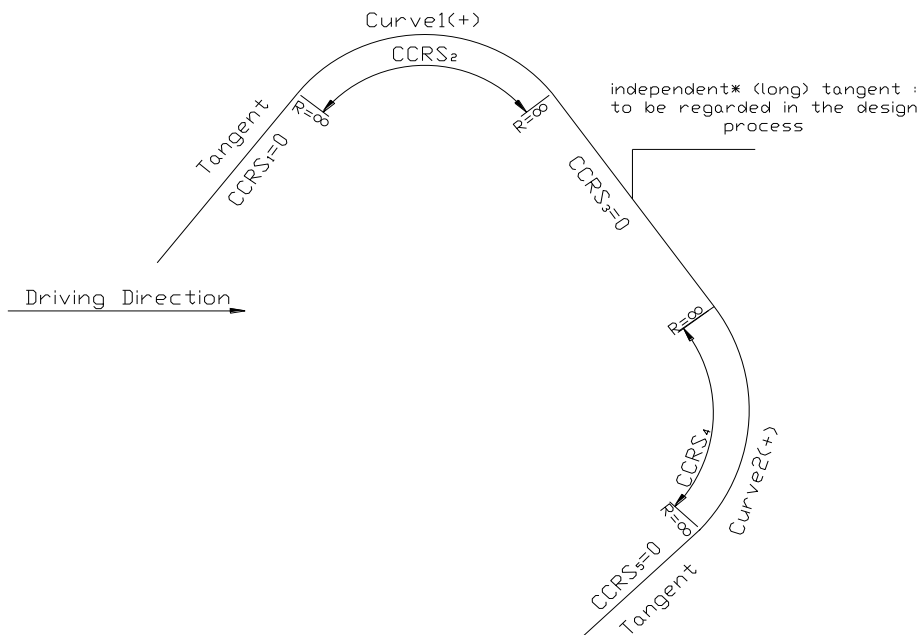
(NIT) (c)



(d) مماس مستقل (طویل) (Independent Tangent(IT)):
در فرآیند طراحی به‌عنوان یک المان مستقل در نظر گرفته می‌شود.



(IT) (e



CCRs= Curvature Change Rate of the Single Circular Curve with Transition Curves

شکل (۲): نقشه‌هایی جهت تعیین CCRs برای حالات طراحی a تا e [۲]

نکته (حالات طراحی a تا e در شکل (۲) با حالات طراحی در شکل (۱) متفاوت هست.

۲-۲. طبقه‌بندی طراحی بر اساس تصادف و سرعت عملکردی

ویژگی‌های طراحی یک‌راه که با رفتار رانندگی و شرایط تصادف مرتبط است، بیانگر مشخصات مسیر هست. مشخصات طراحی عبارت است از: راستای مسیر، مقطع عرضی، طراحی تقاطعات و دسترسی به زمین‌های مجاور. در مورد طراحی راستای مسیر، پارامتر جدید تحت عنوان نرخ تغییر انحنای یک قوس، به‌عنوان بهترین بیان‌کننده رفتار رانندگی و پتانسیل تصادف هست.

پژوهش‌های بسیاری نشان داده‌اند که ارتباط مهمی بین پارامتر CCRs و سرعت عملکردی و نرخ تصادفات (Accident Rates) و نرخ هزینه تصادفات (Accident Cost Rates) وجود دارد. [۲] .

۲-۱. اعداد تصادف نسبی

در ارزیابی ایمنی طرح راه، عنوان کردن نرخ تصادف یا شدت تصادف بهتر و مناسب‌تر است از اینکه صرفاً تعداد تصادفات بیان شود. به همین دلیل اعداد تصادف نسبی مانند نرخ تصادفات و نرخ هزینه تصادفات که طول قطعه‌راه و حجم ترافیک را در نظر می‌گیرند، امکان مقایسه بهتری میان قطعات مختلف راه را ایجاد می‌نمایند.

نرخ تصادف (AR)

نرخ تصادف بیان‌کننده تعداد تصادفاتی است که در طول معینی از راه و در دوره زمانی مشخصی رخ می‌دهد و برحسب وسیله-کیلومتر بیان می‌شود. نرخ تصادف برحسب معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$AR = \frac{\text{accidents} \cdot 10^6}{AADT \cdot 365 \cdot T \cdot L} \quad \text{accidents per } 10^6 \text{ vehicle kilometers} \quad (9)$$

AR = نرخ تصادف (تصادفات در واحد یک-میلیون وسیله-کیلومتر)

AADT = متوسط ترافیک روزانه در سال $\left(\frac{\text{veh}}{\text{day}}\right)$

L = طول قطعه‌راه مورد مطالعه [km]

T = دوره زمانی مورد مطالعه، سال

365 = تعداد روز در سال

نرخ هزینه تصادفات (ACR)

نرخ تصادفات تمامی تصادفات را به‌طور مساوی مورد ارزیابی قرار می‌دهد و از لحاظ شدت، تفاوتی میان آن‌ها قائل نمی‌شود؛ بنابراین، تأثیرات ناشی از شدت تصادفات و هزینه تصادفات را نمی‌توان توسط نرخ تصادفات عنوان کرد. نرخ تصادفات فقط خطر درگیر شدن در یک تصادف را بیان می‌کند، درحالی‌که نرخ هزینه تصادفات علاوه بر آن، شدت تصادفات را از طریق تخمین هزینه مقایسه می‌کند؛ بنابراین نرخ هزینه تصادفات، خطر تصادف را به‌صورت کمی در واحد پولی بیان می‌کند.

نرخ هزینه تصادفات که بیانگر مجموع خسارات مالی و جانی هست، از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$ACR = \frac{S \cdot 100}{AADT \cdot 365 \cdot T \cdot L} \quad (10)$$

ACR = نرخ هزینه تصادفات (واحد پولی در هر ۱۰۰ وسیله-کیلومتر)

S = مجموع کل خسارات مالی و جانی در مدت‌زمان مورد مطالعه (در واحد پولی کشور تحت مطالعه)

AADT = متوسط ترافیک روزانه در سال $\left(\frac{\text{veh}}{\text{day}}\right)$

L = طول قطعه‌راه مورد مطالعه [km]

T = دوره زمانی مورد مطالعه، سال

365 = تعداد روز در سال

میزان خسارات مالی و جانی باید به‌صورت جداگانه محاسبه گردد تا بتوانیم هزینه تصادفات را تعیین کنیم. خسارات مالی توسط پلیس در صحنه تصادف تخمین زده می‌شود و در گزارش عنوان می‌گردد.

برای نشان دادن تلفات جانی به‌صورت هزینه‌های کمی، نویسندگان مختلف بر اساس هزینه‌های اقتصادی مختلف، مقادیر مختلفی را بیان کردند. به‌عنوان مثال هزینه تلفات جانی تخمین زده‌شده توسط موسسه تحقیقات راه‌های فدرال آلمان در سال ۱۹۹۸ عبارت است از:

- مرگومیر معادل است با ۲۳۵۸۰۰۰ مارک آلمان (یک مارک آلمان تقریباً معادل است با ۰/۵۱ یورو)
- صدمات جدی معادل است با ۱۶۱۰۰۰ مارک آلمان
- جراحات سطحی معادل است با ۷۳۰۰ مارک آلمان. این اعداد هر ساله مطابق واقعیت تنظیم می شوند.
در ارتباط بین طراحی راه و ویژگی های تصادف، سرعت از اهمیت ویژه ای برخوردار است؛ بنابراین
برای بررسی AR و به ویژه ACR، آن دسته از تصادفاتی که ناشی از برآورد نادرست سرعت و یا افزایش بیش از حد سرعت
می باشند باید در این تحقیق در نظر گرفته شوند.
بر اساس جداول (۱) و (۲)، تصادفات از نوع (Deer) و (Run-off the road (ROR)) برای تعیین ارتباطات ممکن بین
طرح هندسی راه و شرایط تصادفات استفاده شده اند.

۲-۲-۲. طراحی در مقابل ایمنی

به منظور نمایش بهتر شرایط واقعی تصادف، نرخ تغییر انحنای یک قوس بر اساس اطلاعاتی که از داده های کشور آلمان و
آمریکا موجود بود، به رده های طراحی مختلف (خوب، متوسط و ضعیف) تقسیم بندی شد. جدول (۲) متوسط نرخ
تصادفات (AR) را برای مقایسه مختلف CCRs نشان می دهد.
با توجه به جدول (۲)، با افزایش CCRs، مقادیر متوسط AR نیز افزایش می یابد. نتایج مهم جدول فوق بر اساس منابع
داده های ۳ گانه و انواع مختلف تصادفات به شرح زیر هست:

- ۱- اگر مقدار CCRs مقاطع قوسی شکل حداکثر تا ۱۸۰ باشد (تقریباً معادل قوس دایره ای با شعاع ۳۵۰ متر یا بیشتر)،
راستای افقی مسیر در رده طراحی خوب قرار می گیرد و کمترین خطر تصادفات وجود خواهد داشت.
- ۲- اگر مقدار CCRs مقاطع قوس شکل بین ۱۸۰ تا ۳۶۰ باشد (تقریباً معادل قوس دایره ای با شعاع بین ۱۷۵ و ۳۵۰
متر)، نرخ تصادفات حداقل ۲ تا ۳ برابر بیشتر از حالت $CCR_s < 180$ بوده و رده طراحی متوسط خواهد بود.
- ۳- اگر $CCR_s < 550$ باشد، میزان تصادفات ۴ تا ۵ برابر بیشتر از حالت $CCR_s \leq 180$ بوده و طراحی
ضعیف هست.
- ۴- برای مقادیر CCRs بیشتر از ۵۵۰ (تقریباً معادل شعاع قوس دایره ای کمتر از ۱۱۵ متر)، میانگین AR افزایش
ویژه ای می یابد و جدول ۱ این موضوع را به خوبی نشان می دهد.

جدول (۱): نتایج متوسط AR برای مقادیر CCRs مختلف بر اساس داده‌های کشور آمریکا و آلمان [۸ و ۲]

Design /CCR _s [gon/km]	Mean AR	t _{crit.} t _{calc.}	Significance; Remarks
Database 1: United States of America (261 two-lane rural test sites), 1987, including all accidents			
Tangent (0)	1.17	4.00 > 1.96	- Good Design
CCR _s ≤ 180	2.29	7.03 > 1.96	- Good Design
CCR _s ≤ 360 < 180	5.03	6.06 > 1.99	- Fair Design
CCR _s ≤ 550 < 360	10.97	3.44 > 1.99	- Poor Design
CCR _s ≤ 990 < 550	16.51		- Poor Design
Database 2: Germany(657 two-lane rural test sites), 1994,including run-off-the-road, and Deer accidents			
Tangent (0)	0.35	5.20 > 1.99	- Good Design
CCR _s ≤ 180	0.51	10.70 > 1.96	- Good Design
CCR _s ≤ 360 < 180	1.72	2.64 > 1.98	- Fair Design
CCR _s ≤ 550 < 360	2.78		- Poor Design
Database 3: Germany (2726 two-lane rural test sites), 2001,including run-off-the-road, and Deer accidents			
CCR _s ≤ 180	0.22	27.92 > 1.65	- Good Design
CCR _s ≤ 360 < 180	0.78	15.69 > 1.65	- Fair Design
CCR _s > 360	2.27		- Poor Design
Database 3: Germany (2726 two-lane rural test sites), 2001, including run-off-the-road, head-on, and Deer accidents			
	0.33	28.04 > 1.65	- Good Design
CCR _s ≤ 180	1.12	14.09 > 1.65	- Fair Design
CCR _s ≤ 360 < 180	2.52		- Poor Design
CCR _s > 360			

AR = accident rate [$acc./10^6 veh.km$]
Deer = animal

همچنین ارتباط بین متوسط ACR و رده‌های CCRs مختلف در جدول (۲) ارائه شده است و این نتایج یافته‌های جدول (۱) را نیز تصدیق می‌کند.

جدول (۲): نتایج متوسط ACR برای CCRs های مختلف بر اساس منبع داده‌های کشور آلمان [۸]
ACR accident cost rate (German Marks).

Design / CCR _s [gon/km]	Mean ACR	t _{crit.} t _{calc.}	Significance; Remarks
Database 3: Germany(2726 two-lane rural test sites), 2001,including run-off-the-road, and Deer accidents			
CCR _s ≤ ۱۸۰	4.31	17.15 > ۱.۶۵	- Good Design
CCR _s ≤ ۳۶۰ < ۱۸۰	13.61	8.68 > ۱.۶۵	- Fair Design
CCR _s > ۳۶۰	31.02		- Poor Design
Database3: Germany(2726 two-lane rural test sites), 2001,including run-off-the-road, head-on and Deer accidents			
CCR _s ≤ ۱۸۰	6.04	17.75 > ۱.۶۵	- Good Design
CCR _s ≤ ۳۶۰ < ۱۸۰	17.37	7.44 > ۱.۶۵	- Fair Design
CCR _s > ۳۶۰	33.55		- Poor Design

بنابراین همان‌طور که از جداول ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش CCRs خطر تصادفات و شدت آن‌ها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.

بازه‌های پیشنهادشده برای CCRs در جداول ۱ و ۲ ارائه‌کننده سیستم طبقه‌بندی مناسبی برای دسته‌بندی جدید طرح هندسی راه‌ها در رده‌های خوب، متوسط و ضعیف هست. همچنین این یافته‌ها، مبنای ایجاد سه معیار ایمنی کمی برای ارزیابی طرح راستای مسیر هست که در فصل ۳ به‌طور مفصل به آن اشاره خواهد شد. این معیارها عبارت‌اند از:

- ۱ - دستیابی به سازگاری طرح (معیار ایمنی I)
- ۲ - دستیابی به پایداری سرعت عملکردی (معیار ایمنی II)
- ۳ - دستیابی به تناسب و هماهنگی در دینامیک رانندگی (معیار ایمنی III)

۲-۲-۳. طراحی در مقابل سرعت

بر اساس دستورالعمل‌های طرح هندسی راه در بسیاری از کشورهای دنیا، دو سرعت مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد: سرعت طرح و سرعت عملکردی.

سرعت طرح مبنایی برای تعیین پارامترهای مرتبط با طراحی نظیر قوس‌های افقی، شیب‌ها و قوس‌های قائم هست. سرعت عملکردی رفتار واقعی رانندگی را در نظر می‌گیرد و معمولاً بر اساس سرعت هشتادوپنج درصد بیان می‌شود و در تعیین پارامترهایی نظیر مسافت‌های دید، طراحی قوس‌های قائم محدب، میزان بریلندی و ... نقش دارد.

۲-۳-۱. سرعت طرح (راه‌های جدید)

سرعت طرح بیانگر شرایط اقتصادی و زیست‌محیطی هست و عملکرد فرض شده شبکه راه و کیفیت مورد انتظار از جریان ترافیک در تعیین آن نقش دارند و باید برای تعیین سرعت طرح راه‌های جدید، از طبقه‌بندی که در جدول (۳) بیان شده است استفاده کرد. سرعت طرح در تعیین بسیاری از پارامترها نقش دارد. به‌عنوان مثال:

- کمترین شعاع قوس و حداقل پارامتر کلوتوئید - حداکثر شیب های طولی - پارامترهای مورد نیاز قوس های قائم -
مشخصات راه - ایمنی ترافیک - کیفیت جریان ترافیک - هزینه راه های درون شهری گروه های AI تا AV (جدول (۳))
جدول (۳): طبقه بندی راه ها بر اساس دسته های AI تا AV (قابل استفاده برای اکثر کشورها)

Road Category		Design and operational characteristics												
		Kind of traffic	Cross section	Intersection access	Design Speed V_d [km/h]									
AI	Statewide or interstate functions				Vehicles Vehicles	Multiple Lane 2+1 lane	Controlled (Controlled) free	130	120	110	100	90	80	
All	Regional functions	Vehicles ALL*	Multiple Lane 2 or 2+1 lane	(Controlled) free Free		120	110	100 100	90	80	80	70		
AIII	Functions between municipalities	Vehicles ALL*	Multiple Lane 2 lane	(Controlled) free Free					90	80	70	70	60	
AIV	Large area accessibility functions	ALL*	2 lane	Free						80	70	60	50	
AV	Subordinate connection	ALL*	2 lane	Free								70	60	50

*Indicates All Types of Road User Groups Combined Exceptional Values (italic)

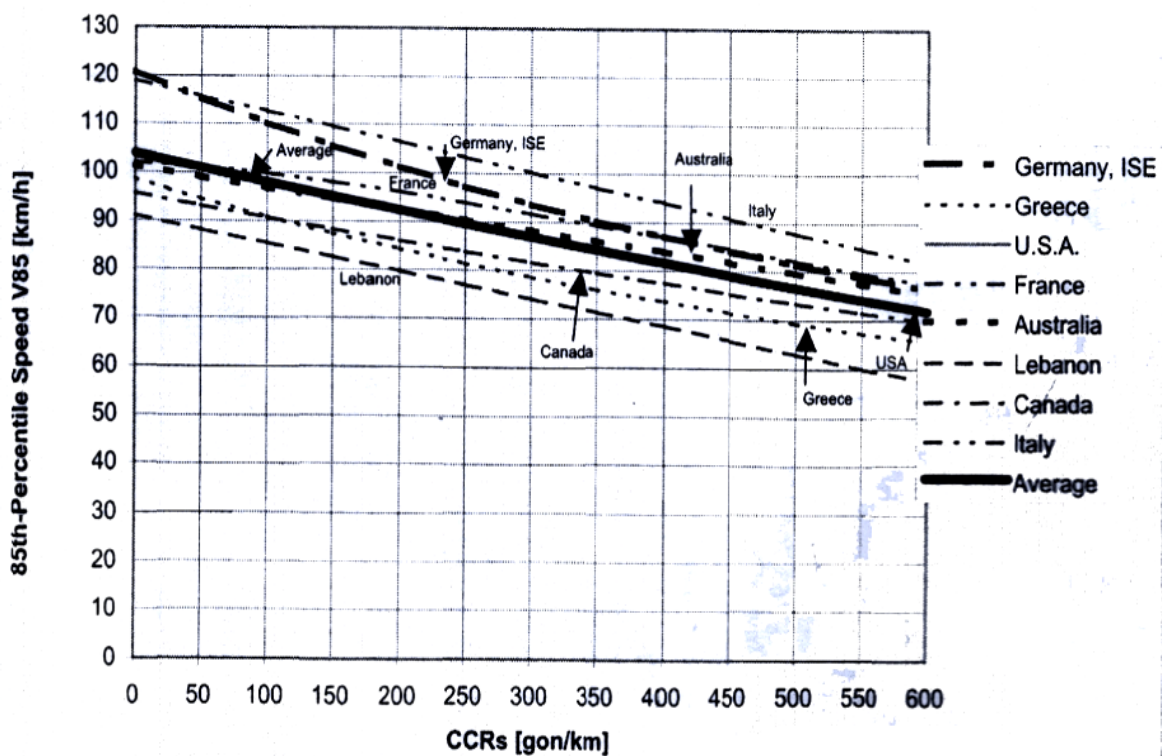
بنابراین برای طراحی راه های جدید، سرعت طرح بر اساس نوع عملکرد راه در شبکه حمل و نقل از جدول ۳ انتخاب می شود و مطلوب آن است که این سرعت طرح انتخاب شده برای مقاطع طولانی تر راه ثابت و متداوم بماند. همچنین از سرعت طرح در پروسه ارزیابی ایمنی طرح هندسی مسیر بر اساس معیار ایمنی استفاده می شود.
برای راه های موجود (قدیمی)، سرعت طرح قطعاً بر اساس جدول ۳ انتخاب نشده است و در تعیین آن عواملی چون کیفیت مورد انتظار ترافیکی و نوع عملکرد راه در شبکه حمل و نقل، دخالت نداشته است؛ بنابراین سرعت طرح این راه های موجود نامشخص هست. از طرفی، برای انجام طراحی های مجدد و طرح های RRR (ترمیم، نوسازی، بازسازی رویه راه) نیاز به سرعت طرح داریم. لذا یک روش جدید برای تعیین سرعت طرح راه های موجود ایجاد شد. در این روش، سرعت طرح بر اساس رفتار واقعی رانندگی در مقطع مورد نظر مسیر تعیین می شود. این فرآیند در بخش ۵-۳-۲ توضیح داده خواهد شد.

سرعت هشتادوپنج درصد

سرعت عملکردی، رفتار واقعی مورد انتظار از سرعت را در نظر می گیرد و معمولاً بر اساس سرعت هشتادوپنج درصد بیان می شود. (V85) عبارت است از سرعت هشتادوپنج درصد خودروهای سواری تحت شرایط جریان آزاد ترافیکی بر روی سطوح بدون مانع و خیس. به عنوان مثال V85 در تعیین موارد زیر کاربرد دارد:

- میزان بریلندی در قوس های دایره ای
- مسافت دید توقف و سبقت مورد نیاز

سرعت هشتادوپنج درصد به هندسه راه بستگی دارد و در پروسه ارزیابی ایمنی بر اساس معیارهای ایمنی I تا III نقش دارد. در تعریف V85 کلمه (خیس) وجود دارد. بر همین اساس، تحقیقات و بررسی‌های گوناگون در مرجع [۲] انجام شده است. نتیجه آن که اگر شدت باران در محدوده کم و یا نیمه سنگین باشد و این وضعیت روی شرایط دید راننده تأثیر زیادی نگذارد، سرعت هشتادوپنج درصد سطوح خشک و خیس تفاوت چندانی باهم نخواهد داشت. این فرضیه مربوط به مسافت دید تقریبی ۱۵۰m هست. پس در شرایط خاص، سرعت‌های بالا نیز بر روی سطوح خیس مشاهده می‌شوند؛ بنابراین، V85 ارائه شده در این بخش برای سطوح خشک و خیس معتبر هست. برای تعیین سرعت‌های عملکردی متناظر با مقایسه CCRs، از شکل (۳) استفاده می‌کنیم که برای تعدادی از کشورها ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش CCRs، مقادیر ۸۵V کاهش می‌یابد. همچنین معادلات رگرسیونی منحنی‌های شکل (۳) در جدول (۴) آمده است.



شکل (۳) وضعیت سرعت عملکردی برای راه‌های دوخطه درون‌شهری در کشورهای مختلف برای شیب‌های طولی کمتر از ۶ درصد.

جدول (۴): مدل‌های رگرسیونی مربوط به وضعیت سرعت عملکردی برای راه‌های دوخطه درون‌شهری در کشورهای مختلف [۲]

Germany, ISE	
$V_{85} = 1.0^6 / (1.270 + 1.01 CCR_S) R^{\tau} = 0.73$	
Speed limit: 100 km/h	
Greece	
$V_{85} = 1.0^6 / (1.150.1 + 1.529 CCR_S) R^{\tau} = 0.81$	
Speed limit: 90 (100) km/h	
U.S.A.	
$V_{85} = 1.03.04 - 0.53 CCR_S$	$R^{\tau} = 0.80$
Speed limit: 90 km/h	
FRANCE	
$V_{85} = 1.02 / [1 + 346 (CCR_S / 637.0)^{1.5}]$	
Speed limit: 90 km/h	
Australia	
$V_{85} = 1.01.2 - 0.43 CCR_S R^{\tau} = 0.87$	
Speed limit: 90 km/h	
Lebanon	
$V_{85} = 91.03 - 0.56 CCR_S R^{\tau} = 0.81$	
Speed limit: 80 km/h	
Canada	
$V_{85} = e^{(4.561 - 5.27 \cdot 10^{-4} CCR_S)} R^{\tau} = 0.63$	
Speed limit: 90 km/h	
Italy [8]	
$V_{85} = 118.9 - 0.62 CCR_S R^{\tau} = 0.94$	
Speed limit: 90 km/h	

بر اساس شکل (۳)، اگر بین دو قوس پیاپی و یا بین یک مماس مستقل (طولیل) و یک قوس، مقادیر تغییر CCR_S کمتر یا مساوی 180 gon/km باشد، این مقدار معادل تغییر سرعت عملکردی کمتر یا مساوی 10 km/h بین این دو المان متوالی است:

$$|CCR_{Si} - CCR_{Si+1}| \leq 180$$

$$|V_{85_i} - V_{85_{i+1}}| \leq 10$$

باشد، داریم: $180 < |CCR_{Si} - CCR_{Si+1}| \leq 360$ دو المان متوالی مسیر و نیز اگر بین

$$10 < |V_{85_i} - V_{85_{i+1}}| \leq 20$$

اگر یافته‌های فوق از شکل ۳ را با اطلاعات جداول ۱ و ۲ که بر اساس تحقیقات پیرامون تصادفات حاصل شده است تطبیق دهیم، سیستم طبقه‌بندی جدول (۲-۵) برای ارزیابی پایداری سرعت عملکردی ایجاد می‌گردد. بر اساس جدول ۵، اگر بین دو المان طراحی متوالی مسیر $\Delta V_{85} \leq 10 \text{ km/h}$ باشد، سطح طراحی خوب است و خطر تصادفات بر اساس جداول ۱ و ۲ کم هست؛ بنابراین سازگاری در راستای افقی بین المان‌های طراحی متوالی وجود دارد. اگر بین دو المان طراحی متوالی، $\Delta V_{85} > 20 \text{ km/h}$ باشد، سطح طراحی ضعیف بوده و بر اساس اطلاعات ارائه شده در جداول ۱ و ۲، میزان تصادفات نیز بالا خواهد بود و ناسازگاری در طرح هندسی راستای افقی بین المان‌های طراحی وجود خواهد داشت. در این شرایط، انجام طراحی‌های مجدد پیشنهاد می‌گردد.

جدول (۵): سیستم طبقه‌بندی برای پروسه ارزیابی ایمنی: پایداری سرعت عملکردی [۸ و ۲].

فرآیند ارزیابی ایمنی برای پایداری سرعت عملکردی		
حالت ۱: سطح طراحی خوب	حالت ۲: سطح طراحی متوسط (قابل قبول)	حالت ۳: سطح طراحی ضعیف
تفاوت‌های مجاز: $ \text{CCR}_{Si} - \text{CCR}_{Si+1} \leq 180$ $ \text{V85}_i - \text{V85}_{i+1} \leq 10$	تفاوت‌های قابل پذیرش: $180 < \text{CCR}_{Si} - \text{CCR}_{Si+1} \leq 360$ $10 < \text{V85}_i - \text{V85}_{i+1} \leq 20$	تفاوت‌های غیرمجاز: $ \text{CCR}_{Si} - \text{CCR}_{Si+1} > 360$ $ \text{V85}_i - \text{V85}_{i+1} > 20$

CCR_{Si} = مقدار CCR_S المان طراحی "i" [gon/km]

مقدار CCR_S المان طراحی "i + ۱" [gon/km]

V85_i = سرعت "i" هشتادوپنج درصد المان طراحی [km/h]

V85_{i+1} = سرعت "i + ۱" هشتادوپنج درصد المان طراحی [km/h]

۳-۲-۲. جمع‌آوری و تقلیل داده‌ها پیرامون سرعت

جمع‌آوری داده‌ها در سه مرحله انجام می‌گیرد:

الف انتخاب مقاطع مسیر ای مناسب برای تحقیق

مقاطع مسیر ای مورد مطالعه باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

۱ - مقاطع به صورت قوس - مماس یا قوس - قوس

۲ - عدم تأثیرگذاری تقاطعات بر مقاطع

۳ - عدم وجود موانع فیزیکی در مسیر راه و یا در مجاورت آن

۴ - متوسط ترافیک روزانه در سال برابر ۱۰۰۰ تا $\left(\frac{\text{veh}}{\text{day}}\right)$ ۱۲۰۰۰ باشد.

ب جمع‌آوری هرچه بیشتر اطلاعات میدانی پیرامون مقاطع مسیر ای:

اطلاعات پیرامون مسیر مورد مطالعه، به‌ویژه درباره نقاط قوسی شکل مسیر در این مرحله باید جمع‌آوری شود. اطلاعات

ثبت‌شده باید شامل شعاع قوس، طول قوس، میزان برابندی، شیب‌های طولی، عرض خط، AADT و ... باشد.

ج اندازه‌گیری سرعت‌های عملکردی در هر مقطع:

جمع‌آوری داده‌های مربوط به سرعت باید در طول ساعات روز تحت شرایط سطح خشک و خیس روسازی انجام شود.

۴-۲-۲. تعیین V85 برای سایر کشورها

طبق تحقیقات انجام‌شده در [Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook].

روابط مناسبی بین V85 و CCRs برای کاربرد جهانی می‌توان استخراج کرد. لازم به ذکر است که این روابط برای شیب‌های

طولی مختلف، متفاوت بوده و در شرایطی که اطلاعات سرعت عملکردی کشور مورد مطالعه در دسترس نباشد، مورداستفاده

قرار می‌گیرد.

الف V85 برای شیب‌های طولی $G \leq 6\%$ و مقادیر CCRs بین 0 تا 1600 gon/km [۸ و ۱۰]:

$$V85 = 105.31 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot CCR_s^2 - 0.071 \cdot CCR_s$$

$$R^2 = 0.98$$

ب V85 برای شیب‌های طولی $G > 6\%$ و مقادیر CCRs بین 0 تا 1600 gon/km [۱۱]:

$$V85 = 86 - 3.24 \cdot 10^{-9} \cdot CCR_s^3 + 1.61 \cdot 10^{-5} \cdot CCR_s^2 - 4.26 \cdot 10^{-2} \cdot CCR_s$$

$$R^2 = 0.88$$

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده پیرامون تصادفات و سرعت‌های عملکردی و نتایج ارائه‌شده در جداول ۱ و ۲ و ۴ و ۵، می‌توان به این نتیجه رسید که بازه‌های ارائه‌شده پیرامون CCRs و V85 ارائه‌کننده سیستم طبقه‌بندی مناسبی از سطوح طراحی خوب، متوسط و ضعیف در شیوه جدید طرح هندسی راه‌ها باشند.

تعیین سرعت طرح برای راه‌های موجود (قدیمی)

همان‌طور که در بالا گفته شد، سرعت طرح برای مسیرهای موجود معمولاً مشخص نیست و قطعاً بر اساس فرضیات جدول ۳ و در نظرگیری نوع عملکرد مسیر در شبکه حمل‌ونقل تعیین نشده است. از طرفی، برای طرح‌های مجدد و طرح‌های RRR (ترمیم، نوسازی، بازسازی رویه راه) نیاز به سرعت طرح راه‌های موجود داریم. روش مطرح‌شده به این صورت است که ابتدا متوسط نرخ تغییر انحنای یک قوس را برای کل طول راه موردنظر توسط فرمول ۷ تعیین می‌کنیم.

$$CCR_s = \frac{\sum_{i=1}^n (CCR_{si} \cdot L_i)}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad (11)$$

متوسط نرخ تغییر انحنای قوس برای کل طول مقطع موردنظر بدون در نظرگیری مماس‌ها $CCR_s \emptyset$ [gon/km]

CCR_{si} نرخ تغییر انحنای یک قوس یا یک مقطع قوسی شکل هم‌جهت i [gon/km]

L_i طول قوس یا یک مقطع قوسی شکل هم‌جهت i [m]

جهت تعیین V85، از شکل ۳، جدول ۴، معادلات ۵ و ۶ استفاده می‌شود که با قرار دادن CCRs، مقدار متناظر V85 به دست می‌آید. اکنون با قرار دادن CCRs به‌دست‌آمده از معادله ۷ به‌جای CCRs در معادلات فوق، مقدار V85 به‌دست‌آمده را می‌توان V_d راه‌های موجود دانست. به‌عنوان مثال با توجه به رابطه ۵ داریم:

$$\emptyset V85 \approx V_d = 105.31 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \emptyset CCR_s^2 - 0.071 \cdot \emptyset CCR_s \quad (۸-۲)$$

۳. سه معیار کمی ایمنی برای طرح هندسی راه‌ها

تحقیقات زیادی نشان داده‌اند که در اکثر موارد سرعت عملکردی (V85) از سرعت طرح (Vd) فراتر می‌رود. این تفاوت سرعت در راه‌هایی که Vd پایینی دارند خطرناک و حادثه‌ساز هست. معیار ایمنی I این تفاوت سرعت را بر اساس جدول (۳-۱) برای هر قوس و مماس مستقل شناسایی می‌کند. دستیابی به سازگاری طرح یکی از اهداف اصلی در طرح هندسی راه‌های مدرن هست، بدین معنی که Vd باید در بخش طولی از راه ثابت بماند و هم‌زمان باید با رفتار واقعی رانندگی که بر اساس V85 بیان می‌شود نیز مشابه و برابر باشد.

اگر V85 بین المان‌های طراحی متوالی (قوس‌ها و مماس‌های مستقل) دارای یک توازن و تناسب خاصی باشد، الگویی اقتصادی و هماهنگ ایجاد می‌کند. معیار ایمنی II، V85 را با Vd برای هر المان مجزا شامل قوس یا مماس مستقل (طول) مقایسه می‌کند، درحالی‌که معیار ایمنی III تفاوت V85 را بین المان‌های طراحی متوالی ارزیابی و بررسی می‌کند.

بر اساس تحقیقات پیشین پیرامون ارزیابی رفتار رانندگی (که بر اساس V85 بیان می‌شود) و شرایط تصادف (که بر اساس نرخ تصادفات و نرخ هزینه تصادفات عنوان می‌شود)، برای طبقه‌بندی معیار ایمنی II در سطوح طراحی خوب، متوسط و ضعیف از جدول (۲-۳) که نشان‌دهنده تفاوت سرعت عملکردی هست استفاده می‌کنیم. این معیار ایمنی باعث رسیدن به پایداری سرعت عملکردی در راستای افقی می‌گردد و به اتصال بین دو المان طراحی متوالی مرتبط است.

بررسی مماس‌ها در فرآیند طراحی

تغییرات ناگهانی و تند در سرعت عملکردی که در راستای افقی ایجاد می‌شود، از عوامل اصلی تصادفات در راه‌های دوخطه درون‌شهری به شمار می‌رود. به همین دلیل اتصال از یک مماس به قوس باید یکی از موارد مهم طراحی به شمار آید. به همین دلیل یکی از مهم‌ترین وظایف در طرح هندسی جدید راه‌ها و پروژه‌های ترمیم برای راه‌های دوخطه درون‌شهری این است که پایداری در سرعت عملکردی ایجاد نموده و نقاطی را که فاقد هماهنگی و سازگاری در مسیر افقی هستند را شناسایی کند. بر اساس مراجع ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵، مماس به‌عنوان المان طراحی دینامیک به حساب می‌آید که افزایش و کاهش سرعت طولی را در آن باید در نظر گرفت.

دو نوع مماس داریم: مماس مستقل به‌اندازه کافی طویل است که بتواند به‌عنوان المان طراحی مستقل در فرآیند ارزیابی ایمنی قوس-مماس-قوس به کار رود. درحالی‌که مماس کوتاه، مماس غیرمستقل نامیده می‌شود و در فرآیند ارزیابی ایمنی از آن صرفه نظر می‌گردد.

در این راستا، ابرهارد [۱۱] یک برنامه و نقشه محاسباتی ساده سازی شده ای را در جدول (۳) برای ارزیابی مقیاس ایمنی سراسری در سطوح طراحی خوب، متوسط، ضعیف ایجاد کرد. در این جدول، هر سه معیار ایمنی دارای تأثیر وزن دهی برابری می باشند.

همچنین یک ضریب وزن دهی مخصوصی به هر سطح طراحی اختصاصی یافت که شامل ضرایب (+1.0)، (0.0) و (-1.0) هست که به سطوح طراحی خوب، متوسط و ضعیف مربوط می شود.

برای هر یک از المانها، این ضرایب وزن دهی بر اساس سه معیار محاسبه شده و سپس باهم جمع و بر تعداد معیارهای ایمنی مربوط به هر المان تقسیم می شود و در نهایت بر اساس بازه محدود کننده میانگین مقادیر مقیاس ایمنی، رده طراحی آن المان بر اساس مقیاس ایمنی سراسری تعیین می شود که در جدول (۳)، چهار نمونه ذکر شده است.

برای المانهای قوسی شکل، هر سه معیار ایمنی کاربرد دارند. درحالی که برای مماس های مستقل (IT)، SCIII کارا نیست، زیرا هیچ نیروی گریز از مرکزی وجود ندارد.

اگر مقیاس ایمنی سراسری برای یک المان رده طراحی خوب را نشان بدهد، آن المان نیازی به اصلاحات یا تنظیمات ندارد. اگر مقیاس ایمنی سراسری رده طراحی متوسط را نشان بدهد، با نصب دستگاهها و ابزارهای کنترل ترافیک و اعمال دستورالعمل های مناسب پیرامون سرعت، می توان کمبودها و نقص های ایمنی را تا حدودی کاهش داد. همچنین در بعضی موارد با انجام اصلاحات مقرون به صرفه از قبیل بازسازی روسازی جهت افزایش مقاومت لغزشی و بهبود برابری، می توان ایمنی را افزایش داد.

همان طور که جداول (۱) و (۲) نشان می دهند، نرخ تصادفات و نرخ هزینه تصادفات در حالت طراحی متوسط بیشتر از رده طراحی خوب هست.

اگر مقیاس ایمنی سراسری برای یک المان رده طراحی ضعیف را نشان بدهد، انجام کامل پروژه های RRR (ترمیم و بهسازی، نوسازی، بازسازی رویه راه) توصیه می شود.

بر اساس معیارهای ایمنی سه گانه، این شرایط بحرانی در موارد زیر اتفاق می افتد:

- رده طراحی ضعیف بر اساس دو معیار ایمنی و رده طراحی متوسط بر اساس یک معیار ایمنی.

- رده طراحی ضعیف بر اساس هر سه معیار ایمنی.

بحث و نتیجه گیری

معمولاً باورها بر این است که مسیر ای که بر اساس استانداردها ساخته شده است ایمن هست، درحالی که وقتی مسیر در عمل مورد استفاده قرار می گیرد تصادفات رخ داده در آن، تنها نشان دهنده سطح کارایی و ایمنی مسیر است. بنابراین لازم است که یک ارتباط واضح و آشکاری بین استانداردهای طراحی مسیر و ایمنی مورد انتظار از آن ایجاد شود.

طبق بررسی های به عمل آمده، بیش از پنجاه درصد تلفات (مرگومیر) مسیر ای درراه های دوخطه درون شهری رخ می دهد و حداقل نیمی از این تلفات در مقاطع قوسی شکل مسیر اتفاق می افتد. به همین منظور، یک فرآیند کاربردی که رفتار رانندگی و قواعد ایمنی را شامل می شود برای ارزیابی طرح های جدید (New designs)، طراحی های مجدد (Redesigns) و پروژه های RRR (ترمیم، نوسازی، بازسازی رویه راه) تهیه و در این تحقیق ارائه شده است.

روش مطرح شده بر مبنای پارامتر جدید طراحی به نام نرخ تغییر انحنای یک قوس به همراه قوس های اتصال آن (CCRs) هست. این پارامتر جدید برای داده های بسیاری از لحاظ نرخ تصادف (AR) و نرخ هزینه تصادفات (ACR) مورد آزمایش قرار گرفت و مشخص شد که می تواند به عنوان توصیف کننده اصلی ایمنی مسیرها باشد.

با در نظرگیری این پارامتر جدید بانام نرخ تغییر انحنای یک قوس و نیز بر اساس اطلاعات زیادی که از سرعت عملکردی و آمار تصادفات در اروپا و آمریکا فراهم بود، رده های طراحی ایجاد شدند تا مقاطع مسیر ای را از نظر ایمنی ترافیک در سه سطح طراحی خوب (خطر کم)، متوسط (دارای نقص های ایمنی متوسط) و ضعیف (خطرناک) تقسیم بندی کنند. این گروه های

طراحی بر اساس سه معیار ایمنی طبقه‌بندی می‌شوند و یک فرآیند ارزیابی کمی (مقداری) ایمنی را برای راه‌های دوخطه درون‌شهری ایجاد کرده‌اند.

این سه معیار ایمنی عبارت‌اند از:

معیار ایمنی I (سازگاری در طراحی):

سرعت طرح را با رفتار واقعی رانندگی که بر اساس سرعت هشتادوپنج درصد خودروهای سواری تحت شرایط جریان آزاد ترافیک بیان می‌شود، مرتبط می‌سازد.

معیار ایمنی II (پایداری در سرعت عملکردی):

هدف آن حفظ و ایجاد یکنواختی در سرعت هشتادوپنج درصد در المان‌های متوالی مسیر است.

معیار ایمنی III (تناسب و هماهنگی در دینامیک رانندگی):

اصطکاک جانبی فرض شده بر اساس سرعت طرح را به اصطکاک جانبی موردنیاز در سرعت هشتادوپنج درصد مرتبط می‌سازد.

معیار ایمنی I مقیاسی است برای سازگاری (هماهنگی) راستای مسیر و معیار II تطبیق و یا عدم تطبیق سرعت‌های عملکردی در بین المان‌های طراحی متوالی را نشان می‌دهد و معیار III به کفایت ایمنی دینامیکی فراهم‌شده مربوط می‌شود. این سه معیار برحسب سه رده ارزیابی می‌شوند: خوب، متوسط و ضعیف.

بنابراین یک روش جدید که همه ویژگی‌ها و مشخصات راه را شامل است ایجاد شد تا سرعت طرح‌های مناسب را به طراحی‌های جدید، طراحی‌های مجدد و پروژه‌های RRR اختصاص دهد. بر اساس این سرعت طرح‌های محاسبه‌شده، طراحی‌های مجدد و یا طرح‌های RRR می‌تواند تغییرات لازم را در مسیر و اصلاح نقاطی که از لحاظ ایمنی دارای نقص هستند (مانند نقص در سرعت طرح، سرعت عملکردی، دینامیک رانندگی) ایجاد کنند و نیز هم‌زمان می‌توان موارد مهمی چون مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی را در نظر گرفت. همچنین توصیه‌هایی برای در نظرگیری شعاع مناسب قوس‌هایی که بعد از طول مستقیم مماس می‌آیند (در حالت با یا بدون قوس‌های اتصال کلوتوئید) ارائه شده است و نیز نحوه جداسازی مماس‌های مستقل (طویل) از غیرمستقل (کوتاه) بیان شده است.

بنابراین پروسه ارزیابی ایمنی نیازمندی‌های لازم برای رسیدن به سازگاری در طراحی، پایداری در سرعت عملکردی و تناسب و هماهنگی در دینامیک رانندگی را بیان می‌کند.

راستای مسیر یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های طراحی هست و دارای ۵ زیر مؤلفه است:

۱- راستای افقی ۲- راستای قائم ۳- مقطع عرضی ۴- مسافت دید ۵- مسیر سه‌بعدی

معیارهای ایمنی سه‌گانه و ضرایب اصطکاک جانبی و مماسی از لحاظ ایمنی تأثیر به‌سزایی بر موارد ۱ تا ۴ دارند و فقط نسبت به زیر مؤلفه مسیر سه‌بعدی تأثیر مستقیم ندارد.

همچنین برای مقایسه شرایط واقعی تصادف با نتایج معیارهای ایمنی سه‌گانه، مسیرهای زیادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج به‌طور متقاعدکننده‌ای نشان داد که سیستم طبقه‌بندی پیشنهادشده برای ارزیابی راه‌ها در رده‌های خوب و متوسط و ضعیف، کاملاً معتبر و صحیح بوده و می‌تواند مهندس را برای کاهش خطر تصادفات و شدت آن کمک شایانی کند.

پیش‌ازاین، برای شناسایی نقاط حادثه‌خیز و خطرناک مسیر ای و تعیین اقدامات متقابل آن، باید منتظر وقوع تصادفات بوده تا این مقاطع مشخص شوند. مهم‌ترین مزیت مفهوم ایمنی این است که در مراحل طراحی، تجزیه و تحلیل‌ها می‌تواند میزان در معرض خطر بودن (کم، متوسط و زیاد) را پیش‌بینی کنند. معیارهای ایمنی سه‌گانه قضاوت‌های مناسبی درباره شرایط ایمنی راه‌های جدید و راه‌های موجود (قدیمی) ارائه می‌کنند و در نتیجه مهندس راه و ایمنی ترافیک می‌تواند شرایط تصادف مورد انتظار را به‌صورت کمی (مقداری) بیان کند.

با این پروسه، نقص‌هایی که در راه‌های جدید وجود دارد قبل از ساخت شناسایی و برطرف شده و نیز اقدامات متقابل صحیح برای راه‌های موجود (قدیمی) که در معرض خطر بالایی هستند، تعیین و برنامه‌ریزی می‌شود. موارد مطالعاتی متعددی

مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج به طور واضحی نشان می دهند که یک ارتباط مهم آماری بین این سه معیار ایمنی و نرخ واقعی تصادفات در تعیین بازه های طراحی خوب (خطر کم) ، طراحی متوسط (خطر متوسط) و طراحی ضعیف (خطر بالا) وجود دارد

به منظور دستیابی به یک فرآیند ارزیابی کلی و سراسری ، این سه معیار ایمنی باهم ترکیب شده و به صورت یک مقیاس ایمنی سراسری درآمدند . در نهایت، روابط بین نرخ تصادفات (AR) و نرخ هزینه تصادفات (ACR) با پارامترهای طراحی (نرخ تغییر انحنای یک مقطع قوسی شکل، شعاع قوس، پهنای روسازی) برای سطوح سه گانه تجهیزات مسیر ای مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت.

جدول (۶): نتایج معیارهای ایمنی سه گانه و مقیاس ایمنی سراسری برای راستای راندگی جهت رفت مسیر قوس های ۱۴ تا ۲۴

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
No.	Station		Parameter	L_i	Safety Criteria			Safety Module	Elements
	from	to			A,R,T	SCI	SCII		
[-]	[km]	[km]	[m]	[m]				↓	
1.Curve14	1.606	1.670	R=100 ESC	63.49	0		-	0	A to B
						n.r.			
2.Tangent	1.670	1.673	T, R=∞ ESC	3.01	n.r.		n.r.	0	B to C
						0			
3.Curve15	1.673	1.768	R=225 ESC	95.49	+		-	0	C to D
						n.r.			
4.Tangent	1.768	1.796	T, R=∞ ESC	27.375	n.r.		n.r.	0	D to E
						+			
5.Curve16	1.796	1.871	R=500 ESC	75.64	0		+	0	E to F
						n.r.			
6.Tangent	1.871	1.902	T, R=∞ ESC	30.515	n.r.		n.r.	0	F to G
						-			
7.Curve17	1.902	1.934	R=120 ESC	32.33	+		-	0	G to H
						n.r.			
8.Tangent	1.934	1.946	T, R=∞ ESC	29.27	n.r.		n.r.	0	H to I
						0			
9.Curve18	1.946	2.018	R=200 ESC	53.96	+		-	0	I to J
						n.r.			
10.Tangent	2.018	2.031	T, R=∞ ESC	13.125	n.r.		n.r.	0	J to K
						*			
11.Curve19	2.031	2.140	R=105 ESC	109.23	+		-	0	K to L
						n.r.			
12.Tangent	2.140	2.189	T, R=∞ ESC	48.73	n.r.		n.r.	0	L to M
						+			
13.Curve20	2.189	2.220	R=150 ESC	31.41	+		-	0	M to N
						n.r.			
14.Tangent	2.220	2.270	T, R=∞ ESC	49.865	n.r.		n.r.	0	N to O
						0			
15.Curve21	2.270	2.388	R=550 ESC	118.54	0		+	0	O to P
						+			
16.Tangent	2.388	2.4896	T, R=∞ ESC	101.15	0		n.r.	0	P to Q
						0			
17.Curve22	2.4896	2.5162	R=200 ESC	26.61	+		-	0	Q to R
						n.r.			
18.Tangent	2.5162	2.5742	T, R=∞ ESC	58.025	n.r.		n.r.	0	R to S
						+			

19.Curve23	2.5742	2.6254	R=350	51.2	0		*	0	K to L
			ESC			n.r.			
20.Tangent	2.6254	2.6694	T, R=∞	43.985	n.r.		n.r.	0	K to L
			ESC			+			
21.Curve24	2.6694	2.715	R=200	45.59	+		-	0	L to M
			ESC			+			

مراجع

- [1] R. Lamm , A. Beck , T. Ruscher , T. Mailaender , " How to make Two-Lane Rural Roads safer" , Scientific Background and Guide for Practical Application, 2007.
- [2] Lamm, R., Psarianos, B., Mailaender, T., Choueiri, E. M., Heger, R., Steyer, R. , "Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook", 1999.
- [3] Feuchtinger, M.E., Christoffers, C., "Driving Dynamic Investigations as Measure of Road-Traffic-Safety", Journal for traffic safety, vol. 1, 1953.
- [4] Bitzl , "The safety level of roads", Research road construction and road traffic technique, Minister of transportation, vol. 28, 1964.
- [5] Kerbs, H.G., Kloeckner, J. H.," Investigations of the Effect of Highway and traffic conditions outside build-up areas on accident rates", research road construction and road traffic technique, Minister of transportation, vol. 223, 1977.
- [6] Schlichter, H.G.,"Road characteristics – An Analytical Evaluation", Road and Interstate , vol. 2, Germany, 1976.
- [7] R. Lamm , "Driving dynamics and road characteristics - A Contribution for highway design with special consideration of operating speeds", Thesis for appointment as university lecture, university of Karlsruhe (TH), vol. 11, 1973.
- [8] Ruscher, T., "Evaluation of the safety concept of the institute for Highway and Railroad Engineering (ISE) with the actual accident situation for a broad data basic", Master thesis, Institute of Highway And Railroad engineering, University of Karlsruhe (TH), Germany, 2001.
- [9] Cafiso, S. ,"Experimental survey of safety conditions on road stretches with alignment inconsistencies", Transportation research record (TRB), 2000.
- [10] Beck, A., "Analysis and evaluation of relationships between traffic safety and Highway design on Two-Lane Rural Roads", Transportation research record (TRB),, 1998.
- [11] Eberhard, O. , "Development of an Operating speed background for roadway sections with Grades \geq 6 percent, as well as Analysis and Evaluation of selected road sections , based on three safety criteria",1997.
- [12] Lamm, R., Psarianos, B., Drymalitou, D., and Soilemezoglou, G., "Guidelines for the design of Highway Facilities, vol. 3: Alignment",2002.
- [13] Lamm, R., Psarianos, B., Cafiso, S., "Safety evaluation process for Two-Lane Rural Roads – A ten year review", Transportation research record, Journal of the transportation research board, No. 1796, 2002.
- [14] Lamm, R., Choueiri, E. M. Hayward, J. C., "Tangent as an Independent Design Element",1988.
- [15] Lamm, R., Smith, B. L., "Curvilinear Alignment: An important issue for a more consistent and safer road characteristic",1994.
- [16] Lippold, C. , "To the relation design of Two-Lane Rural Roads". Commemorative Volume to the 60th Birthday of Univ.-Prof. Dr.-Ing. Walter Durth, 1995.
- [17] Hanke, H., "Effects of Alignment design on traffic safety", VSVI Journal, vol. 1, Wiesbaden, Germany, 1995.
- [18] Harwood, D.W., Fambro, D. B., Fishburn, B., Joubert, H., Lamm, R., Psarianos, B. "International Sight distance design practices", 1998.

- [19] Lamm, R., Zumkeller, K., Beck, A., "Traffic safety – The Relative Effectiveness of a variety of road markings and traffic control devices", CSIR, TRB, VTI, 2000.
- [20] Schmidt, G. , "Analyses and evaluation of roadway sections with respect to three safety criteria", Master thesis, Institute of Highway And Railroad engineering, University of Karlsruhe (TH), Germany, 1995.
- [21] Zumkeller, K. , "Analysis and evaluation of possible relationships between traffic safety, Road design and road equipment with road markings, traffic control devices and Guardrails",1998.
- [22] Schneider, B. , "Development of a superior safety module for the evaluation of the Danger of Two-Lane Rural Roads in tune with the actual accident situation", Master thesis, Institute of Highway And Railroad engineering, University of Karlsruhe (TH), Germany,1999.
- [23] R. Lamm , A. Beck, Zumkeller, K. , "Analysis of relationships between traffic safety and Highway design on rural roads", Road and Construction, vol. 12, 1999.
- [24] R. Lamm , A. Beck, Zumkeller, K. , "Analysis and evaluation of interrelationships Between traffic safety and Highway Geometric Design on Two-Lane Rural Roads", Transportation research record (TRB), 2000.
- [25] R. Lamm, Wolhuter, K., Beck, A. and Ruscher, T. , "Introduction of a new approach to geometric design and road safety", 2001.
- [26] R. Lamm, Guenther, A. K., Choueiri, E. M. , "Safety Module for Highway Design". Transportation research record, Transportation research record, vol. 1512, 1995.
- [27] R. Lamm, Mailaender, T., Steffan, H., Choueiri, E. M., "Safety evaluation process for modern highway geometric design on Two-Lane Rural Roads", Research report V for CTI Engineering, 1993.
- [28] Richter, P., Weise, G., Heger , R. Wagner, T. , "Driving behavior and Psychological activation of motorists as evaluation criteria for the design quality of road traffic facilities", Research report of the German research association(DFG), 1997.
- [29] Syed Abbas, S., Akram Adnan, M., Rohani Endut, R., "Exploration of 85th percentile operating speed model on Horizontal curve: A case study for two-lane rural highways", 2011.
- [30] Labi, S., "Efficacies of roadway safety improvements across functional subclasses of rural two-lane highways", Journal of safety research, 2011.