

ارزیابی رفتار سرعت رانندگان در جاده‌های دوطرفه کوهستانی

علمی - پژوهشی

محمدحسین رضایفر، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

حامد خانی سانجی*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: khani@yazd.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۰ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۸

صفحه ۴۰-۲۵

چکیده

در کشورهای در حال توسعه خطر وقوع تصادفات در جاده‌های کوهستانی به علت طرح هندسی پیچیده بیش از جاده‌های معمولی است. بنابراین سازگاری طرح هندسی با انتظارات رانندگان نقش مهمی در کاهش تصادفات در این مناطق خواهد داشت. در این پژوهش دو راه کوهستانی دو خطه دو طرفه از استان‌های یزد و کرمان به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد و سازگاری طرح در آن‌ها با استفاده از داده‌های سرعت بدست آمده از گوشی‌های هوشمند رانندگان مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور مفهوم جدیدی تحت عنوان المان بحرانی معرفی شد. المان بحرانی در واقع المانی از مسیر است که نرخ انحنای آن نسبت به المان‌های مجاور آن بیشتر است. هر المان از مسیر مجموعه‌ای از قوس‌ها با نرخ انحنا تقریباً مشابه و مسیرهای مستقیم کوتاه مابین آن‌ها است. میزان کارایی این مفهوم با دو روش مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. روش اول به کارگیری آزمون‌های فرض آماری و روش دوم بررسی ضریب همبستگی اسپیرمن بین تصادفات تعیین شده به روش بیزین و یک شاخص راجع سنجش سازگاری بود. ارزیابی آزمون‌های آماری نشان داد که فرض صفر برای کلیه المان‌های بحرانی تعریف شده در این دو مسیر رد شد و فرضیه کاهش سرعت در مجاورت المان بحرانی مورد تایید قرار گرفت. در نهایت بر اساس مفهوم ارایه شده و پروفیل سرعت عملکردی، مواردی جهت ارتقاء سازگاری طرح در جاده کوهستانی شرح داده شد.

واژه‌های کلیدی: المان بحرانی، جاده‌های کوهستانی، سازگاری طرح، سرعت

۱- مقدمه

(al., 2017). لذا، خطر وقوع تصادفات و همچنین شدت وقوع تصادفات در راه‌های کوهستانی بیش از مناطق دیگر است (Rusli et al., 2015). از آنجاکه انسان، راه و خودرو مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در وقوع تصادفات هستند، (Arche & Nord, 2003) یکی از روش‌های مهم کاهش تصادفات در این مناطق، انتطابق خصوصیات هندسی مسیر با انتظارات رانندگان و ویژگی‌های خودرو است که در قالب مفهوم سازگاری طرح بیان می‌گردد. انتظار رانندگان، بر اساس میزان

سالانه در حدود ۱/۳۵ میلیون نفر جان خود را در تصادفات رانندگی در سرتاسر دنیا از دست می‌دهند که از این آمار تعداد کشته شدگان ناشی از تصادفات در کشورهای کم درآمد در حدود سه برابر کشورهای با درآمد بالا است. (World Health Organization, 2018). در مناطق کوهستانی، خصوصاً در کشورهای در حال توسعه به دلیل پیچیدگی توپوگرافی زمین و منابع محدود مالی طراحی، ارایه و اجرا طرح هندسی مطابق استانداردها بسیار مشکل است (Rusli et

نمودارهای ترسیم شده مطالب مفیدی جهت بهبود وضعیت سازگاری طرح در مسیرهای پیچیده کوهستانی ارائه گردید. بخش‌های مختلف این مقاله شامل مروری بر مفاهیم سازگاری طرح، هدف تحقیق، توصیف داده‌ها، روش تحقیق، تحلیل داده‌ها و در نهایت جمع‌بندی و نتیجه‌گیری است.

۲- مروری بر مفاهیم سازگاری طرح

هدف سازگاری طرح ارتقاء سطح هوشیاری رانندگان در مواجهه با عوارض هندسی مسیر و جلوگیری از مانورهای ناگهانی آن‌ها در هنگام عبور از یک المان هندسی نظیر مسیر مستقیم به المان دیگر هندسی نظیر قوس است (Anderson et al., 1999). بسیاری از مطالعات انجام شده در زمینه سازگاری طرح این مقوله را در قالب چهار روش شاخص‌های هندسی، سرعت عملکردی، پایداری خودرو و میزان حجم کار راننده مورد ارزیابی قرار دادند (Ng & Sayed, 2004).

در روش شاخص هندسی، از ویژگی‌های یک المان از مسیر (بعنوان مثال شعاع قوس) یا از تابعی از ویژگی‌های المان مورد مطالعه و المان‌های مجاور بعنوان معیاری برای سنجش سازگاری استفاده می‌شود (Hamilton et al., 2019). در روش پایداری خودرو مقدار اصطکاک جانبی موجود در المان‌های مسیر با مقدار اصطکاک جانبی مورد نیاز برای جلوگیری از لغزش یا واژگونی مورد مقایسه قرار می‌گیرد (Vaiana et al., 2018). منظور از حجم کار راننده میزان فعالیتی است که راننده برای پیمودن یک المان از مسیر باید داشته باشد. یکی از روش‌های ارزیابی میزان حجم کار راننده، ارزیابی میزان حرکت پلک‌های رانندگان در مقاطع مختلف مسیر است (Fitzpatrick et al., 2000). در صورتیکه حجم کار راننده متعادل باشد، راننده در هنگام عبور از عوارض هندسی، زمان لازم برای تصمیم‌گیری و به کارگیری عکس‌العمل مناسب را خواهد داشت (Habib et al., 2019). سنجش سرعت عملکردی و ترسیم پروفیل سرعت یکی از روش‌های رایج ارزیابی سازگاری است. شاخص‌های مختلفی بر مبنای سرعت عملکردی بر سنجش سازگاری طرح در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. بعنوان مثال تفاوت سرعت عملکردی مسیر مستقیم ماقبل قوس و سرعت عملکردی در نقطه وسط قوس (ΔV_{85}) در برخی کتاب‌های مربوط به طرح هندسی بعنوان معیار سنجش سازگاری مطرح

آمادگی رانندگان به عکس‌العمل مناسب و قابل پیش بینی در هنگام مواجهه با شرایط، وقایع و اطلاعات مسیر تعریف می‌گردد. در این شرایط راننده بخوبی قادر است کنترل وسیله نقلیه را حفظ کرده و آن را بخوبی هدایت کند. زیرا ناهماهنگی در طراحی، سبب افزایش زمان پردازش اطلاعات و عکس‌العمل راننده می‌شود، که به نوبه خود کاهش ایمنی رانندگی و افزایش تعداد و شدت تصادفات را به همراه دارد (Fitzpatrick et al., 2000).

سرعت عملکردی یکی از روش‌های دقیق و آسان برای ارزیابی رفتار ناگهانی رانندگان در معابر برون شهری محسوب می‌شود. سرعت عملکردی در واقع سرعتی است که اکثر رانندگان (۸۵ در صد رانندگان) در شرایط جریان آزاد ترافیکی با سرعتی کمتر از آن حرکت می‌کنند (AASHTO, 2018) و در اکثر مقالات علمی آن را با V_{85} نشان می‌دهند. امروزه سنسورهای پیشرفته به کاررفته در خودروهای مجهز (Montella et al., 2014) و همچنین سنسورهای پیشرفته گوشی‌های هوشمند (Vaiana et al., 2018) امکان ثبت مختصات دقیق و سرعت خودرو به طور همزمان بوجود آورده است. لذا با تعیین سرعت خودروها بصورت پیوسته در تمامی نقاط مسیر امکان به کارگیری شاخص‌ها دقیق‌تری برای ارزیابی رفتار رانندگان در طول مسیر و سنجش سازگاری طرح فراهم شده است. هر چند مسیرهای کوهستانی به لحاظ وضعیت توپوگرافی و هندسه مسیر دارای پیچیدگی‌های فراوانی هستند، اما تحقیقات انجام شده در زمینه سازگاری طرح اینگونه مسیرها بسیار اندک بوده و بسیاری از مسائل مربوط به ایمنی این مسیرها هنوز به درستی حل نشده است. لذا در این تحقیق دو مسیر کوهستانی دو خطه دوطرفه در استان‌های یزد و کرمان به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شد و پروفیل سرعت عملکردی براساس داده‌های سرعت رانندگان بدست آمده از گوشی‌های هوشمند ترسیم گردید. سپس تعریف المان بحرانی بر اساس مفاهیم سازگاری ارائه شد و فرضیه سنجش رفتار سرعت رانندگان در محدوده المان بحرانی با استفاده از آزمون‌های فرض آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین جهت اعتبارسنجی این فرضیه همبستگی تصادفات محاسبه شده به روش بیزین و شاخص سازگاری ۸۵ در صد ماکزیمم کاهش سرعت (85MSR) در محدوده المان‌های بحرانی مورد سنجش قرار گرفت. در نهایت با توجه به تحلیل‌ها و

عوامل مؤثر در میزان وقوع تصادفات در قطعات مسیر نیز محسوب می‌شود (Cafiso et al., 2021; Eboli et al., 2017).

۲-۲- طول مسیر مستقیم

طول مسیر مستقیم بین قوس‌ها نقش مهمی در انتخاب سرعت خودروها خصوصاً در مسیرهای کوهستانی ایفا می‌کند. مروری بر مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که به کارگیری مسیرهای مستقیم طولانی بین قوس‌ها با نرخ انحنا قابل توجه سبب افزایش سرعت رانندگان در مسیر مستقیم و کاهش ناگهانی سرعت در مجاورت قوس می‌شود (Hamilton et al., 2019) که این امر افزایش نرخ تصادفات را در مجاورت قوس‌ها به همراه دارد (Elvik, 2019). لام و همکارانش نشان دادند (رابطه ۲) در صورتیکه طول مسیر مستقیم از یک مقدار حداکثر بیشتر (TL_{max}) بوده خود مسیر مستقیم بصورت المان مجزا عمل کرده یعنی خودروها در هنگام ورود از قوس به مسیر مستقیم سرعت خود را افزایش داده تا به مقدار حداکثر خود در مسیر مستقیم برسند (شکل ۱) و سپس با توجه به نرخ انحنا قوس بعد، سرعت خود را کاهش می‌دهند (حالت دوم). همچنین آن‌ها نشان دادند که در صورتیکه طول مسیر مستقیم از مقدار معینی با توجه به سرعت عملکردی دو قوس مجاور کمتر باشد (TL_{min})، این مسیر مستقیم هیچگونه تأثیری در سرعت خودروها نخواهد داشت (حالت اول) (Lamm et al., 1988, 2006).

$$TL_{min} = \frac{|(V85_1)^2 - (V85_2)^2|}{22.03}$$

$$TL_{max} = \frac{2(V85_{Tmax})^2 - (V85_1)^2 - (V85_2)^2}{22.03}$$

در رابطه (۲) $V85_1$ سرعت عملکردی در قوس اول، $V85_2$ سرعت عملکردی در قوس دوم و $V85_{Tmax}$ حداکثر سرعت عملکردی در مسیر مستقیم است. اما اگر طول مسیر مستقیم بین TL_{min} و TL_{max} زیاد باشد ابتدا افزایش سرعت داریم، سپس بسته به میزان سرعت در قوس مجاور قبل از رسیدن سرعت به سرعت ماکزیمم، کاهش سرعت خواهیم داشت (حالت سوم).

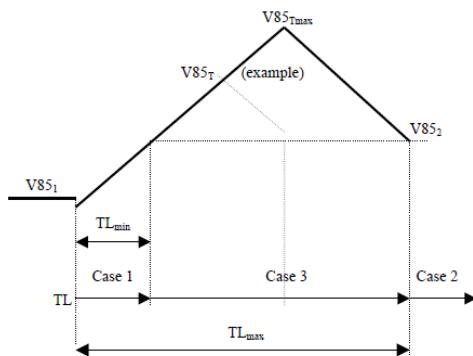
شده است (Lamm et al., 1999, 2006). امروزه با پیشرفت تکنولوژی امکان سنجش سرعت خودروها در نقاط مختلف مسیر فراهم شده است. از اینرو محققین شاخص‌های جدیدی را معرفی کردند که توصیف بهتری از تغییر رفتار رانندگان در هنگام ورود به قوس را نشان می‌دهد و همبستگی آماری بهتر با تصادفات و وضعیت ایمنی مسیر دارند (Dhahir & Hassan, 2019). از آن جمله می‌توان به شاخص ۸۵ درصد ماکزیمم کاهش سرعت اشاره کرد (85MSR). برای محاسبه این شاخص ابتدا ماکزیمم کاهش سرعت از مسیر مستقیم به قوس برای هر خودرو تعیین می‌شود سپس مقدار ۸۵ درصد آن محاسبه می‌گردد. مقدار ۸۵ درصد نشان دهنده این است که ۸۵ درصد داده‌ها از مقدار تعیین شده کوچکتر هستند. مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه سازگاری نشان می‌دهد این شاخص نه تنها معیار مناسبی برای ارزیابی رفتار عکس‌العمل رانندگان در شرایط مختلف محیطی محسوب می‌شود (Bella et al., 2014) بلکه یک معیار مناسب برای سنجش سازگاری نیز محسوب می‌شود (Dhahir & Hassan, 2019).

۲-۱- نرخ تغییرات انحنا

نرخ تغییرات انحنا یک قطعه از مسیر در واقع میزان انحنا آن قطعه از مسیر است و نشان می‌دهد که وضعیت پیچ و خم‌های مسیر در آن قطعه به چه صورت است (Cafiso et al., 2018). نرخ تغییرات انحنا از تقسیم مجموع زوایای قوس‌های موجود در قطعه بر طول قطعه مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$CCR = \frac{\sum \gamma_i}{L} \text{ (gon / km)} \quad (1)$$

در این رابطه $\sum \gamma_i$ مجموع زوایای انحراف المان‌های همجوار در قطعه است بر حسب گان (هر ۴۰۰ گان معادل ۳۶۰ درجه است) و L بر حسب کیلومتر است. لام قوس‌های مسیر را به لحاظ سازگاری طرح به سه دسته عالی ($0 \leq CCR \leq 180$)، قابل قبول ($180 < CCR \leq 360$)، ضعیف ($CCR > 360$) تقسیم کرد (Lamm et al., 2006). مروری بر تحقیقات نشان می‌دهد که نرخ تغییرات انحنا نه تنها یکی از عوامل تأثیرگذار در انتخاب سرعت رانندگان در قسمت‌های مختلف مسیر است بلکه یکی از



شکل ۱. نحوه تغییرات سرعت در مسیر مستقیم

۳- هدف تحقیق

همان طور که در قسمت مقدمه ذکر گردید، مسیرهای کوهستانی دارای پیچیدگی‌های فراوانی هستند و ارزیابی رفتار رانندگان در این مسیرها با تئوری‌های متداول همچون بررسی شعاع قوس یا بررسی سرعت در محدوده یک قوس نمی‌تواند راهکار مفیدی باشد. لذا در این پژوهش بر اساس مفاهیم سازگاری طرح، مفهوم جدیدی به نام المان بحرانی تعریف شد و با استفاده از آزمون‌های فرض آماری، درستی این مفهوم در مسیرهای مورد مطالعه ارزیابی شد. در نهایت به منظور اعتبارسنجی این فرضیه همبستگی آماری شاخص ۸۵ درصد ماکزیمم سرعت و تصادفات تعیین شده به روش بی‌زین برای کلیه المان‌های بحرانی این مسیرها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

در این پژوهش دو راه دوخطه دوطرفه کوهستانی به عنوان مطالعه مورد در نظر گرفته شد. اولین مسیر بخشی از مسیر سربیزن- جیرفت واقع در استان کرمان (جنوب شرق ایران) به طول ۳۶/۲ کیلومتر است. مسیر سربیزن- جیرفت در بخش انتهایی مسیر کرمان- جیرفت و همچنین مسیر بافت-جیرفت که در نزدیکی روستای سربیزن به هم متصل شده‌اند؛ قرار دارد. اصلی‌ترین نقش این مسیر جابه‌جایی مسافر و کالا بین این شهرها است. بعلاوه این مسیر به منظور اهداف تفریحی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. مسیر دوم بخشی از راه تفت- ده‌بالا واقع در استان یزد با طول ۱۳/۷۵ کیلومتر است. این مسیر اغلب به منظور اهداف تفریحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور حذف تأثیر تقاطع، قبل از انتخاب این دو مسیر، بخش‌هایی از این دو مسیر که در مجاورت تقاطع‌ها واقع شده بودند، حذف گشتند. خصوصیات هندسی اجزا این دو مسیر در جدول ۱ ارایه شده است.

۴-۲- داده‌های هندسی

۴-۱- داده‌های حجم ترافیک و تصادفات

کلیه داده‌های تصادفات و حجم ترافیک از طریق سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای جمع‌آوری گشت. این داده‌ها برای بازه زمانی سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ (شامل سال‌های ۱۳۹۵ و

۴-توصیف داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق به سه دسته کلی تقسیم شدند. این داده‌ها شامل: داده‌های ترافیکی و تصادفات بدست آمده از آمارهای اداره حمل و نقل، داده‌های هندسی براساس نقشه‌های ازبیلست مسیرها و داده‌های سرعت که خروجی نرم افزار نصب شده روی گوشی رانندگان بود.

جدول ۱. خصوصیات هندسی مسیرهای مورد مطالعه

	مسیر سریژن- جیرفت		
	طول مسیر مستقیم (متر)	طول قوس (متر)	شعاع قوس (متر)
میانگین	۱۸۶	۱۸۶	۲۵۷
ماکزیمم	۱۲۳۵	۵۲۵	۲۰۰۰
مینم	۱۱	۳۵	۵۲
انحراف معیار	۱۸۹	۹۱	۲۴۴
مسیر نفت- ده بالا			
میانگین	۲۷۶	۱۸۸	۲۶۴
ماکزیمم	۹۱۹	۴۷۴	۶۸۸
مینم	۳۷	۵۹	۶۳
انحراف معیار	۲۱۸	۱۰۹	۱۹۸

۳-۴- داده‌های سرعت

به منظور جمع آوری داده‌های سرعت در نقاط مختلف مسیر از تکنولوژی گوشی‌های هوشمند استفاده شد، این تکنولوژی قابلیت برداشت موقعیت وسایل نقلیه با دقت ۳ الی ۵ متر (Wolf et al., 2014) و سرعت وسایل نقلیه با دقت ۰/۵ کیلومتر بر ساعت (Zhao et al., 2017) را داشت. به منظور جمع آوری داده‌های سرعت، ۳۸ نفر در این تحقیق مشارکت داشتند، کلیه رانندگان مشارکت کننده دارای سن ۳۲ الی ۴۰ بودند و برداشت داده‌های سرعت در روز آفتابی و در شرایط جریان آزاد ترافیکی انجام شد و لذا خصوصیات راننده و شرایط محیطی تأثیر چندانی در رفتار سرعت رانندگان نداشت (Zolali et al., 2021). با توجه به آگاهی رانندگان از هدف برداشت داده‌های سرعت (هیچگونه پیگرد قانونی نداشت)، رانندگان رفتار عادی رانندگی خود را داشتند. همچنین در برخی نقاط مسیر به علت کنترل محدود پلیس، سرعت رانندگان بیش از مقدار مجاز بود. مطابق بسیاری از تحقیقات انجام شده در این پژوهش برداشت داده‌های سرعت در بازه زمانی یک ثانیه انجام گرفت (Boonsiripant et al., 2019; Dahir & Hassan, 2011) و براساس توصیه لام برای هر مسیر در دو جهت رفت و برگشت بیش از هشتاد داده سرعت جمع آوری گشت (Lamm et al., 2006).

۵- روش تحقیق

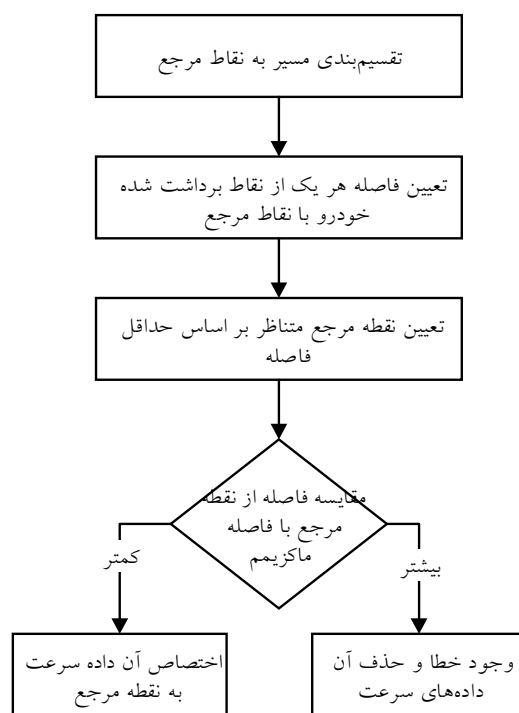
به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، ابتدا بر اساس داده‌های سرعت جمع آوری شده پروفیل سرعت عملکردی برای کل مسیر ترسیم می‌گردد. سپس مسیرهای مورد مطالعه به منظور آنالیز ایمنی و آنالیز رفتار رانندگان به قطعات همگن تقسیم می‌گردد. سپس بر اساس مفاهیم سازگاری ارائه شده، المان بحرانی برای هر قطعه همگن تعریف شده و رفتار غالب رانندگان در محدوده المان بحرانی با به کارگیری آزمون‌های فرض آماری مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند. در نهایت، به منظور اعتبارسنجی فرضیه المان بحرانی، شاخص ۸۵ درصد ماکزیمم کاهش سرعت (85MSR) برای المان‌های بحرانی تعیین گشته و مقدار همبستگی آن با تصادفات مورد انتظار محاسبه شده به روش بیزین مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۵-۱- ترسیم پروفیل سرعت عملکردی

به منظور مرتب سازی داده‌های سرعت و ترسیم پروفیل سرعت عملکردی، یک مجموعه از نقاط را بعنوان نقاط مرجع تعریف شده و میانگین داده‌های سرعت هر خودرو واقع در محدوده یک نقطه مرجع بعنوان سرعت نقطه‌ای خودرو مذکور در آن نقطه مرجع تعریف می‌گردد. بنابراین فاصله نقاط مرجع باید حداقل بگونه‌ای باشد که اولاً به خوبی رفتار سرعت رانندگان را در طول مسیر نشان دهد، ثانیاً حداقل یک داده سرعت مربوط به هر خودرو در محدوده هر نقطه مرجع واقع شود. با توجه به برداشت داده‌های سرعت در بازه زمانی ۱

متناظرشان بیش از $\sqrt{25^2 + 3.5^2} = 25.24$ (۲۵ نصف فاصله بین دو نقطه مرجع متوالی و $3/5$ نصف عرض مسیر است) باشد از مجموعه داده‌ها حذف می‌گردند. شکل ۱، فلوچارت مربوط به الگوریتم حداقل فاصله برای مرتب سازی داده‌های سرعت را نشان می‌دهد. در نهایت پس از اختصاص داده‌های سرعت مربوط به خودروهای مورد مطالعه به نقاط مراجع، مقدار ۸۵ درصد داده‌های سرعت در هر نقطه مرجع معرف سرعت عملکردی خودروها در آن نقطه مرجع است.

ثانیه، فاصله نقاط مرجع ۵۰ متر در نظر گرفته شد (این فاصله داده‌های سرعت کمتر از ۵۰ متر بر ثانیه را به خوبی پوشش می‌دهد). همچنین با توجه به اهمیت نقاط شروع و پایان قوس‌ها، این نقاط نیز بعنوان نقاط مرجع در نظر گرفته شدند. پس از مشخص کردن نقاط مرجع، فاصله مربوط به هر داده سرعت با تمامی نقاط مرجع تعیین می‌شود و داده سرعت به نقطه مرجعی اختصاص داده می‌شود که کمترین فاصله را تا آن داده سرعت داشته باشد. در نهایت به منظور تشخیص خطاهای فنی دستگاه، داده‌هایی که فاصله آن‌ها از نقطه مرجع



شکل ۲. نحوه تعیین سرعت هر خودرو در نقاط مرجع

۲-۵- تقسیم‌بندی مسیر به قطعات همگن

حجم ترافیک به قطعات همگن تقسیم بندی شدند (Llopis-Castelló et al., 2021). بعلاوه به منظور پوشش مناسب رفتار رانندگان و آنالیز ایمنی با دقت مناسب، حداقل طول هر قطعه ۶۰۰ متر در نظر گرفته شد (Cafiso et al., 2018; Llopis-Castelló et al., 2018). در هر قطعه همگن حداقل یک المان بحرانی وجود داشت و حداقل فاصله مرکز المان بحرانی از ابتدا یا انتها قطعه ۳۰۰ متر در نظر گرفته شد. شکل ۳ نحوه تقسیم بندی بخشی از مسیر تفت-ده بالا بر

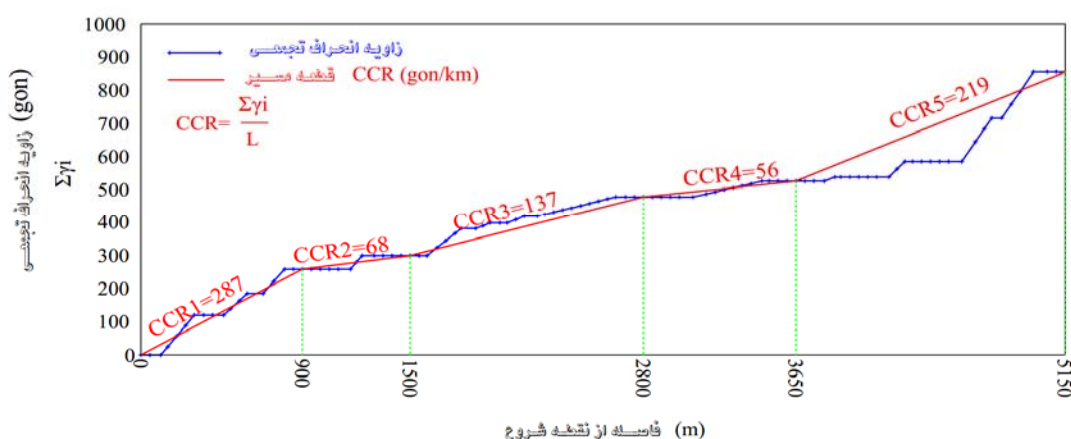
به منظور ارزیابی رفتار رانندگان و آنالیز ایمنی، ابتدا بایستی مسیر بر اساس یک سری معیار منطقی به قطعات همگن به گونه‌ای تقسیم شود که اولاً این قطعات به اندازه‌ای بزرگ باشند که آمار ۵ ساله تصادفات برای هر یک از آن‌ها مخالف صفر باشد. ثانیاً تغییرات سرعت راننده در طول قطعه که یکی از معیارهای اساسی هماهنگی مسیر با رفتار راننده هست یک روند را دنبال نماید. لذا در این مطالعه مسیرهای مورد مطالعه بر اساس چهار معیار نرخ انحنای تغییرات مقطع عرضی، تغییر

قطعه‌ای از مسیر که نرخ انحنای کلیه قوس‌ها آن کمتر از ۱۵۰ باشد، المانی که بیشترین نرخ انحنای آن را داشته باشد بعنوان المان بحرانی قطعه تعیین گشت. در صورتیکه المان بحرانی شامل مجموعه‌ای از قوس‌ها و مسیرهای مستقیم مابین آن‌ها باشد، اولاً طول مسیرهای مستقیم مابین قوس‌ها باید از TL_{min} کمتر باشد، ثانیاً تفاوت نرخ انحنای قوس‌های متوالی کمتر از ۱۵۰ گان بر متر باشد. در فرضیه ارائه شده، مقدار نرخ انحنای المان بحرانی میانگین نرخ انحنای قوس‌های آن است. جدول ۲، خصوصیات المان‌های بحرانی مسیرهای مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد.

اساس نرخ تغییرات انحنای $CCR (gon/km)$ را نشان می‌دهد. نهایتاً، بر اساس معیارهای ارائه شده در این بخش، دو مسیر مورد مطالعه به ۳۶ قطعه همگن تقسیم بندی شدند.

۳-۵- ارزیابی سازگاری در محدوده المان بحرانی

در این پژوهش به منظور ارزیابی بهتر رفتار رانندگان در مسیرهای پیچیده کوهستانی از مفهوم المان بحرانی استفاده شد. در یک قطعه المان بحرانی قوس و یا مجموعه‌ای از قوس‌ها و مسیرهای مستقیم مابین آن‌ها هست که نرخ انحنای آن نسبت به المان‌های مجاور آن بزرگتر ۱۵۰ گان بر متر باشد. همچنین در



شکل ۳. نحوه تقسیم بندی بخشی از مسیر تفت- ده بالا به قطعات همگن بر اساس شاخص نرخ تغییرات انحنای

جدول ۲. خصوصیات المان‌های بحرانی مسیرهای مورد مطالعه

	مسیر سربیزون- جیرفت				مسیر تفت- ده بالا			
	میانگین	انحراف معیار	مینم	ماکزیم	میانگین	انحراف معیار	مینم	ماکزیم
طول (m)	۱۹۱/۸	۱۳۲/۶	۴۸	۵۹۷	۲۱۵/۵	۱۲۸/۶	۶۵	۴۷۵
CCR (gon/km)	۵۱۱/۶	۲۷۶/۸	۱۰۱/۱	۱۲۲۵/۱	۴۸۵/۹	۲۴۷	۹۲/۴	۱۰۰۲/۶

(85MSR) در المان بحرانی نسبت به المان ماقبل مجاور استفاده شد. طول المان‌های مجاور بر اساس مطالعات قبلی انجام شده در زمینه شتاب کاهنده ۲۰۰ متر در نظر گرفته شد. (Fitzpatrick et al., 2000).

همان طور که در جدول مشاهده می‌شود مینم CCR کمتر از ۱۵۰ گان بر کیلومتر هست که این مربوط به قطعاتی از مسیر است که کلیه المان‌های موجود در آن‌ها دارای CCR کمتر از ۱۵۰ گان بر کیلومتر هستند. در این مطالعه به منظور ارزیابی سازگاری از شاخص ۸۵ درصد ماکزیم کاهش سرعت

۵-۴- آزمون فرض آماری

فرض فقط برای المان‌های بحرانی در نظر گرفته شود که سرعت خودرو قبل از رسیدن به المان بحرانی بیش از سرعت طرح المان بحرانی باشد. سرعت طراحی المان بحرانی بر اساس سرعت طراحی هر یک از قوس‌های موجود در المان بحرانی تعیین می‌گردد.

به منظور ارزیابی صحت فرضیه المان بحرانی، از آزمون فرض آماری استفاده شد. فرض صفر این است که راننده به هنگام ورود به المان بحرانی سرعت خود را کاهش نمی‌دهد و فرض مقابل این است که راننده در هنگام مواجهه با المان بحرانی سرعت خود را کاهش می‌دهد. با توجه به اینکه تعداد داده‌های سرعت جمع‌آوری شده مربوط به هر جهت از مسیرهای مورد مطالعه کمتر از ۱۰۰ بود.

بایستی از آزمون t جهت تعیین حدود میانگین داده سرعت در مرکز المان بحرانی و حدود میانگین داده سرعت در فاصله ۲۰۰ متر ماقبل آن استفاده شود. محاسبه حدود میانگین سرعت با دقت (فاصله اطمینان) ۹۵ درصد از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Washington et al., 2020).

۵-۵- ارزیابی ایمنی

سنجش تصادفات مورد انتظار به روش بیزین نه تنها یکی از روش‌های معتبر جهت ارزیابی وضعیت ریسک تصادفات در قطعات مسیر محسوب می‌شود (Colonna et al., 2018). بلکه یکی از روش‌هایی هست که در اعتبارسنجی شاخص‌های جایگزین ایمنی و شاخص‌های سازگاری بطور متداول مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ahmadinejad et al., 2018; Cafiso & la Cava, 2009). این روش به منظور جبران خطای رگرسیون به میانگین روش فراوانی تصادفات، از وزن‌دهی به تصادفات مشاهده شده و تصادفات پیش‌بینی شده حاصل از توابع عملکردی استفاده می‌کند. روابط زیر نحوه محاسبه تصادفات پیش‌بینی شده، وزن اختصاص داده شده به این تصادفات در روش بیزین تجربی و نحوه محاسبه تصادفات مورد انتظار به روش بیزین تجربی (EB) بر اساس تصادفات رخ داده و تصادفات پیش‌بینی شده را نمایش می‌دهند (Highway Safety Manual, 2010).

$$\bar{X} \pm t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

در این رابطه \bar{X} میانگین داده‌های سرعت خودرو در یک جهت در نقطه مورد نظر، $t_{\alpha/2}$ مقدار توزیع t برای درجه آزادی $(n-1)$ و مقدار فاصله اطمینان α است، مقدار s برابر با جذر واریانس داده‌های سرعت در آن مکان است. به عنوان مثال تعداد داده‌های سرعت در مسیر رفت تفت-ده بالا برابر ۴۰ است، بنابراین مقدار $t_{\alpha/2}$ برای این جهت از مسیر برابر ۲/۰۲۱ به دست می‌آید. این در شرایطی است که اگر تعداد داده‌ها بالاتر از ۱۰۰ باشند مقدار $t_{\alpha/2}$ برابر ۱/۹۶ است، در این حالت مقدار آزمون t و Z با یکدیگر برابرند. در ارزیابی فرضیه المان بحرانی، باید به این مسئله توجه داشت اگر سرعت عملکردی خودروها در هنگام ورود به المان بحرانی از سرعت طراحی المان بحرانی کمتر باشد، در این شرایط راننده سرعت خود را در هنگام ورود به المان بحرانی کاهش نخواهد داد (AASHTO, 2018). لذا بایستی آزمون

$$N_{\text{predicted}} = AADT \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{-0.312} \times (CMF_{1x} \times CMF_{2x} \times \dots \times CMF_{yx}) \times C_x$$

$$w = \frac{1}{1 + k \times (\sum N_{\text{predicted}})} \quad (4)$$

$$k = \frac{0.236}{L}$$

$$EB = w \times N_{\text{Predicted}} + (1 - w) \times N_{\text{Observed}}$$

متفاوت از شرایط پایه، k پارامتر بیش پراکندگی که خود تابعی از طول قطعه مورد بررسی است. همچنین $N_{\text{predicted}}$

در این روابط AADT حجم متوسط ترافیک سالیانه، L طول قطعه، CMF_{yx} ضریب اصلاح تصادفات برای شرایط

در قوس‌های مجاور است (رابطه ۲)، بنابراین این مقدار در بخش‌های مختلف مسیرهای مورد مطالعه متفاوت است. هرچقدر، سرعت عملکردی قوس‌های مجاور به هم نزدیک باشند، مقدار TL_{min} کمتری بدست می‌آید. بررسی پروفیل سرعت عملکردی مسیرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که مقدار TL_{min} بین ۶۵ تا ۱۱۵ متر است. به منظور اثبات فرضیه المان بحرانی، حدود میانگین اختلاف سرعت قبل از المان بحرانی و سرعت در مرکز المان بحرانی برای هر یک از المان‌های در هر جهت بصورت جداگانه با دقت ۹۵ درصد با استفاده از آزمون محاسبه شد. محاسبات نشان می‌دهد که فرض صفر در کلیه المان‌های بحرانی رد گشت (البته این مسئله با در نظر گرفتن این شرط است که سرعت طراحی المان بحرانی کمتر از سرعت عملکردی در فاصله ۲۰۰ متری ماقبل آن است) و فرض مقابل مورد تایید قرار گرفت. به عبارت بهتر، اگر سرعت خودروها بیش از سرعت طراحی المان بحرانی باشد، رانندگان هنگام مواجهه با المان بحرانی سرعت خود را کاهش خواهند داد. بعلاوه بررسی سرعت عملکردی المان‌های بحرانی که شامل بیش از یک قوس بودند، نشان داد که وضعیت سرعت عملکردی در کل المان بحرانی تغییرات قابل توجهی (کمتر از ۱۰ کیلومتر بر ساعت) نمی‌کند. این مسئله در کلیه المان‌های بحرانی مورد مطالعه صادق بود.

همچنین پس از محاسبه تصادفات پیش بینی شده و تصادفات مورد انتظار به روش بیزین برای قطعات مختلف مسیر میزان تصادفات مورد انتظار برای هر المان بحرانی به روش بیزین تعیین گشت. سپس مقدار این تصادفات با شاخص 85MSR مورد مقایسه قرار گرفت. برای این منظور از آزمون همبستگی اسپیرمن استفاده شد. خلاصه نتایج همبستگی اسپیرمن در هر یک از مسیرها و در دو مسیر در جدول ۳ ارائه شده است.

تصادفات پیش‌بینی شده برای قطعه مورد بررسی و $N_{observed}$ تصادفات رخ داده در آن قطعه است (Highway Safety Manual, 2010). C_x ضریب کالیبراسیون محلی که با توجه به مطالعات اخیر انجام شده در استان کرمان لحاظ گردید (Haghani et al., 2021). در نهایت به منظور اعتبارسنجی فرضیه مورد مطالعه، همبستگی اسپیرمن^۹ (Washington et al., 2020) تصادفات مورد انتظار به روش بیزین با شاخص ۸۵ درصد ماکزیمم کاهش سرعت (85MSR) مورد ارزیابی قرار گرفت.

۶- تحلیل داده‌ها

بعد از جمع‌آوری داده‌های سرعت مربوط به هر خودرو، مقدار سرعت در نقاط مبنا به روش تشریح شده در بخش ۵-۱ این مقاله تعیین گشت و پروفیل سرعت عملکردی برای مسیرهای مورد مطالعه ترسیم شد. سپس مسیرهای مورد مطالعه بر اساس روش تشریح شده در بخش ۵-۲ به قطعات همگن تقسیم بندی شدند و المان‌های بحرانی بر هر یک از قطعات همگن بر اساس روش ارائه شده در بخش ۵-۳ تعیین شدند. به منظور ارزیابی سازگاری طرح، سرعت رانندگان در المان بحرانی با المان مجاور (محدود ۲۰۰ متری قبل از المان بحرانی) مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی پروفیل سرعت عملکردی در مسیرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که افزایش شتاب و کاهش شتاب خودروها در مسیرهای با شیب تند مثبت (شیب بالاتر از ۵٪) نسبت به شیب تند منفی بسیار کمتر است این موضوع در آیین‌نامه‌های معتبر نیز بیان شده است (AASHTO, 2018). بنابراین طراحی سازگار در بخش‌های از مسیر که دارای شیب تند منفی هستند، دارای محدودیت‌های بیشتری است. به منظور تعیین المان‌های بحرانی مسیر، علاوه بر مقدار CCR قوس‌های مجاور، فاصله قوس‌های مجاور نیز بایستی از مقدار TL_{min} (طول حداقل مسیر مستقیم بین دو قوس) کمتر باشد. مقدار TL_{min} تابعی از سرعت عملکردی

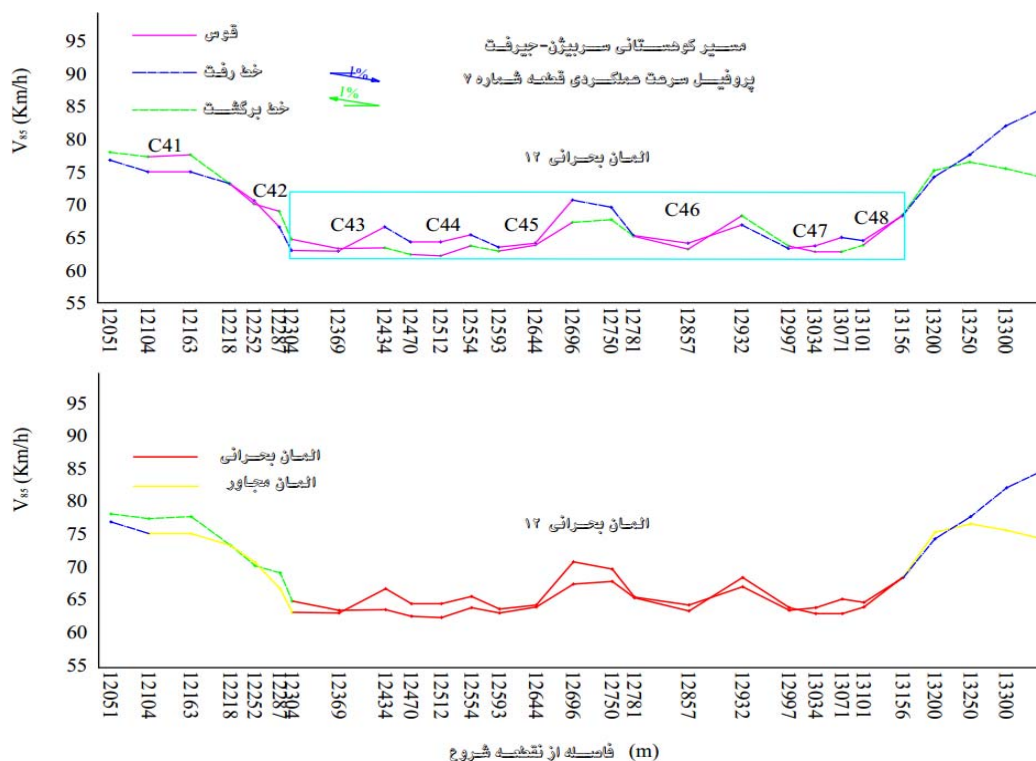
جدول ۳. نتایج همبستگی اسپیرمن تصادفات مورد انتظار و 85MSR

	مسیر سربیزن -چیرفت	مسیر تفت- ده بالا	دو مسیر
85MSR	۰/۷۱۴	۰/۷۲۰	۰/۵۴۳
P-value	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

CCR المان بحرانی با مقدار CCR قوس‌های مجاور نزدیکتر باشد، ناسازگاری طرح در آن بخش از مسیر کمتر خواهد بود. بعنوان مثال (شکل ۴)، المان بحرانی ۱۲ مسیر سربیزن- جیرفت که در قطعه ۷ واقع شده است را نشان می‌دهد. CCR این المان بحرانی 914 gon/km است، این المان بحرانی شامل مجموعه‌ای از قوس‌ها با شعاع کم هست لیکن با توجه به قرارگیری آن‌ها در فواصل نزدیک بهم سرعت عملکردی رانندگان در طول المان بحرانی تقریباً ثابت است. همچنین با توجه به اینکه قوس‌های مجاور المان بحرانی، دارای CCR بالا بوده و روند کاهش شعاع قوس‌ها به تدریج انجام شده، در نتیجه کاهش سرعت رانندگان در هنگام ورود به المان بحرانی ناگهانی نیست. همچنین مطالعات اخیر بیان می‌کند که احتمال وقوع تصادفات در قوس‌های با شعاع کم با چنین آرایش هندسی نسبت به حالات دیگر کمتر است (Elvik, 2019). در مورد این نوع المان با توجه به شیب کم رفتار سرعت رانندگان در مسیر رفت و برگشت تقریباً مشابه هم هستند.

همان طور که مشاهده می‌شود میزان همبستگی آماری با تصادفات مورد انتظار نسبت به مطالعات مشابه انجام شده برای قوس‌ها به مراتب بالاتر است (Cafiso & la Cava, 2009). همان طور که در جدول مشاهده می‌شود میزان همبستگی اسپیرمن شاخص 85MSR با تصادفات مورد انتظار به روش بیزین در دو مسیر، با هر یک از مسیرها متفاوت است. تفاوت قابل ملاحظه حجم ترافیک عبور از دو مسیر می‌تواند یکی از دلایل این موضوع باشد.

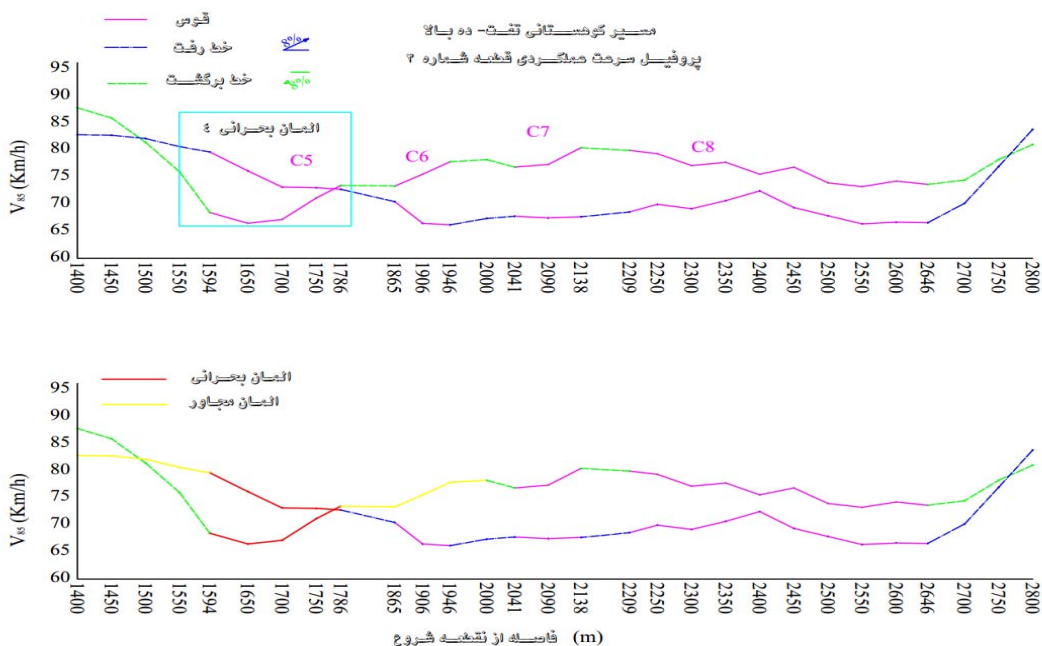
ضمن اینکه مسیر سربیزن - جیرفت در امتداد یک مسیر طولانی بین دو شهرستان بزرگ استان کرمان، یعنی کرمان و جیرفت واقع شده است و لذا ناسازگاری طرح می‌تواند سبب وقوع تصادفات بیشتری نسبت به مسیر تفت- ده بالا شود. بررسی پروفیل سرعت عملکردی در محدوده المان‌های بحرانی نشان می‌دهد که نرخ تغییرات انحنا و مسیر مستقیم بین قوس‌ها دو عامل تأثیرگذار در میزان سازگاری طرح هستند (Eboli et al., 1999; Lamm et al., 2017). در صورت وجود المان بحرانی با نرخ انحنا بالا ($CCR > 360$) هر چقدر فاصله این المان بحرانی از قوس‌های مجاور کمتر باشد و هر چقدر مقدار



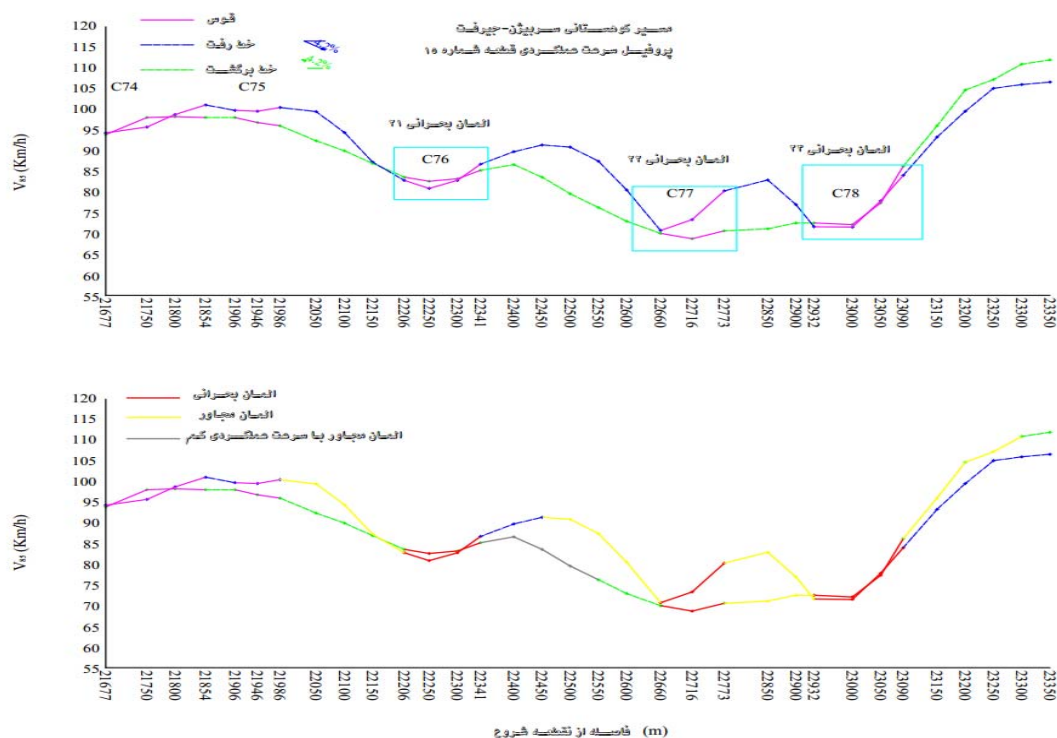
شکل ۴. رفتار رانندگان در المان بحرانی شماره ۱۲ مسیر سربیزن- جیرفت

در مجاورت المان بحرانی کاهش می‌دهند (AASHTO, 2018). این مسئله را به وضوح در المان بحرانی شماره ۲۳ جهت برگشت مسیر سربیزن- جیرفت می‌توان مشاهده کرد. مقدار CCR این المان ۶۵۷ گان بر کیلومتر با توجه به اینکه فاصله این المان از قوس ماقبل بسیار بیش از طول TL_{max} است. همچنین در همین جهت در مورد المان بحرانی ۲۱، به دلیل اینکه سرعت عملکردی قبل از این المان از سرعت طراحی این المان (حدود ۸۰ کیلومتر بر ساعت) کمتر است افزایش سرعت اتفاق می‌افتد (شکل ۶). مقدار میانگین اختلاف سرعت در مسیر مستقیم قبل قوس و سرعت در قوس با دقت ۹۵ درصد در بازه [۲/۳۲، ۷/۹۰-] قرار می‌گیرد و بیانگر این مطلب است که این المان در مسیر برگشت المان بحرانی نیست. همچنین مشاهده می‌شود در فاصله بین المان‌های بحرانی در مسیر، چون طول مسیر مستقیم بین TL_{min} و TL_{max} قرار دارد. سرعت با توجه به شیب ابتدا افزایش و قبل رسیدن به سرعت ماکزیمم، کاهش سرعت اتفاق می‌افتد. بنابراین در طراحی سازگار، فاصله مستقیم بین قوس‌ها بایستی بگونه‌ای باشد که سرعت در این فاصله افزایش قابل توجهی نداشته باشد.

همین مسئله در قسمت‌های با شیب تند نیز صادق است، هر چقدر روند تغییرات CCR در طول یک قطعه از مسیر تدریجی باشد و فاصله بین قوس‌های آن قطعه کم باشد، سبب شده راننده، آمادگی مواجهه با قوس با شعاع کم را داشته باشد و از تغییر سرعت ناگهانی راننده جلوگیری به عمل می‌آید (شکل ۵). این شکل المان بحرانی شماره ۴ واقع در قطعه سوم مسیر تفت ده بالا را نشان می‌دهد. مقدار CCR المان بحرانی ۴۲۴ گان بر کیلومتر و شیب مسیر حدود ۸ درصد است. اما فاصله کوتاه بین المان بحرانی و قوس‌های مجاور و روند تدریجی کاهش شعاع قوس تا المان بحرانی سبب شده در هر دو جهت رفت و برگشت رانندگان هیچگونه عکس‌العمل ناگهانی نداشته باشند و خطر ریسک تصادفات نیز کاهش یابد (Elvik, 2019). همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود سرعت در جهت شیب منفی نسبت به سمت مقابل بیشتر در المان بحرانی کاهش می‌یابد و لیکن با توجه به مجاورت قوس‌ها به شعاع‌های نسبتاً مشابه، هیچگونه تغییرات ناگهانی سرعت در این المان مشاهده نمی‌شود. این در شرایطی است که فاصله زیاد بین المان‌های بحرانی و تغییرات شدید CCR سبب بروز رفتارهای ناگهانی خواهد شد (Lamm et al., 1988). همچنین مشاهدات حاکی از این مطلب است که در شیب‌های تند منفی، رانندگان با شدت بیشتری سرعت خود را



شکل ۵. رفتار رانندگان در المان بحرانی شماره ۴ مسیر تفت- ده بالا



شکل ۶. رفتار سرعت رانندگان در المان‌های ۲۱، ۲۲ و ۲۳ مسیر سریژن-جیرفت

۷- نتیجه‌گیری

به عنوان المان بحرانی در نظر گرفته شدند. سپس این فرضیه مطرح گردید که اگر سرعت طراحی المان بحرانی کمتر از سرعت عملکردی رانندگان در المان مجاور باشد، سرعت عملکردی رانندگان در هنگام ورود به المان بحرانی کاهش می‌یابد. صحت این مسئله با به کارگیری آزمون فرض آماری مورد اثبات قرار گرفت و نتایج آنالیز مقدار میانگین اختلاف سرعت مسیر مستقیم قبل از المان بحرانی و المان بحرانی با دقت ۹۵ درصد برای تمام المان‌های بحرانی صادق بود.

همچنین همبستگی اسپیرمن بین شاخص 85MSR و تصادفات مورد انتظار به روش بیزین با توجه به تحقیقات انجام شده در این زمینه مقدار مناسبی بود. بررسی پروفیل سرعت عملکردی در محدوده المان‌های بحرانی نشان می‌دهد که طول مستقیم بین المان بحرانی و المان ماقبل آن و تغییرات انحنای دو فاکتور تأثیرگذار در مسئله سازگاری هستند به نحوی که هر چقدر تغییرات انحنای شدیدتر باشد یا مسیر مستقیم بیشتری وجود داشته باشد، میزان سازگاری کمتر خواهد بود. این موضوع در بخش‌های مسیر که در شیب‌های تند منفی واقع

طراحی و تصحیح هندسی مسیرهای کوهستانی به علت شرایط ویژه توپوگرافی همواره با محدودیت‌های زیادی مواجهه هست. بنابراین شناخت کافی از رفتار رانندگان در این مناطق می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود کیفیت طراحی این مسیرها و کاهش تصادفات جاده‌ای خصوصاً در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران داشته باشد. از اینرو در این تحقیق از روش ارزیابی سازگاری طرح بر مبنای سرعت عملکردی استفاده شد. برای این منظور داده‌های سرعت رانندگان که با استفاده گوسی‌های هوشمند در طول مسیر برداشت شده بود؛ استفاده شد. این روش به علت هزینه کم و دقت بالا می‌تواند بیشتر در پژوهش‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد. از آنجاکه مسیرهای کوهستانی از قوس‌های متعددی تشکیل شده است و دارای پیچیدگی خاصی است، در این تحقیق از یک روش ابتکاری برگرفته از مفاهیم طرح هندسی مراجع معتبر جهت آنالیز رفتار رانندگان در طول این مسیر استفاده شد. به این ترتیب که قوس یا مجموعه‌ای از قوس‌ها که دارای نرخ انحنای بالاتری نسبت به المان‌های اطرافشان بودند،

بحرانی جلوگیری شود. در پایان پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتر و جامع‌تری بر اساس سرعت پیوسته خودروها در محدوده المان‌های بحرانی انجام گیرد تا با تعیین روابط آماری دقیقی برای تغییرات سرعت در محدوده المان‌های بحرانی، بتوان گام بزرگی در جهت بهبود شرایط طرح هندسی جاده‌های کوهستانی کشور برداشت.

شدند از اهمیت بیشتری برخوردار است چراکه رانندگان در این جهت به علت داشتن سرعت بیشتر میزان کاهش سرعت شدیدتری در مواجهه به المان بحرانی دارند. همچنین توصیه می‌شود که در صورت وجود المان بحرانی در یک مسیر، روند کاهش نرخ تغییرات انحنای به طور تدریجی انجام گیرد، تا از عکس‌العمل ناگهانی رانندگان در محدوده المان

۹- مراجع

Accident Analysis and Prevention, 149. Doi.org/10.1016/j.aap.2020.105887.

-Colonna, P., Intini, P., Berloco, N., & Ranieri, V., (2018), "Integrated American-European protocol for safety interventions on existing two-lane rural roads", European Transport Research Review, 10(1). Doi.org/10.1007/s12544-017-0274-4.

-Dhahir, B., & Hassan, Y., (2019), "Using horizontal curve speed reduction extracted from the naturalistic driving study to predict curve collision frequency", Accident Analysis and Prevention, 123, pp.190-199. Doi.org/10.1016/j.aap.2018.11.020.

-Eboli, L., Guido, G., Mazzulla, G., & Pungillo, G., (2017), "Experimental relationships between operating speeds of successive road design elements in two-lane rural highways. Transport, 32(2), 138-145. Doi.org/10.3846/16484142.2015.1110831.

-Elvik, R., (2019), "The more (sharp) curves, the lower the risk, Accident Analysis & Prevention, 133, 105322. Doi.org/10.1016/j.aap.2019.105322.

-Fitzpatrick, K., Wooldridge, M. D., Tsimhoni, O., Collins, J., Green, P., Bauer, K., Parma, K., Koppa, R., Harwood, D., Anderson, I., Krammes, R., & Poggioli, B., (2000), "Alternative design consistency rating methods for two-lane rural highways", Fhwa-Rd-99-172, 99, 162.

-Habib, K., Shalkamy, A., & El-Basyouny, K., (2019), "Investigating the effects of mental workload on highway safety", Transportation Research Record, 2673(7), pp.619-629.

-Haghani, M., Jalalkamali, R., & Haghani, H., (2021), "Calibration of Highway Safety Manual's Crash Prediction Model for Rural Two-Lane Two-Way Roads in a Developing Country: A Case Study", Computational Research Progress in Applied Science & Engineering (CRPASE), 7(1).

-AASHTO, (2018), "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", 7th Edition, www.transportation.org.

-Ahmadinejad, M., Afandizadeh Zargari, S., & Jalalkamali, R., (2018), "Are deceleration numbers a suitable index for road safety? Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport", 171(5), pp.247-252. Doi.org/10.1680/jtran.16.00117.

-Anderson, I. B., Bauer, K. M., Harwood, D. W., & Fitzpatrick, K., (1999), "Relationship to safety of geometric design consistency measures for rural two-lane highways", Transportation Research Record, 1658(1), pp.43-51.

-Arche, L. G., & Nord, P., (2003), "Road Safety manual", World Road Association PIARC.

-Bella, F., Calvi, A., & D'Amico, F., (2014), "Analysis of driver speeds under night driving conditions using a driving simulator", Journal of Safety Research, 49, 45.e1-52. Doi.org/10.1016/j.jsr.2014.02.007

-Boonsiripant, S., Rodgers, M. O., & Hunter, M. P., (2011), "Speed profile variation as a road network screening tool", Transportation Research Record, 2236(1), pp.83-91.

-Cafiso, S., D'Agostino, C., & Persaud, B., (2018), "Investigating the influence of segmentation in estimating safety performance functions for roadway sections", Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 5(2), pp.129-136. Doi.org/10.1016/j.jtte.2017.10.001.

-Cafiso, S., & la Cava, G., (2009), "Driving performance, alignment consistency, and road safety. Transportation Research Record, 2102, pp.1-8. Doi.org/10.3141/2102-01.

-Cafiso, S., Montella, A., D'Agostino, C., Mauriello, F., & Galante, F., (2021), "Crash modification functions for pavement surface condition and geometric design indicators",

- Rusli, R. bin, Haque, M. D., King, M., & Wong, S. V., (2015), "A comparison of road traffic crashes along mountainous and non-mountainous roads in Sabah, Malaysia", Proceedings of the 2015 Australasian Road Safety Conference (ARSC2015), pp.1–12.
- Rusli, R., Haque, M. M., King, M., & Voon, W. S., (2017), "Single-vehicle crashes along rural mountainous highways in Malaysia: An application of random parameters negative binomial model", Accident Analysis and Prevention, 102, pp.153–164. Doi.org/10.1016/j.aap.2017.03.002.
- Vaiana, R., Iuele, T., Gallelli, V., & Rogano, D., (2018), "Demanded versus assumed friction along horizontal curves: An on-the-road experimental investigation", Journal of Transportation Safety & Security, 10(4), pp.318–344.
- Washington, S., Karlaftis, M., Mannering, F., & Anastasopoulos, P., (2020), "Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis", <https://www.crcpress.com/go/ids>.
- Wolf, J., Bachman, W., Oliveira, M., Auld, J., Mohammadian, A. K., Vovsha, P., & Zmud, J., (2014), Applying GPS data to understand travel behavior, Vol. II: guidelines.
- World Health Organization, (2018), Global status report on road safety.
- Zhao, X., Carling, K., & Håkansson, J., (2017), "An evaluation of the reliability of GPS-based transportation data", IAC (International Academic Conference on Transport, Logistics, Tourism and Sport Science) in Vienna November 24-25, pp.323–334.
- Zolali, M., Mirbaha, B., Layegh, M., & Behnood, H. R., (2021), "A Behavioral Model of Drivers' Mean Speed Influenced by Weather Conditions, Road Geometry, and Driver Characteristics Using a Driving Simulator Study", Advances in Civil Engineering, 2021, pp.1–18. Doi.org/10.1155/2021/5542905.
- Hamilton, I., Himes, S., Porter, R. J., & Donnell, E., (2019), "Safety Evaluation of Horizontal Alignment Design Consistency on Rural Two-Lane Highways", Transportation Research Record, 2673(2), pp.628–636. Doi.org/10.1177/0361198119829414.
- Highway Safety Manual, (2010), "American Association of State Highway and Transportation Officials, Vol. 19192.
- Lamm, R., Beck, A., Ruscher, T., Mailänder, T., Cafiso, S., & LACAVA, G., (2006), "How to make two-lane rural roads safer-scientific background and guide for practical application".
- Lamm, R., Choueri, E. M., & Hayward, J. C., (1988), "Tangent as an independent design element", (Issue 1195).
- Lamm, R., Psarianos, B., & Mailaender, T., (1999), "Highway design and traffic safety engineering handbook".
- Llopis-Castelló, D., Bella, F., Camacho-Torregrosa, F. J., & García, A., (2018), "New Consistency Model Based on Inertial Operating Speed Profiles for Road Safety Evaluation", Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 144(4), 04018006. Doi.org/10.1061/jtepbs.0000126.
- Llopis-Castelló, D., Findley, D. J., & García, A., (2021), "Comparison of the highway safety manual predictive method with safety performance functions based on geometric design consistency", Journal of Transportation Safety and Security, 13(12), pp.1365–1386. Doi.org/10.1080/19439962.2020.1738612.
- Montella, A., Pariota, L., Galante, F., Imbriani, L. L., & Mauriello, F., (2014), "Prediction of Drivers' Speed Behavior on Rural Motorways Based on an Instrumented Vehicle Study", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2434(1), pp.52–62. Doi.org/10.3141/2434-07.
- Ng, J. C. W., & Sayed, T., (2004), "Effect of geometric design consistency on road safety", Canadian Journal of Civil Engineering, 31(2), pp.218–227. Doi.org/10.1139/103-090.

Evaluation of Drivers' Speed Behavior on Mountainous Rural Highways

*Mohammadhossein Rezaeifar, Ph.D., Student, Department of Civil Engineering,
Yazd University, Yazd, Iran.*

*Hamed Khani Sanij, Associate Professor, Department of Civil Engineering,
Yazd University, Yazd, Iran.*

E-mail: khani@yazd.ac.ir

Received: April 2023- Accepted: August 2023

ABSTRACT

In developing countries, the crash risk on mountainous rural highways is higher than on non-mountainous rural highways due to their complex geometric design. Thus, the consistency of geometric characteristics with drivers' behavior plays a remarkable role in reducing crashes in these areas. In this study, two substandard mountainous rural highways of Iran were selected to measure local design consistency based on continuous speed data collected by smartphone technology. The idea of employing critical elements was introduced to evaluate local design consistency. The critical element is an individual element with a higher CCR (curvature change rate) value compared to the CCR values of their adjacent elements. An individual element was defined as a curve or a group of curves with similar CCR values, and short tangents between each two curves. The efficiency of this concept was evaluated base on statistical hypothesis test and determining spearman rank coefficient between a popular design consistency indictor and expected rural highway crashes. The null hypothesis was rejected for all of the critical elements and it was confirmed that drivers reduce their speed when they face the critical element. Finally, several concepts related to design consistency on mountainous rural highways were elaborated according to operating speed profiles.

Keywords: Critical Element, Mountainous Rural Highways, Design Consistency, Speed