

## توسعه شاخص ریسک تغییر مسیر با استفاده از داده های مسیریابی حمل و نقل

### چکیده

اقدامات ایمنی جایگزین (SSMS) به طور گسترده ای برای ارزیابی پتانسیل تصادف انجام شده است، که برای توسعه اقدامات موثر ایمنی ضروری است. بر خلاف SSM های موجود، که عمدتاً بر ارزیابی مانور خودروی طولی تمرکز می کند، آن منجر به تصادف پشت به پشت می شود، این مطالعه روش جدیدی را برای برآورد ریسک تصادف معرفی می کند در حالی که یک وسیله نقلیه تغییر مسیر می دهد، تحت عنوان شاخص ریسک تغییر مسیر (LCRI) اشاره می شود. یکی از ویژگی های جدید روش پیشنهادی، ترکیب مقدار زمان قرار گرفتن آن در معرض خطر احتمالی تصادف و میزان شدت سقوط انتظار با استفاده از تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA) برای ارزیابی ساختار است. تعاملات خودرو بین یک وسیله و وسایل نقلیه مجاور در خط شروع و خط هدف، از نظر احتمال تصادف در طول احتمال تصادف مورد بررسی قرار می گیرد. داده های مسیریابی خودرو از یک جریان ترافیکی حاصل شده که این اطلاعات با استفاده از یک هواپیمای بدون سرنشین در یک آزادراه عکس گرفته شده است، که آن برای بررسی کاربرد روش پیشنهادی استفاده می شود. این مطالعه ویژگی های تغییرات خطی اجباری و اختیاری مشاهده شده در بخش منطقه کار و یک بخش عمومی از آزادراه را با استفاده از LCRI مقایسه می کند. انتظار می رود که نتیجه این مطالعه در ارزیابی اثربخشی عملیات ترافیکی مختلف و استراتژی های کنترل از نظر ایمنی تغییر مسیر ارزشمند و مفید خواهد بود.

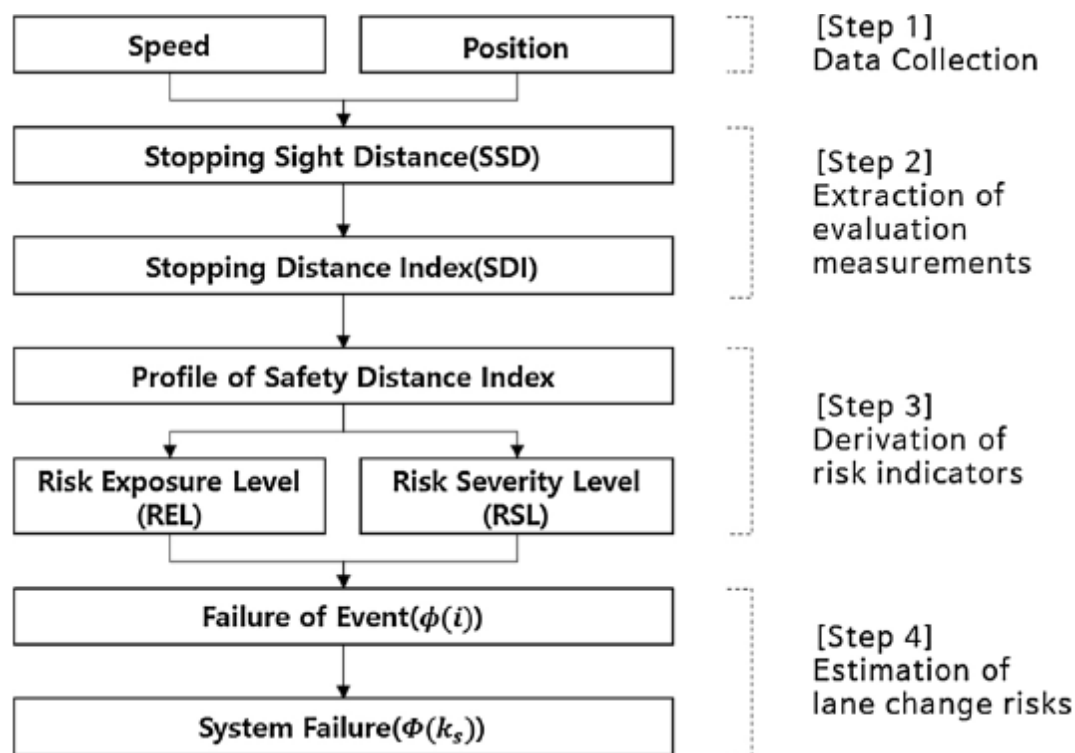
**کلمات کلیدی:** تغییر مسیر، برآورد ریسک، شاخص فاصله توقف، تجزیه و تحلیل درخت شکست، داده های مسیریابی خودرو

روش جامع ارزیابی ایمنی ترافیکی مورد استفاده شامل کاربرد داده های تصادف واقعی که شامل اطلاعات فرکانس و شدت تصادف می باشد. روش های مختلف آماری مدل سازی برای شناسایی موضوع های مربوط به ایمنی و توسعه اقدامات متقابل بر اساس تجزیه و تحلیل داده های تصادف مورد استفاده قرار گرفته است. به هر حال، استفاده از داده های تصادف برای تجزیه و تحلیل ایمنی است زیرا وقایع تصادفات ترافیکی نادر و تصادفی هستند که منجر به تلاش برای جمع آوری اطلاعات درازمدت جهت به دست آوردن نمونه های کافی می شود که به طور مستقیم بر اهمیت آماری تاثیر می گذارد. بنابراین، اشکال اجتناب ناپذیری وجود دارد به دلیل موضوع نمونه گیری تصادفی در ارزیابی ترافیک ایمنی را به شیوه ای فعال تر، حتی اگر روش های مبتنی بر تصادف واقعی هدفمند باشند. جایگزین امیدوار کننده برای استفاده از اقدامات ایمنی جایگزین (SSMs) است که پتانسیل خطرات تصادف را تعیین می کنند (هیدن 1987). پیشرفت سنسورها و فن آوری های ارتباطی به شناسایی حوادث خطرناک اجازه می دهد، که با وقوع تصادف، براساس تحلیل مسیر مسیریابی خودرو داده ها بسیار مرتبط است. تا امروز، تلاش های مختلف برای ترسیم اقدامات محکم برای گرفتن حوادث خطرناک در زمینه ایمنی ترافیک ساخته شده است.

زمان - برخورد (TTC) یکی از پر کاربرد ترین SSM ها با اهداف ترافیک و ایمنی خودرو می باشد. TTC زمان باقی مانده برای جلوگیری از حادثه است، از زمانی که راننده اقدام می کند که تصادف رخ می دهد (هویوار، 1971). آن بطور حساس با توجه به تغییر در موقعیت فعلی و سرعت پاسخ میدهد و این امکان پذیر است برای پیش بینی اینکه آیا برخورد در یک نقطه خاص در زمان خاص رخ می دهد زمانیکه سرعت و جهت یک خودرو موضوع تغییر نکرده است. TTC می تواند محاسبه شود تنها زمانی که یک وسیله نقلیه زیر سریع تر از وسیله نقلیه پیشرو است. به هر حال، TTC اغلب از SSM استفاده می کند، زیرا آن برای درک کاربران آسان است. شاخص های توسعه یافته بر مبنای مفهوم TTC شامل زمان در معرض (TET) TTC، TTC زمان یکپارچه (TIT)، و عبور از گذر زمان (TLC) است، (میندرهود و بوی 2001، ون وینسام و همکاران، 2000). زمان تحریم ارسال (PET) اندازه گیری از وضعیت است که در آن حوادث تقریباً رخ می دهد؛ تفاوت زمانی بین آن است زمانی که یک وسیله نقلیه پیش از آن عبور

کرده است نقطه و زمانی که یک وسیله نقلیه در جهت مخالف حرکت می کند به این نقطه می رسد (آن و همکاران، 1978). از آنجا که PET نشان دهنده نزدیکی فضایی و زمانی وسایل نقلیه است، آن می تواند بدون توجه به سرعت خودرو زیر، بر خلاف TTC ارزیابی شود. اقدامات مشتق شده از PET شامل فاصله زمانی (GT)، زمان رمزگذاری (ET) و مزیت زمان (TAdv) است (هانسون، 1975). به عنوان شاخه ای دیگر از SSM ها، اقدامات مبتنی بر کاهش اقدامات از راه های مختلفی استفاده می شود. حداکثر کاهش سرعت (حداکثر D)، سرعت تاخیر به زمان ایمنی (DST)، کاهش سرعت برای جلوگیری از تصادف (DRAC)، و شاخص توقف مسافت (SDI) به دسته از SSM ها با استفاده از کاهش سرعت کاهش می یابد (گت من و هد 2003، هاپفر 1997، کاپر و فرگوسن، 1976؛ اوه و همکاران، 2006). حداکثر D، حداکثر کاهش سرعت مشاهده شده در یک حادثه تصادف است.

شکل 1: چارچوب ارزیابی کلی.



DRAC حداقل کاهش سرعت مورد نیاز برای جلوگیری از تصادف است و DST زمانی است که راننده با حداقل کاهش سرعت برای توقف امن جهت جلوگیری از تصادف مورد نیاز است.

SDI ارزیابی مجزا مورد استفاده برای تعیین اینکه آیا حوادث ناشی از خودرو با مقایسه فاصله های بینایی توقف ماشین (SSDs) وسیله نقلیه قبلی و وسیله نقلیه زیر ایمن است یا خیر. با توجه به شناسایی شدت سقوط بالقوه، دلتا قادر به نشان دادن شدت تصادف است (ایوانز 1994)، بر خلاف اقدامات فوق الذکر برای جلوگیری از رویدادهای خطرناک استفاده شده است. Delta شدت سقوط پنهان با حداکثر سرعت تفاوت زمانی را نشان می دهد زمانیکه درگیری بین وسیله نقلیه قبلی و وسیله نقلیه زیر تعریف شده است.

همانطور که در بالا مشاهده شد، SSM های مختلف برای ارزیابی ایمنی ترافیک استفاده شد. مطالعات اخیر تلاش کرده اند تا ایمنی رویدادهای تغییر خط را ارزیابی کنند (وانگ و استامدیادس، 2013، 2014). به هر حال، ما از هیچ مطالعه ای برای برآورد خطاهای تغییر مسیر با ترکیب مقدار زمان قرار گرفتن در معرض تصادف بالقوه و سطح شدت تصادف انتظار می رود، که انگیزه مطالعه است. مشخصات مداوم از SDI ها در طول تغییر خط است، که نشان دهنده تعاملات بین موضوع وسیله نقلیه و وسایل نقلیه مجاور است، برای استخراج دو شاخص ریسک مورد تجزیه و تحلیل شاخص های ریسک قرار می گیرد: سطح تماس خطر (REL) و سطح شدت خطر (RSL). سطح شدت پتانسیل تصادف می تواند تعیین شود زمانیکه تفاوت سرعت بین وسیله نقلی قبلی و وسیله نقلیه زیر بزرگتر است. به عنوان یک شاخص مشابه،  $\Delta v$  یک شاخص تغییر سرعت بردار است زمانیکه تصادف واقعی خودرو رخ می دهد و زمانی که ممکن است انرژی برخورد تصادف را تخمین بزنیم (گتمان و هد 2003)

همانطور که قبلا مشاهده شد، SSM های مختلف برای ارزیابی ایمنی ترافیک استفاده می شوند. مطالعات اخیر تلاش کرده اند تا ایمنی رویدادهای تغییر خط را ارزیابی کنند (وانگ و استامدیادس، 2013، 2014). به هر حال، ما از هیچ مطالعه ای برای برآورد خطاهای تغییر خط با ترکیب مقدار زمان قرار گرفتن در معرض تصادف بالقوه آگاه نیستیم و انتظار می رود سطح شدت سقوط، که مطالعه ما را انگیزه دار می کند. مشخصات مداوم از SDI ها در طول تغییر خط، که نشان دهنده تعاملات بین موضوع وسیله نقلیه و وسایل نقلیه مجاور است، برای استخراج دو مورد شاخص ریسک بیشتر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است: سطح تماس خطر (REL) و سطح شدت خطر (RSL). REL نشان می دهد چه مدت موضوع وسیله نقلیه در معرض وضعیت خطرناک قرار می گیرد که بطور

بالقوه منجر به تصادف می شود در حالیکه تغییر خط رخ می دهد. در همین حال RSL نشان دهنده شدت تصادف است که رخ می دهد اگر موضوع وسیله نقلیه مانور اشتعال مناسب را انجام ندهد. سپس تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA)، که روش شناخته شده ای برای تجزیه و تحلیل خطر است، برای ادغام REL و RSL تصویب می شود. در نتیجه یک شاخص جدید برای برآورد احتمال ناتوانی در ایجاد امنیت تغییر مسیر، که به عنوان شاخص ریسک تغییر مسیر (LCRI) نامیده می شود، است پیشنهاد شده است.

در زمینه حمل و نقل، چندین مطالعه از تکنیک FTA برای درک عوامل موثر استفاده کرده اند که بر وقوع تصادف تاثیر می گذارد. جاشوا و گاربر (1992) و کوزومینسکی و همکاران (1995) از روش FTA برای تجزیه و تحلیل رابطه بین راننده، وسایل نقلیه، عوامل محیط زیست و سوانح ترافیکی استفاده کرد. هوانگ و همکاران (2000) علت حوادث با استفاده از روش درخت گسل فازی برای ارزیابی ایمنی سیستم های حمل و نقل راه آهن بررسی کردند. کرانپراسرت و ثیپنی (2016) یک درخت گسل بر اساس علل مختلف سقوط و یک سیستم مانیتورینگ برای جلوگیری از سقوط پیشنهاد کرد. در همین حال، جو و او (2013) یک شاخص ارزیابی یکپارچه برای ارزیابی محیط های دوچرخه سواری از طریق FTA با استفاده از داده های دوچرخه پروب دوار پیشنهاد کرد. داده های مسیریابی خودرو از یک جریان ترافیکی عکس گرفته شده با استفاده از یک هواپیمای بدون سرنشین در یک منطقه کار آزادراه بدست آمد یا گردآوری شد که برای بررسی احتمال روش پیشنهادی مورد استفاده قرار می گیرد. این مطالعه ویژگی های تغییرات خطی اجباری و اختیاری مشاهده شده در یک منطقه کاری و بخش عمومی یک بزرگراه را مقایسه می کند.

روش پیشنهادی، شامل نحوه به دست آوردن REL و RSL و نحوه استفاده از FTA برای ادغام آنها می باشد، در بخش بعدی ارائه شده است. بخش 3 داده های مورد استفاده در تخمین خطرات تغییر خط را توصیف می کند، که از تصاویر گرفته شده توسط هواپیمای بدون سرنشین استخراج می شود. نتایج تجزیه و تحلیل و بحث در مورد کاربرد بیشتر در بخش 4 ارائه شده است. در نهایت، خلاصه ای از این مطالعه، جهت تحقیقات بیشتر، و محدودیت ها و مسائل مربوط به تحقیق ارائه شده است.

## 2. روش شناسی

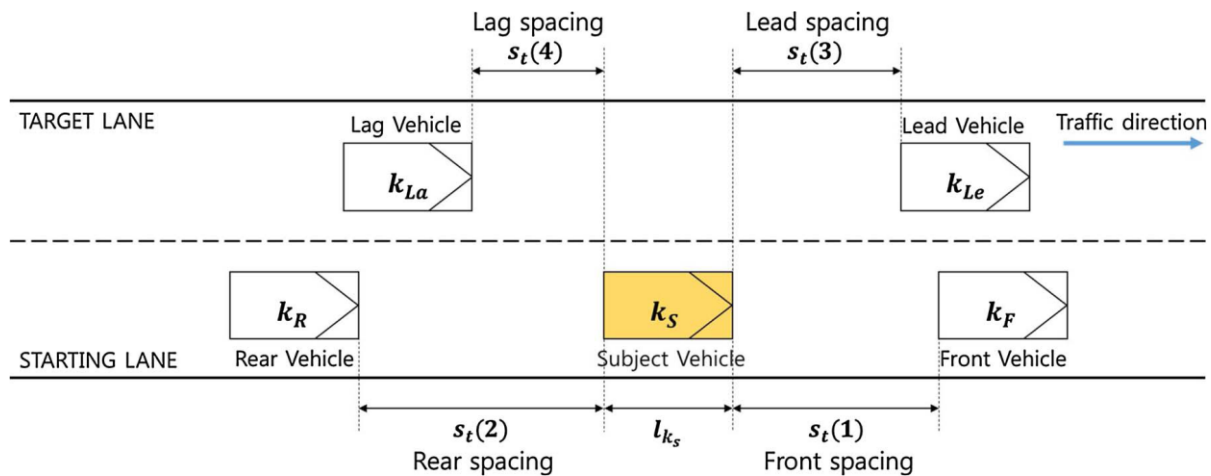
### 2.1 چارچوب کلی

وسایل نقلیه مسافرتی در امتداد یک جاده به طور مداوم با همسایه وسایل نقلیه در خطوط جاری و مجاور ارتباط برقرار می کنند. تعاملات خودرو منجر به رفتارهای مختلف خودرویی و وقوع حوادث تغییر مسیر می شود. تجزیه و تحلیل چنین تعاملات علاقه خاصی در ارزیابی اثربخشی ترافیک و استراتژی های کنترل دارد. این مطالعه تلاش دارد تا روش برآورد سیستماتیک و علمی را برای هر ریسک تصادف توسعه دهد، که نتیجه تعاملات نادرست است. فرض کنید که مسیر یک وسیله نقلیه تغییر در موقعیت خودرو در طول زمان می باشد. روش پیشنهادی به طور مداوم ریسک وقایع تغییر مسیر با استفاده از روش FTA را ارزیابی می کند. روش کلی متشکل از 4 مرحله برای برآورد خطر وقوع تغییر مسیر خط ارائه شده در شکل 1 می باشد.

اولین گام برای جمع آوری داده های مسیریابی فردی، شامل موقعیت خودرو و سرعت می باشد. مجموع چهار وسیله نقلیه مجاور که شامل وسایل نقلیه  $lead (kLe)$  و  $lag (kLa)$  در خط هدف و وسایل نقلیه جلو  $(kF)$  و عقب  $(kR)$  در خط شروع، بر روی خطر تاثیر می گذارد هنگامی که موضوع وسیله نقلیه  $(KS)$  خطوط را تغییر می دهد، همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است. مرحله دوم این است تعیین کند که آیا  $kS$  در یک وضعیت امن با هر خودرو مجاور می باشد زمانیکه تغییر خطوط در هر مرحله زمانی می باشد. این مطالعه از شاخص فاصله توقف  $(SDI)$  بر اساس فاصله های دید متوقف استفاده می کند  $(SSD)$  ها) دو وسیله نقلیه 2.5. ثانیه درک و زمان واکنش توصیه شده توسط دستورالعمل طراحی بزرگراه کره (وزارت راه، حمل و نقل و امور دریایی کره، 2013) در محاسبه  $SSD$  ها در این مطالعه استفاده شد.

$SDI$  یک شاخص برای تعیین ریسک تصادف عقب به عقب مبتنی بر  $SSD$  می باشد.

شکل 2. تعریف وسیله نقلیه شخصی و وسایل نقلیه اطراف آن



که، برای مثال، بر اساس  $k_S$  و  $k_F$  در زمان فضای جلویی  $s_t(1)$  در مرحله زمان فعلی ( $t$ ) مشتق شده است.  $SSD$  و  $SDI$  می تواند به ترتیب با استفاده از معادله (1) و معادله (2) حاصل شود. یک  $SDI$  بزرگتر از '0' نشان دهنده وضعیتی است که  $k_S$  قادر است تا ایمنی را متوقف کند زمانیکه  $k_F$  یک توقف ناگهانی می کند. از سوی دیگر،  $SDI$  کمتر از 0 نشان دهنده وضعیت خطرناکی است که در آن  $k_S$  قادر به ایجاد اشتباه مناسب مانور برای جلوگیری از برخورد با  $k_F$  به دلیل فاصله ناکافی بین دو وسیله نقلیه نیست. بنابراین، این مطالعه تعیین می کند که آیا یک وضعیت داده شده پس از خودور در هر گام زمانی امن است یا نه. در همین حال، فرض می شود که موقعیت فعلی  $k_S$  در همان خط به عنوان مسیر وسایل نقلیه مسافرت در خط هدف است. پس از آن  $SDI$  های ناشی از تعامل بین  $k_S$  و وسایل نقلیه هدف با استفاده از مثال، فاصله پیشرو ( $3s_t$ ) و فاصله تاخیری ( $4s_t$ ) ارزیابی می شوند. این مرحله سوم، بدست آوردن دو شاخص ریسک: سطح تماس خطر ( $REL$ ) و سطح شدت خطر ( $RSL$ ) می باشد. مشخصات مداوم  $SDI$  ها در تغییر خط، که نشان دهنده تعاملات بین  $k_S$  و مجاور وسایل نقلیه است، برای استخراج شاخص های شاخص ها بیشتر تجزیه و تحلیل می شود.  $REL$  نشان می دهد چه مدت  $k_S$  در معرض یک وضعیت خطرناک قرار می گیرد که می تواند بالقوه منجر به تصادف شود در حالی که تغییر خط می دهد.  $RSL$  نشان دهنده شدت تصادف است که ممکن است رخ دهد اگر  $k_S$  مانور انحرافی مناسبی نداشته باشد. آخرین مرحله استفاده از روش تجزیه و تحلیل درخت خطا ( $FTA$ ) می باشد. چهار رویداد تعامل با وسایل نقلیه مجاور ( $k_{La}$ ,  $k_{Le}$ ,  $k_R$ ,  $k_F$ ) از لحاظ ایمنی تغییر خط بر مبنای  $REL$  و  $RSL$  ارزیابی می شود. در نتیجه،

شکست تعامل خودرو امن ( $\Phi(i)$ ) برای  $kS$  و هر وسایل نقلیه مجاور ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) شماره می شود. سپس ادغام ( $\Phi(i)$ ) برای برآورد سطح خطر انجام می شود، توسط اندازه گیری احتمالی  $kS$  عدم انجام تغییر مسیر ایمنی ( $\Phi(kS)$ ) نشان داده می شود.

جزئیات بیشتر درباره مشتق  $REL$  و  $RSL$  همراه با نحوه ی انجام این کار درخواست  $FTA$ ، در بخش های بعدی ارائه شده است.

$$SSD = \frac{V^2}{254 \times (f \pm g)} + t_r \times V \times 0.278 \quad (1)$$

که

$SSD$ : فاصله توقف بصری

$V$ : سرعت وسیله نقلیه (kph)

$F$ : ضریب اصطکاک، معمولا برای کف سازی یا پیاده رو ضعیف، مرطوب

$G$ : دسته بندی، اعشاری

$Tr$ : زمان واکنش-درک (2.5 s در این کاربرد)

$$SDI_t(1) = \begin{cases} \text{safe}(0), & \text{if } S_t(1) + SSD_t^{kF} - SSD_t^{kS} - l_{kSF} > 0 \\ \text{unsafe}(1) & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

که

(1)  $SDI_t$ : شاخص فاصله توقف برای موضوع وسیله نقلیه ( $kS$ ) و جلوی وسیله نقلیه ( $kF$ ) در مرحله زمانی  $t$

(1)  $St$ : فضای جلویی بین موضوع ( $kS$ ) و وسیله نقلیه جلویی ( $kF$ ) در مرحله زمانی  $t$

$SSD_t^{kS}$ : فاصله دیداری توقف برای وسیله نقلیه فرد ( $kS$ )

$SSD_t^{kF}$ : فاصله دیداری توقف برای وسیله نقلیه جلویی ( $kF$ )

$l_{kF}$ : طول وسیله نقلیه جلویی ( $kF$ )

$T$ : مرحله زمانی



## 2.2 سطح قرار گرفتن در معرض خطر (REL) و سطح شدت خطر (RSL)

سطح تماس خطر (REL) برای نشان دادن یک وضعیت توسعه داده شد که احتمال وقوع تصادف افزایش می یابد زمانیکه وسیله نقلیه فرد در معرض یک وضعیت خطرناک در زمان تغییر مسیر برای یک دوره نسبتاً طولانی قرار گرفته است. REL به عنوان نسبت مدت زمان تغییر خط ناامن (ULCD) برای مدت کل تغییر خط (TLCD) تعریف می شود، که می تواند به صورت یک اقدام احتمالی با مقدار بین صفر و یک بیان شود، همانطور که در معادله (3) بیان شده است. ULCD با جمع آوری مراحل زمانی به دست آمده است که SDI کمتر از 0 است.

$$REL = \frac{ULCD}{TLCD} \quad (3)$$

که

REL: سطح تماس خطر

ULCD: مدت زمان تغییر مسیر ناامن ( $SDI \leq 0$ )

TLCD: مدت زمان تغییر مسیر کل

به عنوان مثال، فرض کنید که دو وسیله نقلیه، A و B، مقدار 3.2 TLCD ثانیه مشابه ای دارند. با این حال، می توان گفت که خودرو B در وضعیت خطرناک تری تغییر مسیر می دهد از وسیله نقلیه A به دلیل ULCD خودرو B طولانی تر است، همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است. در این مثال، REL وسیله نقلیه A 0.44 است، در حالی که REL خودرو B 0.94 است.

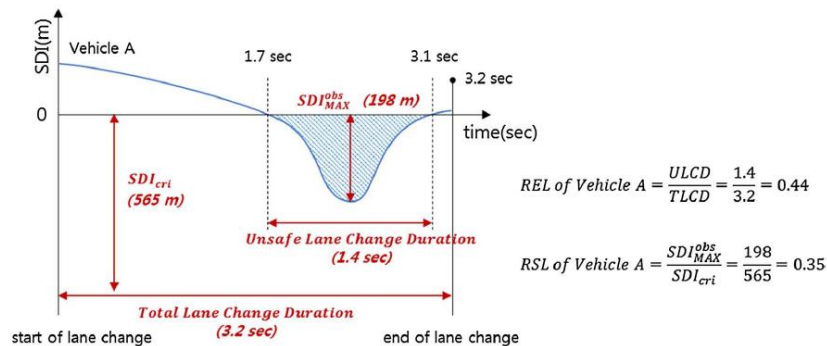
سطح شدت خطر (RSL) برای نشان دادن یک وضعیت توسعه داده شد که سرعت برخورد با نسبت بالاتری منجر به افزایش در شدت تصادف می شود هنگامی که سرعت وسیله نقلیه شخص بیشتر از سرعت وسیله نقلیه جلو، مقدار مطلق SDI بزرگتر در پروفایل می شود که SDI کمتر از 0 است. بنابراین، ارزش مطلق SDI می تواند شدت بالقوه تصادف را نشان دهد. RSL به عنوان نسبت حداکثر مشاهده شده  $SDI_{MAX}$

(obs) در طول TLCD برای حداکثر تئوری  $(SDI_{cri})$ ، که می تواند به عنوان اقدام احتمالی با مقدار بین صفر

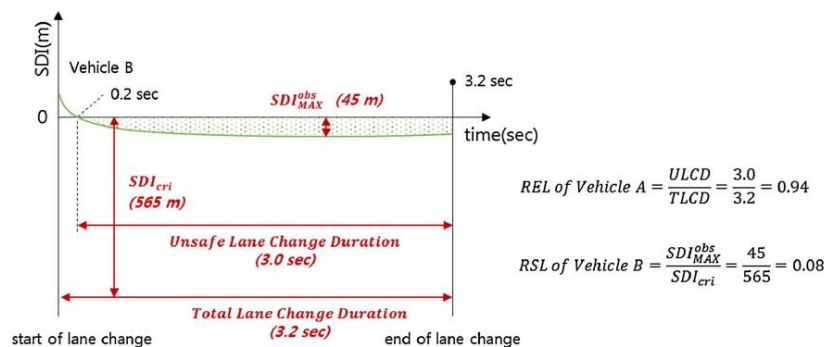
و یک بیان شود، همانطور که در معادله (4) بیان شده است. سپس مسئله ای که پیش می آید این است که چگونه باید برای SDIcri آماده شود SDIcri به دست می آید هنگامی که یک وسیله نقلیه شخص با بالاترین سرعت در حال حرکت است. این مطالعه از 180 کیلومتر در ساعت به عنوان بالاترین سرعت استفاده می کند، که به عنوان یک مقدار آستانه برای تشخیص خروجی در طی پردازش داده ها برای بزرگراه های کره استفاده می شود (کیم و همکاران، 2013). SDIcri به 565 متر می رسد

فرض بر این است که فاصله بین دو تعامل، وسایل نقلیه 0 متر است و سرعت خودرو زیر 180 کیلومتر در ساعت است.

$$RSL = \frac{SDI_{MAX}^{OBS}}{SDI_{cri}} \quad (4)$$



(a) SDI profile of vehicle A



(b) SDI profile of vehicle B

شکل 3: بیان مفهومی پروفایل SDI برای REL و RSL.

که

RSL: سطح نمایش ریسک

$SDI_{MAX}^{obs}$ : حداکثر SDI مشاهده شده در مدت تغییر مسیر

$SDI_{cri}$ : حداکثر SDI تعریف شده اصلی در زمان تغییر خط

به عنوان مثال، فرض کنید که مقدار اندازه گیری شده  $SDI_{MAX}^{obs}$  برای وسیله نقلیه 198A متر است و برای وسیله نقلیه 45B متر است، همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است. سپس، در نتیجه RSL برای خودرو A و خودرو B به ترتیب 0.35 و 0.08 است. به این معنی است که وسیله نقلیه A پتانسیل بیشتری دارد که در تصادف جدی تر درگیر می شود. مقدار بیشتر برای REL نشان می دهد که مقدار زمان نمایش برای افزایش بالقوه تصادف می باشد. از سوی دیگر، ارزش بالاتر RSL نشان دهنده این است که سطح شدت تصادف مورد انتظار زمانی رخ دادن تصادف را افزایش می دهد.

### 2.3 تجزیه و تحلیل درخت شکست (FTA)

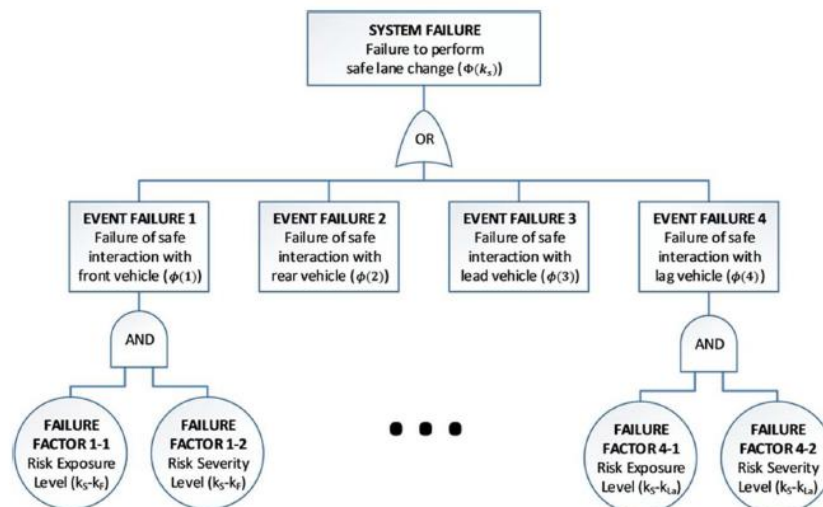
هدف از این مطالعه ارزیابی اینکه آیا رویداد تغییر مسیر امن است یا خیر، بجای صرفاً برآورد احتمال تغییر مسیر باعث تصادف شود. هنگام ارزیابی ایمنی وقایع تغییر مسیر، ما می توانیم به آن از دو دیدگاه متفاوت فکر کنیم. یکی از آنها وضعیتی است که در آن شدت بالا یک بار تصادف رخ می دهد اگر چه احتمال وقوع تصادف کم است. در مقابل اولین وضعیت، وضعیت دیگری است که احتمال وقوع تصادف زیاد است اگر چه شدت کم است. پرسش مطرح شده این است که کدام یک خطرناک تر است؟! پاسخ به این سوال ساده نیست، زیرا ما نیاز به هر دو حالت در نظر سنجی در ارزیابی ایمنی همزمان داریم. برای برآورده ساختن این الزام، ما یک روش FTA را اتخاذ کردیم که قادر به ادغام هر دو REL و RSL است.

FTA روشی برای انجام تجزیه و تحلیل ریسک است که به طور گسترده ای در دامنه مهندسی قابلیت اطمینان استفاده می شود. ارزیابی قابلیت اطمینان می تواند برای شناسایی احتمال شکست سیستم در یک مقدار کمی انجام

شود. شیوه FTA به طور گسترده ای برای تحلیل رویدادهای پیچیده استفاده می شود که از خطاهای انسانی و عوامل استدلال چندگانه بوجود آمده است. هدف اصلی از FTA شناسایی رابطه بین شکست یک سیستم کل و شکست هر مولفه سیستم است. علاوه بر این، FTA ابزار مفیدی برای شناسایی کمک کننده منجر به شکست توسط نمایش گرافیکی زنجیره ای از رویدادهای مربوطه می باشد. احتمال وقوع شکست هر رویداد می تواند توسط مدل برای ارزیابی عملکرد یک سیستم کامل داده شده گنجانیده شود. اطلاعات بیشتر در مورد FTA می تواند در گاردونی (2017) یافت شود.

این مطالعه تغییر خط را به عنوان سیستمی تعریف می کند که باید براساس ریسک های تصادف تحلیل شود. شکست رویداد به عنوان شکست تعامل ایمنی خودرو بین خودروی فرد و وسایل نقلیه اطراف آن تعریف می شود، که توسط  $\Phi(1)$  نشان داده شده است. شکست تعامل خودرو امن بین وسایل نقلیه مجاور (kF)،  $kR$ ،  $kLe$ ،  $kLa$  می توان با  $\Phi(1)$ ،  $\Phi(2)$ ،  $\Phi(3)$  و  $\Phi(4)$  به ترتیب مشخص کرد. همانطور که در معادله (5) نشان داده شده است، خطای رویداد ( $\Phi(i)$ ) بر اساس ترکیبی از عوامل شکست، از جمله REL و RSL محاسبه می شود. سیستم به عنوان شکست وسیله نقلیه موضوعی تعریف می شود تغییر مسیر ایمنی را انجام دهید و توسط  $F(k_s)$  مشخص می شود. احتمالی که خودرو موضوعی برای انجام یک تغییر مسیر ایمن انجام می شود، این است که به عنوان شاخص ریسک تغییر مسیر  $\Phi(k_s)$  (LCRI) اشاره می شود،

شکل 4. ساختار اشتباه درخت شکست در انجام دادن تغییر مسیر ایمن



می توان از طریق ادغام شکست تعامل خودرو امن محاسبه کرد، همانطور که در معادله (6) نشان داده شده است. مقدار کوچکتر از احتمال بدین معنا است که وسیله نقلیه شخصی خطوط یا مسیر را بطور امن تغییر می دهد. شکل 4 نمودار طراحی شده FTA برای این مطالعه برای برآورد احتمال شکست یک تغییر مسیر ایمنی را نشان می دهد.

$$\varphi(i) = REL(i) \times RSL(i) \quad (5)$$

که

$\Phi$ : شکست رخداد (عدم تعامل خودرو امن)

REL: سطح نمایش ریسک

RSL: سطح شدت خطر

$$\Phi(k_s) = 1 - \prod_{i=1}^4 [1 - \varphi(i)] \quad (6)$$

که

$\Phi$ : شکست سیستم (احتمال شکست برای انجام تغییر مسیر امن: LCRI)

$\Phi$ : شکست رویداد

$K_s$ : سوژه وسیله نقلیه

بر خلاف SSM های موجود، LCRI پیشنهاد شده می تواند مورد استفاده قرار گیرد تا ارزیابی ریسک جامعی را انجام دهد در حالی که وسیله نقلیه موضوعی تغییر مسیر می دهد. یعنی، تعاملات بین وسیله نقلیه موضوعی و وسایل نقلیه مجاور در خط شروع و هدف می تواند ارزیابی شود. LCRI هر دو وقوع و شدت تصادف بالقوه در ارزیابی رویداد تغییر مسیر مبتنی بر پروفیل های مداوم SDI در طول زمان را بررسی می کند. این LCRI دارای ویژگی های مفید در مقایسه با SSM های موجود می باشد. REL و RSL پیشنهاد شده در این مطالعه می تواند احتمال وقوع و شدت تصادف بالقوه بر اساس مدت زمان تغییر مسیر ناامن در مدت و عمق پروفیل SDI به ترتیب را تخمین می

زند، اگر چه سرعت وسیله نقلیه زیر ممکن است کندتر از خودروی پیشرو باشد. علاوه بر این، LCRI را می توان برای تولید یک معیار احتمالاتی برای برآورد خطرات تغییر خط استفاده کرد، که از تصمیم گیری موثر علیرغم عدم قطعیت پشتیبانی می کند.

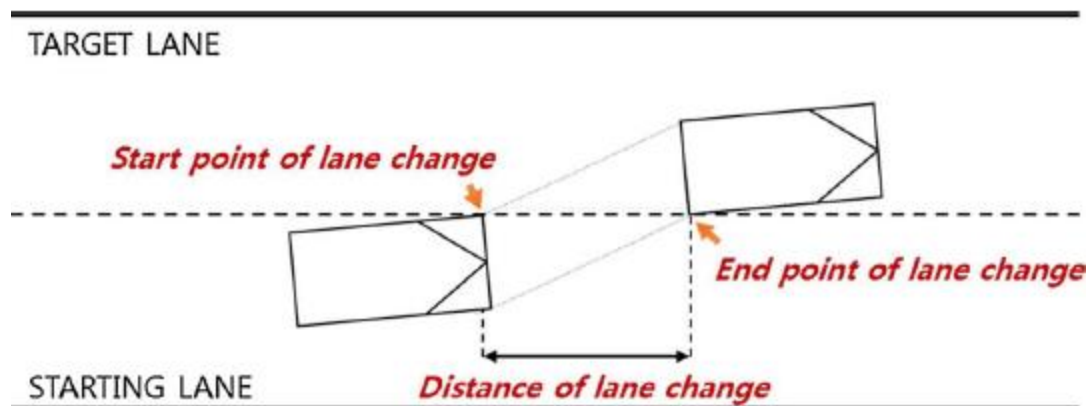
### 3. داده

برای ارزیابی کاربرد روش پیشنهادی، عکس از جریان ترافیکی توسط هواپیمای بدون سرنشین در آزاد راه کره در ماه ژوئن 10، 2016 گرفته شد. تصاویر ویدئویی که در مدت 20 دقیقه گرفته شد، از منطقه کار و بخش عمومی آزاد راه کره Jungbu بدست آمد

شکل 5: تصویری از بزرگراه یونگب، توسط یک هواپیمای بدون سرنشین گرفته شده است



شکل 6: تعریف تغییر مسیر برای کاهش داده ها.



در شکل 5 بخش منطقه کاری در سمت چپ قرار دارد، در حالی که بخش عمومی در سمت راست قرار دارد. آن شناسایی شد از طریق جریان ترافیکی شمال غربی که میانگین سرعت 56 کیلومتر در ساعت است که در مجموع 149 وسیله نقلیه از منطقه کار در طول جمع آوری داده ها در این مطالعه عبور کردند. از سوی دیگر 382 وسیله نقلیه از بخش عمومی با سرعت متوسط 103 کیلومتر در ساعت عبور کردند.

این مسیریابی خودرو نشان دهنده تغییر در موقعیت خودرودر طول زمان از بازبینی بصری دستی هر 10/10 ثانیه استخراج شد. سرعت و فاصله خودرو شخصی با وسایل نقلیه نیز بیشتر بود با وسیله پردازش بیشتر مسیرهای وسیله نقلیه حاصل شد.

برای جمع آوری اطلاعات خودرو شخصی در مورد تغییرات مسیر، این مطالعه نقطه شروع تغییر مسیر را به عنوان لحظه ای تعریف کرد زمانی که سپر جلو سمت چپ وسیله مورد نظر وارد خط هدف می شود. علاوه بر این، نقطه پایان یک تغییر خط به عنوان لحظه تعریف شد هنگامی که سپر عقب سمت راست وسیله نقلیه مسافر وارد مسیر هدف می شود. شکل 6 تعریف تغییر خط را برای کاهش داده در این مطالعه نشان می دهد. در مجموع 70 مسیر اجباری تغییر می کند، به علت کنترل ترافیک ناحیه کار، و 25 تغییر خطوط اختیاری، با توجه به نیاز به یک وسیله نقلیه آهسته در کنار بخش کلی خودرو آزادراه، به دست آمد.

جدول 1 اندازه گیری های عمده ای ناشی از پردازش داده های مسیریابی خودرودر نشان می دهد که از منطقه کار و بخش های عمومی جمع آوری شده است. متوسط TLCD برای منطقه کاری کمی طولانی تر از بخش عمومی بود. به هر حال، میانگین ULCD با  $0 \leq SDI$  برای منطقه کار 1.13 بود، که تقریباً دو برابر طول عمر ULCD برای بخش عمومی است. این نتیجه نشان می دهد که تغییر مسیر وسایل نقلیه در حال حرکت از طریق یک منطقه کار بیشتر احتمال دارد که در معرض وضعیت خطر باشد. با توجه به  $SDI^{obs}_{MAX}$ ، میانگین  $SDI^{obs}_{MAX}$  بخش عمومی 110 متر بود که طولانی تر از منطقه کاری است. این نتیجه رخ می دهد به دلیل اینکه سرعت وسیله نقلیه در حال حرکت در امتداد بخش کلی بیشتر از وسیله نقلیه منطقه کاری می باشد.

#### 4. کاربرد و ارزیابی

یک نمونه از پروفایل های SDI که از مسیر واقعی داده های جمع آوری شده توسط هواپیماهای بدون سرنشین پرواز در آزاد راه جانگبو حاصل می شود در شکل 7 ارائه شده است. رویداد تغییر خط که توسط وسیله نقلیه A ساخته شده به عنوان یک رویداد امن طبقه بندی شده است، که نشان می دهد LCRI برابر صفر است زیرا SDI ها کمتر از 0 در طول 3.4 ثانیه از TLCD مشاهده نشد. با این حال، وسیله نقلیه در معرض خطر شامل تصادف در مدت 6.2 ثانیه دوره کل تغییر خط SDIMA می باشد. وسایط نقلیه B حدود 111 متر بود. علاوه بر این، REL و RSL برای خودرو B به ترتیب 1.0 و 0.02 بود. این منجر به احتمال شکستن ایمنی تعامل خودرو ( $\Phi$ ) از 0.02 می شود. در همین حال، مشخصات SDI خودرو C از وضعیت امن به یک وضعیت خطرناک تغییر کرد. نتایج نشان می دهد که REL 0.9 مبتنی بر TLCD (3 s) و ULCD ( $2.7\text{ s}, SDI \leq 0$ ) بود. مشاهده  $SDI_{MAX}^{obs}$  39 متری تولید RSL از 0.07 می باشد. بنابراین، احتمال وقوع تعامل خودروی امن ( $\Phi$ ) مشتق 0.063 بود.

LCRI ها با استفاده از روش پیشنهادی مبتنی بر تکنیک FTA برآورد شد که در جدول 2 خلاصه شده است. میانگین ضریب شکست احتمال تداخل وسایل نقلیه امن ( $\Phi(i)$ ) و میانگین LCRI، نشان دهنده احتمال عدم انجام تغییرات خطی امن است ارایه شده می باشد. میانگین فا ( $ks$ ) برای بخش منطقه کاری 0.2257، که بالاتر از میانگین  $\Phi(ks)$  برای بخش عمومی است (0.1931)

این بدان معنی است که بخش منطقه کاری خطرناکتر از بخش عمومی از نظر ارزیابی ایمنی تغییر مسیر می باشد. به طور کلی، آن مشخص شد که احتمال شکست در تعامل خودرو امن برای منطقه کاری تمایل دارد تا بالاتر باشد به جز برای  $\Phi(4)$ ، که نشان دهنده تعامل بین خودرو شخصی و وسیله نقلیه عقب مانده می باشد.

آزمون های آماری نشان می دهد اگر تفاوت LCRI قابل توجه است یا نیازی نیست انجام شود. به هر حال، ما قادر به انجام آزمایش آماری با نمونه های کافی به دلیل قابلیت محدود بودن باتری هواپیمای بدون سرنشین و ویژگی های منطقه کاری موقت نبودیم. بجای، ما داده های تصادف آزادراه به دست آمده از مناطق کار در دوره های 2010-2014 در کره براساس میزان مرگ و میر تجزیه و تحلیل کردیم، که به عنوان نسبت تعداد تلفات به تعداد تصادفات تعریف شده است. آن شناسایی شد که متوسط میزان مرگ و میر تصادفات در منطقه کار تقریباً سه برابر بیشتر از



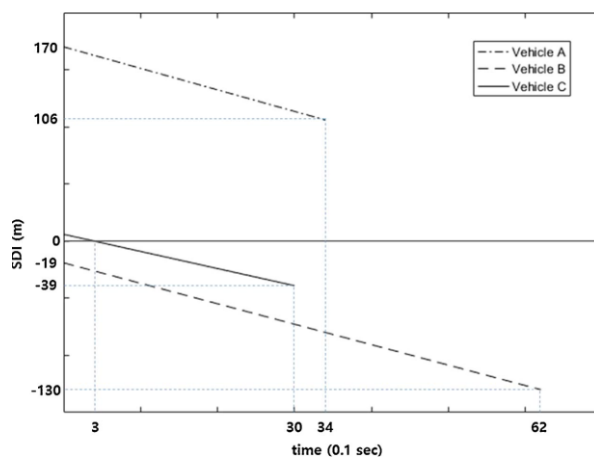
تصادف کامل در بزرگراه ها بود. 37٪ و 12٪ از میزان مرگ و میر در بخش های منطقه کار و بخش بزرگراه های عمومی به ترتیب مشاهده شد. این یافته که منطقه کار خطرناکتر از بخش عمومی با مقایسه LCRI ها می تواند توسط مقایسه میزان مرگ و میر پشتیبانی شود

فرکانس LCRI های جمع آوری شده برای سایت های مطالعه می تواند بیشتر برای ارزیابی ایمنی ترافیکی استفاده می شود. برای این برنامه کاربردی، یک مقدار آستانه برای نیازهای LCRI باید تعیین شود. وقتی 0.3، معادل با 25 درصد است از تمام LCRI ها می باشد، به عنوان مقدار آستانه ( $\Phi m$ ) برای تعیین استفاده می شود که آیا رویداد تغییر مسیر، امن است یا خیر، مشخص شد که 19 رویداد خارج از 70 تغییر مسیر در بخش منطقه کاری به عنوان تغییرات مسیر نا امن شناسایی شدند. از سوی دیگر، 4 رویداد از 25 تغییر مسیر در بخش کلی به عنوان تغییر مسیر نا امن شناسایی شد.

جدول 1: مقایسه ارزیابی های حاصل شده از داده های مسیریابی خودرو.

	Work zone section			General section		
	TLCD (sec)	ULCD ( $SDI \leq 0$ ) (sec)	$SDI_{MAX}^{obs}$ (m)	TLCD (sec)	ULCD ( $SDI \leq 0$ ) (sec)	$SDI_{MAX}^{obs}$ (m)
Average	2.62	1.13	98.84	2.31	0.61	117.15
Maximum	6.00	5.50	488.36	4.00	2.60	301.78
Median	2.50	0.90	88.59	2.10	0.40	101.79
Minimum	0.90	0.10	1.01	1.60	0.10	3.80
Mode	2.10	0.30	54.02	2.10	0.40	103.79
SD	1.06	0.94	62.50	0.53	0.48	54.61
Variance	1.13	0.89	3906.03	0.28	0.23	2982.20

شکل 7: نمونه ای از پروفایل های واقعی SDI که از بخش منطقه کار آزادراه جمع آوری شده است



بخش عمومی به عنوان تغییرات خطای ناامن شناسایی شد. انواع کنترل ترافیک و عملیات درمان را می توان از نظر خط ایمنی تغییر مسیر بر اساس LCRI توسعه یافته در این مطالعه ارزیابی شود. جدول 3 نتایج فرکانس و نسبت رویدادهای ریسک مشاهده شده را نشان می دهد زمانی که آستانه های مختلف اعمال شد.

بررسی داده های تصادف واقعی با بررسی LCRI باید انجام شود تا معتبر باشد اگر LCRI به طور موثر قادر به نشان رخ دادن و شدت تصادف باشد. همچنین، تعیین یک مقدار آستانه ( $\Phi m$ ) برای LCRI همراه با انتقال موضوع قابل توجه است. برای انجام این کار، مسیرهای وسیله نقلیه درست قبل از وقوع تصادف باید برای ارزیابی و اعتبار روش پیشنهادی آماده شود. اگر چه چنین اطلاعاتی برای اعتبار سنجی تحت شرایط نظارت ترافیکی فعلی موجود در دسترس نیست، انتظار می رود که پیشرفت اخیر هر دو ضبط کننده اطلاعات در خودرو و فناوری ردیابی وسایل نقلیه برای دسترسی به اطلاعات در آینده نزدیک در دسترس خواهد بود.

## 5. نتیجه گیری

بر خلاف اقدامات موجود برای ارزیابی ایمنی از نظر مانور خودرو طولی استفاده می شود ، مانند خطای برخورد عقب به عقب، روش پیشنهادی در این مطالعه، خطر تغییرات مسیر را ارزیابی می کند. رویکرد پیشنهادی براساس تحلیل مداوم پروفیل ها SDI برای استخراج REL و RSL است ، که از ورودی تکنیک FTA استفاده می کنند. نتیجه FTA به عنوان LCRI تعریف شده است که نشان دهنده مقدار کمی از خطر تغییر مسیر در این مطالعه است. این LCRI از طریق روش برآورد چهار مرحله ای حاصل می شود. تعاملات خودرو بین خودروی شخص و وسایل نقلیه مجاور در شروع و خطوط هدف برای تعیین اینکه آیا وسیله نقلیه فرد در یک است، وضعیت خطرناک در هر مرحله زمانی است، تحلیل می شود سپس FTA خطرانی را یکپارچه می کند که نتیجه تعامل با وسایل نقلیه نزدیک است. مسیریابی خودرو داده ها با استفاده از عکس گرفته شده از جریان ترافیکی با استفاده از پرواز هواپیمای بدون سرنشین در یک منطقه کار آزادراه حاصل شده است، برای بررسی کاربرد روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفت.

علاوه بر این، بحث در مورد چگونگی LCRI برای ارزیابی ایمنی ارائه شده است.

به جای استفاده از پروفایل های SDI ، SSM های موجود را می توان برای تعیین استفاده کرد اگر یک رویداد داده شده امن باشد یا خیر. به عنوان مثال، سطح ایمنی از مانور تغییر خط می تواند با تخمین TTC ها بین خودرو شخص و وسایل نقلیه اطراف آن ارزیابی شود و سپس ارزش ها خطر TTC می توانند در چارچوب ادغام مبتنی بر FTA ترکیب شوند. به هر حال، برخی از مسائل فنی مرتبط با TTC وجود دارد.

## جدول 2: نتایج تجزیه و تحلیل LCRI

	Failure of Event ( $\varphi(i)$ )				System Failure ( $\Phi(k_s)$ )
	$\varphi(1)$ $k_s-k_F$	$\varphi(2)$ $k_s-k_F$	$\varphi(3)$ $k_s-k_{L_e}$	$\varphi(4)$ $k_s-k_{L_a}$	
Work zone (70)	0.1756	0.0790	0.0492	0.0575	0.2257
General (25)	0.1190	0.0351	0.0270	0.0609	0.1931

در مرحله اول، TTC را نمی توان محاسبه کرد زمانی که سرعت خودروی شخص وسیله مورد نظر آهسته تر از خودروی جلو است. ثانیاً، TTC نمیتواند شدت سقوط را معرفی می کند. در نهایت، مقدار آستانه برای TTC مورد نیاز است تا تعیین شود اینکه آیا TTC امن است یا خیر. شاخص پیشنهادی مبتنی بر تجزیه و تحلیل پروفایل SDI رایگان از این مسائل برای اجرای در عمل است. علاوه بر TTC ، معیارهای جایگزین مفید است از جمله زمان برانگیختن (PET) ، کاهش سرعت برای جلوگیری از تصادف (DRAC) و Delta S. از آنجا که هر اندازه گیری دارای ویژگی های خود است ، تحقیقات مقایسه ای سیستماتیک برای جایگزین اقدامات شامل شاخص پیشنهادی از نظر عملکرد برای شناسایی سطح ایمنی به عنوان وظیفه تحقیق در آینده مورد نیاز است.

شاخص های تولیدی، مانند REL و RSL، علاوه بر LCRI، انتظار می رود که به طور موثر برای ارزیابی ایمنی ترافیک مورد استفاده قرار گیرد. مثلاً، هنگامی که یک ترافیک کنترل و عملیات استراتژی اعمال می شود، می تواند منجر به تغییرات در شرایط جریان ترافیکی می شود که منجر به الگوهای تغییر مسیر می شود. روش های ارزیابی ایمنی برای یک استراتژی عملیاتی یا درمان را می توان به دو دسته شامل روش "مستقیم" و "روش غیر مستقیم" طبقه بندی کرد. روش مستقیم مقایسه مشاهدات تصادف است ، (و یا کاهش در روش های بیزی مبتنی بر تصادف). یافته ای که منطقه کاری خطرناکتر از بخش عمومی با مقایسه LCRI ها می تواند توسط مقایسه میزان مرگ و میر

پشتیبانی شود. فرکانس LCRI های جمع آوری شده برای سایت های مطالعه می تواند برای ارزیابی ایمنی ترافیکی بیشتر استفاده شود. برای این کاربرد، یک مقدار آستانه برای نیازهای LCRI باید تعیین شود. وقتی 0.3، معادل با 25 درصد از تمام LCRI ها به عنوان مقدار آستانه ( $\Phi_m$ ) برای تعیین اینکه آیا رویداد تغییر مسیر، امن است، یا خیر استفاده شد که 19 رویداد خارج از 70 تغییر خط در بخش کار منطقه به عنوان تغییرات خط نا امن شناسایی شدند. از سوی دیگر، 4 رویداد خارج از 25 خط تغییر در بخش عمومی به عنوان تغییرات خطی نا امن شناسایی شد. انواع کنترل ترافیک و عملیات درمان را می توان از نظر

ایمنی تغییر خط بر اساس LCRI توسعه یافته در این مطالعه ارزیابی کرد. جدول 3 نشان می دهد، نتایج فرکانس و نسبت رویدادهای ریسک زمانی مشاهده می شود زمانیکه آستانه های مختلف اعمال شد. روش پیشنهادی در این تحقیق به دسته روش غیر مستقیم با استفاده از مقادیر جایگزین برای اندازه گیری پتانسیل تصادف تبدیل شده است. برای تسهیل شاخص پیشنهادی در عمل، پنجره های موقتی و فضایی مناسب باید برای جمع آوری ارزش های تخمین زده شده ریسک نیاز به اصلاح دارند. سپس آزمون های آماری می تواند برای تعیین اینکه آیا کاهش قابل توجه است انجام شود در LCRI ها با استفاده از هر استراتژی عملیاتی یا درمان برای بهبود ایمنی قابل مشاهده است. آنها شامل عملیات محدود سرعت متغیر، روش های مختلف ادغام، و سیستم های اطلاعاتی هشدار منطقه کار هستند. علاوه بر این، تلاش های نظارت بلند مدت برای دیدن اگر LCRI به طور قابل ملاحظه ای مرتبط با حوادث تصادف واقعی خواهد بود، مورد نیاز است. پارامترهای مرتبط با LCRI را می توان به طور مداوم با تجزیه و تحلیل داده های تصادف واقعی و مسیرهای مربوط به خودرو را تنظیم کرد. این پیشرفت فن آوری های نظارت بر ترافیک امکان این تجزیه و تحلیل را بررسی می کند

جدول 3: فرکانس و درصد تغییر مسیر نا امن برای آستانه های مختلف

Threshold ( $\Phi_m$ )	Work zone		General		Total	
	Frequency	percentage	Frequency	percentage	Frequency	percentage
0	70	100.0%	25	100.0%	95	100.0%
0.1	51	72.9%	20	80.0%	71	74.7%
0.2	43	61.4%	7	28.0%	50	52.6%
0.3	19	27.1%	4	16.0%	23	24.2%
0.4	6	8.6%	2	8.0%	8	8.4%
0.5	2	2.9%	1	4.0%	3	3.2%
0.6	1	1.4%	1	4.0%	2	2.1%
0.7	1	1.4%	0	0.0%	1	1.1%
0.8	1	1.4%	0	0.0%	1	1.1%
0.9	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
1	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%

تحت این شرایط، اپراتورها و مدیران ترافیک می توانند شناسایی کنند آیا استراتژی کاربردی بهبود خواهد داد یا تغییر مسیر ایمنی را تضعیف می کند. به طور خاص، درمان های مختلف شامل کنترل ادغام خط و تنظیمات را می توان از نظر ایمنی در طول بخشی از جاده ارزیابی کرد که تغییرات لاین های مکرر مورد نیاز است. با توجه به گردآوری داده برای به دست آوردن اطلاعات مسیریابی خودرو، این مطالعه از هواپیمای بدون سرنشین برای گرفتن عکس از جریان ترافیک را در یک منطقه کار و در یک بخش عمومی استفاده کرد. اعتقاد بر این است که این تلاش ارزشمند است، زیرا این روش ها در دسترس برای جمع آوری اطلاعات ترافیکی را متنوع می کند. این روش پیشنهادی می تواند به عنوان یک رویکرد اساسی برای حمایت از سیستم های پیشرفته کمک رانندگی در اجتناب از وقوع تصادف مورد استفاده قرار گیرد، اگر چه اصلاح نیاز دارد برای یک برنامه زمان واقعی اجرا می شود.

اگر چه امکان برآورد روش پیش بینی خطر نشان داده شد، تحقیقات بیشتری باید انجام شود تا به طور کامل این روش در عمل اجرا شود. انواع اقدامات نیاز به طراحی برای اطمینان از شناسایی دقیق تر و قابل اطمینان از شرایط خطر دارد. ویژگی های رانندگان و وسایل نقلیه باید در ارزیابی چارچوب در نظر گرفته شود. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل بیشتر از تعیین آستانه  $\Phi m$  مورد نیاز است. قابلیت محدود باتری برای هواپیماهای بدون سرنشین و ویژگی های موقت منطقه کار به ما اجازه نمی دهد تا نمونه های کافی داده ها را که باید مورد استفاده قرار گیرد، برای تجزیه و تحلیل در این مطالعه جمع آوری کنیم. مجموعه داده های بزرگتر از انواع موقعیت تغییر خط به دست می آید مانند ادغام و واگرایی باید برای ارزیابی و اعتبار روش ارائه شده آماده شود. مسیرهای خودرو، شامل وضعیت های تصادف واقعی، برای ارزیابی مقدار آستانه برای شناسایی رویدادهای خطرناک به درستی ارزشمند خواهد بود.

روش پیشنهادی باید به نظارت بر ترافیک نسل بعدی نیز اضافه شود قادر به اندازه گیری ترافیک جدید تولیدی که به طور فعال برای ارزیابی ایمنی استفاده می شود. نتایج از این مطالعه انتظار می رود که از توسعه و ارزیابی های اقدامات مخالف مختلف برای جلوگیری از سقوط پشتیبانی کند.

**تشکر و قدردانی**

این تحقیق توسط کمک هزینه از توسعه تکنولوژی کاهش ریسک تصادف برای ساختار برخورد در جاده و کارگران جاده (شماره مجوز 096228-02TLRP-C16) توسط وزارت زمین، زیرساخت و حمل و نقل، جمهوری کشور کره تأمین مالی شده است.

## References

- Allen, B.L., Shin, B.T., Cooper, P.J., 1978. Analysis of Traffic Conflicts and Collisions (No. HS-025 846).
- Cooper, D.F., Ferguson, N., 1976. Traffic Studies at T-junctions. 2. A Conflict Simulation Record. *Traffic Engineering and Control*, 17(Analytic).
- Evans, L., 1994. Driver injury and fatality risk in two-car crashes versus mass ratio inferred using Newtonian mechanics. *Accid. Anal. Prev.* 26 (5), 609-616.
- Gardoni, P., 2017. Risk and Reliability Analysis. Theory and Applications.
- Gettman, D., Head, L., 2003. Surrogate safety measures from traffic simulation models. *Transp. Res. Rec.* 1840, 104-115.
- Hansson, A., 1975. Studies in Driver Behavior, with Application in Traffic Design and Planning: Two Examples (No. Bulletin 9 Monograph).
- Hayward, J., 1971. Near Misses as a Measure of Safety at Urban Intersections. Pennsylvania Transportation and Traffic Safety Center.
- Huang, H.Z., Yuan, X., Yao, X.S., 2000. Fuzzy fault tree analysis of railway traffic safety. *Traffic Transp. Stud.* 107-112.
- Hupfer, C., 1997. Deceleration to safety time (DST)—a useful figure to evaluate traffic safety. In *ICTCT Conference Proceedings of Seminar* (3).
- Hydén, C., 1987. The development of a method for traffic safety evaluation: the Swedish Traffic Conflicts Technique. *Bull. Lund Inst. Technol. Department* 70.
- Joo, S., Oh, C., 2013. A novel method to monitor bicycling environments. *Transp. Res. Part A* 54, 1-13.
- Joshua, S.C., Garber, N.J., 1992. A causal analysis of large vehicle accidents through fault-tree analysis. *Risk Anal.* 12 (2), 173-188.
- Kim, K.S., Lee, H.P., Kim, S.H., Namkoong, S., 2013. Introduction to an expressway traffic data monitoring system using traffic quality information and visualization. *Transp. Technol. Policy* 10 (3), 69-76.
- Kronprasert, N., Thipnee, N., 2016. Use of evidence theory in fault tree analysis for road safety inspection. In: *International Conference on Belief Functions*. Springer International Publishing. pp. 84-93.
- Kuzminski, P., Eisele, J.S., Garber, N., Schwing, R., Haimes, Y.Y., Li, D., Chowdhury, M., 1995. Improvement of highway safety I: Identification of causal factors through fault-tree modeling. *Risk Anal.* 15 (3), 293-312.
- Minderhoud, M.M., Bovy, P.H., 2001. Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment. *Accid. Anal. Prev.* 33 (1), 89-97.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2013. Rules for Standard of Structure and Facilities of the Road(Explanation and Guideline).
- Oh, C., Park, S., Ritchie, S.G., 2006. A method for identifying rear-end collision risks using inductive loop detectors. *Accid. Anal. Prev.* 38 (2), 295-301.
- Van Winsum, W., Brookhuis, K.A., de Waard, D., 2000. A comparison of different ways to approximate time-to-line crossing (TLC) during car driving. *Accid. Anal. Prev.* 32 (1), 47-56.
- Wang, C., Stamatidis, N., 2013. Surrogate safety measure for simulation-based conflict study. *Transp. Res. Rec.* 2386, 72-80.
- Wang, C., Stamatidis, N., 2014. Derivation of a new surrogate measure of crash severity. *Transp. Res. Rec.* 2432, 37-45.