

مروری بر اقدامات ایمنی جهت کاهش تصادفات در تقاطع‌های چراغدار

کیوان آقابیک*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ایران

مهدی رمضانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، مدیر پل و بزرگراه سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Kayvan.Aghabayk@ut.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۴/۱۵ - پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۵

صفحه ۲۴-۱۵

چکیده

جریان‌های مستقیم و گردشی در تقاطع با ایجاد تداخل بین وسایل نقلیه با هم، وسایل نقلیه با عابر پیاده و یا وسایل نقلیه با دوچرخه، باعث بروز تصادف می‌شوند. به همین علت اگرچه تقاطع‌ها تنها بخش کوچکی از شبکه راه را تشکیل می‌دهند، اما نقاط تمرکز تصادف می‌باشند. تقاطع‌های چراغدار به طور کلی شلوغ‌ترین نوع تقاطع بوده و نقش مهمی در ایمنی از جمله تصادفات منجر به فوت دارند. عملکرد تقاطع‌های چراغدار پیچیده بوده و فاکتورهای زیادی در مسائل ایمنی آن مؤثر است. طرح هندسی و کنترل ترافیکی مناسب تقاطع می‌تواند منجر به عملکرد کارا و ایمن تقاطع شود. لذا این مقاله در ابتدا به تشریح اقدامات مربوط به اصلاح هندسی و ارتقای تجهیزات کنترل ترافیک در تقاطع‌های چراغدار جهت بهبود ایمنی آنها می‌پردازد. هرچند مشکلات ایمنی در تقاطع‌های چراغدار ضرورتاً تنها با اقدامات مهندسی حل نمی‌شود. لذا ممکن است نیاز به اقدامات دیگری همچون کمپین‌های اطلاع‌رسانی عمومی یا اعمال قانون برای ارتقاء ایمنی در تقاطع باشد. مطالعه پیش رو علاوه بر این اقدامات به تشریح سایر راهکارهای زیربنایی مرتبط جهت ارتقای ایمنی تقاطع‌های چراغدار می‌پردازد تا ابزار کاملی در اختیار مهندسیین و متخصصین راه در هنگام طراحی یا رفع مشکلات ایمنی قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: اقدامات ایمنی، تقاطع‌های چراغدار، ایمنی راه، تصادفات

۱- مقدمه

عقب شود (Islam 2016). علاوه بر این، عملکرد چراغ ممکن است منطبق بر توقعات رانندگان نباشد (Wu et al. 2017; Mohammed et al. 2016). هدف اصلی در این مقاله ارتقاء ایمنی تقاطع‌های چراغدار و رویکردهای منتهی به آن است. اقدامات ایمنی شامل اصلاح هندسی، تغییر در نوع تجهیزات کنترل ترافیک، اعمال قانون و آموزش است. بیشتر این راهبردها کم‌هزینه و کوتاه‌مدت هستند. البته چندین راهبرد با هزینه بیشتر و بلندمدت‌تر که در ارتقاء ایمنی تقاطع مؤثر هستند، نیز در این بخش ولی با جزئیات کمتر ارائه شده‌اند، در ادامه به تشریح موارد پرداخته می‌شود.

جریان‌های مستقیم و گردشی در تقاطع با ایجاد تداخل بین وسایل نقلیه با هم، وسایل نقلیه با عابر پیاده و یا وسایل نقلیه با دوچرخه، موجبات بروز تصادف را فراهم می‌کنند (Wang et al. 2015; Hussein et al. 2016; Zangenehpour et al. 2015). به همین علت تقاطع‌ها نقاط تمرکز تصادف می‌باشند (Shahdah et al. 2015). چراغ راهنمایی با کنترل و جداسازی تداخل بین وسایل نقلیه، عابران پیاده و موتورسیکلت‌سواران، عملکرد ایمن و کارای تقاطع را موجب می‌شود. هرچند عملکرد خود چراغ راهنمایی نیز، تداخل به وجود می‌آورد؛ به طور مثال تداخل‌های بین وسایل نقلیه عبوری که می‌تواند منجر به تصادف از

۲- اصلاح هندسی

اصلاح هندسی می‌تواند مزایای ایمنی و عملکردی را در تقاطع‌های چراغدار به‌همراه داشته باشد. اصلاح حرکات گردش با کانالیزه کردن یا حتی ممنوعیت فیزیکی می‌تواند به کاهش انواع مشخصی از تصادفات منجر شود. همچنین تغییرات هندسی می‌تواند ایمنی عابران پیاده و دوچرخه‌سواران را نیز افزایش دهد. همچنین با صرف هزینه‌های بیشتر و اصلاحات بلندمدت مانند طراحی دوباره تقاطع می‌توان ایمنی را افزایش داد که در این بخش به طور خلاصه به آن پرداخته می‌شود.

۲-۱- ساماندهی جریان‌های چپگرد

بسیاری از مسائل ایمنی در تقاطع‌ها می‌تواند متأثر از مشکلات وسایل نقلیه‌ای باشد که قصد گردش به چپ دارند. یک راهبرد کلیدی برای حداقل کردن تصادفات ناشی از جریان چپگرد (زاویه‌دار، از عقب، از پهلو)، تأمین خطوط گردش به چپ اختصاصی، به ویژه برای رویکردهای مسیر اصلی دارای حجم و سرعت بالا، می‌باشد. خطوط گردش به چپ اجازه تفکیک جریان‌های چپگرد و مستقیم را فراهم کرده و بنابراین احتمال تصادفات از عقب را کاهش می‌دهند. چون این خطوط انبار ایمنی برای رانندگانی که منتظر گپ در جریان مقابل هستند را ایجاد می‌کند، این خطوط، رانندگان را به انتخاب گپ مناسب‌تری ترغیب می‌کند. این انتخاب احتمال تصادف بین جریان چپگرد و جریان مستقیم مقابل را می‌تواند کاهش دهد. همچنین تأمین خط چپگرد انعطاف‌پذیری بیشتری در فازبندی ایجاد می‌کند (Srinivasan et al. 2017; Harwood et al. 2002).
تأمین، افزایش طول و انحراف خطوط گردش به چپ با جزئیات بیشتر در مقاله‌ای تحت عنوان مروری بر اقدامات ایمنی جهت کاهش تصادفات در تقاطع‌های بدون چراغ تصادفات آورده شده است (آقاییک و احمدپور ۱۳۹۵).

۲-۲- ساماندهی جریان‌های راستگرد

بسیاری از تصادفات در تقاطع‌های چراغدار به جریان‌های راستگرد مرتبط است. راهبردی مهم برای کاهش این نوع تصادف، تأمین خط گردش به راست اختصاصی است. همچنین اطمینان از اینکه خطوط گردش به راست طول کافی

برای کاهش سرعت وسایل نقلیه قبل از گردش را بدون تأثیر بر جریان مستقیم دارد، مهم است. خطوط گردش به راست، وسایل نقلیه‌ای را که سرعت خود را برای گردش به راست کم کرده‌اند، از جریان مستقیم جدا می‌کند و بنابراین تصادفات از عقب را کاهش می‌دهد (Harwood et al. 2002). نکته قابل توجه اینکه رانندگان مسن از جزیره کانالیزه شده بهره بیشتری می‌برند زیرا که مسیرهای مناسب را برایشان بهتر نمایان می‌سازد (Staplin et al., 1998). البته گاهی اوقات لازم خواهد بود جهت کاهش تصادفات، گردش به راست در فاز متقاطع مجاز نباشد (Zhang and Prevedouros, 2003). ضوابط طراحی استاندارد در آیین‌نامه‌های مربوطه از جمله آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران (۱۳۹۱) آمده است.

۲-۳- ساماندهی تسهیلات عابر پیاده و دوچرخه

ادغام مدهای سفر در تقاطع و همچنین تداخل‌های احتمالی بین وسایل نقلیه می‌تواند ایمنی و عملکرد تقاطع را برای کاربران غیرموتوری تحت تأثیر قرار دهد (Pratt 2017; Nordback et al. 2014). اقدامات متنوع و نسبتاً کم‌هزینه‌ای را می‌توان برای کمک به تردد ایمن عابران پیاده و دوچرخه‌سواران و افزایش کارایی تقاطع انجام داد. اصلاح تسهیلات موصوف به صورت خلاصه بیان شده است. تسهیلات پیاده:

- پیوستگی پیاده‌روها،
- استفاده از علائم افقی و عمودی (تابلو و خط‌کشی)،
- فاصله مناسب پیاده‌روها از خیابان،
- پناهگاه‌های میانی،
- روگذرهای مخصوص عابر پیاده،
- تأمین روشنایی در تقاطع،
- استفاده از موانع فیزیکی برای ممانعت از تردد عرضی عابر پیاده در مکان‌های پرخطر،
- تغییر در جانمایی ایستگاه‌های اتوبوس و انتقال به فاصله دورتر از تقاطع،
- روش‌های مختلف آرام‌سازی ترافیک برای کاهش سرعت یا حجم ترافیک در رویکردهای منتهی به تقاطع. تسهیلات دوچرخه:

۳- ارتقای تجهیزات کنترل ترافیک

زمانبندی مناسب چراغ‌های راهنمایی می‌تواند باعث ارتقاء چشمگیر ایمنی تنها با اثرات ناچیز منفی روی تأخیر یا ظرفیت شود. راهبردهای کم‌هزینه برای تقاطع‌های چراغدار که می‌تواند در کوتاه‌مدت اجرا شود، شامل اصلاح زمانبندی چراغ و کنترل‌های عملکردی در تقاطع می‌باشد. راهبردهای دیگر می‌تواند شامل اضافه کردن فاز، افزایش زمان تخلیه، حذف یا محدود کردن جریان‌های پرخطر و هماهنگ‌سازی چراغ‌ها باشد. جزئیات این راهکارها در ادامه ارائه شده است.

۳-۱- اجرای چراغ راهنمای چندفازه

این راهبرد شامل استفاده از فازهای حفاظت شده (دیرآزادشونده و زودآزادشونده) و فازهای مجزا است. بدیهی است یک چراغ دوفازه ساده‌ترین نوع چراغ راهنمایی است. چراغ‌های چندفازه می‌تواند برای ارتقاء ایمنی تقاطع استفاده شود. جریان‌های چپگرد به عنوان جریان‌های پرخطر در تقاطع‌های چراغدار شناخته می‌شود. اجرای این راهبرد با کاهش یا حذف تداخل‌های ناشی از جریان‌های چپگرد می‌تواند باعث افزایش ایمنی شود (Neuman 1985; Shebeeb 1995; De Pauw et al. 2015).

مسائل ایمنی که جریان چپگرد با آن مواجه است، مربوط به سه تداخل می‌باشد:

- تداخل با جریان مستقیم رویکرد مخالف،
 - تداخل با جریان مستقیم رویکردی که جریان چپگرد از آن خارج می‌شود، و
 - تداخل با جریان رویکرد متقاطع و عابران پیاده.
- این نوع از تداخل‌ها معمولاً تصادفات زاویه‌دار، تصادفات از پهلو در یک جهت و تصادفات از عقب را موجب می‌شوند. چند راهبرد برای کم کردن تأثیرات عملکردی و ایمنی ناشی از جریان چپگرد و مؤثر بر جریان چپگرد وجود دارد. فازهای چپگرد محافظت شده بر اساس فاکتورهایی مانند حجم جریان چپگرد، تأخیر، وضعیت دید، سرعت ترافیک مقابل، مسافت طی شده در تقاطع و سوابق موجود از وضعیت ایمنی تقاطع پیشنهاد می‌شود.

- افزایش عرض خطوط عبوری کناری (با ایجاد خطوط ویژه دوچرخه)،
- تأمین پناهگاه میانی،
- تأمین سازه‌های مستقل جهت گذر عرضی (مثل پل)،
- کاربرد دریچه‌های زهکش ایمن برای دوچرخه،
- تأمین روشنایی

۲-۴- ساماندهی تقاطع‌های پیچیده

بعضی از مسائل هندسی در تقاطع‌های چراغدار با نصب تابلو، کانالیزه کردن یا فازبندی رفع نمی‌شود. اصلاح فیزیکی برای تمام یا بخشی از تقاطع برای کاهش نرخ تصادفات شدید نیاز است. این راهبرد شامل راهکارهایی با هزینه زیاد می‌باشد و به خاطر نیاز به ساخت و ساز گسترده در این راهبرد، اداری که به دنبال راهکارهای کوتاه‌مدت و کم‌هزینه هستند، به سراغ این راهبرد نمی‌آیند.

(Hanna et al., 1976; ITE 1999; Robinson et al. 2000; Fitzpatrick et al., 2000; Rodegerdts et al. 2004). برخی از این موارد، راهبردهای ویژه‌ای هستند که مستلزم مطالعات تکمیلی می‌باشند. از جمله راهکارهای مورد نظر می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- افزایش مسافت دید
- تبدیل تقاطع چهارراه به دو تقاطع T شکل (در صورت حجم تردد کم جریان مستقیم)،
- تبدیل دو تقاطع T شکل به تقاطع چهارراه (در صورت حجم تردد بالا در جریان متقاطع)،
- اصلاح زاویه انحراف تقاطع (تا حد امکان ۹۰ درجه)،
- اصلاح انحراف مسیر جریان مستقیم (حداکثر میزان انحراف بین ۳ تا ۵ درجه)،
- یک‌طرفه کردن مسیرهای دوطرفه (به منظور کاهش نقاط تداخلی در تقاطع)،
- تأمین مسیر چپگرد غیرمستقیم (به عنوان مثال تأمین لوپ گردش به چپ)،
- ساخت تقاطع غیرهم‌سطح.

۳-۳- محدود یا ممنوع کردن جریان‌های گردشی

ایمنی در برخی تقاطع‌های چراغدار می‌تواند با محدود یا ممنوع کردن حرکات گردشی بالاخص حرکات‌های چپگرد ارتقاء یابد. این راهبرد ممکن است در جایی که حرکات گردشی پرخطر تشخیص داده شده و دیگر راهبردها (مانند کانالیزه کردن جریان چپگرد یا زمانبندی دوباره چراغ) بی‌تأثیر هستند، مناسب باشد. این راهبرد شامل محدود کردن یا حذف جریان چپگرد یا راستگرد با کانالیزه کردن یا نصب تابلو و همچنین ممنوع کردن گردش به راست در چراغ قرمز است. (Retting et al. 2002; Fleck and Lee 2002).

۳-۴- هماهنگ‌سازی چراغ‌ها

هماهنگ‌سازی چراغ‌ها، مدت‌هاست به عنوان راهبردی که تأثیرات مثبتی بر روانی جریان ترافیک در طول مسیرهای اصلی یا شریانی دارد، شناخته شده است. هماهنگ‌سازی چراغ‌ها به صورت مؤثر می‌تواند چندین مزیت قابل توجه از نظر ایمنی، به خصوص در مسیرهای دو طرفه داشته باشد.

چراغ‌های هماهنگ باعث شکل‌گیری دسته‌ای از وسایل نقلیه می‌شود که بدون توقف در چندین چراغ در تقاطع‌ها تردد می‌نمایند. کاهش تعداد و تناوب توقف‌ها و حفظ سرعت ثابت برای همه وسایل نقلیه، تصادفات از عقب را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، هماهنگ‌سازی چراغ‌ها عملکرد حرکات گردشی را ارتقاء می‌دهد. زیرا افزایش دسته وسایل نقلیه شکل گرفته پشت چراغ، می‌تواند گپ‌های بیشتر و طولانی‌تری برای حرکات‌های مجاز در تقاطع‌ها به وجود آورده و منجر به عملکرد بهتر چراغ و کاهش تصادفات شود (ITE Rakha et al. 2000; Li & Tarko 2011) (1999).

۳-۵- حذف چراغ‌های غیرضروری

چراغ‌های راهنمایی می‌تواند بسیاری از مسائل ایمنی و عملکردی را در تقاطع‌ها حل کند. هرچند ممکن است با توجه به تغییر شرایط ترافیک، استفاده از چراغ ضروری نباشد. در این شرایط چنین چراغ راهنمایی می‌تواند به طور نامطلوبی تقاطع‌ها را تحت تأثیر قرار

چندین روش برای کنترل جریان چپگرد در چراغ راهنما وجود دارد: مجاز، فقط محافظت شده و محافظت شده/ مجاز (شامل هر دو روش دیرآزادشونده و زودآزادشونده). استفاده از فازبندی «محافظت شده/ مجاز» بین فازبندی کاملاً محافظت شده و فازبندی فقط مجاز است. این راهبرد عملکردی چندین مزیت دارد که مهمترین آنها کاهش تأخیر برای جریان چپگردی است که اجازه دارد در فاز سبز جریان مقابل، تردد داشته باشد. مزیت دیگر زمان سبز مورد نیاز کمتر برای جریان چپگرد محافظت شده می‌باشد و بنابراین زمان سبز بیشتری برای جریان‌های دارای اولویت فراهم می‌شود. همچنین با این روش احتمال ارتقاء عملکرد مسیر شریانی وجود دارد. عملکرد ایمنی فازهای چپگرد محافظت شده/ مجاز به اندازه فازهای فقط محافظت شده خوب نیست، که علت آن تداخل بیشتر جریان چپگرد و جریان مقابل در طول فاز مجاز است. شایان ذکر است مسیرهای چپگرد دوخطه یا سه خطه تنها باید با فاز محافظت شده عمل کنند.

۳-۲- بهینه‌سازی زمان تخلیه (زمان زرد و تمام قرمز)

زمان تخلیه بخشی از طول سیکل چراغ راهنما بین پایان یک فاز سبز و شروع فاز سبز بعدی برای حرکات‌های متداخل است. زمان تخلیه می‌تواند شامل هر دو زمان زرد و تمام قرمز بین دو فاز سبز متوالی باشد. زمان تخلیه خیلی کوتاه می‌تواند منجر به تصادفات از عقب به دلیل توقف سریع رانندگان و تصادفات زاویه‌دار از سمت راست ناشی از تخطی از چراغ شود. مطالعه روی زمان تخلیه نشان داده است که زمان تخلیه کم نرخ تصادفات از عقب و زاویه‌دار از سمت راست بیشتری نسبت به زمان تخلیه بزرگتر دارند (Zador et al. 1985). به‌علاوه فواصل خیلی کوتاه بین تغییر فاز منجر به تداخل بین وسایل نقلیه و عبور از چراغ قرمز می‌شود (Retting et al. 2000). البته از سوی دیگر افزایش زمان تخلیه منجر به افزایش سیکل چراغ می‌شود. در نتیجه بهینه‌سازی زمان تخلیه امری ضروری است تا در عین اجتناب از تاخیر فراوان، با تخصیص زمان عبور برای جریان‌های متداخل در تقاطع، ایمنی بیشتری فراهم شود (McGee 2003).

اطلاع‌رسانی/آموزش عمومی است. بسیاری از مردم ممکن است اطلاعیه مربوطه را ببینند ولی آن را اتلاف وقت بدانند و به آن توجهی نکنند.

۴-۲- اعمال قانون به روش سنتی

اجرای قانون اقدامی محتمل برای اصلاح رفتار غیرقانونی و نایمن رانندگان در تقاطع می‌باشد. مطالعات گزارش کرده‌اند که زمانی که اعمال قانون انجام شده، تخلف از قوانین ترافیکی کاهش داشته است (Pline 1999). ادارات مربوطه اغلب مکان‌هایی را برای اعمال قانون هدفمند انتخاب می‌کنند که این مکان‌ها بر اساس تاریخچه تصادفات، بازرسی یا دیگر منابع اطلاعاتی پرخطر تشخیص داده شده و ناشی از تخلف از قوانین مانند سرعت زیاد یا عبور از چراغ قرمز هستند.

اعمال قوانین ترافیکی به صورت سنتی، اقدامی کوتاه‌مدت و با هزینه متوسط برای رفع مشکلات ایمنی در تقاطعی چراغدار است. گرچه این راهبرد مؤثر است، ولی این کارایی معمولاً کوتاه‌مدت است. اعمال منظم قانون به این روش به بودجه و نیروی انسانی مستمر نیازمند است که اجرای بلندمدت آن را سخت و حتی غیرممکن می‌کند.

۴-۳- اعمال قانون هوشمند

اعمال قانون هوشمند در خصوص دو موضوع در تقاطع‌های چراغدار قابل اجرا می‌باشد: عبور از چراغ قرمز و کنترل سرعت در رویکردها. در ذیل به این دو مورد به اختصار پرداخته می‌شود. عبور از چراغ قرمز مسئله‌ای شناخته شده و رو به افزایش در مسائل ایمنی است. هرچند بعضی اتفاقات ناشی از این تخلف می‌تواند با اقدامات مهندسی حل شود، ولی در بعضی موارد رفتار نامناسب رانندگی، مشکل اصلی است. چون این امکان وجود ندارد که همیشه و در تمام تقاطع‌ها، افسر پلیس برای اعمال قانون حضور داشته باشند، اعمال قانون هوشمند راهکار جایگزین مناسبی است (Pulugurtha & Otturu 2014; Hu et

دهد. مشکلاتی که چراغ غیرضروری ایجاد می‌کند شامل تأخیر بیش از حد، افزایش تغییر مسیر برای یافتن راه و تقاطع مناسب، نرخ تصادفات بالاتر و بی‌توجهی به چراغ راهنماست که می‌توان با حذف چراغ آنها را رفع کرد (Persaud et al. 1997).

۳-۶- ارتقاء عملکرد تسهیلات عابرپیاده و دوچرخه

میزان قابل توجهی از تصادفات مربوط به عابر پیاده و دوچرخه در نزدیکی تقاطع اتفاق می‌افتد. از این میزان درصد قابل توجهی به دلیل وسایل نقلیه گردشی، ظاهرشدن یکباره مقابل وسایل نقلیه با دید محدود و یا به طور کلی عبور نایمن این کاربران از عرض تقاطع می‌شود. اصلاح این وضعیت بی‌شک می‌تواند به ارتقای ایمنی تقاطع کمک کند (Tiwari et al. 2007).

۴-۴- افزایش تبعیت رانندگان از قانون

مشکلات ایمنی در تقاطع‌های چراغدار همیشه تنها با اقدامات مهندسی حل نمی‌شود. کمپین‌های اطلاع‌رسانی عمومی یا اعمال قانون ممکن است بهترین راه برای ارتقاء ایمنی در تقاطع باشد (Tay & De Barros 2011). اطلاعات این بخش در مورد راهبردهایی برای افزایش تبعیت از تجهیزات کنترل ترافیک است که عمدتاً بر عبور از چراغ قرمز و کنترل سرعت در رویکردهای منتهی به تقاطع چراغدار تمرکز دارد.

۴-۱- آموزش عمومی و اطلاع‌رسانی

هدف این راهبرد تصادفات مربوط به رانندگانی است که چه از روی ناآگاهی و چه عدم توجه و تبعیت، قوانین ترافیکی را زیر پا می‌گذارند و ایمنی را کاهش می‌دهند. تصادفات مربوط به عبور از چراغ قرمز، سرعت و عدم رعایت حق تقدم عابر پیاده می‌تواند با این راهبرد کاهش یابد. اگرچه طرح و نحوه اجرای این برنامه‌ها در اثرگذاری آنها بسیار اهمیت دارد (Beanland et al. 2013).
انگیزه دادن به مردم برای رانندگی (و دوچرخه‌سواری یا پیاده‌روی) به صورت ایمن بسیار مهم است. اصلی‌ترین مشکل احتمالی این راهبرد مربوط به اهمیت

زاویه‌دار ناشی از حرکت وسایل نقلیه‌ای شود که به‌از داخل/خارج مسیرهای دسترسی گردش می‌کنند و سرعت خود را نزدیک تقاطع تغییر می‌دهند. همچنین انتظار می‌رود که محدودیت دسترسی از میانه، تداخل‌های ناشی از وسایل نقلیه‌ای که از بازشدگی میانه برای گردش استفاده می‌کنند و همچنین تصادفات از عقب و زاویه‌دار را حذف کند (Wolshon & Pande 2016).

۵-۲- اصلاح زهکشی

هدف این راهبرد تصادفات در تقاطع‌هایی است که زهکشی ضعیفی دارند. این تصادفات شامل وسایل نقلیه‌ای است که پدیده دادن هیدروپلینینگ (آکوپلینینگ) برای آنها اتفاق افتاده و در نتیجه قادر به توقف در مدت زمان لازم نیستند. پدیده هیدروپلینینگ هنگامی رخ می‌دهد که خودرو از یک توده آب ساکن عبور می‌کند. در صورتی که آب نتواند با سرعت کافی از زیر لاستیک خارج شود، در این صورت لاستیک از زمین بلند شده و روی لایه‌ای از آب قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه در این حالت، لاستیک عملاً هیچ چسبندگی ندارد، لذا خودرو به سادگی از کنترل خارج می‌شود این تصادفات شامل تصادفات زاویه‌دار، از عقب و شاخ به شاخ هستند. علاوه بر این، عابران پیاده و دوچرخه‌سوارها نیز ممکن است در معرض خطر باشند. در این صورت اصلاح زهکشی می‌تواند به ارتقاء ایمنی، افزایش ظرفیت مسیر و ظرفیت بارگذاری روسازی کمک کند (Glennon & Hill 2004).

۵-۳- تأمین اصطکاک لغزشی

ضریب اصطکاک بیشتر متأثر از سرعت، وضعیت لاستیک وسیله نقلیه و شرایط سطح مسیر می‌باشد. برای اصلاح شرایط روسازی باید دقت فراوانی شود تا مقاومت لغزشی مناسب به خصوص در شرایط آب و هوایی بارانی فراهم شود. این راهکار با استفاده از ایجاد شیار روی سطح روسازی موجود و یا روکش روسازی موجود می‌تواند باعث ارتقای ایمنی در تقاطع‌های چراغدار شود (Erwin & Tighe 2008).

ممکن است که بازه زمانی کوتاهی (معمولاً یک ثانیه) تعیین شده و دوربین‌ها طوری تنظیم شود که از وسایل نقلیه‌ای که در «شرایط انتخاب دشوار» بین توقف و ادامه حرکت بوده‌اند و بلافاصله (مدت زمان کوتاه) بعد از قرمز شدن چراغ وارد تقاطع شده‌اند، عکس‌نگیرد. هدف از استفاده از دوربین‌های کنترل سرعت در رویکردهای تقاطع، رانندگانی است که با سرعت زیاد در رویکردهای منتهی به تقاطع رانندگی می‌کنند. انواع تصادفات مرتبط با رفتار آنها شامل تصادفات زاویه‌دار و از عقب می‌باشد. بدیهی است اعمال قانون هوشمند کنترل سرعت می‌تواند تأثیرات بلندمدت‌تری نسبت به کنترل سرعت توسط افسران پلیس داشته باشد. زیرا این امکان برای افسران پلیس وجود ندارد که به طور پیوسته سرعت را کنترل کنند اما برای دوربین این قابلیت وجود دارد که مدت زمان طولانی‌تری عمل کند (Turner & Polk 1998). اطلاع‌رسانی به راننده در خصوص تغییر رنگ چراغ در تقاطع‌های با سرعت بالا باعث تأثیر بهتر این راهکار می‌شود (Wu et al. 2013).

۵-۴- افزایش ایمنی با دیگر روش‌های زیربنایی

مشکلات ایمنی در تقاطع‌های چراغدار ممکن است مختص به هندسه تقاطع، نوع کنترل ترافیک، اعمال قانون یا آگاهی راننده از تقاطع نباشد. در این بخش، اطلاعاتی درباره راهبردهایی برای تقاطع‌هایی با شرایط خاص که با اقدامات ذکر شده قابل اصلاح نیستند، آورده شده است.

۵-۱- بهبود و مدیریت دسترسی‌ها

مدیریت دسترسی کارا، اقدامی کلیدی برای ارتقاء ایمنی در تقاطع و نزدیکی آن است. تعدد نقاط دسترسی با عنایت به اختلاف سرعت بین وسایل نقلیه‌ای عبوری و وسایل نقلیه‌ای که از مسیر دسترسی استفاده می‌کنند، باعث بروز تصادف می‌شود. محدود کردن دسترسی به کاربری‌های تجاری در نزدیکی تقاطع با بستن مسیرهای دسترسی در خیابان اصلی، انتقال آنها به خیابان فرعی یا محدود کردن حرکات گردش به‌از داخل یا خارج مسیرهای دسترسی، به کاهش تداخل بین جریان مستقیم و گردش کمک خواهد کرد. این تداخل‌ها می‌تواند منجر به تصادفات از عقب و

۵-۴- جابجایی تجهیزات و موانع موجود به خارج از

ناحیه عاری از مانع

تجهیزات و موانع موجود در کنار مسیر مانند پایه‌های چراغ، درختان و دیگر اجسام ثابت بزرگ خطری جدی را ایجاد می‌کنند (Holdridge et al. 2005). بهتر است این موانع به خصوص در مسیرهای با سرعت بالا تا حد امکان از لبه روسازی دور باشد؛ البته در خصوص پایه چراغ این مساله تا جایی ممکن است که بر قابلیت دید چراغ تأثیر نامطلوب نگذارد. در چنین حالتی اگر امکان جابجایی وجود ندارد، باید ملاحظات برای محافظت از تجهیزات چراغ راهنمایی انجام شود. در جایی که حفاظ جانبی در کنار مسیر وجود دارد، در صورت امکان کابین چراغ باید پشت آن قرار بگیرد. همچنین چنانچه عملی باشد، ستون‌های چراغ در میانه راه باید طوری نصب شوند که محدوده عاری از مانع بیشتری نسبت به مقدار موردنیاز تأمین شود. نکته قابل توجه اینکه به طور کلی تجهیزات چراغ نباید مانعی برای خطوط دید باشد.

۵-۵- محدود کردن یا حذف پارک حاشیه‌ای

پارک حاشیه‌ای در نزدیکی خطوط گردشی یا مستقیم در رویکردهای تقاطع ممکن است خطرآفرین باشد (Pline 1999). این اقدام که می‌تواند بر جریان مستقیم ترافیک تأثیر اصطکاک گونه بگذارد، معمولاً مثلث دید وسایل متوقف را مسدود کرده و گهگاه نیز باعث انسداد خطوط عبوری به دلیل ورود/خروج خودروها به/از پارک می‌شود. محدود کردن یا حذف پارک حاشیه‌ای در رویکردهای تقاطع می‌تواند بار تحمیلی بر راننده و امکان حادث شدن تصادف را کاهش دهد. محدودیت‌های پارک می‌تواند با نصب تابلو، خط‌کشی و کف‌نویسی روسازی یا کانالیزه کردن انجام شود. ممکن است محدودیت‌ها در زمان‌های خاصی از روز یا برای نوع خاصی از وسایل نقلیه اجرا شود. اعمال قانونی محدودیت‌های پارک همراه با اطلاع‌رسانی عمومی شامل حمل وسایل نقلیه متخلف با جرثقیل، بخش ضروری اجرای راهبرد است (Bureau of Transport Economics 2001).

۶- نتیجه‌گیری

در این مطالعه به اهمیت تقاطع‌های چراغدار و سهم قابل توجه آنها در تصادفات پرداخته شد. با توجه به این اهمیت، اقدامات ممکن جهت ارتقای ایمنی تقاطع‌های چراغدار بر اساس مطالعات صورت گرفته در کشورهای مختلف، مرور و خلاصه شد. این اقدامات شامل اصلاح هندسی محدوده تقاطع، ارتقای تجهیزات کنترل ترافیک، افزایش تبعیت رانندگان از قانون و سایر روش‌های زیربنایی بوده که جزئیات هر راهکار به تفصیل در مقاله آمده است. این مطالعه می‌تواند ابزار مناسبی در اختیار متخصصین و مسئولین مرتبط با راه و ایمنی آن قرار دهد تا اولاً در طراحی و ساخت مسیرهای جدید نکات ایمنی را مد نظر قرار دهند و ثانیاً در مواجهه با مشکلات ایمنی در تسهیلات موجود، با توجه به شرایط بهترین راهکار را برگزینند.

۷- مراجع

-آقابیک، ک.، احمدپور، ط.، (۱۳۹۵). "مروری بر اقدامات ایمنی جهت کاهش تصادفات در تقاطع‌های بدون چراغ". جاده، ۲۴(۸۶)، ص. ۱۱-۳۰.

-"آیین نامه طرح هندسی راه‌های ایران"، (۱۳۹۱)، نشریه ۴۱۵، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.

-Beanland, V., Goode, N., Salmon, P. M., & Lenné, M. G. (2013), Is there a case for driver training? A review of the efficacy of pre-and post-licence driver training. *Safety science*, 51(1), pp.127-137.

-Bureau of Transport Economics. (2001), "The Black Spot Program 1996-2002: An Evaluation of the First Three Years". Canberra, Australia. ISBN: 0642456933.

-De Pauw, E., Daniels, S., Van Herck, S., & Wets, G. (2015), "Safety effects of protected left-turn phasing at signalized intersections: an empirical analysis. *Safety*", 1(1), pp.94-102.

- Institute of Transportation Engineers. (1999), "Traffic Safety Toolbox: A Primer on Traffic Safety". Washington, D.C.
- Li, W., & Tarko, A. (2011), "Effect of arterial signal coordination on safety. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board", pp.51-59.
- McGee, H. W. (2003), "Making intersections safer: a toolbox of engineering countermeasures to reduce red-light running: an informational report". Institute of Transportation Engineers.
- Mohammed, M., Ke, Y., Gao, J., Zhang, H., El-Basyouny, K., & Qiu, T. Z. (2016), "Connected Vehicle V2I Communication Application To Enhance Driver Awareness At Signalized Intersections". CSCE Annual Conference, London, UK.
- Neuman, T. R. (1985), "Intersection Channelization Design Guide. NCHRP Report 279. TRB, National Research Council", Washington, DC.
- Nordback, K., Marshall, W. E., & Janson, B. N. (2014), "Bicyclist safety performance functions for a US city". Accident Analysis & Prevention, 65, pp.114-122.
- Persaud, B., Hauer, E., Retting, R., Vallurupalli, R., & Mucsi, K. (1997), "Crash reductions related to traffic signal removal in Philadelphia. Accident Analysis & Prevention, 29(6), pp.803-810.
- Pline, J. L. (1999), "Traffic Engineering Handbook. Institute of Transportation Engineers", Washington, DC.
- Pratt, M. P. (2017), "Pedestrian Safety Treatments for Signalized Intersections: Training Course Development (No. FHWA/TX-13/5-6402-01-1).
- Pulugurtha, S. S., & Otturu, R. (2014), "Effectiveness of red light running camera enforcement program in reducing crashes: Evaluation using "before the installation", "after the installation", and "after the termination" data. Accident Analysis & Prevention, 64, pp.9-17.
- Erwin, T., & Tighe, S. (2008), "Safety Effect of Preventive Maintenance: A Case Study of Microsurfacing. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board", 2044, pp. 79-85.
- Fleck, J., and B. Lee. (2002), "Safety Evaluation of Right Turn on Red. ITE Journal. Volume 72. Issue 6. pp. 46-48.
- Fitzpatrick, K., K. Balke, D. Harwood, and I. Anderson. (2000), "Accident Mitigation Guide for Congested Rural Two-Lane Highways". NCHRP Report 440. TRB, National Research Council, Washington, DC.
- Glennon, J. C., & Hill, P. F. (2004), "Roadway safety and tort liability". Lawyers & Judges Publishing Company, Tucson, AZ USA 85751-0040.
- Hanna, J. T., T. E. Flynn, and W. L. Tyler, (1976), "Characteristics of Intersection Accidents in Rural Municipalities, Transportation Research Record 601, TRB, National Research Council", Washington, DC.
- Holdridge, J. M., Shankar, V. N., & Ulfarsson, G. F. (2005), "The crash severity impacts of fixed roadside objects". Journal of Safety Research, 36(2), pp.139-147.
- Hu, W., McCart, A. T., & Teoh, E. R. (2011), "Effects of red light camera enforcement on fatal crashes in large US cities". Journal of safety research, 42(4), pp.277-282.
- Hussein, M., Sayed, T., Reyad, P., & Kim, L. (2015), "Automated Pedestrian Safety Analysis at a Signalized Intersection in New York City: Automated Data Extraction for Safety Diagnosis and Behavioral Study". Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, pp.17-27.
- Islam, M. T. (2016), "Investigating the speed and rear-end collision relationship at urban signalized intersections. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, pp.10-16.

- Srinivasan, R., Carter, D., & Lan, B. (2017), "Crash Modification Factors for Signal Installation with and without Left Turn Lanes on Two-Lane Roads in Rural and Suburban Areas", Transportation Research Board 96th Annual Meeting, Washington DC, United States.
- Tay, R., & De Barros, A. (2011), "Should traffic enforcement be unpredictable? The case of red light cameras in Edmonton. Accident Analysis & Prevention, 43(3), pp.955-961.
- Tiwari, G., Bangdiwala, S., Saraswat, A., & Gaurav, S. (2007), "Survival analysis: Pedestrian risk exposure at signalized intersections". Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 10(2), pp.77-89.
- Turner, S., & Polk, A. E. (1998), "Overview of automated enforcement in transportation. Institute of Transportation Engineers. ITE Journal, 68(6), pp.20.
- Wang, J. H., Abdel-Aty, M. A., Park, J., Lee, C., & Kuo, P. F. (2015), "Estimating safety performance trends over time for treatments at intersections in Florida". Accident Analysis & Prevention, 80, pp.37-47.
- Wolshon, B., & Pande, A. (2016), "Traffic engineering handbook. John Wiley & Sons.
- Wu, Y., Abdel-Aty, M., Ding, Y., Jia, B., Shi, Q., & Yan, X. (2017), "Comparison of proposed countermeasures for dilemma zone at signalized intersections based on cellular automata simulations". Accident Analysis & Prevention.
- Wu, Z., Sharma, A., Mannering, F. L., & Wang, S. (2013), "Safety impacts of signal-warning flashers and speed control at high-speed signalized intersections. Accident Analysis & Prevention, 54, pp.90-98.
- Zangenehpour, S., Strauss, J., Miranda-Moreno, L. F., & Saunier, N. (2016), "Are signalized intersections with cycle tracks safer? A case-control study based on automated surrogate safety analysis using
- Rakha, H., Medina, A., Sin, H., Dion, F., Van Aerde, M., & Jenq, J. (2000), "Traffic signal coordination across jurisdictional boundaries: Field evaluation of efficiency, energy, environmental, and safety impacts". Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, pp.42-51.
- Retting, R. A., Williams, A. F., Farmer, C. M., & Feldman, A. F. (1999a), "Evaluation of red light camera enforcement in Fairfax", Va., USA. Institute of Transportation Engineers. ITE Journal, 69(8), pp.30.
- Retting, R. A., Williams, A. F., Farmer, C. M., & Feldman, A. F. (1999b), "Evaluation of red light camera enforcement in Oxnard, California. Accident Analysis & Prevention, 31(3), pp.169-174.
- Retting, R., J. Chapline, and A. Williams. (2000), "Changes in Crash Risk Following Retiming of Signal Change Intervals". Insurance Institute for Highway Safety, Arlington, VA.
- Retting, R., M. Nitzburg, C. Farmer, and R. Knoblauch. (2002), "Field Evaluation of Two Methods for Restricting Right Turns on Red to Promote Pedestrian Safety". ITE Journal. Volume 72. Issue 1. pp. 32-36.
- Robinson, B. W., Rodegerdts, L., Scarborough, W., Kittelson, W., Troutbeck, R., Brilon, W., ... & Flannery, A. (2000), "Roundabouts: An informational guide (No. FHWA-RD-00-067)".
- Rodegerdts, L. A., Nevers, B., Robinson, B., Ringert, J., Koonce, P., Bansen, J., ... & Neuman, T. (2004), "Signalized intersections: informational guide (No. FHWA-HRT-04-091)".
- Shahdah, U., Saccomanno, F., & Persaud, B. (2015), "Application of traffic microsimulation for evaluating safety performance of urban signalized intersections". Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 60, pp.96-104.
- Shebeeb, O. (1995), "Safety and efficiency for exclusive left-turn lanes at signalized intersections". ITE journal, 65(7), pp.52-52.

-Zador, P., H. Stein, S. Shapiro, and P. Tarnoff. (1985), "Effect of Signal Timing on Traffic Flow and Crashes at Signalized Intersections". Transportation Research Record 1010. TRB, National Research Council, Washington, DC.

video data". Accident Analysis & Prevention, 86, pp.161-172.

-Zhang, L., Prevedouros, P.D., (2003), "Signalized intersection level of service incorporating safety risk. Transport" Res. Rec. 1852, pp.77-86.