

ارزیابی اثربخشی ایجاد روشنایی در کاهش تصادفات شبانه

راه‌های برون شهری

مقاله پژوهشی

محمد کوهی*، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

شاهین شعبانی، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.koohi@gmail.com

دریافت: ۹۹/۰۱/۲۰ - پذیرش: ۹۹/۰۶/۱۵

صفحه ۸۲-۶۹

چکیده

در این تحقیق اثربخشی ایجاد روشنایی شبانه در راه‌های برون‌شهری مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور تعدادی از راه‌های برون شهری استان ایلام انتخاب که دو محور به عنوان گروه اصلاحی و دو محور به عنوان گروه مقایسه انتخاب شده است. داده‌های تصادفات چهار سال مربوط به این محورها گردآوری و این داده‌ها بر اساس روش مطالعه قبل و بعد با گروه مقایسه برای بررسی کاهش تصادفات و روش فایده/هزینه برای بررسی اقتصادی، تحلیل شده‌اند. برای تخمین دقیق اثربخشی، تصادفات پیشبینی شده در سایت‌های اصلاحی و مقایسه بکار رفته که این پیشبینی‌ها با استفاده از مدل پیشبینی تصادفات در راه‌های دوخطه برون‌شهری به دست آمده است. نتایج به دست آمده با استفاده از ضریب بهبود تصادف (CMF) مربوط به ایجاد روشنایی و طبق روش کالیبره کردن مدل، برای شرایط محلی کالیبره شده است. با اعمال این مراحل، نتایج به دست آمده، کاهش ۲۸ درصدی فراوانی تصادفات شبانه پس از ایجاد روشنایی را نشان می‌دهد. معناداری این کاهش از لحاظ آماری نیز مورد سنجش قرار گرفته و آزمون معناداری آماری نشان از دقت نتیجه به دست آمده در سطح اطمینان ۹۰ درصدی دارد. برای ارزیابی اقتصادی این اقدام اصلاحی، روش فایده/هزینه بکار رفته است. نتایج ارزیابی اقتصادی ایجاد روشنایی در این تحقیق برای یک دوره ۱۵ ساله نشان می‌دهد که ایجاد روشنایی در بهبود ایمنی موفق بوده زیرا نسبت فایده به هزینه کل در دوسایت اصلاحی برابر ۱۷۰۰ به ۱ است. این مقدار نشان می‌دهد که منافع به دست آمده در ارزش ریالی، بسیار بیشتر از هزینه‌های سالیانه ایجاد روشنایی طی یک دوره ۱۵ ساله بوده و نزدیک به ۱۷۰۰ برابر است.

واژه‌های کلیدی: اثربخشی، کاهش تصادفات، اقدامات اصلاحی، ایجاد روشنایی

۱- مقدمه

شهری در سالهای گذشته بوده‌اند (Saffarzadeh et al., 2007). مسائل ذکرشده به خوبی اهمیت ایمن‌سازی راه‌های برون شهری را نشان می‌دهد. مسئله ایمنی راه با رویکرد کاهش تصادفات همواره یکی از مباحث اصلی مهندسی ترافیک و برنامه‌ریزی حمل و نقل بوده است. ایمنی، یکی از اهداف اصلی برنامه‌ریزی کلان حمل و نقل بوده و کاهش تصادفات ترافیکی به عنوان یکی از اولویت‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری و گزینه‌سازی در عرصه حمل و نقل مورد توجه می‌باشد (Tabandeh et al., 2016).

در دهه گذشته هر ساله بیش از ۲۰ هزار کشته در تصادفات رانندگی در کشور ایران گزارش شده است که از این میزان حدود ۷۰ درصد آن در خارج از محدوده‌های شهری رخ داده است (ILMO, 2009). صرفنظر از راه‌های دسترسی به روستاها، ۸۵ درصد از شبکه راه‌های بین شهری ایران را راه‌های اصلی و فرعی تشکیل می‌دهند که اکثریت قریب به اتفاق آن، راه‌های دوخطه دوطرفه‌اند (RMTO, 2012). آمارها نشان می‌دهند که این بخش از شبکه راه‌های برون شهری، محل وقوع بین ۵۰ تا ۶۰ درصد از تصادفات برون

1994). هیسون و لوتکوویچ (Hasson & Lutkevich, 2002) و اپیلا و همکارانش (Opieła, 2003) نشان دادند که نرخ تصادفات فوتی شبانه ۳ برابر نرخ تصادفات روزانه است، در حالی که نرخ تصادفات شبانه تقریباً ۱/۶ برابر نرخ تصادفات روزانه است. نتایج یکی از مطالعاتی که ایجاد روشنایی در راه‌هایی که قبلاً تاریک بود را ارزیابی کرد (Wanvik, 2007) نشان داد، روشنایی راه در شب تصادفات فوتی را ۶۰ درصد و تصادفات جرحی و خسارتی را ۱۵ درصد کاهش می‌دهد. این اثرات آمار قابل توجهی است. نتایج مطالعات، تاثیر بیشتر روشنایی راه برای شدت‌های بیشتر تصادفات و همچنین تاثیر بیشتر برای تصادفات عابرین پیاده را نشان می‌داد. به گفته لویک، تاثیر روشنایی بر تصادفات جرحی در مناطق شهری بیشتر از مناطق برونشهری و تاثیر آن بر تصادفات فوتی در مناطق برونشهری بیشتر از مناطق شهری است (Elvic et al., 2009). در یک تحقیق و مطالعه، تاثیر ایمنی روشنایی راه بر روی تصادفات در زمان تاریکی در راه‌های کشور هلند برآورد شد (Wanvik, 2009). این عمل با استفاده از داده‌های حاصل از یک پایگاه داده‌های تعاملی انجام گرفت که حاوی ۷۶۳۰۰۰ تصادف منجر به جرح و ۳/۳ میلیون تصادف منجر به خسارت بود که دوره سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۰۶ را تحت پوشش قرار می‌داد، نتایج نشان از کاهش ۵۴ درصدی تصادفات منجر به جرح پس از ایجاد روشنایی در راه‌های برون شهری داد. یک تحقیق و مطالعه قبل و بعد که متشکل از ۱۲۵ بخش راه اصلی نروژ بود، کاهش ۳۴ درصدی در تعداد تصادفات منجر به جرح و کاهش ۵۳ درصدی در تعداد تصادفات فوتی پس از ایجاد روشنایی در این راه‌ها را شناسایی کرد (Elvik, 2009). تاثیر ایجاد روشنایی در کاهش تصادفات به طور گسترده‌ای توسط ترنر و همکارانش (Turner et al, 2012) با مطالعه تمام مطالعات انجام شده از سال‌های دور تا آن زمان، بررسی شد. آنها اطمینان متوسطی به کاهش کلی ۳۵ درصد در تصادفات شب هنگام برای نصب وسایل روشنایی جدید در جایی که هیچ روشنایی وجود نداشت را بر مبنای هشت تحقیق، گزارش دادند. نتایج این مطالعه حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش همه تصادفات را نشان داد. ایجاد روشنایی شبانه در نقاط پرتصادف، راهکاری است که انتظار می‌رود با انجام آن

سال‌های گذشته برای ایمن سازی راه‌های برون شهری، نقاط پرتصادف این راه‌ها شناسایی و مورد اصلاح قرار گرفته‌اند. شناسایی نقاط پرتصادف به دو شیوه مبتنی بر استفاده از اطلاعات تصادفات پیشین که تاریخچه تصادفات گذشته را به عنوان یک داده ورودی در نظر می‌گیرد و شیوه پیشگیری که بر بررسی مشخصات فیزیکی و بهره برداری راه برای معرفی نواقص ایمنی راه‌های موجود تکیه می‌کند، صورت می‌گیرد (Alipoor & Hejazi, 2016). تجزیه و تحلیل توزیع فراوانی تصادفات ترافیکی نیاز به بررسی پارامترهایی دارد که منعکس کننده خواص مکانی و همبستگی بین آنهاست (Yong et al, 2015)، از سوی دیگر اصلی‌ترین راهکار کاهش تصادفات در نقاط پرتصادف، اقدامات اصلاحی در این نقاط می‌باشد. یکی از اقدامات اصلاحی در نقاط پرتصادف که اخیراً به آن توجه زیادی شده است ایجاد روشنایی در نقاطی است که تصادفات شبانه زیادی در آن روی می‌دهد. رانندگی در شب می‌تواند مشکل ساز باشد. بیشتر اطلاعاتی که رانندگان از آن در ترافیک استفاده می‌کنند، بصری است. از این رو، شرایط بصری می‌تواند برای ایمنی سفر، بسیار کارآمد باشد. در شب، توانایی دیدن جزئیات و حرکت تا حدی کمتر از روشنایی روز است و این یکی از دلایل ریسک بیشتر یک تصادف در شب نسبت به ریسک آن در روز برای همه استفاده‌کنندگان از راه است (Elvic et al., 2009). برای وسیله نقلیه موتوری ریسک داشتن یک تصادف در تاریکی ۱/۵ - ۲ برابر روز است (Makela & Karki, 2004). گزارشات وزارت راه و ترابری ایالات متحده آمریکا و اداره ملی ایمنی حمل و نقل بزرگراه این کشور در سال ۲۰۰۳ نشان داد در حالی ۴۵ درصد از تصادفات فوتی در شرایط تاریک رخ می‌دهند که سهم تصادفات در شرایط تاریک تنها ۲۷ درصد از کل تصادفات است (NHTSA, 2003). ۳۵ درصد از کل گزارشات تصادفات جرحی پلیس نروژ حاکی از اتفاق افتادن تصادفات در روشنایی کم و یا تاریکی است. در تاریکی خطر تصادف رانندگان جوان نسبت به رانندگان مسن افزایش می‌یابد (Massie & Campbell & Williams, 1995)، همچنین سبب افزایش خطر بیشتر برای عابرین پیاده نسبت به راکبین موتورسوار و افزایش خطر بیشتر برای خارج شدن وسایل نقلیه از راه می‌شود (Elvik & Muskaug,

مفهوم فرضیات فوق این است که تغییر در فراوانی تصادفات قبل و بعد از اجرای اقدامات اصلاحی در سایت‌های اصلاح شده، اگر اقدامات اصلاحی وضعیت را بهبود نبخشد، باید به تناسب آنچه در گروه مقایسه اتفاق افتاده است باشد. بر این اساس، تعداد مورد انتظار تصادفات برای سایت‌های اصلاحی که در دوره بعد اگر هیچ اقدام اصلاحی به کار گرفته نشود، بصورت زیر است (Hauer, 1997):

$$N_{expected,T,A} = N_{observed,T,A} \times \frac{N_{observed,C,A}}{N_{observed,C,B}} \quad (1)$$

اگر تشابه بین سایت‌های اصلاحی و مقایسه در روندهای سالیانه ایده آل است، واریانس $N_{expected,T,A}$ از معادله زیر تخمین زده می‌شود:

$$Var(N_{expected,T,A}) = N_{expected,T,B}^2 \left(\frac{1}{N_{observed,T,B}} + \frac{1}{N_{observed,C,A}} + \frac{1}{N_{observed,C,A}} \right) \quad (2)$$

باید دقت شود که یک تخمین دقیق‌تر را می‌توان در مورد استفاده از گروه مقایسه غیرایده‌آل همانگونه که در هاتر (۱۹۹۷) شرح داده شده به دست آورد، یعنی:

$$Var(N_{expected,T,A}) = N_{expected,T,B}^2 \left(\frac{1}{N_{observed,T,B}} + \frac{1}{N_{observed,C,B}} + \frac{1}{N_{observed,C,A}} + Var(\omega) \right) \quad (3)$$

$$\omega = \frac{r_c}{r_t} \quad (4)$$

$$r_c \cong \frac{N_{expected,C,A}}{N_{expected,C,B}} \quad (5)$$

$$r_t \cong \frac{N_{expected,t,A}}{N_{expected,t,B}}$$

در نتیجه CMF و واریانس آن را می‌توان از معادله های (۶) و (۷) تخمین زد.

شاهد دید بیشتر راننده‌ها و در نتیجه کمتر شدن ریسک تصادفات باشیم. روشنایی راه کمکی است به راننده برای به دست آوردن اطلاعات بصری کافی برای تکمیل وظیفه رانندگی و مکملی برای چراغ‌های جلو خودرو در هنگام مواجهه با خطر است (Hasson & Lutkevich, 2002). با توجه به مطالب ذکر شده، در این تحقیق به منظور ارزیابی اثربخشی ایجاد روشنایی در کاهش تصادفات شبانه راه‌های برونشهری، دو محور از راه‌های برون شهری استان ایلام انتخاب و مورد پژوهش قرار گرفته است.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق به منظور ارزیابی اثربخشی ایجاد روشنایی در راه‌های برون شهری در کاهش تصادفات از روش مطالعه قبل و بعد با گروه مقایسه استفاده می‌شود. گروه مقایسه سایت‌های کنترلی انتخاب شده‌ای هستند که در حجم ترافیک و ویژگی‌های هندسی و جغرافیایی با سایت‌های اصلاح شده شباهت فراوانی دارند. مطالعات قبل و بعد به طور گسترده‌ای برای اثربخشی اقدامات اصلاحی در نقاط پرتصادف استفاده می‌شود. رویکرد این روش اینگونه است که در سایت‌های مورد نظر، یک یا بیش از یک اقدام اصلاحی آنالیز می‌شود و این در حالی است که دیگر ویژگی‌های سایت مورد مطالعه به همان شکل قبلی می‌باشند.

در روش‌های مطالعه قبل و بعد، اثر اقدامات اصلاحی بوسیله مدل‌های پیش بینی و یا مشاهده تعداد تصادفات بعد از اجرای اقدام اصلاحی و مقایسه با تعداد تصادفات در صورت نبود اقدام اصلاحی مشخص می‌شود (Persaud, 2001). در این روش، داده‌های تصادفات سایت‌های مقایسه، بعنوان تخمینی از تصادفات گروه اصلاحی در دوره بعد از اقدامات اصلاحی اگر هیچ اقدامی صورت نمی‌گرفت، استفاده می‌شوند. روش مطالعه قبل و بعد با استفاده از گروه مقایسه بر دو فرض اساسی استوار است (Hauer, 1997):

۱- ضرایب اثرگذار بر ایمنی، به روش مشابهی از دوره قبل از اصلاح به دوره بعد از اصلاح، در هر دو گروه اصلاحی و مقایسه تغییر کرده‌اند.

۲- تغییرات ضرایب مختلف بر ایمنی گروه‌های اصلاحی و مقایسه، به روش مشابهی تاثیر می‌گذارند.

موفقیت اقدامات اصلاحی است. برای انجام تجزیه و تحلیل فایده / هزینه، ارزش فعلی منافع به ارزش فعلی هزینه ها تقسیم می‌شود، اگر نسبت فایده / هزینه بیش از ۱ باشد، فایده اقدام اصلاحی بیش از هزینه اجرای آن بوده و موفقیت در بهبود ایمنی را نشان می‌دهد.

۴-۱- مطالعه موردی

در این تحقیق اثربخشی نصب پایه‌های روشنایی در محورهای برون شهری مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای رسیدن به این هدف، محورهای برون شهری استان ایلام انتخاب شده که دو محور به عنوان نمونه اصلاحی و دو محور به عنوان نمونه مقایسه در نظر گرفته شده است. محورهای برون شهری دره شهر - آبدانان و آبدانان - مورموری واقع در استان ایلام به دلیل نصب پایه‌های روشنایی جهت روشنایی راه در شب به عنوان اقدام اصلاحی جهت کاهش تصادفات در نقاط پرتصادف این محورها در اواخر سال ۱۳۹۲ به عنوان نمونه هدف انتخاب شده‌اند. همچنین محورهای ایلام - سرابله و مورموری - دشت عباس به دلیل داشتن شرایط مشابه با نمونه‌های اصلاحی در طرح هندسی، حجم ترافیک به عنوان نمونه مقایسه انتخاب شده‌اند. لازم به توضیح است که در این محورها در قطعات مشابه با قطعات اصلاح شده در نمونه‌های اصلاحی، هیچ اقدامی جهت روشنایی راه و دید در شب، صورت نگرفته است.

جدول ۱. مشخصات نمونه های اصلاحی و مقایسه

نام محور	نوع راه	طول (KM)
دره شهر- آبدانان (اصلاحی ۱)	اصلی دوخطه برونشهری	۳۹/۹
آبدانان - مورموری (اصلاحی ۲)	اصلی دوخطه برونشهری	۵۲/۷
ایلام - سرابله (مقایسه ۱)	اصلی دوخطه برونشهری	۳۵/۹
مورموری-دشت عباس(مقایسه ۲)	اصلی دوخطه برونشهری	۵۲

$$CMF = \frac{N_{observed,T,A}/N_{expected,T,A}}{1 + (Var(N_{expected,T,A})/N_{expected,T,A}^2)} \quad (6)$$

$$Var(CMF) = \frac{CMF^2 \left[\left(\frac{1}{N_{observed,T,A}} \right) + var \left(\frac{N_{expected,T,A}}{N_{expected,T,A}^2} \right) \right]}{[1 + (Var(N_{expected,T,A})/N_{expected,T,A}^2)]^2} \quad (7)$$

که:

$N_{observed,T,B}$: تعداد مشاهده شده تصادفات در دوره قبل برای گروه اصلاحی

$N_{observed,T,A}$: تعداد مشاهده شده تصادفات در دوره بعد برای گروه اصلاحی

$N_{observed,C,B}$: تعداد مشاهده شده تصادفات در دوره بعد برای گروه مقایسه

$N_{observed,C,A}$: تعداد مشاهده شده تصادفات در دوره بعد برای گروه مقایسه

ω : نسبت تعداد موردانتظار تصادفات در دوره قبل و بعد برای گروه اصلاحی و مقایسه

T_C : نسبت تصادفات مورد انتظار برای گروه مقایسه

T_A : نسبت تصادفات مورد انتظار برای گروه اصلاحی

پس از به دست آوردن نتایج اثربخشی ایجاد روشنایی در کاهش تصادفات اقدام به ارزیابی اقتصادی اقدام مورد نظر در سایت‌های اصلاحی می‌شود. متداولترین روش در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها روش نسبت فایده به هزینه است. در واقع انجام یک تجزیه و تحلیل فایده / هزینه شاخص دیگری از

$$N = N_{spf} \times C_r \times AMF \quad (8)$$

که:

$$N_{spf} = (AADT)(L)(365)(10^{-6})exp(-0.312) \quad (9)$$

N: تصادفات پیشبینی شده کالیبره برای قطعه مورد نظر،
 N_{spf}: تعداد تصادفات پیشبینی شده برای شرایط پایه طبق داده‌های قطعه مورد نظر، C_r: عامل کالیبراسیون مدل و CMF ضریب بهبود تصادف^۱ برای اقدام اصلاحی مورد نظر است. همانطور که مشاهده می‌شود، گام ابتدایی در ارزیابی اثربخشی ایجاد روشنایی، پیشبینی تصادفات است که باید بر طبق AADT و طول قطعه و پس از آن کالیبره کردن نتایج، به دست آید. داده‌های حجم ترافیک برای سایت‌های اصلاحی و مقایسه طی سالهای مورد مطالعه جمع‌آوری شده و در جدول (۲) ارائه شده است.

در ادامه با توجه به داده‌های تصادف، حجم ترافیک و طول قطعات سایت‌های اصلاحی و مقایسه، به تحلیل اثربخشی اقدام اصلاحی انجام شده (ایجاد روشنایی شبانه) می‌پردازیم.

۴- تحلیل داده‌ها و نتایج

روش مورد استفاده در این تحقیق، روش قبل و بعد با گروه مقایسه است. این روش به طور کامل در راهنمای ایمنی راه (AASHTO, 2010) شرح داده شده است. گام کلیدی در این روش، پیشبینی تصادفات در دوره قبل و بعد در هر دو گروه اصلاحی و مقایسه با استفاده از مدل‌های پیشبینی تصادف معتبر و کالیبره کردن آنها برای شرایط محلی است. معتبرین مدل پیشبینی برای تصادفات قطعات راه برونشهری در رابطه (۸) ارائه شده است (AASHTO, 2010):

جدول ۲. داده‌های حجم ترافیک برای سایت‌های اصلاحی و مقایسه (AADT)

۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	۱۳۹۱	
۲۳۲۷	۲۱۵۰	۱۷۳۳	۱۷۲۱	دره شهر-آبدانان (اصلاحی ۱)
۱۵۷۳	۱۴۸۵	۱۳۱۰	۱۱۶۴	آبدانان-مورموری (اصلاحی ۲)
۱۹۳۰	۱۸۷۰	۱۷۹۳	۱۷۷۲	ایلام-سرابله (مقایسه ۱)
۱۴۶۷	۱۴۰۷	۱۳۲۴	۱۲۵۳	مورموری-دشت عباس (مقایسه ۲)

کالیبره کردن و اعمال CMF برابر ۰/۷۲ برای تصادفات ایجاد روشنایی در راه‌های برونشهری مطابق AASHTO(2010)، در جدول (۳) ارائه شده است.

داده‌های طول سایت‌های مورد مطالعه مطابق جدول (۱) برای اعمال در مدل به کار می‌رود. تصادفات پیشبینی شده طبق مدل ارائه شده در رابطه (۸) محاسبه شده است و پس از

جدول ۳. تعداد تصادفات پیشبینی شده سایت‌های اصلاحی و مقایسه

۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	۱۳۹۱	
۹	۱۰	۱۸	۱۸	دره شهر-آبدانان (اصلاحی ۱)
۷	۸	۱۸	۱۶	آبدانان-مورموری (اصلاحی ۲)
۱۵	۱۸	۱۷	۱۷	ایلام- سرابله (مقایسه ۱)
۱۴	۱۷	۱۸	۱۷	مورموری-دشت عباس (مقایسه ۲)

با استفاده از فراوانی‌های پیشبینی شده تصادفات، ادامه مراحل ارزیابی صورت می‌گیرد. مجموع فراوانی‌های پیشبینی شده تصادفات برای هر سایت در دوره‌های قبل و بعد محاسبه می‌شود. این مجموع فراوانی‌ها برای به دست آوردن یک عامل تنظیم به کار می‌رود. عامل تنظیم، برای تنظیم تصادفات قبل و بعد در سایت‌های اصلاحی و مقایسه بکار می‌رود (AASHTO, 2010). مجموع این فراوانی‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴. مجموع فراوانی‌های تصادف پیشبینی شده در سایت‌ها

قبل از ایجاد روشنایی	بعد از ایجاد روشنایی	
۳۶	۱۹	دره شهر-آبدانان (اصلاحی ۱)
۳۴	۱۵	آبدانان-مورموری (اصلاحی ۲)
۳۴	۳۳	ایلام - سرابله (مقایسه ۱)
۳۵	۳۱	مورموری - دشت عباس (مقایسه ۲)

فراوانی تصادفات سایت اصلاحی که از تصادفات دوره‌های قبل و بعد سایت مقایسه تخمین زده می‌شود. سپس این تخمین‌ها با هم جمع می‌شوند و از نسبت آنها یک عامل تنظیم برای به دست آوردن فراوانی تصادفات مورد انتظار در دوره بعد در سایت‌های اصلاحی اگر هیچ روشنایی ایجاد نمی‌شد، استفاده می‌شود (AASHTO, 2010). نتایج روند ذکر شده فوق در جدول (۵) ارائه شده است.

همانگونه که در جدول (۱) و (۲) مشهود است بین سایت‌های اصلاحی و سایت‌های مقایسه مربوطه تفاوت‌هایی در حجم ترافیک وجود دارد. برای اینکه این تفاوت‌ها در روند تحلیل، اثر منفی نداشته باشند باید یک عامل تنظیم بین سایت اصلاحی و سایت مقایسه برای برطرف کردن این مسئله ایجاد شود. عامل تنظیم از نسبت تصادفات سایت اصلاحی به مقایسه به دست می‌آید (AASHTO, 2010). این عامل ضریبی است برای

جدول ۵. عوامل تنظیم و تصادفات تنظیم شده

هدف ۱	دوره قبل	۱	عامل تنظیم تفاوت‌ها
	دوره بعد	۰/۶	
هدف ۲	دوره قبل	۰/۹۷	
	دوره بعد	۰/۵	
ترکیب ۱	۴۶		تصادفات تنظیم شده دوره قبل هر ترکیب*
ترکیب ۲	۴۵		
ترکیب ۱	۲۸		تصادفات تنظیم شده دوره بعد هر ترکیب
ترکیب ۲	۲۲		
مجموع تصادفات تنظیم شده دوره قبل گروه‌های مقایسه			۹۱
مجموع تصادفات تنظیم شده دوره بعد گروه‌های مقایسه			۵۰
عامل تنظیم مقایسه			۰/۵۵

* ترکیب: هر ترکیب سایت اصلاحی و سایت مقایسه مربوطه

$$R_i = \ln(OR_i) \quad (12)$$

$$w_i = 1/R_{i(se)}^2 \quad (13)$$

$$R_{i(se)}^2 = \frac{1}{K_i} + \frac{1}{L_i} + \frac{1}{M_i} + \frac{1}{N_i} \quad (14)$$

که K_i : مجموع فراوانی‌های تصادف مشاهده شده در سایت اصلاحی i در دوره قبل، L_i : مجموع فراوانی‌های تصادف مشاهده شده در سایت اصلاحی i در دوره بعد، M_i تصادف تنظیم شده همه گروه‌های مقایسه در دوره قبل برای هر سایت اصلاحی i و N_i تصادف تنظیم شده همه گروه‌های مقایسه در دوره بعد برای هر سایت اصلاحی i است.

$$R = \frac{\sum_n w_i R_i}{\sum_n w_i} \quad (15)$$

$$OR = e^R \quad (16)$$

نتایج به دست آمده در این تحقیق با کاربرد معادله های فوق بصورت زیر است:

۰/۷۲	OR
۰/۳۲	R
۱۰	w₂
/۱۲	w₁
۱۱	
۰/۴	R₂
۰/۲۳	R₁

محاسبه اثربخشی ایمنی کل، به عنوان تغییر در فراوانی تصادف، CMF ، بطور متوسط در همه سایت‌ها از رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود (AASHTO, 2010):

$$CMF = 100 \times (1 - OR) \quad (17)$$

یک نتیجه مثبت کاهش در تصادفات و یک نتیجه منفی افزایش در تصادفات را نشان می‌دهد. در این تحقیق مقدار

تمام مراحل که تا این لحظه دنبال شده است، برای به دست آوردن فراوانی تصادفات مورد انتظار (π_i) در دوره بعد در صورت عدم ایجاد روشنایی در شب برای قطعات اصلاحی است. این فراوانی مطابق معادله (۱۰) از ضرب کردن عامل مقایسه در تصادفات مشاهده شده دوره قبل سایت اصلاحی به دست می‌آید (AASHTO, 2010):

$$\pi_i = K_i \times r_{iC} \quad (10)$$

که π_i فراوانی تصادف مورد انتظار سایت اصلاحی i در صورت عدم روشنایی در دوره بعد، K_i مجموع تصادفات مشاهده شده سایت اصلاحی i در دوره قبل و r_{iC} نسبت مقایسه است. نتایج به دست آمده برای مقدار π_i در این تحقیق برای هر دو سایت اصلاحی برابر ۲۸ محاسبه شده است. در این مرحله اثربخشی ایمنی هر سایت اصلاحی از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود (AASHTO, 2010):

$$OR_i = L_i / \pi_i \quad (11)$$

که OR_i اثربخشی ایمنی ایجاد روشنایی هر سایت اصلاحی و L_i مجموع تصادفات مشاهده شده سایت اصلاحی i در دوره بعد است. مراحل بعدی چگونگی تخمین اثربخشی ایمنی متوسط وزن شده و دقت آن بر اساس داده های سایت را نشان می‌دهد. مقدار OR_i در این تحقیق برای سایت های اصلاحی بترتیب برابر ۰/۸ و ۰/۶۷ به دست آمد. ابتدا لگاریتم طبیعی نسبت شانس به دست آمده از رابطه (۱۱) را با استفاده از رابطه (۱۲) به دست می‌آوریم (AASHTO, 2010)، سپس برای هر سایت اصلاحی یک وزن محاسبه می‌شود، این وزن برای به دست آوردن یک نسبت شانس در محاسبه تغییر در تصادفات برای سایت‌های اصلاحی به کار می‌رود (AASHTO, 2010). وزن هر سایت اصلاحی از رابطه (۱۳) به دست می‌آید (AASHTO, 2010). پس از به دست آوردن وزن‌ها، لگاریتم نسبت شانس متوسط وزن شده (R) در همه سایت‌های اصلاحی با استفاده از رابطه (۱۵) به دست می‌آید. اثربخشی کل از بهبود ایمنی به عنوان یک نسبت شانس به طور متوسط در همه سایت‌ها از رابطه (۱۶) به دست می‌آید (AASHTO, 2010).

اطمینان ۹۰ درصد معنادار است. این بدان معنا است که با ۹۰ درصد اطمینان می‌توان اظهار داشت که ایجاد روشنایی در شب در راه‌های دوخطه برونشهری سبب کاهش ۲۸ درصدی تصادفات شبانه خواهد شد.

۴-۱- ارزیابی اقتصادی

تجزیه و تحلیل اقتصادی برای تعیین اثربخشی اقتصادی ایجاد روشنایی با استفاده از روش فایده به هزینه سالانه یکنواخت انجام می‌شود. هزینه‌ها و منافع اقتصادی برای تعیین نسبت فایده/هزینه ایجاد روشنایی، سالانه و محاسبه می‌شود. در این تحقیق فرضیات زیر در نظر گرفته شد:

- عمر اقتصادی ۱۵ سال
- نرخ تنزیل ۳ درصد با توجه به مطالعات بین‌المللی مشابه (Holland 2012; IDOT 2015)
- با توجه به هزینه‌های نگهداری سالانه ناچیز، این گزینه صفر در نظر گرفته شد.
- جدول (۶) هزینه‌های اولیه ایجاد روشنایی را در سایت‌های اصلاحی مورد نظر نشان می‌دهد که از ادارات برق شهرستان‌های مربوطه اخذ شده است (متولی نصب و راه‌اندازی پایه‌های روشنایی در راه‌های مورد نظر).

CMF برابر ۲۸ به دست آمد، یعنی ۲۸ درصد کاهش در تصادفات بوسیله ایجاد روشنایی در شب در راه‌های دوخطه برونشهری به دست آمده است. برای قابل استناد بودن این نتیجه، باید معنادار بودن آن از لحاظ آماری تایید شود. ارزیابی معناداری آماری CMF از نسبت CMF به خطای استاندارد آن به دست می‌آید (AASHTO, 2010). خطای استاندارد CMF از رابطه (۱۸) محاسبه می‌شود (AASHTO, 2010):

$$SE(CMF) = 100 \frac{OR}{\sqrt{\sum_n w_i}} \quad (18)$$

اگر حاصل نسبت CMF به خطای استاندارد آن کمتر از ۱ باشد، بدین معنی است که مقدار CMF در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار نیست. اگر حاصل این نسبت، برابر یا بیشتر از ۱/۷ باشد، مقدار CMF در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار است. اگر این مقدار بیش از ۲ باشد یعنی نتیجه CMF در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار است. خطای استاندارد CMF در این تخمین برابر ۱۵/۷ و حاصل نسبت CMF به خطای استاندارد آن برابر ۱/۷۸۴ است. از آنجا که نتیجه به دست آمده بیش از ۱/۷ است، پس نتیجه به دست آمده یعنی کاهش ۲۸ درصدی تصادفات شبانه پس از ایجاد روشنایی، در سطح

جدول ۶. هزینه‌های اولیه ایجاد روشنایی به تفکیک سایت‌های اصلاحی

هزینه (ریال)		اقلام مورد استفاده
سایت اصلاحی ۲	سایت اصلاحی ۱	
۲۹۰/۰۰۰/۰۰۰	۵۸۰/۰۰۰/۰۰۰	ترانس
۵۷/۰۰۰/۰۰۰	۵۷/۰۰۰/۰۰۰	ترانس فشار متوسط
۲۸/۰۰۰/۰۰۰	۲۸/۰۰۰/۰۰۰	متعلقات ترانس
۳۶۵/۰۰۰/۰۰۰	۵۷۵/۰۰۰/۰۰۰	پایه (چراغ، لامپ، پایه چراغ) و کابل
۷۴۰/۰۰۰/۰۰۰	۱/۲۴۰/۰۰۰/۰۰۰	جمع

این تجزیه و تحلیل اقتصادی، هزینه‌های اولیه است. با توجه به اینکه بعضی اوقات اطلاعات از سال‌های مختلفی جمع‌آوری می‌شوند، ارزش ریالی چنین سال‌هایی نمی‌تواند بصورت مستقیم مقایسه شود. معمولاً تمام مقادیر ریالی تبدیل به مقادیر فعلی یا به آن سال‌هایی می‌شود که در طول آنها تجزیه و تحلیل اقتصادی اتخاذ می‌شود. ابزار اقتصادی

برای اینکه ارزیابی اقتصادی هزینه‌ها و فایده‌ها به درستی انجام شود، همه هزینه‌ها به ارزش‌های پولی سال ۱۳۹۵ (سالی که داده‌های قبل از آن تجزیه و تحلیل شد) تبدیل شد. از آنجایی که هزینه‌های نگهداری سالانه اقدام اصلاحی مورد نظر ناچیز است و تنها در موارد احتمالی لازم می‌شود، این مورد از محاسبات حذف و تنها متغیر هزینه مورد استفاده در

تحقیق، i برابر ۳ درصد یا 0.03 ، n برابر ۳ (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵)، PV هزینه‌های اولیه ایجاد روشنایی و FV هزینه‌های اولیه تبدیل شده به ارزش‌های ریالی سال ۱۳۹۵ است. نتایج به دست آمده حاصل از محاسبات در جدول (۷) ارائه شده است.

مانند تنزیل^۱ و مرکب شدن^۲ برای پرداخت‌های واحدهای زمانی پولی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مرکب شدن، واحدهای زمانی پولی را به زمان حال تبدیل می‌کند. معادله برای مرکب شدن بصورت رابطه (۱۹) است (Oskoonejad, 2017)، که FV ارزش آینده، PV ارزش فعلی، i نرخ تنزیل، و n تعداد سال‌ها است. با استفاده از این فرمول می‌توانیم ارزش ریالی مقادیری که در گذشته محاسبه شده، به زمان حال تبدیل کنیم. در خصوص اقدام مورد نظر در این

جدول ۷. هزینه ایجاد روشنایی در سایت اصلاحی

سایت	هزینه اولیه ایجاد روشنایی	سال اجرا	هزینه اولیه در ریال ۱۳۹۵
سایت اصلاحی ۱	۱/۲۴۰/۰۰۰/۰۰۰	اواخر ۱۳۹۲	۱/۳۵۴/۹۸۱/۴۸۰
سایت اصلاحی ۲	۷۴۰/۰۰۰/۰۰۰	اواخر ۱۳۹۲	۸۰۸/۶۱۷/۹۸۰
جمع کل			۲/۱۶۳/۵۹۹/۴۶۰

تصادفات یک شدت مفروض (فوتی، جرحی، خسارتی) در هزینه‌های تصادف محاسبه می‌شود. بهنود و همکاران (Behnood et al., 2016) طی پژوهشی که در زمینه بررسی اقتصادی پروژه‌های ایمن سازی داشتند بیان کردند که با احتساب تورم سالانه مقدار هزینه هر تصادف فوتی، جرحی و خسارتی در سال ۱۳۹۲ به ترتیب برابر با ۸۲۸۷۳، ۲۱۹۴، و ۸۸ میلیون ریال است. در نتیجه با استناد به این مقادیر هزینه یک تصادف فوتی، جرحی و خسارتی برای سال ۱۳۹۵ مطابق جدول (۸) خواهد بود. مقایسه تصادفات جلوگیری شده بین متوسط سالانه دو سال قبل از ایجاد روشنایی و دو سال بعد از ایجاد روشنایی، منجر به متوسط تصادفات سالانه جلوگیری شده بر اساس شدت (فوتی، جرحی، خسارتی) مربوط به ایجاد روشنایی می‌شود. جدول (۹) متوسط فراوانی تصادف بر اساس شدت در دوره‌های قبل و بعد از ایجاد روشنایی در دو سایت اصلاحی را نشان می‌دهد.

ارزش فعلی هزینه‌ها در ارزش ریالی سال ۱۳۹۵ برای ایجاد روشنایی با تبدیل هزینه‌های اولیه از سال نصب به سال ۱۳۹۵ با استفاده از نرخ تنزیل ۳ درصد محاسبه شد. ارزش فعلی هزینه‌ها برای سایت‌های اصلاحی در ارزش ریالی سال ۱۳۹۵ برابر ۲/۱۶۳/۵۹۹/۴۶۰ ریال بود. برای سالیانه کردن این ارزش فعلی، تبدیل آن به ارزش فعلی سالانه هزینه‌ها، آن را در ضریب بازگشت سرمایه ضرب می‌کنیم. ضریب بازگشت سرمایه از رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود (Oskoonejad, 2017):

$$\text{ضریب بازگشت سرمایه} = \frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \quad (20)$$

با لحاظ کردن i برابر ۳ درصد و n برابر ۱۵ سال، ضریب بازگشت سرمایه برابر ۰/۰۸۳۹ است. در نتیجه ارزش فعلی سالانه هزینه‌ها برابر ۱۸۱/۵۲۵/۹۹۵ ریال است. منافع ایجاد روشنایی با دیدن بهبود ایمنی آن و ضرب کاهش در

جدول ۸. هزینه‌های یک تصادف به تفکیک شدت برای سال ۱۳۹۵ (بهتود و همکاران، ۱۳۹۵)

نوع تصادف	هزینه تصادف
فوتی	۹۳۲۷۴ میلیون ریال
جرحی	۲۴۶۹ میلیون ریال
خسارتی	۹۹ میلیون ریال

جدول ۹. متوسط فراوانی تصادف بر اساس شدت برای دو سایت اصلاحی

شدت تصادف	متوسط سالانه تصادفات	
	دوره قبل از ایجاد روشنایی	دوره بعد از ایجاد روشنایی
فوتی	۴	۱
جرحی	۱۷/۵	۶/۵
خسارتی	۲۹	۱۴

در نتیجه مقدار ارزش فعلی سالانه منافع برابر ۳۰۸/۴۶۶ میلیون ریال می‌باشد. جدول (۱۰) منافع سالانه یکنواخت معادل و هزینه‌های سالانه یکنواخت معادل ایجاد روشنایی، همچنین نتیجه نسبت فایده به هزینه را نشان می‌دهد.

منافع پولی سالیانه نتیجه شده از تصادفات جلوگیری شده با یافتن تفاوت در متوسط تصادفات سالانه از دوره‌های قبل و بعد از ایجاد روشنایی برای هر شدت و سپس ضرب کردن در هزینه تصادف دوره تحلیل محاسبه می‌شود. مقدار محاسبه شده برابر ارزش فعلی سالانه منافع خواهد بود.

$$\text{منافع سالانه یکنواخت معادل} = (4 - 1 \times 93,274) + (17.5 - 6.5 \times 2,469) + (29 - 14 \times 99) = 308,466 \text{ میلیون ریال}$$

جدول ۱۰. نتایج منافع و هزینه‌های سالانه ایجاد روشنایی

۳۰۸/۴۶۶/۰۰۰/۰۰۰	منافع سالانه یکنواخت معادل
۱۸۱/۵۲۵/۹۹۵	هزینه‌های سالانه یکنواخت معادل
۱۷۰۰	نسبت فایده / هزینه

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق اثربخشی ایجاد روشنایی در راه‌های برون شهری استان ایلام هم از نظر کاهش تصادف و هم از نظر اقتصادی ارزیابی شد. فراوانی تصادفات در چهار محور برون شهری استان ایلام مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. دو محور (۱) دره شهر - آبدانان و (۲) آبدانان - مورموری، به عنوان گروه اصلاحی و دو محور (۱) ایلام - سرابله و (۲) مورموری - دشت عباس، به عنوان گروه مقایسه انتخاب شدند. دو سال (۹۱ و ۹۲) به عنوان دوره قبل و دو سال (۹۳ و ۹۴) به عنوان دوره بعد از ایجاد روشنایی در نظر

همانگونه که در جدول (۱۰) نشان داده شده است، نسبت فایده به هزینه کل ایجاد روشنایی در دوسایت اصلاحی برابر ۱۷۰۰ به ۱ است. این مقدار نشان می‌دهد که منافع به دست آمده در ارزش ریالی بسیار بیشتر از هزینه‌های سالیانه ایجاد روشنایی طی یک دوره ۱۵ سالانه و نزدیک به ۱۷۰۰ برابر است.

۴- پی‌نوشت‌ها

1. Crash Modification Factor
2. Discounting
3. Compounding

راه‌های اصلی استان خراسان رضوی"، فصلنامه مطالعات پژوهشی راهور، سال پنجم، شماره ۱۶.

-Alipour, M., Hejazi, S. J., (2016), "Prioritization of reform of road accident prone sections based on road safety audit (Case study route between the city of Khorramabad and Aleshtar in Lorestan province)", The 15th International Conference on Traffic and Transportation Engineering, Tehran.

-Elvik, R. & R. Muskaug. (1994). Konsekvensanalyser og trafikksikkerhet. TØI-rapport 281. Transportøkonomisk institutt, Oslo.

-Elvik, R. Høy, A., Vaa, T., Sørensen, M., (2009), "the handbook of road safety measures second edition".

-Hasson, P. and P. Lutkevich., (2002), "Roadway Lighting Revisited." Public Roads. May/June.

-Hauer, E., (1997), "Observational Before-After Studies in Road Safety", Pergamon Publication, England.

-Highway Safety Manual (HSM), (2010), "American Association of State Highway Transportation Officials., Washington, DC: AASHTO.

-Holland, W.G. (2012), "Illinois Department of Transportation's Life-Cycle Cost Analysis for Road Construction Contracts", State of Illinois, Office of the Auditor General, Springfield, IL.

-Illinois Department of Transportation (IDOT), (2015), "Highway Safety Improvement Program: User's Manual Benefit-Cost Tool", Illinois Department of Transportation, Springfield, IL.

-Iran Legal Medicine Organisation, (2009), "Fatal data report of crashes referred to forensic medicine centers", Tehran, ILMO.

گرفته شد. روش مطالعه قبل و بعد با استفاده از گروه مقایسه روشی بود که برای ارزیابی اثربخشی ایجاد روشنایی در کاهش تصادف به کار برده شد. بر اساس نتایج، مهمترین یافته ای که می‌توان از بررسی اثربخشی ایجاد روشنایی در کاهش تصادفات شبانه ترسیم نمود، کاهش قابل قبول فراوانی تصادفات در راه‌های دوخطه برونشهری پس از ایجاد روشنایی است که این نتیجه با مطالعاتی که در ارتباط با اقدامات اصلاحی در نقاط پرتصادف و علی‌الخصوص ایجاد روشنایی شبانه در این نقاط در کشورهای مختلف صورت گرفته، مطابقت دارد. یافته‌های این مطالعه درخصوص کاهش تصادفات، به صورت خلاصه در ادامه ذکر می‌شود:

- در کل، ایجاد روشنایی سبب کاهش فراوانی تصادفات شبانه در نقاط پرتصادف راه‌های دوخطه برون شهری استان ایلام شده است.
- میزان کاهش تصادفات شبانه در راه‌های دوخطه برونشهری مورد مطالعه، ۲۸ درصد است که این کاهش از لحاظ آماری در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار است.
- با توجه به اطمینان ۹۰ درصد اثربخشی ایجاد روشنایی ارزیابی شده، می‌توان با ضریب اطمینان قابل توجه، کاهش حدود ۳۰ درصدی تصادفات شبانه در راه‌های دوخطه برونشهری پس از ایجاد روشنایی را انتظار داشت.
- ارزیابی اقتصادی ایجاد روشنایی در سایت‌های اصلاحی نشان داد که از لحاظ اقتصادی، ایجاد روشنایی در بهبود ایمنی موفق بوده است. نتایج نشان می‌دهد، نسبت فایده به هزینه کل ایجاد روشنایی در دوسایت اصلاحی برابر ۱۷۰۰ به ۱ است. این مقدار نشان می‌دهد که منافع به دست آمده در ارزش ریالی بسیار بیشتر از هزینه‌های سالیانه ایجاد روشنایی طی یک دوره ۱۵ سالانه و نزدیک به ۱۷۰۰ برابر است که یک موفقیت بزرگ در اقتصادی‌بودن این اقدام اصلاحی است.

۶-مراجع

- اسکونزاد، م. م.، (۱۳۹۶)، "اقتصاد مهندسی (ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی)"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ چهل و ششم، زمستان.
- بهنود، ح. ر.، و همکاران، (۱۳۹۵)، "بررسی اثر افزایش هزینه اقدامات ایمن‌سازی راه بر میزان کاهش تصادفات

- Saffarzadeh, M., Shaabani, Sh., Azarmi, A. (2007), "Accident prediction model in two-way two-lane highway curves", Transportation Research (Pajouheshnameh Haml va Naghl), 4(3), pp.213-21.
- Tabandeh, M. F., et., (2016), "Equivalent Property Damage Crash Prediction Model with Aggregate Data's (Study Case: Alvand City)", The 15th International Conference on Traffic and Transportation Engineering, Tehran.
- Turner, B. Steinmetz, L., Lim, A. and Walsh, K. (2012), "Effectiveness of Road Safety Engineering Treatments", APR422-12. Austroads Project No: ST1571.
- Wanvik, Per., ole, (2009), "Effects of road Liyhting: An Analysis Based on Dutch Accident Statistics 1987-2006", Accident Analysis ana Prevention 41, pp.123-128.
- Iran Road Maintenance and Tansportation Organisation, RMTO (2012) (Online) Iran Road Maintenance and Transportation Organization. Roads.
- Kyoung, A, R., elt., (2016), "Spatial Regression Analysis of Traffic Crashes in Seoul", Accident Analysis & Prevention, Vol. 91, pp. 190-199.
- Mountain, L., Fawaz, B., and L. Sineg, (1992), "The Assessment of Changes in Accident Frequencies on Link Segments: A Comparison of Four Models, Traffic Engineering and Control", Vol. 33(8), pp., 429-431.
- Opiela, Kenneth S., Carl K. Anderson, and Greg Schertz., (2003), "Driving After Dark." Public Roads. January/February.
- Persaud, B., N., (2001), "Statistical Methods in Highway Safety Analysis", A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 295, Transportation Research Board.

Evaluating the Effectiveness of Lightening Installation in Reducing Overnight Crashes of Rural Roads

Mohammad Koohi, M.Sc., Grad. Civil Engineering Faculty, P.N.U. University, Tehran, Iran.

Shahin Shaabani, Associate Professor, Civil Engineering Faculty, P.N.U. University, Tehran, Iran.

E-mail: m.koohhi@gmail.com

Received: June 2020 -Accepted: September 2020

ABSTRACT

In this research, the effectiveness of installing night lighting in rural roads was evaluated. To this end, a number of rural roads of Ilam province have been selected. Two axes have been selected as the counter group and two axes as the comparison group. Crash data of four years has been collected. The collected data is analyzed according to before and after study with comparison group for studying crash reduction and benefit/cost method for economic analysis. For accurately estimating the effectiveness, the predicted crashes on improved and comparison sites were used. These predictions were done using the prediction model of crashes in rural two-way roads, and then the results were calibrated for local conditions using the crash modification factor related to lighting installation and also the model calibration method. By applying different stages of the method, the results show a 28% reduction in the frequency of overnight crashes after lighting installation. The statistical significance test indicates the accuracy of the result at 90% confidence level. The results demonstrate an acceptable effectiveness of lighting installation in reduce overnight crashes. The results of the economic evaluation of lighting installation in this study indicate that lighting installing has been successful in improving safety. The ratio of the benefit to the total cost of lighting installing on two counter sites is 1700 to 1. This value indicates that the benefits gained in Rial value are much higher than the annual costs of lighting installation during a 15-year period and about 1700 times.

Keywords: Effectiveness, Crashes Reduction, Countermeasures, Lightening Installation