

## ارایه مدلی برای مکان‌یابی بهینه دوربین‌های کنترل سرعت در راه‌ها

بابک میربهاء، استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران  
سیدمهرداد حسینی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [Mehrdad65h@gmail.com](mailto:Mehrdad65h@gmail.com)

دریافت: 1395/09/15 - پذیرش: 1396/02/15

زمان دریافت و پذیرش صحیح نیست! [bm1] Commented

### چکیده

اعمال روش‌های گوناگون مدیریت سرعت در راه‌ها و کنترل کردن سرعت حرکت وسایل نقلیه در محدوده سرعت ایمن، یکی از روش‌های مطرح در پیشگیری از وقوع بسیاری از تصادفات رانندگی در جاده‌ها است. یکی از مهمترین و کارآمدترین روش‌های جلوگیری از افزایش سرعت غیر مجاز در جاده‌ها و در پی آن پایین آمدن میزان تصادفات، بکارگیری ابزارهای کنترل سرعت در جاده‌ها می‌باشد. با توجه به هزینه بالای بکارگیری سیستم‌های هوشمند کنترل سرعت و محدودیت در بودجه مالی پروژه‌ها و مجموعه محدودیت‌های دیگر که براساس شرایط هر پروژه در نظر گرفته می‌شود، پوشش دادن تمام طول یک مسیر توسط سیستم کنترل سرعت طرحی غیراقتصادی و نامناسب تلقی شده و نیاز است تجهیزات کنترل سرعت تنها در نقاطی استفاده شوند که با توجه به محدودیت منابع موجب بیشترین پوشش و کارایی گردند. در این مقاله سعی بر آن بوده تا با توجه به محدودیتهای نصب و بکارگیری دوربین‌های کنترل سرعت نسبت به ارائه یک مدل بهینه‌سازی با هدف بهینه‌سازی پوشش آنها در یک مسیر اقدام شود. محدودیتهای مدل بهینه‌سازی ارائه شده بنابر مشخصات فیزیکی مسیر، محدودیت‌های دوربین‌ها، سوابق تصادفات در مقطع و سایر موارد است. اعتبار مدل ارائه شده بر روی مقطعی از جاده کرج - چالوس حد فاصل میدان امیرکبیر تا شهرستان کچسر به طول 60 کیلومتر انجام شد و نتایج حاصل از مکانیابی در حالات مختلف به ازای میزان بودجه مالی در دسترس مورد تحلیل قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: مدل مکانیابی، دوربین کنترل سرعت، تصادفات، سیستم‌های هوشمند

### 1- مقدمه

با استفاده از دوربین‌های و تجهیزات کنترل سرعت مخصوص می‌توان رانندگان متخلفی را که با سرعت‌های غیرمجاز حرکت می‌کنند، شناسایی نمود. تحقیقات نشان می‌دهند رایج کردن دوربین‌های کنترل سرعت یا رادارها میزان پذیرش قوانین و محدودیت‌ها توسط مردم را افزایش می‌دهد و لذا در کاهش تصادفات و صدمات ناشی از آنها بسیار موثر است (مردیانی، قربانی، 1385). دی پاو و همکارانش در تحقیقی با عنوان تاثیر ایمنی دوربین‌های کنترل سرعت ثابت نشان دادند که وجود دوربینها باعث کاهش شدت تصادفات می‌گردد (De paw et al, 2014). از طرفی پراکنندگی آمار تصادفات در

سرعت زیاد و نامناسب از مهمترین عوامل سهم در مشکل سوانح ترافیکی در بسیاری از کشورهاست. هرچه سرعت بیشتر شود، مقدار مسافتی که برای متوقف شدن خودرو لازم است نیز بیشتر می‌شود. هرچه انرژی جنبشی که در نتیجه سرعت بالا باید جذب شود بیشتر باشد، خطر مصدومیت ناشی از تصادف هم بیشتر می‌شود. بسیاری از رانندگان خطرات مربوطه را تشخیص نمی‌دهند و اغلب منافع تخلف از سرعت را از نتایج وخیم احتمالی آن بیشتر می‌دانند (سوری، محرابی، 1389). یکی از روش‌های مدیریت سرعت در راه‌ها، به کارگیری سیستم‌ها، تجهیزات و روشهای نظارت و کنترل سرعت می‌باشد.

شبکه‌های حمل و نقل نشانگر آن است که تصادفات رخ داده توزیع یکنواختی در طول راه‌ها ندارند بلکه آنها به صورت خوشه‌ای در نقاط خاص و یا بخش‌هایی از راه و یا به صورت پراکنده در اطراف مناطق مسکونی اتفاق می‌افتند (Gains et al, 2003). در این راستا، لی و همکارانش نشان دادند که دوربین‌های کنترل سرعت بیشترین تاثیر را در 300 متری خود ایجاد می‌کنند (Li et al, 2013). بنابراین یکی از مهمترین مسائل در رابطه با سامانه‌های کنترل سرعت، الگوی مناسب نصب دوربین‌ها در مقاطع مختلف راه یا به عبارت دیگر مکانیابی مناسب تجهیزات کنترل سرعت است. هدف از مکانیابی اجزاء سیستم‌های کنترل سرعت، استفاده کارآمد از بودجه تخصیص یافته به این امر در راستای بهینه سازی کارایی سیستم‌های کنترل سرعت به منظور تضمین سرعت حرکت وسایل نقلیه در محدوده ایمن و به طبع آن افزایش سطح ایمنی مسیر و کاهش در تعداد و شدت تصادفات است. به منظور انجام یک مکان‌یابی مناسب نیاز به بررسی و تحلیل ویژگی‌ها و شاخص‌های مختلفی از مسیر مورد نظر است. در این تحقیق ابتدا به بررسی ادبیات تحقیق مرتبط با موضوع پرداخته شده و در ادامه روش مطالعه و پارامترهای مورد نظر برای مکان‌یابی معرفی شده و پس از آن مدل خطی ریاضی ابتکاری جهت حل مساله مکانیابی معرفی شده است. در انتها مدل ارائه شده، بر روی بخشی از محور کرج - چالوس مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج بدست آمده مورد بحث قرار گرفته است.

## 2- پیشینه تاریخی ادبیات موضوع پیشینه تحقیق

بیش از سی سال است که دوربین‌های کنترل سرعت در بسیاری از کشورهای جهان از جمله اتریش، استرالیا، کانادا، آلمان، یونان، هلند، نروژ، آفریقای جنوبی، اسپانیا، سوئیس و تایوان به کار رفته است. هریک از این کشورها در مکان‌یابی دوربین‌های کنترل سرعت از معیار خاصی تبعیت کرده‌اند. مهمترین این معیارها عبارتند از:

- نرخ تصادفات به ازای ده هزار وسیله نقلیه،
- نرخ تصادفات به ازای یک میلیون وسیله نقلیه-کیلومتر پیموده شده،
- تعداد تصادفات جرحی به ازای هر کیلومتر از مسیر در یک سال،
- تعداد تصادفات منجر به مرگ به ازای هر کیلومتر از مسیر

در طول یک سال،

- سرعت حرکت وسایل نقلیه در طول مسیر، و
- نقاط حادثه خیز براساس شاخص‌های آماری تصادفات (کاظمی، ذوقی، 1390).

در تحقیقات مکانیابی سامانه‌های کنترل سرعت وزارت راه و شهر سازی ایران و مطالعات مرتبط با آن توجه ویژه‌ای به مجموع پوشش طولی مسیر و پوشش کمی وسایل نقلیه عبوری از مسیر شده به صورتی که از ضرب میزان تردد وسایل نقلیه در طول مستقیم الخط ناحیه تحت پوشش دوربین‌ها به عنوان شده است و آن را با واحد "وسیله نقلیه-کیلومتر" بیان کرده‌اند (دفتر ایمنی و ترافیک پژوهشگاه حمل و نقل، 1387).

همچنین سوابق تحقیقات نشان می‌دهند استفاده از شاخص‌های تصادفات در طرح‌های ایمنی جاده‌ای مورد توجه کارشناسان بوده است. از جمله شاخص‌های پرکاربرد تصادفات شامل شاخص فراوانی، نرخ و شدت تصادفات هستند. کاظمی و ذوقی دریافتند استفاده از ترکیب دو شاخص یا بیشتر در مطالعات حادثه خیزی راه‌ها در بهبود برآوردهای حادثه خیزی راه‌ها تاثیر مطلوبی دارد (کاظمی، ذوقی، 1390). در ارتباط با سایر مطالعات انجام شده، مرتضی دلجوی ثابتی در سال 1388 در پایان نامه خود از روش شاخص فراوانی تصادفات استفاده نمود و مقاطع آزاد راه زنجان تبریز را بر اساس میزان متوسط تصادفات به دو قسمت **حادثه‌خیز** و **غیر حادثه‌خیز** تقسیم‌بندی نمود و استفاده از **دوربین‌های کنترل سرعت** در مناطقی **حادثه‌خیز** را پیشنهاد داد (دلجویی، 1388). پژوهشگاه حمل و نقل وزارت راه و **ترابری شهر سازی** ایران نیز در سال 1387 مدلی ریاضی به همراه روش حل دستی به صورت چرخه سعی و خطا را بر اساس مقایسه هزینه بکارگیری **دوربین‌های** یک طرح پیشنهادی کارشناسانه را با بودجه مالی در دسترس ارائه داد. روش مذکور در جاده چالوس مورد مطالعه قرار گرفت و مناطقی که شاخص فراوانی تصادفات آنها پایین‌تر از حد میانگین بود از دایره مطالعات به کلی حذف شدند (دفتر ایمنی و ترافیک پژوهشگاه حمل و نقل، 1387).

مطالعه دیگری توسط فاضلی‌فر در سال 1389 صورت گرفت که در آن به وسیله مدلی بر پایه مدل مکانیابی با پوشش پیشینه یا (MCLP) نقاط نصب دوربین‌های کنترل سرعت را

در مقاطع حادثه‌خیزی میزبان شاخص فراوانی تصادفات در آنها بالاتر از حد میانگین شاخص بود انتخاب نمود (فاضلی فر و همکاران، 1390).

### 3-تشریح پارامترها و ساختار مدل

در جهت تشریح ساختار مدل پیشنهادی برای مکانیابی دوربینهای کنترل سرعت در راه‌ها ابتدا مختصراً پارامترهای دخیل در مدلسازی تشریح شده‌اند. در ادامه، تابع هدف، محدودیتها و به طور کلی ساختار مدل مورد بحث قرار گرفته است.

### 3-1- معرفی شاخص های موثر

#### 3-1-1- پارامترهای ایمنی مقطع

همانطور که گفته شد مقاطع حادثه خیز به عنوان نواحی مستعد خطرناک یا عامل مستقیم یا غیر مستقیم سرعت از جمله نواحی مطلوب جهت نصب دوربین‌های کنترل سرعت هستند. این پارامتر به طور مستقیم در مدل تاثیر می‌گذارد. به این مفهوم که با زیاد شدن مقدار این پارامتر برای یک ناحیه شانس انتخاب آن نقطه توسط مدل افزایش می‌یابد و با کاهش مقدار آن، احتمال انتخاب توسط مدل نیز کاهش می‌یابد. این پارامتر بنا بر اطلاعات تصادفات رانندگی پیشین در بازه‌های طولی معین بدست می‌آیند. به دلیل پوشش دادن خطاها در ثبت مکانی اطلاعات تصادفات، طول مقاطع برابر با 5 کیلومتر در نظر گرفته می‌شود.

#### 3-1-2- پارامترهای فیزیکی و هندسی راه

پارامترهایی که مرتبط با مشخصات و محدودیت‌های فیزیکی مسیر بوده و می‌توانند بر عملکرد دوربینها تاثیرگذار باشند در قالب این گروه دسته‌بندی شده است:

#### الف- طول تحت پوشش دوربین (زیرمقطع)

طول تحت پوشش توسط دوربین‌ها به عنوان یکی از پارامترهای موثر در مساله مکانیابی اهمیت ویژه ای دارد. بدیهی است هر چه مسافت تحت پوشش توسط یک دوربین بیشتر باشد بازده بکارگیری دوربین در آن ناحیه بالاتر خواهد بود. طول زیر مقطع را می‌توان بر حسب مسافت دید دوربین‌ها و بر اساس طرح هندسی با توجه به قوسها و موانع دید حاشیه مسیر بر حسب متر یا کیلومتر محاسبه نمود.

### ب - درصد شیب طولی

مطالعات نشان می‌دهند شیب طولی علاوه بر اینکه مستقیماً بر روی مسافت ترمزگیری و شدت تصادف احتمالی در صورت بروز حادثه تاثیر می‌گذارد، به طور غیر مستقیم احتمال افزایش سرعت و دستیابی به سرعت‌های غیر ایمن را فراهم می‌کند. طبق مطالعات سال 2000 هاروود و آل به ازای افزایش مقدار هر درصد شیب طولی در جهت سرازیری شانس وقوع تصادفات در آن ناحیه 6 درصد افزایش می‌یابد (حجازی، 1392). همچنین طی مطالعاتی که بر روی محور قزوین-رشت در ایران مشخص شد به ازای هر درصد افزوده شدن بر شیب طولی منفی احتمال وقوع تصادفات 12 درصد افزایش می‌یابد (سجادی، 1389). شیب طولی جزء شاخص‌های هندسی مسیر و مربوط به سطح زیر مقطع بوده و به صورت درصد شیب بیان می‌شود.

#### 3-1-3- پارامترهای محیطی منطقه

امکان سنجی جهت بکارگیری دوربین‌های کنترل سرعت در یک ناحیه از نکات تعیین کننده و کلیدی جهت مکانیابی است. برداشت اطلاعات امکان سنجی با مطالعات میدانی امکان پذیر خواهد بود. این امر برای جلوگیری از بروز پاسخهای غیرمنطقی در ارتباط با محل نصب دوربین انجام می‌پذیرد (به طور مثال پیشنهاد نصب دوربینهای غیر ثابت در تونل). پاسخ امکان‌سنجی استفاده از یک نوع وسیله کنترل سرعت در یک زیر مقطع به طور قطعی و با آری یا خیر بیان می‌شود که در محاسبات ریاضی مدل این پاسخ می‌بایست به صورت اعداد صحیح 0 یا 1 گردآوری شود که در آن 0 به منزله عدم امکان بکارگیری دوربین در زیر مقطع و 1 به منزله امکان بکارگیری آن نوع دوربین است. امکان و عدم امکان نصب دوربین جزء شرایط فیزیکی و محیطی مسیر و مربوط به سطح زیر مقطع است.

#### 3-1-4- پارامتر ترافیک

تعداد وسایل نقلیه عبوری از هر نقطه از مسیر که در صورت استفاده از دوربین‌های کنترل سرعت تحت پوشش قرار می‌گیرند. عامل مهمی در مکانیابی دوربین‌های کنترل سرعت

### 3-2- معرفی مدل پیشنهادی

مدل ریاضی ابتکاری ارائه شده در این پژوهش یک مدل خطی و بر مبنای مدل‌های پوشش بیشینه و از دسته مدل‌های غیر قطعی است که قادر است شرایط احتمال عدم دسترسی به منابع را نیز دنبال کند. این مدل با داشتن یک تابع هدف در بطن خود چند هدف را دنبال می‌کند. فرم ریاضی مدل به صورت زیر است:

می‌باشد. این اطلاعات از طریق دستگاه‌های تردد شمار تحت نظر سازمان راهداری کشور برداشت شده است. این اطلاعات به تفکیک روز به روز در طی ماه‌های سال و نیز به تفکیک انواع وسایل نقلیه در دسترس است. ولی به جهت استفاده در مدل نیازمند مقدار متوسط سالانه وسیله نقلیه عبوری در روز یا همان AADT است و جزء دسته شاخص‌های ترافیکی بوده و در سطح زیر مقطع سنجیده می‌شود.

$$\text{Max: } \sum_{ijk} L_{ij} \cdot Q_{ij} \cdot R_{ij} \cdot G_{ij} \cdot T_{ij}^k \cdot x_{ij}^k \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{ijk} U_k \cdot x_{ij}^k \leq B \quad (2)$$

$$\sum_{ij} x_{ij}^2 \leq H \quad (3)$$

$$\sum_{ij} x_{ij}^1 \leq F \quad (4)$$

$$\sum_j x_{ij}^k \leq N \quad (5)$$

$$\sum_{i,j} x_{ij}^1 \geq E \sum_{i,j} x_{ij}^2 \quad (6)$$

$$\sum x_{ij}^k \leq (P_{ij} = \left\lfloor \frac{L_{ij}}{2500} \right\rfloor + 1) \quad (7)$$

$$x_{ij}^k = 0 \quad \forall (i, j, k) \in \Omega \quad (8)$$

$$x_{ij}^k = 1 \quad \forall (i, j, k) \in FP \quad (9)$$

$$x_{ij}^k (L_{ij} - L_{\min}) \geq 0 \quad (10)$$

$$x_{ij}^k (R_j - R_{cr}) \geq 0 \quad (R_{cr} = \bar{R} - var_R) \quad (11)$$

$$x_{ij}^k (\%g_{ij} - \%g_u) \leq 0 \quad (12)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad (13)$$

که در آن:

i: شماره زیر مقطع،

j: شماره مقطع 5 کیلومتری،

k: نوع وسیله کنترل سرعت (در اینجا نوع 1 دوربین ثابت و نوع 2 دوربین متحرک در نظر گرفته شده)،

X<sub>ijk</sub>: برابر یک است هرگاه در زیر مقطع 1 از مقطع j دوربین نوع K قرار گیرد و در غیر این صورت صفر است.

L<sub>ij</sub>: طول زیر مقطع 1 واقع در مقطع j.

Q<sub>ij</sub>: حجم تردد وسایل نقلیه در مدت شبانه روز در زیر مقطع 1 از مقطع j (متوسط ترافیک روزانه در سال).

R<sub>j</sub>: ضریب احتمال وقوع تصادفات در مقطع j (شاخص ترکیبی حادثه خیزی ناحیه).

T<sub>ijk</sub>: ضریب دسترسی زمانی به منبع نوع k در زیر مقطع 1 از مقطع j.

U<sub>k</sub>: هزینه بکارگیری تجهیزات کنترل سرعت نوع K به ازای هر یک دستگاه.

B: بودجه مالی در نظر گرفته شده برای کل پروژه.

H: تعداد نیروی انسانی در دسترس جهت بکارگیری دوربین‌های نوع متحرک.

F: حداکثر تعداد دوربین‌های کنترل سرعت ثابت که برای پروژه مورد نظر در اختیار است.

N: حداکثر تعداد بکارگیری دوربین‌های کنترل سرعت در یک مقطع 5 کیلومتری.

E: حداقل نسبت بکارگیری تعداد دوربین‌های نوع 1 (ثابت) به نوع 2 (متحرک).

P<sub>ij</sub>: حداکثر تعداد قرارگیری دوربین‌های کنترل سرعت در زیر مقطع 1 از مقطع j.

Ω<sub>ijk</sub>: بیانگر مجموعه ای از زیر مقاطع در طول مسیر است که امکان بکارگیری دوربین نوع K در آن محل وجود ندارد.

FP: نقاط اجباری . بیانگر مجموعه ای از زیر مقاطع در طول مسیر است که به دلایلی ممکن است از طرف طراحان به عنوان نقاط اجباری جهت قرارگیری تجهیزات کنترل سرعت انتخاب شود.  
 $g_{ij}$ : شیب طولی زیر مقطع  $i$  از مقطع  $j$  بر حسب درصد.  
 $g_u$ : شیب سربلایی حدی تعیین شده برای عدم بکارگیری دوربین کنترل سرعت.  
 $G_{ij}$ : ضریب تاثیر شیب طولی زیر مقطع  $i$  از مقطع  $j$  در احتمال وقوع تصادفات در مقطع  $j$ .

(3) محدودیت در بکارگیری نیروی انسانی جهت استفاده از دوربین های دستی متحرک را اعمال می کند و رابطه شماره (4) محدودیت در

در ادامه و در ارتباط با تابع هدف و محدودیت های مدل توضیحاتی ارائه شده است:

تعداد دوربین های ثابت در دسترس برای کل پروژه را بیان می کند. رابطه (5) محدودیت در تعداد حداکثر جایگاه های کنترل سرعت در هر قطعه 5 کیلومتری را نشان می دهد. رابطه (6) محدودیت در حداقل نسبت استفاده از ابزار نوع 1 (دوربین ثابت) به ابزار نوع 2 (دوربین متحرک) را که ممکن است از سوی کارشناسان در نظر گرفته شود را اعمال می کند. رابطه (7) محدودیت تعداد استفاده از دوربین در زیر مقاطع را اعمال می کند و موجب تمایز در نحوه تخصیص دوربین در زیر مقاطع با طولهای بسیار بلند می شود به طوری که اگر طول زیر مقطع از 2500 متر کمتر باشد حداکثر از یک دوربین و در غیر این صورت حداکثر از 2 دوربین در زیر مقطع استفاده می گردد. رابطه (8) امکان سنجی بکارگیری دوربین نوع  $k$  در حاشیه مسیر زیر مقطع  $i$  از مقطع  $j$  را کنترل می کند و نواحی غیر قابل قبول جهت بکارگیری دوربین را از دایره محاسبات خارج می کند. محدودیت شماره (3-8) جهت لحاظ نمودن شرایط تونل ها و حاشیه مسیر های کوهستانی که نمی توان در آنها از دوربین های متحرک استفاده نمود کاربرد دارد. رابطه (9) جهت وارد نمودن نقاط اجباری جهت بکارگیری ابزار کنترل سرعت که ممکن است مورد نظر کارشناسان باشد طراحی شده و این امکان را می دهد که در صورت وجود نقاط اجباری، اطلاعات مربوطه در قسمت ورودی مدل اعمال شوند تا در محاسبات مربوط به محدودیت های فنی، مهندسی و اقتصادی وارد شوند و اثر متقابل آنها با سایر موارد موثر در مدل تحلیل و محاسبه گردد. رابطه (10) محدودیت بکارگیری دوربین در زیر مقاطع کوتاه با طول کمتر از یک عدد معین را نشان می دهد، به عنوان مثال زیر مقاطع کوچکی با طول کمتر از 150 متر جهت نصب دوربین باعث پایین آمدن برد مفید دوربین ها شده و کارایی مدل را کاهش می دهند، حذف چنین زیر مقاطعی باعث تسهیل در مراحل حل مدل نیز می شود. رابطه (11) استفاده از

رابطه (1) نشان دهنده تابع هدف مدل است. هدف از این رابطه بیشینه نمودن میزان پوشش دوربین ها در نواحی مستعد تصادفات رانندگی است. با استفاده از این رابطه می توان برای هر ناحیه محتمل برای بکارگیری تجهیزات کنترل سرعت یک مقدار بدست آورد که نشان دهنده ارزش استفاده از دوربین در آن منطقه است و در حقیقت مدل ریاضی با اولویت بندی این مقادیر و با توجه به محدودیت محدودیت های جانبی دیگر مکان های نصب بهینه دوربین را مشخص می کند. پارامترهای موثر در تابع هدف  $L_{ij}$  طول پوشش دوربین در زیر مقطع  $i$  از مقطع  $j$  5 کیلومتری  $j$  بر حسب کیلومتر،  $Q$  متوسط حجم ترافیک عبوری در جهت مورد بررسی بر حسب تعداد وسیله نقلیه،  $R_j$  نسبت حاشیه خیزی در مقطع 5 کیلومتری،  $G_{ij}$  ضریب تاثیر شیب طولی که بر اساس تحقیقات پیشین مشخص شده به ازای هر یک درصد افزایش شیب در جهت سرازیری بین 6 تا 12 درصد ریسک بروز تصادفات را بالا می برد (حجازی، 1392). بنابراین ضریب تاثیر شیب طولی را می توان با رابطه  $G = \%g \times S$  بدست آورد که در آن  $g$  شیب زیر مقطع مورد مطالعه بر حسب درصد شیب است و  $S$  عددی ثابت (بین 1.06 تا 1.12) است.  $T_{ij}^k$  ضریب دسترسی زمانی به دوربین نوع  $K$  در زیر مقطع  $i$  از مقطع  $j$  می باشد. به عنوان مثال دوربین های نوع 2 (متحرک) عملاً در نیمی از طول شبانه روز بدون استفاده هستند بنابراین ضریب دسترسی زمانی برای آنها از تقسیم 12 ساعات کارکرد بر 24 ساعت کل شبانه روز به دست می آید که برابر 0.5 است و این ضریب برای دوربین های خودکار که به صورت بی وقفه کار می کنند برابر 1 است.  $X_{ij}^k$  یک عملگر ریاضی است که در صورت امکان احتمال بکارگیری دوربین  $K$  در زیر مقطع  $i$  از مقطع  $j$  برابر با 1 و در غیر این صورت برابر با صفر و موجب صفر شدن مقدار تابع هدف در آن ناحیه خواهد شد. رابطه (2) محدودیت بودجه مالی در نظر گرفته شده برای پروژه را بیان می کند. رابطه

دوربین در مکان های حادثه خیز با مقایسه شاخص ترکیبی آمار تصادفات هر مقطع نسبت به میانگین شاخص کل مسیر را بیان می کند به نحوی که تمامی مقاطع با توجه به نسبت حادثه خیزی برخوردنشان در محاسبات مدل وارد می شوند به غیر از مقاطعی که میزان حادثه خیزی آنها بر اساس آمار تصادفات تصادفات بسیار پایتتر از حد متوسط حادثه خیز خیزی در طول مسیر باشد، به عبارت دیگر مقاطعی که اختلاف مقادیر حادثه خیزی آنها با مقدار متوسط در طول مسیر بزرگتر از میزان واریانس داده ها باشد از چرخه محاسبات خارج می گردند. این امر به این دلیل است که اولاً چنین نقاطی تابع هدف بسیار کوچکی نسبت به سایر نواحی دارند و شانس انتخاب جهت نصب دوربین عملاً ناچیز است و از طرف دیگر وجود آنها در محاسبات باعث حجیم شدن محاسبات مساله و اختلال در حل مدل ریاضی توسط نرم افزار می گردد.

رابطه (12) محدودیت استفاده از دوربین کنترل سرعت در سر بالایی بالایی های با شیب شیب های بالا بالا تر حد معین را اعمال می کند، به این صورت که هر گاه شیب سربالایی خیز زیر مقطع  $i$  بیشتر از مقدار تعیین شده حدی ( $g_u$ ) باشد، محدودیت در بکارگیری دوربین در آن ناحیه اعمال شود. رابطه (13) احتمال وجود یا عدم وجود دوربین در یک زیر مقطع را به وسیله متغیر باینری بیان می کند.

#### 4- تحلیل نتایج مدل (بر اساس نتایج یک مطالعه موردی)

در جهت تشریح نحوه عملکرد مدل مکانیابی پیشنهادی محور کرج - چالوس به عنوان مطالعه موردی انتخاب و پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز نسبت به تحلیل و اعتبارسنجی نتایج دست آمده اقدام شد. در ادامه نحوه جمع آوری جمع آوری داده ها و آماده سازی آنها برای ورود به مدل تشریح شده است.

##### 4-1- داده ها

در ادامه نسبت به تشریح نحوه جمع آوری و آماده سازی داده ها برای استفاده در مدل پیشنهادی اقدام شده است.

**الف- آمار تصادفات:** آمار تصادفات مربوط به 60 کیلومتر ابتدایی مسیر کرج-چالوس در یک دوره 6 ساله گردآوری شده است. شاخص های فراوانی تصادفات، نرخ تصادفات (تعداد

تصادفات به ازای یک میلیون وسیله نقلیه عبوری در هر کیلومتر)، شدت تصادفات و همچنین شاخص ترکیبی تصادفات که در حقیقت برازش مقادیر نرمال شده سه شاخص مذکور است به صورت جدول 1 محاسبه شده است. پس از بدست آوردن شاخص های فراوانی، نرخ و شدت تصادفات به وسیله نرمال سازی مقادیر این شاخصها مقادیر نسبی شاخص های تصادفات بدست می آیند که با میانگین گیری و برازش این داده ها مقدار شاخص ترکیبی تصادفات تعیین می شود. معیار ترکیبی تصادفات به دلیل پوشش دادن خطاهای احتمالی در هر کدام از شاخص های فراوانی، نرخ و شدت از جامعیت بیشتری برخوردار است و معیار مناسبی جهت برآورد میزان حادثه خیزی مقاطع بر اساس آمار تصادفات است.

همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است، شاخص تصادفات بر اساس الگوی ترکیبی ضرائبی را در اختیار ما می گذارد که میزان حادثه خیزی هر مقطع 5 کیلومتری را بر اساس آمار تصادفات پیشین بیان می کند. مقادیر این شاخص را به تفکیک هر مقطع و با حرف  $R_j$  نشان داده شده است. نکته قابل توجه این است که در برخی مطالعات پیشین بر روی مقادیر حادثه خیزی، کل مسیر مورد مطالعه را به دو قسمت حادثه خیز مطلق و غیر حادثه خیز مطلق طبقه بندی کرده اند (Schilling et al, 1993)، ولی در مدل پیشنهادی اولویت اولویت دهی به نقاط بر اساس حادثه حادثه -

خیزی در ساختار مدل پیشنهادی گنجانده شده و محاسبات بر روی مقاطع با در نظر گرفتن ضرائب حادثه خیزی نسبی (نرمال شده) در تابع هدف مدل انجام خواهد شد. یک مزیت این عمل تمایز قرار دادن بین تمامی مقاطع بر حسب نسبت حادثه خیزی آنها و اولویت بندی صحیح آنها و مزیت دیگر ورود نقاط مرزی که با اختلافی اندک میزان حادثه خیزی پایتتر از حد بحرانی (متوسط شاخص تصادفات) دارند به مدل است. البته برخی از مقاطع میزان حادثه خیزی بسیار پایتتر از مقدار متوسط شاخص تصادفات در مسیر را دارند، به جایگزینی دیگر یا فاصله آنها با مقدار متوسط تصادفات بیشتر از میزان واریانس داده ها بوده است و این به معنای آن است که این نقاط میزان حادثه خیزی کمتری در مقایسه با سایر نقاط دارند و تابع هدف آنها به حدی کوچک می شود که شانس برای تخصیص تجهیزات کنترل سرعت به خود ندارند به همین دلیل از ورود چنین نقاطی به مدل توسط محدودیت 11 جلوگیری شده است تا

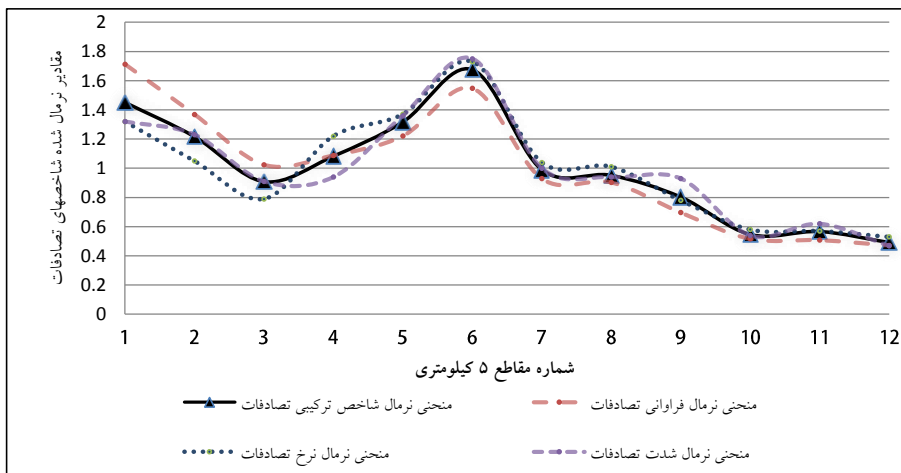
روند محاسبات مدل بر روی داده ها با سهولت دنبال شود .  
واریانس داده ها در این مطالعه برابر 0.43 است. بنابراین  
مقطعی که میزان حادثه خیزی آنها اختلافی بیشتر از 0.43  
نسبت به مقدار متوسط شاخص (برابر با عدد 1) دارند از روند  
مطالعات کنار گذاشته می شوند. بهین ترتیب مرز حادثه خیزی  
برابر 0.57 بدست آمده و مقاطع 5 کیلومتری شماره 10  
11+12.42 طبق محدودیت شماره 11 از ورود به مدل  
محروم می شوند.

Formatted: Font: Bold, Complex Script Font: Bold

Formatted: Right-to-left

جدول 1. مقادیر نرمال شده شاخص‌های فراوانی، نرخ و شدت تصادفات و شاخص ترکیبی تصادفات

شماره مقطع	بازه مقطع (کیلومتر)	شاخص فراوانی	شاخص نرخ تصادفات	شاخص شدت تصادفات	شاخص ترکیبی تصادفات
1	5 - 0	1.39	1.13	1.38	1.3
2	10 - 5	1.31	1.07	1.3	1.22
3	15 - 10	1.02	0.79	1	0.95
4	20 - 15	1.14	1.24	1.11	1.16
5	25 - 20	1.38	1.49	1.37	1.41
6	30 - 25	1.3	1.41	1.36	1.36
7	35 - 30	0.89	0.96	0.9	0.92
8	40 - 35	0.98	1.06	0.97	1
9	45 - 40	1.01	1.09	0.99	1.03
10	50 - 45	0.53	0.58	0.55	0.55
11	55 - 50	0.6	0.65	0.6	0.62
12	60 - 55	0.47	0.51	0.47	0.48



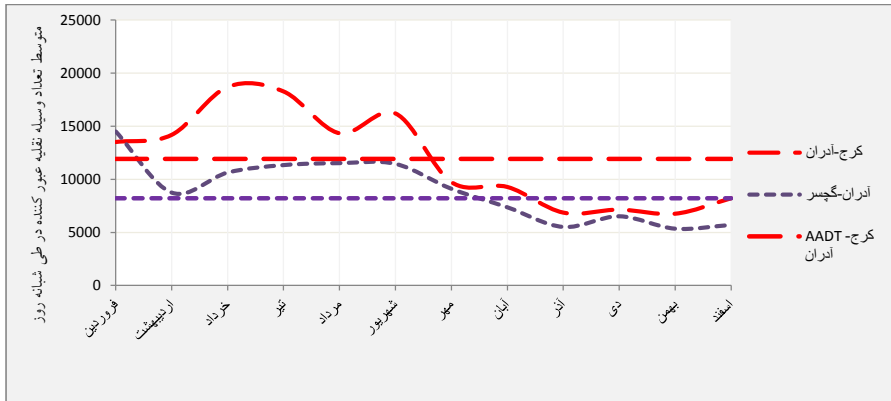
شکل 1. مقایسه منحنی‌های انواع شاخص‌های تصادفات و برازش آنها (منحنی شاخص ترکیبی تصادفات)

Formatted: Font: Bold, Complex Script Font: Bold

در شکل 2 نشان داده شده است. در این تحقیق به دلیل اینکه تجهیزات در دراز مدت و برای طول کامل سال مورد استفاده قرار می‌گیرند از متوسط ترافیک روزانه در طی سال یا همان AADT استفاده شده است (سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور، 1392).

ب- آمار تردد وسایل نقلیه در جاده کرج-چالوس: آمار تردد وسایل نقلیه توسط دستگاه‌های تردد شمار که در مقاطعی از مسیر نصب شده به صورت روزانه در طول یک سال کامل برداشت می‌شوند و از طریق میانگین‌گیری ماهانه (ADT) یا سالانه (AADT) را می‌توان بدست آورد. آمار به دست آمده





شکل 2. منحنی های آمار تردد وسایل نقلیه در محور مورد مطالعه

Formatted: Font: Bold, Complex Script Font: Bold

**ج- تعیین ماتریس داده های ورودی به مدل بر اساس اطلاعات برداشت شده از مسیر:** به جهت وارد نمودن اطلاعات برداشت شده به مدل و حل مدل به وسیله نرم افزار کامپیوتری، می بایست اطلاعات به صورت ماتریسی تبدیل شود. لذا، پارامترهای موثر در مدل پیشنهادی اطلاعات مربوطه تهیه و طبقه بندی شد.

#### 2-4- تعیین شرایط و محدودیت های جانبی موجود در پروژه های مکانیابی تجهیزات کنترل سرعت

با توجه به مقادیر گردآوری شده داده های ورودی و تشکیل ماتریس های مربوط به هر پارامتر، مدل مربوطه را به همراه محدودیتها تحت برنامه Matlab برنامه نویسی نموده و خروجی آن توسط نرم افزار Cplex اجرا و جواب نهایی به ازای مقادیری از پارامترها تعیین می شود.

برای ارزیابی مدل نسبت به حل مثالی جهت امکان تفسیر نتایج اقدام شده است. فرضهای این مثال عبارتند از:

**U<sub>k</sub>**: هزینه بکارگیری تجهیزات کنترل سرعت نوع K به ازای هر دستگاه (به ازای هر دوربین ثابت 100 میلیون تومان و به ازای هر دوربین متحرک 33 میلیون تومان در نظر گرفته شده است)

**B**: بودجه مالی در نظر گرفته شده برای کل پروژه (به ازای مقادیر مختلف بودجه از 100 میلیون تومان تا یک میلیارد و ششصد و سی و سه میلیون تومان که برابر با هزینه نهایی ترکیب تجهیزات بنا بر محدودیت تعداد بکارگیری دوربین ها

است محاسبه شده)

**H**: تعداد نیروی انسانی در دسترس جهت بکارگیری دوربین های نوع متحرک (7 نفر)

**F**: حداکثر تعداد دوربین های کنترل سرعت ثابت (14 عدد)

**N**: حداکثر تعداد بکارگیری دوربین های کنترل سرعت در یک مقطع 5 کیلومتری (3 عدد)

**Ω<sub>ijk</sub>**: عدم استفاده از دوربین متحرک در تونل ها و مناطقی که شانه راه عرض کافی جهت استقرار اپراتور را ندارد.

**FP**: نقاط اجباری = هیچ نقطه ای به اجبار مشخص نشده است.

**E**: حداکثر نسبت بکارگیری دوربین های کنترل سرعت ثابت به متحرک (2 به 1)

**G<sub>ij</sub>**: ضریب تاثیر شیب طولی (1.12) به ازای هر یک درصد

**T<sub>k</sub>**: نسبت زمانی کارکرد دوربین ها در طول شبانه روز برای دوربین های ثابت برابر 1 و برای دوربین های متحرک برابر با 0/5 در نظر گرفته شده است (با فرض اینکه

دوربین دوربین های متحرک در ساعات تاریکی برابر با نیمی از شبانه روز استفاده نشوند).

#### 3-4- خروجی مدل

پس از حل مدل به ازای مقادیر مختلف بودجه پاسخ های مساله استخراج می شود. جدول 2 نمونه ای از پاسخ های مدل را

به ازای بودجه یک میلیارد و صد میلیون تومان نشان می‌دهد. پاسخ مدل به مساله مکانیابی به صورت مجموعه ای از نقاط و ابزار تخصیص داده شده به آن نقاط است. مشاهده می‌شود به ازای بودجه 1100 میلیون تومان، مجموعاً 13 دوربین (9 دوربین ثابت و 4 دوربین متحرک) در زیرمقاطع تعیین شده است. تعداد دوربین‌ها در هر سه سطح زیر مقطع، مقطع 5 کیلومتری و سطح کل پروژه با شرایط ورودی به مدل مطابقت دارد و همچنین شرط نسبت تعداد بکارگیری دوربین‌ها نیز رعایت شده است.

این پاسخ تنها مربوط سقف بودجه مالی تعیین شده در این مثال است و با افزایش یا کاهش در میزان بودجه مالی پاسخ مدل با توجه به اولویت‌بندی‌های انجام شده در طراحی آن متفاوت خواهد بود. در ادامه به بررسی حساسیت پاسخ مدل به ازای تغییرات هزینه پرداخته شده است.

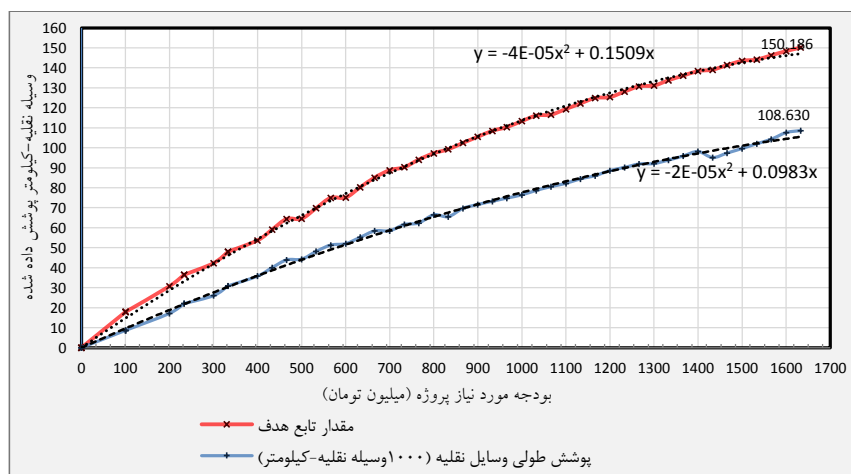
شکل 3 تعداد دوربین‌های بکار گرفته شده، طول پوشش، درصد پوشش طولی از کل مسیر، میزان پوشش وسایل نقلیه- در صد پوشش طولی از کل مسیر، میزان پوشش وسایل نقلیه-

کیلومتر و مقدار تابع هدف مدل را به ازای بودجه بکار گرفته شده نشان می‌دهد. پاسخ مدل به ازای  $E \geq 2$  یعنی شرط تعداد دوربین‌های ثابت بزرگتر یا مساوی دو برابر تعداد دوربین‌های متحرک بیان شده است. شکل 3 نشانگر این است که تغییرات هزینه در نقاط ابتدایی نمودار که تعداد دوربین‌ها کمتر است، اثر بیشتری در تغییرات تابع هدف و پوشش وسایل نقلیه دارد و در حقیقت بازده بکارگیری دوربین‌ها با پایین آمدن میزان بودجه افزایش می‌یابد. این مطلب به این دلیل اتفاق می‌افتد که مدل ارائه شده در ابتدا زیر مقطعی با بالاترین اولویت را انتخاب می‌نماید و با افزوده شدن بودجه مالی زیر مقاطع بعدی با اولویت‌های پایین‌تر انتخاب خواهند شد. البته پایین آمدن بازده پروژه (میزان پوشش نسبت به هزینه بکارگیری) به معنای پایین آمدن عملکرد سیستم کنترل سرعت نیست و با توجه به رشد صعودی منحنی‌های تابع هدف و میزان پوشش وسایل نقلیه مشخص می‌شود با افزودن بودجه مالی میزان پوشش وسایل نقلیه و تابع هدف افزایش می‌یابند.

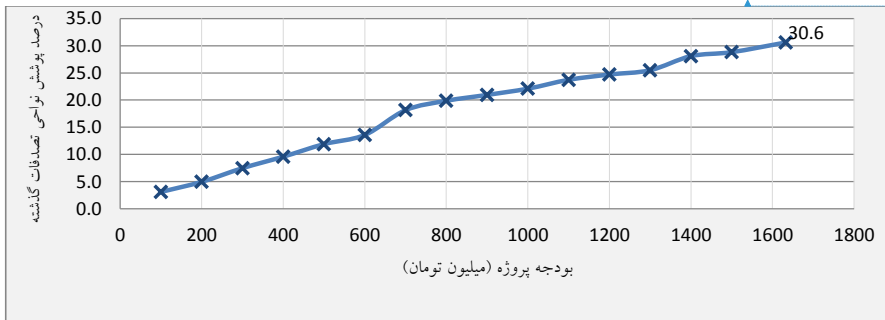
شماره مقطع	1	2	3	4	5	6	7	8	9
دوربین ثابت	2	3	-	-	1	2	1	-	-
شماره زیر مقطع	20, 12	12, 6	16	-	7	2, 1	15	-	-
دوربین متحرک	1	-	-	1	-	1	-	1	-
شماره زیر مقطع	4	-	-	-	-	15	-	16	-
مجموع تعداد دوربین در قطعه	3	3	0	1	1	3	1	1	0
تعداد مجموع دوربین‌ها در طول مسیر	13 عدد (10 دوربین ثابت و 3 دوربین متحرک)								

جدول 2. مکان‌های بکارگیری دوربین به ازای بودجه یک میلیارد و صد میلیون تومان

Formatted: Font: Bold, Complex Script Font: Bold



شکل 3. منحنی‌های تغییرات تابع هدف مدل و پوشش وسایل نقلیه به ازاء تغییرات در بودجه



Formatted: Font: Bold, Complex Script Font: Bold

شکل 4. درصد پوشش طولی نواحی وقوع تصادفات قبلی توسط دوربین های کنترل سرعت

Formatted: Font: Bold, Complex Script Font: Bold

Formatted: Centered

حالت از شرایط مساله بدست آمد که در حالت نهایی به ازای 1633 میلیون تومان و با داشتن 21 دوربین (14 ثابت و 7 متحرک) پوشش 12.44 کیلومتر، معادل با 27.6٪ از طول مسیر مورد مطالعه و همچنین 108.63 هزار وسیله نقلیه- کیلومتر مورد رصد دوربین های کنترل سرعت قرار می گیرند. همچنین این تحقیق نشان می دهد با افزایش بودجه طرح های مدیریت سرعت و افزایش تعداد دوربین ها در راهها میزان پوشش طولی مسیر، پوشش تعدادی وسایل نقلیه و پوشش نواحی حادثه خیز در افزایش می یابد و تغییرات این افزایش پوشش در ابتدا نرخی بیشتر داشته ولی با توجه به اینکه تخصیص تجهیزات در ابتدا به نواحی که میزان تقاضای بیشتری داشته اند صورت می گیرد و نقاط انتخابی بعدی میزان تقاضای کمتری دارند، نرخ تغییرات پوشش به تدریج تقلیل می یابد.

تفاوت مقادیر ایجاد شده در میزان پوشش وسایل نقلیه و تابع هدف به دلیل اثر ضرائب تاثیر موجود در تابع هدف مدل است. شکل 4 تغییرات درصد پوشش طولی نواحی وقوع تصادفات طی سالهای پیشین نسبت به تغییرات بودجه مالی پروژه را نشان می دهد. دیده می شود با افزایش میزان هزینه بکارگیری دوربین ها نواحی تصادفات بیشتری تحت پوشش قرار می گیرند.

## 6- نتیجه گیری پایچ

در این پژوهش با مطالعه عوامل تاثیر گذار در وقوع تصادفات ناشی از سرعت و نیز با مطالعه مکان های وقوع تصادفات در سالهای پیشین که عامل سرعت به نحوی در آن دخیل بوده و نقش هریک از آنها در مساله مکان یابی مدلی ریاضی ارائه شد تا مکان های نصب دوربین های کنترل سرعت را با هدف کاهش سرعت در مناطق مستعد تصادفات مشخص کند. مساله مکان یابی تجهیزات کنترل سرعت وابستگی زیادی به شرایط و محدودیت های پروژه های مکان یابی دارد. مدل ارائه شده قادر است با در نظر گرفتن مجموعه ای از شرایط و محدودیت های موجود در یک پروژه مکان یابی از جمله محدودیت های مالی، نیروی انسانی، تعداد تجهیزات در دسترس، زمانهای کارکرد تجهیزات، شرایط محیطی و سایر عوامل دخیل در پروژه خود را با شرایط موجود در پروژه های مکان یابی تجهیزات کنترل سرعت تطبیق دهد. مطالعه موردی این تحقیق برای بازه 60 کیلومتر ابتدایی جاده کرج-چالوس انجام شد و با در نظر گرفتن بودجه مالی در دسترس نقاط بهینه برای هر

Formatted: Font: (Default) +Headings CS (Times New Roman), 10 pt, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: +Headings CS (Times New Roman), 10 pt

Formatted: Right, Indent: Before: 0"

Formatted: Font: +Headings CS (Times New Roman), 10 pt, Complex Script Font: 10 pt, (Complex) Arabic (Saudi Arabia)

## 7- پی نوشت ها

1-Annual Average Daily Traffic

## 7- مراجع

- آمار تردد شماری برخط جاده کرج-چالوس، مقطع کرج-آدران و آدران گچسرس، (1392).  
<http://www.rmto.ir/Pages/TransportationCounter.aspx>

حجازی، سید جعفر س. ج. و رادکیا، میرویس س. (1392). "

بندی نقاط جاده‌خیز در جاده‌های برون شهری و ارائه ارایه نرم یازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک.

-Duckhan I, Power C. (2002), "London Safety Camera Partnesship", ALG Transport and Enviroment Executive Sub\_Committee.

-Ellen De Pauw, Stijn Daniels, Tom Brijs, Elke Hermans, Geert Wets. (2014), "An evaluation of the traffic safety effect of fixed speed cameras", Safety Science, Volume 62, February 2014, pp. 168-174.

-Gains, A, Humble, R, HEYDECKER, B, Robertson, S. (2003), "a-A cost recovery system for speed and Red light cameras two-year pilot evaluation", Department for transport.

-Haojie Li, Daniel J. Graham, Arnab Majumdar. (2013), "The impacts of speed cameras on road accidents: An application of propensity score matching methods", Accident Analysis & Prevention, Volume 60, November—2013, pp. 148-157.

-Schilling, D & Jayaraman, V & Barkhi, R, (1993)," A Review of Covering Problems in Facility Location", Location Science, Vol.1, PPpp.25-55.

ارائه مدل پیش بینی تصادفات بر اساس خصوصیات هندسی مسیر (مطالعه موردی محور اندیمشک-پل زال)، همایش ملی مهندسی عمران کاربردی و دستاورد های نوین.

-دفتر ایمنی ترافیک (1378). "راهنمای بکارگیری سامانه‌های کنترل هوشمند در جاده‌ها", پژوهشکده حمل و نقل، وزارت راه و شهرسازی.

-سجادی، سیدحسین سی.ح. (1389). "پایان نامه تحلیل تصادفات جاده ای در سیستم اطلاعات جغرافیایی با تاکید بر خصوصیات جاده و محیط (مطالعه موردی:محور قزوین رشت)", گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

-سوری، حمیدح.، محرابی، محمدر. (1389). "مدیریت سرعت: راهنمای عملی ایمنی راه برای سیاست سیاست گزاران و کارکنان، گروه جهانی ایمنی راه 2008"، مرکز تحقیقات ارتقاء ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها، ص.50-22.

-فاضلی فر، علیر.، منبتی، استانالف.، سید حسینی، سید محمدر. (1390)، "مدل مکان‌یابی نصب دوربین‌های کنترل سرعت در راه‌های برون‌شهری"، یازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک.

-کاظمی، امین‌الف.، و ذوقی، ح. (1390)، "شناسایی و اولویت

Formatted: Indent: Before: 0.27", No bullets or numbering

Formatted: List Paragraph, Indent: Before: 0", Hanging: 0.06", Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 0.02" + Indent at: 0.27"

---

<sup>1</sup>-Annual average daily traffic