فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

مدلسازی تأثیر تخلف از چراغ قرمز بر ظرفیت تقاطع‌های چراغ‌دار

(مطالعه موردی: شهر اصفهان)

وحید شریفیان جزی[۱]، حبیب‌اله نصیری[۲]

۲،۱- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

چکیده

تخلف ازچراغ قرمز یکی از شایع‌ترین انواع تخلفات در تقاطع‌های چراغ‌دار است. این نوع از تخلف علاوه بر کاهش سطح ایمنی در تقاطع‌ها، می‌تواند باعث بروز تأخیر در شروع حرکت وسایل نقلیه در فاز بعدی شده و به عبارتی ظرفیت تقاطع‌ها در تخلیه وسایل نقلیه را کاهش دهد. در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از اطلاعات حاصل از فیلم‌برداری در یکی از تقاطع‌های شهر اصفهان و همچنین بهره‌مندی از یک شبکه سلولی در سطح این تقاطع، میزان تأثیر تخلف از چراغ قرمز بر زمان سبز مؤثر و در نتیجه ظرفیت تقاطع‌های چراغ‌دار درون‌شهری ارزیابی شود. نتایج نشان می‌دهد در شرایطی که در سیستم زمان‌بندی تقاطع‌ها از زمان تمام قرمز استفاده نشود، کاهش ظرفیت تقاطع‌ها بر اثر پدیده تخلف از چراغ قرمز۵ درصد است که این میزان با افزایش زمان تمام قرمز تقاطع کاهش می‌یابد. علاوه بر این رفتار رانندگان جریان سبز نسبت به پدیده تخلف از چراغ قرمز تأثیر قابل توجهی بر کاهش ظرفیت تقاطع‌ها دارد.

واژگان کلیدی: تخلف از چراغ قرمز، تقاطع چراغ‌دار، ظرفیت، شبکه سلولی

۱- مقدمه

تخلف از چراغ قرمز یکی از مهمترین عوامل بروز تصادف در تقاطع‌های چراغ‌دار است [۱]. سالانه چیزی در حدود ۱۰۰،۰۰۰ تصادف در ایالات متحده آمریکا بر اثر تخلف از چراغ قرمز رخ می‌دهد که از این تعداد حدود ۹۰،۰۰۰ مورد باعث جراحت و ۱۰۰۰ مورد باعث فوت می‌شود [۲]. تا به حال مطالعات گوناگونی پیرامون ابعاد مختلف این نوع از تخلف صورت گرفته است. برخی از مطالعات به ارزیابی تعداد این تخلفات پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال نتایج دو پژوهش در شهرهای ایران [۳] و [۴] میزان تخلفات از چراغ قرمز را به ترتیب ۱۰/۷۸و ۷/۲۶ تخلف در هر ۱۰۰۰ وسیله نقلیه نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای در آمریکا [۵] این میزان ۴/۱ تخلف به ازای هر ۱۰۰۰ وسیله نقلیه و در تحقیقی در پورتوریکو [۶] یک تخلف در هر ۴ دقیقه ارزیابی شده است. برخی دیگر از پژوهش‌ها به بررسی عوامل مؤثر در بروز تخلف از چراغ قرمز پرداخته‌اند. نتایج پژوهشی نشان می‌دهد احتمال تخلف از چراغ قرمز در بین جوانان بیشتر بوده و این متخلفین کمتر از کمربند ایمنی بهره برده و بیشتر از خودروهای کوچک و قدیمی استفاده می‌کنند [۱]؛ نتایج تحقیقات دیگر نشان می‌دهد که با افزایش حجم ترافیک، میزان تخلف از چراغ قرمز نیز بیشتر می‌شود [۷]؛ همچنین با افزایش درصد وسایل نقلیه سنگین در ترافیک و یا کاهش زمان زرد در تقاطع‌های چراغ‌دار میزان تخلف از چراغ قرمز افزایش می‌یابد [۸]. در تحقیقات دیگری نشان داده شده است که با افزایش یک ثانیه در زمان چراغ زرد، تعداد تخلفات از چراغ قرمز حداقل ۵۰٪ کاهش می‌یابد [۹] و هرچه وسایل نقلیه در نزدیکی تقاطع سرعت بیشتری داشته باشند و یا به‌صورت گروهی به تقاطع نزدیک شوند، میزان تخلف از چراغ قرمز افزایش می‌یابد [۵].

۲- روش تحقیق

در آیین‌نامه ظرفیت راه‌های[1] [۱۰] آمریکا به‌منظور محاسبه ظرفیت خط‌های یک تقاطع چراغ‌دار، از زمان سبز مؤثر استفاده می‌شود. مجموعه روابط مورد استفاده در این آیین‌نامه برای محاسبه ظرفیت یک تقاطع عبارت است از:

$$g_i = G_i + y_i + ar_i - l_1 - l_2 \qquad (1)$$

1 - Highway Capacity Manual (HCM)

$$s = \frac{۳۶۰۰}{h} \quad (۲)$$

$$c_i = s^*\left(g_i / C\right) \quad (۳)$$

که در آن:

g_i: سبز مؤثر هر خط در هر سیکل (ثانیه)

G_i: زمان سبز هر خط در هر سیکل (ثانیه)

y_i: زمان زرد هر خط در هر سیکل (ثانیه)

ar_i: زمان تمام قرمز هر خط در هر سیکل (ثانیه)

$l_۱$: زمان از دست رفته در ابتدای سبز (ثانیه)

$l_۲$: زمان از دست رفته در انتهای زرد (ثانیه)

S: نرخ تردد اشباع (وسیله نقلیه در یک ساعت سبز برای هر خط)

h: سرفاصله زمانی در حالت اشباع (ثانیه)

c_i: ظرفیت (وسیله نقلیه در ساعت به ازای هر خط)

C: طول سیکل (ثانیه)

همانطور که مشاهده می‌شود در روابط HCM به تأثیر پدیده تخلف از چراغ قرمز بر ظرفیت تقاطع توجه نشده است. در این راستا هدف از انجام این پژوهش بررسی میزان تأثیر پدیده تخلف از چراغ قرمز بر ظرفیت تقاطع‌های چراغ‌دار است. در ادامه به بیان جزئیات روش تحقیق پرداخته می‌شود.

۲-۱- انواع تخلف از چراغ قرمز

رفتار رانندگان در جهتی که چراغ سبز به آن‌ها تخصیص داده شده است (جریان سبز) یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر میزان تأخیر ناشی از تخلف از چراغ قرمز است. در واقع اجازه یا عدم اجازه حرکت به وسیله نقلیه متخلف توسط رانندگان جریان سبز به‌طور چشمگیری بر میزان تأخیر تخلف از چراغ قرمز مؤثر است. با درنظرگیری حالات مختلف برای رفتار رانندگان جریان سبز، می‌توان تخلف را به سه نوع زیر تقسیم کرد:

تخلف نوع اول: در این حالت رانندگان جریان سبز تا تخلیه کامل مسیر خود توسط وسیله نقلیه متخلف اقدام به حرکت نمی‌کنند.

تخلف نوع دوم: در این حالت رانندگان جریان سبز با شروع زمان سبز حرکت می‌کنند؛ اما به وسیله نقلیه متخلف اجازه کامل کردن حرکت خود را می‌دهند.

تخلف نوع سوم: در این حالت رانندگان وسایل نقلیه ابتدای صف در جریان سبز، اجازه حرکت را به وسیله نقلیه متخلف نمی‌دهند و وارد تقاطع می‌شوند. در واقع در این شرایط وسیله نقلیه متخلف برای مدتی در بین وسایل نقلیه جریان سبز به دام افتاده و تأثیر تأخیری تخلف از چراغ قرمز تشدید می‌شود.

۲-۲- روش سلولی

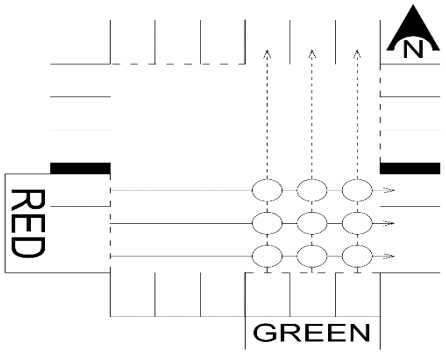
در تقاطع‌های چراغ‌دار میزان تأثیر یک تخلف از چراغ بر تأخیر تحمیل شده به جریان سبز به چندین عامل وابسته است. برخی از این عوامل عبارتند از:

- خطی که وسیله نقلیه متخلف در آن حضور دارد
- جهت حرکت وسیله نقلیه متخلف در تقاطع
- سیستم فازبندی تقاطع

در این مطالعه به‌منظور درنظرگیری عوامل فوق در ارزیابی تأثیر تخلف از چراغ قرمز بر تأخیر وارد شده به جریان سبز و درنتیجه ظرفیت تقاطع‌های چراغ‌دار، از یک شبکه سلولی در سطح تقاطع استفاده می‌شود. در این روش به نقاط تقابل مسیر حرکت وسایل نقلیه در دو فاز پیاپی یک سلول اختصاص داده می‌شود. سپس با اندازه‌گیری زمان رسیدن وسایل نقلیه به سلول‌های تقاطع در دو حالت (با وجود تخلف و بدون وجود تخلف) و با استفاده از روابطی که در ادامه ارائه خواهد شد، تأثیر تخلف از چراغ قرمز بر ظرفیت تقاطع ارزیابی می‌شود. در شکل ۱ طرحی شماتیک از سلول‌های یک تقاطع برای حرکت‌های موجود در دو فاز پیاپی ارائه شده است (فاز اول مربوط به رویکرد غربی و فاز دوم مربوط به رویکرد جنوبی تقاطع است). در این شکل خطوط ممتد نشان‌دهنده مسیر حرکت وسایل نقلیه متخلف در زمان قرمز و خطوط نقطه‌چین نشان‌دهنده مسیر حرکت جریان سبز در زمان سبز است. همچنین سلول‌های تقاطع برای دو فاز اشاره شده با دایره‌هایی نشان داده شده است.

۲-۳- جمع‌آوری اطلاعات

در روابط مورد استفاده در این مطالعه، ارزیابی تأثیر تخلف از چراغ قرمز بر ظرفیت تقاطع‌های چراغ‌دار با استفاده از آمار واقعی برداشت شده از تخلفات حادث شده در تقاطع‌ها صورت می‌گیرد. به این منظور در این مطالعه از روش فیلم‌برداری به‌منظور جمع‌آوری و استخراج اطلاعات مورد نیاز استفاده می‌شود.



شکل ۱: طرحی شماتیک از سلول‌های یک تقاطع برای حرکت‌های موجود در دو فاز پیاپی

۲-۴- مدلسازی

همانطور که اشاره شد در این تحقیق با استفاده از اختلاف زمان تخلیه سلول‌های تقاطع از وسایل نقلیه جریان سبز در دو حالت وجود تخلف و عدم وجود تخلف، تغییرات در ظرفیت تقاطع‌ها ارزیابی می‌شود. لازم به ذکر است به دلیل اینکه میزان تأخیر حاصل از تخلف نوع سوم (رجوع شود به بخش ۲-۱) قابل پیش‌بینی نبوده و مقدار عدد تأخیر می‌تواند تغییرات زیادی داشته باشد، مدلسازی ظرفیت تقاطع‌ها در این مطالعه تنها برای تخلفات نوع اول و دوم انجام می‌پذیرد. به منظور درک بهتر از مدل ارائه شده که در واقع تغییریافته مدل HCM در تعیین ظرفیت تقاطع‌های چراغدار است، مدلسازی در چهار مرحله انجام می‌شود.

- مرحله اول: زمان سبز مؤثر بر اثر هر تخلف برای هر خط فاز مورد بررسی

استخراج روابط ریاضی در این قسمت بر اساس فرضیات ساده‌کننده زیر انجام می‌پذیرد:

۱- رفتار رانندگان در فازی که میزان سبز مؤثر آن ارزیابی می‌شود قانونی است و این رانندگان قبل از شروع سبز وارد تقاطع نمی‌شوند. به‌عبارتی تخلف از چراغ قرمز مربوط به فاز قبلی است.

۲- حرکت چپ‌گرد تنها در خط منتها علیه سمت چپ انجام می‌شود. همچنین دراین خط امکان انجام حرکت مستقیم نیز وجود دارد.

۳- در هر خط از فاز قبلی تنها امکان یک تخلف از چراغ قرمز در هر سیکل وجود دارد.

۴- درصورت بروز همزمان تخلف مستقیم و چپ‌گرد در خطوط مختلف، تأثیر ناشی از تخلف چپ‌گرد کمتر از تخلف مستقیم بوده و در محاسبات تنها تأثیر تخلف مستقیم درنظر گرفته می‌شود.

میزان سبز مؤثر در هر سیکل برای خطهایی که تحت تأثیر تخلف از چراغ قرمز قرار می‌گیرند با استفاده از روابط (۴و۵) بدست می‌آید. لازم به ذکر است در روند مدلسازی، پارامترهایی که دارای اندیس max هستند مربوط به تخلفات نوع دوم و پارامترهای بدون اندیس max مربوط به تخلفات نوع اول هستند.

$$g_i = G_i + y_i + ar_i - \left(D_1 + l_1'\right) - l_2 \quad (۴)$$

$$g_{imax} = G_i + y_i + ar_i - \left(D_2 + l_1\right) - l_2 \quad (۵)$$

که در آن:

g_i: زمان سبز مؤثر برای خط تحت تأثیر از تخلف از چراغ قرمز در هر سیکل (ثانیه)

D_1: تأخیر ایجاد شده بر اثر تخلف نوع اول برای خط تحت تأثیر از تخلف از چراغ قرمز در هر سیکل (ثانیه)

l_1': زمان از دست رفته در ابتدای سبز برای عکس‌العمل نسبت به رفع مانع از سلول پیش‌رو (ثانیه)

D_2: تأخیر ایجاد شده بر اثر تخلف نوع دوم برای خط تحت تأثیر از تخلف از چراغ قرمز در هر سیکل (ثانیه)

سایر پارامترها نشان‌دهنده مؤلفه‌های استفاده شده در رابطه ۱ هستند.

لازم به ذکر است که در رابطه ۵ پارامتر D_2 تأخیر احتمالی ناشی از کاهش سرعت جریان سبز در مواجه با وسیله نقلیه متخلف را شامل نمی‌شود. در واقع فرض می‌شود در حین تخلف نوع دوم، جریان سبز بدون کاهش سرعت اجازه عبور را به وسیله نقلیه متخلف می‌دهد. در نتیجه به دلیل کمینه بودن مقدار D_2، مقدار g بیشینه است.

- مرحله دوم: زمان سبز مؤثر بر اثر هر تخلف برای کل خطوط فاز مورد بررسی

میزان سبز مؤثر در هر سیکل برای کل خطوط فاز مورد بررسی برای هر تخلف با استفاده از روابط زیر بدست می‌آید:

$$g_t = G_i + y_i + ar_i - \frac{n}{n_t}\left(D_1 + l_1'\right) - \frac{(n_t - n)}{n_t} l_1 - l_2 \quad (۶)$$

(۷)

$$g_{tmax} = G_i + y_i + ar_i - \frac{n}{n_t}(D_2 + l_1) - \frac{(n_t - n)}{n_t} l_1 - l_2$$

که در آن:

g_t: زمان سبز مؤثر برای کل خطوط فاز مورد بررسی در هر سیکل (ثانیه)

n_t: تعداد کل خطوط فاز مورد بررسی

n: تعداد خطوط تحت تأثیر تخلف از کل خطوط فاز مورد بررسی

سایر پارامترها قبلاً معرفی شده‌اند.

مقدار n بر اساس حرکت مستقیم یا چپ‌گرد وسیله نقلیه متخلف مشخص می‌شود و برای فازهای مختلف مقادیر متفاوتی دارد.

- مرحله سوم: زمان سبز مؤثر برای تخلفات ثبت شده در یک بازه زمانی

در صورتیکه آمار تخلفات از چراغ قرمز را برای یک رویکرد در بازه‌ای از زمان به‌صورت سیکل به سیکل و به تفکیک جهت حرکت مشخص باشد میزان سبز مؤثر در فاز بعدی را با استفاده از روابط زیر می‌توان بدست آورد:

(۸)

$$g_p = m_t(G_i + y_i + ar_i - l_2) - m_1\left[\frac{n_1}{n_t}\left(D_1 + l_1'\right) + \frac{(n_t - n_1)}{n_t} l_1\right]$$
$$- m_2\left[\frac{n_2}{n_t}\left(D_1 + l_1'\right) + \frac{(n_t - n_2)}{n_t} l_1\right] - (m_t - m_1 - m_2) l_1$$

(۹)

$$g_{pmax} = m_t(G_i + y_i + ar_i - l_2)$$
$$- m_1\left[\frac{n_1}{n_t}(D_2 + l_1) + \frac{(n_t - n_1)}{n_t} l_1\right]$$
$$- m_2\left[\frac{n_2}{n_t}(D_2 + l_1) + \frac{(n_t - n_2)}{n_t} l_1\right] - (m_t - m_1 - m_2) l_1$$

که در آن:

g_p: زمان سبز مؤثر برای کل خطوط فاز مورد بررسی در بازه زمانی مورد نظر (ثانیه)

m_t: تعداد کل سیکل‌های مورد بررسی

m_1: تعداد سیکل‌هایی که تخلف مستقیم یا مستقیم و چپ‌گرد در آن اتفاق افتاده است

m_2: تعداد سیکل‌هایی که فقط تخلف چپ گرد در آن اتفاق افتاده است

n_1: تعداد خطوط تحت تأثیر از تخلف با حرکت مستقیم از کل خطوط فاز مورد بررسی

n_2: تعداد خطوط تحت تأثیر از تخلف با حرکت چپ‌گرد از کل خطوط فاز مورد بررسی

سایر پارامترها قبلاً معرفی شده‌اند.

لازم به ذکر است در صورتیکه مثلاً دو یا سه تخلف مستقیم به موازات هم در خط‌های مختلف اتفاق بیفتد، تأثیر آن با یک تخلف تفاوت چندانی ندارد که این موضوع در روابط بالا در نظر گرفته شده است.

- مرحله چهارم: ظرفیت تقاطع برای تخلفات ثبت شده در یک بازه زمانی

با استفاده از روابط زیر می‌توان ظرفیت هر یک از فازهای تقاطع‌های درون‌شهری را با در نظر گرفتن پدیده تخلف از چراغ قرمز بدست آورد. پارامتر s در این روابط با استفاده از رابطه ۲ قابل محاسبه است.

$$c_p = n_t * s * \left(\frac{g_p}{m_t * C}\right) \quad (۱۰)$$

$$c_{pmax} = n_t * s * \left(\frac{g_{pmax}}{m_t * C}\right) \quad (۱۱)$$

که در آن:

c_p: ظرفیت فاز مورد بررسی بر اساس تخلفات ثبت شده در یک بازه زمانی (وسیله نقلیه در ساعت)

سایر پارامترها قبلاً معرفی شده‌اند.

علاوه بر این، میزان کاهش ظرفیت تقاطع را با وجود پدیده تخلف از چراغ قرمز از روابط زیر می‌توان بدست آورد:

برای تخلف نوع اول

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{c - c_p}{c} * ۱۰۰ = \frac{\frac{n_t * s}{C}\left(g - \frac{g_p}{m_t}\right)}{n_t * s * \left(\frac{g}{C}\right)} * ۱۰۰ = \left(۱ - \frac{g_p}{g * m_t}\right) * ۱۰۰ \quad (۱۲)$$

برای تخلف نوع دوم

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{c - c_{pmax}}{c} = \left(۱ - \frac{g_{pmax}}{g * m_t}\right) * ۱۰۰ \quad (۱۳)$$

که در آن:

$\frac{\Delta c}{c}$: درصد کاهش ظرفیت با وجود تخلف از چراغ قرمز

c: ظرفیت فاز مورد بررسی بدون درنظر گرفتن پدیده تخلف از چراغ قرمز (وسیله نقلیه در ساعت)

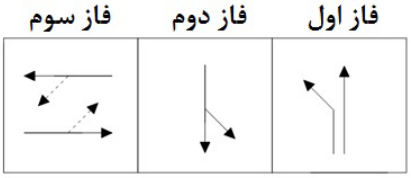
c_p: ظرفیت فاز مورد بررسی با درنظر گرفتن پدیده تخلف از چراغ قرمز (وسیله نقلیه)

g: زمان سبز مؤثر برای کل خط‌های فاز مورد بررسی در بازه زمانی مورد نظر بدون در نظر گرفتن پدیده تخلف از چراغ قرمز (ثانیه)

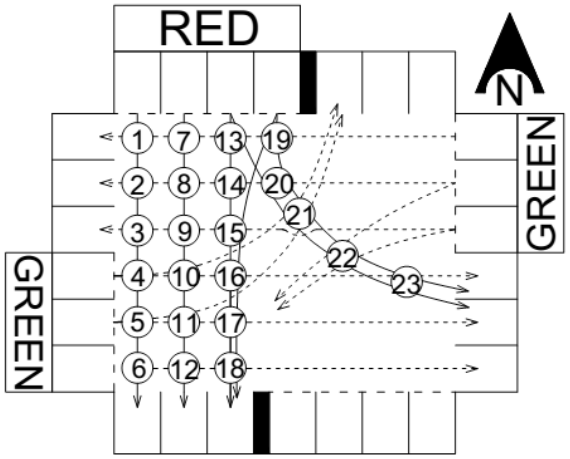
g_p: زمان سبز مؤثر برای کل خطوط فاز مورد بررسی در بازه زمانی مورد نظر با در نظر گرفتن پدیده تخلف از چراغ قرمز (ثانیه)

۳– مطالعه موردی و تحلیل نتایج

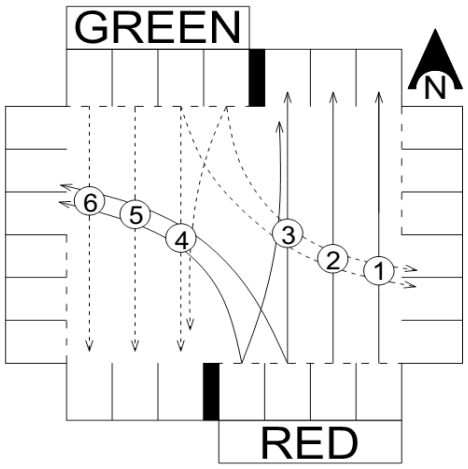
به‌منظور ارزیابی میزان تأثیر تخلف از چراغ قرمز بر ظرفیت تقاطع‌های چراغدار، روابط ارائه شده در قسمت قبل با استفاده از اطلاعات واقعی برداشت شده از یک تقاطع چراغدار مورد بررسی قرار می‌گیرند. به‌این منظور از تقاطع توحید- شریعتی واقع در شهر اصفهان استفاده شده است. این تقاطع دارای سیستم زمان‌بندی سه‌فازه است. در شکل ۲ سیستم فازبندی این تقاطع ارائه شده است. در شکل‌های ۳ تا ۶ سلول‌های این تقاطع با شروع زمان قرمز برای هر یک از رویکردهای تقاطع نشان داده شده است. لازم به ذکر است که شبکه سلولی برای هر رویکرد، تحت تأثیر سیستم فازبندی تقاطع بوده و مختص آن رویکرد است؛ چرا که با توجه به سیستم فازبندی تقاطع است که نقاط تداخل در دو فاز پیاپی مشخص می‌شود.



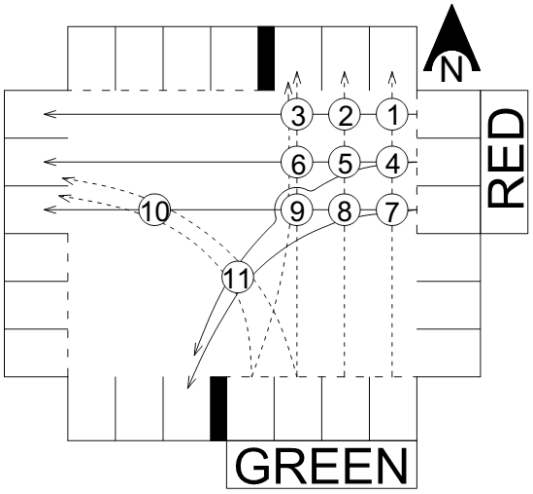
شکل ۲: سیستم فازبندی تقاطع توحید- شریعتی



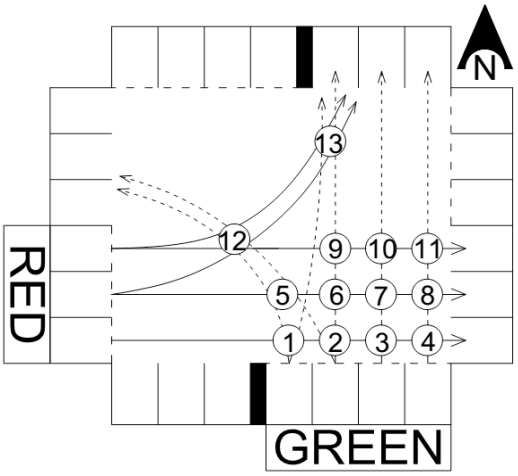
شکل ۳: سلول‌های تقاطع توحید – شریعتی با شروع قرمز رویکرد شمالی



شکل ۴: سلول‌های تقاطع توحید – شریعتی با شروع قرمز رویکرد جنوبی



شکل ۵: سلول‌های تقاطع توحید – شریعتی با شروع قرمز رویکرد شرقی



شکل ۶: سلول‌های تقاطع توحید – **شریعتی با شروع قرمز رویکرد غربی**

بر اساس شکل‌های ۳ تا ۶، شبکه سلولی برای رویکردهای مختلف تقاطع یکسان نبوده و بر حسب میزان تداخل حرکت‌ها در دو فاز پیاپی، تعداد سلول‌های تقاطع برای هر رویکرد تغییر می‌کند. هرچند در شکل‌های ۳ تا ۶ حرکت گردش به چپ در دو خط آخر هر رویکرد نشان داده شده است ولی بر اساس فرض‌های مطالعه در بخش ۲-۴، گردش به چپ تنها در خط آخر هر رویکرد انجام می‌شود.

بر اساس نتایج حاصل از فیلم‌برداری در مرحله جمع‌آوری اطلاعات، ۱۹۶ تخلف در مدت ۴۵ سیکل در تقاطع توحید- شریعتی اتفاق افتاده است. در جدول ۱ تخلفات ثبت شده برای رویکردهای مختلف این تقاطع ارائه شده است.

در جدول ۲ مقادیر مربوط به n_t ،n_1 و n_2 برای این تقاطع با توجه به تعاریف انجام شده در بخش مدلسازی ارائه شده است. این مقادیر با توجه به شکل‌های ۳ تا ۶ ارزیابی شده است.

مقادیر ارائه شده در جدول ۲ نشان‌دهنده تعداد خطوط متأثر از تخلف در رویکردهای فازی است که تخلف از چراغ قرمز در فاز قبلی آن اتفاق افتاده است. به‌عنوان مثال مقادیر ارائه شده در ستون اول جدول ۲ نشان می‌دهد که درصورت بروز یک تخلف در رویکرد شمالی تقاطع، ۶ خط موجود در رویکردهای شرقی و غربی (که مربوط به فاز شرقی- غربی هستند) از این تخلف تأثیر می‌پذیرند. درصورتیکه این تخلف مربوط به حرکت مستقیم باشد همه ۶ خط موجود تحت تأثیر تخلف هستند و درصورتیکه تخلف مربوط به حرکت چپ‌گرد باشد ۴ خط از ۶ خط متأثر از تخلف هستند.

در جدول ۳ متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده D_1 و D_2 با توجه به تعاریف انجام شده در بخش مدلسازی ارائه شده است.

مقادیر ارائه شده در جدول ۳ با استفاده از کرنومتر و بازبینی تصاویر ضبط شده از تخلفات بدست آمده است. لازم به ذکر است هرچند با افزایش زمان تمام قرمز تقاطع، طول سیکل نیز افزایش می‌یابد، ولی تأثیر تخلف از چراغ قرمز بر تأخیر وارد شده به جریان سبز کاهش می‌یابد. این مسأله در مقادیر ارائه شده در جدول ۳ لحاظ شده و مقادیر D_1 و D_2 شامل تأخیر حاصل از زمان تمام قرمز نیستند.

در این قسمت به‌عنوان نمونه تأثیر تخلفات ثبت شده در رویکرد شمالی تقاطع توحید- شریعتی بر ظرفیت فاز بعدی این رویکرد (فاز شرقی- غربی) ارزیابی می‌شود. علاوه بر اطلاعات ارائه شده در جداول ۱ تا ۳، سایر اطلاعات مورد نیاز برای استفاده از روابط ۸ تا ۱۳ در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول مقادیر پارامترها بر اساس انواع مقادیر ar (از صفر تا ۴ ثانیه) ارائه شده است تا امکان بررسی تأثیر زمان تمام قرمز بر ظرفیت فاز شرقی- غربی فراهم شود. علاوه بر این برای برخی از پارامترهای این جدول، مقادیری منطقی فرض شده است.

نتایج مدلسازی میزان تغییرات در ظرفیت فاز شرقی- غربی تقاطع توحید- شریعتی بر اثر تخلفات ثبت شده در فاز شمالی در جدول ۵ ارائه و در شکل ۷ نشان داده شده است.

جدول ۱: تخلفات ثبت شده در تقاطع توحید- شریعتی

	رویکرد شمالی	رویکرد جنوبی	رویکرد شرقی	رویکرد غربی	کل
تعداد تخلفات	۶۴	۶۴	۲۱	۴۷	۱۹۶

جدول ۲: مقادیر **nt، n۱ و n۲ برای رویکردهای مختلف تقاطع توحید- شریعتی**

پارامتر	تخلف در رویکرد شمالی	تخلف در رویکرد جنوبی	تخلف در رویکرد شرقی	تخلف در رویکرد غربی
n_t	۶	۴	۴	۴
n_1	۶	۱	۴	۴
n_2	۴	۴	۴	۲

جدول ۳: مقادیر D_1 و D_2 برای رویکردهای مختلف تقاطع توحید- شریعتی (واحد- ثانیه)

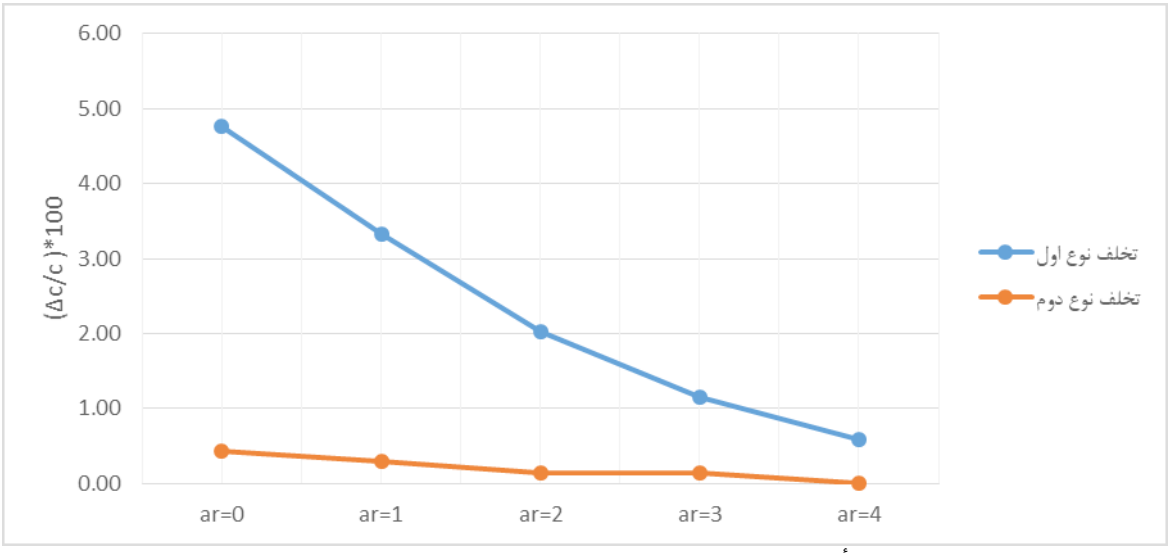
	ar=۰		ar =۱		ar =۲		ar =۳		ar =۴	
	D_1	D_2	D_1	D_2	D_1	D_2	D_1	D_2	D_1	D_2
تخلف در رویکرد شمالی	۳/۳	۰/۳	۲/۳	۰/۲	۱/۴	۰/۱	۰/۸	۰/۱	۰/۴	۰/۰
تخلف در رویکرد جنوبی	۴/۵	۰/۶	۳/۵	۰/۳	۲/۵	۰/۲	۱/۶	۰/۱	۰/۹	۰/۱
تخلف در رویکرد شرقی	۶/۹	۱/۹	۵/۹	۱/۴	۴/۹	۰/۹	۴/۰	۰/۶	۰/۲	۰/۴
تخلف در رویکرد غربی	۵/۹	۱/۹	۴/۹	۱/۳	۳/۹	۱/۰	۲/۹	۰/۷	۰/۱	۰/۵

جدول ۴: مقادیر پارامترهای مورد استفاده در روابط ۸ تا ۱۳

	m_t	m_1	m_2	G_i (s)	y_i (s)	C (s)	h فرضی (s)	l_1 فرضی (s)	l'_1 فرضی (s)	l_2 فرضی (برابر زمان تمام قرمز) (s)
حالت ar=۰	۴۵	۲۴	۴	۴۰	۳	۱۰۴	۲/۴	۲	۲	۰
حالت ar =۱	۴۵	۲۴	۴	۴۰	۳	۱۰۷	۲/۴	۲	۲	۱
حالت ar =۲	۴۵	۲۴	۴	۴۰	۳	۱۱۰	۲/۴	۲	۲	۲
حالت ar =۳	۴۵	۲۴	۴	۴۰	۳	۱۱۳	۲/۴	۲	۲	۳
حالت ar =۴	۴۵	۲۴	۴	۴۰	۳	۱۱۶	۲/۴	۲	۲	۴

جدول ۵: نتایج حاصل از مدلسازی تأثیر تخلف از چراغ قرمز بر ظرفیت فاز شرقی- غربی تقاطع توحید- شریعتی

	تخلف نوع اول			تخلف نوع دوم		
	gp (s)	cp (s)	Δc/c*۱۰۰	gp max (s)	cp max (s)	Δc/c*۱۰۰
حالت ar = ۰	۱۷۵۷	۳۳۷۹	۴/۷۷	۱۸۳۷	۳۵۳۳	۰/۴۳
حالت ar = ۱	۱۷۸۴	۳۳۳۴	۳/۳۲	۱۸۴۰	۳۴۳۹	۰/۲۹
حالت ar = ۲	۱۸۰۸	۳۲۸۷	۲/۰۲	۱۸۴۲	۳۳۵۰	۰/۱۴
حالت ar = ۳	۱۸۲۴	۳۲۲۸	۱/۱۶	۱۸۴۲	۳۲۶۱	۰/۱۴
حالت ar = ۴	۱۸۳۴	۳۱۶۳	۰/۵۸	۱۸۴۵	۳۱۸۱	۰/۰۰



شکل ۷: تأثیر تخلف از چراغ قرمز بر ظرفیت فاز شرقی- غربی تقاطع توحید- شریعتی

بررسی نتایج نشان می‌دهند که پدیده تخلف از چراغ قرمز می‌تواند باعث کاهش ظرفیت در تقاطع‌های چراغدار شود. علاوه بر این، نوع تخلف در میزان کاهش ظرفیت مؤثر بوده و تخلفات از نوع اول چندین برابر تخلفات از نوع دوم در کاهش ظرفیت تقاطع تأثیرگذارند. طبق تعریف ارائه شده برای انواع تخلف در بخش ۲-۱، آنچه باعث تمایز انواع تخلف می‌شود، رفتار رانندگان در جریان سبز تقاطع است. در واقع نتایج نشان می‌دهد میزان کاهش ظرفیت در تقاطع‌های چراغدار به نحو چشمگیری تابع رفتار رانندگان در جریان سبز است. علاوه بر این، شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش زمان تمام قرمز، تأثیر تخلف از چراغ قرمز بر ظرفیت تقاطع کاهش می‌یابد زیرا باعث می‌شود که وسایل نقلیه متخلف در این زمان فرصت تخلیه تقاطع را بدست آورند.

۴- نتیجه‌گیری

تخلف از چراغ قرمز یکی از مهمترین عوامل مؤثر در کاهش سطح ایمنی تقاطع‌های چراغدار درون‌شهری است. در اکثر پژوهش‌ها، پدیده تخلف از چراغ قرمز تنها به لحاظ ایمنی مورد بررسی قرار گرفته و به تأثیر آن بر تأخیر و در نتیجه ظرفیت تقاطع‌ها توجه چندانی نشده است. این موضوع حتی در روابط ظرفیت HCM نیز نادیده گرفته شده است. در این مطالعه سعی شد تا با استفاده از ساختاری سلولی در سطح تقاطع‌های چراغدار به ارزیابی تأثیر پدیده تخلف ازچراغ قرمز بر ظرفیت تقاطع‌های چراغدار پرداخته شود. نتایج این مطالعه بیانگر این است که:

- تخلف ازچراغ قرمز باعث کاهش ظرفیت تقاطع‌های چراغدار تا سقف ۵ درصد می‌شود.

- نوع تخلف و رفتار رانندگان جریان سبز، به‌طور قابل توجهی بر میزان کاهش ظرفیت تقاطع‌اثرگذار است. تخلف نوع اول در مقایسه با تخلف نوع دوم تأثیر بیشتری بر ظرفیت تقاطع‌ها دارد.

- با افزایش زمان تمام قرمز، تأثیر تخلف از چراغ قرمز بر ظرفیت تقاطع‌ها کاهش یافته و نتایج حاصل از مدل ارائه شده به نتایج حاصل از روابط HCM همگرا می‌شود.

مراجع

1- R.A. Retting, and A.F. Williams, 1996, Characteristics of Red Light Violators: Results of a Field Investigation. Journal of Safety Research, 27(1), 9-15.

2- C. Quiroga, E. Kraus, I.V. Schalkwyk, and J. Bonneson, 2003, RED LIGHT RUNNING – A POLICY REVIEW. Texas Transportation Institute, Report No. CTS-02/150206-1.

۳- حامدی، غ‌ح. و عربانی، م.، بررسی عوامل مؤثر در تخطی از چراغ قرمز در تقاطعات چراغدار شهری، ۱۳۹۰، اولین همایش ملی ترافیک، ایمنی و راهکارهای اجرایی ارتقاء آن در محورهای درون‌شهری، برون‌شهری و روستایی.

۴- آذرهوش، ع‌ر.، حامدی، غ‌ح. و مقدس‌نژاد، ف.، بررسی میدانی عوامل مؤثر در تخطی از چراغ قرمز در تقاطعات شهری (مطالعه موردی شهرستان رشت، ۱۳۹۱، سومین کنفرانس بین المللی حوادث رانندگی و جاده‌ای، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.

5- J.A. Bonneson, and H.J. Son, 2003, Prediction of Expected Red-Light-Running Frequency at Urban Intersections. Transportation Research Board, 82st Annual Meeting, Washington, D.C, Paper No. 03-2136.

6- F.E.B. Gonzalez, and A.M.F. Medina, 2012, RED LIGHT RUNNING BEHAVIOR AT SIGNALIZED INTERSECTIONS IN PUERTO RICO. TRB Annual Meeting, Washington D.C.

7- B.E. Porter, and K.J. England, 2000, Predicting red-light-running behavior: A traffic safety study in three urban settings. Journal of Safety Research, 31(1), 1-8.

8- J. Bonneson, M. Brewer, and K. Zimmerman, 2001, Review and evaluation of factors that affect the frequency of red-light-running, Report No. FHWA/TX-02/4027-1.

9- J.A. Bonneson, and K.H. Zimmerman, 2004, Effect of Yellow Interval Timing on Red-Light Violation Frequency at Urban Intersections. Transportation Research Board, 83rd Annual Meeting, Washington, D.C.

10- Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 2010, vol 3: Interrupted Flow, Washington D.C.

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال هفدهم / زمستان ۱۳۹۶ / شماره ۷۱

Modelling the effect of red-light violation on the capacity of signalized intersections (Case Study: Isfahan)

Vahid Sharifianjazi[1], Habibollah Nassiri[2]

1- Master of Science, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Iran
2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Iran

Abstract

One of the frequent aspects of lawlessness at signalized intersections is red-light violation (RLV). In addition to its adverse effect on intersection safety, RLV can cause delay in the start-up of the vehicles in the next phase defined as “green flow”. In this research, the adverse effect of RLV on the effective green time and intersections capacity is evaluated using data collected from one signalized intersection in the City of Esfahan, Iran. By using a cellular network at this intersection, it was shown that if there was no all-red interval in the intersection phasing system, RLV can decrease intersection capacity up to about 5%. This amount decreases by increasing the all-red interval duration. Also, the drivers’ behaviours in the green flow can have significant effect on the reduction of the intersection capacity.

Keywords: Red-Light Violation, Signalized Intersection, Capacity, Cellular Network