فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

ارزیابی تاخیر در گروه خطهای دارای حرکت گردش به چپ محافظت نشده در تقاطعات با چراغ راهنمایی

علی منصورخاکی[۱]، داریوش دریایی[۲]

۱- دانشیار دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشجوی دکتری راه و ترابری دانشگاه علم و صنعت

چکیده

در تقاطعات با چراغ راهنمایی هنگامی که حرکت گردش به چپ در یک فاز به صورت حفاظت نشده[1] صورت می‌گیرد، احتمال برخورد و تصادفات این حرکتها با حرکت مستقیم رویکرد مخالف نیز بالا می‌رود. در این تحقیق، با توجه به روابط ظرفیت حرکت گردش به چپ در شرایط رفتار حفاظت نشده، مطابق آیین نامه HCM، تأخیر گروه خط دارای حرکت گردش به چپ محافظت نشده در حجمهای مختلف گردش به چپ، حجمهای مختلف حرکت مستقیم رویکرد مخالف، تعداد خطوط حرکت مستقیم رویکرد مخالف و نسبت زمان سبز مؤثرهای متفاوت (g/c) محاسبه شد. در این تحقیق علاوه بر بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر مقدار تاخیر گروه خط دارای حرکت گردش به چپ محافظت نشده، برای هر شرایط نسبت g/C و تعداد خطوط رویکرد مخالف(Nopp)، یک مرز بحرانی ارائه شد که با استفاده از آن می‌توان مرز بین شرایط حفاظت شده و حفاظت نشده را برای فازبندی مناسب گردش به چپ انتخاب کرد.

واژگان کلیدی: گردش به چپ حفاظت نشده، تأخیر، مرز بحرانی

۱–مقدمه

حرکت گردش به چپ محافظت نشده به حرکت گردش به چپی گفته می‌شود که در یک فاز با حرکت مستقیم رویکرد مخالف خود در برخورد باشد. در تقاطعات دارای چراغ راهنمایی، بیشتر تصادفات مربوط به حرکت گردش به چپ زمانی است که فاز آن به صورت محافظت نشده کنترل می‌شود. بر اساس استاندارد HCM[2]، حرکات گردش به چپ برای پیدا کردن فاصله زمانی عبور[3] از وسایل نقلیه حرکت مستقیم رویکرد مخالف دچار تأخیر می‌شوند. این تأخیر رابطه مستقیم با حجم حرکات برخوردی وسایل نقلیه رویکرد مخالف دارد. در حرکت گردش به چپ حفاظت نشده عبور حرکت گردش به چپ از بین حرکت مستقیم رویکرد مقابل، باعث بالا رفتن احتمال برخورد وسایل نقلیه و ایجاد تصادف می‌شود.

۲ – تعریف مسأله

در تقاطعات با حجم ترافیک عبوری کم، به علت وجود فاصله زمانی عبور (gap) مناسب، انجام حرکت گردش به چپ از بین حرکت مستقیم رویکرد مخالف مشکل چندانی ندارد ولی با افزایش حجم ترافیک رفته رفته انجام حرکت گردش به چپ سخت تر شده و باعث ایجاد تاخیر فراوان و کاهش سطح سرویس می‌گردد. آمار تصادفات نشان می‌دهد که با تبدیل حرکت گردش به چپ حفاظت نشده به حرکت گردش به چپ حفاظت شده، درصد زیادی از این تصادفات کاهش پیدا می‌کند ولی در حجم‌های ترافیک کم ممکن است که تبدیل حرکت گردش به چپ حفاظت نشده به حرکت گردش به

1. Permitted
2- Highway Capacity Manual
3-Gap

چپ حفاظت شده باعث افزایش طول سیکل چراغ راهنمایی و افزایش تاخیر در کل تقاطع می‌شود.

در این تحقیق رابطه بین تأخیر وسایل نقلیه چپگرد و حجم حرکات مستقیم برخوردی وسایل نقلیه رویکرد مخالف برای تعداد خطوط برخورد حرکات مستقیم رویکرد مخالف و نسبتهای زمان سبز مؤثر (g/c) متفاوت بررسی شده است. ارزیابی تغییرات تاخیر در گروه خطهای دارای حرکت گردش به چپ محافظت نشده برای تشخیص مرز بین استفاده از شرایط حفاظت نشده و حفاظت شده با توجه به تحلیل حساسیتی که در این تحقیق انجام شده، ارائه شده است.

۳- مروری بر تحقیقات گذشته

یکی از مهمترین مفاهیم برای عملکرد خوب یک تقاطع، سطح سرویس است. مفهوم سطح سرویس به سال ۱۹۵۰ بر می‌گردد، که از آن به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری عواملی چون سرعت، زمان سفر، آزادی مانور، گسیختگی ترافیکی، ایمنی، راحتی رانندگی و هزینه‌های اجرایی استفاده می‌شد[۱].

در سال ۱۹۶۶، وبستر و همکارانش برای تعداد وسایل نقلیه چپگرد که به صورت حفاظت نشده از بین حرکات مستقیم رویکرد مخالف در طول هر سیکل تخلیه می‌شوند، رابطه‌ای پیشنهاد کردند. این رابطه تابعی از حداکثر جریان نظری وسایل نقلیه چپگرد عبوری از بین حرکات مستقیم رویکرد مخالف، زمان سبز چراغ، طول سیکل و جریان اشباع و شدت جریان ترافیک حرکت مستقیم رویکرد مخالف بود[۲].

در سال ۱۹۷۰، Tidwell و Humpherys، تأخیر متوسط[1] هر وسیله نقلیه را به عنوان یک معیار برای اندازه‌گیری سطح سرویس معرفی کردند. در بین سالهای ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ روشهای متعددی برای پیدا کردن تأخیر متوسط ناشی از توقف ارائه شد و از آن برای تعیین سطح سرویس استفاده می‌کردند. در سال ۱۹۹۰ به بعد، روابطی بین تأخیر کنترل کننده[2] تقاطع و تأخیر ناشی از توقف بدست آمد[۱].

در سال ۱۹۸۳، تحقیقات زیادی در زمینه معیار انتخاب رفتار حفاظت شده و حفاظت نشده برای حرکت گردش به چپ صورت گرفت[۳].

در سال ۲۰۰۱، مقایسه بین تأخیرات و روشهای محاسبه آنها در بین کشورها رواج یافت. این به خاطر تفاوت‌های آشکار در رفتار رانندگان، نوع وسایل نقلیه و عملکرد چراغهای راهنمایی در کشورهای مختلف بود. با انجام این مقایسه این نتیجه حاصل شد که از بین روشهای مختلف، روش HCM ۲۰۰۰ قابلیت تعیین تأخیر در شرایط کمتر و یا بیشتر از وضعیت اشباع، با در نظر گرفتن دوره تحلیل، و اثرات ناشی از صف باقیمانده از هر دوره زمانی را داراست[۴].

در سال ۲۰۰۳، تحقیقاتی برای پیدا کردن معیار منطقی که تلفیقی از تأخیر و ایمنی در اندازه‌گیری سطح سرویس بود، توسط zhang و همکارانش صورت گرفت. در این تحقیق مدلی از ترکیب تأخیر و ایمنی به عنوان یک شاخص جامع برای تعیین سطح سرویس ارائه شد، و مقایساتی بین سطح سرویس تقاطعات در شرایط حفاظت شده و حفاظت نشده صورت گرفت[۱].

برای محاسبه تأخیر به روش HCM ۲۰۱۰ از جمع سه تأخیر مجزا استفاده می‌شود[۵].

الف) تأخیر یکنواخت: این تأخیر در شرایط جریان مداوم و پایدار[3] و بدون صف اولیه، از رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$d_1 = \frac{0.5c(1-g/c)^2}{1-\left[\min(1,x)(g/c)\right]} \qquad (1)$$

d_1: تأخیر یکنواخت، g/c: نسبت زمان سبز به طول سیکل و X: V/C یا درجه اشباع است.

ب) تأخیر افزایشی: این تأخیر برای شرایط غیر یکنواخت جریان ترافیک و جریان فوق اشباع به کار برده می‌شود و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$d_2 = 900\,T\left[(x-1)+\sqrt{(x-1)^2+\frac{8KIX}{CT}}\right] \qquad (2)$$

d_2: تأخیر افزایشی، T: دوره تحلیل بر حسب ساعت، K: فاکتور تأخیر افزایش مربوط به نوع کنترل کننده، I: فاکتور مربوط به هماهنگی تقاطع بالادست، C: ظرفیت گروه خط و X: نسبت V/C است.

ج) تأخیر ناشی از صف باقیمانده (d_3): این تأخیر هنگامی که صف از پریود زمانی قبلی باقیمانده باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد و با استفاده از دوره تحلیل، نسبت V/C و محاسبه مقدار صف باقیمانده بدست می‌آید.

1- Average delay
2-Control Delay
3-Stable

۴- روش تحقیق

در این تحقیق، از یک تقاطع با حجم‌های متقارن، و با شرایط ایده‌آل (عرض خطوط، ۳/۶۵ متر، بدون شیب، بدون پارک حاشیه‌ای و ایستگاه اتوبوس و ...) استفاده شده است. این تقاطع به صورت دو فاز شمالی-جنوبی و شرقی- غربی به صورت حفاظت نشده و به صورت هوشمند کنترل می‌شود. محاسبه تاخیر یک خط گردش به چپ اختصاصی با حجم‌های مختلف توسط نرم افزار HICAPانجام شده است. عواملی که در هر تحلیل نرم افزاری تغییر می‌کرد، شامل موارد زیر بود:

الف) حجم گردش به چپ: حجم گردش به چپ با بازه‌های ۵۰ وسیله نقلیه در ساعت از ۵۰ تا ۴۰۰ وسیله نقلیه در ساعت تغییر می‌کند. این محدوده تغییرات با توجه به حجمهای اکثر تقاطعات موجود در راههای شریانی درجه ۲ تعیین شده است.

ب) حجم حرکات مستقیم رویکرد مخالف: حجم حرکات مستقیم که با گردش به چپ برخورد دارند، از ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت با بازه‌های ۲۰۰ وسیله نقلیه در ساعت تغییر می‌کند.

ج) تعداد خطوط حرکات مستقیم رویکرد مخالف: یکی از عواملی که بر تأخیر حرکت گردش به چپ تأثیر دارد، تعداد خطوط حرکات مستقیم در رویکرد مخالف است. در این تحقیق از تعداد خطوط ۲ و ۳، برای حرکات مستقیم رویکرد مخالف (N = ۲ و N = ۳) در تحلیل نرم افزاری استفاده شده است.

د) نسبت زمان سبز مؤثر فاز حفاظت نشده (g/c): نسبت زمان سبز مؤثر برای حرکت گردش به چپ به طول سیکل، در نتایج تحلیل نرم افزاری بسیار اثرگذار می‌باشد. به دلیل پهناور بودن محدوده تغییرات نسبت زمان سبز مؤثر g/c))، در این تحقیق از دو مقدار g/c =۰/۴۵ و g/c =۰/۵ استفاده شده است. این مقادیر بیشتر برای تقاطعات دو فازه با حجم‌های متقارن کاربرد دارد.

۵- تعیین تأخیر گروه خط دارای حرکت گردش به چپ محافظت نشده

همانطور که ذکر شد، برای تحلیل ترافیکی هر کدام از عوامل مؤثر در ظرفیت حرکت گردش به چپ از نرم‌افزار Hicap استفاده شد. با تحلیل نرم افزاری توسط Hicap، تأخیر گروه خط حرکت گردش محافظت نشده برای هر حجم گردش به چپ به ازای تغییرات حجم حرکات مستقیم رویکرد مخالف، تعداد خطوط حرکت مستقیم رویکرد مخالف و نسبت زمان سبز مؤثر g/c محاسبه گردید. جداول (۱) تا (۴) مقادیر تأخیر گروه خط دارای حرکت گردش به چپ محافظت نشده را برای تعداد خطوط و g/cهای مختلف نشان می‌دهند. در این جداول N(opposing)، تعداد خط حرکت مستقیم در رویکرد مخالف رویکرد مورد نظر است که با حرکت گردش به چپ محافظت نشده مورد بررسی برخورد دارد و g/C، نسبت زمان سبز موثر به طول سیکل در گروه خط مورد بررسی است که دارای حرکت گردش به چپ محافظت نشده می‌باشد. همچنین V(opposing)، حجم حرکات مستقیم رویکرد مخالف است که با حرکت گردش به چپ محافظت نشده مورد نظر برخورد دارد و VL، حجم حرکت گردش به چپ محافظت نشده مورد نظر است.

جدول۱: تاخیر گردش به چپ محافظت نشده در شرایط Nopp=۲ وg/C=۰.۴۵

Delay(sec/veh) (تاخیردرگروه خط محافظت نشده)								
N(Opposing)=۲ g/C=۰.۴۵								
V(opposing)	(vl=۵۰)	(vl=۱۰۰)	(vl=۱۵۰)	(vl=۲۰۰)	(vl=۲۵۰)	(vl=۳۰۰)	(vl=۳۵۰)	(vl=۴۰۰)
۲۰۰	۱۶.۳	۱۷	۱۷.۸	۱۸.۷	۲۰.۱	۲۱.۹	۲۴.۵	۲۸.۴
۴۰۰	۱۶.۵	۱۷.۵	۱۸.۶	۲۰.۷	۲۳.۸	۲۹	۴۰	۷۶.۱
۶۰۰	۱۶.۸	۱۸.۳	۲۱	۲۶.۶	۴۰	۹۵.۹	۲۹۱.۴	۵۶۰.۳
۸۰۰	۱۷.۴	۲۰.۵	۳۰.۵	۴۲.۳	۳۰۰.۲	۶۷۳	۱۰۶۶.۹	۱۴۶۵.۴
۱۰۰۰	۱۸.۴	۳۲.۸	۱۶۰.۲	۶۴۱.۵	۱۲۱۷	۱۸۰۲.۹	۲۳۹۱.۷	۲۹۸۱.۶
۱۲۰۰	۲۶.۴	۲۸۳.۷	۱۱۴۵.۱	۲۰۸۷.۲	۳۰۳۷.۷	۳۹۹۰.۷	۴۹۴۴.۷	۵۸۹۹.۳
۱۴۰۰	۵۵.۶	۸۶۵.۱	۲۱۱۲.۹	۳۳۸۳.۷	۴۶۵۹.۱	۵۹۳۵.۹	۷۲۱۳.۵	۸۴۹۱.۵
۱۶۰۰	۵۵.۶	۸۶۵.۱	۲۱۱۲.۹	۳۳۸۳.۷	۴۶۵۹.۱	۵۹۳۵.۹	۷۲۱۳.۵	۸۴۹۱.۵
۱۸۰۰	۵۵.۶	۸۶۵.۱	۲۱۱۲.۹	۳۳۸۳.۷	۴۶۵۹.۱	۵۹۳۵.۹	۷۲۱۳.۵	۸۴۹۱.۵
۲۰۰۰	۵۵.۶	۸۶۵.۱	۲۱۱۲.۹	۳۳۸۳.۷	۴۶۵۹.۱	۵۹۳۵.۹	۷۲۱۳.۵	۸۴۹۱.۵

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال ۱۶ / تابستان ۱۳۹۵ / شماره ۶۵

جدول۲: سطح سرویس گردش به چپ محافظت نشده در شرایط Nopp=۲ و g/C=۰.۴۵

Delay(sec/veh) (سطح سرویس درگروه خط محافظت نشده)								
N(Opposing)=۲ g/C=۰.۴۵								
V(opposing)	(vl=۵۰)	(vl=۱۰۰)	(vl=۱۵۰)	(vl=۲۰۰)	(vl=۲۵۰)	(vl=۳۰۰)	(vl=۳۵۰)	(vl=۴۰۰)
۲۰۰	B	B	B	B	C	C	C	C
۴۰۰	B	B	B	C	C	C	D	E
۶۰۰	B	B	C	C	D	F	F	F
۸۰۰	B	C	C	D	F	F	F	F
۱۰۰۰	B	C	F	F	F	F	F	F
۱۲۰۰	C	F	F	F	F	F	F	F
۱۴۰۰	E	F	F	F	F	F	F	F
۱۶۰۰	E	F	F	F	F	F	F	F
۱۸۰۰	E	F	F	F	F	F	F	F
۲۰۰۰	E	F	F	F	F	F	F	F

جدول۳: تاخیر گردش به چپ محافظت نشده در شرایط Nopp=۳ و g/C=۰.۴۵

Delay(sec/veh) (تاخیردرگروه خط محافظت نشده)								
N(Opposing)=۳ g/C=۰.۴۵								
V(opposing)	(vl=۵۰)	(vl=۱۰۰)	(vl=۱۵۰)	(vl=۲۰۰)	(vl=۲۵۰)	(vl=۳۰۰)	(vl=۳۵۰)	(vl=۴۰۰)
۲۰۰	۱۶.۳	۱۷	۱۷.۸	۱۸.۸	۲۰.۲	۲۲.۱	۲۴.۷	۲۸.۸
۴۰۰	۱۶.۴	۱۷.۴	۱۸.۵	۲۰.۳	۲۳.۱	۲۷.۵	۳۶.۱	۵۹.۹
۶۰۰	۱۶.۷	۱۸.۱	۲۰.۳	۲۴.۵	۳۳.۳	۶۰.۲	۱۸۱	۴۱۳.۶
۸۰۰	۱۷.۱	۱۹.۴	۲۵.۳	۴۱.۹	۱۳۰.۱	۴۰۴	۷۴۴.۱	۱۰۹۴
۱۰۰۰	۱۷.۸	۲۳.۵	۴۸.۵	۲۲۹.۹	۶۵۳.۲	۱۱۱۹.۳	۱۵۹۲.۲	۲۰۶۷.۲
۱۲۰۰	۱۸.۸	۴۲.۸	۲۹۱	۸۸۷.۴	۱۵۳۰.۶	۲۱۸۰.۶	۲۸۳۲.۷	۳۴۸۵.۸
۱۴۰۰	۲۵.۱	۲۳۸.۹	۱۰۵۰.۲	۱۹۵۹.۱	۲۸۷۷.۳	۳۷۹۸.۲	۴۷۲۰.۲	۵۶۴۲.۷
۱۶۰۰	۵۵.۶	۸۶۵.۱	۲۱۱۲.۹	۳۳۸۳.۸	۴۶۵۹.۱	۵۹۳۵.۹	۷۲۱۳.۵	۸۴۹۱.۵
۱۸۰۰	۵۵.۶	۸۶۵.۱	۲۱۱۲.۹	۳۳۸۳.۸	۴۶۵۹.۱	۵۹۳۵.۹	۷۲۱۳.۵	۸۴۹۱.۵
۲۰۰۰	۵۵.۶	۸۶۵.۱	۲۱۱۲.۹	۳۳۸۳.۷	۴۶۵۹.۱	۵۹۳۵.۹	۷۲۱۳.۵	۸۴۹۱.۵

جدول۴: سطح سرویس گردش به چپ محافظت نشده در شرایط Nopp=۳ و g/C=۰.۴۵

Delay(sec/veh) (سطح سرویس درگروه خط محافظت نشده)								
N(Opposing)=۳ g/C=۰.۴۵								
V(opposing)	(vl=۵۰)	(vl=۱۰۰)	(vl=۱۵۰)	(vl=۲۰۰)	(vl=۲۵۰)	(vl=۳۰۰)	(vl=۳۵۰)	(vl=۴۰۰)
۲۰۰	B	B	B	B	C	C	C	C
۴۰۰	B	B	B	C	C	C	D	E
۶۰۰	B	B	C	C	C	E	F	F
۸۰۰	B	B	C	D	F	F	F	F
۱۰۰۰	B	C	D	F	F	F	F	F
۱۲۰۰	C	D	F	F	F	F	F	F
۱۴۰۰	E	F	F	F	F	F	F	F
۱۶۰۰	E	F	F	F	F	F	F	F
۱۸۰۰	E	F	F	F	F	F	F	F
۲۰۰۰	E	F	F	F	F	F	F	F

جدول۵: تاخیر گردش به چپ محافظت نشده در شرایط Nopp=۲ و g/C=۰.۵۰

Delay(sec/veh) (تاخیردرگروه خط محافظت نشده)								
N(Opposing)=۲ g/C=۰.۵								
V(opposing)	(vl=۵۰)	(vl=۱۰۰)	(vl=۱۵۰)	(vl=۲۰۰)	(vl=۲۵۰)	(vl=۳۰۰)	(vl=۳۵۰)	(vl=۴۰۰)
۲۰۰	۱۳.۶	۱۴.۲	۱۴.۹	۱۵.۶	۱۶.۶	۱۸	۱۹.۸	۲۲.۳
۴۰۰	۱۳.۷	۱۴.۶	۱۵.۵	۱۶.۹	۱۸.۹	۲۲	۲۷.۲	۳۷.۹
۶۰۰	۱۴	۱۵.۲	۱۶.۹	۲۰.۲	۲۶.۳	۴۱.۲	۱۰۱.۴	۲۸۰
۸۰۰	۱۴.۴	۱۶.۲	۲۱.۲	۳۴.۱	۹۱.۵	۳۲۰.۵	۶۴۰.۶	۹۷۴.۸
۱۰۰۰	۱۵	۲۰.۸	۴۶.۴	۲۳۲.۸	۶۵۹.۳	۱۱۲۷.۳	۱۶۰۲	۲۰۷۸.۸
۱۲۰۰	۱۶.۹	۵۵.۹	۴۴۲.۵	۱۱۲۰.۴	۱۸۲۵.۶	۲۵۳۵.۸	۳۲۴۷.۷	۳۹۶۰.۴
۱۴۰۰	۴۰.۴	۶۸۵.۶	۱۸۳۳.۷	۳۰۱۱.۵	۴۱۹۴.۴	۵۳۷۹	۶۵۶۴.۴	۷۷۵۰.۲
۱۶۰۰	۵۲.۸	۸۶۲.۶	۲۱۱۰.۴	۳۳۸۱.۳	۴۶۵۶.۶	۵۹۳۳.۴	۷۲۱۱	۸۴۸۹
۱۸۰۰	۵۲.۸	۸۶۲.۶	۲۱۱۰.۴	۳۳۸۱.۳	۴۶۵۶.۶	۵۹۳۳.۴	۷۲۱۱	۸۴۸۹
۲۰۰۰	۵۲.۸	۸۶۲.۶	۲۱۱۰.۴	۳۳۸۱.۳	۴۶۵۶.۶	۵۹۳۳.۴	۷۲۱۱	۸۴۸۹

جدول۶: سطح سرویس گردش به چپ محافظت نشده در شرایط Nopp=۲ و g/C=۰.۵۰

Delay(sec/veh) (سطح سرویس درگروه خط محافظت نشده)								
N(Opposing)=۲ g/C=۰.۵۰								
V(opposing)	(vl=۵۰)	(vl=۱۰۰)	(vl=۱۵۰)	(vl=۲۰۰)	(vl=۲۵۰)	(vl=۳۰۰)	(vl=۳۵۰)	(vl=۴۰۰)
۲۰۰	B	B	B	B	B	B	B	C
۴۰۰	B	B	B	B	B	C	C	D
۶۰۰	B	B	B	C	C	D	F	F
۸۰۰	B	B	C	C	F	F	F	F
۱۰۰۰	B	C	D	F	F	F	F	F
۱۲۰۰	B	E	F	F	F	F	F	F
۱۴۰۰	D	F	F	F	F	F	F	F
۱۶۰۰	D	F	F	F	F	F	F	F
۱۸۰۰	D	F	F	F	F	F	F	F
۲۰۰۰	D	F	F	F	F	F	F	F

جدول۷: تاخیر گردش به چپ محافظت نشده در شرایط Nopp=۳ و g/C=۰.۵۰

Delay(sec/veh) (تاخیردرگروه خط محافظت نشده)								
N(Opposing)=۳ g/C=۰.۵								
V(opposing)	(vl=۵۰)	(vl=۱۰۰)	(vl=۱۵۰)	(vl=۲۰۰)	(vl=۲۵۰)	(vl=۳۰۰)	(vl=۳۵۰)	(vl=۴۰۰)
۲۰۰	۱۳.۶	۱۴.۲	۱۴.۹	۱۵.۷	۱۶.۷	۱۸.۱	۲۰	۲۲.۵
۴۰۰	۱۳.۷	۱۴.۵	۱۵.۴	۱۶.۷	۱۸.۶	۲۱.۴	۲۶	۳۴.۸
۶۰۰	۱۴	۱۵	۱۶.۵	۱۹.۳	۲۴.۲	۳۴.۵	۶۸	۱۹۷
۸۰۰	۱۴.۳	۱۵.۸	۱۹.۴	۲۷.۴	۵۲	۱۷۶.۸	۴۴۳.۷	۷۴۴.۸
۱۰۰۰	۱۴.۷	۱۸	۲۹	۸۰.۳	۳۳۸.۳	۷۲۴.۶	۱۱۲۸.۵	۱۵۳۶.۵
۱۲۰۰	۱۵.۴	۲۵.۷	۹۶.۹	۴۸۳.۶	۱۰۱۲.۳	۱۵۵۶.۳	۲۱۰۴	۲۶۵۳
۱۴۰۰	۱۷.۵	۷۱.۸	۵۴۹.۸	۱۲۷۳.۹	۲۰۱۸.۷	۲۷۶۷.۹	۳۵۱۸.۵	۴۲۶۹.۹
۱۶۰۰	۲۹.۱	۴۴۷.۱	۱۴۴۵.۲	۲۴۹۱.۴	۳۵۴۴	۴۵۹۸.۷	۵۶۵۴.۴	۶۷۱۰.۵
۱۸۰۰	۵۲.۸	۸۶۲.۶	۲۱۱۰.۴	۳۳۸۱.۳	۴۶۵۶.۶	۵۹۳۳.۴	۷۲۱۱	۸۴۸۹
۲۰۰۰	۵۲.۸	۸۶۲.۶	۲۱۱۰.۴	۳۳۸۱.۳	۴۶۵۶.۶	۵۹۳۳.۴	۷۲۱۱	۸۴۸۹

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال ۱۶ / تابستان ۱۳۹۵ / شماره ۶۵

جدول۸: سطح سرویس گردش به چپ محافظت نشده در شرایط Nopp=۳ و g/C=۰.۵۰

Delay(sec/veh) (سطح سرویس درگروه خط محافظت نشده)								
N(Opposing)=۳ g/C=۰.۵۰								
V(opposing)	(vl=۵۰)	(vl=۱۰۰)	(vl=۱۵۰)	(vl=۲۰۰)	(vl=۲۵۰)	(vl=۳۰۰)	(vl=۳۵۰)	(vl=۴۰۰)
۲۰۰	B	B	B	B	B	B	B	C
۴۰۰	B	B	B	B	B	C	C	C
۶۰۰	B	B	B	B	C	C	E	F
۸۰۰	B	B	B	C	D	F	F	F
۱۰۰۰	B	B	C	F	F	F	F	F
۱۲۰۰	B	C	F	F	F	F	F	F
۱۴۰۰	B	E	F	F	F	F	F	F
۱۶۰۰	C	F	F	F	F	F	F	F
۱۸۰۰	D	F	F	F	F	F	F	F
۲۰۰۰	D	F	F	F	F	F	F	F

با توجه به جداول(۱) تا (۸)، مشاهده می‌شود تأخیر و سطح سرویس برای حجم‌های گردش به چپ ۵۰ تا ۴۰۰ وسیله نقلیه در ساعت به ازای حجم حرکات مستقیم رویکرد مخالف از ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت محاسبه شده است.

با توجه به اعداد جداول، ملاحظه می‌شود که با افزایش حجم حرکت مستقیم رویکرد مخالف، تأخیر حرکت گردش به چپ محافظت نشده روند صعودی دارد. مقادیر تأخیر بعد از افزایش حجم حرکت مستقیم رویکرد مخالف یکباره افزایش پیدا کرده و حتی به ۸۵۰۰ ثانیه نیز نزدیک شده‌اند که این قضیه به این دلیل است که با افزایش نسبت V/c، مقدار تاخیر افزایشی(d۲) روند صعودی پیدا کرده است.

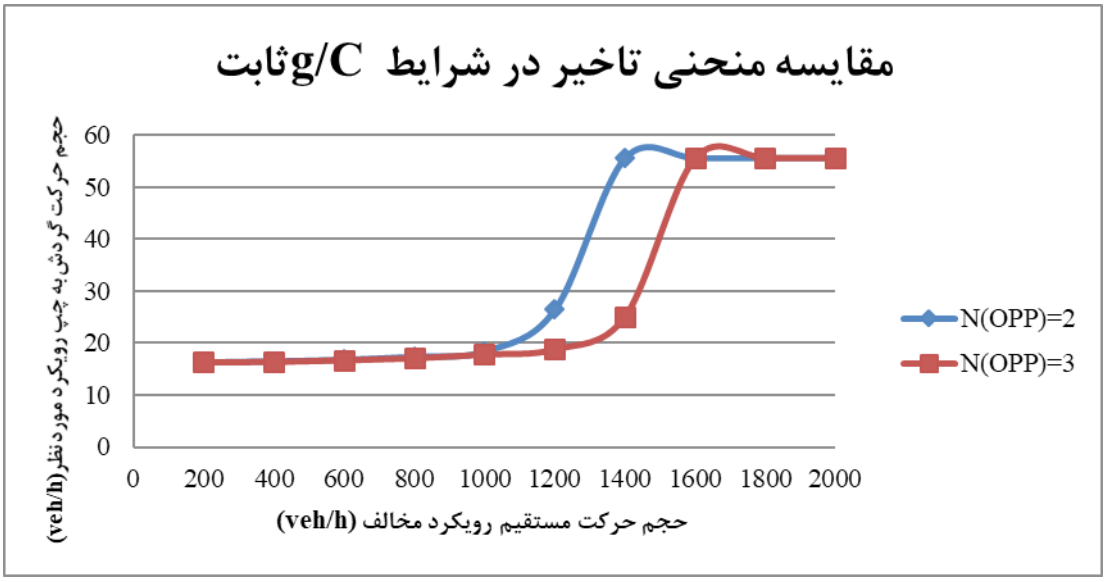
در جداول(۲)، (۴)، (۶) و (۸)، براساس معیار تاخیر کنترلی در HCM سطح سرویس برای هر حالت نشان داده شده است. با مشاهده این جداول، به این نکته می‌توان اشاره کرد که حرکت گردش به چپ محافظت نشده در بسیاری از احجام ترافیکی V(opposing) وVL دارای سطح سرویس F می‌باشد. همانطور که قبلا اشاره شد در حجم‌های کم میزان تاخیر منطقی ولی در حجم‌های بالا مقادیر تاخیر غیر قابل قبول است.

تاثیر تعداد خطوط رویکرد مخالف بر مقدار تاخیر حرکت گردش به چپ محافظت نشده:

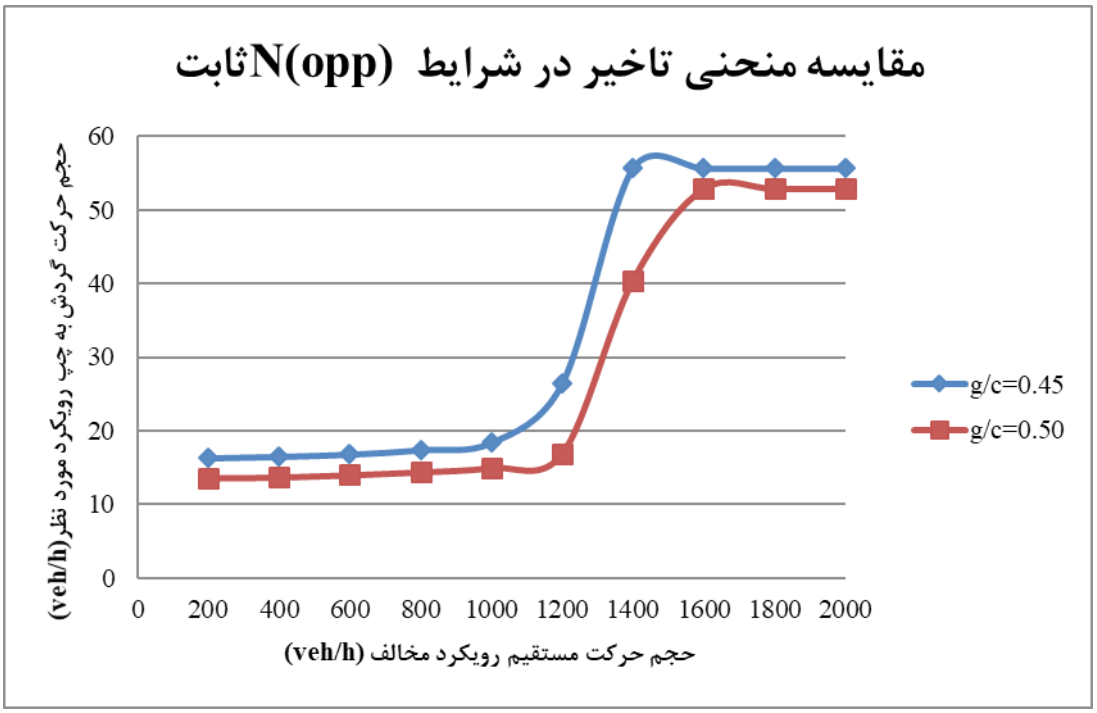
افزایش تعداد خطوط مستقیم رویکرد مخالف، باعث کاهش تاخیر حرکت گردش به چپ محافظت نشده می‌شود. با افزایش تعداد خطوط مستقیم رویکرد مخالف، پراکندگی حجم ترافیک مستقیم رویکرد مخالف در بین خطوط بیشتر شده و در نتیجه فاصله زمانی عبور بیشتری برای انجام حرکت گردش به چپ از بین وسایل نقلیه رویکرد مخالف ایجاد می‌شود. شکل(۱)، مقایسه تاخیر حرکت گردش به چپ محافظت نشده را در دو حالت تعداد خطوط مستقیم رویکرد مخالف(Nopp) ۲ و۳ نشان می‌دهد. با ثابت نگه داشتن پارامترهای تاثیر گذار مانند نسبت g/C، در یک حجم گردش به چپ مشخص(vl=۵۰) مشاهده می‌شود که تاخیر حرکت گردش به چپ محافظت نشده در حالتی که تعداد خطوط رویکرد مخالف برابر ۳ است، کمتر از حالت تعداد خطوط رویکرد برابر ۲ است که این قضیه برای دیگر شرایط g/C و احجام گردش به چپ صادق است. همانطور که در شکل(۱) مشاهده می‌شود، در حجم‌های کم برخوردی حرکت مستقیم رویکرد مخالف، اختلاف بین دو منحنی بسیار ناچیز است و در حجم‌های بالای برخوردی نیز به علت بالا رفتن اعداد تاخیر اختلاف کم است.

تاثیر نسبت g/C بر مقدار تاخیر گروه خط دارای حرکت گردش به چپ محافظت نشده:

با توجه به تاثیر نسبت g/C در روابط تاخیر در HCM، بدیهی است که افزایش نسبت g/C باعث کاهش تاخیر حرکت گردش به چپ محافظت نشده می‌گردد. شکل(۲)، مقایسه تاخیر حرکت گردش به چپ محافظت نشده را در دو حالت نسبت g/C، ۰/۴۵ و ۰/۵۰ در شرایط ثابت تعداد خطوط حرکت مستقیم رویکرد مخالف (N=۲) و حجم گردش به چپ (vl=۵۰) نشان می‌دهد.



شکل۱: مقایسه تاخیر حرکت گردش به چپ محافظت نشده در دو حالت تعداد خطوط مستقیم رویکرد مخالف
برای نسبت g/C=۰.۴۵ و vl=۵۰veh/h



شکل۲: مقایسه تاخیر حرکت گردش به چپ محافظت نشده در دو حالت نسبت g/C برای (Nopp=۲) و vl=۵۰veh/h

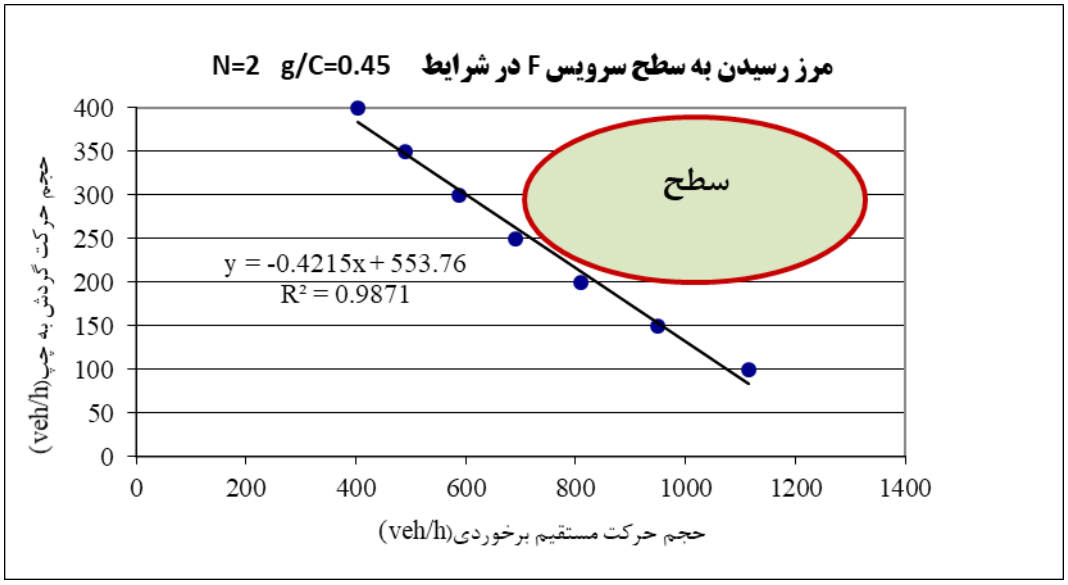
همانطور که در شکل(۲) مشاهده می‌شود، مقدار تاخیر در منحنی g/C برابر ۰/۵۰ کمتر از حالت دیگر است.

فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
سال ۱۶ / تابستان ۱۳۹۵ / شماره ۶۵

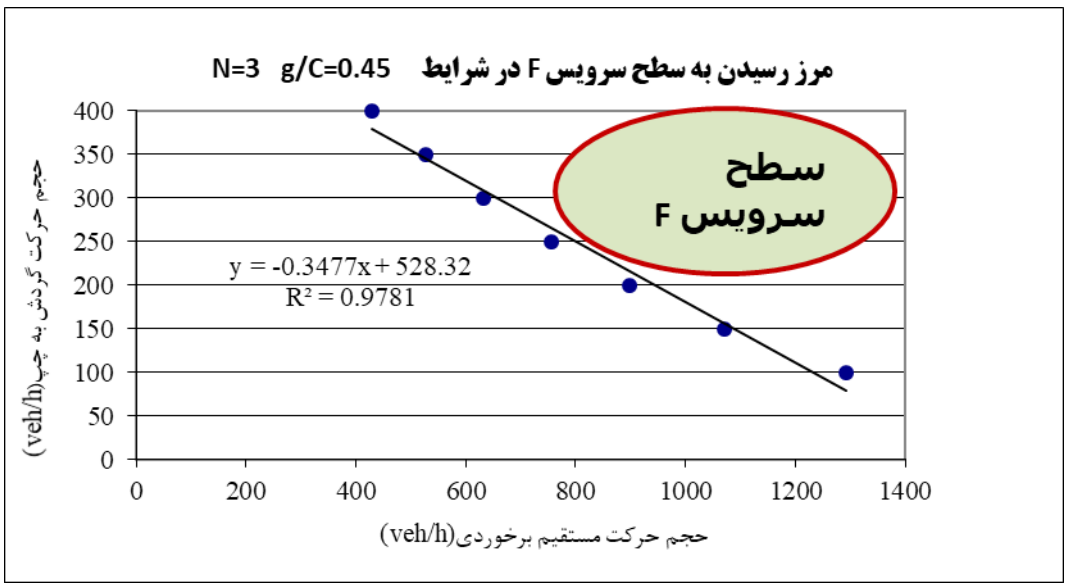
۶– تعیین مرز بحرانی حرکت گردش به چپ محافظت نشده

اگر سطح سرویس F یا تاخیر ۸۰ ثانیه، مرز بحرانی حرکت گردش به چپ محافظت نشده در نظر گرفته شود، می‌توان با درون یابی از اعداد جداول ۱و ۳و۵و۷، احجام ترافیکی که باعث ایجاد تاخیر ۸۰ ثانیه ای شده اند را در هر شرایط بدست آورد.

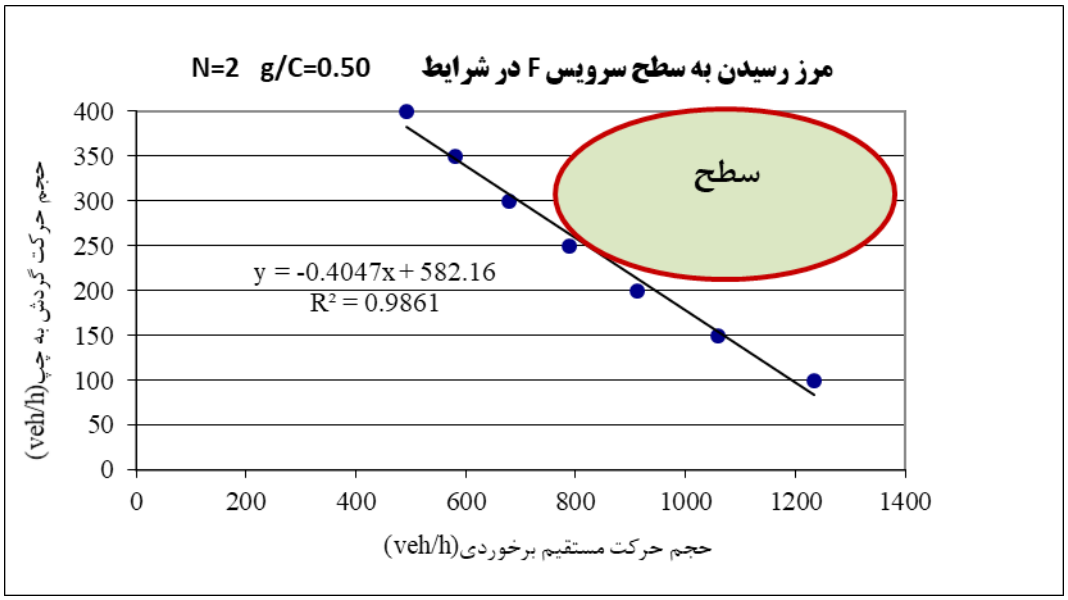
اگر حجم ترافیک گردش به چپ(VL) و حجم حرکت مستقیم برخوردی(Vopp) متناظر با آن را که باعث ایجاد مرز سطح سرویس F(همان ۸۰ ثانیه تاخیر) در گروه خط دارای حرکت گردش به چپ محافظت نشده می‌شود، در هر شرایط بر روی منحنی برده شود شکل‌های (۳) تا(۶) ترسیم می‌شود.



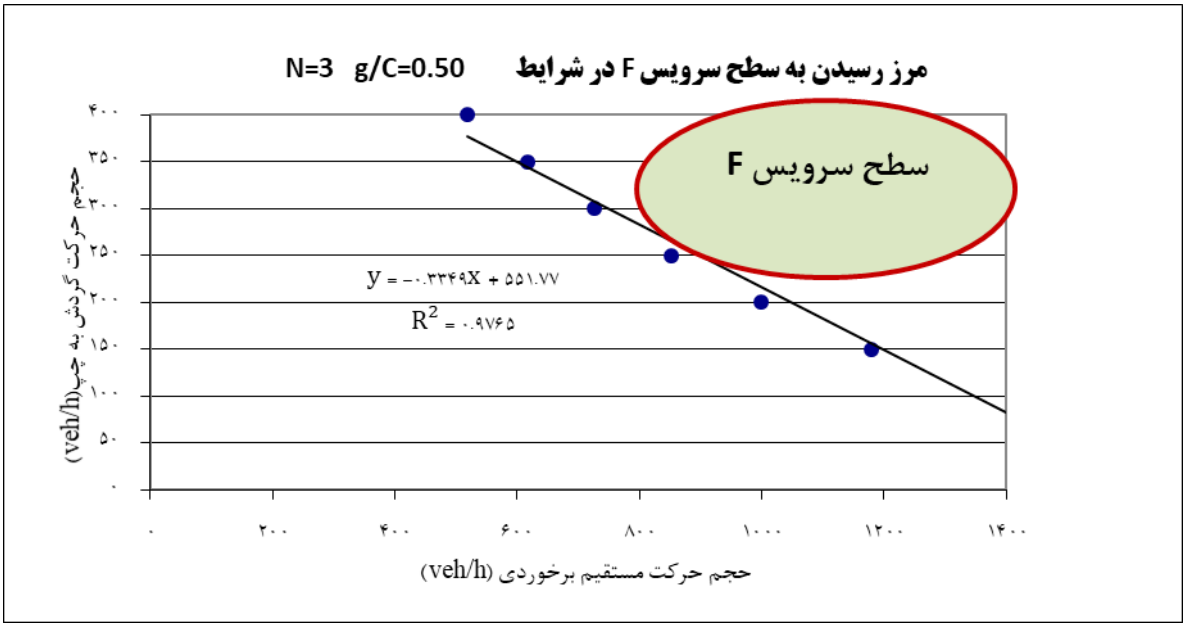
شکل۳: مرز بحرانی حرکت گردش به چپ محافظت نشده برای رسیدن به سطح سرویس F
در شرایط g/C=۰.۴۵ و Nopp=۲



شکل۴: مرز بحرانی حرکت گردش به چپ محافظت نشده برای رسیدن به سطح سرویس F
در شرایط g/C=۰.۴۵ و Nopp=۳



شکل۵: مرز بحرانی حرکت گردش به چپ محافظت نشده برای رسیدن به سطح سرویس F در شرایط g/C=۰.۵۰ و Nopp=۲



شکل۶: مرز بحرانی حرکت گردش به چپ محافظت نشده برای رسیدن به سطح سرویس F در شرایط g/C=۰.۵۰ و Nopp=۳

همانطور که در شکلهای (۳) تا (۶) مشاهده می‌شود، برای هر شرایط نسبت g/C و تعداد خطوط رویکرد مخالف(Nopp)، یک مرز بحرانی برای رسیدن حرکت گردش به چپ محافظت نشده به سطح سرویس F ترسیم شده است. معادله خط این مرز که دارای R^2 قابل قبولی است، نشان می‌دهد که داده‌های بدست آمده نسبت به همدیگر دارای یک روند منطقی می‌باشند. در این معادلات X، حجم حرکت مستقیم رویکرد مخالف و Y، حجم حرکت گردش به چپ می‌باشد. با داشتن حجم حرکت مستقیم رویکرد مخالف و حجم حرکت گردش به چپ در هر شرایطی می‌توان پی برد که آیا مختصات موجود در محدوده سطح سرویس F(بالای منحنی‌های ترسیم شده) قرار می‌گیرد یا خیر؟ در صورت قرار گرفتن در محدوده سطح سرویس F، بایستی دیگر از فاز محافظت نشده برای گردش به چپ استفاده نشود.

۷– خلاصه و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، با توجه به روابط ظرفیت حرکت گردش به چپ در شرایط رفتار حفاظت نشده، مطابق آیین نامه HCM، تأخیر گروه خط د ارای حرکت گردش به چپ محافظت نشده در حجمهای مختلف گردش به چپ، حجمهای مختلف حرکت مستقیم رویکرد مخالف، تعداد خطوط حرکت مستقیم رویکرد مخالف و نسبت زمان سبز مؤثرهای متفاوت (g/c) محاسبه شد. نتایجی که از این تحقیق بدست آمد، به صورت زیر خلاصه شده است:

مقادیر تأخیر گروه خط دارای حرکت گردش به چپ محافظت نشده بعد از افزایش حجم حرکت مستقیم رویکرد مخالف به یکباره افزایش و روند صعودی پیدا می‌کند.

حرکت گردش به چپ محافظت نشده در بسیاری از احجام ترافیکی V(opposing) وVL دارای سطح سرویس F می‌باشد.

افزایش تعداد خطوط مستقیم رویکرد مخالف، باعث کاهش تاخیر حرکت گردش به چپ محافظت نشده می‌شود.

افزایش نسبت g/C باعث کاهش تاخیر حرکت گردش به چپ محافظت نشده می‌گردد.

برای هر شرایط نسبت g/C و تعداد خطوط رویکرد مخالف(Nopp)، یک مرز بحرانی برای رسیدن به سطح سرویس F وجود دارد، که معادله آن بر اساس احجام ترافیکی حجم حرکت مستقیم رویکرد مخالف و حجم حرکت گردش به چپ است.

با در نظر گرفتن ملاک سطح سرزیس F می‌توان مرز بین شرایط حفاظت شده و حفاظت نشده را برای فازبندی گردش به چپ انتخاب کرد.

در کل با در دست داشتن حجم گردش به چپ و حجم حرکات مستقیم برخوردی و برداشتهای وضعیت موجود یک تقاطع، با استفاده از جداول و منحنی‌های بدست آمده، می‌توان علاوه بر پیشنهاد رفتار حفاظت شده و حفاظت نشده، تأخیر حرکت گردش به چپ را نیز تخمین زد.

۸– منابع و مراجع

[1]. Zhang, L. , and Prevedouros, P.D. “Signalized Intersection Los that Accounts for Safety Risk”. The **82** th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 2003.

[2]. Mc Shane W.R. , and Roess R.P. Traffic Engineering, Prentice – Hall , 2011

[3]. Lin, H.J. and Machemel , R.B. “Development study of Implementation Guidelines for Left turn Treatment**”,** Transportation Research Recard No, 905, 1983.

[4]. Tapio Luttinen, R. “Delay at Signalized Intersections, A Comparison of Capcal 2 , Dankap, and HCM 2000” The **82** th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 2003.

[5]. Highway Capacity Manual **2010**, TRB, National Research Council**,** Washington**,** D.C. , 2010

Evaluation of delay in permitted left turn lane group in signalized intersection

Ali Mansour Khaki, Daryoosh Daryaee

1-Associate Professor of Iran University of Science and Technology
2-Phd Student of Road and Transportation of Iran University of Science and Technology

Abstract

In Signalized Intersection when left turn movement is in permitted phase, accident and crash possibility of this movement and through movement of opposing approach increases. In this research, according to capacity equations of permitted left turn in HCM, permitted left turn delay is determined in different conditions such as different left turn volumes, different through volumes in opposing approach, different number of through lanes in opposing approach, and different effective green ratio(g/C). In this research, in addition to evaluate effect of different parameters on permitted left turn delay, for each condition of different green ratio(g/C) and different number of through lanes in opposing approach(Nopp), critical boundary is defined. By this critical boundary, can select appropriate phasing between permitted or protected left turn phase.

Keyword: Permitted left turn**,** delay**,** critical boundary