

ارزیابی تأثیر ترافیکی حذف گردش به چپ مستقیم در تقاطع‌های چراغدار (مطالعه موردی: تقاطع گلزار شهر کرج)

مقاله علمی - پژوهشی

*محمد کوهی (نویسنده مسئول)، دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران- راه و ترابری، دانشگاه پیام نور،

تهران، ایران

بهنام باقرنیا، دانش آموخته کارشناس ارشد، مهندسی عمران- راه و ترابری، دانشگاه آزاد واحد زنجان، زنجان، ایران

ابوالفضل باقرنیا، دانش آموخته کارشناس ارشد، مهندسی عمران- راه و ترابری، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات،

تهران، ایران

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

دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۷

صفحه ۲۵۸-۲۴۳

چکیده

تقاطع‌های چراغدار شهری به عنوان یکی از مهم‌ترین گره‌های شبکه حمل‌ونقل، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد ترافیکی شهرها دارند. یکی از راهکارهای مدیریتی مورد استفاده برای افزایش ظرفیت و کاهش تعارضات ترافیکی، حذف گردش به چپ مستقیم و هدایت جریان‌های مربوطه از طریق دوربرگردان‌های مجاور است. هدف این پژوهش ارزیابی تأثیر این سیاست بر عملکرد ترافیکی تقاطع گلزار شهر کرج است. داده‌های مورد نیاز از طریق برداشت میدانی حجم ترافیک، مشخصات هندسی و زمان‌بندی چراغ راهنمایی در ساعات اوج صبح، ظهر و عصر جمع‌آوری شد. شاخص‌های جریان اشباع، چگالی، سرفاصله زمانی و زمان تلف‌شده برای رویکردهای مختلف تقاطع محاسبه و تحلیل گردید. نتایج نشان داد حذف گردش به چپ مستقیم موجب انتقال بخشی از تقاضای ترافیکی به دوربرگردان‌های مجاور شده است، اما عملکرد کلی تقاطع در اغلب دوره‌های زمانی در سطح قابل قبول باقی مانده است. همچنین محور شرق به غرب بیشترین فشار ترافیکی را تحمل کرده و در ساعات اوج عصر به شرایط نزدیک به اشباع رسیده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که حذف گردش به چپ مستقیم می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی کم‌هزینه برای بهبود عملکرد تقاطع‌های پرتردد شهری مورد استفاده قرار گیرد. مشروط بر آنکه ظرفیت و عملکرد دوربرگردان‌های جایگزین به طور همزمان مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تقاطع چراغدار، حذف گردش به چپ مستقیم، دوربرگردان، عملکرد ترافیکی

۱-مقدمه

با افزایش تقاضای ترافیکی، ازدحام در این تقاطع‌ها به‌طور چشمگیری تشدید شده و زمان کل سفر و تأخیر کلی، به‌ویژه در شرایط حجم بالای ترافیک، وخیم‌تر شده است. روش‌های مرسوم بهبود عملکرد، از جمله بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌ها، استفاده از کنترل‌های فعال و افزودن خطوط اختصاصی،

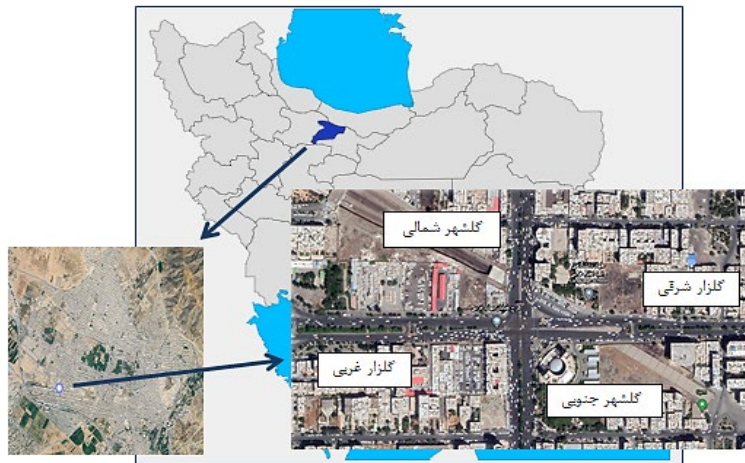
رشد شتابان شهرنشینی و افزایش مالکیت وسایل نقلیه در دهه‌های اخیر، شبکه معابر شهری را با چالش‌های جدی مواجه کرده است. در این میان، تقاطع‌های همسطح چراغدار به‌عنوان گلوگاه‌های اصلی، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد جریان ترافیک، میزان تأخیر، مصرف سوخت و ایمنی ایفا می‌کنند.

در شرایط فعلی نتوانسته‌اند بهبودهای پایدار و قابل توجهی ایجاد کنند. از سوی دیگر، اگرچه تقاطع‌های غیرهم‌سطح ظرفیت بالاتری ارائه می‌دهند، اما به دلیل هزینه‌های ساخت بسیار بالا و تأثیرات منفی بر منظر شهری، در بسیاری از شهرها به‌ویژه با محدودیت منابع مالی، گزینه‌ای مقرون‌به‌صرفه نیستند (Esawey, M.; Sayed, 2013). در پاسخ به این چالش، طرح‌های مدرن تقاطع‌های شریانی به‌عنوان راهکارهای نوآورانه و کم‌هزینه‌تر معرفی شده‌اند. این طرح‌ها با حذف یا جابجایی حرکات پرخاطر (مانند گردش به چپ مستقیم)، تعداد نقاط تداخل را کاهش داده و با کوتاه‌کردن زمان چرخه چراغ، ایمنی و عملکرد را ارتقا می‌بخشند (FHWA, 2010; 2014; Esawey & Sayed, 2013; 2023). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که حذف گردش به چپ مستقیم و هدایت آن از طریق دوربرگردان‌های مجاور، منجر به کاهش صف، کاهش زمان سفر و بهبود ایمنی می‌شود (FHWA, 2014; Esawey & Sayed, 2013; 2023). با این حال، بخش عمده‌ای از پژوهش‌های موجود در تحلیل تقاطع‌های دارای دوربرگردان‌ها (Zhou et al., 2018; Chen, 2018; Wang et al., 2021; Gong et al., 2022; Guin et al., 2023; Omarov et al., 2021; Kat et al., 2022) بر پایه شبیه‌سازی‌های نظری و مدل‌های استاندارد انجام شده‌اند و کمتر به ارزیابی عملکرد واقعی این طرح‌ها در شرایط پیچیده و ناهمگن ترافیک شهرهای در حال توسعه پرداخته‌اند. در این راستا، فقدان داده‌های میدانی معتبر از عملکرد واقعی تقاطع‌های دارای گردش به چپ غیرمستقیم در شهرهای ایران موضوعی است که می‌تواند تصمیم‌گیری مدیران را با چالش مواجه کند. رفتار رانندگان، ترکیب ناهمگن وسایل نقلیه و ویژگی‌های بهره‌برداری شبکه معابر شهری ایران، می‌تواند منجر به تفاوت معنادار شاخص‌های عملکردی نسبت به نتایج مطالعات

بین‌المللی شود. از طرفی، تاکنون پژوهشی که به‌صورت همزمان شاخص‌های کلیدی شامل جریان اشباع، چگالی ترافیک، سرفاصله زمانی و زمان تلف‌شده را در یک تقاطع واقعی مورد ارزیابی قرار دهد، انجام نشده است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف پر کردن این خلأ علمی و ارائه ارزیابی دقیق از تأثیر حذف گردش به چپ مستقیم بر شاخص‌های عملکردی ترافیک، انجام شده است. مطالعه موردی این پژوهش، تقاطع گلزار در شهر کرج است که در آن حرکات گردش به چپ مستقیم حذف و از طریق دوربرگردان‌های مجاور مدیریت شده‌اند. نوآوری اصلی این تحقیق در دو محور است: نخست، استفاده از داده‌های میدانی واقعی در ساعات اوج ترافیک (صبح، ظهر و عصر) برای سنجش عملکرد واقعی تقاطع؛ و دوم، ارزیابی همزمان چندین شاخص حیاتی (جریان اشباع، چگالی، سرفاصله و زمان تلف‌شده) که تاکنون در چنین شرایطی بررسی نشده‌اند. بنابراین نتایج این پژوهش نه تنها درک بهتری از عملکرد طرح‌های مدرن در شرایط ترافیک ناهمگن فراهم می‌کند، بلکه می‌تواند به‌عنوان مبنایی علمی برای تصمیم‌گیری مدیران شهری در خصوص توسعه یا بازنگری سیاست‌های حذف گردش به چپ مستقیم در سایر تقاطع‌های پرتردد مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مطالعه موردی

این مطالعه بر روی تقاطع گلزار شهر کرج در استان البرز انجام می‌شود (شکل ۱). این تقاطع به عنوان یک چهارراه اصلی، با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه و ۱۹ ثانیه شمالی و ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه و ۱۲ ثانیه شرقی، نقش حیاتی در اتصال بلوار گلشهر (از شمال به جنوب) و بلوار گلزار (از غرب به شرق) ایفا می‌کند.



شکل ۱. تقاطع گلزار در شهر کرج - استان البرز

۳- روش تحقیق

این پژوهش از نوع کاربردی و به روش مطالعه موردی انجام شده است. هدف اصلی پژوهش، ارزیابی عملکرد تقاطع چراغدار شهری با گردش‌های چپ غیرمستقیم و بررسی شاخص‌های عملکرد ترافیکی شامل جریان اشباع، چگالی، سرفاصله زمانی و زمان تلف‌شده در شرایط واقعی ترافیک شهری است. انتخاب این شاخص‌ها بر مبنای توانایی آنها در تبیین ابعاد مختلف عملکرد تقاطع صورت گرفت، زیرا نرخ جریان اشباع بیانگر ظرفیت بهره‌برداری هر رویکرد در شرایط اشباع جریان، چگالی ترافیک بیانگر تمرکز وسایل نقلیه در واحد طول مسیر و بیانگر میزان ازدحام ترافیکی، سرفاصله زمانی بیانگر فاصله زمانی بین عبور متوالی وسایل نقلیه از مقطع مورد مطالعه و زمان تلف‌شده بیانگر شاخص کاهش بهره‌وری چراغ راهنمایی و تأخیر ناشی از شرایط عملکردی تقاطع هستند. در نتیجه ترکیب این شاخص‌ها امکان ارزیابی جامع عملکرد تقاطع را فراهم می‌کند. محاسبات این شاخص‌ها براساس معادلات ارائه شده در راهنمای ظرفیت راه (HCM, 2022) و به شرح زیر انجام خواهد شد.

این پژوهش از نوع کاربردی و به روش مطالعه موردی انجام شده است. هدف اصلی پژوهش، ارزیابی عملکرد تقاطع چراغدار شهری با گردش‌های چپ غیرمستقیم و بررسی شاخص‌های عملکرد ترافیکی شامل جریان اشباع، چگالی، سرفاصله زمانی و زمان تلف‌شده در شرایط واقعی ترافیک شهری است. انتخاب این شاخص‌ها بر مبنای توانایی آنها در تبیین ابعاد مختلف عملکرد تقاطع صورت گرفت، زیرا نرخ جریان اشباع بیانگر ظرفیت بهره‌برداری هر رویکرد در شرایط اشباع جریان، چگالی ترافیک بیانگر تمرکز وسایل نقلیه در واحد طول مسیر و بیانگر میزان ازدحام ترافیکی، سرفاصله زمانی بیانگر فاصله زمانی بین عبور متوالی وسایل نقلیه از مقطع مورد مطالعه و زمان تلف‌شده بیانگر شاخص کاهش بهره‌وری چراغ راهنمایی و تأخیر ناشی از شرایط عملکردی تقاطع هستند. در نتیجه ترکیب این شاخص‌ها امکان ارزیابی جامع عملکرد تقاطع را فراهم می‌کند. محاسبات این شاخص‌ها براساس معادلات ارائه شده در راهنمای ظرفیت راه (HCM, 2022) و به شرح زیر انجام خواهد شد.

نرخ جریان اشباع با استفاده از معادله (۱) به دست می‌آید.

(۱)

$$S = S_0 f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} f_{wz} f_{ms} f_{sp}$$

که S نرخ جریان اشباع تنظیم‌شده (خودرو در ساعت در خط یا $vphpl$)، S_0 نرخ جریان اشباع پایه ($pc/h/ln$) و f ضرایب تنظیم w برای عرض خط، HV برای خودروهای سنگین، g برای شیب رویکرد، p برای خط پارک موجود، bb برای تأثیر

انسداده ناشی از اتوبوس که در ناحیه تقاطع توقف می‌کنند، a برای نوع ناحیه، LL برای استفاده از خط، RT و LT برای به ترتیب وجود خودروهای درحال‌گردش به چپ و راست، Rpb برای وجود عابر-دوچرخه در گروه گردش به چپ، f_{wz} برای وجود منطقه عملیات اجرایی، f_{ms} برای انسداد خط پایین‌دست و f_{sp} برای اثر بازگشت صف از تقاطع بعدی) هستند. HCM مقدار $1900 vphpl$ را به عنوان نرخ جریان اشباع پایه پیشنهاد می‌کند.

چگالی با استفاده از معادله (۲) به دست می‌آید.

$$d = \frac{v}{s} \quad (2)$$

که در آن d چگالی جریان ترافیک ($pc/km/ln$)، v نرخ جریان در گروه خط یا رویکرد ($pc/h/ln$) و s نرخ جریان اشباع تنظیم‌شده برای آن گروه خط ($pc/h/ln$) هستند. سرفاصله زمانی با استفاده از معادله (۳) به دست می‌آید.

$$h = \frac{3600}{s} \quad (3)$$

که در آن h میانگین سرفاصله زمانی (s/veh)، s نرخ جریان اشباع ($veh/h/ln$) و 3600 نماینده تعداد ثانیه در یک ساعت هستند. زمان تلف‌شده با استفاده از معادله (۴) به دست می‌آید.

$$t_L = t_{lost1} + t_{lost2} \quad (4)$$

که در آن t_L کل زمان تلف شده در یک فاز (ثانیه)، t_{lost1} زمان تلف شده در ابتدای فاز سبز و t_{lost2} زمان تلف شده در انتهای فاز سبز (زمان پاکسازی تقاطع در فاز زرد و تمام قرمز) هستند.

۴- جمع‌آوری داده‌ها

۴-۱- داده‌های ترافیکی

به منظور ثبت شرایط واقعی بهره‌برداری، برداشت میدانی ترافیک در یک روز کاری عادی (چهارشنبه) و در سه دوره اوج ترافیک شامل اوج صبح (۰۷:۰۰ تا ۰۸:۰۰)، اوج ظهر (۱۲:۰۰ تا ۱۳:۰۰) و اوج عصر (۱۸:۰۰ تا ۱۹:۰۰) انجام شد. برای ثبت داده‌ها، در تمامی رویکردهای تقاطع اپراتورهای برداشت، مستقر شدند و حجم تردد وسایل نقلیه به تفکیک جهت حرکت و نوع وسیله نقلیه ثبت گردید. همچنین به منظور اندازه‌گیری تقاضای ناشی از گردش به چپ حذف‌شده، حجم تردد در دوربرگردان‌های شرقی و غربی تقاطع (مسیرهای جایگزین گردش به چپ حذف‌شده) نیز به صورت همزمان توسط دو اپراتور دیگر برداشت شد. به منظور تعیین حجم ترافیک معادل ساعتی، هر دوره اوج به چهار بازه ۱۵ دقیقه‌ای تقسیم شد و بیشترین حجم ثبت‌شده در بازه بحرانی ۱۵ دقیقه‌ای مبنای محاسبه نرخ جریان ساعتی قرار گرفت. جدول (۱) نتایج برداشت اولیه داده‌های ترافیکی را نشان می‌دهد.

۴-۲- داده‌های هندسی و کنترلی تقاطع

در این پژوهش مشخصات هندسی تقاطع (شکل ۲) شامل تعداد خطوط عبوری، عرض خطوط، وضعیت پارک حاشیه‌ای، طول انبارهای گردش به راست و نحوه تخصیص خطوط حرکت مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اطلاعات مربوط به زمان‌بندی چراغ راهنمایی (جدول ۲) شامل مدت زمان سبز، زرد، قرمز و

چرخه چراغ برای هر یک از دوره‌های اوج ترافیکی استخراج و در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

به منظور تحلیل شاخص‌های عملکردی ترافیک این تقاطع، ذکر این نکته کلیدی حائز اهمیت است که با توجه به شرایط رایج ترافیکی در شهرهای ایران و عدم رعایت کامل فرهنگ ترافیکی توسط رانندگان، ظرفیت عملی معابر اغلب فراتر از ظرفیت تئوریک است. در نتیجه پارامترهای زیر لحاظ گردید. تأثیر پارک حاشیه‌ای: با توجه به وجود پارک‌های حاشیه‌ای که به طور مداوم اشغال می‌شوند، یکی از خطوط در هر رویکرد از چرخه ترافیکی خارج می‌شود. به عنوان مثال، در رویکرد شمال به جنوب که ۵ خط وجود دارد، با کسر یک خط برای پارک، ظرفیت عملی ۴ خط در نظر گرفته شد.

مدیریت گردش‌ها: این تقاطع فاقد هرگونه گردش به چپ مستقیم است. برای هدایت ترافیک، دو دوربرگردان در ضلع‌های غربی (فاصله ۱۵۰ متری) و شرقی (فاصله ۱۶۰ متری) احداث شده‌اند. بدین ترتیب، خودرویی که قصد حرکت از گلشهر شمالی به گلزار شرقی را دارد، مجبور به استفاده از دوربرگردان غربی است.

انبارهای گردش به راست: تقاطع دارای دو مسیر گردش به راست جدا شده و دو مسیر جدا نشده است. طول انبار در رویکرد جنوب به شمال ۱۸ متر و در رویکرد شرق به غرب ۲۸ متر تعیین شده است.

عرض خطوط: عرض هر خط در تمامی جهت‌ها ۳/۶ متر لحاظ شده است.



شکل ۲. وضعیت هندسی تقاطع گلزار

جدول ۱. میزان حجم ترافیک برداشت شده به تفکیک وسایل نقلیه

رویکرد	نوع وسیله نقلیه	اوج صبح (۰۸:۰۰-۰۷:۰۰)		اوج ظهر (۱۳:۰۰-۱۲:۰۰)		اوج عصر (۱۹:۰۰-۱۸:۰۰)	
		مستقیم	گردش به راست	مستقیم	گردش به راست	مستقیم	گردش به راست
شمال به جنوب	سواری و وانت	۵۱۲	۵۱۶	۷۴۴	۹۹۶	۹۷۲	۵۱۶
	تاکسی ون و مینی بوس	۱۵۱	۱۲	۱۴۶	۳۶	۱۲۲	۲۴
	اتوبوس غیر واحد و کامیون	۱۴	۰	۴	۰	۰	۲۴
	اتوبوس واحد	۱۰	۱۲	۲	۱۲	۲	۱۲
	موتورسیکلت و دوچرخه	۱۲	۸	۹	۰	۶	۱۱
جنوب به شمال	سواری و وانت	۸۲۳	۲۴۰	۱۲۰۰	۷۶۴	۱۱۴۰	۲۴۰
	تاکسی ون و مینی بوس	۱۲۴	۱۰۸	۲۳۱	۴۸	۲۰۰	۱۰۸
	اتوبوس غیر واحد و کامیون	۲۰	۱۲	۷	۰	۵	۱۲
	اتوبوس واحد	۱۸	۰	۵	۰	۱	۰
	موتورسیکلت و دوچرخه	۶	۰	۱۸	۱۲	۳	۰
شرق به غرب	سواری و وانت	۸۳۷	۲۴۰	۱۱۷۹	۹۷۶	۱۵۸۴	۲۴۰
	تاکسی ون و مینی بوس	۱۶۳	۱۲	۹۲	۶۰	۷۳	۱۲
	اتوبوس غیر واحد و کامیون	۹	۰	۱۱	۱۲	۷	۰
	اتوبوس واحد	۸	۱۲	۴	۶	۲	۱۲
	موتورسیکلت و دوچرخه	۳	۰	۹	۱۲	۳	۰
غرب به شرق	سواری و وانت	۷۳۹	۲۰۴	۱۲۶۰	۵۰۴	۱۹۵۶	۲۰۴
	تاکسی ون و مینی بوس	۱۴۴	۱۸۰	۶۲	۱۳۲	۱۲۹	۱۸۰
	اتوبوس غیر واحد و کامیون	۶	۰	۶	۶	۸	۰
	اتوبوس واحد	۱۳	۰	۱۰	۰	۱۲	۰
	موتورسیکلت و دوچرخه	۲	۰	۵	۰	۶	۰
دوربرگردان شرقی	سواری و وانت	۲۵۲		۱۰۵۶		۱۲۴۸	
	تاکسی ون و مینی بوس	۲۴		۱۲۰		۳۶	
	اتوبوس غیر واحد و کامیون	۰		۱۲		۰	
	اتوبوس واحد	۰		۱۲		۱۲	
	موتورسیکلت و دوچرخه	۰		۳۶		۶	
دوربرگردان غربی	سواری و وانت	۷۲۰		۳۲۴		۳۰۰	
	تاکسی ون و مینی بوس	۴۸		۱۲		۴۸	
	اتوبوس غیر واحد و کامیون	۰		۰		۰	
	اتوبوس واحد	۰		۰		۰	
	موتورسیکلت و دوچرخه	۰		۰		۰	

جدول ۲. زمان بندی و فازبندی چراغ راهنمای تقاطع

بازه زمانی	جهت ترافیک		زمان سبز	زمان قرمز	زمان زرد	زمان چرخه کامل
اوج صبح ۰۷:۰۰ - ۰۸:۰۰	فاز اول	شمال به جنوب (۴۵ متری گلشهر)	۴۲ ثانیه	۵۲ ثانیه	۴ ثانیه	۹۸ ثانیه
		جنوب به شمال (۴۵ متری گلشهر)	۴۲ ثانیه	۵۲ ثانیه	۴ ثانیه	
	فاز دوم	شرق به غرب (بلوار گلزار)	۴۸ ثانیه	۴۶ ثانیه	۴ ثانیه	
		غرب به شرق (بلوار گلزار)	۴۸ ثانیه	۴۶ ثانیه	۴ ثانیه	
اوج ظهر ۱۲:۰۰ - ۱۳:۰۰	فاز اول	شمال به جنوب (۴۵ متری گلشهر)	۴۲ ثانیه	۴۷ ثانیه	۴ ثانیه	۹۳ ثانیه
		جنوب به شمال (۴۵ متری گلشهر)	۴۲ ثانیه	۴۷ ثانیه	۴ ثانیه	
	فاز دوم	شرق به غرب (بلوار گلزار)	۴۲ ثانیه	۴۷ ثانیه	۴ ثانیه	
		غرب به شرق (بلوار گلزار)	۴۲ ثانیه	۴۷ ثانیه	۴ ثانیه	
اوج عصر ۱۸:۰۰ - ۱۹:۰۰	فاز اول	شمال به جنوب (۴۵ متری گلشهر)	۴۸ ثانیه	۵۷ ثانیه	۴ ثانیه	۱۰۹ ثانیه
		جنوب به شمال (۴۵ متری گلشهر)	۴۸ ثانیه	۵۷ ثانیه	۴ ثانیه	
	فاز دوم	شرق به غرب (بلوار گلزار)	۵۳ ثانیه	۵۲ ثانیه	۴ ثانیه	
		غرب به شرق (بلوار گلزار)	۵۳ ثانیه	۵۲ ثانیه	۴ ثانیه	

۴-۳- تحلیل داده‌ها و نتایج

به منظور ارزیابی عملکرد تقاطع، چهار شاخص اصلی عملکرد ترافیکی مورد بررسی قرار گرفت: (۱) نرخ جریان اشباع؛ به عنوان شاخص ظرفیت بهره‌برداری هر رویکرد در شرایط اشباع جریان؛ (۲) چگالی ترافیک؛ به عنوان شاخص تمرکز وسایل نقلیه در واحد طول مسیر و بیانگر میزان ازدحام ترافیکی؛ (۳) سرفاصله زمانی؛ به عنوان فاصله زمانی بین عبور متوالی وسایل نقلیه از مقطع مورد مطالعه؛ (۴) زمان تلف شده؛ به عنوان شاخص کاهش بهره‌وری چراغ راهنمایی و تأخیر ناشی از شرایط عملکردی تقاطع.

مقادیر این شاخص‌ها برای هر یک از رویکردهای تقاطع در سه دوره اوج صبح، ظهر و عصر محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند. سپس تغییرات جریان اشباع، چگالی، سرفاصله زمانی و زمان تلف شده در رویکردهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت تا تأثیر حذف گردش به چپ مستقیم و انتقال جریان به دوربرگردان‌ها بر عملکرد تقاطع مشخص شود. علاوه بر تحلیل فنی شاخص‌های عملکردی، تلاش شده است نتایج حاصل از منظر مدیریت و سیاست‌گذاری حمل‌ونقل شهری نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. در واقع هدف صرفاً اندازه‌گیری وضعیت ترافیکی تقاطع نیست، بلکه بررسی قابلیت استفاده از سیاست حذف گردش به چپ مستقیم به عنوان یک ابزار مدیریتی در شبکه معابر شهری است. بر این اساس نتایج هر یک از

شاخص‌های عملکردی علاوه بر تفسیر فنی، از منظر تصمیم‌گیری مدیریتی نیز تحلیل شده‌اند.

۴-۳-۱- تبدیل حجم ترافیک به سواری معادل

به منظور حذف اثر ناهمگنی جریان ترافیک و امکان مقایسه عملکرد رویکردها، حجم تردد وسایل نقلیه به واحد سواری معادل (PCU) تبدیل شد (HCM, 2022). در این راستا از ضرایب همسنگ برای انواع وسایل نقلیه شامل سواری، تاکسی، ون، مینی‌بوس، اتوبوس، کامیون و موتورسیکلت مطابق جدول (۳) استفاده گردید و حجم معادل سواری برای هر رویکرد و هر دوره اوج محاسبه شد. ضرایب همسنگ ارائه شده در جدول (۳) براساس مشاهدات محلی (کالیبراسیون محلی) و شرایط ترافیکی تقاطع تعیین شده است. برای مثال ضریب همسنگ اتوبوس واحد که ۵ انتخاب شده به دلیل طول زیاد، کندی شتاب و نیاز به زمان بیشتر برای خروج از تقاطع است.

جدول (۴) نشان می‌دهد که حجم ترافیک در تمامی رویکردها از دوره اوج صبح به سمت اوج عصر افزایش یافته است. بیشترین حجم ترافیک معادل سواری در دوره عصر مربوط به محور شرقی به غربی تقاطع بوده است. در میان رویکردها، مسیر غرب به شرق با ۲۸۶۱ سواری معادل در ساعت بیشترین حجم

عبوری را به خود اختصاص داده است که بیانگر نقش غالب این محور در جابه‌جایی سفرهای شهری منطقه است. همچنین حجم تردد ثبت شده در دوربرگردان‌های شرقی و غربی نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از تقاضای گردش به چپ به این مسیرهای جایگزین منتقل شده است. این موضوع بیانگر آن است که حذف گردش به چپ مستقیم موجب حذف تقاضا نشده بلکه صرفاً الگوی توزیع جریان را تغییر داده است.

از دیدگاه سیاست‌گذاری حمل‌ونقل، انتقال جریان‌های گردش به چپ به دوربرگردان‌های مجاور نشان می‌دهد که سیاست حذف گردش به چپ باعث حذف تقاضا نمی‌شود بلکه نحوه توزیع آن را در شبکه تغییر می‌دهد. بنابراین موفقیت این سیاست وابسته به ظرفیت عناصر مکمل شبکه از جمله دوربرگردان‌ها، فاصله دسترسی‌ها و وضعیت بهره‌برداری معابر مجاور خواهد بود. این یافته بر ضرورت نگاه شبکه‌ای در مدیریت تقاطع‌ها تأکید دارد.

جدول ۳. ضریب همسنگ تبدیل وسایل نقلیه به واحد سواری (براساس مشاهدات میدانی و با در نظرگیری راهنمای HCM)

وسيله نقلیه	ضریب همسنگ		وسيله نقلیه	ضریب همسنگ
سواری شخصی	۱	اتوبوس واحد	۵	مینی بوس
تاکسی و ون	۲	اتوبوس غیر واحد	۲/۵	دوچرخه و موتور
وانت	۱	کامیون	۲/۵	سایر

جدول ۴. ترافیک تبدیل شده به سواری معادل با توجه به ضریب هم سنگ

رویکرد	مستقیم	گردش به راست	مجموع
اوج صبح (۰۸:۰۰-۰۷:۰۰)			
شمال به جنوب	۹۰۵	۶۰۴	۱۵۰۹
جنوب به شمال	۱۲۱۴	۴۸۶	۱۷۰۰
شرق به غرب	۱۲۲۷	۳۲۴	۱۵۵۱
غرب به شرق	۱۱۰۳	۵۶۴	۱۶۶۷
دوربرگردان شرقی	۳۰۰	-	۳۰۰
دوربرگردان غربی	۸۲۲	-	۸۲۲
اوج ظهر (۱۲:۰۰-۱۳:۰۰)			
شمال به جنوب	۱۰۶۱	۱۱۲۸	۲۱۸۹
جنوب به شمال	۱۷۱۴	۸۶۶	۲۵۸۰
شرق به غرب	۱۴۱۵	۱۱۶۲	۲۵۷۷
غرب به شرق	۱۴۵۲	۷۸۳	۲۲۳۵
دوربرگردان شرقی	۱۴۰۴	-	۱۴۰۴
دوربرگردان غربی	۳۳۶	-	۳۳۶
اوج عصر (۱۸:۰۰-۱۹:۰۰)			
شمال به جنوب	۱۲۲۷	۶۹۰	۱۹۱۷
جنوب به شمال	۱۵۵۴	۴۸۶	۲۰۴۰
شرق به غرب	۱۷۵۹	۳۲۴	۲۰۸۳
غرب به شرق	۲۲۹۷	۵۶۴	۲۸۶۱
دوربرگردان شرقی	۱۳۲۶	-	۱۳۲۶
دوربرگردان غربی	۳۹۶	-	۳۹۶

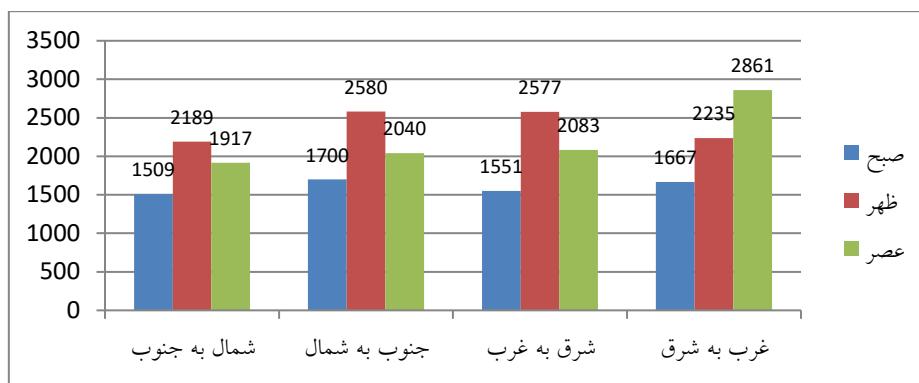
۴-۳-۲- تحلیل آماری تغییرات حجم ترافیک

به منظور بررسی روند تغییرات حجم ترافیک در دوره‌های مختلف اوج، درصد تغییرات حجم ترافیک معادل سواری در رویکردهای مختلف تقاطع محاسبه شد. نتایج نشان داد که حجم ترافیک در تمامی رویکردها از دوره اوج صبح به اوج عصر روند افزایشی داشته است (شکل ۳).

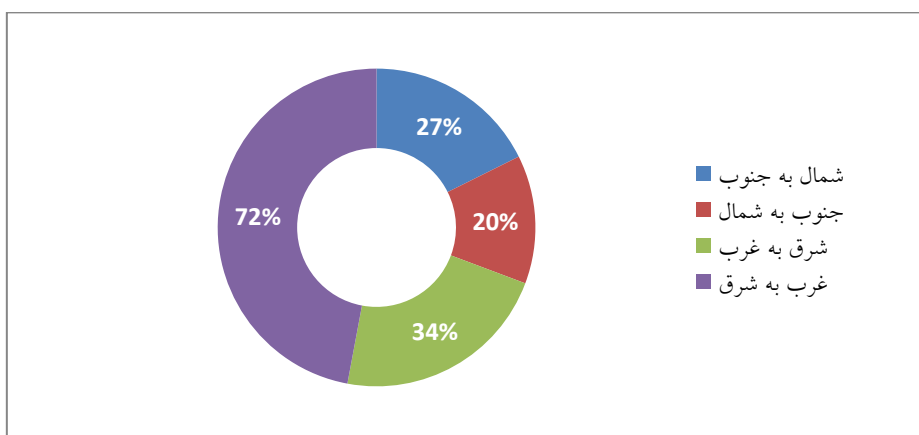
در رویکرد شمال به جنوب، حجم ترافیک از ۱۵۰۹ سواری معادل در ساعت در اوج صبح به ۱۹۱۷ سواری معادل در ساعت در اوج عصر افزایش یافته که بیانگر رشد حدود ۲۷ درصدی است. در رویکرد جنوب به شمال این افزایش حدود ۲۰ درصد و در رویکرد شرق به غرب حدود ۳۴ درصد بوده است. بیشترین افزایش حجم ترافیک مربوط به رویکرد غرب به شرق است که از ۱۶۶۷ به ۲۸۶۱ سواری معادل در ساعت رسیده و رشد حدود ۷۲ درصدی را نشان می‌دهد. شکل (۴) درصد تغییرات حجم

ترافیک رویکردهای مختلف تقاطع را از اوج صبح تا اوج عصر نشان می‌دهد. بررسی دوربرگردان‌های جایگزین نیز نشان داد که حجم ترافیک دوربرگردان شرقی از ۳۰۰ سواری معادل در ساعت در اوج صبح به ۱۳۲۶ سواری معادل در ساعت در اوج عصر افزایش یافته است که رشد بیش از چهار برابری را نشان می‌دهد. این موضوع بیانگر وابستگی عملکرد سیاست حذف گردش به چپ به ظرفیت و عملکرد دوربرگردان‌های جایگزین است. شکل (۵) سهم هر یک از دوربرگردان‌های شرقی و غربی را در جذب جریان‌های حذف‌شده گردش به چپ در دوره‌های مختلف اوج نشان می‌دهد.

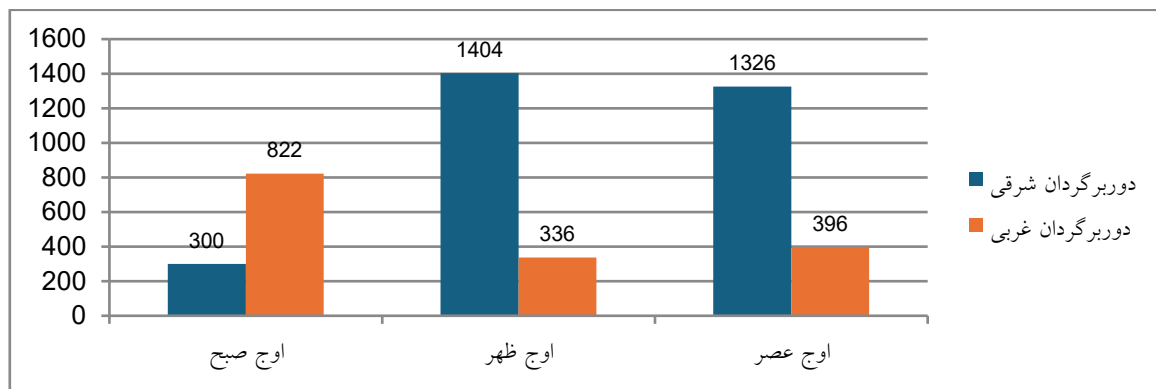
این نتایج نشان می‌دهد که توزیع جریان ترافیک در تقاطع مورد مطالعه متوازن نیست و بخش عمده تقاضای سفر در محور شرق به غرب متمرکز شده است. از منظر مدیریت شهری، این موضوع ضرورت بازنگری در تخصیص زمان سبز چراغ راهنمایی و مدیریت تقاضای سفر در این محور را آشکار می‌سازد.



شکل ۳. مقایسه حجم ترافیک رویکردها



شکل ۴. درصد تغییر حجم ترافیک رویکردها از صبح تا عصر



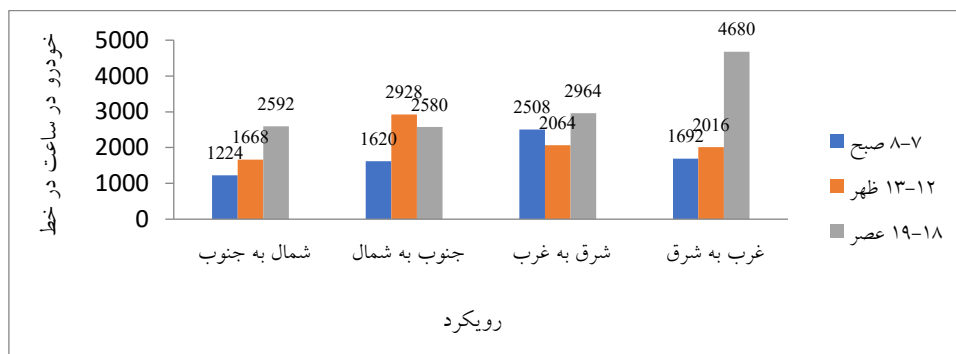
شکل ۵. سهم دوربرگردان‌ها از جریان حذف شده

مستقیم توانسته بخشی از ظرفیت از دست رفته ناشی از فازهای حفاظتی چراغ راهنما را بازیابی کند. این موضوع برای مدیران شهری اهمیت زیادی دارد؛ زیرا نشان می‌دهد افزایش ظرفیت تقاطع الزاماً نیازمند توسعه فیزیکی یا احداث تقاطع غیرهمسطح نیست و در برخی موارد می‌توان با اصلاح الگوی بهره‌برداری به نتایج مشابه دست یافت. مقایسه روند تغییرات حجم ترافیک و نرخ جریان اشباع نشان می‌دهد که با افزایش حجم ترافیک، نرخ جریان اشباع نیز در اکثر رویکردها افزایش یافته است.

این همبستگی مثبت بیانگر آن است که رانندگان در شرایط اوج با کاهش سرفاصله زمانی و استفاده بیشتر از ظرفیت موجود، امکان عبور تعداد بیشتری وسیله نقلیه را فراهم کرده‌اند. با این حال در رویکردهایی که همزمان افزایش چگالی و زمان تلف‌شده مشاهده شده است، ظرفیت بهره‌برداری تقاطع به حدود عملیاتی خود نزدیک شده و احتمال افت عملکرد در صورت افزایش بیشتر تقاضا وجود خواهد داشت.

۴-۳-۳- تعیین نرخ جریان اشباع

شاخص نرخ جریان اشباع در تقاطع برای تمام رویکردها در ساعات اوج روزانه ترافیک در شکل (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که نرخ جریان اشباع در تمامی رویکردها مقدار ثابتی نداشته و متناسب با شرایط بهره‌برداری تقاطع تغییر کرده است. بیشترین نرخ جریان اشباع در رویکردهای دارای حجم ترافیک بالاتر، مشاهده می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که در شرایط اوج ترافیک، رانندگان با کاهش فاصله طولی و زمانی بین وسایل نقلیه، امکان عبور تعداد بیشتری وسیله نقلیه را در واحد زمان فراهم کرده‌اند. همچنین نتایج بیانگر آن است که محور شرقی به غربی تقاطع در اکثر دوره‌های زمانی از ظرفیت عملیاتی بیشتری نسبت به محور شمالی به جنوبی برخوردار بوده است. این تفاوت را می‌توان ناشی از توزیع نامتوازن تقاضای سفر و شرایط هندسی رویکردها دانست. افزایش نرخ جریان اشباع در برخی رویکردها بیانگر آن است که حذف گردش‌های چپ

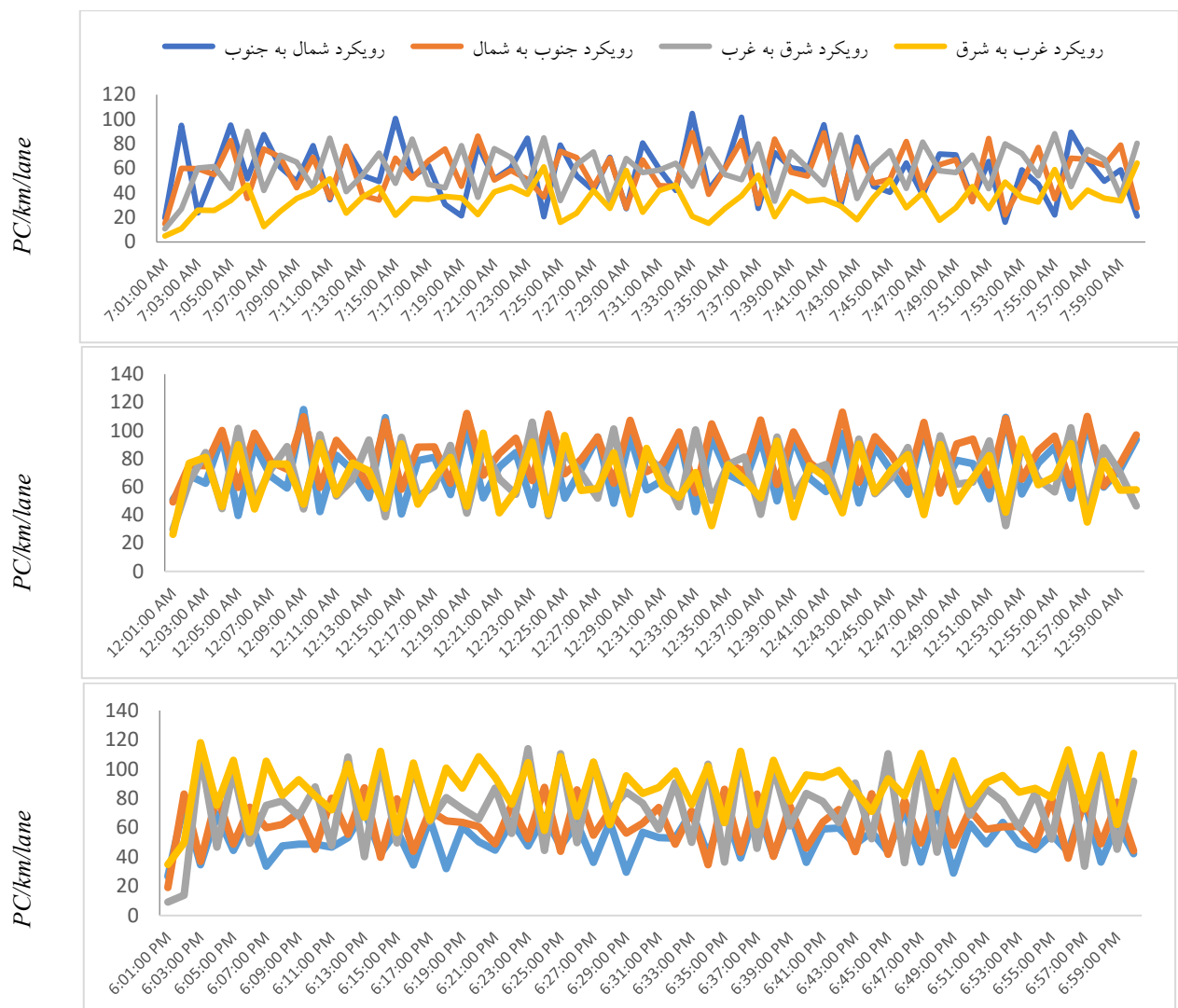


شکل ۶. نرخ جریان اشباع تقاطع گلزار

۴-۳-۴- تعیین چگالی

شاخص چگالی ($PCU/km/lane$) در تقاطع برای تمام رویکردها در ساعات اوج روزانه ترافیک در شکل (۷) نشان داده شده است. بررسی روند تغییرات چگالی نشان می‌دهد که با افزایش حجم ترافیک در ساعات اوج، تراکم وسایل نقلیه نیز افزایش یافته است. بیشترین مقادیر چگالی در رویکردهایی مشاهده می‌شود که بیشترین حجم عبوری را داشته‌اند. این موضوع بیانگر نزدیک شدن جریان ترافیکی به شرایط اشباع در برخی رویکردها است. افزایش چگالی علاوه بر کاهش آزادی

مانور رانندگان، حساسیت عملکرد تقاطع را نسبت به اختلالات ترافیکی افزایش می‌دهد و می‌تواند منجر به تشکیل صف‌های طولانی‌تر در دوره‌های اوج شود. تمرکز چگالی در برخی رویکردها نشان می‌دهد که حذف گردش به چپ به تنهایی قادر به رفع تمامی مشکلات ترافیکی نیست و در صورت رشد مستمر تقاضای سفر، ممکن است نیاز به بازنگری در زمان‌بندی چراغ‌ها یا اجرای اقدامات مکمل مدیریت ترافیک وجود داشته باشد. بنابراین این سیاست باید به عنوان بخشی از یک بسته مدیریتی جامع در نظر گرفته شود.

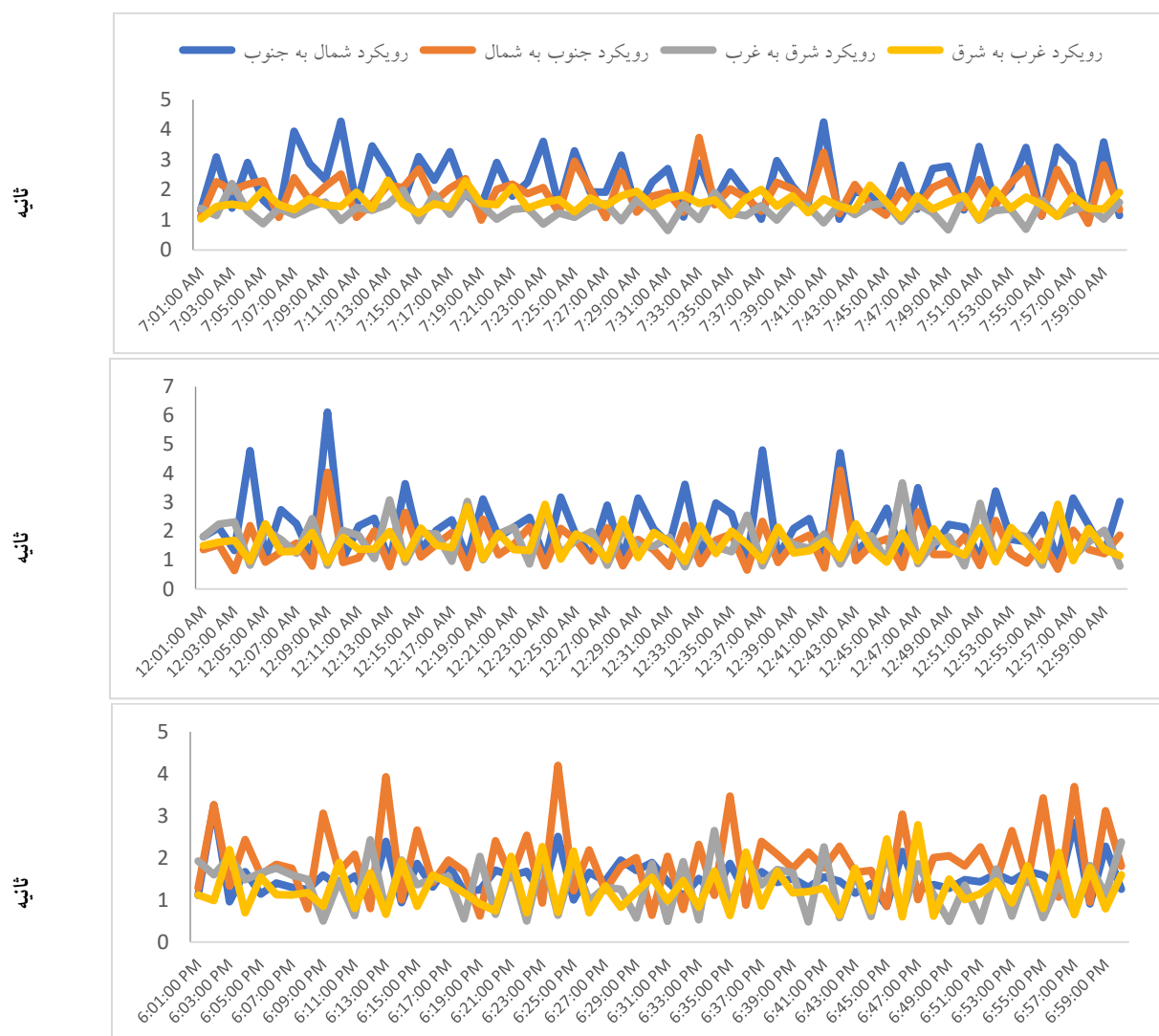


شکل ۷. چگالی نقاط گلزار

۴-۳-۵- تعیین سرفاصله زمانی

شاخص سرفاصله زمانی در تقاطع برای تمام رویکردها در ساعات اوج روزانه ترافیک در شکل (۸) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در رویکردهای پرتردد، میانگین سرفاصله زمانی کاهش یافته است. کاهش سرفاصله زمانی نشان‌دهنده استفاده بیشتر از ظرفیت موجود بوده و معمولاً در شرایط نزدیک به اشباع مشاهده می‌شود. مقایسه نتایج سرفاصله زمانی با تغییرات حجم ترافیک و نرخ جریان اشباع نشان می‌دهد که بین

این شاخص‌ها ارتباط مستقیمی وجود دارد؛ به طوری که با افزایش حجم جریان، سرفاصله زمانی کاهش و نرخ جریان اشباع افزایش یافته است. کاهش سرفاصله زمانی در ساعات اوج نشان می‌دهد که رانندگان از ظرفیت موجود تقاطع استفاده بیشتری کرده‌اند. این موضوع در عین افزایش ظرفیت عبوری، می‌تواند حساسیت جریان ترافیک نسبت به اختلالات ناگهانی را افزایش دهد. از این رو پایش مستمر عملکرد تقاطع و به‌روزرسانی دوره‌ای برنامه چراغ راهنما برای حفظ پایداری جریان ضروری به نظر می‌رسد.

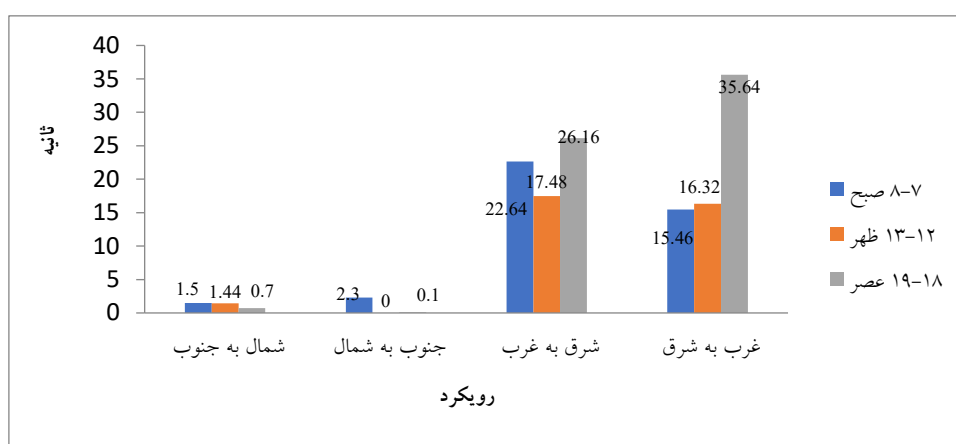


شکل ۸. سرفاصله زمانی تقاطع گلزار

۴-۳-۶- تعیین زمان تلف شده

شاخص زمان تلف شده در تقاطع برای تمام رویکردها در ساعات اوج روزانه ترافیک در شکل (۹) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که زمان تلف شده در تمامی رویکردها یکسان نیست و در برخی جهتها به ویژه در دوره اوج عصر افزایش قابل توجهی داشته است. بیشترین مقادیر زمان تلف شده در رویکردهایی مشاهده می‌شود که دارای حجم ترافیک بالاتر و چگالی بیشتر بوده‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که بخشی از زمان سبز چراغ به دلیل شرایط بهره‌برداری، شتاب‌گیری اولیه

وسایل نقلیه و تشکیل صف‌ها به طور کامل مورد استفاده قرار نگرفته است. بنابراین افزایش حجم ترافیک نه تنها موجب افزایش تراکم جریان می‌شود، بلکه کارایی استفاده از زمان سبز را نیز کاهش می‌دهد. افزایش زمان تلف شده در برخی رویکردها نشان می‌دهد که با وجود حذف گردش به چپ مستقیم، هنوز ظرفیتهایی برای بهبود عملکرد بهره‌برداری تقاطع وجود دارد. این موضوع بیانگر آن است که موفقیت کامل سیاست حذف گردش به چپ نیازمند بازنگری همزمان در زمان‌بندی چراغ راهنما، مدیریت صف‌ها و کنترل عملکرد دوربرگردان‌های جایگزین است.



شکل ۹. زمان تلف شده رویکردهای تقاطع گلزار

۵- بحث

۵-۱- ارزیابی فنی

به منظور ارزیابی میزان موفقیت اقدام حذف گردش به چپ مستقیم در تقاطع گلزار، نتایج حاصل از شاخص‌های عملکردی به صورت یکپارچه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد اگرچه حذف گردش به چپ موجب انتقال بخشی از جریان ترافیک به دوربرگردان‌های مجاور شده است، اما این انتقال منجر به اختلال جدی در عملکرد کلی تقاطع نشده است. همچنین مقادیر جریان اشباع ثبت شده در رویکردهای اصلی بیانگر استفاده مناسب از ظرفیت موجود تقاطع بوده و افزایش قابل توجهی در ازدحام عمومی شبکه مشاهده نشد. از سوی دیگر، افزایش چگالی و زمان تلف شده در برخی رویکردها به ویژه در اوج عصر نشان می‌دهد که این سیاست به تنهایی قادر به رفع کامل مشکلات ترافیکی تقاطع نیست و نیازمند اقدامات مکمل

مدیریتی است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حذف گردش به چپ مستقیم در تقاطع گلزار دارای موفقیت نسبی بوده و توانسته است بدون اجرای پروژه‌های پرهزینه عمرانی، عملکرد تقاطع را در سطح قابل قبول حفظ نماید.

۵-۲- ارزیابی مدیریتی

از دیدگاه مدیریتی، نتایج این پژوهش نشان داد که حذف گردش به چپ مستقیم در تقاطع گلزار موجب تغییر الگوی توزیع جریان‌های ترافیکی و انتقال بخشی از تقاضا به دوربرگردان‌های مجاور شده است. با وجود این انتقال، عملکرد کلی تقاطع در اغلب ساعات اوج در سطح قابل قبول باقی مانده و افزایش قابل توجهی در شاخص‌های بحرانی مشاهده نشده است. این یافته از منظر مدیریتی حائز اهمیت است؛ زیرا نشان می‌دهد در بسیاری از تقاطع‌های پرت تردد می‌توان پیش از اجرای پروژه‌های پرهزینه عمرانی مانند تقاطع‌های غیرهمسطح، از راهکارهای مدیریتی

کم‌هزینه‌تر برای افزایش ظرفیت بهره‌برداری استفاده کرد. حذف گردش به چپ مستقیم یکی از این ابزارهاست که بدون نیاز به توسعه گسترده زیرساخت‌ها قادر به بهبود عملکرد تقاطع است. همچنین نتایج نشان داد که موفقیت این سیاست، وابستگی مستقیمی به عملکرد دوربرگردان‌های جایگزین دارد. بنابراین

پیشنهاد می‌شود هنگام اجرای این سیاست، تقاطع و دوربرگردان‌ها به عنوان یک سیستم یکپارچه مدیریت شوند، زیرا طراحی نامناسب دوربرگردان‌ها می‌تواند موجب انتقال گره ترافیکی از تقاطع اصلی به نقاط مجاور شود. جدول (۵) جمع‌بندی نتایج تحقیق از منظر مدیریتی را نشان می‌دهد.

جدول ۵. جمع‌بندی پیامدهای مدیریتی یافته‌های پژوهش

شاخص	ارزیابی وضعیت	نتیجه مدیریتی
انتقال جریان‌های گردش به چپ به دوربرگردان‌ها	موفق	لزوم مدیریت یکپارچه تقاطع و دوربرگردان
ظرفیت عملیاتی	مطلوب	عدم نیاز فوری به توسعه فیزیکی
جریان اشباع	مطلوب	امکان افزایش ظرفیت بدون توسعه فیزیکی و استفاده مناسب از زمان سبز
چگالی	متوسط	نیاز به بازنگری زمان‌بندی چراغ راهنما برای مدیریت دوره‌های اوج
زمان تلف‌شده	نسبتاً نامطلوب	ضرورت بهینه‌سازی بهره‌برداری با بازنگری برنامه چراغ راهنما
عملکرد کلی تقاطع	قابل قبول	موفقیت نسبی سیاست و قابلیت تعمیم سیاست به تقاطع‌های مشابه

۶- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد ترافیکی تقاطع گلزار شهر کرج پس از حذف گردش به چپ مستقیم و انتقال جریان‌های مربوطه به دوربرگردان‌های مجاور انجام شد. بدین منظور شاخص‌های جریان اشباع، چگالی، سرفاصله زمانی و زمان تلف‌شده در ساعات اوج صبح، ظهر و عصر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حذف گردش به چپ مستقیم موجب حذف تقاضای ترافیکی نشده بلکه الگوی توزیع جریان را تغییر داده است. بررسی حجم ترافیک دوربرگردان‌های شرقی و غربی نشان داد که بخش قابل توجهی از تقاضای گردش به چپ به این مسیرهای جایگزین منتقل شده است. تحلیل شاخص‌های عملکردی نشان داد که محور شرق به غرب بیشترین فشار ترافیکی را تحمل می‌کند و در دوره اوج عصر به شرایط نزدیک به اشباع می‌رسد. همچنین افزایش چگالی و زمان تلف‌شده در برخی رویکردها بیانگر ضرورت بازنگری در برنامه زمان‌بندی چراغ راهنما و مدیریت بهره‌برداری تقاطع است. از دیدگاه مدیریتی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که حذف گردش به چپ مستقیم می‌تواند به عنوان یک راهکار کم‌هزینه و قابل اجرا برای ارتقای عملکرد تقاطع‌های پرتردد شهری مورد استفاده قرار گیرد. با این حال موفقیت این راهکار وابسته به طراحی مناسب دوربرگردان‌ها، مدیریت چراغ‌های راهنما و پایش

مستمر عملکرد شبکه معابر است. بر این اساس پیشنهاد می‌شود متولیان مربوطه پیش از اجرای پروژه‌های توسعه فیزیکی پرهزینه، امکان استفاده از راهکارهای مدیریتی مشابه را مورد بررسی قرار دهند. محدودیت اصلی پژوهش بررسی تنها یک تقاطع شهری است. همچنین تحلیل‌ها بر پایه داده‌های برداشت‌شده در یک روز کاری انجام شده‌اند. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده عملکرد تقاطع‌های مشابه در شهرهای مختلف کشور مورد ارزیابی قرار گیرد و علاوه بر شاخص‌های عملیاتی، اثرات ایمنی، زیست‌محیطی و اقتصادی حذف گردش به چپ مستقیم نیز بررسی شود.

بر اساس نتایج، پیشنهادهای اجرایی زیر ارائه می‌شود.
-بازنگری دوره‌ای در زمان‌بندی چراغ راهنمای تقاطع گلزار به منظور کاهش زمان تلف‌شده در دوره اوج عصر.
-پایش مستمر عملکرد دوربرگردان‌های شرقی و غربی و جلوگیری از ایجاد گره‌های ترافیکی جدید در این نقاط.
-استفاده از راهکار حذف گردش به چپ مستقیم در تقاطع‌های پرتردد شهری، مشروط بر وجود فضای کافی برای احداث دوربرگردان‌های استاندارد.
-بهره‌گیری از سامانه‌های هوشمند کنترل ترافیک برای تنظیم پویا و لحظه‌ای زمان‌بندی چراغ‌ها بر اساس شرایط واقعی جریان ترافیک.

۷-مراجع

- Kay, J. Gates, T.J. Savolainen, P.T. Shakir Mahmud, M. (2022). Safety performance of unsignalized median U-turn intersections. *Transp. Res. Rec*, 2676, 451–466.
- Omarov, M. Ismail, S. Rani, W.N.M.W.M. Durdyev, S. (2021). Estimation of traffic delay due to U-turns at uncontrolled medians: Case study in Phnom Penh, Cambodia. *Sustainability*, 14, 118.
- Wang, L. Zhang, N. Liu, J.G. (2021). Study on Organization of Far-Side U-Turn for Left-Turning Vehicles at T-Intersection Side Roads. *Compr. Transp*, 43, 91–97.
- Zhou, H.S. Hou, X.D. Li, Y.F. (2018). Improvement design of intersection based on far-side U-turn—Taking Lanzhou intersection as an example. *Gansu Sci. Technol*, 34, 88–90.
- Federal Highway Administration (2014). Displaced Left Turn Intersection Informational Guide, Chapter 3: Operational Characteristics; FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, USA, 53–63.
- Highway Capacity Manual, (2022), Transportation Research Board: Washington, DC, USA.
- Chen, J.S. (2018). Planning Method of U-Turn Traffic of Secondary Traffic Flow at Road Intersection, *Hefei University of Technology, Hefei, China*.
- El Esawey, M. Sayed, T. (2013). Analysis of Unconventional Arterial Intersection Designs (UAIDs): State-of-the-Art Methodologies and Future Research Directions. *Transp. A Transp. Sci.*, 9, 860–895.
- El Esawey, M.; Sayed, T. (2023). Comparison of Two Unconventional Intersection Schemes: Crossover Displaced Left-Turn and Upstream Signalized Crossover Intersections. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, 10–19.
- Federal Highway Administration. (2010). Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR). Publication FHWA-HRT-09-060; *Federal Highway Administration: Washington, DC, USA*.
- Gong, S.M. Feng, S.B. Duan, L.M. Chen, Y.Y. Zhang, Q.G. (2022), Research on the U-turn location of vehicles at signalized intersections of urban Main roads. *J. Xinxiang Univ*, 39, 55–59.
- Guin, A. Robinson, K.; Unthank, H. Roy, S. Hunter, M. (2023). Impact of Restricted Crossing U-Turns on Vehicular Emission. *Transp. Res. Rec*. 2023, 2677, 386–397.

Evaluating the Traffic Impact of Eliminating Direct Left Turns at Signalized Intersections

(Case Study: Golzar Intersection, Karaj City)

*Mohammad Koohi, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering,
Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran.*

*Behnam Baghernia, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering,
Zanjan Islamic Azad University, Zanjan, Iran.*

*Abualfazl Bghernia, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering,
SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

E-mail: m.koohhi@gmail.com

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSTRACT

Urban signalized intersections, as one of the most critical nodes in transportation networks, play a decisive role in the traffic performance of cities. One of the management strategies employed to increase capacity and reduce traffic conflicts is the elimination of direct left turns and redirecting the corresponding flows through adjacent U-turns. This study aims to evaluate the impact of this policy on the traffic performance of the Golzar intersection in Karaj. Required data were collected through field surveys of traffic volume, geometric characteristics, and traffic signal timing during morning, noon, and evening peak hours. Saturation flow, density, time headway, and lost time indices were calculated and analyzed for different intersection approaches. The results indicated that eliminating direct left turns shifted a portion of traffic demand to adjacent U-turns; however, the overall performance of the intersection remained at an acceptable level during most time periods. Furthermore, the east–west axis experienced the highest traffic pressure and approached saturation conditions during the evening peak hours. The findings suggest that eliminating direct left turns can serve as a low-cost management strategy to improve the performance of high-traffic urban intersections, provided that the capacity and performance of alternative U-turns are simultaneously considered.

Keywords: Signalized Intersection, Elimination of Direct Left Turn, U-Turn, Traffic Performance