

اثرسنجی شناوری ساعت شروع به کار بر شاخص‌های ترافیکی

(مطالعه موردی: شهر تهران)

آرش رساءیزدی (مسئول مکاتبات)، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: arash_rasa@yahoo.com

هدی بزرگوار، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

حمید برادران، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه تهران، تهران، ایران

زینب نورالله زاده، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

امروزه تراکم ترافیک در کلان‌شهرها یکی از مهم‌ترین معضلاتی است که زندگی روزمره را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عدم تعادل میان عرضه و تقاضای حمل‌ونقل عامل به وجود آمدن تراکم ترافیک است. یکی از راه‌های ایجاد این تعادل مدیریت تقاضا است که هزینه و محدودیت‌های کمتری نسبت به افزایش عرضه حمل‌ونقل دارد. یکی از سیاست‌ها به‌منظور مدیریت تقاضا و کاهش تراکم ترافیک معابر شهر تهران در ساعات اوج، اجرای طرح شناوری ساعت کاری است که در مهرماه سال ۱۴۰۱ اجرا شد. در این مطالعه با استفاده از طول صف معابر شهر تهران به بررسی تأثیر پیاده‌سازی این طرح بر وضعیت ترافیک معابر شهر تهران پرداخته شده است. داده‌های مربوط به هفته سوم مهرماه سال ۱۳۹۸ قبل از همه‌گیری کرونا و هفته سوم مهرماه سال ۱۴۰۱ انتخاب و از مدل رگرسیون خطی برای مدل‌سازی استفاده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند با توجه به حضوری شدن مدارس و دانشگاه‌ها بعد از آموزش غیرحضوری، تغییر رفتار کاربران و افزایش سهم حمل‌ونقل شخصی در شهر تهران در دوران همه‌گیری کووید ۱۹، با اجرای طرح شناوری ساعت کاری طول صف معابر سطح شهر به‌جز محدوده طرح ترافیک به‌مراتب مناسب‌تر از پیش‌بینی مدیریت شهری بوده است.

واژه‌های کلیدی: شناوری ساعت کار، طول صف معابر، مدیریت تقاضا، رگرسیون خطی

۱. مقدمه

فرد ساعتی را برای انجام سفر کاری خود انتخاب می‌کند که بتواند با سایر افراد خانواده از وسیله نقلیه مشترک استفاده نمایند (Yu et al., 2019).

با توجه به محاسن ذکر شده از اجرای طرح شناوری ساعت کار، در شهر تهران در نیمه دوم سال ۱۴۰۱، طرح شناوری ساعت کار اجرا گردید. ساعت شروع کار در بازه ۷ تا ۹ صبح تعیین گردید. ساعت پایان کار نیز به تناسب مدت زمان فعالیت به صورت شناور در آمده است. این مطالعه بر آن است که اثر اجرای این طرح بر شرایط ترافیکی را بسنجد. بدین منظور شاخص ترافیکی میانگین طول صف معابر شبکه حمل و نقل شهر تهران، برای یک هفته از روزهای اجرای طرح شناوری ساعت کار در مهر ماه ۱۴۰۱ و یک هفته مشابه با آن در مهر ماه سال ۱۳۹۸ که چنین طرحی اجرا نمی‌شد محاسبه و مقایسه شده است. به دلیل اینکه در سالهای ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ شرایط ویژه کرونایی در کشور حاکم بوده است، این دو سال در این مطالعه در نظر گرفته نشده‌اند. برای انجام دقیق‌تر این مقایسه، از مدل رگرسیون ساده استفاده شده است. در سمتی از معادله رگرسیون مقادیر شاخص‌های ترافیک در روزهای اجرای طرح شناوری ساعت کار و در سمت دیگر مقادیر شاخص‌های ترافیک در روزهای پیش از آن قرار می‌گیرد. بسته به مقدار و علامت ضریب تخمین زده شده می‌توان با تفاسیر آماری میزان کاهش یا افزایش آن شاخص ترافیکی در اثر اجرای طرح شناوری ساعت کاری را بررسی نمود. همچنین تحلیل‌ها به تفکیک محدوده طرح ترافیک، طرح آلودگی هوا و کل شهر در بازه‌های زمانی روزانه و ساعتی انجام شده است.

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد طرح شناورسازی ساعت شروع کار در سایر کشورهای دنیا نیز انجام شده است. ییلدیریم‌گلو و همکاران (Yildirimoglu et al., 2021) یک مسئله برنامه‌ریزی شناوری بهینه را برای به حداقل رساندن زمان سفر کل شبکه و جلوگیری از تأخیر در سفرهای ساعات اوج ترافیک صبح پیشنهاد می‌کنند. هدف بهینه‌سازی زمان

امروزه تراکم ترافیک در کلان‌شهرها یکی از مهم‌ترین معضلات و مشکلاتی است که زندگی روزمره را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عدم تعادل میان عرضه و تقاضای حمل و نقل عامل به وجود آمدن تراکم ترافیک است. ایجاد این تعادل می‌تواند با استفاده از افزایش عرضه حمل و نقل از طریق راهکارهایی همچون احداث راه‌ها و تقاطع‌های غیر هم‌سطح یا تعریض معابر اتفاق افتد. هزینه اجرای چنین پروژه‌هایی سرسام‌آور بوده و از سوی دیگر در برخی موارد به دلیل نبود حریم کافی در اطراف معابر عملاً غیرممکن است. راهکار دیگر به منظور ایجاد تعادل میان عرضه و تقاضا مدیریت تقاضا است که به مراتب هزینه و محدودیت‌های کمتری در بردارد. این مدیریت می‌تواند با هدف کاهش تقاضا با استفاده از طرح‌هایی همچون طرح ترافیک اتفاق افتد (El-Hansali et al., 2021). رویکرد دیگر در مدیریت تقاضا توزیع مناسب زمانی انجام سفرها است تا بتوان از تقاضای مازاد سفر شهروندان در ساعات اوج ترافیک کاست و این سفرها به ساعات غیر اوج موکول شوند یا طول بازه اوج ترافیک وسیع‌تر شده و از شدت تراکم ترافیک کاسته شود. از آنجاکه بخش چشمگیری از سفرها در ساعات اوج ترافیک را سفرهای کاری تشکیل می‌دهند، سیاست‌گذاری صحیح در خصوص این نوع سفرها می‌تواند در کاهش تراکم ترافیک مؤثر باشد (Rasaizadi & Kermanshah, 2018). یکی از این سیاست‌ها شناوری ساعت شروع و پایان کار است. مطابق با این سیاست کارمندان ادارات دولتی و بخشی از کارمندان بخش خصوصی قادر خواهند بود ساعت شروع فعالیت کاری خود را در بازه مجاز از پیش تعیین شده انتخاب نموده و به تناسب آن ساعت پایان فعالیت کاری نیز تغییر می‌یابد. لذا انتظار می‌رود این افراد به دو علت ساعت انجام سفر کاری خود را به نحوی انتخاب کنند که به مدیریت تقاضای سفر کمک کنند. در حالت اول فرد ساعتی را برای انجام سفر کاری خود انتخاب می‌کند که تراکم ترافیک کمتر باشد. در حالت دوم

اثرسنجی شناوری ساعت شروع به کار بر شاخص‌های ترافیکی (مطالعه موردی: شهر تهران)

می‌دهد در کوتاه‌مدت، ساعات کاری شناور تأثیر مثبتی بر شرایط عملکردی حمل‌ونقل عمومی داشته، اما بهبود چشمگیری در شرایط عملکردی حمل‌ونقل شخصی حاصل نشده است.

در ادامه این مقاله در بخش دوم داده و روش‌شناسی مورد استفاده مرور می‌شود. نتایج و تفاسیر مربوطه در بخش سوم ارائه شده است. نهایتاً در بخش چهارم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

۲. روش پژوهش

طرح شناوری ساعت کاری به منظور کاهش تراکم ترافیک معابر شهر تهران، در مهر ماه سال ۱۴۰۱ اجرا شد. در این مطالعه با استفاده از طول صف معابر شهر تهران و داده‌های حمل‌ونقل عمومی به بررسی تأثیر پیاده‌سازی این طرح بر وضعیت ترافیک معابر شهر تهران پرداخته شده است. برای محاسبه طول صف ترافیک، معابر اصلی شهر تهران به قطعاتی تقسیم شده‌اند. کارشناسان ترافیکی قطعات که در آن‌ها صف تشکیل شده است را تشخیص و مجموع طول چنین قطعاتی به‌عنوان طول صف معابر شهر تهران شناخته می‌شود. این داده در شرکت کنترل ترافیک تهران جمع‌آوری شده است.

به‌منظور اثرسنجی طرح شناوری ساعت کاری، هفته سوم مهر ماه سال ۱۳۹۸ قبل از همه‌گیری کرونا و هفته سوم مهرماه سال ۱۴۰۱ انتخاب شده است. با توجه به وجود تعطیلات رسمی در هفته اول و دوم مهرماه سال جاری، هفته سوم این ماه ملاک عمل قرار گرفت. همچنین طول صف معابر در ساعات ۶ صبح تا ۲۲ مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۱ مشخصات این دو دوره زمانی را نشان می‌دهد.

شروع کار شرکت‌های منفرد با حداقل انحراف از برنامه‌های اولیه آن‌هاست و درعین حال در نظر گرفتن اینکه مسافران زمان سفر خود را خودخواهانه انتخاب می‌کنند تا هزینه سفر خود را به حداقل برسانند. نتایج عددی نشان می‌دهد که اجرای سیاست پیشنهادی برای انتخاب زمان شروع سفر مسافران، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی تراکم ترافیک در شبکه حمل‌ونقل شهری را کاهش دهد. در یکی از مطالعات لوپ و همکاران (Van der Loop et al., 2019)، هدف مطالعه بر شناسایی سطح شناوری ساعت کار و همچنین تأثیرات سطح انتخاب‌شده بر شاخص‌های ترافیکی در یکی از شهرهای کشور هلند متمرکز شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ساعت کاری شناور نقش مهمی در کاهش رشد استفاده از خودرو و تراکم ترافیک، به‌ویژه در ساعات اوج ترافیک داشته است. نتایج مشابهی نیز برای حمل‌ونقل عمومی ارائه شده است. موتلو و همکاران (Mutlu et al., 2020) یک مدل ریاضی برای کاهش تراکم ترافیک با استفاده از سیاست ساعات کاری شناور پیشنهاد داده‌اند. هدف این مدل یافتن ساعات کاری هر گره مقصد با در نظر گرفتن تقاضای سفر بین گره‌های مبدأ-مقصد، مسیرها و ظرفیت‌های جاده‌ها است. درنهایت با استفاده از برنامه پیشنهادی تراکم ترافیک در ساعات اوج به‌صورت چشمگیری کاهش پیدا کرده است. مطالعه زنگ و همکاران (Zong et al., 2013) سیاست شناوری ساعت کار در شهر پکن (چین) را ارزیابی می‌کند. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد این طرح توانسته حجم ترافیک را ۱۵/۲۴ درصد و متوسط زمان سفر را ۲۱/۷۳ درصد کاهش دهد. درنهایت در مطالعه هوانگ و لی (Huang & Li, 2011) نیز اثر شناوری ساعت کار در شهر گوانگجو چین بررسی شده است که نتایج نشان

جدول ۱. مشخصات دوره قبل و بعد از اجرای طرح شناوری

دوره	شاخصه‌ها
دوره قبل	یک هفته از تاریخ ۱۳ مهر سال ۱۳۹۸ روز شنبه تا ۱۹ مهر سال ۱۳۹۸ روز جمعه در نظر گرفته شده است. شروع و پایان ساعت کاری ادارات شهر تهران در این تاریخ ساعت ۸ تا ۱۶:۴۵ بوده است.

شاخصه‌ها	دوره
<p>شروع و ابتدای ساعت طرح ترافیک و آلودگی هوا از شنبه تا چهارشنبه از ساعت ۶:۳۰ تا ۱۹ بوده است. روز پنج‌شنبه فقط طرح آلودگی هوا از ساعت ۶:۳۰ تا ۱۳ اجرا می‌شد. خودروهای پلاک تهران نیز در محدوده کنترل آلودگی هوا سهمیه تردد ۲۰ روز در فصل را دارند. همچنین تردد روزانه مجاز خودروهای پلاک شهرستان در محدوده کنترل آلودگی هوا ۱۵ روز در هر فصل است. ساعت شروع فعالیت مدارس ۸ صبح بوده است.</p>	<p>یک هفته از تاریخ ۱۶ مهر سال ۱۴۰۱ روز شنبه تا ۲۲ مهر سال ۱۴۰۱ روز جمعه در نظر گرفته شده است. شروع ساعت کاری ادارات شهر تهران به صورت شناور از ساعت ۷ تا ۹ و پایان ساعت کاری نیز به صورت شناور از ساعت ۱۵:۴۵ تا ۱۷:۴۵ است. شروع و پایان ساعت طرح ترافیک و آلودگی هوا از شنبه تا چهارشنبه از ساعت ۶:۳۰ تا ۱۸ اجرا می‌شود. روز پنج‌شنبه فقط طرح آلودگی هوا از ساعت ۶:۳۰ تا ۱۳ اجرا می‌شود. هزینه تردد خودروها بدون رزرو طرح ترافیک در محدوده مبلغ ۹۸۸۵۰ تومان است. خودروهای پلاک تهران نیز در محدوده کنترل آلودگی هوا سهمیه تردد ۲۰ روز در فصل را دارند. همچنین تردد روزانه مجاز خودروهای پلاک شهرستان در محدوده کنترل آلودگی هوا ۱۵ روز در هر فصل است. ساعت فعالیت شیفت صبح مقاطع متوسطه ۷:۳۰ و مقاطع ابتدایی شهر تهران ۸:۳۰ تا ۱۲:۳۰ در نظر گرفته شد.</p>
<p>در رگرسیون چندگانه، اگر دو متغیر مستقل با یک متغیر وابسته در رابطه خطی باشند، شکل آن به صورت یک صفحه درمی‌آید. در صورتی که بیش از دو متغیر مستقل در مدل رگرسیون خطی به کار روند، مدل به شکل یک ابر صفحه درمی‌آید. (James et al., n.d)</p> <p>به منظور تخمین ضرایب متغیرها به عنوان پارامترهای مدل، از روش کمینه‌سازی مربعات خطا (OLS) استفاده شده است. فرم تابع مربعات خطا $S(\beta)$ به صورت معادله ۲ تعریف می‌شود (Moghadami et al., 2020):</p> $S(\beta) = \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{j=1}^p X_{ij}\beta_j ^2 \quad (2)$ <p>با استفاده از مشتق‌گیری و حل معادلات ماتریسی ضرایب متغیرهای مستقل تخمین زده می‌شود. در هر مدل رگرسیون خطی، چهار فرض زیر به عنوان فرض-های زیربنایی در نظر گرفته می‌شود (Williams Carlos Alberto Gomez Grajales Dason Kurkiewicz & Alberto Gomez, 2013)</p> <p>۱- بخش خطای معادله رگرسیون دارای میانگین صفر است.</p>	<p>با توجه به ماهیت عددی و پیوسته متغیر وابسته (میانگین طول صف معابر) و از سوی دیگر ضرورت دستیابی به پارامترهای تفسیرپذیر و کشف ارتباط علت و معلولی میان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل، در این مطالعه از مدل رگرسیون چندگانه برای مدل‌سازی استفاده شده است. در رگرسیون خطی چندگانه، ضرایب متغیرها به کمک یک تابع هدف و مقادیر همان متغیرها، برآورد می‌شود. در این مدل ارتباط میان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل به صورت خطی در پارامتر فرض می‌شود و از سوی دیگر با استفاده از توابع لگاریتمی و توانی می‌توان روابط غیرخطی در متغیر را به تصویر کشید. برای n مشاهده، p متغیر مستقل X و متغیر وابسته Y خواهیم داشت (James et al., n.d):</p> $y_i = \beta_1 + \sum_{j=1}^p \beta_j * x_j + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$ <p>در این رابطه β ضرایب متغیرهای مستقل است که باید تخمین زده شوند و ε_i بخش خطا یا بخش غیرسیتماتیک رگرسیون است که فرض می‌شود از توزیع نرمال پیروی می‌کند (James et al., n.d).</p>

اثرسنجی شناوری ساعت شروع به کار بر شاخص‌های ترافیکی (مطالعه موردی: شهر تهران)

۶- بررسی معناداری تفاوت‌های ایجادشده حاصل از اجرای

طرح

مبتنی بر میانگین طول صف معابر محدوده طرح ترافیک به تفکیک روز هفته دوره ۱۴۰۱ و ۱۳۹۸ (شکل ۱)، رگرسیون خطی برآورد شده و میانگین متوسط طول صف هفته سوم مهر ماه ۱۴۰۱ به‌عنوان متغیر وابسته و میانگین متوسط طول صف هفته سوم مهر ماه سال ۱۳۹۸ به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است. عرض از مبدأ در رگرسیون فوق صفر در نظر گرفته شده تا اثر خالص همبستگی میان متغیر وابسته و مستقل دیده شود. ضریب متغیر مستقل در جداول ۲ تا ۳ آورده شده است که نشان‌دهنده تغییرات معنادار طول صف دوره ۱۴۰۱ نسبت به دوره ۱۳۹۸ برای محدوده طرح ترافیک به تفکیک روز هفته است. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است ضریب تعیین $0/96$ قابل توجه محسوب می‌شود. با توجه به کمتر بودن مقادیر P-value از $0/01$ ، می‌توان با اطمینان ۹۹ درصد استنباط کرد که طول صف معابر هفته سوم مهرماه سال ۱۴۰۱ در مقایسه با طول صف معابر هفته سوم مهرماه سال ۱۳۹۸ تفاوت معناداری دارد.

۲- بخش خطای معادله رگرسیون دارای واریانس ثابت است.

۳- بخش خطای معادله رگرسیون ناهمبسته‌اند.

۴- بخش خطای معادله رگرسیون دارای توزیع نرمال است.

۳. تحلیل داده‌ها

موارد موردبررسی در این مطالعه به‌صورت زیر است:

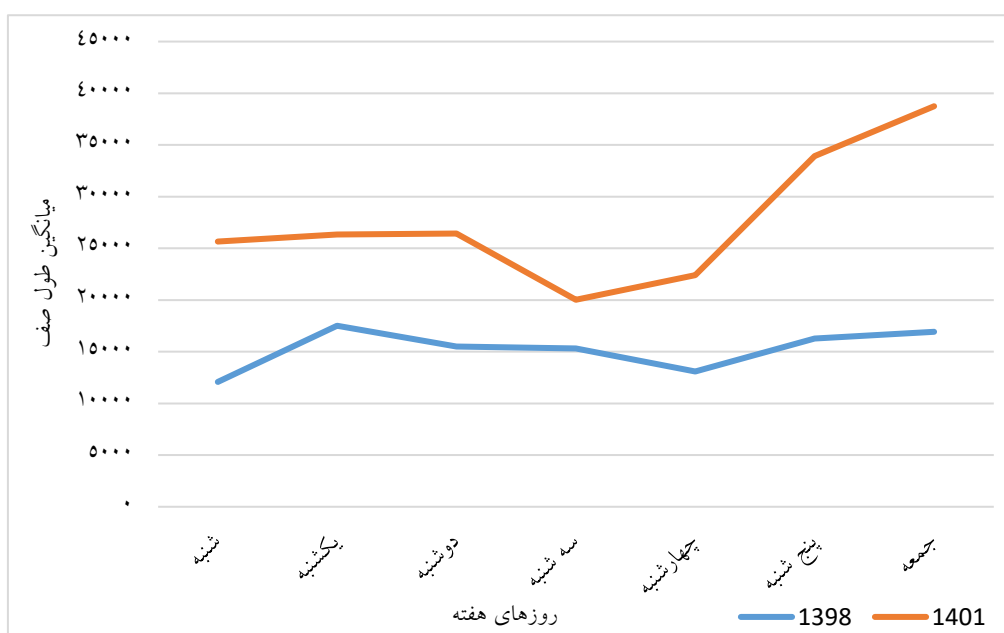
۱- تحلیل و مقایسه میانگین طول صف معابر به تفکیک ساعات شبانه‌روز در محدوده طرح ترافیک، بین محدوده طرح و آلودگی هوا، خارج از محدوده طرح‌ها، کل شهر

۲- تحلیل و مقایسه میانگین طول صف معابر به تفکیک روزهای هفته در محدوده طرح ترافیک، بین محدوده طرح و آلودگی هوا، خارج از محدوده طرح‌ها، کل شهر

۳- برآورد رگرسیون خطی و ضریب تعیین^۱ به تفکیک نمودارهای ارائه شده

۴- برآورد نسبت تغییرات بعد نسبت به قبل از اجرای طرح به تفکیک نوع محدوده‌ها، روز هفته و ساعت شبانه‌روز

۵- تصویرسازی^۲ و مقایسه داده‌های مورد مطالعه



شکل ۱. مقایسه میانگین طول صف معابر طرح اصلی به تفکیک روز هفته

جدول ۲. خروجی های رگرسیون خطی طول صف معابر طرح اصلی به تفکیک روز هفته

شاخص	مقدار
ضریب تعیین	۰/۹۶
ضریب تعیین تعدیل شده	۰/۸
انحراف معیار	۵۶۵۷/۴
تعداد مشاهدات	۷

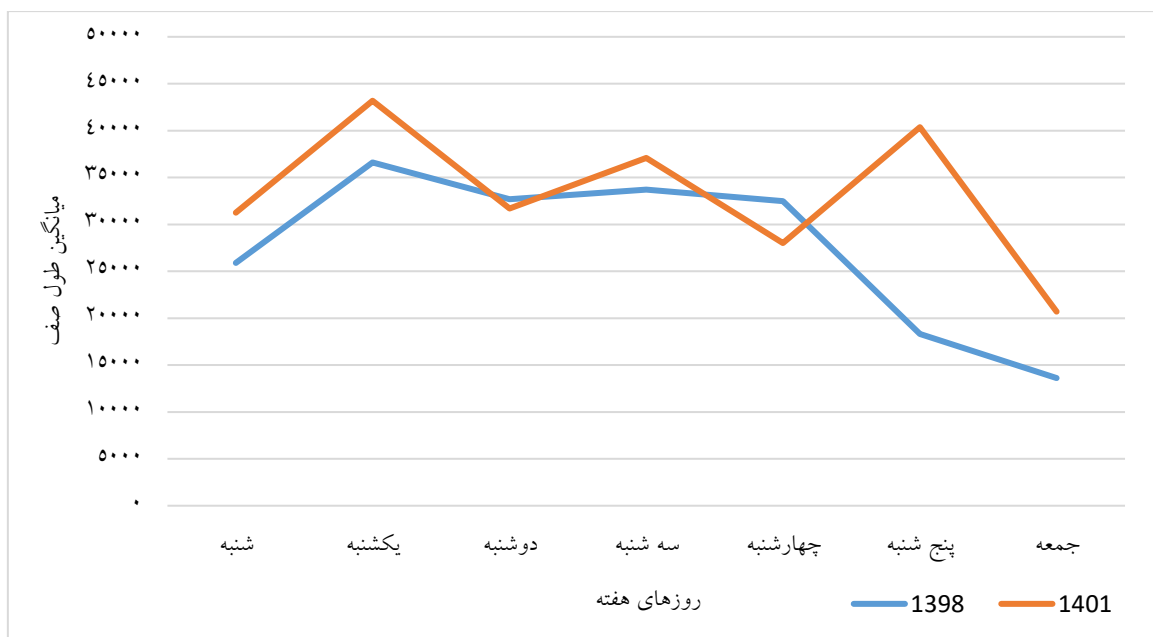
جدول ۳. خروجی های آزمون ANOVA و رگرسیون خطی طول صف معابر طرح اصلی به تفکیک روز هفته

درجه آزادی	مجموع مربعات	آماره F	معناداری F
۱	۵۴۱۲۳۸۲۳۷۴	۱۶۹	۰/۰۰۰
۶	۱۹۲۰۳۶۴۸۴		
۷	۵۶۰۴۴۱۸۸۵۸		

ضرایب	انحراف معیار	آماره t	P-value	حد پایین (۹۵ درصد)	حد بالا (۹۵ درصد)
ثابت	۰	-	-	-	-
متغیر مستقل	۱/۸۱۱	۱۳/۰۰۴	۰	۱/۴۷۰	۲/۱۵۱

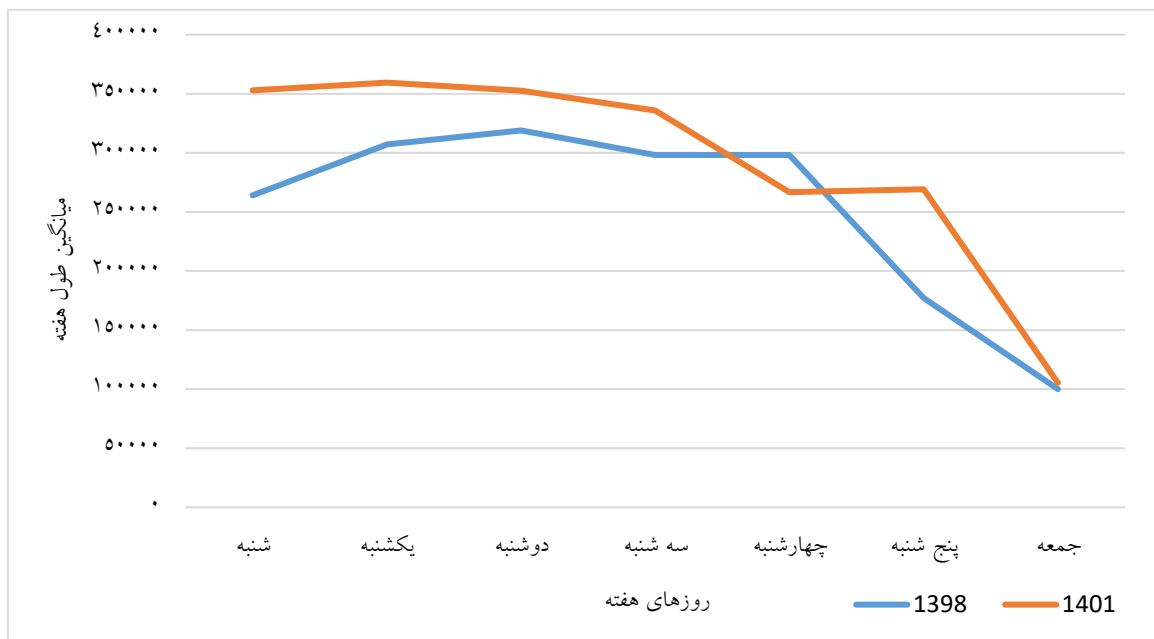
میانگین طول صف به تفکیک محدوده و به تفکیک بازه های زمانی ساعتی و روزانه را نشان می دهد و برای این نمودارها نیز مدل رگرسیون پرداخت شده است که در جدول ۴ و ۵ به نتایج آن اشاره شده است.

ضریب مدل رگرسیون برای محدوده طرح ترافیکی به تفکیک روز هفته ۱/۸۱ است. با توجه به مقایسه ضرایب مدل رگرسیون بیشترین تغییرات طول صف سال ۱۴۰۱ نسبت به ۱۳۹۸ مربوط به محدوده طرح ترافیکی به تفکیک روز هفته است. در ادامه به صورت خلاصه تر، شکل های ۲ تا ۸ تغییرات

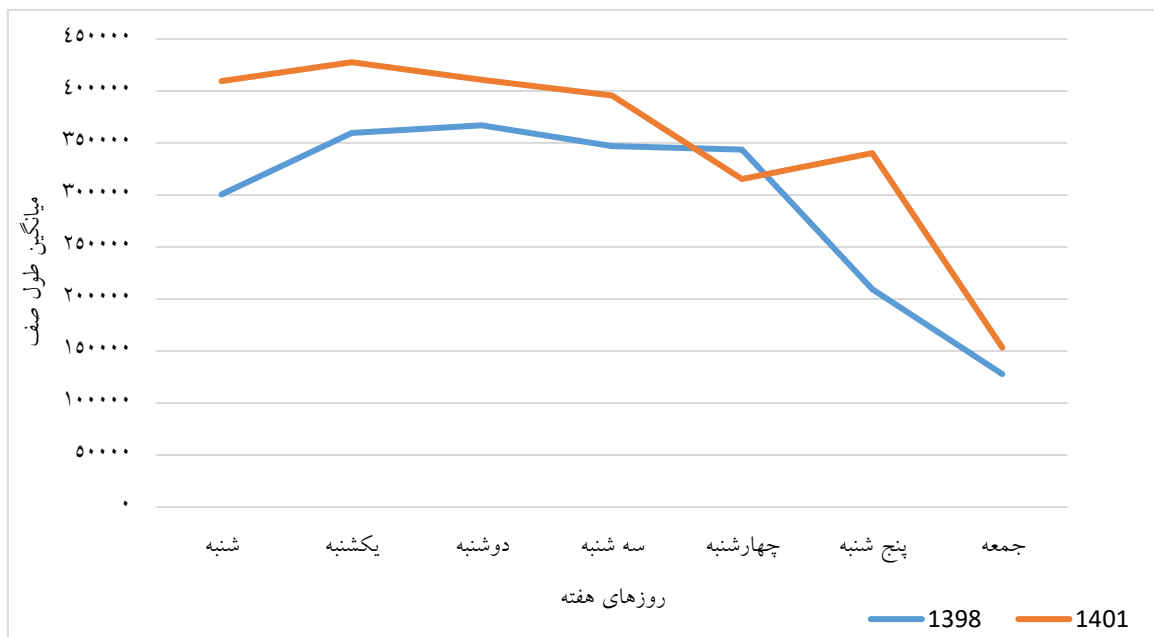


شکل ۲. مقایسه میانگین طول صف معابر در محدوده بین طرح آلودگی هوا و طرح اصلی به تفکیک روز هفته

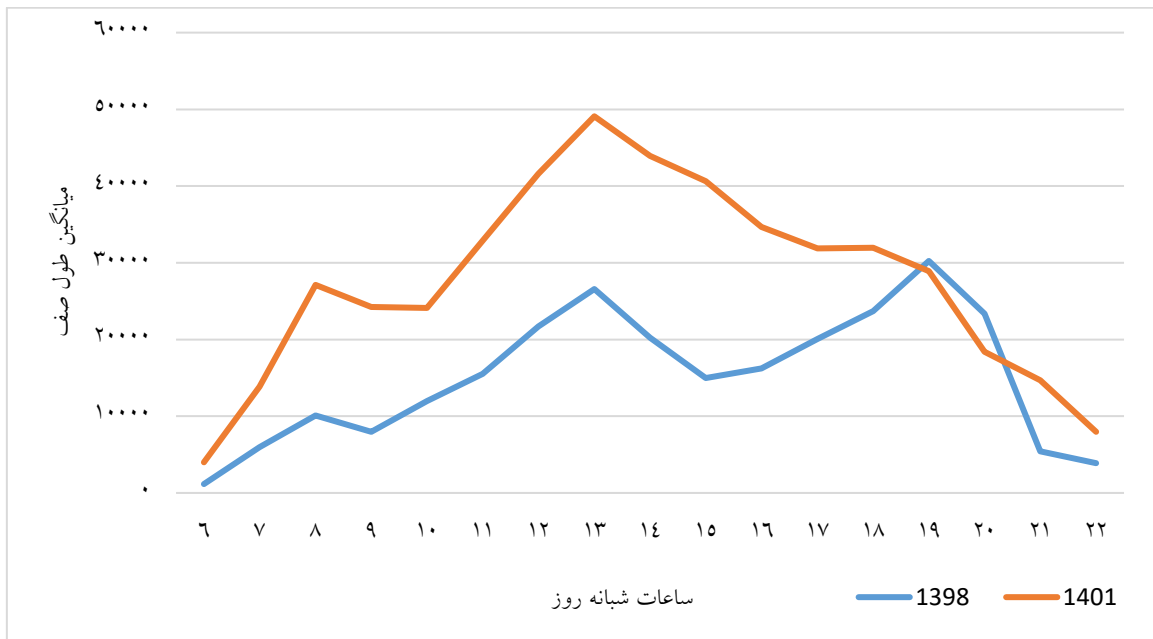
اثرسنجی شناوری ساعت شروع به کار بر شاخص‌های ترافیکی (مطالعه موردی: شهر تهران)



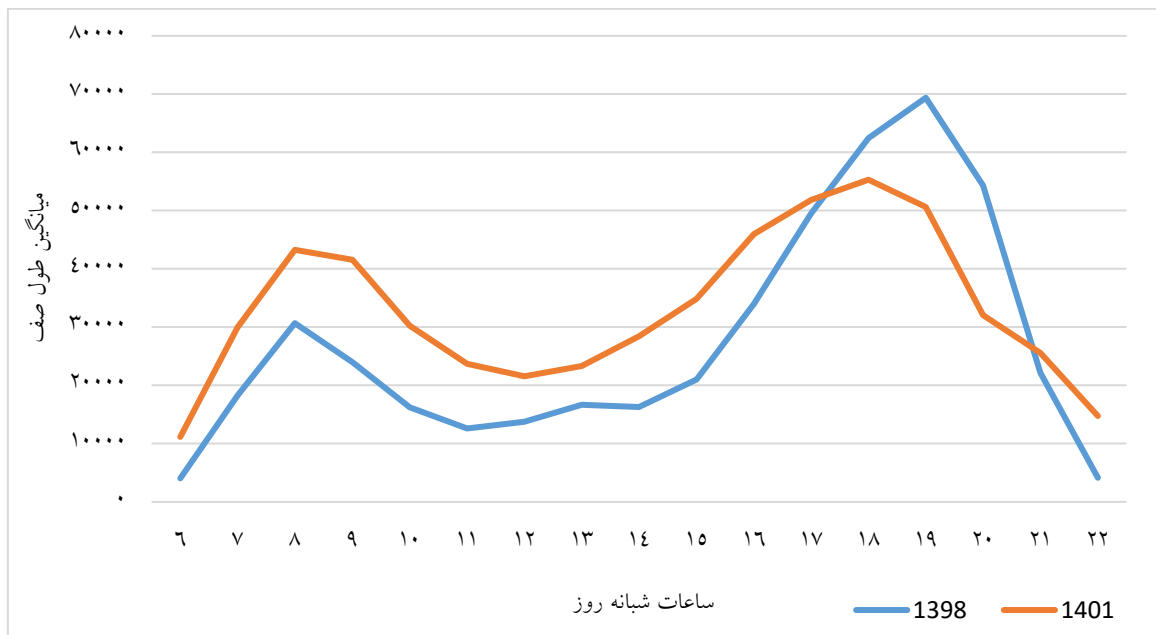
شکل ۳. مقایسه میانگین طول صف معابر خارج از طرح‌های ترافیکی به تفکیک روز هفته



شکل ۴. مقایسه میانگین طول صف معابر کل شهر به تفکیک روز هفته

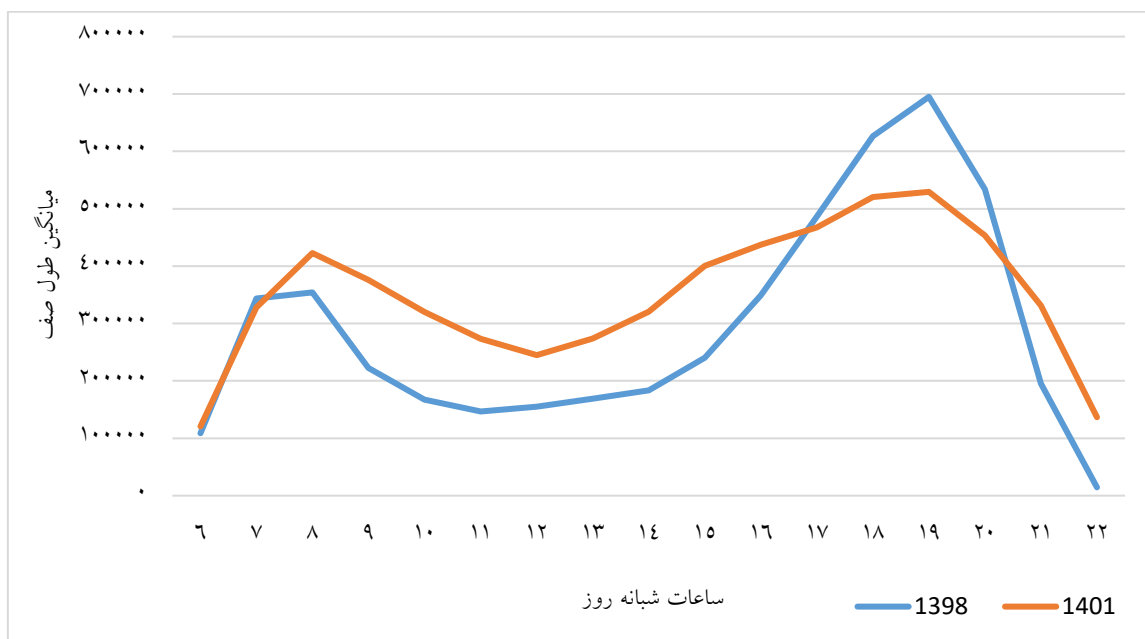


شکل ۵. مقایسه میانگین طول صف معابر در محدوده طرح ترافیک به تفکیک ساعات شبانه‌روز

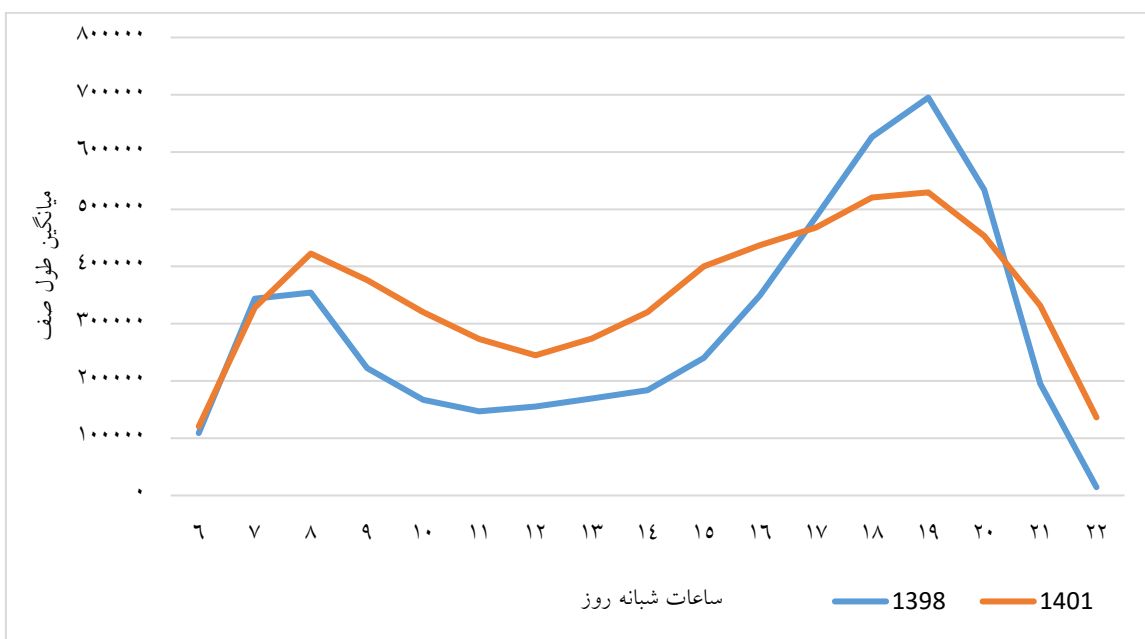


شکل ۶. مقایسه میانگین طول صف معابر بین محدوده طرح اصلی و طرح آلودگی هوا به تفکیک ساعات شبانه‌روز

اثرسنجی شناوری ساعت شروع به کار بر شاخص‌های ترافیکی (مطالعه موردی: شهر تهران)



شکل ۷. مقایسه میانگین طول صف معابر خارج از طرح‌های ترافیکی به تفکیک ساعات شبانه‌روز



شکل ۸. مقایسه میانگین طول صف کل شهر به تفکیک ساعات شبانه‌روز

جدول ۴. نتایج ۴ رگرسیون خطی محدوده‌های ترافیکی به تفکیک روز هفته

مدل	مقایسه میانگین طول صف معابر به تفکیک روز هفته	نسبت طول صف ۱۴۰۱ به ۱۳۹۸	ضریب تعیین	P-value
۱	محدوده طرح اصلی	۱/۸۱	۰/۹۶	۰/۰۰۰
۲	در محدوده بین طرح آلودگی هوا و اصلی	۱/۱۴	۰/۹۳	۰/۰۰۰
۳	خارج از طرح‌ها	۱/۱۴	۰/۹۸	۰/۰۰۰
۴	کل شهر	۱/۱۷	۰/۹۸	۰/۰۰۰

جدول ۵. نتايج ۴ رگرسيون خطى محدوده‌هاى ترافىكى به تفكيك ساعات شبانه‌روز

مدل	مقايسه ميانگين طول صف معابر به تفكيك ساعات شبانه‌روز	نسبت طول صف ۱۴۰۱ به ۱۳۹۸	ضريب تعيين	P-value
۵	محدوده طرح اصلى	۱/۶۴	۰/۸۹	۰/۰۰۰
۶	در محدوده بين طرح آلودگى هوا و اصلى	۰/۹۹	۰/۸۸	۰/۰۰۰
۷	خارج از طرح‌ها	۰/۹۸	۰/۹۱	۰/۰۰۰
۸	كل شهر	۰/۰۱	۰/۹۱	۰/۰۰۰

طرز چشم‌گيرى افزايش و در ساعات اوج ترافىك عصر به طرز چشم‌گيرى کاهش يافته است.

در مدل ۷، در معابر خارج از طرح‌هاى ترافىكى طول صف ۱۴۰۰ نسبت به ۱۳۹۸ در خارج از محدوده طرح‌ها به تفكيك ساعات شبانه‌روز، ۲ درصد کاهش داشته است. در مدل ۸، در كل شهر نيز ميانگين طول صف ۱۴۰۰ نسبت به ۱۳۹۸ در كل شهر به تفكيك ساعات شبانه‌روز، ۱ درصد افزايش داشته است.

۴. نتيجه‌گيرى

نتايج به‌دست‌آمده در اين مطالعه شامل موارد زير است:

۱- با شناورسازى ساعت شروع و پايان كار نمودارهاى ميانگين ساعتى طول صف هموارتر شده است. در سال ۱۳۹۸ اين نمودار داراى دو قله برجسته به‌عنوان اوج صبح و اوج عصر بوده است. در سال ۱۴۰۱ ارتفاع اين دو قله كمتر شده و سفرها با توزيع يكنواخت‌ترى در طول زمان توزيع شده‌اند.

۲- در سال ۱۴۰۱، اختلاف ميان ميانگين ساعتى طول صف در ساعات اوج صبح و اوج عصر كمتر شده است.

۳- طول صف در ساعات شناورى شروع كار در سال ۱۴۰۱ به نسبت ساعات متناظر آن در سال ۱۳۹۸ افزايش يافته است.

۴- طول صف در ساعات شناورى پايان كار در سال ۱۴۰۱ به نسبت ساعات متناظر آن در سال ۱۳۹۸ کاهش يافته است.

۵- کاهش طول صف در ساعات اوج ترافىك عصر در سال ۱۴۰۱ به نسبت سال ۱۳۹۸ محسوس از افزايش طول صف

در جدول ۴، سطر مدل ۲، در محدوده بين طرح آلودگى هوا و طرح اصلى طول صف معابر هفته سوم مهرماه سال ۱۴۰۱ در مقايسه با طول صف معابر هفته سوم مهرماه سال ۱۳۹۸، ۱۴ درصد افزايش داشته است. در مدل ۳، در معابر خارج از طرح‌هاى ترافىكى طول صف ۱۴۰۱ نسبت به ۱۳۹۸ خارج از محدوده طرح ترافىك به تفكيك روز هفته ۱۴ درصد افزايش داشته است. در مدل ۴، در معابر كل طول صف ۱۴۰۰ نسبت به ۱۳۹۸ كل شهر به تفكيك روز هفته، ۱۷ درصد افزايش داشته است.

در جدول ۵ برای تعيين اثرگذاري شناورى ساعت كار، تحليل‌هاى فوق به تفكيك ساعات شبانه‌روز انجام شده است. در اين بررسى ميانگين طول صف در بازه موردبررسى در سال‌هاى ۱۳۹۸ و ۱۴۰۱ به‌عنوان مبنای مقايسه قرار گرفته است.

در مدل ۵، در مقايسه ميانگين طول صف معابر در محدوده طرح ترافىك به تفكيك ساعات شبانه‌روز، طول صف ۱۴۰۰ نسبت به ۱۳۹۸ در محدوده طرح ترافىك به تفكيك ساعات شبانه‌روز، ۶۴ درصد افزايش داشته است. طول صف معابر در محدوده طرح ترافىك در ساعات اوج ترافىك صبح به طرز چشم‌گيرى افزايش و در ساعات اوج ترافىك عصر به طرز نامحسوسى کاهش يافته است.

در مدل ۶، در معابر بين محدوده طرح اصلى و طرح آلودگى هوا طول صف ۱۴۰۰ نسبت به ۱۳۹۸ در محدوده بين طرح ترافىك و طرح آلودگى هوا به تفكيك ساعات شبانه‌روز، ۱ درصد کاهش داشته است. طول صف معابر در بين محدوده طرح اصلى و طرح آلودگى هوا در ساعات اوج ترافىك صبح به

سال ۱۳۹۸، پیش‌بینی می‌شد که با حضوری شدن مدارس و دانشگاه‌ها شاهد ازدحام قابل‌ملاحظه‌ای در معابر سطح تهران باشیم. با اجرای طرح شناوری ساعات کاری طول صف معابر سطح شهر به‌جز محدوده طرح ترافیک به‌مراتب مناسب‌تر از پیش‌بینی مدیریت شهری بوده است.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. R²
2. Visualization

۶. مراجع

- El-Hansali, Y., Farrag, S., Yasar, A., Malik, H., Shakshuki, E., & Al-Abri, K. (2021). Assessment of the traffic enforcement strategies impact on emission reduction and air quality. *Procedia Computer Science*, 184, 549–556.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.068>
- Huang, L., & Li, J. (2011). Applicability of staggered work hours for urban traffic: Case of guangzhou. *ICTE 2011 - Proceedings of the 3rd International Conference on Transportation Engineering*.
[https://doi.org/10.1061/41184\(419\)67](https://doi.org/10.1061/41184(419)67)
- James, G. (Gareth M., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (n.d.). *An introduction to statistical learning : with applications in R*.
- Moghadami, M., Rasaizadi, A., & Askari, M. (2020). The effect of coronavirus restrictions on air quality and exiting daily traffic. <https://doi.org/10.22034/IJHCUM.2020.04.05>
- Mutlu, Ö., Durak, Z., & Akyer, H. (2020). Staggered working hours in order to reduce traffic congestion. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 26(4).
<https://doi.org/10.5505/pajes.2019.90922>
- Rasaizadi, A., & Kermanshah, M. (2018). Mode choice and number of non-work stops during the commute: Application of a copula-based joint model. *Scientia Iranica*, 25(3A), 1039–1047.
<https://doi.org/10.24200/sci.2017.4194>

در ساعات اوج ترافیک صبح در سال ۱۴۰۱ به نسبت سال ۱۳۹۸ است.

۶- همچنین از حیث تأثیرگذاری شناوری ساعت کار بر طول صف نواحی ترافیکی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۷- محدوده طرح ترافیک به تفکیک روز هفته با ۸۰ درصد افزایش و محدوده طرح اصلی به تفکیک ساعات شبانه‌روز با ۶۴ درصد افزایش طول صف معابر همراه بوده است.

۸- بیشترین تغییرات طول صف معابر هفته سوم مهرماه سال ۱۴۰۱ نسبت به سال ۱۳۹۸، با اختلاف در محدوده طرح ترافیک بوده است. این موضوع می‌تواند نشان از تأثیر منفی پارامترهای دیگر از جمله قیمت‌گذاری طرح ترافیک باشد.

۹- افزایش طول صف معابر به تفکیک روز هفته در محدوده بین طرح آلودگی و طرح اصلی، خارج طرح‌ها و کل شهر کمتر از ۱۷ درصد است. این افزایش با گذشت سه سال در شرایط همه‌گیری کوید-۱۹ و تغییر رفتار کاربران و افزایش سهم سفر حمل‌ونقل شخصی کمتر از پیش‌بینی مدیران شهری بوده است.

۱۰- میانگین طول صف در محدوده‌های بین طرح و آلودگی هوا، خارج از طرح‌ها و کل شهر در بازه ساعت ۱۷ تا ۲۰ کاهش داشته است.

۱۱- تغییرات طول صف معابر به تفکیک ساعات شبانه‌روز در محدوده‌های بین طرح آلودگی و طرح اصلی، خارج از طرح‌ها و کل شهر نزدیک به صفر بوده است و حتی تا ۲ درصد کاهش یافته است. ثابت ماندن تقریبی میانگین طول صف به تفکیک ساعات شبانه‌روز در این نواحی، با توجه به پیش‌بینی تردد بیشتر نشان از توزیع مناسب تقاضا در ساعات شبانه‌روز است.

۱۲- با توجه به آموزش غیرحضوری مدارس و دانشگاه‌های شهر تهران به دلیل همه‌گیری کوید ۱۹ در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ و همچنین تغییر رفتار کاربران و شهروندان شهر تهران و افزایش سهم استفاده از حمل‌ونقل شخصی در مقایسه با

- Van der Loop, H., Haaijer, R., & Willigers, J. (2019). The impact of various forms of flexible working on mobility and congestion estimated empirically. In *Autonomous Vehicles and Future Mobility*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817696-2.00010-X>
- Williams Carlos Alberto Gomez Grajales Dason Kurkiewicz, M. N., & Alberto Gomez, C. (2013). Assumptions of Multiple Regression: Correcting Two Misconceptions. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 18, 11. <https://doi.org/10.7275/55hn-wk47>
- Yildirimoglu, M., Ramezani, M., & Amirgholy, M. (2021). Staggered work schedules for congestion mitigation: A morning commute problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103391>
- Yu, R., Burke, M., & Raad, N. (2019). Exploring impact of future flexible working model evolution on urban environment, economy and planning. *Journal of Urban Management*, 8(3), 447–457. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2019.05.002>
- Zong, F., Juan, Z., & Jia, H. (2013). Examination of staggered shifts impacts on travel behavior: A case study of Beijing, China. *Transport*, 28(2). <https://doi.org/10.3846/16484142.2013.803263>

Effectiveness of Flexible Working Hours on Traffic Index, a Case Study for Tehran

Arash Rasaizadi*, Ph.D. in Transportation Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Hoda Bozorgvar, Ph.D. candidate in Transportation Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Hamid Baradaran, Ph.D. candidate in industrial Engineering, Tehran University, Tehran, Iran

Zeinab Nourallahzadeh, M.Sc. student in Transportation Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

E-mail: arash_rasa@yahoo.com

Abstract

Nowadays, traffic congestion is a major problem in metropolises that affect daily life. Imbalance between supply and demand causes congestion. Demand management is used to balance demand and supply, since has more reasonable cost and less restrictions in comparison with increasing transportation supply. One policy in order to manage the demand and reduce Tehran traffic congestion is to implement flexible working hours since Mehr 1401. In this study, the effect of flexible working hours on traffic congestion has been investigated by using length of Tehran congested roads. The linear regression has been modeled based on the length of traffic congestion of the third week of Mehr 1398 before the Covid-19 epidemic in comparison with the third week of Mehr 1401. It was expected to face more road congestion due to the traditional education after the virtual education during Covid-19 epidemic, user behavior changes, increase in usage of private cars. Nevertheless by implementing flexible working hours, Tehran traffic congestion has been far more suitable except the Limited traffic zone than the urban management's prediction.

Keywords: Flexible working hours, Congestion, Demand management, Linear regression