تحلیل و ارزیابی اثرات طرح دورکاری کارمندان ادارات بر شاخص‌های ترافیکی در کلانشهرها با استفاده از مدل شبیه‌سازی AIMSUN (مطالعهٔ موردی: شهر تهران)

مقاله علمی – پژوهشی

کامران رحیم‌اف*، استادیار، گروه راه و ترابری، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
علی نادران، استادیار، دانشکده عمران، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
ماهور پورکاشانیان، دانشجوی کارشناسی ارشد، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: k.rahimof@pnu.ac.ir

دریافت: ۱٤۰۳/۱۰/۱۰– پذیرش: ۱٤۰٤/۰۳/۰۱
صفحه ۱۱۰-۹۱

چکیده

رشد جمعیت و افزایش تعداد خودروها، تراکم ترافیک را به عنوان یک مسئله مهم در شهرهای بزرگ مطرح کرده و کاهش تعداد خودروها در خیابانها بخصوص در ساعات اوج ترافیک، به یکی از اصلی‌ترین اهداف مدیریت تقاضای حمل‌ونقل تبدیل شده است. با سیاست‌گذاری درست در مدیریت عرضه و تقاضا می‌توان الگوهای سفر کارآمدتری را ایجاد کرد. یکی از راه‌های پیشنهادی دورکاری است؛ یعنی بتوان به کمک فناوری و به صورت مجازی با کسب‌وکار خود در ارتباط بود و هدف اصلی آن حرکت کار به سمت کارکنان، به جای حرکت کارکنان به سوی کار است. هدف این مطالعه، شناسایی تأثیرات دورکاری کارمندان بر حمل‌ونقل، ترافیک و آلودگی هوا است و به تحلیل و ارزیابی اثرات آن بر شاخص‌های ترافیکی از قبیل چگالی، جریان، سرعت، زمان سفر و میزان مصرف سوخت و آلاینده‌ها پرداخته شده است. از این رو منطقه سه تهران به عنوان یکی از مناطق اداری و پر رفت‌وآمد انتخاب و با دسترسی به ماتریس تقاضای سفر یک ساعت اوج آن، مدلسازی میکروسکوپیک در نرم‌افزار ایمسان (Aimsun) به شکل دقیق و کامل انجام شده است. سپس برای اعمال دورکاری، سناریوهایی را بر اساس منطقه‌بندی تردد وسایل نقلیه، طراحی و شبیه‌سازی کرده و نتایج با هم مقایسه شده است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که با اعمال سیاست دورکاری در یک ساعت اوج در منطقه سه تهران شاخص‌های ترافیکی از جمله چگالی تا ۱۷/۷ درصد، جریان تا ٤/۶ درصد، سرعت تا ۹/۶ درصد و زمان سفر تا ۱۳/۶ درصد در مقایسه با وضعیت موجود بهبود می‌یابند؛ بعلاوه میزان مصرف سوخت تا ۹/۸ درصد و انتشار آلاینده‌ها نیز تا حدود ۱۷ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین نتایج حاکی از آن است که لازم نیست سیاست دورکاری برای تمام مناطق یک شهر اعمال شود، بلکه می‌توان با اعمال این سیاست در مناطق و نواحی خاص از یک شهر به نتیجه مطلوب رسید.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، دورکاری، شاخص‌های ترافیکی، مصرف سوخت، نرم‌افزار ایمسان (Aimsun)

۱-مقدمه

ترافیک تأثیر فوق‌العاده‌ای در زندگی مردم دارد، این یکی از جدی‌ترین مشکلات در شهرهای بزرگ است که مردم باید در زندگی روزمره با آن دست و پنجه نرم کنند و از آنجا که بیشتر افراد مجبورند روزانه با این مسئله مواجه شوند، ممکن است حتی از نظر روانی نیز تحت تأثیر آن قرار بگیرند. این امر همچنین بر کار، تحصیلات و زندگی شخصی افراد و سرانجام

در پیشـــرفت کشـــور نیز تأثیر منفی می‌گذارد. افزایش ازدحام ترافیک در کلانشـــهرهای جهان و شـــهرهای بزرگ و در حال رشـــد، از نیویورک تـا توکیو و از برلین تـا ســـائوپائولو یک وضـعیت اجتناب‌ناپذیر است. این مشکل بخصوص در ساعات اوج، نتیجه نحوه عملکرد جوامع مدرن اســـت. همه اقشـــار از ازدحام ترافیک متنفر هســـتند و علی‌رغم انجام اقدامات درمانی، این وضـعیت بدتر می‌شـود. یکی از راههای درمانی پیشنهادی، دورکاری است؛ این پدیده در کشورهای پیشرفته نظیر آمریکا با توجه به پیشـرفت تکنولوژی به سرعت گسترش یافت تا اینکه امروزه ۷۰ درصـــد از جمعیت جهان حداقل یک بار در هفته و ۵۳ درصـــد حداقل نیمی از هفته را از راه دور فعالیت می‌کنند. برنـامه‌ریزان شـــهری با معرفی دورکاری به عنوان یک راه‌حل برای آلودگی هوا و تراکم ترافیـک، دو هـدف اصـــلی را دنبال می‌کنند، اول اینکه به کمک آن بتوانند با تشویق افراد به کار در خـانـه (یـا محلی غیر از دفتر کار)، حتی برای یک یا دو روز در هفته، باعث حذف سفر و کاهش تقاضا شوند و یا دوم اینکه با تغییر دادن و شناور کردن ساعت کاری افراد و مدیریت تقاضا در روز، بتوانند از سفر افراد در ساعتهای اوج ترافیک جلوگیری کننـد. دورکـاری مزایـا و معایب بســـیاری دارد، به این منظور بایسـتی مطالعاتی در راستای اثرسنجی، یعنی آثار مثبت و منفی آن بـا توجـه بـه دیـدگاههای مختلف انجام شـــود؛ اگرچه در صـــورتی که کار از راه دور به درســـتی اجرا شـــود، می‌توان هزینه‌های آن را جبران کرد. در این مطالعه هدف شـــناســـایی تأثیرات آن بر حمل‌ونقل، ترافیک و آلودگی است و چالش این پـژوهـش بـه دســـت آوردن تخمینی از اثرات دورکـاری بر شـاخص‌های ترافیکی از جمله تقاضای سفر، حجم سفرهای روزانه، زمان سفر و انتشار آلاینده‌ها است.

عبـارت "دورکاری" در معنای مدرنش اولین بار توســـط مهندس ناســا، جک نایلز در ســال ۱۹۷۳ مطرح شـد که در آن زمان از راه دور روی یک سـیسـتم پیچیده ارتباطی کار می‌کرد. نایلز معتقد بود که این روش کار خلاقانه می‌تواند راه‌حلی برای ترافیک، رفت‌وآمد و مشـــکل کمبود منابع تجدیدناپذیر باشـــد. در حالت کلی دورکاری به معنی کار کردن در منزل یا هر جای دیگری بـه غیر از محل کار با کمک ابزارهای ارتباط از راه دور مثـل تلفن و اینترنـت اســـت و در واقع توافقی بین کارفرما و کارمند اســـت که در آن شـــخص کارمند می‌تواند در هر مکانی خارج از دفتر کار کند. گزارشـــی که اخیراً توســـط Global Workplace Analytics انجام شـده است نشان می‌دهد که دورکاری سـریعترین روند رشـد شـیوه کار اسـت که از سـال ۲۰۰۵ شاهد افزایش چشم‌گیر ۱۱۵ درصدی بوده است.

دورکاری نیز همچون هر ســیاســـت دیگری دارای مزایا و معایبی اسـت که کارمندان، کارفرمایان، شرکتها و سازمانها و در نهایت اجتماع را شـامل می‌شود؛ از جمله مزایای آن استقلال یا خودمختاری کارمندان، صـرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های سفر، به وجود آمدن فرصـت‌های شغلی بیشتر برای افرادی با ناتوانی جســـمی، صـــرفه‌جویی مالی برای کارفرمایان و کمک به بهبود محیط زیست با کاهش رفت‌وآمد است.

از جمله معایب آن می‌توان به احســاس تنهایی، مشـکلات روحی و پیـامـدهـای آن، جدایی بین کارمند و کارفرما، کاهش تمرکز، تحمیـل برخی از هزینـه‌ها به کارمندان از جمله برق و اینترنت و افزایش سفرهای تفریحی با توجه به ذخیره زمانی که از کاهش سفرهای کاری به دست آمده، اشاره کرد.

اسـتراتژی‌های مدیریت تقاضـای حمل‌ونقل بر این عوامل تأثیر می‌گذارد تا الگوهای سـفر کارآمدتری را ایجاد کند که از جمله آن می‌توان به تغییر زمان سفر از ساعت اوج به دوره‌های غیر اوج ترافیک، تغییر نحوه سـفر کردن از خودرو شـخصـی به حالتهای جایگزین و از مسـیر و نقاط پراکنده به مقاصـد نزدیک اشـــاره کرد. این اســـتراتژی‌های مختلف که با هدف افزایش اسـتفاده کارآمد از سیستمهای حمل‌ونقل است، مزایای زیادی دارد که به کاهش شـلوغی جاده‌ها و پارکینگها، کاهش آلودگی، افزایش اسـتفاده از وسـایل نقلیه حمل‌ونقل عمومی، اسـتفاده کارآمدتر از زمین و برنامه‌های رفت‌وآمد هوشـمند که به کاهش سـفرها و ازدحام خودروهای تک سـرنشـین کمک می‌کند، اشـاره کرد. از اسـتراتژیهای متعددی که می‌توانند برای تأثیرگذاری بر تصـمیمات سـفر اسـتفاده شـوند، سفر اشتراکی، خودروی اشـتراکی، درخواسـت سـواری، برنامه‌های تضـمین رسیدن به خانه، دورکاری و ساعت کاری انعطاف‌پذیر، مدیریت پارکینگ و آرام‌سازی جریان ترافیک هستند.

تمامی این موارد استراتژی‌هایی است که با تشویق کاربران، تغییر از سـفر خودروهای تک سـرنشـین به حالتها و سـفر خودروهای چند سـرنشـین یا تغییر سـاعت سـفرهای روزانه بـه خارج از دوران اوج ترافیک، کارایی ســیســـتم را افزایش می‌دهد.

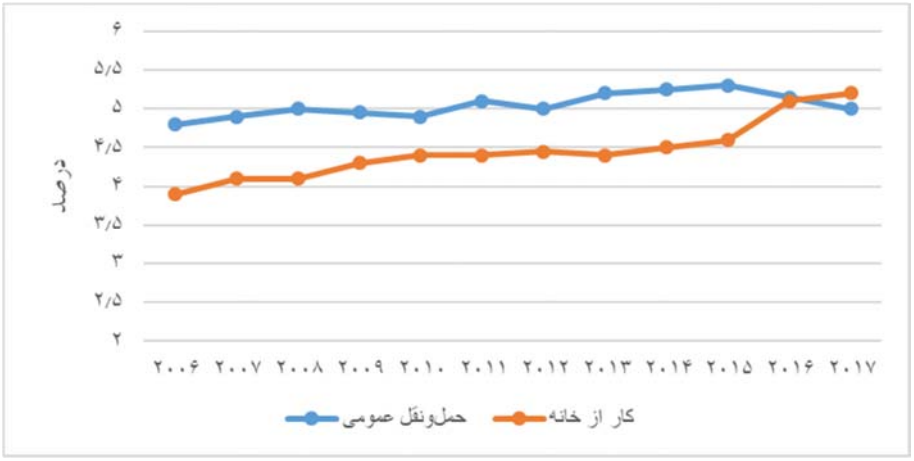
۲- پیشینه تحقیق

دورکاری می‌تواند تراکم و شلوغی ترافیک را کاهش دهد اما ممکن است مشکلات ترافیکی دیگری ایجاد کند و اعمال آن عوامل دیگری مانند افزایش فاصله بین خانه و محل کار یا افزودن سفرهای جدید را در پی داشته باشد که می‌تواند به ایجاد ازدحام بیشتر منجر شود.

مطالعات انجام شده نشان داده است که دورکاری می‌تواند با کاهش تعداد وسایل نقلیه در خیابان‌ها در ساعات اوج ترافیک و رفت‌وآمد کاربران مسیر، به کاهش تراکم ترافیک کمک کند. به عنوان مثال، مطالعه‌ای در واترلو، انتاریو کانادا، نشان داد که دورکاری افراد در خانه می‌تواند به طور بالقوه تراکم ترافیک را کاهش دهد، بدون اینکه تأثیر منفی بر سایر فعالیتهای خانگی مانند کارهای روزمره، فعالیت‌های مربوط کودکان یا گردشهای اجتماعی و تفریحی بگذارد. (Andrey, Burns and Doherty, 2004)

تأثیر دورکاری بر کاهش ازدحام ممکن است چندان محسوس نباشد زیرا این امکان است که برخی از کارمندان دورکار به دلیل داشتن زمان بیشتر در طول روز، فعالیتهای خود را برنامه‌ریزی مجدد کرده که منجر به سفرهای اضافی در ساعات اوج ترافیک شود. آخرین برآوردهای دفتر سرشماری ایالات متحده که در سال ۲۰۱۸ منتشر شد، نشان می‌دهد که تقریباً ۸ میلیون کارمند در درجه اول در خانه کار می‌کنند.(Maciage, 2018)

این باعث می‌شود دورکاری در حال حاضر پس از رانندگی با وسیله شخصی به عنوان متداول‌ترین وسیله برای رسیدن به محل کار و برای اولین بار جلوتر از وسایل نقلیه عمومی باشد (شکل ۱).



شکل ۱. مقایسه کارمندان آمریکایی که از خانه کار می‌کنند با کارمندانی که از وسایل حمل‌ونقل عمومی استفاده می‌کنند.

از دیگر نتایج دورکاری آن است که یک فرد دورکار ممکن است سفرهای کمتری به محل کار داشته باشد اما در عوض سفرهای دیگری انجام دهد که مجموع این سفرها کمتر، مساوی یا حتی بیشتر از یک کارمند عادی باشد. با تمام این تفاسیر، پاتریشیا مختاریان، استاد دانشگاه جورجیا آمریکا و از پیشگامان مطالعه بر روی سیاست دورکاری، معتقد است مزایای خالص کار از راه دور بیشتر از معایب احتمالی است. تحقیقات وی که سالهاست ادامه دارد بیان می‌کند که ارزیابی اثرات کلی دورکاری به طور کلی نشان می‌دهد دورکاری قطعا باعث کاهش کمی در کل مسافت طی شده وسیله نقلیه می‌شود.

دانشگاه کالیفرنیا در پژوهشی تحت عنوان اثربخشی کار از راه دور به عنوان یک اقدام کنترل حمل‌ونقل، نشان داد کار از راه دور باعث کاهش ۰/۸ درصدی مسافت پیموده شده سالانه در سراسر کشور شده است. (Sampath, Saxena, Mokhtarian, 1991)

با نگاهی به اعداد و ارقام و آمارهای تجربی، می‌توان بهتر به تاثیرات مثبت دورکاری بر ترافیک و محیط زیست پی برد. یک مطالعه توسط نهاد Flexjobs در سال ۲۰۱۶ در واشنگتن آمریکا نشان داد که میزان کارمندان نیمه‌وقت از ۱۱ درصد در سال ۲۰۰۱ به بیش از یک چهارم (۲۷ درصد) در سال ۲۰۱۳ افزایش یافته است و اگرچه اکثر این کارمندان هنوز به محل

کار خود تردد می‌کنند، اما با اعمال سیاست دورکاری با وجود این افزایش تعداد، میزان تراکم در ساعت اوج ترافیک ٦/٥ درصد کاهش یافته است. این مطالعه همچنین نشان داد که حداقل نیمی از کسانی که رفت‌وآمد می‌کنند می‌توانند از راه دور کار کنند. در نمونه‌ای دیگر از اعمال سیاست دورکاری، شرکت CompuCom در شهر هیسوتون، ایالت تگزاس آمریکا برنامه دورکاری خود را در دسامبر ۲۰۰۷ آغاز کرد. در ابتدای برنامه، تقریباً ۱٤۰ نفر از ٦۰۰ کارمند آن حداقل در هفته یک بار به صورت چرخشی در منزل کار کردند. طی یک سال، ٥۰ کارمند دیگر به این برنامه پیوستند و طی دو سال، ۷۰ درصد از کل کارکنان آن از راه دور مشغول کار شدند. در پی اعمال این سیاست‌ها، CompuCom توانست فضای اداری را بیش از ۱۳٥۰۰ فوت مربع کاهش دهد و هزینه‌های سالانه مربوطه را یک میلیون دلار کاهش دهد. در سال ۲۰۰۹، دورکاری کارمندان باعث کاهش انتشار ٤۰ تنی گازهای گلخانه‌ای و کاهش ۸۷۰۰۰ مایل مسافت طی‌شده نیز شد.

شرکت زیراکس با ۲۷۰۰۰ کارمند، در سال ۲۰۱٥ برآورد کرد که دورکاری کارمندان باعث شده ۹۲ میلیون مایل کمتر طی کنند، انتشار کربن را تقریباً ٤۱۰۰۰ تن کاهش دادند و فقط در یک سال بیش از ۱۰ میلیون دلار صرفه‌جویی کردند.

در سال ۲۰۱۰ برآورد شد در شهر توکیو ژاپن ۹ الی ۱٤ میلیون نفر شامل سیاست دورکاری شوند که این باعث کاهش ٦/۹ تا ۱۰/۹ درصدی تراکم در این شهر است و در ساعات اوج ترافیک تا ۲٦۱ درصد از ظرفیت را کاهش می‌دهد. پس‌انداز هزینه ناشی از آن نیز معادل ۷/۹ تا ۲٦/٤ درصد هزینه سالانه در حمل‌ونقل عمومی است.

تجزیه و تحلیل نیروی کار جهانی در سال ۲۰۱٦، این صرفه‌جویی سالانه را تخمین می‌زند اگر افرادی که مشاغل سازگار با کار از راه دور داشتند، نیمی از وقت خود را از راه دور کار می‌کردند از انتشار ٥٤ میلیون تن گاز گلخانه‌ای جلوگیری می‌شود که معادل خارج کردن ۱۰ میلیون خودرو از جاده‌ها است و همچنین باعث کاهش سالانه ۱۱۹ میلیارد مایل تردد در بزرگراه‌ها نیز می‌شود.

تأثیرات دورکاری بر رفتار سفر، عمدتاً با تلاش مختاریان، سالومون، نایلز و همکارانشان مستند شده است. تعدادی از مطالعات نشان داد که کارمندان دورکار تعداد سفر و مسافت طی شده را در طول روزهای دورکاری کاهش می‌دهند. (Nilles, 1988) ، (Mokhtarian, 1998)، (Wells, Douma, Loimer, et al, 2001)

در حالیکه سایر شواهد تجربی حاکی از داشتن انگیزه و وقت بیشتر برای سفر فقط در روزهای غیر از دورکاری را ارائه می‌دهند. (Niles, 1994)، (Mokhtarian 1991) و (Mokhtarian, Salomon, 1997).

رویکردهای رفتاری نیز برای توضیح تصمیمات افراد در زمینهٔ دورکاری می‌توانند لحاظ شوند. (Mokhtarian, Salomon, 1996)

کار از راه دور می‌تواند رفت‌وآمد کارکنان را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. به عنوان مثال یک کارمند با دو روز در هفته دورکاری میزان رفت‌وآمد را تا ٤۰ درصد کاهش می‌دهد. دورکاری به ویژه برای کارمندانی که باید مسافت طولانی‌تری تا محل کارشان طی کنند جذاب‌تر است. مراکز دورکاری در محله‌ها میزان رفت‌وآمد را تا ٥۰ درصد کاهش می‌دهد اما کاهش انتشار گازهای گلخانه ای زیاد نیست، چرا که حتی سفرهای کوتاه با خودرو به دلیل استارت موتور سرد باعث نشر آلودگی می‌شود. (Koenig, Henderson, Mokhtarian, 1996)

با توجه به مطالعات قبلی که در مقیاس کلان متمرکز بودند، متوسط صرفه‌جویی هر کارمند دورکار بین ۱٥۰۰ تا ۳٥۰۰ مایل سفر (VMT) در سال است. (Shafizadeh, Niemeier, Mokhtarian, 1998)

با استفاده از داده‌های برنامهٔ دورکاری که در کالیفرنیا اجرا شد، پروژه دورمرکزهای محلات که ۱٥ مرکز را شامل می‌شود، تأسیس شد. در نتیجه آن مایل‌های پیموده شده در روزهای دورکاری ٥۳ واحد کمتر از روزهای غیر دورکاری است، اما تعداد سفرها افزایش یافت زیرا افراد ظاهراً برای زمان نهار از دورمرکز به خانه می‌رفتند. در مرحلهٔ بعدی با استفاده از مدل آلایندگی EMFAC7 ، مشخص شد که میزان انتشار در روزهای دورکاری ۱٥ درصد کمتر از روزهای غیر دورکاری، برای گازهای آلی واکنش‌پذیر، ۲۱/٥ درصد برای CO، ۳٥ درصد برای NO_X و ٥۱/٥ درصد برای PM است. (Mokhtarian, Varma, 1998)

کارمندان دورکار در هلند تعداد کل سفرها را ٥۰ درصد و مسافت طی شده را ۱۰ درصد در طول روزهای دورکاری کاهش می‌دهند. این یعنی تعداد کل سفرها به دلیل دورکاری، ۱۷ درصد کاهش و در ساعت اوج ترافیک ۲٦ درصد کاهش یافته است.(Bamister, Marshall, 2000)

تأثیر دورکاری بر ترافیک و کیفیت هوا در یک کلان شـهر سـاراگوزا، واقع در شـمال شـرقی اسـپانیا، نشـان داد که هزینهٔ صرفه‌جویی سالانه در آلودگی هوا بین ۵۴۱/۱ تا ۳۲۴۶/۹ یورو با درصـد دورکاری بین ۲/۵ تا ۱۵ اسـت. هزینهٔ صـرفه‌جویی سـالانـهٔ ترافیـک نیز ۵۲۳۲/۶ تـا ۳۱۳۹۵/۹ یورو تخمین زده می‌شود.(Perez, Sanchez, 2004)

پی‌فلیگر و همکـاران در مطـالعـه‌ای تأثیر پروژه "محل کار متصل" شرکت Dell را بررسی کردند. محل کار متصل Dell شـامل طرح‌های اشتغالی انعطاف‌پذیر مانند ساعات کاری متغیر و کار در خانه اسـت. با اجرای این برنامه از ۶۷۰۰ تن انتشـار گازهای گلخانه‌ای در سـال ۲۰۱۳ جلوگیری شده و ۱۲ میلیون دلار اضـافی در همان سـال صـرفه‌جویی شـده اسـت. تقریباً ۲۰ درصـد از نیروهای کار شـرکت Dell به طور رسـمی در برنامه محل کار متصـل شـرکت Dell کار می‌کنند و انتظار می‌رود در سـال ۲۰۲۰ این عـدد ۵۰ درصـد شـده باشد.(Pflueger, Gibson, 2016)

بـا دورکـاری کارمندان در منطقه بزرگ دوبلین (GDA)، صرفه‌جویی قابل توجهی در تولید کربن ایجاد می‌شود. اگر ۲۰ درصـد از جمعیت GDA به مدت یک سال، یک روز در هفته را از راه دور کار کنند این منجر به صـرفه‌جویی تقریباً ۶۰۰۰۰ تنی کربن می‌شـود. این پتانسیل این حالت حمل‌ونقل پایدار را برای کـاهش انتشـار کربن نشـان می‌دهـد. (O'keefe, Caulfield, Brazil, White, 2016)

یک تحقیق در دانشـگاه ورونا ایتالیا نشان داد که بر اساس روش برآورد اثرات ثـابـت، کـار از راه دور حجم ترافیک را تا ۱/۹ درصـد کاهش می‌دهد. علاوه بر این، کاهش مشاهده شده در آلودگی هوا برای NO_2، CO و PM_{10} بیشتر از ۳/۳ تا ۳/۷ درصـد اسـت و پس از آن O_3 با ۲/۳ درصـد و SO_2 با ۲/۱ درصـد اسـت. با توجه به روش متغیر ابزاری (IV) و روش حداقل مربعات دو مرحله‌ای (2SLS) ، اثر آن بیشـتر است که بین ۲/۶ تا ۴/۱ درصد به دست می‌آید. کاهش مربوط به ترافیک نیز ۲/۷ درصد می‌شود.(Giovanis, 2018)

پیردوانی و همکـاران در سـال ۲۰۱۳ در یـک مطـالعه در بلژیـک پیش‌بینی کردند که اگر ۵ درصـد از مسـافران فعلی در منطقه فلاندرز این کشور به دورکاری روی آورند، تصادفات کـل وسـایـل نـقـلـیـه تـقـریـبـاً ۲/۵ درصـد کـاهش می‌یابد. (Pirdavani, Brijs, Bellemans and kochan, 2013)

در سـال ۱۳۸۸ زیاری در مقاله‌ای دورکاری را به عنوان یکی از راهـهـای جـلـوگـیـری از افـزایـش روزافـزون ترافیـک در شهرها مورد بررسی قرار داد. در این رابطه، اهداف دورکاری در سـازمانها و شـرکتها و مشکلات موجود در اجرای آن مورد بررسـی قرار گرفت و راهکارهای مورد نیاز جهت رفع موانع ارائه شد. (Ziari, 2009)

میزان تأثیر اجرای دورکاری در بهبود شـاخصهای ترافیکی شبکه معابر شهر تهران در پژوهشی توسط یزدان‌پناه و همکاران در سـال ۱۳۹۱ مورد بررسـی قرار گرفت. باتوجه به نتایج ارائه شـده، با اجرای دورکاری در شـهر تهران و با افزایش مرحله‌ای آن تا حداکثر ۸۰ درصـد جامعه هدف، سرعت وسایل نقلیه در شـبکه شـهر تهران ۹ درصـد افزایش پیدا خواهد کرد، میزان مسـافت طی شده ۶ درصد و همچنین بخشی از شبکه معابر که در شـرایط کند و بحرانی قرار دارند ۱۱ درصد و میزان مصرف بنزین نیز ۱۱ درصـد نسبت به وضع موجود کاهش پیدا خواهد کرد.(Yazdanpanah, Baratian, Abedini, 2012)

کمـال و کرمـانشـاه در مطـالعه‌ای در سـال ۱۳۹۵، مدل امکـان‌پـذیری دورکاری با در نظرگیری اثر شـغل کارمندان و رویکرد شـغل انتزاعی را بررسـی کردند. در این مطالعه، مدل امکان‌پذیری دورکاری با استفاده از ساختار مدل لوجیت دوگانه و با در نظرگیری نقش هر دو گروه موثر (کارمند و سـرپرسـت او) ساخته شده است. مدلسازی با استفاده از نمونه آماری شامل ۲۴۵ پاسـخ سرپرست و کارمند ۷ سازمان دولتی شهر تهران در مورد امکـانپـذیری دورکـاری، بـا در نظرگیری عوامل مختلف، به ویژه شـغل کارمندان و با اسـتفاده از رویکرد شـغل انتزاعی پرداخته شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که دورکاری برای کارمندانی که وابسـتگی فعالیتهای شـغلی آنها به محیط معمول کار کمتر اسـت، امکانپذیرتر و امکان مشـارکت آنها در این طرح بیشتر است.(Kamal, Kermanshah, 2016)

وکیلیان و ادریسـی در مقاله‌ای در سـال ۱۳۹۹ با اطلاعاتی که از طریق ۴۴۷ پرسـشنامه انجام گرفت و جامعه مورد مطالعه آن کارمندان و اسـاتید دانشـگاه در شهر تهران بود به بررسی و مدلسـازی عوامل موثر بر انتخاب دورکاری و تأثیر آن بر تقاضا در شبکه های حمل‌ونقل پرداختند. برای بررسی میزان تقاضای حمـل‌ونقل ناشـی از دورکاری از مدلی مبتنی بر رگرسـیون لجسـتیک استفاده شد. نتایج نشان داد که عوامل مختلفی شامل سـابقه و درصـد دورکاری و پس از آن زمان تأخیر رسـیدن از

منزل تا محل کار و مسافت سفر در مدل مربوط به تقاضای حمل‌ونقل جامعه اساتید تأثیر داشت. برای جامعه کارمندان، بیشترین اثر را بر تقاضای دورکاری، سابقه و درصد دورکاری و پس از آن مسافت سفر، زمان تأخیر رسیدن از محل کار به منزل و زمان تأخیر رسیدن از منزل تا محل کار داشته است.(Vakilian, Edrisi, 2020)

۳- روش تحقیق

در این تحقیق به طراحی مدل شبیه‌سازی جهت تحلیل و ارزیابی اثرات طرح دورکاری کارمندان ادارات بر شاخص‌های ترافیکی در کلانشهرها پرداخته خواهد شد، بنابراین نوع این تحقیق از حیث هدف، در دسته تحقیقات کاربردی قرار می‌گیرد. یک تحقیق کاربردی، پژوهشی است که با استفاده از نتایج تحقیقات بنیادی به منظور بهبود و به کمال رساندن رفتارها، روش‌ها، ابزارها، وسایل، تولیدات، ساختارها و الگوهای مورد استفاده جوامع انسانی انجام می‌شود. هدف تحقیق کاربردی توسعه دانش کاربردی در یک زمینه خاص است. از این رو سعی خواهد شد تا از نتایج به دست آمده آن در جهت بیان راهکارهایی برای اصلاح و بهبود وضعیت نابسامان ترافیکی فعلی استفاده شود. مراحل اصلی که برای انجام این شبیه‌سازی طی شده است.

۳-۱- انتخاب و معرفی نرم‌افزار

نرم‌افزار ایمسان قادر است به طور همزمان شبیه‌سازی میکروسکوپیک، مزوسکوپیک و ماکروسکوپیک، هیبرید و چهار مرحله‌ای را انجام دهد و این از ویژگیهای منحصر به فرد این نرم‌افزار است. مدل‌های ترافیک میکروسکوپیک جزئیات جریان ترافیک و فعل و انفعالاتی را که درون آن اتفاق می‌افتد توصیف می‌کند و عموما رفتار خودروهای سواری را شبیه‌سازی می‌کنند. معادله حرکت هر وسیله نقلیه بر این فرض استوار است که هر راننده به روش منحصر به فردی به تحرکی از وسایل نقلیه دیگر پاسخ می‌دهد. از کاربردهای ایمسان، تصمیم‌گیری در زمان واقعی در مورد مدیریت شبکه حمل‌ونقل است؛ این نرم‌افزار می‌تواند به صورت دو بعدی یا سه بعدی مدل را نمایش دهد. همچنین برای پیش‌بینی دینامیک شرایط ترافیک در آینده بر اساس وضعیت فعلی شبکه و ارزیابی واکنش گزینه‌ها یا استراتژی‌های مختلف مدیریت ترافیک استفاده می‌شود. ایمسان یک نرم‌افزار قدرتمند در زمینه مدلسازی و شبیه‌سازی شبکه راهها است که برای مطالعات ترافیکی شبکه راه‌ها قبل و بعد از اجرا در فاز صفر و یک مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌توان انواع روش مدلسازی از جمله روش تعقیب خودرو، تغییر خط عبوری، پذیرش فاصله و انتخاب مسیر را در آن لحاظ کرد. هدف این برنامه بررسی و ارزیابی شبکه راه‌ها با توجه به مطالعات ترافیکی و احجام شمارشی، تحلیل ظرفیت راه‌ها، زمانبندی تقاطع‌ها، ... و ارائه راهکار از جمله اصلاح هندسی و یا وضع قوانین ترافیکی جدید بوده و سطح کیفیت خروجی‌های نرم‌افزار نیز بسیار مناسب است.

نرم‌افزار استفاده شده در این تحقیق Aimsun 6.0.5 است.

۳-۲- ایجاد مدل

این قسمت اولین مرحله از بکارگیری نرم‌افزار به شمار می‌رود. یکی از ویژگی‌های نرم‌افزار ایمسان، توانایی در دریافت نقشه‌های آنلاین منطقه مورد مطالعه (OpenStreetMap) است. پس از وارد کردن نقشه منطقه مورد نظر در نرم‌افزار که می‌تواند به صورت آنلاین و یا استفاده از عکس باشد، مدلسازی آن آغاز می‌شود. منظور از مدلسازی ترسیم شبکه معابر، ترسیم تقاطعات و میادین، طبقه‌بندی راهها و مشخص نمودن بزرگراهها و خیابانهای اصلی و فرعی، زیرگذر و روگذر و علائم رانندگی و جهت حرکت است. یک مدل شبکه ترافیک ایمسان مجموعه‌ای از بخشها است که از طریق گره‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند. بخشها و گره‌ها می‌بایست به سنترویدها متصل شوند که می‌توان آنها را به عنوان منابع تولید و جذب ترافیک در نظر گرفت.

۳-۳- داده‌های ورودی

داده‌های استاتیک؛ که ویژگی‌های فیزیکی و بصری مدل را شامل می‌شود. از جمله این داده‌ها می‌توان به مشخصات وسایل نقلیه، تعداد خطوط معابر، عرض عبوری، محل قرارگیری چراغ راهنمایی، ایستگاههای اتوبوس و ... اشاره کرد و داده‌های دینامیک؛ این داده‌ها شامل شاخص‌های و پارامترهای ترافیکی بوده که نحوه جمع‌آوری آنها مختلف و بر اساس زمان متفاوت

است. از جمله مهمترین آنها متغیرهای تقاضای سفر و حجم ترافیک و جریان‌های ترافیکی هستند.

۳-٤- سناریوسازی

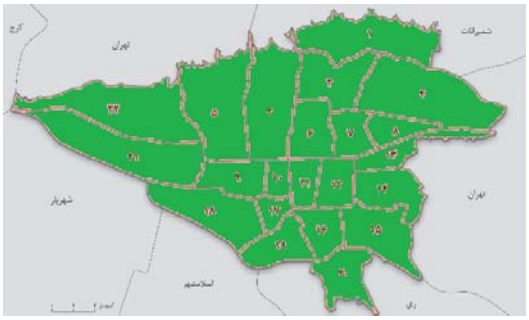
در این مرحله سناریوها را در هفت حالت تعریف کرده که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد. در سناریوهای تعریف شده، اجرای سیاست دورکاری برای جامعه هدف به صورت منطقه‌بندی‌های مختلف در یک روز کاری از هفته و در ساعت اوج صبح در منطقه سه تهران انجام می‌شود تا اثرات آن بر شاخص‌های ترافیکی مشخص شود.

۳-٤-۱- سناریو اول

در این سناریو فرض می‌شود که سیاست دورکاری برای سفرهای شغلی شامل موارد زیر اعمال می‌گردد؛

-برای از مبدأ منطقه سه به مقصد منطقه سه و به سایر مناطق

-برای از مبدأ تمام مناطق غیر از منطقه سه به مقصد منطقه سه

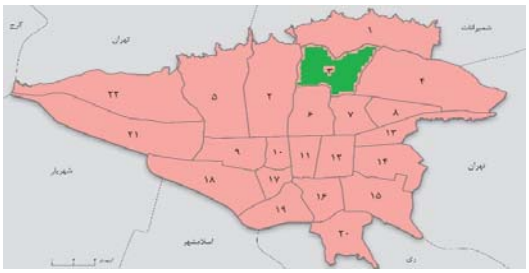


شکل ۲. منطقه‌بندی دورکاری سناریو اول

۳-٤-۲- سناریو دوم

در این سناریو فرض می‌شود که سیاست دورکاری برای سفرهای شغلی شامل موارد زیر اعمال می‌گردد.

-برای از مبدأ منطقه سه به مقصد منطقه سه



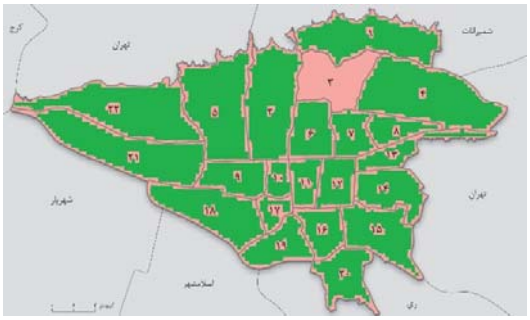
شکل ۳. منطقه‌بندی دورکاری سناریو دوم

۳-٤-۳- سناریو سوم

در این سناریو فرض می‌شود که سیاست دورکاری برای سفرهای شغلی شامل موارد زیر اعمال می‌گردد.

-برای از مبدأ منطقه سه به مقصد تمام مناطق غیر از منطقه سه

-برای از مبدأ مناطق غیر از منطقه سه به مقصد منطقه سه



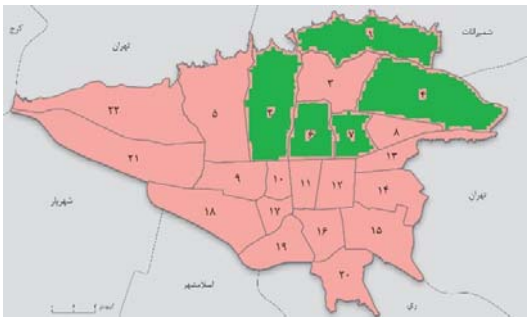
شکل ٤. منطقه‌بندی دورکاری سناریو سوم

۳-٤-٤- سناریو چهارم

در این سناریو فرض می‌شود که سیاست دورکاری برای سفرهای شغلی شامل موارد زیر اعمال می‌گردد.

-برای از مبدأ منطقه سه به مقصد مناطق همسایه منطقه سه

-برای از مبدأ مناطق همسایه منطقه سه به مقصد منطقه سه



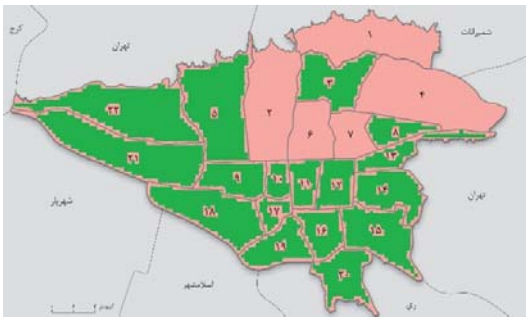
شکل ۵. منطقه‌بندی دورکاری سناریو چهارم

۳-٤-۵- سناریو پنجم

در این سناریو فرض می‌شود که سیاست دورکاری برای سفرهای شغلی شامل موارد زیر اعمال می‌گردد.

-برای از مبدأ منطقه سه به مقصد منطقه سه و سایر مناطق به غیر از مناطق همسایه

-برای از مبدأ سایر مناطق به غیر از مناطق همسایه منطقه سه به مقصد منطقه سه



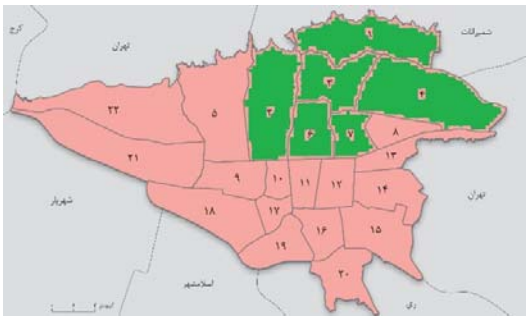
شکل ٦. منطقه‌بندی دورکاری سناریو پنجم

۳-٤-٦- سناریو ششم

در این سناریو فرض می‌شود که سیاست دورکاری برای سفرهای شغلی شامل موارد زیر اعمال می‌گردد؛

-برای از مبدأ منطقه سه به مقصد منطقه سه و مناطق همسایه‌اش

-برای از مبدأ مناطق همسایه به مقصد منطقه سه



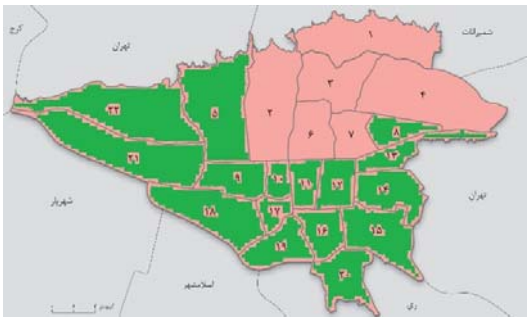
شکل ۷. منطقه‌بندی دورکاری سناریو ششم

۳-٤-۷- سناریو هفتم

در این سناریو فرض می‌شود که سیاست دورکاری برای سفرهای شغلی شامل موارد زیر اعمال می‌گردد.

-برای از مبدأ منطقه سه به مقصد تمام مناطق به غیر از منطقه سه و مناطق همسایه‌اش

-برای از مبدأ تمام مناطق به غیر از منطقه سه و مناطق همسایه‌اش به مقصد منطقه سه



شکل ۸. منطقه‌بندی دورکاری سناریو هفتم

۳-۵- کالیبراسیون و شبیه‌سازی

کالیبراسیون مدل ترافیکی به عنوان فرآیندی تعریف می‌شود که توسط آن کاربر مدل، مقادیر پارامترهای ورودی را برای منعکس کردن شرایط ترافیک محلی که در حال مدلسازی است، تعیین می‌کند. این کار به اشکال‌زدایی مدل کمک کرده، آن را به شرایط حقیقی نزدیکتر می‌کند، توصیف خوبی از رفتار سیستم ارائه می‌دهد و همچنین می‌تواند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری در مورد شاخص‌های ترافیکی محل انجام دهد. از جمله مواردی که در این قسمت تعریف می‌شود زمان عکس‌العمل راننده، میزان سبقت از سمت راست، راه گرفتن به جای راه دادن، حداکثر و حداقل سرعت در اتوبانها، میزان فاصله قابل قبول با خودروی جلویی، بی‌احتیاطی در تعویض خط عبور، حداکثر زمان رعایت حق تقدم، مصرف سوخت خودروها و مسائل زیست محیطی است. پس از آن با تعریف کردن یک سناریو و وارد کردن تمامی اطلاعات مربوط به آن، با استفاده از روش ماتریس مبدأ-مقصد و همچنین با توجه به مشخص بودن مقصد هریک از خودروها در شبکه، تعداد تکرارهای لازم وارد شده و از نرم‌افزار run گرفته می‌شود.

۳-٦- بررسی نتایج خروجی

قبل از بررسی خروجی‌های مطالعه، دقت هندسه شبکه امتحان شد. این کار با دنبال کردن چند وسیله در شبکه انجام شد. در این نرم‌افزار با ایجاد آمار تصادفی، تعدادی خودرو در ساعات اوج وارد مدل می‌شود که با تعقیب هر خودرو می‌توان میزان پارامترهای مختلف برای آنها را بررسی کرد؛ سپس با میانگین‌گیری و استفاده از قوانین آماری در نرم‌افزار اکسل، نتایج خروجی تعیین گشتند.

۳-۷ تعریف انواع متغیرهای تحقیق

-تقاضای سفر: تقاضا در حمل‌ونقل به تعداد و نوع سفری که افراد تحت شرایط خاص انتخاب می‌کنند، با در نظر گرفتن عواملی مانند کیفیت گزینه‌های حمل‌ونقلی موجود و قیمت آنها، اشاره دارد. درک تقاضا برای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، به ویژه مدیریت تقاضای حمل‌ونقل مهم است و شامل استراتژی‌های مختلفی است که بر رفتار سفر تأثیر می‌گذارد.

-حجم ترافیک: از اساسی‌ترین و پرکاربردترین پارامترها در مهندسی ترافیک، تعداد وسایل نقلیه‌ای است که از نقطه‌ای از یک راه یا یک خط راه و یا یک جهت از راه در طول یک دوره زمانی مشخص (روز یا ساعت) عبور می‌کنند و برحسب وسیله نقلیه بر روز یا ساعت بیان می‌شود.

-نرخ جریان ترافیک: تعداد وسایل نقلیه‌ای است که در زمان واحدی (کمتر از یک ساعت) در جهت یا جهات مشخصی از یک یا چند خط از مقطع معینی از جاده می‌گذرند و بر حسب وسیله نقلیه بر ساعت بیان می‌شود.

-چگالی: تعداد وسائل نقلیه‌ای که یک طول مشخص (بطور معمول یک کیلومتر) یا خط مشخص از مقطع راه را اشغال کرده‌اند و واحد آن تعداد وسیله نقلیه در واحد طول است.

$$k = \frac{n}{l}$$

که در آن k چگالی، n تعداد وسایل نقلیه و l طول مورد مطالعه است.

-ظرفیت: میزان حداکثر تعداد وسایل نقلیه‌ای که در مدت زمان معینی در مقطعی خاص از معبر عبور می‌کنند.

-تراکم ترافیک: هنگامی که حجم ترافیک عبوری از ظرفیت راه یا تقاطع بیشتر باشد، تراکم یا راهبندان به وجود می‌آید. در رابطه زیر v حجم و c ظرفیت است.

$$\frac{v}{c} \geq 1$$

-زمان سفر: زمان سفر به عنوان زمان صرف شده برای تکمیل یک سفر تعریف می‌شود. در واقع کل زمان مورد نیاز یک وسیله نقلیه برای سفر از یک نقطه به نقطه دیگر در یک مسیر مشخص در شرایط حاکم.

-زمان تأخیر سفر: تفاوت بین زمان واقعی مورد نیاز برای عبور از یک قطعه از راه و زمان مربوط به میانگین سرعت ترافیک در شرایط بدون تراکم. تأخیر به عنوان زمان اضافه‌ای که رانندگان برخلاف انتظارشان صرف می‌کنند تعریف می‌شود.

-تعداد توقف‌ها: توقف برای یک وسیله نقلیه زمانی اتفاق می‌افتد که سرعتش به کمتر از سرعت ورودی آن وسیله به صف کاهش یابد و تا زمانی ادامه دارد که سرعت آن کمتر از میزان سرعت خروجی از صف است. هنگامی که سرعت خودرو از پارامتر سرعت خروج از صف بالاتر رفت، خودرو دیگر در صف در نظر گرفته نمی‌شود و شامل توقف نیست. هنگامی که سرعت خودرو دوباره از سرعت ورودی صف پایین‌تر رفت، یک توقف جدید بوده و به آمار تعداد توقف‌ها اضافه می‌شود.

-زمان توقف: زمان توقف یک وسیله نقلیه، تمام زمانی را در نظر می‌گیرد که سرعت خودرو کمتر از سرعت ورودش به صف بوده و تا زمانی که از پارامتر سرعت خروجی صف بالاتر برود، محاسبه می‌شود.

-کل مسافت طی شده: تعداد کل کیلومترهای طی شده توسط تمام وسایل نقلیه‌ای که از شبکه عبور کرده‌اند.

-ضریب ساعت اوج: ضریبی است که بیانگر حجم تردد ساعتی به نرخ تردد است.

$$PHF = \frac{hourly\ volume}{\max rate\ of\ flow}$$

ضریب ساعت اوج برای دوره طراحی ۱۵ دقیقه ای از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$PHF = \frac{v}{4 * v_{15}}$$

در اینجا v حجم ساعتی و v_{15} بیشترین حجم ۱۵ دقیقه‌ای در طول ساعت است.

-سرعت: سرعت عبارت است از میزان تغییرات موقعیت در واحد زمان.

$$v = \frac{d}{t}$$

که در آن v سرعت، d مسافت و t زمان است.

-سرعت مجاز: سرعت مطمئنی است که برای عبور و مرور در معابر توسط پلیس راه بر اساس آیین نامه‌های رانندگی برای یک مقطع از راه در نظر گرفته می‌شود. این سرعت عموما تابلوهای مختلف و یا علائم دیگر نشان داده می‌شود و همه وسایل نقلیه موظف به رعایت آن هستند. سرعتی که به عنوان داده‌های اولیه وارد نرم‌افزار می‌شود همان سرعت مجاز است.

-سرعت عملکردی: که سرعتی است که ۸۵ درصد رانندگان سرعتی برابر با آن یا کمتر از آن را دارند. میزان این سرعت متغیر و به موارد مختلفی نظیر شرایط جوی، نوع وسایل نقلیه،

رفتار رانندگان و ... بستگی دارد. این به آن معناست که اندازه این سرعت گاهی کمتر از سرعت مجاز، گاهی برابر و گاهی نیز بیشتر از آن است. سرعتی که به عنوان خروجی از نرم‌افزار دریافت می‌شود سرعت عملکردیست.

-آلودگی هوا: انتشار مواد شیمیایی یا گازهای سمی ناشی از سیستم سوخت رسانی خودروها در هوا که خطراتی را برای سلامتی انسان‌ها در پی داشته باشد.

-میزان مصرف سوخت: به میزان مصرف سوخت توسط یک خودرو پس از پیمودن یک مسیر مشخص اشاره دارد. محاسبه مصرف سوخت برپایه مسافت به صورت لیتر در صد کیلومتر محاسبه می‌شود.

۳-۸- روندنمای تحقیق

شکل ۹ روندنمای انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

شکل ۹. روندنمای (فلوچارت) مراحل انجام پژوهش

٤- ساخت و اجرای مدل

هدف اصلی و کلی این پژوهش تحلیل و ارزیابی اثرات طرح دورکاری کارمندان ادارات بر شاخص‌های ترافیکی (از قبیل چگالی، جریان، حجم، سرعت، زمان سفر و تأخیر و ...) در کلانشهرها است. این کار با ساخت یک مدل شبیه‌ساز و طراحی سناریوهای مختلف و مقایسه آنها با وضعیت موجود، یعنی قبل از اعمال دورکاری، انجام می‌گیرد؛ سپس به معرفی منطقه مورد مطالعه در شهر تهران و دلیل انتخاب آن پرداخته خواهد شد؛ همچنین به نحوه برداشت داده‌ها اشاره نموده و سپس ساخت مدل انجام می‌شود. در بخش بعد داده‌های به دست آمده را وارد نرم‌افزار کرده و پس از آن اجرای شبیه‌سازی ترافیکی سناریوها صورت می‌گیرد. در نهایت نیز به تجزیه و تحلیل نتایج و مقایسه آنها پرداخته می‌شود.

٤-١-معرفی شهر و منطقه مورد مطالعه

تهران پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران، مرکز استان تهران و شهرستان تهران است. مساحت این شهر بیش از ۷۵۰ کیلومتر مربع و در سرشماری سال ۱۳۹۵ بالغ بر هشت میلیون تن جمعیت داشته است. براساس برآورد سال ۲۰۱۸ سازمان ملل متحد، در جدول شهرهای پرجمعیت جهان، تهران در رتبه ۳۸ قرار دارد. کلان‌شهر تهران همچنین دومین کلان‌شهر پرجمعیت خاورمیانه است. تهران دارای شبکه متراکم بزرگراهی است و این شبکه توسط گروهی گسترده از خیابان‌ها و جاده‌ها همراهی می‌شود. سفر با خودروی شخصی در تهران رایج است و شهروندان تمایل زیادی به استفاده از خودروی شخصی دارند؛ به نحوی که بیشترین سهم در ایجاد ترافیک در شهر تهران را وسایل نقلیه شخصی با ٦٥ درصد به خود اختصاص داده‌اند، از این رو ترافیک تهران نیز وضعیت مناسبی ندارد و گاهی بحرانی خوانده می‌شود. طبق آمار مرکز کنترل ترافیک شهر تهران تعداد سفر با خودروی شخصی در عرض ۳ سال بیش ٤٣ درصد افزایش یافته است؛ یعنی از ٦ میلیون در سال ١٣٩٦ به ٨ میلیون و ٦٠٠ هزار سفر در سال ۱۳۹۹ رسیده است. بر اساس گزارش مرکز آمار ایران، مناطق ٦، ١١ و ٣ به ترتیب سه منطقه‌ای هستند که بیشترین مراکز اداری و دستگاههای دولتی در آنها مستقر و دایر هستند. منطقه ۳ تقریباً در بخش شمال شرقی شهر تهران قرار دارد؛ این منطقه از لحاظ رتبهٔ توسعه یافتگی در مکان اول در میان کل مناطق تهران قرار

دارد و با دارا بودن حدود ۳۲ کیلومتر مربع مساحت، از لحاظ وسعت در بین مناطق ۲۲ گانه تهران در رتبه هشتم است و ٤/٥ درصد از کل وسعت شهر تهران را شامل می‌شود. جمعیت این منطقه بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ حدود ۳۳۰ هزار نفر گزارش شده؛ این خود نشان دهنده این موضوع است که منطقه سه به نسبت تراکم زیاد ساختمان، جمعیت بالایی ندارد که یعنی بسیاری از ساختمانها در این منطقه مسکونی نبوده و شامل حجم قابل توجهی از ساختمانهای دولتی و اداری است.

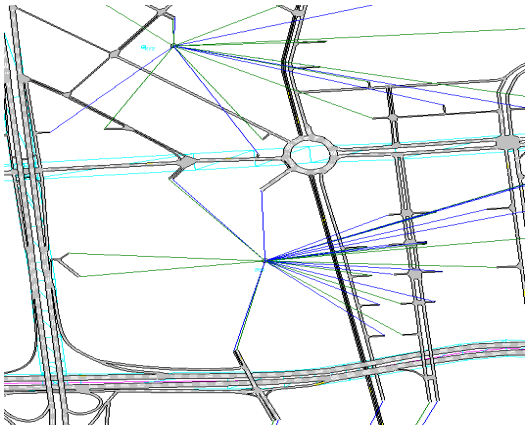
٤-۲- برداشت‌های آماری

یکی از اصلی‌ترین بخشهای هر تصمیم‌گیری را جمع‌آوری اطلاعات تشکیل می‌دهد. چنانچه این کار به شکل منظم و صحیح صورت پذیرد کار تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری از داده‌ها با سرعت و دقت خوبی انجام خواهد شد. این کار به چهار روش انجام می‌شود؛ مصاحبه، پرسشنامه، مشاهده و استفاده از اطلاعات و مدارک موجود؛ که این دو مورد آخر شامل تحقیق حاضر می‌شوند. از این رو با مراجعه به سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران امکان دسترسی به این داده‌ها که همان تقاضای سفر یک ساعت اوج سال ۱۳۹۸ از نواحی منطقه ۳ به دیگر مناطق شهر تهران و اطراف آن، نقشه زون‌بندی ترافیکی منطقه سه و درصد اهداف سفر در ساعت اوج صبح بود، میسر شد.

٤-۳- ساخت مدل

در ابتدا با وارد کردن نقشه منطقه مورد نظر در نرم‌افزار که با استفاده از عکس منطقه سه تهران است و تطابق آن با نقشه اتوکد این منطقه، که اصلاح شدن مقیاس دلیل آن است، مدلسازی روی آن آغاز می‌شود. منظور از مدلسازی می‌توان به ترسیم شبکه معابر، ترسیم تقاطعات و میادین، طبقه‌بندی راهها و مشخص نمودن بزرگراه‌ها و خیابانهای اصلی و فرعی، زیرگذر و روگذر، علائم رانندگی و حد سرعت و در نهایت دسته‌بندی کردن شبکه معابر که شامل گردش‌ها و جهت‌های حرکتی است، اشاره کرد.

مرحله بعد مشخص کردن مراکز جذب و تولید سفر یا همان سنترویدها است که به منظور وارد و خارج شدن جریان خروجی ۱۵ تکرار سناریو وضع موجود در جدول ۱ آمده است. شبکه استفاده می‌شود و می‌بایست با توجه به ماتریس تقاضا و به ترتیب آن مشخص شوند. سپس سنترویدها به مقاطع مورد نظر متصل می‌شود. این کار برای تمام نواحی ترافیکی داخل منطقه سه تهران و همچنین مناطق ۲۲ گانه و حاشیه شهر تهران انجام می‌گیرد. شکل ۱۰ نمونه‌ای از این مورد را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. مشخص کردن مراکز جذب و تولید سفر و وصل کردن آن به مقاطع

با توجه به داده‌های به دست آمده از سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهر تهران، در ساعت اوج صبح ۷۳ درصد از سفرها با اهداف شغلی انجام می‌شود؛ در این تحقیق با رجوع به بخشنامه‌های دولت در دوران کرونا و آمار داخلی و خارجی ثبت شده، میانگین پتانسیال دورکاری جامعه کارمند حدود ٤۰ درصد در نظر گرفته شده است که این عدد برای کل سفرها معادل حدود ۳۰ درصد می‌شود و در ماتریس کل اعمال می‌گردد.

٤-٤- اجرای مدل شبیه‌سازی

در این مرحله با تعریف کردن سناریوهای مد نظر در نرم‌افزار، شبیه‌سازی انجام می‌شود. برای هر سناریو شبیه‌سازی را با ۱۵ مرتبه تکرار انجام داده تا نتایج میانگین هر یک با هم مقایسه شود. در ابتدا شبیه‌سازی سناریوی وضعیت موجود انجام شد. منظور از این سناریو در این تحقیق همان تخصیص ترافیک وضعیت موجود به شبکه منطقه سه است. در این سناریو دورکاری لحاظ نشده و بیانگر وضعیت فعلی و واقعی ترافیک شبکه است.خلاصه میانگین

جدول۱. خلاصه میانگین اطلاعات خروجی شبکه در سناریو وضع موجود

Time Serie	Value	Std. Dev.	Unit
Delay Time AVG Experiment 19681 (Average 19684)	162.112	7.36608	seconds/km
Density AVG Experiment 19681 (Average 19684)	37.5287	N/A	veh/km
Flow AVG Experiment 19681 (Average 19684)	43077	N/A	veh/h
Fuel Consumption AVG Experiment 19681 (Average 19684)	19160.3	N/A	litres
Harmonic Speed AVG Experiment 19681 (Average 19684)	16.105	0.526638	km/h
Speed AVG Experiment 19681 (Average 19684)	31.4973	0.586561	km/h
Stop Time AVG Experiment 19681 (Average 19684)	156.748	7.00453	seconds/km
Stops AVG Experiment 19681 (Average 19684)	2.75951	N/A	#/veh/km
Total Distance Travelled AVG Experiment 19681 (Average 19684)	143195	N/A	km
Total Travel Time AVG Experiment 19681 (Average 19684)	7455.27	N/A	hours
Travel Time AVG Experiment 19681 (Average 19684)	223.758	7.35218	seconds/km

۴-۴-۱- شبیه‌سازی سناریو اول

فرض می‌شود ۴۰ درصد از جامعه هدف در تمام مناطق ماتریس تقاضای به کار رفته در این پژوهش به دورکاری می‌پردازند. در این حالت ماتریس کل مربوطه با ۷۰ درصد حجم تقاضای سفر با هدف شغلی به نرم‌افزار وارد می‌شود. خلاصه میانگین خروجی ۱۵ تکرار سناریو اول در جدول ۲ آمده است.

جدول۲. خلاصه میانگین اطلاعات خروجی شبکه در سناریو اول

Time Serie	Value	Std. Dev.	Unit
Delay Time AVG Experiment 19747 (Average 19750)	140.205	4.85238	seconds/km
Density AVG Experiment 19747 (Average 19750)	30.8658	N/A	veh/km
Flow AVG Experiment 19747 (Average 19750)	45051	N/A	veh/h
Fuel Consumption AVG Experiment 19747 (Average 19750)	17610.3	N/A	litres
Harmonic Speed AVG Experiment 19747 (Average 19750)	17.9862	0.443837	km/h
Speed AVG Experiment 19747 (Average 19750)	33.9787	0.406041	km/h
Stop Time AVG Experiment 19747 (Average 19750)	134.204	4.79936	seconds/km
Stops AVG Experiment 19747 (Average 19750)	2.49745	N/A	#/veh/km
Total Distance Travelled AVG Experiment 19747 (Average 19750)	157884	N/A	km
Total Travel Time AVG Experiment 19747 (Average 19750)	7575.8	N/A	hours
Travel Time AVG Experiment 19747 (Average 19750)	200.269	4.99914	seconds/km

۴-۴-۲ شبیه‌سازی سناریو دوم

در این سناریو سیاست دورکاری فقط برای داخل منطقه سه اعمال می‌گردد؛ یعنی فرض می‌شود که ۴۰ درصد از جامعه هدف پژوهش که ساکن منطقه سه هستند و محل کارشان نیز در همین منطقه است به دورکاری می‌پردازند. در این حالت ماتریس کل مربوطه با ۷۰ درصد حجم تقاضای سفر در داخل منطقه سه و بدون تغییر همانند وضعیت موجود در سایر مناطق به نرم‌افزار وارد می‌شود. خلاصه میانگین خروجی ۱۵ تکرار سناریو دوم در جدول ۳ آمده است.

جدول۳. خلاصه میانگین اطلاعات خروجی شبکه در سناریو دوم

Time Serie	Value	Std. Dev.	Unit
Delay Time AVG Experiment 19770 (Average 19803)	153.985	5.0703	seconds/km
Density AVG Experiment 19770 (Average 19803)	36.0484	N/A	veh/km
Flow AVG Experiment 19770 (Average 19803)	42218	N/A	veh/h
Fuel Consumption AVG Experiment 19770 (Average 19803)	18380.9	N/A	litres
Harmonic Speed AVG Experiment 19770 (Average 19803)	16.7393	0.398531	km/h
Speed AVG Experiment 19770 (Average 19803)	33.2416	0.441019	km/h
Stop Time AVG Experiment 19770 (Average 19803)	149.816	5.03768	seconds/km
Stops AVG Experiment 19770 (Average 19803)	2.49612	N/A	#/veh/km
Total Distance Travelled AVG Experiment 19770 (Average 19803)	146546	N/A	km
Total Travel Time AVG Experiment 19770 (Average 19803)	7299.47	N/A	hours
Travel Time AVG Experiment 19770 (Average 19803)	215.178	5.18552	seconds/km

۴-۴-۳- شبیه‌سازی سناریو سوم

در این سناریو سیاست دورکاری برعکس سناریو دوم بوده و فقط در خارج منطقه سه اعمال می‌گردد؛ یعنی فرض می‌شود که ۴۰ درصد از جامعه هدف پژوهش که محل زندگیشان در منطقه سه و محل کارشان خارج از آن است و برعکس، به دورکاری می‌پردازند. در این حالت ماتریس کل مربوطه با ۷۰ درصد حجم تقاضای سفر برای خارج منطقه سه و بدون تغییر همانند وضعیت موجود برای داخل منطقه سه به نرم‌افزار وارد می‌شود. خلاصه میانگین ۱۵ تکرار سناریو سوم نیز جدول ۴ آمده است.

جدول۴. خلاصه میانگین اطلاعات خروجی شبکه در سناریو سوم

Time Serie	Value	Std. Dev.	Unit
Delay Time AVG Experiment 19777 (Average 19820)	141.364	4.74554	seconds/km
Density AVG Experiment 19777 (Average 19820)	32.2454	N/A	veh/km
Flow AVG Experiment 19777 (Average 19820)	44511	N/A	veh/h
Fuel Consumption AVG Experiment 19777 (Average 19820)	17280.8	N/A	litres
Harmonic Speed AVG Experiment 19777 (Average 19820)	17.8695	0.427946	km/h
Speed AVG Experiment 19777 (Average 19820)	34.0839	0.585743	km/h
Stop Time AVG Experiment 19777 (Average 19820)	135.106	4.5398	seconds/km
Stops AVG Experiment 19777 (Average 19820)	2.51053	N/A	#/veh/km
Total Distance Travelled AVG Experiment 19777 (Average 19820)	150294	N/A	km
Total Travel Time AVG Experiment 19777 (Average 19820)	7215.05	N/A	hours
Travel Time AVG Experiment 19777 (Average 19820)	201.569	4.81661	seconds/km

۴-۴-۴- شبیه‌سازی سناریو چهارم

در این سناریو سیاست دورکاری فقط برای مناطق همسایه منطقه سه که شامل مناطق ۱، ۲، ۴، ۶ و ۷ هستند، اعمال می‌گردد؛ یعنی فرض می‌شود که ۴۰ درصد از جامعه هدف پژوهش که ساکن مناطق همسایه منطقه سه هستند و محل کارشان در منطقه سه است و برعکس، به دورکاری می‌پردازند. در این حالت ماتریس کل مربوطه با ۷۰ درصد حجم تقاضای سفر برای مناطق همسایه و بدون تغییر همانند وضعیت موجود در سایر مناطق به نرم‌افزار وارد می‌شود. خلاصه میانگین خروجی ۱۵ تکرار سناریو چهارم در جدول ۵ آمده است.

جدول۵. خلاصه میانگین اطلاعات خروجی شبکه در سناریو چهارم

Time Serie	Value	Std. Dev.	Unit
Delay Time AVG Experiment 19784 (Average 19837)	149.437	7.56438	seconds/km
Density AVG Experiment 19784 (Average 19837)	34.6098	N/A	veh/km
Flow AVG Experiment 19784 (Average 19837)	44002	N/A	veh/h
Fuel Consumption AVG Experiment 19784 (Average 19837)	18057.4	N/A	litres
Harmonic Speed AVG Experiment 19784 (Average 19837)	17.1618	0.621816	km/h
Speed AVG Experiment 19784 (Average 19837)	33.374	0.594798	km/h
Stop Time AVG Experiment 19784 (Average 19837)	143.379	7.15774	seconds/km
Stops AVG Experiment 19784 (Average 19837)	2.58413	N/A	#/veh/km
Total Distance Travelled AVG Experiment 19784 (Average 19837)	148370	N/A	km
Total Travel Time AVG Experiment 19784 (Average 19837)	7334.46	N/A	hours
Travel Time AVG Experiment 19784 (Average 19837)	210.023	7.5514	seconds/km

۴-۴-۵ شبیه‌سازی سناریو پنجم

در این سناریو سیاست دورکاری برعکس سناریو چهارم بوده و بجز مناطق همسایه منطقه سه، برای سایر مناطق اعمال می‌گردد؛ یعنی فرض می‌شود که ۴۰ درصد از جامعه هدف پژوهش که ساکن منطقه سه و مناطقی غیر از مناطق همسایه این منطقه هستند و محل کارشان در منطقه سه است و برعکس، به دورکاری می‌پردازند. در این حالت ماتریس کل مربوطه با ۷۰ درصد حجم تقاضای سفر برای داخل منطقه سه و مناطق غیر همسایه آن و بدون تغییر همانند وضعیت موجود برای مناطق همسایه به نرم‌افزار وارد می‌شود. خلاصه میانگین خروجی ۱۵ تکرار سناریو پنجم در جدول ۶ آمده است.

جدول۶. خلاصه میانگین اطلاعات خروجی شبکه در سناریو پنجم

Time Serie	Value	Std. Dev.	Unit
Delay Time AVG Experiment 19791 (Average 19854)	158.703	8.09899	seconds/km
Density AVG Experiment 19791 (Average 19854)	35.4393	N/A	veh/km
Flow AVG Experiment 19791 (Average 19854)	44648	N/A	veh/h
Fuel Consumption AVG Experiment 19791 (Average 19854)	19189.9	N/A	litres
Harmonic Speed AVG Experiment 19791 (Average 19854)	16.4065	0.595993	km/h
Speed AVG Experiment 19791 (Average 19854)	32.047	0.669246	km/h
Stop Time AVG Experiment 19791 (Average 19854)	152.857	7.78394	seconds/km
Stops AVG Experiment 19791 (Average 19854)	2.71833	N/A	#/veh/km
Total Distance Travelled AVG Experiment 19791 (Average 19854)	149256	N/A	km
Total Travel Time AVG Experiment 19791 (Average 19854)	7706.83	N/A	hours
Travel Time AVG Experiment 19791 (Average 19854)	219.698	8.04836	seconds/km

٤-٤-٦- شبیه‌سازی سناریو ششم

در این سناریو سیاست دورکاری برای منطقه سه و مناطق همسایه‌اش اعمال می‌گردد؛ یعنی فرض می‌شود که ٤٠ درصد از جامعه هدف پژوهش که محل زندگیشان در منطقه سه و محل کارشان در منطقه سه و مناطق همسایه آن و افرادی که محل زندگیشان در مناطق همسایه و محل کارشان در منطقه سه است، به دورکاری می‌پردازند. در این حالت ماتریس کل مربوطه با ۷۰ درصد حجم تقاضای سفر برای داخل منطقه سه و مناطق همسایه آن و بدون تغییر همانند وضعیت موجود برای سایر مناطق به نرم‌افزار وارد می‌شود. خلاصه میانگین خروجی ۱۵ تکرار سناریو ششم در جدول ۷ آمده است.

جدول۷. خلاصه میانگین اطلاعات خروجی شبکه در سناریو ششم

Time Serie	Value	Std. Dev.	Unit
Delay Time AVG Experiment 19798 (Average 19871)	145.476	5.2492	seconds/km
Density AVG Experiment 19798 (Average 19871)	33.6826	N/A	veh/km
Flow AVG Experiment 19798 (Average 19871)	43114	N/A	veh/h
Fuel Consumption AVG Experiment 19798 (Average 19871)	17719.1	N/A	litres
Harmonic Speed AVG Experiment 19798 (Average 19871)	17.4863	0.427231	km/h
Speed AVG Experiment 19798 (Average 19871)	33.6793	0.590668	km/h
Stop Time AVG Experiment 19798 (Average 19871)	140.197	4.90075	seconds/km
Stops AVG Experiment 19798 (Average 19871)	2.4795	N/A	#/veh/km
Total Distance Travelled AVG Experiment 19798 (Average 19871)	150416	N/A	km
Total Travel Time AVG Experiment 19798 (Average 19871)	7340.42	N/A	hours
Travel Time AVG Experiment 19798 (Average 19871)	205.995	5.22778	seconds/km

٤-٤-٧- شبیه‌سازی سناریو هفتم

در این سناریو برعکس سناریو ششم، سیاست دورکاری برای مناطقی بجز منطقه سه و مناطق همسایه‌اش اعمال می‌گردد؛ یعنی فرض می‌شود که ٤٠ درصد از جامعه هدف پژوهش که محل زندگیشان در داخل منطقه سه و محل کارشان در خارج منطقه سه و مناطق همسایه آن است و برعکس، به دورکاری می‌پردازند. در این حالت ماتریس کل مربوطه با ۷۰ درصد حجم تقاضای سفر برای مناطق بجز منطقه سه و مناطق همسایه آن و بدون تغییر همانند وضعیت موجود برای سایر مناطق به نرم‌افزار وارد می‌شود. خلاصه میانگین خروجی ۱۵ تکرار سناریو هفتم در جدول ۸ آمده است.

جدول۸. خلاصه میانگین اطلاعات خروجی شبکه در سناریو هفتم

Time Serie	Value	Std. Dev.	Unit
Delay Time AVG Experiment 19891 (Average 19894)	158.006	8.40201	seconds/km
Density AVG Experiment 19891 (Average 19894)	35.3033	N/A	veh/km
Flow AVG Experiment 19891 (Average 19894)	44757	N/A	veh/h
Fuel Consumption AVG Experiment 19891 (Average 19894)	19225.9	N/A	litres
Harmonic Speed AVG Experiment 19891 (Average 19894)	16.4622	0.648739	km/h
Speed AVG Experiment 19891 (Average 19894)	31.9778	0.706205	km/h
Stop Time AVG Experiment 19891 (Average 19894)	152.111	8.05216	seconds/km
Stops AVG Experiment 19891 (Average 19894)	2.70961	N/A	#/veh/km
Total Distance Travelled AVG Experiment 19891 (Average 19894)	149673	N/A	km
Total Travel Time AVG Experiment 19891 (Average 19894)	7699.99	N/A	hours
Travel Time AVG Experiment 19891 (Average 19894)	218.99	8.35673	seconds/km

۵- نتیجه‌گیری

جدول ۹. میزان تغییر شرایط میانگین متغیرها در سناریوهای مختلف نسبت به سناریو وضع موجود

	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم	سناریو چهارم	سناریو پنجم	سناریو ششم	سناریو هفتم
چگالی	٪ ۱۷/۷-	٪ ٤-	٪ ۱٤/۱-	٪ ۷/۸-	٪ ۵/۷-	٪ ۱۰/۲-	٪ ٦-
جریان	٪ ٤/٦	٪ ۲-	٪ ۳/۳	٪ ۲/۲	٪ ۳/۷	٪ ۰/۱	٪ ۳/۹
سرعت	٪ ۹/۱	٪ ۵/۹	٪ ۹/٦	٪ ٦/۸	٪ ۲/۱	٪ ۷/٦	٪ ۱/۸
زمان سفر	٪ ۱۳/٦-	٪ ٤/٦-	٪ ۱۲/۳-	٪ ۷/۹-	٪ ۳/۳-	٪ ۹/۵-	٪ ۳/٦-
زمان سفر کل	٪ ۱/٦	٪ ۲/۱-	٪ ۳/۲-	٪ ۱/٦-	٪ ۳/٤	٪ ۱/۵-	٪ ۳/۳
مسافت طی شده	٪ ۱۰/۳	٪ ۲/۳	٪ ۵	٪ ۳/٦	٪ ٤/۲	٪ ٤/۹	٪ ٤/۵
زمان تأخیر	٪ ۱۷-	٪ ۵/۸-	٪ ۱۵/٤-	٪ ۹/۸-	٪ ۳/۸-	٪ ۱۱/۹-	٪ ٤/۳-
زمان توقف	٪ ۱۸/۲-	٪ ۵/٤-	٪ ۱٦/۷-	٪ ۱۰/۷-	٪ ٤/۵-	٪ ۱۲/٤-	٪ ۵-
تعداد توقف	٪ ۹/٤-	٪ ۹-	٪ ۹/٤-	٪ ٦/٦-	٪ ۱-	٪ ۱۰/۱-	٪ ۱/٤-
ضریب ساعت اوج	٪ ۸/۱	٪ ۰/۱٤-	٪ ٤/۱	٪ ۲/۲	٪ ۲/۸	٪ ۳/٤	٪ ۲/۸
مصرف سوخت	٪ ۸/۱-	٪ ٤/۱-	٪ ۹/۸-	٪ ۵/۸-	٪ ۰/۱	٪ ۷/۵-	٪ ۰/۳
انتشار مونوکسید کربن	٪ ۱۷/۲-	٪ ۵/٤-	٪ ۱٦-	٪ ۷/۵-	٪ ۰/۳	٪ ۱۲/۹-	٪ ۲/۱-
انتشار هیدروکربن	٪ ۱۷/۳-	٪ ۵/۲-	٪ ۱۵/۸-	٪ ۷/۵-	٪ ۰/۵	٪ ۱۲/۹-	٪ ۲/۱-
انتشار اکسید نیتروژن	٪ ۱۷/٤-	٪ ۵/۷-	٪ ۱٦/۲-	٪ ۷/۷-	٪ ۰/۳	٪ ۱۳/۱-	٪ ۲-

در تحقیق حاضر نتایج با توجه به میانگین درصدهای دورکاری لحاظ شده در کشورهای مختلف و همچنین با مراجعه به بخشنامه‌های دولت برای کرونا که شرایط خاصی برای وضعیت‌های مختلف تعیین کرده بود، ٤۰ درصد دورکاری برای کارمندان در ماتریس داده شده به نرم‌افزار در نظر گرفته شد. پس از آن با منطقه‌بندی اعمال سیاست دورکاری، به تحلیل و ارزیابی اثرات طرح دورکاری کارمندان ادارات بر شاخص‌های ترافیکی پرداخته شد و نتایج کلی آن در جدول ۹ آورده شده است. علامت منفی نشان از کاهش و علامت مثبت نشان از افزایش میزان متغیر نسبت به سناریو وضع موجود است. از بین متغیرهای اصلی بررسی شده چگالی بیشترین میزان بهبود را داشته است، این شاخص با ۱۷/۷ درصدی در سناریو اول بیشترین کاهش و در سناریو دوم با ٤ درصد به طور میانگین کمترین کاهش را داشت. همچنین در سر فاصله زمانی ۷:۵۰ تا ۸ صبح در سناریو دوم چگالی به عدد ۵۰ رسید که بیشترین و در سناریو اول در ساعت ۷ تا ۷:۱۰ صبح ۱۸ بود که کمترین در تمامی سناریوها است.

برای نرخ جریان با افزایش میانگین ۱۹۷٤ عددی خودروهای عبور کرده در سناریو اول از شبکه نسبت به سناریو موجود یا به عبارتی ٤/٦ درصدی، بیشترین میزان و در سناریو دوم با ۲- درصد کمترین به دست آمد. همچنین از منظر تغییرات ساعتی شاخص، در ساعت ۷ تا ۷:۱۰ در سناریو هفتم با ٦۱۰٦۸ تعداد بیشترین میزان و کمترین آن در ساعت ۷:۵۰ تا ۸ در سناریو دوم با ۲۵٦۵٦ عدد است.

برای سرعت با افزایش مقدار سرعت متوسط در شبکه به میزان ۹/٦ درصد در سناریو سوم بیشترین بهبود و در سناریو

هفتم با ۱/۸ درصد کمترین به دست آمد. همچنین از منظر تغییرات ساعتی شاخص، سناریو اول در سرفاصله زمانی ۷ تا ۷:۱۰ با ٤۱ کیلومتر در ساعت بیشترین و در سناریو هفتم بین ساعت ۷:٤۰ تا ۷:۵۰ با ۲۷ کیلومتر در ساعت کمترین میزان تغییرات ثبت شد.

برای زمان سفر با کاهش میانگین آن در سناریو اول به مقدار ۱۳/٦ درصد بیشترین بهبود و در سناریو پنجم با ۳/۳ درصد کمترین ثبت شد. همچنین از منظر تغییرات ساعتی شاخص، سناریو اول در سرفاصله زمانی ۷ تا ۷:۱۰ با ۱۱٦ ثانیه به ازای هر کیلومتر کمترین و در سناریو پنجم و ساعت ۷:۵۰ تا ۸ با ۳۵٤ ثانیه بیشترین میزان تغییرات ثبت شد.

همینطور از منظر محیط زیستی میانگین مصرف سوخت با ۹/۸ درصد کاهش در سناریو سوم بیشترین بهبود را داشته است. شاخص‌های آلودگی هوا نیز با کمتر شدن میانگین میزان انتشار گازهای آلوده کننده تا حدود ۱۷/۳ درصد در سناریو اول و حدود ۱٦ درصد در سناریو سوم، بیشترین بهبود را نسبت به سناریو وضعیت موجود ثبت کردند.

به طور کلی می توان دید که با اعمال سیاست دورکاری در سناریوهای اول، سوم و ششم در منطقه ۳ تهران و در ساعت اوج صبح، شاخص‌های بررسی شده به شکل قابل ملاحظه‌ای نسبت به وضعیت موجود بهبود یافتند.

از آنجایی که دورکاری به طور قطع باعث کاهش تردد، بخصوص در مورد وسایل نقلیه شخصی و افزایش سفرهای به پایان رسیده برای حمل‌ونقل عمومی می‌شود و از سوی دیگر به دلیل وابستگی متغیرها، می‌توان گفت در تمامی موارد بهبود شاخص‌های ترافیکی و در پی آن میزان مصرف سوخت و تولید آلاینده‌ها حاصل شد. اما این بهبود نتایج در سناریوهای مختلف متفاوت است؛ برای مثال بیشترین آن در سناریو اول و سوم مشاهده شد که مناطق بیشتری را برای اجرای سیاست دورکاری شامل می‌شدند که می توان گفت قابل پیش‌بینی بود؛ اما از سوی دیگر در مورد سناریوهای پنجم و هفتم که آنها هم شامل مناطق زیادی جهت اجرای دورکاری بودند، این حرف صادق نیست و نتایج بهبود کافی را نشان نمی‌دهند. با توجه به اینکه اجرای این سیاست هزینه‌هایی را در بر دارد، می‌توان دید در مورد سناریوهای ششم و چهارم با وجود اینکه مناطق زیادی را شامل نمی‌شوند، نتایج قابل قبول است. پس می‌توان نتیجه گرفت که لازم نیست سیاست دورکاری برای تمام مناطق یک شهر اعمال شود، بلکه می‌توان این سیاست را در مناطق و نواحی خاص از یک شهر اعمال کرده و به نتیجه مطلوب رسید. اجرای دورکاری به تنهایی موجب کاهش وسایل نقلیه می‌شود، اما اگر همراه با سایر استراتژیهای مدیریت تقاضای حمل‌ونقل که انگیزه‌هایی برای کاهش رانندگی ایجاد می‌کنند اجرا شود، نتایج بهتر هم خواهد شد. استراتژیهایی مانند مشوق‌های مالی رفت‌وآمد، سفرهای اشتراکی، قیمت‌گذاری مسیر و پارکینگ، مدیریت پارکینگ، ساعت کاری شناور، سرمایه‌گذاری در زیر ساختهای حمل‌ونقل عمومی و افزایش مالیات سوخت.

از جمله پیشنهادهایی که برای ادامه این تحقیق می‌توان ارائه کرد ارزیابی اقتصادی اعمال دورکاری برای دولت و جامعه و از منظر شخصی برای کارمندان و کارفرمایان است. همچنین می‌توان این موضوع و همچنین دیگر سیاست‌های مدیریت ترافیک شهری را برای سایر مناطق تهران و همینطور دیگر کلانشهرهای ایران ادامه داد و با استفاده از نسخه‌های جدیدتر نرم‌افزار که قابلیتهای بیشتری برای مدل‌سازی وسایل نقلیه مختلف دارد، آنها را با هم مقایسه کرد. همینطور با استفاده از روش ساعات کاری و آموزشی شناور برای مراجعه افراد به محل کار و مراکز علمی، می‌توان تأثیرات این روش را در مقایسه با روش دورکاری و آموزش آنلاین به دست آورد.

٦- مراجع

-زیاری، رامک (۱۳۸۸). دورکاری در شهر الکترونیکی، اهداف و چالشها. *دومین دور کنفرانس شهر الکترونیک*.

-کمال، کیمیا، و کرمانشاه، محمد (۱۳۹۵). ارایه مدل امکان‌پذیری دورکاری با در نظر گیری اثر شغل کارمندان و رویکرد شغل انتزاعی. *شانزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک*.

-وکیلیان، رامبد، و ادریسی، علی (۱۳۹۸). مدلسازی عوامل موثر بر انتخاب دورکاری و تأثیر آن بر تقاضا در شبکه‌های حمل‌ونقل. *ششمین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری و پنجمین نمایشگاه تخصصی انبوه سازان مسکن و ساختمان استان تهران*.

-یزدان‌پناه، حمید، براتیان قرقی، فاطمه، و عابدینی، مهدی (۱۳۹۱). بررسی میزان تأثیر اجرای دورکاری در بهبود شاخص‌های ترافیکی شبکه معابر شهر تهران. یازدهمین

کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران، تهران، سازمان حمل‌ونقل ترافیک تهران، *معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران.*

-Andrey, J. C., Burns, K. R., & Doherty, S. T. (2004). Toward Sustainable Transportation: Exploring Transportation Decision Making In Teleworking Households In A Mid-Sized Canadian City. Canadian Journal of Urban Research, Vol. 13, No. 2, *Institute of Urban Studies*, University of Winnipeg.

-Bamister, D., Marshall, S. (2000). Encouraging Transport Alternatives: Good Practice in Reducing Travel. *The Stationery Office*, London.

-Giovanis,E. (2018). The Relationship Between Teleworking, Traffic and Air Pollution, University of Verona, *Department of Economics*, Via Cantarane 24, 37129, Italy.

-Koenig, B.E., Henderson, D.K., & Mokhtarian, P.L. (1996). The travel and emissions impacts of telecommuting for the state of California Telecommuting Pilot Project. Institute of Transportation Studies, *University of California*, Davis, CA 95616, U.S.A.

-Maciag, M. (2018). More Americans Now Telecommute Than Take Public Transportation to Work. www.governing.com.

-Mokhtarian, P.L. (1998). A synthetic approach to estimating the impacts of telecommuting on travel. *Urban Stud. 35* (2), 215e241.

-Mokhtarian, P.L., Varma, K. (1998). The trade-off between trips and distance traveled in analyzing the emissions impacts of center-based telecommuting. *Transp. Res. D 3* (6), 419e428.

-Mokhtarian, P.L., Salomon, I. (1996). Modeling the choice of telecommuting: 3. Identifying the choice set and estimating binary choice models for technology based alternatives. *Environ. Plan. A 28*, 1977, 1894.

-Mokhtarian, P.L. (1991). Defining telecommuting. *Transp. Res. Rec. 1305*, 273e281.

-Mokhtarian, P.L., Salomon, I. (1997). Emerging travel patterns: do telecommunications make a difference. In: Recent Developments in Travel Behavior Research. Oxford, Austin, TX. *Mokhtarian, P.L.*, (1998).

-Niles, J. (1994). Beyond Telecommuting: a New Paradigm for the Effect of Telecommunications on Travel. Report DOE/ER-0626. U.S. department of Energy, *Offices of Energy Research and Scientific Computing.*

-Nilles, J.M. (1988). Traffic reduction by telecommuting: a status review and selected bibliography. *Transp. Res. A 22, 301e317.*

-O'Keefe, P., Caulfield, B., Brazil, W. & White, P. (2016). The impacts of telecommuting in Dublin.

-Perez, M.P., Sanchez, A.M., de Luis Carnicer, M.P., & Jim enez, M.S.V., (2004). The environmental impacts of teleworking: a model of urban analysis and a case study. *Manag. Environ. Qual. Int. J.* 15 (6), 656e671.

-Pirdavani, A., Brijs, T., Bellemans, T., & Kochan, B. (2013). Assessing the Impacts of a Teleworking Policy on Crash Occurrence: The Case of Flanders, Belgium. Transportation Research Institute (IMOB) Hasselt University. Conference. *92nd Transportation Research Board ConferenceAt: Washington*, D.C., USA.

-Pflueger, J., Gibson, S., & Normand, C., (2016). The Sustainability Benefits of the Connected Workplace. *White Paper, DELL.*

-Shafizadeh, K.R., Niemeier, D.A., Mokhtarian, P.L., & Salomon, I., (1998). The Costs and Benefits of Telecommuting: an Evaluation of the Macro-scale Literature, Partners for Advanced Transit and Highways (PATH)Working Paper [PATH MOU 278 e Telecommuting Public Investment Study].

-Sampath, S., Saxena, S., & Mokhtarian, P. L. (1991). THE EFFECTIVENESS OF TELECOMMUTING AS A TRANSPORTATION CONTROL MEASURE. *Institute of Transportation Studies* Research *Report Number* UCD-ITS-RR-91-10.

-Wells, K., Douma, F., Loimer, H., Olson, L., & Pansing, L. (2001). Telecommuting implications for travel behavior: case studies from Minnesota. *Transp. Res. Rec*. 1752, 148e156.

Analysis and Evaluation of Teleworking of Government Staff and Its Effect on Traffic Parameters in Metropolises Using AIMSUN Simulation Model (Case Study: Tehran Metropolis)

Kamran Rahimof, Assistant Professor, Road and Transportation Department, Payam Noor University, Tehran, Iran.

Ali Naderan, Assistant Professor, Road and Transportation Department, Faculty of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Mahour Pourkashanian, M.Sc., Student, Department of Road and Transportation, Faculty of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: k.rahimof@pnu.ac.ir

Received: January 2025- Accepted: April 2025

ABSTRACT

Population growth and the increase in the number of cars have raised traffic congestion as an important issue in big cities. Reducing the number of cars on the streets, especially during peak traffic hours, has become one of the main goals of transportation demand management. With the right policy on supply and demand management, more efficient travel patterns can be created. One of the proposed ways is remote work. It means being able to connect with your business virtually with the help of technology, and its main goal is to move work towards employees instead of employees moving towards work. The purpose of this study is to identify the effects of employees' remote work on transportation, traffic, and air pollution and to analyze and evaluate their effects on traffic indicators such as density, flow, speed, travel time, fuel consumption, and pollutants. Therefore, the third district of Tehran was chosen as one of the administrative and high-traffic areas, and with access to the travel demand matrix of its peak hour, microscopic modeling was done completely in the Aimsun software. Then, to apply teleworking, scenarios based on vehicle traffic zoning have been designed and simulated, and the results have been compared. The findings showed that by applying the telecommuting policy in a peak hour in Tehran's third district, traffic indicators such as density up to 17.7%, flow up to 4.6%, speed up to 9.6%, and travel time up to 13.6% improved compared to the existing situation. In addition, fuel consumption will be reduced by 9.8%, and pollutant emissions will be reduced by 17%. Also, the results indicate that it is not necessary to apply the telecommuting policy to all areas of a city, but it is possible to achieve the desired result by applying this policy in specific areas of a city.

Keywords: Telecommuting, Traffic Parameters, Aimsun Software, Fuel Consumption, Air Pollution