تعیین میزان تأثیر خودروهای خودران بر تغییرات تعداد سفرها با استفاده از نرم افزار اکتیویتی سیم

مقاله علمی – پژوهشی

شهریار افندی زاده*، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
طناز علایی تبار، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
حمید بیگدلی راد، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: zargari@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰– پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵
صفحه ۶۰-۴۱

چکیده

هدف این پژوهش بررسی تأثیر خودروهای خودران بر تغییرات سفرها است. این خودروها با فراهم آوردن دسترسی بیشتر، چگونه بر فعالیت‌های انجام‌شده توسط افراد و برآورد تقاضای گروه سنی خاص که شامل افراد زیر سن قانونی جهت اخذ گواهی رانندگی و سالمندان هستند، تأثیر می‌گذارد. روند کار در این پژوهش به این صورت است که ابتدا داده‌های مربوط به اشخاص، خانوار، کاربری‌زمین و ماتریس‌های مقاومت بین نواحی محدوده موردمطالعه واشنگتن دی سی وارد نرم‌افزار اکتیویتی‌سیم شدند. اطلاعات به‌دست‌آمده از مدل‌ها بدون حضور خودروهای خودران بررسی شدند، سپس شیوه سفر خودروی خودران به نرم‌افزار اضافه‌شده و اطلاعات ناشی از تأثیرات این خودروها بر تغییرات سفرها که برگرفته از تغییر متغیرهای فعالیت گروه سنی خاص، زمان سفر در دسترسی، انتخاب مقاصد دورتر تورهای غیراجباری و تواتر تورهای غیراجباری است، در نظر گرفته شد. این تغییرات به این صورت است که برای هر متغیر بازه‌های متفاوتی در نظر گرفته شد و میزان تأثیر آن‌ها بر تغییرات تعداد سفر بررسی شد. نتایج در تحلیل یک بعدی حساسیت متغیرها نشان می‌دهد که از بین متغیرهای انتخاب‌شده، متغیر فعالیت‌های غیراجباری افراد در مدل تواتر تورهای غیراجباری با ۱۱/۷ درصد و متغیر زمان سفر در مدل دسترسی با ۵/۵ درصد بیشترین تأثیر را بر تغییرات تعداد سفر دارد. همچنین حضور خودروهای خودران بیشترین تأثیر را بر روی سفر با اهداف خرید و تفریح دارند. یکی دیگر از اهداف این پژوهش، ساخت مدل سریع پاسخ است که منجر به کاهش زمان طولانی اجرای مدل‌های فعالیت مبنا و شناسایی مهم‌ترین متغیرها برای بررسی اثر تعاملی متغیرها می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خودروی خودران، تعداد سفر، مدل‌های فعالیت مبنا، نرم‌افزار اکتیویتی سیم

۱- مقدمه

خودروی خودران، خودرویی است که می‌تواند محیط پیرامونش را درک کند، تحلیل کند و بدون دخالت انسان و با استفاده مسافت پیما GPS، رادار و ... سفر کند (Gantsho et al., 2022). این‌گونه خودرو با استفاده از موقعیت‌یاب جغرافیایی قادر است محیط پیرامون خود ازجمله خودروهای اطراف را شناسایی کند. همچنین این نوع خودروها، تابلوها و علائم راهنمایی و رانندگی را اسکن کرده و مطابق با دستورالعمل آن‌ها عمل می‌کنند. ابزارهای بصری خودروها قادرند تا افراد پیاده، اشیا و موانع جلوی راه را نیز شناسایی کنند. در آینده بدون کمک انسان، ربات‌ها خودروهای خودران را با استفاده از فناوری اینترنت اشیا

و بر اساس نیاز مشتری تولید می‌کنند و سفر انسان یا کالا با این وسایل نقلیه در سامانه‌های حمل‌ونقل، ازلحاظ ایمنی و راحتی برتری ویژه‌ای خواهد داشت (Afandizadeh et al., 2021). ازجمله مزایای خودروهای خودران این است که کودکان و یا افراد مسن می‌توانند بدون راننده و به‌تنهایی با این‌گونه خودروها سفر کنند. افراد همچنین می‌توانند در خودروی خودران، وقت خود را صرف کارهای گوناگون مانند فیلم دیدن، مطالعه و کار با اینترنت کنند و وقت خود را با رانندگی در شرایط ازدحام ترافیکی هدر ندهند. افزایش سرعت در معابر و شریانی‌ها، احساس راحتی بیشتر در خودرو، کاهش تخلفات، کاهش فضای پارکینگ مورد نیاز و افزایش امنیت مسافران از دیگر مزایای خودروهای خودران به شمار می‌رود.

وسایل نقلیه خودران می‌توانند تأثیرات مهمی بر روی شهرها و سامانه‌های حمل‌ونقل داشته باشند. سه مرحله از تأثیرات پی‌درپی پس از معرفی خودروهای خودران شامل: مرحله اول (حمل‌ونقل، هزینه سفر و گزینه‌های سفر)، مرحله دوم (مالکیت و اشتراک خودرو، انتخاب مکان و کاربری زمین، زیرساخت‌های حمل‌ونقل) و مرحله سوم مصرف انرژی، آلودگی هوا، ایمنی، عدالت اجتماعی و اقتصاد است (Sonnleitner et al., 2022).

مدل‌های مختلف خودروهای خودران، ازجمله خودروهای خودران اشتراکی و خودروهای خودران شخصی، منجر به تغییرات چشمگیر در موجودی وسایل نقلیه در منطقه و مسافت طی شده خواهند شد. نتایج مطالعات ژانگ و همکاران نشان می‌دهد که بیش از ۱۸درصد از خانوارها می‌توانند با حفظ الگوی سفر فعلی مالکیت وسایل نقلیه را کاهش دهند که باعث کاهش ۹/۵ درصدی وسایل نقلیه شخصی در منطقه مورد مطالعه می‌شود. در همین حال ۲۹/۸ درصد مسافت اشغال نشده در هرروز به ازای کاهش مالکیت خودرو القا می‌شود(Zhang et al., 2018; Afandizadeh Zargari et al., 2019).

یکی از تأثیرات وسایل نقلیه خودران، افزایش ظرفیت شبکه راه است. بر اساس تئوری جریان ترافیک، اگر در آینده تمام وسایل نقلیه در جاده کاملاً خودران باشند، ظرفیت در بزرگراه‌ها تا ۸۰ درصد و در جاده‌های داخلی تا ٤٠٪ افزایش می‌یابد. افزایش ظرفیت جاده ممکن است از زمان واکنش کوتاه‌تر وسایل نقلیه خودران در مقایسه با انسان‌ها ناشی شود. خودروهای خودران می‌توانند به‌طور مؤثرتری از ظرفیت جاده و تقاطع استفاده کنند (Othman, 2022).

اتومبیل‌های خودران می‌توانند از طرق مختلف بر سفر با وسیله نقلیه تأثیر بگذارند. وسایل نقلیه خودران احتمالاً باعث افزایش سفر به میزان قابل‌توجهی شوند. در خانواده‌هایی با خدمات رانندگی رایگان، سفر با وسیله نقلیه تا ۸۰ درصد افزایش می‌یابد (افزایش سفر در عصر، سفر با مسافت بیشتر)(Harb et al., 2018). همچنین در مطالعات لیتمن افزایش سفرهای احتمالی با خودروهای خودران که شامل: سفر با وسیله نقلیه توسط افراد غیر راننده، سفر وسایل نقلیه خالی برای سوار و پیاده کردن مسافرها، تحویل کالاها، افزایش راحتی دلیل تشویق مردم به انجام سفرهای بیشتر است، اشاره‌شده است (Litman et al., 2020). همچنین بنا بر مطالعات هارپر و همکاران در صورت وجود خودروهای خودران افراد ۱۹ سال به بالا که رانندگی نمی‌کنند و یا رانندگانی که دارای شرایط محدود پزشکی در سفر هستند، به‌اندازه مسافران هم‌سن و رانندگان سالم سفر می‌کنند. علاوه بر این، فرض شده بود که رانندگان مسن و سالم به‌اندازه جمعیت ۱۹-٦٤ سال سفر می‌کنند (Harper et al., 2014).

ترومر و همکاران در مطالعه خود پیش‌بینی کردند که وسایل نقلیه خودران تا سال ۲۰۳۵ کل مسافت پیموده شده با وسایل نقلیه را ۹-۳ درصد افزایش می‌دهند(Trommer et al., 2016). همچنین نتایج مطالعه طیبات و همکاران نشان داد که وسایل نقلیه خودران، متوسط سفر با وسایل نقلیه خانوار را بین ۲ تا ٤٧ درصد افزایش می‌دهند؛ که این میزان در خانوارهای با درآمد بالا، بیشتر است (Taiebat et al., 2019).

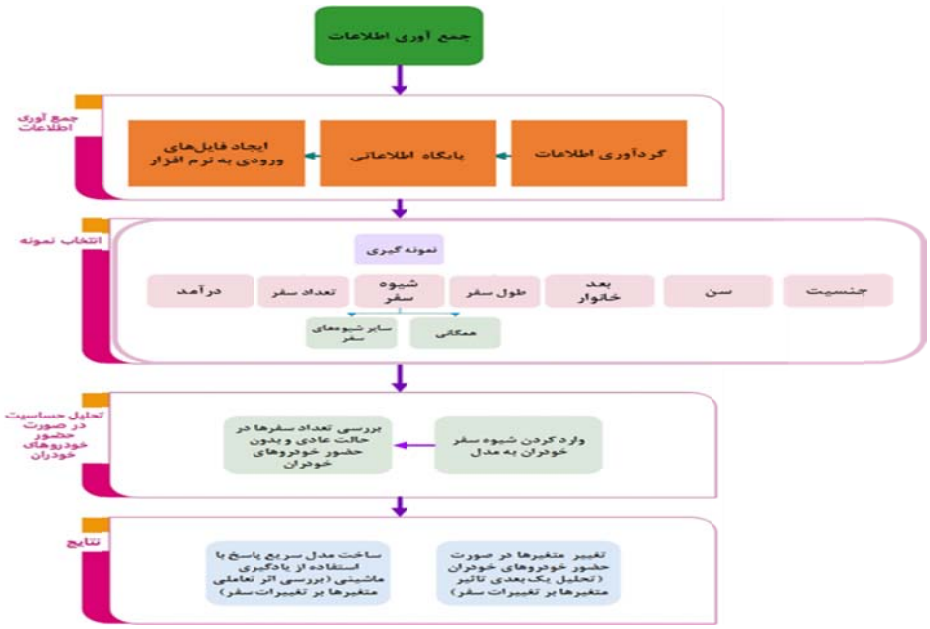
خودروهای خودران تأثیر بسزایی در سفرهای بین‌شهری دارد؛ که استفاده از خودروهای خودران برای سفرهای تفریحی می‌تواند تعداد مسافران را افزایش داده و مردم مسافت‌های طولانی‌تری را برای سفر خود انتخاب کنند. درنتیجه مردم از سفرهای خود لذت برده و تمایل بیشتری به تکرار سفرهای خود خواهند داشت. برای سفرهای کاری، خودروهای خودران می‌تواند هزینه‌های سفر و استرس شغلی را کاهش دهد. برخلاف سفرهای تفریحی برای کسانی که مردم علاقه‌ای به سفر در شب ندارند، مسافران جهت سفرهای کاری خود ترجیح می‌دهند در شب سفر کنند (Maleki et al., 2021). در ادامه مهم‌ترین پژوهش‌ها به همراه روش‌ها و معیارهای استفاده‌شده در این مطالعه در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱. بخشی از مطالعات انجام گرفته در زمینه مسئله مسیریابی تماس – سفر

ردیف	نام محقق	تاریخ	هدف تحقیق	نتایج تحقیق
۱	فگنت و همکاران	۲۰۱٤	معرفی مزایا و موانع موجود درراه استفاده از خودروهای خودران	خودروهای خودران باعث صرفه‌جویی ۲۰۰۰ دلاری در هزینه پارکینگ و سوخت در هرسال و صرفه‌جویی ٤۰۰۰ دلاری در بحث تصادفات می‌شوند.
۲	هارپر و همکاران	۲۰۱۵	تخمین افزایش سفر توسط وسایل نقلیه کاملاً خودکار به دلیل افزایش جابه‌جایی افراد غیر راننده، سالمند و افراد دارای شرایط پزشکی خاص	افزایش تقاضای سفر افراد جوانی که رانندگی نمی‌کنند، بزرگ‌ترها و افراد معلول به علت وجود خودروهای خودران، باعث افزایش ١٤ درصد مسافت طی شده در آمریکا می‌شود.
۳	چایلدرس و همکاران	۲۰۱۵	شناسایی تأثیرات خودروهای خودران بر روی مؤلفه‌های تقاضای سفر	افزایش ظرفیت تا حدود ۳۰ درصد، افزایش مسافت پیموده شده
٤	ترامر و همکاران	۲۰۱٦	تجزیه‌وتحلیل و تعیین تأثیر احتمالی رانندگی به‌صورت خودران بر رفتار سفر	وسایل نقلیه خودران تا سال ۲۰۳۵ کل مسافت طی شده با وسایل نقلیه را ۹-۳درصد افزایش می‌دهند.
۵	ترانگ و همکاران	۲۰۱۷	بررسی تأثیر خودروهای خودران بر تولید سفر	خودروهای خودران باعث افزایش ١٤/٤ درصدی سفرهای روزانه می‌شوند.
٦	میر و همکاران	۲۰۱۷	تأثیر خودروهای خودران بر روی دسترسی	ایجاد زیرساخت‌های لازم جهت استفاده از خودروهای خواران، دسترسی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد.
۷	هار و همکاران	۲۰۱۸	بررسی تغییرات رفتار سفر در صورت حضور وسایل نقلیه خواران	افزایش مسافت پیموده شده با وسیله نقلیه تا حدود ۸۰ درصد؛ افزایش تعداد سفر با مسافت بالای ۲۰ مایل حدود ۹۰ درصد در صورت حضور خودروهای خودران
۸	ژانگ و همکاران	۲۰۱۸	بررسی تأثیر خودروهای خودران شخصی بر روی ضریب مالکیت اتومبیل	۱۸/۳ درصد از خانوارها با کاهش ۹/۵ درصدی ضریب مالکیت اتومبیل مواجه می‌شوند.
۹	طیبات و همکاران	۲۰۱۹	بررسی تأثیر خودروهای خودران بر مصرف انرژی	وسایل نقلیه خودران، متوسط سفر با وسایل نقلیه خانوار رابین ۲ تا ٤۷ درصد افزایش می‌دهند؛ که این میزان در خانوارهای با درآمد بالا، بیشتر است.
۱۰	کاوس و همکاران	۲۰۲۰	بررسی تأثیر خودروهای خودران بر رفع موانع جابه‌جایی برای افراد مسن	خودروهای خودران حجم قابل‌توجهی از سفر برای افراد مسن را ایجاد می‌کنند.
۱۱	ژنگ و همکاران	۲۰۲۰	بررسی تأثیر وسایل نقلیه خودران بر ارزش زمان سفر مسافران	استفاده از یک وسیله نقلیه شخصی خودران، ارزش زمان سفر و رفت‌وآمد رانندگان حومه، شهر و روستا را به ترتیب ۳۲، ٢٤ و ۱۸ درصد کاهش می‌دهد.
۱۲	لیتمن	۲۰۲۰	پیش‌بینی پیاده سازی خودروهای خودران	افزایش سفر با خودروهای خودران شامل: سفر با وسیله نقلیه توسط افراد غیر راننده، سفر با وسایل نقلیه خالی برای سوار و پیاده کردن مسافرها، تحویل کالاها، افزایش راحتی دلیل تشویق مردم به انجام سفرهای بیشتر
۱۳	ملکی و همکاران	۲۰۲۱	تأثیر خودروهای خودران بر رفتار سفر با مسافت طولانی	افزایش سفرهای تفریحی و انتخاب مقاصد طولانی‌تر برای این سفرها

۲- روش پژوهش

در این مطالعه ابتدا داده‌های اشخاص، خانوار، کاربری زمین و ماتریس‌های مقاومت بین نواحی وارد نرم‌افزار اکتیویتی سیم می‌شود. سپس مدل‌ها بدون در نظر گرفتن خودروهای خودران تجزیه‌وتحلیل و تعداد سفرها در حالت پایه که عدم حضور خودروهای خودران است بررسی می‌شود. در مرحله بعد به شیوه‌های سفر، خودرو خودران اضافه می‌شود و تغییرات مرتبط با حضور خودروهای خودران لحاظ می‌شود. سپس با در نظر گرفتن تغییرات الگوی سفر در مدل‌های فعالیت مبنا، سناریوهای مختلفی برای متغیرهای تأثیرگذار و معنادار در نظر گرفته‌شده و در هر سناریو ضریب مربوط به متغیرهای موردنظر را تغییر داده و نتایج مدل در حالت تغییر فقط یک متغیر تحلیل می‌شود. در آخر با استفاده از داده‌های ناشی از حساسیت سنجی متغیرهای مرحله اول، یک مدل سریع پاسخ ساخته و متغیرهای مهم در صورت تغییرات هم‌زمان آن‌ها و تأثیر بر تغییرات سفر در کوتاه‌ترین زمان ممکن بررسی می‌شوند. به‌طورکلی مراحل انجام این پژوهش در شکل ۱ نمایش داده‌شده است.

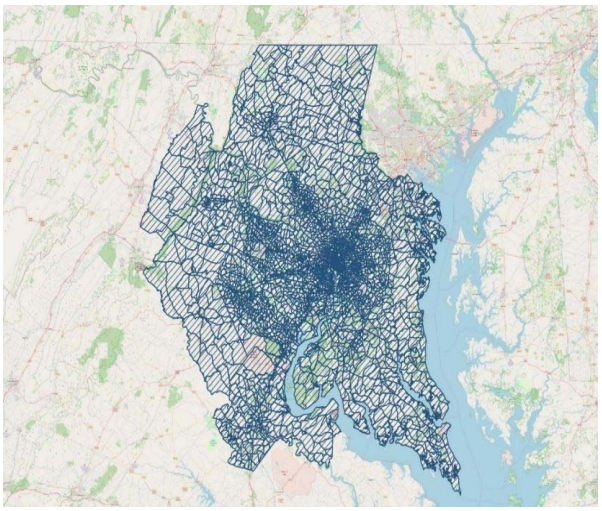


شکل ۱. مراحل انجام پژوهش حاضر

۲-۱- داده‌های پژوهش

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، از نتایج آمارگیری مبدا-مقصد ساکنان منطقه واشنگتن که در سال ۲۰۰۷ استخراج‌شده است. این آمارگیری ناحیه مورد مطالعه به ۳۷۲۲ ناحیه ترافیکی تقسیم‌بندی شده و ویژگی‌های مربوط به هر ناحیه مانند جمعیت، تعداد شاغلین و کاربری‌های مختلف زمین گزارش‌شده است. با استفاده از این نتایج داده‌های جمعیت که شامل ۲۱۶۶۷۳۶ خانوار و ۵۶۸۸۳۲۸ فرد هست به‌دست‌آمده است. این داده‌ها نتیجه جمعیت ساختگی توسط نرم‌افزار ترکیب‌کننده جمعیت هست که در پژوهش‌های پیشین بدان پرداخته‌شده است. اطلاعات موجود در آمارگیری مبدا-مقصد شامل سه دسته کلی است: ماتریس‌های مقاومت که عوامل بازدارنده مانند زمان سفر و هزینه سفر بین نواحی رو نشان می‌دهند. تعداد سطر و ستون‌های این ماتریس برابر با تعداد نواحی ترافیکی است. اطلاعات مربوط به سفر نیز شامل هدف سفر، زمان سفر، وسیله نقلیه و ناحیه مبدأ و مقصد سفر هر یک از

افراد است. در شکل ۲ نواحی ترافیکی ناحیه موردمطالعه نشان داده‌شده است.



شکل ۲. ناحیه موردمطالعه به تفکیک نواحی ترافیکی

۲-۱-۱- اطلاعات اشخاص

شامل شماره شناسه افراد، شماره خانواده افراد، سن، نسبت در خانواده، شماره شخص در خانواده، جنسیت، درآمد، تحصیلات است. در جدول ۱ بخشی از اطلاعات مربوط به این فایل نمایش داده شده است.

۲-۱-۲- اطلاعات خانوار

اطلاعات خانوار شامل شماره شناسه خانواده، ناحیه ترافیکی خانواده، درآمد، تعداد افراد در خانواده، تعداد خودرو، تعداد کارمندان در خانواده و ترکیب سنی خانواده است. در جدول ۲ بخشی از اطلاعات مربوط به این فایل نمایش داده‌شده است.

۲-۱-۳- اطلاعات کاربری زمین

اطلاعات کاربری زمین‌بر اساس نواحی ترافیکی شامل تعداد خانوار در هر ناحیه ترافیکی، تعداد افراد هرخانواده، تعداد افراد در هر ناحیه، گروه‌بندی سنی افراد در هر ناحیه و وضعیت جغرافیایی ناحیه است.

۲-۱-۴- اطلاعات ماتریس‌های مقاومت بین نواحی

این ماتریس‌ها عوامل بازدارنده بین نواحی را مشخص می‌کنند. تعداد سطر و ستون در ماتریس‌های مقاومت برابر با تعداد نواحی ترافیکی (۳۷۲۲) است. این ماتریس‌ها حاوی زمان سفر، هزینه سفر و یا ترکیبی از این دو برای هر جفت مبدأ و مقصد متناسب با شیوه‌های سفر مختلف هستند. هر نرم‌افزار مدل‌سازی روشی را جهت ذخیره این فایل‌ها در نظر می‌گیرد، روش به کار گرفته‌شده در نرم‌افزار اکتیویتی‌سیم ماتریس‌های متن‌باز هستند. این فایل‌ها تعداد زیادی از ماتریس‌ها را در خود جای می‌دهند و باعث کاهش حجم فایل‌های ورودی به نرم‌افزار و زمان اجرا می‌شوند. در جدول ۳ نمونه‌ای از این فایل‌ها را آورده شده است.

جدول ۱. برخی از اطلاعات اشخاص

شماره شناسه فرد	شماره شناسه خانوار	سن	جنسیت	نسبت در خانواده
۸۱	٦٦	۵۷	۱	۱
۲۱٤	۱۹۹	۸۰	۲	۱
۲۸٦	۲۳۷	٦۵	۱	۱
۲۸۷	۲۳۷	٦٦	۲	۳
۳۲۱	۲٦۵	۲۷	۱	۱
٤٤۲	۳۸٦	۲۵	۲	۱
٤۵۷	٤۰۲	۲۵	۲	۱
٤۹۳	٤۳۷	۳۵	۱	۱
۵۱۳	٤۵۷	۳۵	۱	۱
۹۰۲	٦۸۷	۲٦	۲	۱
۹۰۳	٦۸۷	۲۵	۱	۳
۱۱٤۸	۸۵۹	۳۳	۱	۱
۱۲۳۸	۹٤۹	۲٦	۲	۱
۱٤۰۹	۱۰۳٦	۳۵	۲	۱
۱٤۱۰	۱۰۳٦	۳٦	۱	۱
۱۸٦۳	۱٤۱۰	۲۹	۱	۱
۱۸٦۷	۱٤۱۳	٦۰	۲	۱
۱۸٦۸	۱٤۱۳	۷۲	۱	۱
۲۱۷۷	۱۵۷۵	۲۵	۱	۱
۲۱۷۸	۱۵۷۵	۲٦	۲	۱

جدول ۲. برخی از اطلاعات خانوار

شماره شناسه خانوار	ناحیه	تعداد افراد در خانواده	تعداد خودرو در خانواده	تعداد کارمند در خانواده
۳۴۷۸۶۹	۶۹۷	۱	۰	۰
۷۶۷۶۶۷	۹۷۶	۳	۲	۳
۱۳۰۲۰۴۲	۱۸۶۶	۳	۲	۰
۹۰۳۷۱۸	۱۴۳۳	۳	۲	۲
۱۲۹۵۸۳۰	۱۹۳۸	۳	۲	۲
۱۰۶۱۲۴۲	۱۶۶۵	۲	۲	۰
۹۲۶۳۰	۱۵۰	۱	۰	۰
۶۴۵۴۱۱	۱۳۶۸	۲	۲	۱
۶۶۲۲۹۵	۱۳۶۵	۱	۱	۰
۱۴۰۷۰۲۴	۳۶۱۶	۲	۱	۰
۴۹۹۷۷	۱۷۶	۱	۱	۰
۲۱۳۶۲۱۵	۳۵۸۰	۱	۰	۰
۱۹۱۸۳۰۳	۳۱۴۸	۵	۳	۳
۴۶۹۷۳۹	۵۹۱	۱	۰	۰
۲۸۶۹۲۸	۵۰۵	۳	۲	۲
۱۶۵۰۶۱۰	۲۹۸۲	۲	۱	۰
۵۳۳۶۴۴	۶۶۵	۵	۳	۲
۱۲۴۴۷۱۹	۱۷۶۷	۲	۲	۲
۱۷۷۷۲۰۸	۳۰۹۱	۱	۱	۰
۲۳۱۹۷۹	۳۵۶	۳	۰	۱

جدول ۳. نمونه‌ای از فایل ماتریس‌های مقاومت بین نواحی

ستون سطر	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۱	۵	۱۲	۲۵	۲۱	**۱۷**
۲	۵	۱	۱۱	۲۴	۲۱	**۱۶**
۳	۱۲	۱۲	۱	۲۶	۱۹	**۱۰**
۴	۲۴	۲۴	۲۴	۱	۱۹	**۲۹**
۵	۱۸	۱۴	۱۲	۲۰	۱	**۴**
۶	۲۰	۱۶	۱۰	۲۲	۴	**۱**

برای تمام نمونه‌ها با اندازه‌های متفاوت آزمون‌های آماری انجام‌شده است و در آخر نمونه با اندازه ۲۰۰۰۰ خانوار که در مجموع سفر ۲۰۱۶۲۷ تولید می‌کنند انتخاب شد. در جدول ۴ و جدول ۵ نتایج آزمون‌های آماری آورده شده است.

جدول ۴. نتایج آزمون‌های آماری تعداد و طول سفر جهت انتخاب نمونه (α=۰,۰۵)

نام متغیر	نوع آزمون	آماره آزمون	آماره بحرانی	p-value	نتیجه آزمون
تعداد سفر	آزمون t	-۰/۸۶۲	۱/۶۴۵	۰/۳۸۹	تائید فرضیه h0 (میانگین نمونه با جامعه تفاوت معنی‌داری ندارد.)
طول سفر	آزمون t	-۰/۵۶۵	۱/۶۴۵	۰/۵۷۲	تائید فرضیه h0 (میانگین نمونه با جامعه تفاوت معنی‌داری ندارد.)

جدول ۴. نتایج آزمون‌های آماری متغیرهای طبقه‌بندی‌شده جهت انتخاب نمونه ($\alpha = 0.05$)

نام متغیر	نوع آزمون	آماره آزمون	آماره بحرانی	p-value	نتیجه آزمون
جنسیت	آزمون کای-دو	۴/۳۶۹	۳/۸۴۱	۰/۰۳۶	رد فرضیه h0 (نمونه انتخاب‌شده با جامعه تطابق دارد.)
سن	آزمون کای-دو	۱۷/۶۵۹	۱۵/۵۰۷	۰/۰۲۳	رد فرضیه h0 (نمونه انتخاب‌شده با جامعه تطابق دارد.)
درآمد	آزمون کای-دو	۱۰/۹۳۴	۷/۸۱۵	۰/۰۱۲	رد فرضیه h0 (نمونه انتخاب‌شده با جامعه تطابق دارد.)

بعد خانوار	آزمون کای-دو	۱۴/۳۱۶	۱۱/۰۷	۰/۰۱۳	رد فرضیه h0 (نمونه انتخاب‌شده با جامعه تطابق دارد.)
شیوه سفر	آزمون کای-دو	۵/۵۶۷	۳/۸۴۱	۰/۰۱۸	رد فرضیه h0 (نمونه انتخاب‌شده با جامعه تطابق دارد.)

۲-۲- افزودن خودروهای خودران به نرم‌افزار

برای انجام تحلیل حساسیت ابتدا باید شیوه سفر خودروی خودران را به نرم‌افزار اضافه کنیم. این تغییرات هم در فایل‌های CSV و هم در یامل‌ها باید اعمال شود، با توجه به اینکه ساختار مدل‌های انتخاب شیوه سفر تور و سفر، لوجیت آشیانه‌ای است، ساختار این مدل‌ها لازم است تغییر کند. اضافه شدن شیوه سفر خودرو خودران مطابق با پژوهش انجام‌شده توسط جعفری و همکاران در سال ۱۳۹۸ در مدل انتخاب شیوه سفر تور و سفر انجام‌شده است.

۲-۳- تحلیل حساسیت ضرایب متغیرها در صورت حضور خودروهای خودران

با توجه به اینکه خودروهای خودران پدیده نوظهوری هستند و عدم قطعیت‌های زیادی در مورد آن‌ها وجود دارد لازم است برای انجام برخی سیاست‌گذاری‌ها در آینده در رابطه با متغیرهای مهم و تأثیرگذار سناریوهای مختلفی در نظر گرفته‌شده و حساسیت سنجی شوند (Ameri et al., 2021). تعریف حساسیت متغیرها به این صورت است که در یک شرایط مشخص و تعریف‌شده با فرض ثابت بودن سایر متغیرها اگر مقدار یک متغیر مستقل را تغییر دهیم، متغیر وابسته چقدر تغییر خواهد کرد. به عبارتی تحلیل حساسیت به این معنی است که برآورد کنیم که رفتاری که برای متغیر وابسته پیش‌بینی کرده‌ایم تا چه حد به مقادیر متغیرهای مستقل حساس است(Andrea et al., 2008). تحلیل حساسیت این امکان را می‌دهد که عدم قطعیت در مقادیر مختلف متغیرهای تصمیم‌گیری لحاظ شود. ممکن است حالت‌هایی پیش آید که خروجی نهایی تغییر چندانی نکند. اصطلاحاً در این حالت نتیجه نهایی به آن متغیر حساس نیست؛ اما در برخی از موارد، تغییر کوچکی در برخی متغیرها خروجی را به‌کل تغییر می‌دهد؛ بنابراین تحلیل حساسیت کمک می‌کند تا تمرکز و تلاش بر روی متغیرهای اصلی مسئله باشد. برای انتخاب بازه‌های تغییر متغیرها در این مطالعه ابتدا به‌صورت تجربی بازه‌ای از اعداد در نظر گرفته شد تا میزان حساسیت مدل و میزان تغییرات سفر بررسی شود. ابتدا بازه‌های کوچک در گام‌هایی به‌عنوان‌مثال با اندازه ۰/۱ برای بررسی نتایج اعمال شد که به دلیل طولانی بودن زمان اجرای مدل و نامحسوس بودن میزان تغییرات در ادامه گام‌هایی با اندازه بزرگ‌تر به‌عنوان‌مثال ۰/۵ موردبررسی قرار گرفت. درواقع پس از هر بار اجرای مدل با بررسی نتایج، تصمیم گرفته می‌شد که آیا گام انتخاب‌شده جهت تحلیل حساسیت متغیر مناسب است یا خیر. همچنین در انتخاب بازه‌های بالا و پایین در هر متغیر مقدار حداقل و حداکثر ضرایب متغیرها در مدل نیز مدنظر قرارگرفته است تا برای هر متغیر تغییر ضریب مقیاس متفاوتی نداشته باشد. به‌عنوان‌مثال اگر ضریب متغیر ۰/۵ باشد باید در بازه‌ای متناسب با ضریب، تحلیل حساسیت شود. به عبارتی در مثال ذکرشده استفاده از اعداد بزرگ یا کوچک ممکن است نتایج فرآیند تحلیل حساسیت را غیرمنطقی سازد(ActivitySim Github, 2021).

در این پژوهش، متغیر وابسته تغییرات تعداد سفر است. در بخش اول تحلیل حساسیت بررسی تأثیر تنها یک متغیر مستقل بر تغییرات سفر یا متغیر وابسته در نظر گرفته‌شده است به این معنی که در هر سناریو ضریب متغیر مستقل با توجه به بازه‌ها و گام‌های انتخابی تغییر کرده و مدل اجرا می‌شود. پس از برداشت اطلاعات مربوط به تعداد سفر سناریو بعدی اعمال می‌شود. در بخش بعد با استفاده از داده‌های بخش اول جهت ساخت پایگاه داده برای مدل سریع پاسخ، اثرات تعاملی این متغیرها بر تغییرات سفر لحاظ شده است.

۲-۴- ساخت مدل سریع پاسخ

یکی از مشکلات مشاهده‌شده در این پژوهش زمان طولانی اجرای مدل‌ها بر روی رایانه‌های شخصی است. از طرفی برای

حل مسائل مربوط به تحلیل حساسیت نیازمند است چندین متغیر هم‌زمان تغییر پیداکرده و اثرات آن بر روی تعداد سفرهای ساخته‌شده شناسایی شود. با توجه به آنکه تغییر متغیرها و شناسایی اثر تعاملی آن‌ها بسیار زمان‌بر است، در این بخش از مدل رگرسیون XGBoost استفاده‌شده است. ساخت این مدل سبب می‌شود اولاً مهم‌ترین متغیرهای ایجاد سفر و رابطه تعاملی بین آن‌ها شناسایی‌شده و از طرفی برای تحلیل حساسیت نیازمند اجرای چندین‌باره نرم‌افزار اکتیویتی‌سیم هست که این موضوع بسیار زمان‌بر است.

۲-٤-۱- ساخت پایگاه داده

برای ساخت مدل سریع پاسخ ابتدا لازم است آن دسته از متغیرهایی که قرار است موردبررسی قرار گیرند شناسایی شوند. متغیرهای انتخابی مطابق جدول (۵) آمده‌اند. لازم به ذکر است ستون کل سفر در انتهای جدول متغیر وابسته با عنوان کل سفر است. دامنه اعداد متغیرها با استفاده از نتایج بخش مربوط به تحلیل یک‌بعدی حساسیت متغیرها، بازه‌ها انتخاب‌شده‌اند. بعد از انتخاب متغیرها، برای هر یک از آن‌ها مقادیری تصادفی در بازه‌های شناسایی‌شده انتخاب می‌شود. سپس این متغیرها در مسیر تنظیمات نرم‌افزار جایگزین مقادیر قبلی می‌شوند. درنهایت برای مقادیر انتخابی مدل اجرا می‌شود و تعداد سفرها ثبت می‌شود. نهایتاً پایگاه داده‌ای که در XGBoost استفاده می‌شود، ایجاد می‌شود.

۲-٤-۲- ساخت مدل XGBoost

برای ساخت مدل رگرسیون XGBoost ابتدا لازم است پایگاه داده ساخته‌شده در مرحله قبل به دودسته آموزش و ارزیابی تقسیم شود. بر اساس داده‌های ایجادشده در مرحله قبل بر اساس روش ۳۰-۷۰ به ترتیب به داده‌های آموزش و ارزیابی تقسیم می‌شوند. در گام بعدی لازم است مدل به‌وسیله داده‌های آموزش ساخته شود. برای آموزش مدل ابتدا لازم است ابر پارامترهای مدل تنظیم شوند. به دست آوردن این ابر پارامترها یکی از مهم‌ترین مراحل ساخت مدل‌های یادگیری ماشینی است. برای این کار ابتدا لازم است مجموعه‌ای از مقادیر متنوع برای ابر پارامترها ایجادشده سپس مجموعه‌ای انتخاب شود که بهترین دقت را برای مدل ایجاد می‌کند. برای بهینه‌سازی مقادیر ابر پارامترها از روش جستجوی تصادفی استفاده می‌شود. این روش با استفاده از کتابخانه sklearn در زبان برنامه‌نویسی پایتون اعمال‌شده است. جدول (۵) مجموعه‌ای از ابر پارامترها و مقادیر آن‌ها برای مدل XGBoost را نشان می‌دهد. مقادیر این ابر پارامترها با استفاده از مطالعه درویش زاده و همکاران و منابع اینترنتی نظیر سایت کگل Kaggle برآورد شده است (X. kdnuggets, 2021, XGBoost medium, 2021).

جدول ۵. مقادیر استفاده‌شده برای یافتن بهترین پارامتر در الگوریتم جستجوی شبکه‌ای تصادفی

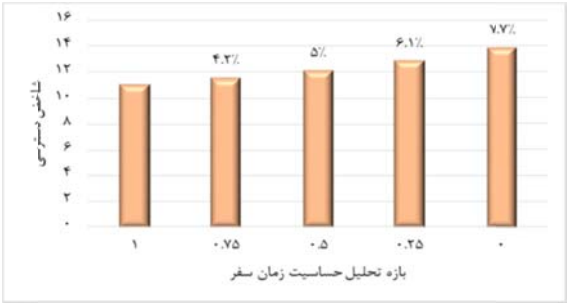
نام ابر متغیر	مقادیر
max_depth	[٤، ٥، ١٠، ١٦، ٣٢]
n_estimators	[١٠٠ ,٣٠٠،٥٠٠ ,٦٠٠ ,٧٠٠،١٠٠٠،١٢٠٠]
learning_rate	[٠,٠١٥,٠,٠١ ,٠,٠٢ ,٠,٠٥ ,٠,١ ,٠,٢]
reg_alpha	[٣٠٠٠و٢٠٠٠و١٠٠٠و ٧٠٠و ٥٠٠و ١٠٠و ٢٠و ١٠و ٢/٥و ١/٥و ١و ٠/٥]
subsample	[١و ٠/٨و ٠/٦و ٠/٥]
gamma	[٠/٩و ٠/٥و /٠/٣و ٠/١]
colsample_bytree	[١و ٠/٨و ٠/٦]
min_child_weight	[١ ,٥ ,١٠]
reg_lambda	[١٥٠٠و٩٠٠و ٦٠٠و ٣٠٠و ١٠٠و ٢٠و ١٠و ٢/٥و ١/٥و ١و ٠/٥]

۲-۳-۳- ارزیابی مدل XGBoost

بعد از ساخت مدل XGBoost لازم است مدل ساخته‌شده به‌وسیله ۷۰ درصد از داده‌های پایگاه داده، با ۳۰ درصد از داده‌های پایگاه ارزیابی گردد. به همین منظور بعد از پیش‌بینی مقادیر تعداد سفر به‌وسیله متغیرهای مستقل لازم است مقادیر پیش‌بینی‌شده با مقادیر واقعی مقایسه گردند. برای این مهم از شاخص R^2 استفاده می‌شود. جدول ٦ پارامترهای بهترین مدل را به همراه بهترین مقدار R^2 را نشان می‌دهد.

جدول ٦. پارامترهای بهترین مدل

پارامتر	مقدار
max_depth	۵
n_estimators	۱۲۰۰
learning_rate	۰/۰۵
reg_alpha	۱/۵
subsample	۱
gamma	۰/۹
colsample_bytree	۰/۸
min_child_weight	۵
reg_lambda	۰/۵
R^2 مدل آموزشی	۰/۸۷
R^2 مدل ارزیابی	۰/۸۲



شکل ۳. بهبود شاخص دسترسی پس از تغییرات ضریب زمان سفر

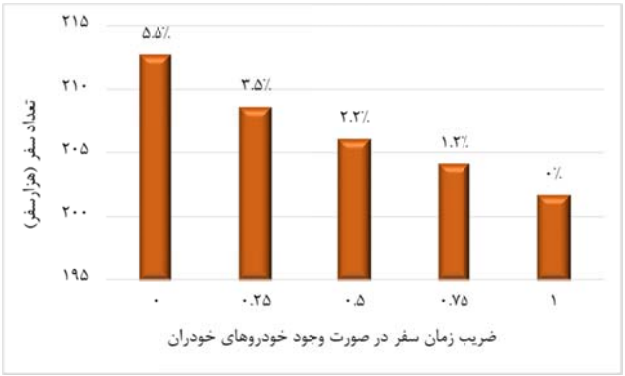
۳- نتایج

در این بخش به ارائه نتایج حاصل از پژوهش انجام شده پرداخته می‌شود.

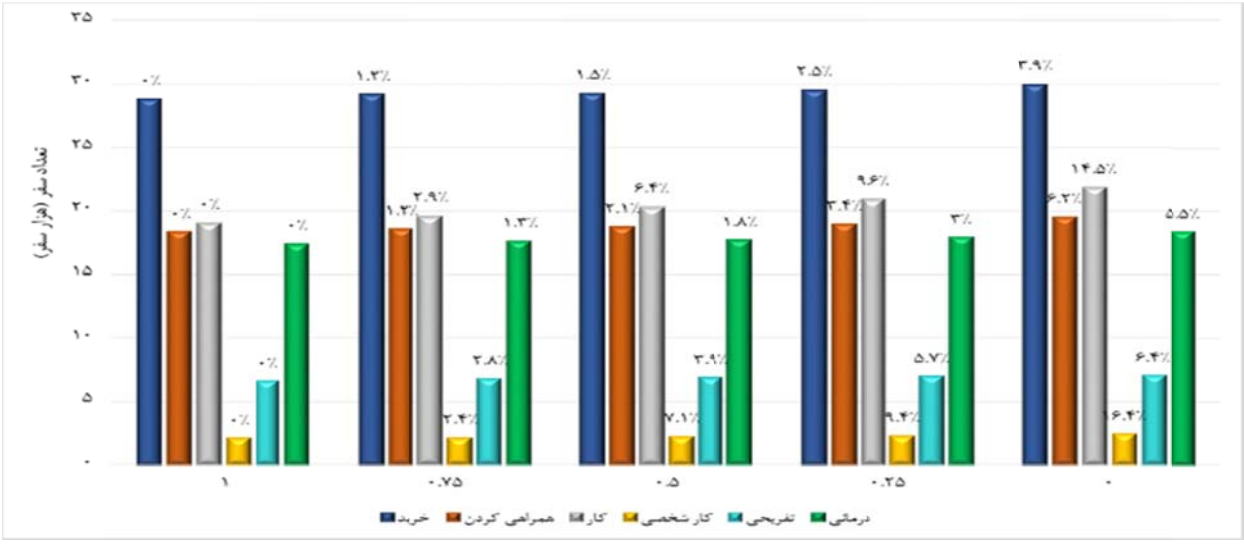
۳-۱- نتایج تغییر در مدل دسترسی بر تغییرات سفر

فرض در این پژوهش بر این بوده است که خودروهای خودران با افزایش دسترسی بر تعداد سفرها تأثیرگذار هستند. به همین منظور برای تحلیل حساسیت، بازه‌های ۰/۰۱ برای تابع زمان مدل دسترسی در نظر گرفته شد که نتایج آن در شکل ۳ نشان داده‌شده است. با تغییر ضریب تابع بازدارنده زمان سفر در مدل دسترسی، افزایش دسترسی باعث افزایش تعداد سفر شده است. درواقع این افزایش دسترسی به‌واسطه کاهش عدم مطلوبیت زمان سفر در مدل است. با اعمال بیشترین ضریب، تعداد سفرها در صورت بهبود دسترسی، ۵/۵ درصد افزایش‌یافته است. همچنین در شکل ٤ بهبود میانگین شاخص دسترسی با خودرو در زمان اوج به خرده‌فروش‌ها و تمامی مشاغل آورده شده است.

در شکل ۵ تغییرات سفر پس از افزایش دسترسی به ازای هدف‌های مختلف سفر برای خودروهای خودران نشان داده‌شده است. در بین هدف‌ها، سفرهای کاری و کار شخصی بیشترین میزان افزایش را داشته‌اند. این بیانگر این است با افزایش دسترسی به‌واسطه خودروهای خودران، سفرهای کاری و کار شخصی حساسیت بیشتری نسبت به زمان سفر داشته‌اند. در بین سفرهای غیراجباری، سفر تفریحی، همراهی کردن، درمانی و خرید به ترتیب نسبت به زمان سفر حساس بوده‌اند.



شکل ٤. تغییرات سفر پس از تغییرات ضریب زمان سفر در مدل دسترسی



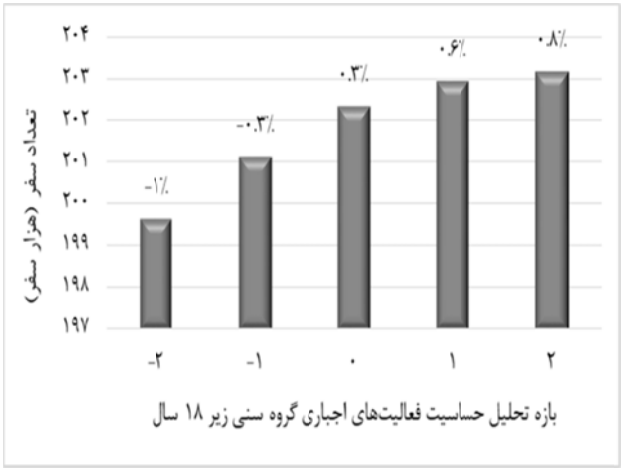
شکل ۵. تغییرات سفر با توجه به تغییرات زمان سفر برای اهداف مختلف سفر با حضور خودروهای خودران

۳-۲- نتایج مربوط به تحلیل حساسیت متغیرهای مدل الگوی فعالیت روزانه

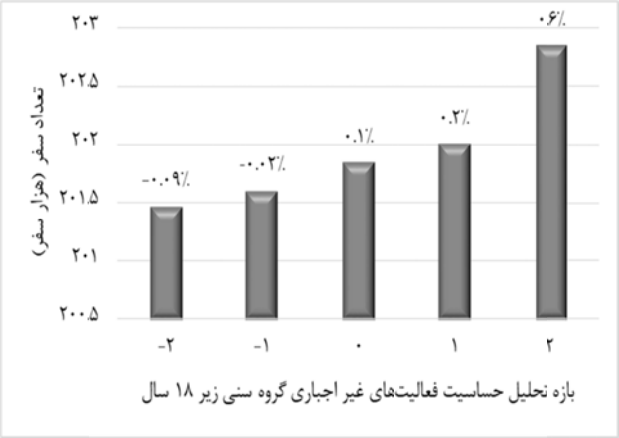
انتظار می‌رود خودروهای خودران با تغییر الگوی فعالیت افراد، باعث ایجاد سفرهای جدید شوند. درواقع باوجود این خودروها، فعالیت‌های گروه سنی خاص شامل افراد زیر ۱۸ سال و بالای ٦٥ سال تغییر می‌کند زیرا این افراد برای ایجاد سفر با وسیله نقلیه خودرو، مانند افراد عادی در نظر گرفته‌شده و هیچ محدودیتی نخواهند داشت. همچنین به‌واسطه افزایش دسترسی توسط این خودروها افراد شاغل به دلیل افزایش مطلوبیت سفر با خودرو و کاهش خستگی ناشی از ترافیک و کاهش عدم مطلوبیت زمان سفر در خودرو، پس از انجام کار خود و هنگام برگشت به خانه، تمایل بیشتری برای انجام فعالیت‌های غیراجباری خواهند داشت.

-بررسی نتایج مربوط به تغییر الگوی فعالیت‌های اجباری و غیر اجباری گروه سنی زیر ۱۸ سال

نتایج مربوط تحلیل حساسیت فعالیت‌های گروه سنی زیر ۱۸ سال در صورت حضور خودروهای خودران در شکل ٦ و شکل ۷ مشخص‌شده است. فعالیت‌های اجباری این گروه حساسیت بیشتری نسبت به فعالیت‌های غیراجباری دارند. علت امر می‌تواند این باشد که فعالیت‌های اجباری آن‌ها که شامل رفتن به مدرسه است، قبل از حضور خودروهای خودران توسط والدین، حمل‌ونقل همگانی و یا پیاده صورت می‌گرفته است. باوجود خودروهای خودران، وابستگی این گروه به خانواده برای انجام سفر کمتر شده و سفر با خودرو خودران نسبت به حمل‌ونقل همگانی از لحاظ راحتی و دسترسی نیز مطلوبیت بیشتری خواهد داشت.



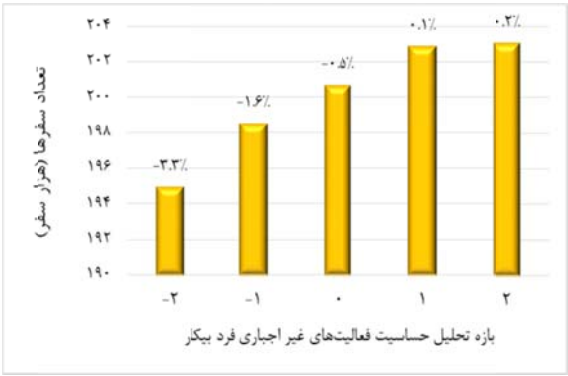
شکل ٦. تغییرات سفر با توجه به تغییرات فعالیت‌های اجباری گروه سنی زیر ۱۸ سال با حضور خودروهای خودران



شکل ۷. تغییرات سفر با توجه به تغییرات فعالیت‌های غیر اجباری گروه سنی زیر ۱۸ سال با حضور خودروهای خودران

-بررسی نتایج مربوط به تغییر الگوی فعالیت‌های غیراجباری فرد بیکار در صورت وجود خودروهای خودران

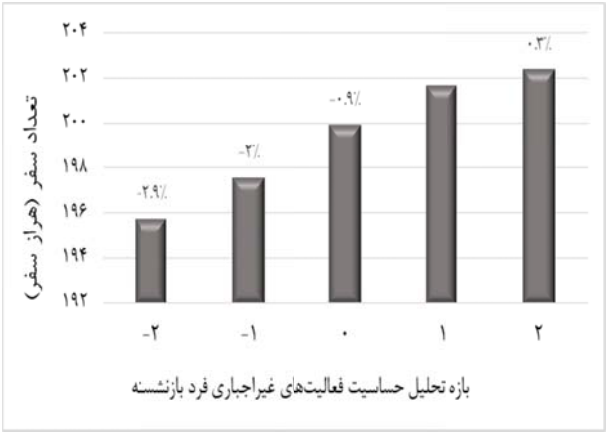
برای این متغیر فرض بر این بود که خودروهای خودران به دلیل افزایش مطلوبیت و راحتی سفر باعث تغییر در میزان فعالیت‌های غیراجباری فرد بیکار شود. برای تحلیل حساسیت این متغیر بازه (۲,۲-) در نظر گرفته‌شده است. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص‌شده است با اعمال بالاترین ضریب مثبت تعداد سفرها ۰/۲ درصد افزایش‌یافته است؛ اما با اعمال ضریب منفی تعداد سفرها بیشتر کاهش‌یافته است. به این معنی است که در صورت عدم وجود خودروی خودران، کاهش فعالیت‌های غیراجباری فرد بیکار بیشتر از افزایش آن است.



شکل ۸. تغییرات سفر با توجه به تغییرات فعالیت‌های غیراجباری فرد بیکار با حضور خودروهای خودران

-بررسی نتایج مربوط به تغییر فعالیت‌های غیراجباری فرد بازنشسته

خودروهای خودران با فراهم آوردن امکان سفر برای افراد باسن بالا باعث تغییر در فعالیت‌های غیراجباری آن‌ها می‌شود. در واقع فردی که تا قبل از این خودروها، امکان انجام سفر به‌تنهایی برای انجام فعالیت‌های غیراجباری خود نداشته است به‌واسطه این خودروها و عدم نیاز به رانندگی، مانند یک فرد سالم و عادی در نظر گرفته‌شده و می‌تواند سفرهای جدید ایجاد کند. همان‌طور که در شکل ۹ مشخص‌شده است با اعمال ضریب نهایی برای این متغیر، سفرها به میزان ۰/۳ درصد افزایش پیدا می‌کنند؛ اما در صورت عدم وجود این خودروها میزان سفرهای ایجادشده توسط این افراد کاهش بیشتری خواهد داشت

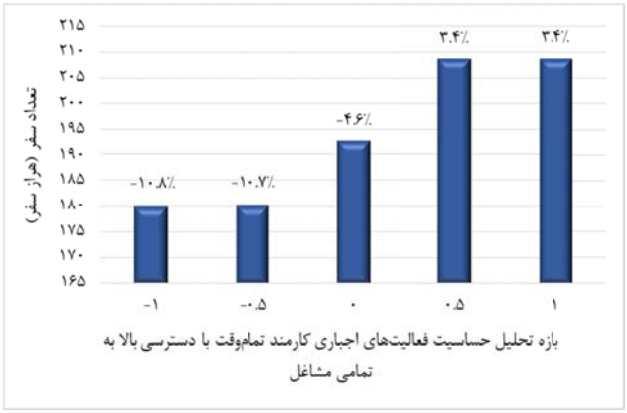


شکل ۹. تغییرات سفر با توجه به تغییرات فعالیت‌های غیر اجباری فرد بازنشسته با حضور خودروهای خودران

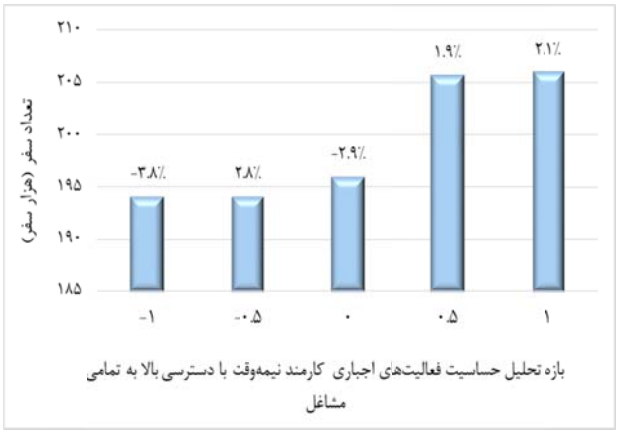
۳-۳- بررسی نتایج مربوط به تغییر متغیر فعالیت‌های اجباری کارمند تمام‌وقت و نیمه‌وقت با دسترسی بالا به‌تمامی مشاغل

با توجه به اینکه خودروهای خودران امکان دسترسی و مطلوبیت سفر با مسافت بالا را افزایش می‌دهند، امکان اینکه فرد کارمند پس از اتمام کار اول خود، فعالیت اجباری دیگری را انجام دهد افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۱۰ و ۱۱

مشخص‌شده است در گام آخر و با اعمال ضریب یک‌میزان سفرها ۳/٤ و ۲/۱ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۱۰. تغییرات سفر با توجه به تغییرات فعالیت‌های اجباری کارمند تمام‌وقت با دسترسی بالا به‌تمامی مشاغل با حضور خودروهای خودران



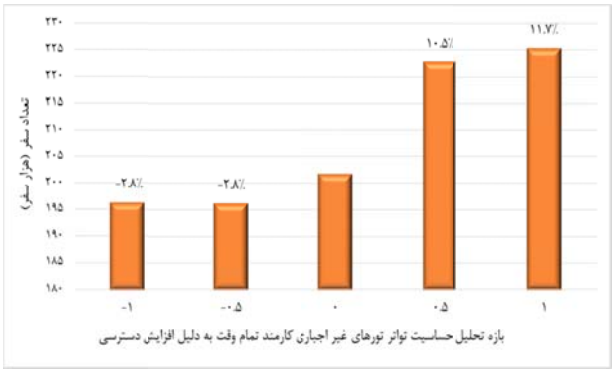
شکل ۱۱. تغییرات سفر با توجه به تغییرات فعالیت‌های اجباری کارمند نیمه‌وقت با دسترسی بالا به‌تمامی مشاغل با حضور خودروهای خودران

۳-٤- نتایج مربوط به تحلیل حساسیت متغیرهای مدل تواتر تورهای غیراجباری

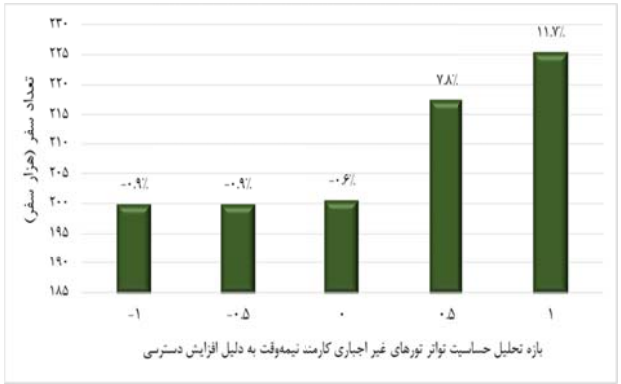
در این مدل حساسیت تواتر تورهای غیراجباری با حضور خودروهای خودران برای کارمند تمام‌وقت، نیمه‌وقت و فرد بازنشسته انجام‌شده است. این بررسی حساسیت به دلیل افزایش دسترسی با شیوه سفر خودرو به خرده‌فروش‌ها است. درواقع بیانگر این است افزایش دسترسی برای افراد مختلف، چه تأثیری بر تواتر تورهای غیراجباری دارد.

-بررسی نتایج مربوط به تواتر تورهای غیراجباری کارمند تمام‌وقت و نیمه‌وقت

تحلیل حساسیت برای این متغیر با در نظر گرفتن بازه (۱ و ۱-) انجام‌شده است. کاهش این ضریب به معنای کاهش دسترسی فرد با شیوه سفر خودرو به خرده‌فروش‌ها و افزایش آن نشان‌دهنده افزایش دسترسی است. همان‌طور که در شکل ۱۲ و شکل ۱۳ نشان داده‌شده است در گام آخر با اعمال ضریب یک، تغییرات سفر به ۱۱/۷ درصد می‌رسد؛ که نشان‌دهنده حساسیت این متغیر نسبت به افزایش دسترسی است.



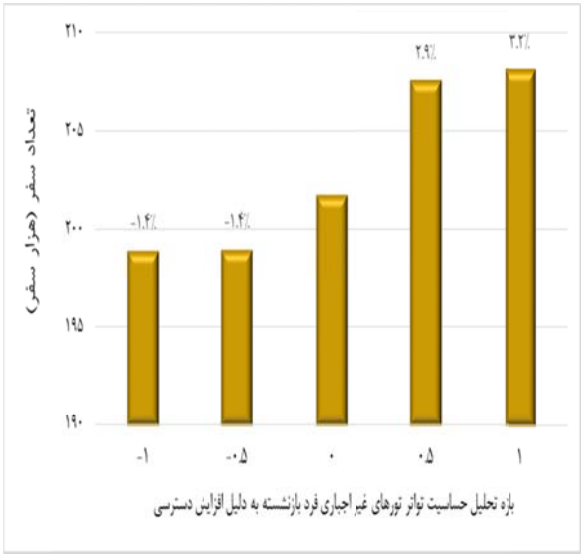
شکل ۱۲. تغییرات سفر به دلیل تغییرات تورهای غیراجباری کارمند تمام‌وقت به دلیل افزایش دسترسی



شکل ۱۳. تغییرات سفر به دلیل تغییرات تورهای غیراجباری کارمند نیمه‌وقت به دلیل افزایش دسترسی

بررسی نتایج مربوط به تواتر تورهای غیراجباری فرد بازنشسته

تحلیل حساسیت برای این متغیر با در نظر گرفتن بازه (۱ و ۱-) انجام شده است. همان‌طور که در شکل ١٤ نشان داده شده است، برای فرد بازنشسته، در گام آخر با اعمال ضریب یک، تغییرات سفر به ۳/۲ درصد می‌رسد. علت این امر به دلیل ایجاد امکان سفر توسط خودروهای خودران برای فرد بازنشسته است که به دلیل محدودیت پزشکی و یا شرایط مناسب برای رانندگی امکان انجام سفرهای غیراجباری را نداشته است.



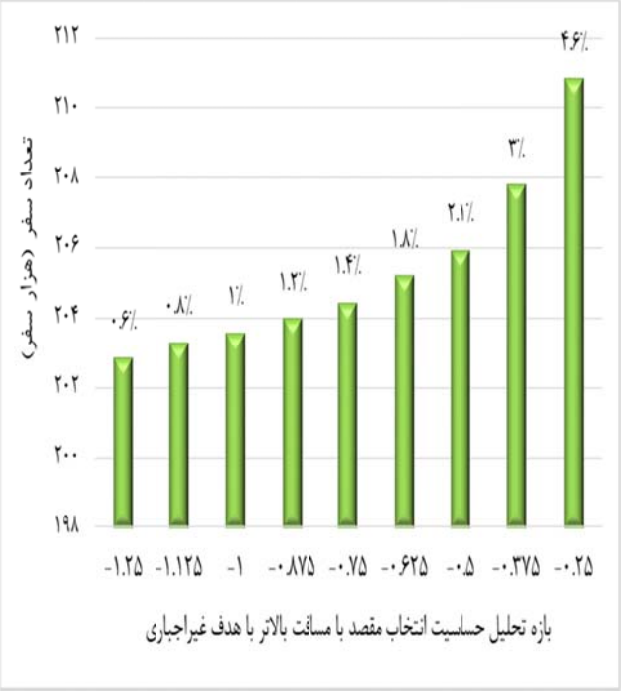
شکل ١٤. تغییرات سفر به دلیل تغییرات تورهای غیراجباری فرد بازنشسته به دلیل افزایش دسترسی

۳-۵- نتایج مربوط به تحلیل حساسیت متغیرهای مدل انتخاب مقصد تورهای غیراجباری

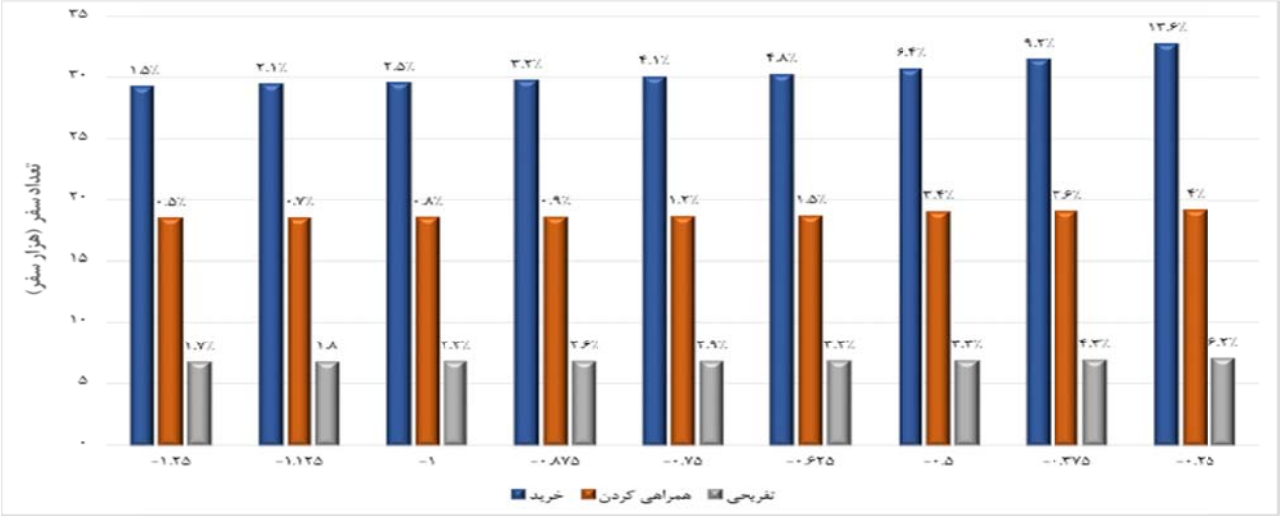
با افزایش دسترسی به‌واسطه خودروهای خودران، انتظار می‌رود افزایش مسافت برای سفرهای غیراجباری از عدم مطلوبیت کمتری برخوردار باشد. یکی از دلایل این امر این است که نیاز به پارکینگ مانند خودروهای عادی احساس نمی‌شود چراکه در صورت عدم وجود پارکینگ در فضاهای تفریحی و یا خرید، این خودروها خود قادر به پیدا کردن پارک در مکان دورتر هستند.

۳-٦- بررسی نتایج مربوط به تحلیل حساسیت متغیر انتخاب مقصد تورهای (غیراجباری) با مسافت بالا

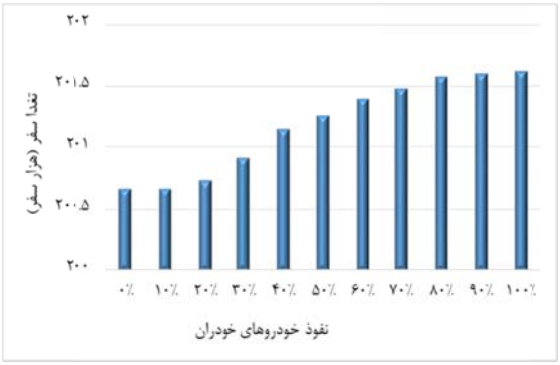
همان‌طور که در بخش‌های قبلی پژوهش گفته شد، خودروهای خودران باعث افزایش مسافت طی شده می‌شوند. این خودروها باعث کاهش عدم مطلوبیت زمان سفر، افزایش راحتی سفر، افزایش دسترسی و افزایش تمایل افراد برای ایجاد سفر با مسافت بالا خواهند شد. با در نظر گرفتن کاهش عدم مطلوبیت مسافت برای سفرهای غیراجباری مطابق با شکل ۱۵ مشخص شد که تمایل افراد به انجام سفرهای غیراجباری با مسافت بالا، باعث افزایش ٤/٦ درصدی سفرها می‌شود. همچنین در شکل ١٦ مشخص‌شده است که در بین سفرهای غیراجباری، خرید با افزایش ۱۳/٦ درصدی بیشترین حساسیت به مسافت را داشته است.



شکل ۱۵. تغییرات سفر به دلیل انتخاب مقاصد با مسافت بالا



شکل ۱۶. تغییرات سفر با توجه به تغییرات مسافت برای سفرهای غیراجباری با حضور خودروهای خودران



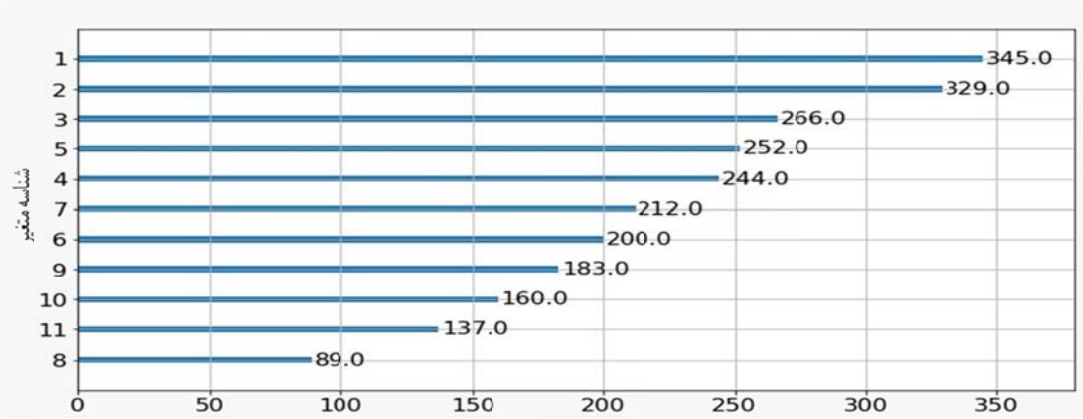
شکل ۱۷. تغییرات سفر با درصد نفوذهای مختلف خودروهای خودران

۳-۷- بررسی نتایج تغییر نفوذ خودروهای خودران بر تغییر تعداد سفرها

در این پژوهش نیز، تأثیرات نفوذ این خودروها بر ایجاد سفرهای جدید در حالت کلی در شکل ۱۷ مشخص‌شده است. درواقع افزایش مطلوبیت سفر با خودرو، ایجاد سفرهای جدید به‌واسطه تأثیر این خودروها بر تقاضای پنهان سفر، سفرهای خالی خودروی خودران برای انتخاب پارکینگ و یا سوار و پیاده کردن افراد می‌توانند دلایل افزایش سفر با خودرو باشند.

۳-۸- مهم‌ترین متغیرهای شناسایی‌شده توسط مدل XGBoost

یکی از ویژگی‌های روش‌های درختی امکان شناسایی مهم‌ترین متغیرها در ساخت مدل است. منظور از متغیرهای مهم آن دسته هست که بیشترین تأثیر را در ساخت مدل دارند. شکل ۱۸ متغیر مهم شناسایی‌شده در مدل را نشان می‌دهد. این موضوع همان‌طور که گفته شد از این نظر حائز اهمیت است که سیاست‌گذار را می‌تواند در تصمیم‌گیری مناسب برای این متغیرها یاری کند.



شکل ۱۸. ترتیب متغیرهای مهم شناسایی‌شده در مدل بر تغییرات سفر

٤- تحلیل

خلاصه تغییرات تعداد سفر به ازای تغییر متغیرهای مختلف در حالت تک‌بعدی در جدول ۷ آورده شده است. در جدول ۸ نتایج تحلیل اثر تعاملی متغیرها نشان می‌دهد که اگرچه یک متغیر به‌تنهایی ممکن است تأثیر چندانی بر نتیجه نداشته باشد اما با قرار گرفتن کنار متغیرهای دیگر اهمیت آن بیشتر شده و تأثیر آن بر نتیجه نیز افزایش می‌یابد. در جدول ۹ رتبه متغیرها در تحلیل یک‌بعدی و اثر تعاملی آورده شده است. انواع فعالیت‌های گروه سنی خاص در تحلیل یک‌بعدی ازلحاظ تأثیر بر تغییرات تعداد سفر در رتبه‌های پایین و تواتر تورهای غیراجباری، زمان سفر و انتخاب مقصد در رتبه‌های بالاتری قرارگرفته‌اند؛ اما پس از بررسی اثر تعاملی متغیرها مشخص شد که زمان سفر و انواع فعالیت‌های افراد شاغل، زیر ۱۸ سال و بازنشسته تأثیر بیشتری بر تغییرات سفر داشته و در رتبه‌های بالاتری قرار گرفتند.

جدول ۷. نتیجه تغییر متغیرها و تأثیر آن‌ها بر تغییرات تعداد سفر در حالت تک‌بعدی

اسم متغیر	مدل	دامنه تغییر متغیر	درصد تغییر نسبت به حالت پایه در صورت حضور خودروهای خودران
زمان سفر	دسترسی	(۰,۰۱ و ۰,۰۵)	۵/۵
فعالیت‌های اجباری فرد شاغل تمام‌وقت	الگوی فعالیت روزانه	(۱ و ۱-)	۳/٤
فعالیت‌های اجباری فرد شاغل نیمه‌وقت	الگوی فعالیت روزانه	(۱ و ۱-)	۲/۱
فعالیت‌های اجباری گروه سنی زیر ۱۸ سال	الگوی فعالیت روزانه	(۲ و ۲-)	۰/۸
فعالیت‌های غیراجباری گروه سنی زیر ۱۸ سال	الگوی فعالیت روزانه	(۲ و ۲-)	۰/٦
فعالیت‌های غیراجباری فرد بیکار	الگوی فعالیت روزانه	(۲ و ۲-)	۰/۲
فعالیت‌های غیراجباری فرد بازنشسته	الگوی فعالیت روزانه	(۲ و ۲-)	۰/٤
انتخاب مقصد با مسافت بالا برای تورهای غیراجباری	انتخاب مقصد تورهای غیراجباری	(۰,۰۱- و ۰,۰۹-)	٤/٦

تواتر تورهای غیراجباری برای فرد شاغل نیمه‌وقت	تواتر تورهای غیراجباری	(۱ و ۱-)	۱۱/۷
تواتر تورهای غیراجباری برای فرد شاغل تمام‌وقت	تواتر تورهای غیراجباری	(۱ و ۱-)	۱۱/۷
تواتر تورهای غیراجباری برای فرد بازنشسته	تواتر تورهای غیراجباری	(۱ و ۱-)	۳/۲

جدول ۸. ترتیب متغیرهای تأثیرگذار در مدل در اثر تعاملی

متغیرهای مهم	مدل
۱. زمان سفر	دسترسی
۲. فعالیت‌های اجباری فرد شاغل تمام‌وقت	الگوی فعالیت روزانه
۳. فعالیت‌های اجباری فرد شاغل نیمه‌وقت	الگوی فعالیت روزانه
٤. فعالیت‌های غیراجباری گروه سنی زیر ۱۸ سال	الگوی فعالیت روزانه
۵. فعالیت‌های اجباری گروه سنی زیر ۱۸ سال	الگوی فعالیت روزانه
٦. فعالیت‌های غیراجباری فرد بازنشسته	الگوی فعالیت روزانه
۷. فعالیت‌های غیراجباری فرد بیکار	الگوی فعالیت روزانه
۸. تواتر تورهای غیراجباری برای فرد شاغل نیمه‌وقت	تواتر تورهای غیراجباری
۹. تواتر تورهای غیراجباری برای فرد شاغل تمام‌وقت	تواتر تورهای غیراجباری
۱۰. تواتر تورهای غیراجباری برای فرد بازنشسته	تواتر تورهای غیراجباری
۱۱. انتخاب مقصد با مسافت بالا برای تورهای غیراجباری	انتخاب مقصد تورهای غیراجباری

جدول ۹. رتبه متغیر در تحلیل تک‌بعدی و اثر تعاملی ازلحاظ تأثیر بر تغییرات سفر

اثر تک‌بعدی	اثر تعاملی
۱. تواتر تورهای غیراجباری برای فرد شاغل نیمه‌وقت	۱. زمان سفر
۲. تواتر تورهای غیراجباری برای فرد شاغل تمام‌وقت	۲. فعالیت‌های اجباری فرد شاغل تمام‌وقت
۳. زمان سفر	۳. فعالیت‌های اجباری فرد شاغل نیمه‌وقت
٤. انتخاب مقصد با مسافت بالا برای تورهای غیراجباری	٤. فعالیت‌های غیراجباری گروه سنی زیر ۱۸ سال
۵. فعالیت‌های اجباری فرد شاغل تمام‌وقت	۵. فعالیت‌های اجباری گروه سنی زیر ۱۸ سال
٦. تواتر تورهای غیراجباری برای فرد بازنشسته	٦. فعالیت‌های غیراجباری فرد بازنشسته

۷. فعالیت‌های اجباری فرد شاغل نیمه‌وقت	۷. فعالیت‌های غیراجباری فرد بیکار
۸. فعالیت‌های اجباری گروه سنی زیر ۱۸ سال	۸. تواتر تورهای غیراجباری برای فرد شاغل نیمه‌وقت
۹. فعالیت‌های غیراجباری گروه سنی زیر ۱۸ سال	۹. تواتر تورهای غیراجباری برای فرد شاغل تمام‌وقت
۱۰. فعالیت‌های غیراجباری فرد بازنشسته	۱۰. تواتر تورهای غیراجباری برای فرد بازنشسته
۱۱. فعالیت‌های غیراجباری فرد بیکار	۱۱. انتخاب مقصد با مسافت بالا برای تورهای غیراجباری

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تلاش بر آن بود که یک مدل سریع پاسخ به‌منظور بررسی تعداد سفرها ساخته شود که پایگاه داده ساخت مدل، از تحلیل حساسیت متغیرها به‌دست‌آمده است. بدین منظور ابتدا اطلاعات مربوط به خانوار، افراد، کاربری زمین و ماتریس‌های مقاومت بین نواحی مطابق با فرمت قابل‌قبول نرم‌افزار وارد نرم‌افزار اکتیویتی‌سیم شدند. به دلیل حجم بالای اطلاعات سرعت اجرای مدل‌های فعالیت‌مبنا نرم‌افزار به بیش از یک روز افزایش یافت. لذا برای تسریع درروند کار نمونه‌گیری انجام شد. در مرحله بعد مدل‌های نرم‌افزار اجرا شدند و اطلاعات سفر مربوط به حالت عادی (عدم حضور خودروهای خودران) برداشت شد. در بخش بعدی خودروهای خودران شخصی وارد نرم‌افزار شده و تغییرات متناسب با حضور آن‌ها اعمال شد. سپس جهت بررسی تأثیرات خودروهای خودران بر ایجاد سفر، با تغییر پارامتر زمان سفر در مدل دسترسی، فعالیت‌های گروه سنی خاص، فعالیت‌های یک فرد بالغ و بیکار و فعالیت‌های کارمند تمام‌وقت و نیمه‌وقت با دسترسی بالا به‌تمامی مشاغل در مدل الگوی فعالیت‌های روزانه، متغیر تعداد تورهای غیراجباری کارمند تمام‌وقت، نیمه‌وقت و فرد بازنشسته در مدل تواتر تورهای غیراجباری و متغیر انتخاب مقصد با مسافت بالا در مدل انتخاب مقصد تورهای غیراجباری تغییرات تعداد سفرها را در حالت کلی و با توجه به اهداف سفر مختلف، در صورت حضور خودروهای خودران بررسی می‌شود. همچنین به بررسی تأثیر ضریب نفوذ متفاوت خودروهای خودران بر تغییرات سفر در حالت کلی پرداخته شد. درنهایت با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل حساسیت مدل‌ها، پایگاه داده برای آموزش مدل XGBoost ایجاد شد. ساخت این مدل علاوه بر شناسایی متغیرهای مهم زمان اجرا را نیز با اختلاف قابل‌توجهی کاهش داد. به‌طورکلی نتایج این پژوهش عبارتند از:

-از بین متغیرهای انتخاب‌شده در تحلیل یک‌بعدی حساسیت متغیرها نتایج حاکی از آن است که متغیر فعالیت‌های غیراجباری افراد در مدل تواتر تورهای غیراجباری با ۱۱/۷ درصد و متغیر زمان سفر در مدل دسترسی با ۵/۵ درصد بیشترین تأثیر را بر تغییرات تعداد سفر دارد.

-در بررسی تأثیر خودروهای خودران بر اهداف سفر نتایج نشان داد که حضورخودروهای خودران بیشترین تأثیر را بر روی سفر با اهداف خرید و تفریح دارند.

-بررسی نفوذ خودروهای خودران و تأثیر آن بر تغییرات سفر نشان داد که تغییرات سفر در حضور ۱۰۰ درصدی خودروهای خودران حدود یک درصد برآورد شده است؛ علت این امر می‌تواند این باشد که سال داده های مطالعه ۲۰۰۷ بوده و مدل حساسیت زیادی به تغییرات اعمال‌شده در صورت نفوذ خودروهای خودران نداشته است؛ اما تغییرات سفر با خودرو افزایش قابل‌توجهی داشته است. علت این امر می‌تواند این باشد که تمایل مردم به استفاده از خودرو بیشتر شده و سهم سایر شیوه‌های سفر به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد.

-متغیرهای زمان سفر، فعالیت‌های افراد شاغل، گروه سنی زیر ۱۸ سال و بازنشسته در بررسی نتایج ساخت مدل سریع پاسخ از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر تغییرات تعداد سفر در مدل بودند.

٦- مراجع

-ActivitySim Github (2021). Available: https://github.com/ActivitySim/activitysim/blob/main/activitysim/examples/prototype_mtc/notebooks/change_in_auto_ownership.ipynb/, visited on December.

-Afandizadeh Zargari, S., Bigdeli Rad, H., & Shaker, H. (2019). Using optimization and metaheuristic method to reduce the bus headway (Case study: Qazvin Bus Routes). *Quarterly Journal of Transportation Engineering,* 10(4), 833-849.

-Afandizadeh, S., & Rad, H. B. (2021). Developing a model to determine the number of vehicles lane changing on freeways by Brownian motion method. *Nonlinear Engineering,* 10(1), 450-460.

-Andrea, S., Marco, R., Terry, A., Francesca, C., Jessica, C., Debora, G., & Stefano, T. (2008). Global sensitivity analysis: the primer. Ist ed., John Wiley & Sons, The Atrium, Southern Gate, *Chi Chester,* England.

-Fagnant, D. J., & Kockelman, K. M. (2014). The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies,* 40, 1-13.

-Gantsho, L. (2022). God does not play dice but self-driving cars should. *AI and Ethics,* 2(1), 177-184.

-Harb, M., Xiao, Y., Circella, G., Mokhtarian, P. L., & Walker, J. L. (2018). Projecting travelers into a world of self-driving vehicles: estimating travel behavior implications via a naturalistic experiment. *Transportation,* 45(6), 1671-1685.

-Harper, C., Mangones, S., Hendrickson, C., & Samaras, C. (2015). Bounding the potential increases in vehicles miles traveled for the non-driving and elderly populations and people with travel-restrictive medical conditions in an automated vehicle environment, No. 15-1609.

-Kovacs, F. S., McLeod, S., & Curtis, C. (2020). Aged mobility in the era of transportation disruption: Will autonomous vehicles address impediments to the mobility of ageing populations? *Travel Behaviour and Society,* 20, 122-132.

-Litman, T. (2017). Autonomous vehicle implementation predictions, 28. Victoria, BC, Canada, *Victoria Transport Policy Institute.*

-Maleki, M., Chan, Y., & Arani, M. (2021). Impact of autonomous vehicle technology on long distance travel behavior. *arXiv preprint arXiv,*2101.06097.

-Meyer, J., Becker, H., Bösch, P. M., & Axhausen, K. W. (2017). Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities. *Research in Transportation Economics,* 62, 80-91.

-Othman, K. (2022). Exploring the implications of autonomous vehicles: A comprehensive review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(2), 1-32.

-Schoettle, B., & Sivak, M. (2014). A survey of public opinion about autonomous and self-driving vehicles in the US, the UK, and Australia. University of Michigan, Ann Arbor, *Transportation Research Institute.*

-Soh, E., & Martens, K. (2022). Value dimensions of autonomous vehicle implementation through the Ethical Delphi. *Cities,* 103741.

-Sonnleitner, J., Friedrich, M., & Richter, E. (2022). Impacts of highly automated vehicles on travel demand: Macroscopic modeling methods and some results. *Transportation,* 49(3), 927-950.

-Taiebat, M., Stolper, S., & Xu, M. (2019). Forecasting the impact of connected and automated vehicles on energy use: a microeconomic study of induced travel and energy rebound. *Applied Energy,* 247, 297-308.

-Trommer, S., Kolarova, V., Fraedrich, E., Kröger, L., Kickhöfer, B., Kuhnimhof, T., & Phleps, P. (2016). Autonomous driving-the impact of vehicle automation on mobility behavior.

-Truong, L. T., De Gruyter, C., Currie, G., & Delbosc, A. (2017). Estimating the trip generation impacts of autonomous vehicles on car travel in Victoria, Australia. *Transportation,* 44(6), 1279-1292.

-X. kdnuggets. Available (2021): https://www.kdnuggets.com/2022/08/tuning-xgboost-hyperparameters.html, visited on December 2021.

-XGBoost medium. Available, (2021). https://medium.com/broadhorizon-cmotions/hyperparameter-tuning-for-hyperaccurate-xgboost-model-d6e6b8650a11, visited on December.

-Zhang, W., Guhathakurta, S., & Khalil, E. B. (2018). The impact of private autonomous vehicles on vehicle ownership and unoccupied VMT generation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies,* 90, 156-165.

Determining the Impact of Self-Driving Cars on Changes in the Number of Trips with Activity Sim Software

Shahriar Afandizadeh, Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Tannaz Alayi Tabar, M.Sc., Student, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology Tehran, Iran.

Hamid Bigdeli Rad, Ph.D., Student, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology Tehran, Iran.

E-mail: zargari@iust.ac.ir

Received: June 2023- Accepted: February 2024

ABSTRACT

The Purpose of This Research Is to Investigate the Impact of Self-Driving Cars on Changes in Travel. To Do the Work, First, The Data Related to Persons, Households, Land Use, And Skim Matrices Between the Studied Areas of Washington DC Were Entered into Activity Sim Software. The Information Obtained from The Models Without the Presence of Self-Driving Cars Was Examined, Then the Way the Self-Driving Car Traveled Was Added to The Software, And the Information Resulting from the Effects of These Cars on the Changes in Trips, Which Is Derived from The Changes in the Variables of The Specific Age Group, The Travel Time in the Accessibility, Choosing More Distant Destinations for Non-Mandatory Tours and The Frequency of Non-Mandatory Tours, In Considered. The Results in the One-Dimensional Analysis of the Variables Show That Among the Selected Variables, The Variable of Non- Mandatory Activities of People in the Frequency Model of Non- Mandatory Tours With 11.7% And the Variable of Travel Time in Accessibility Model With 5.5% Have the Greatest Effect on The Changes in The Number of Trips. Also, the Presence of Self–Driving Cars Has the Greatest Impact on Shopping and Leisure Trips. Another Goal of This Research is to build a Quick Response Model. After Examining the Interactive Effect of the Variables, It Was Found That the Travel Time Variables and the Activities of the Working People, The Age Group Under 18 Years, And the Retired Are the Most Important Variables Influencing the Changes in the Number of Trips.

Keywords: Autonomous Vehicles, Number of Trips, Activity Based Model, Activity Sim