ساخت و پرداخت مدل انحراف تقاضا در خطوط ویژه وسایل نقلیه پرسرنشین به تفکیک ویژگیهای کاربران

امیررضا ممدوحی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
علی برزگرملایوسفی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
Email: armamdoohi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۲۱ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۲۵

چکیده

خطوط پرسرنشین، خطوط مخصوص ون، اتوبوسها و وسایل نقلیه پرسرنشین با کاهش زمان سفر کاربران، آنها را تشویق به هم‌پیمایی کرده و باعث افزایش تعداد کاربران بزرگراه می‌شوند. هم‌پیمایی، باعث کاهش تعداد وسایل نقلیه تک‌سرنشین و افزایش ظرفیت حمل مسافر در معابر می شود. احداث این خطوط با توجه به هزینه زیاد آنها نیازمند مطالعه و بررسی است. در این مقاله با استفاده از اطلاعات حاصل از پرسشگری به روش ترجیحات بیان شده و پرداخت مدلهایی با ساختار لوجیت، میزان انحراف تقاضای وسایل نقلیه شخصی به وسایل نقلیه پرسرنشین، در اثر کاهش زمان سفر برآورد می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان کاهش زمان سفر نسبت به زمان سفر اولیه، سهم افرادی که تمایل به هم‌پیمایی دارند افزایش می‌یابد. همچنین با معرفی ۳ حالت و با ساخت و پرداخت مدلهای انحراف تقاضا مشخص شد که در خوش‌بینانه‌ترین حالت و در صورتی که سیاستگذاری در رابطه با احداث خطوط پرسرنشین و ترغیب مسافران به هم‌پیمایی به‌صورت دقیق و کارآمد صورت پذیرد، حدود ٤٣ درصد از سفرهای کاری می‌توانند به این سیستم سوق یابند که در نتیجه باعث بهبود عملکرد سیستم حمل و نقل و افزایش ظرفیت معابر خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: خطوط پرسرنشین، انحراف تقاضا، مدیریت سیستم، هم‌پیمایی، کاهش زمان.

۱. مقدمه

امروزه با ازدیاد روزافزون جمعیت از یک سو و افزایش تولید و واردات خودرو از سوی دیگر، شاهد رشد سریع تعداد خودروهای سواری شخصی در کشور هستیم. این امر باعث شده که تقاضای سفر افزایش یافته و استفاده‌کنندگان بیشتری خواستار افزایش قابلیت حرکت، ایمنی و راحتی باشند. محدودیت در گسترش شبکه معابر شهری به‌دلیل نیاز به سرمایه‌گذاری کلان و نیز کمبود فضای کافی برای احداث معابر، باعث شده که ازدحام در شبکه آزادراهی افزایش یابد. در خصوص رفع معضل تراکم معابر تاکنون راهکارهای متفاوتی بکار گرفته شده است که در اکثر مواقع یکی از روشهای مدیریت تقاضا[1] یا مدیریت سیستم حمل‌ونقل[2] مورد استفاده قرار گرفته است.

مدیریت سیستم حمل و نقل عمدتا شامل فراهم آوردن امکان استفاده بهتر و مناسب‌تر از تسهیلات موجود است. یکی از انواع مدیریت سیستم حمل ونقل، خطوط پرسرنشین هستند. این خطوط، که به آنها خطوط هم‌پیما، خطوط اشتراکی[3] و الماسی[4] نیز می‌گویند، به‌طور خاص برای استفاده اتوبوس و وسایل نقلیه پرسرنشین احداث می‌شوند. هدف از احداث این خطوط ایجاد سفری سریع با قابلیت اطمینان بالا برای استفاده کنندگان است که در حال حاضر در معابری با شرایط مناسب می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند .این شرایط عبارتند از [Appiah, 2004]:

۱. شلوغی در مسیر وجود داشته باشد.

۲. شهر، در حال توسعه و جمعیت، در حال رشد باشد، به‌گونه‌ای که اطمینان داشته باشیم حجم ترافیک در آینده افزایش پیدا خواهد کرد.

۳. برنامه‌های هم‌پیمایی در مسیر وجود داشته باشد.

هدف اصلی خطوط پرسرنشین، بیشینه کردن تعداد افرادی است که از ظرفیت بزرگراه استفاده می‌کنند. به‌عبارت دیگر، هدف افزایش شمار استفاده‌کنندگان از بزرگراه‌ها با تعداد اتومبیل کمتر است. سایر اهداف این خطوط در جدول ۱ نشان داده شده است. [Farokhi, 2010]

این خطوط برای اولین بار در بزرگراه شرلی[5] واشنگتن در سال ۱۹۶۹ و خلاف جهت آن در سال ۱۹۷۰ افتتاح شدند. علت اصلی احداث این خطوط در آن زمان، بحران انرژی در آمریکا و نیاز به صرفه‌جویی زیاد در این زمینه بود، رشد اصلی این خطوط از اوایل دهه۸۰ تا اواسط دهه ۹۰ شکل گرفت. از اوایل قرن ۲۱ در اروپا نیز این خطوط رونق گرفتند، انگلستان پیشرو کشورهای اروپایی در احداث بود و در سال ۲۰۰۰ در مسیر ۱۲ کیلومتری لیدز[6] تا بردفورد[7] اولین خط پرسرنشین اروپا افتتاح شد. کشورهای اسکاندیناوی مخصوصا نروژ و سوئد نیز طرحهای فراوانی برای این خطوط داشتند که از آن جمله می‌توان به خط اسلو که در سال ۲۰۰۱ افتتاح شد اشاره کرد.[TCRP, 2009] افزایش پیوسته استفاده از وسایل نقلیه شخصی منجر به افزایش تراکم در معابر شهری و افزایش تعداد خودروها نسبت به جمعیت باعث افزایش تعداد خودروهای تک سرنشین در معابر شده است. در سال ۱۹۹۰ تقریبا ۹۰ درصد سفرهای کاری و ۵۸ درصد سایر سفرها در ایالات متحده به صورت تک سرنشین انجام می‌شد

جدول ۱ اهداف احداث خطوط پرسرنشین

اهداف اولیه	اهداف ثانویه
بهبود بازدهی سیستم حمل‌ونقل	۱. کاهش تراکم ۲. افزایش اطمینان از طول زمان سفر ۳. بیشینه کردن ظرفیت حمل مسافر
مهیای گزینه‌های بیشتر برای کاربران	۱. احداث یک خط جدید در مجاورت خطوط قبلی
توسعه سیستم حمل و نقل پایدار	۱. کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ۲. حداکثر استفاده از زیرساخت‌ها

[Schrank and Lomax, 2005].

آمار سال ۱۹۹۷ نشان می‌دهد که نرخ میانگین سرنشین وسایل نقلیه در سفرهای روزانه برای ۱۵ کشور عضو اتحادیه اروپا در حدود ۱/۱ تا ۱/۲ نفر به ازای هر وسیله نقلیه است .[Burris, 2010]

هم‌پیمایی، به عنوان یکی از روشهای مدیریت تقاضای سفر باعث کاهش تعداد سفرهای تک سرنشین می‌شود. این روش تا کنون به دو صورت خانوادگی و غیرخانوادگی انجام گرفته است. حالت غیر خانوادگی بیشتر در مراکز تجاری و کاری بکار گرفته شده و طیف خاصی از افراد همکار یا هم مسیر را شامل می‌شود. گزینه دیگر هم‌پیمایی، درون- خانواده‌ای بود که امروزه ثابت شده روش ناکارآمدی در کاهش سفرهای کاری است .[Correia and Viegas, 2011]

بررسیهای گسترده‌ای در مورد خطوط پرسرنشین، تقاضا و تاثیرات آنها انجام شده است. هنشر و رز با استفاده از داده‌های یک سری پرسشنامه به روش ترجیحات بیان‌شده یک مدل انتخاب وسیله نقلیه برای سفرهای روزانه و غیر روزانه در حضور خطوط پرسرنشین را طراحی کردند [Hensher and Rose, 2007]. یان و چن یک مدل و یک الگوریتم حل برای مسئله هم‌پیمایی با استفاده از اطلاعات پیش‌تطبیقی[۸] ارایه کردند [Yan and Chen, 2011]. داگانزو و کسیدی تاثیرات خطوط پرسرنشین بر خطوط مجاور و گلوگاه‌های آزادراه را مورد بررسی قرار دادند [Daganzo and Cassidy, 2008] .

لی و همکاران عوامل موثر بر انتخاب مد هم‌پیمایی را با یک مدل انتخاب وسیله چند جمله‌ای شامل مجموعه انتخاب سفر انفرادی، هم‌پیمایی از خطوط پرسرنشین و حمل و نقل همگانی شناسایی کردند. آنها نشان دادند که متغیر دسترسی کاربران به خطوط پرسرنشین مهم ترین عامل و متغیر لذت بردن افراد از سفر با دیگران، صرفه‌جویی زمانی وکاهش هزینه (ریالی) سایر عوامل مهم در گرایش افراد به هم‌پیمایی است.[Li, et al, 2007] پلاتز و همکاران، تاثیر احداث خطوط پرسرنشین بر میزان کاهش سفرها را مورد بررسی قرار دادند، آنان با تشکیل دو سناریو حد بالا و پایین تاثیر خطوط پرسرنشین بر میزان کاهش سفرها را تعیین کردند، نتیجه این بود که احداث خطوط پرسرنشین در بیشترین حالت ۳۷ درصد و در کمترین حالت ۱ درصد سفرها را می‌تواند کاهش دهد [Plotz et al, 2010].

با توجه به ماهیت احتمالی تقاضا (به خاطر نشات گرفتن از تمایلات انسانی) برای برآورد آن عمدتا از مدلهای مطلوبیت تصادفی استفاده شده است [McFadden and Train, 1977]. مرور ادبیات نشان می‌دهد که در اکثر پژوهشهای مربوط به تقاضای خطوط پرسرنشین، با توجه به وجود چنین تسهیلاتی، پرسشگری به روش ترجیحات آشکارشده انجام شده است.

با توجه به هزینه زیاد احداث خطوط پرسرنشین، هدف از این پژوهش این است که با استفاده از توابع انحراف تقاضای سفر، مدلی برای برآورد میزان تقاضای انتقال یافته به این خطوط ارایه شود تا بر اساس آن بتوان نسبت به احداث یا عدم احداث آن تصمیم‌گیری دقیق‌تری انجام شود. با توجه به نبود چنین تسهیلاتی در کشور نیاز به پرسشگری به روش ترجیحات بیان شده است.

در ادامه مقاله و در بخش روش‌شناسی توابع انحراف تقاضا معرفی می‌شوند، در بخش فرآیند پرسشگری، نتایج تحلیل اولیه داده‌های حاصل از پرسشگری نشان داده شده و در بخشهای بعدی مدلهای انحراف تقاضا به وسایل نقلیه پرسرنشین به تفکیک در ۳ حالت پرداخت می‌شوند. در انتها نیز نتایج حاصل تفسیر شده و پیشنهادهایی برای تحقیقات بعدی ارایه می‌شود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

تحلیل و برآورد تقاضای سفر عمدتا در قالب فرآیند چهار مرحله‌ای شامل مدلهای تولید و جذب سفر، توزیع سفر، انتخاب وسیله نقلیه و تخصیص سفر انجام می‌شود. تعیین سهم انواع وسایل نقلیه در برآورد تقاضای حمل‌ونقل، در مرحله تفکیک سفر صورت می‌گیرد. مدلهای تفکیک سفر به‌منظور تعیین سهم هر یک از وسایل نقلیه بر اساس شرایط اقتصادی- اجتماعی، نوع خدمات ارایه شده و عوامل موثر دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. [Ortuzar and Willumsen, 2011]

از آنجا که هیچ‌گونه تسهیلات مشابه خطوط پرسرنشین در کلان‌شهر تهران وجود ندارد، عملا ساخت و پرداخت مدل‌های برآورد تقاضا به‌صورت مستقیم و از طریق مدلهای لوجیت کلاسیک امکان‌پذیر نیست. راهکار پیشنهادی در این موارد معرفی یک مدل است که نشانگر انحراف تقاضای وسایل نقلیه تک‌سرنشین به وسایل نقلیه پرسرنشین باشد. پرداخت مدل نیاز به داده‌های تمایلات کاربران در مواجهه با یک گزینه جدید حمل و نقل دارد که با استفاده از پرسشگری به روش ترجیحات بیان شده امکان‌پذیر است.

برای برآورد ساختار مدل نیاز بود که توزیع آماری داده‌هایی که نشان دهنده میزان انحراف تقاضا هستند مشخص شود. با اجرای آزمون کولموگروف- اسمیرنف که در جدول ۲ نشان داده شده است مشخص شد که داده‌های به دست آمده از افرادی که تمایل به هم‌پیمایی دارند دارای توزیع نرمال است و مدلی ریاضی برای برآورد این تمایلات پیشنهاد شد. در مدل پیشنهادی، درصد تقاضای انتقال یافته به‌سمت هم‌پیمایی با ساختار تابع (رابطه ۱) تعیین می‌شود [شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، ۱۳۸۲].

$$f(\alpha)_k = \varphi \times \frac{1-e^{\frac{-a\times\alpha}{1-\alpha}}}{1+b\times e^{\frac{-a\times\alpha}{1-\alpha}}} \quad (۱)$$

که در آن:

$f(\alpha)_k$= درصد انحراف نسبی تقاضا از وسیله نقلیه شخصی به هم‌پیمایی به تفکیک هدف سفر.

k= شمارنده هدف سفر است که شامل هدف سفر کاری (۱) و تحصیلی (۲) است.

α= نسبت کاهش زمان سفر مبدا- مقصد افراد مورد نظر توسط هم‌پیمایی از خط پرسرنشین نسبت به وضع موجود که مقدار آن در گستره [۱,۰] است.

مقدار α به‌صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$\alpha = (t^{initial} - t^{carpooling}) / t^{initial} \quad (۲)$$

a, b, φ = پارامترهای مدل هستند.

برای پرداخت مدلهای غیرخطی غالبا از روش درستنمایی بیشینه استفاده می‌شود، اما از آنجا که مدل معرفی شده در این پژوهش یک مدل لجستیک همفزون است، می‌توان فرآیند پرداخت مدل را بر اساس حل یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی و با هدف اصلی کمینه کردن مجموع مربعات خطاها بین مقادیر برآورد شده از مدل و مشاهدات انجام داد .[Kanafani, 1983]

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{L}[f(\alpha)_k - (\frac{n_i}{N})_k]^2 \quad (۳)$$
$$k= 1, 2$$

که در آن:

n_i= مجموع افرادی هستند که نسبت به انتخاب گزینه هم‌پیمایی با دیگران مبادرت کرده‌اند.

N= مجموع افراد مشارکت‌کننده در پرسشگری.

$f(\alpha)_k$= میزان انحراف نسبی تقاضا از وسیله نقلیه شخصی به هم‌پیمایی به تفکیک هدف سفر.

L= شمارنده تعداد نسبت کاهش زمان سفر به زمان سفر اولیه (α) است.

k= شمارنده هدف سفر بوده که به‌ترتیب شامل هدف کاری وتحصیلی است.

۳. فرآیند پرسشگری

هدف از جمع‌آوری اطلاعات بررسی وضعیت فعلی سفر و همچنین آگاهی از رفتار رانندگان در مواجهه با سیاست احداث خطوط پرسرنشین است، که در نهایت منجر به تعیین آستانه کاهش زمانی برای استفاده از خودروی شخصی خواهد شد. به طور معمول در مطالعاتی از این نوع، ۳ مجموعه مستقل از اطلاعات شامل موارد زیر جمع‌آوری می‌شود:

- اطلاعات مربوط به وضعیت فردی، اقتصادی و اجتماعی افراد.
- اطلاعات مرتبط با سفر و گونه حمل‌ونقل مورد استفاده.

جدول ۲ آزمون بررسی نرمال بودن داده‌های نشانگر انحراف تقاضا

	شاپیرو- ویلک			کولموگروف- اسمیرنف		
	اهمیت آماره	درجه آزادی	آماره	اهمیت آماره	درجه آزادی	آماره
f	۰/۰۹۳	۲۳	۰/۹۲۷	۰/۲	۲۳	۰/۱۱٤

– اطلاعات مرتبط با پاسخ افراد به سیاست‌گذاریها و تغییرات مدنظر مطالعه‌کننده.

برای جمع‌آوری اطلاعات یک پرسشنامه طراحی شد که شامل ۱۳ سوال در رابطه با مشخصات فردی رانندگان، مشخصات سفر آنها و عکس‌العمل آنها نسبت به سیاست جدید احداث خطوط پرسرنشین بود. سناریوهای کاهش زمان برابر با ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه (و بیشتر) فرض شدند. روند کلی فرآیند آمارگیری در شکل ۱ نشان داده شده است.

پس از طراحی پرسشنامه‌ها، برای تعیین نظر جامعه آماری در خصوص احتمال استفاده از خطوط پرسرنشین، بحث تعداد نمونه آماری مورد نیاز مطرح است. در علم آمار برای برآورد تعداد نمونه لازم برای جمعیت محدود از رابطه ٤ به دست می‌آید [Cochran, 1977].

$$n=\frac{\left(Nt^2\right)p(1-p)}{(n-1)d^2+t^2p(1-p)} \qquad (٤)$$

که در آن:

N: جمعیت جامعه.

p: درصد انتخاب گزینه مورد نظر.

t: آماره‌ای برای سطح اطمینان.

d: نصف فاصله اطمینان قابل قبول.

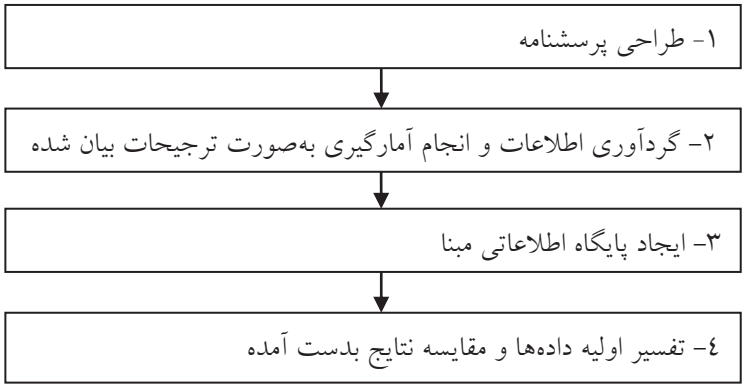
براساس برآورد مدل حمل‌ونقل و ترافیک تهران سال ۱۳۹۰، ۷۵۰ هزار وسیله نقلیه سواری شخصی در ساعت اوج صبح ترافیک در شهر در حال تردد می‌باشند. بنابراین جمعیت جامعه آماری مورد نظر ۷۵۰ هزار نفر استفاده‌کننده از وسایل نقلیه شخصی به عنوان جمعیت غالب جامعه مورد نظر خواهد بود [شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، ۱۳۹۰]. با این داده‌ها تعداد نمونه لازم برای انجام پرسشگری با سطح اطمینان ۹۰ درصد به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$n=\frac{(۷۵۰۰۰۰)\times(۱/۶۴)^۲\times(۱-۰/۵)\times(۰/۵)}{(۷۵۰۰۰۰-۱)\times(۰/۰۵)^۲+(۱/۶۴)^۲\times(۰/۵)\times(۰/۵)}=۲۶۹\approx ۲۷۰ \qquad (۵)$$

برای آمارگیری دقیق‌تر و صرفه‌جویی در وقت، از روش خودتکمیلی برای تکمیل پرسشنامه‌ها استفاده شد. آمارگیری در ۷ روز و در ٤ پمپ بنزین که صفهای طولانی داشتند، در روزهای غیر تعطیل، از ساعت ٤ تا ۸ بعد از ظهر توسط یک تیم دو نفره انجام شد.

در تعیین مکانهای منتخب برای آمارگیری سعی بر این بود که غالبا پمپهای بنزین واقع در مرکز شهر یا واقع در نزدیکی بزرگراههای شریانی که دو قسمت شهر را به هم وصل می‌کنند، انتخاب شوند که به ترتیب پمپهای بنزین واقع در خیابان شریعتی نرسیده به بزرگراه همت، کوی نصر، بزرگراه یادگار و بزرگراه نیایش مورد بررسی قرار گرفتند.

پاسخگویان، یکی از آستانه‌های کاهش زمانی مطلوب برای تغییر مد از حالت وسیله نقلیه شخصی در خطوط معمولی به حالت هم‌پیمایی از خطوط ویژه را انتخاب کردند. سوالات پرسشنامه در ۳ قسمت به تفکیک خصوصیات شهروندان، ویژگی‌های سفر و تمایلات هم‌پیمایی تدوین شد. از بین ٤۸۹ پرسشنامه تکمیل شده بعد از خروج پرسشنامه‌های معیوب، تعداد ٤۱۹ پرسشنامه کامل و معتبر شناسایی شد و به عنوان پایگاه داده مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱ روند کلی فرآیند آمارگیری در این مطالعه

٤. تحلیل اولیه داده‌ها

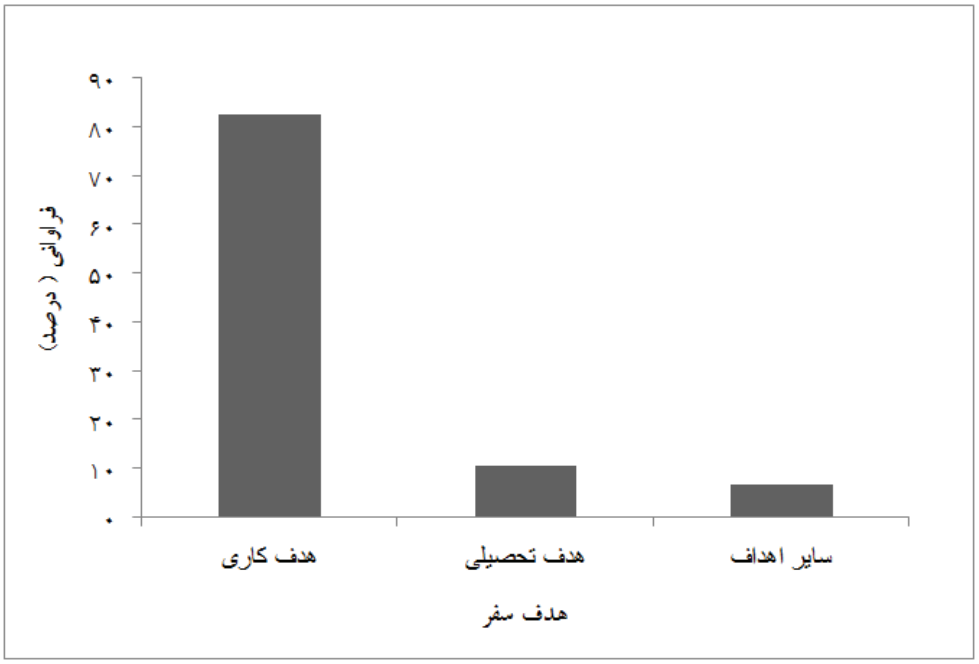
در شروع کار لازم بود که یک تحلیل اولیه از داده های به دست آمده از پرسشگری به عمل آید، جدول ۳ نتایج کلی تحلیل آمار توصیفی برخی از داده‌های پرسشنامه‌ها مربوط به خطوط پرسرنشین را نشان می‌دهد.

جنسیت (زن: ۰، مرد: ۱)، تحصیلات(دیپلم و زیر دیپلم: ۰، کارشناسی: ۱، کارشناسی ارشد و دکترا: ۲)، هدف سفر(کاری: ۱، تحصیلی: ۲) و در نهایت تعداد وسیله نقلیه و مدت زمان سفر متغیرهای کمی با مقیاس نسبتی هستند.

مهم ترین اطلاعات موجود در پرسشنامه‌ها بیان تمایل یا عدم تمایل افراد به هم‌پیمایی و تعیین آستانه زمانی مطلوب افراد برای تغییر شیوه است. سئوالات مربوط به تمایلات به هم‌پیمایی در جدول ٤ و توزیع فراوانی تمایل به هم‌پیمایی به تفکیک هدف سفر نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲ سهم تمایل کاربران به هم‌پیمایی در سفرهای کاری بیشتر از سفرهای تحصیلی و غیره است، البته این امر از قبل نیز قابل حدس بود، زیرا سفرهای کاری اغلب در ساعات اوج صبح و بعد از ظهر که تراکم معابر بالاست انجام می‌پذیرد.

جدول ۳ تحلیل آمار توصیفی داده‌های پرسشنامه تقاضای خطوط پرسرنشین

متغیر	فراوانی مطلق	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
جنسیت	٤١٩	۰	۱	۰/۷۸	۰/٤
تحصیلات	٤١٩	۰	۲	۰/٥٦	۰/٦٩
تعداد وسیله نقلیه ملکی	٤١٧	۰	٤	۱/٦٨	۰/۹
هدف سفر	٤١٩	۱	۲	۱/۱۳٤	۰/٤
مدت زمان سفر(دقیقه)	٤١٨	۸	۱۲٥	٤٥/٦٤	۲۸/۲٦



شکل ۲ توزیع فراوانی تمایل به هم‌پیمایی به تفکیک هدف سفر در نمونه آماری این مطالعه

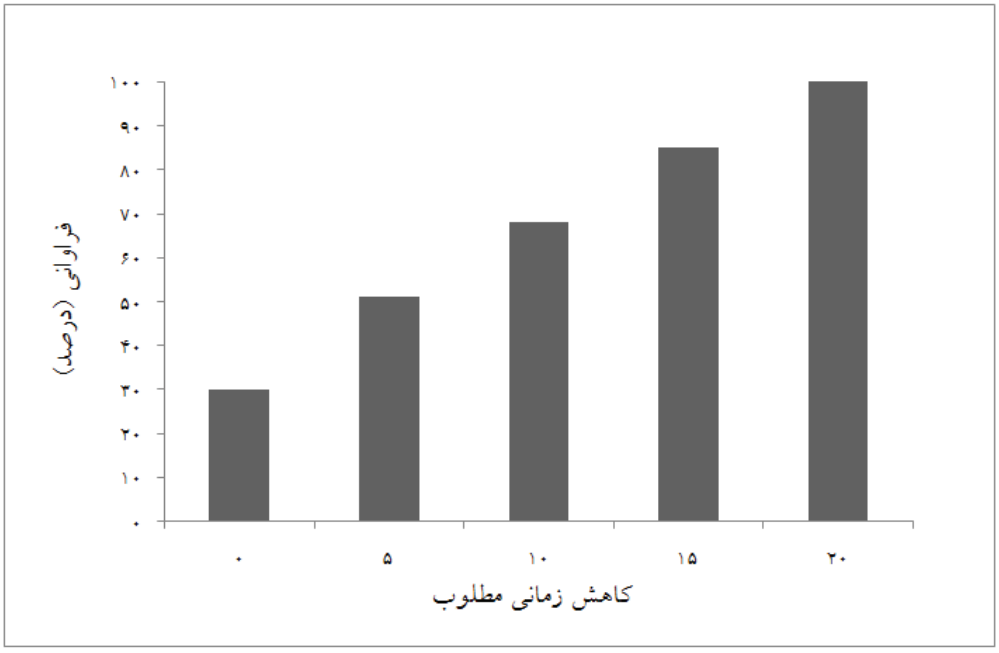
جدول ٤ پرسش‌های مربوط به تمایلات هم‌پیمایی در پرسشنامه

پرسش	گزینه‌های پاسخ
در صورت ایجاد خطوط پرسرنشین تمایل به هم‌پیمایی دارید؟	بله/کسی را برای هم‌پیمایی می‌شناسم. بله/کسی را برای هم‌پیمایی نمی‌شناسم. خیر
تمایل با هم‌پیمایی با چند نفر را دارید؟	۱ نفر ۲ نفر ۳ نفر یا بیشتر
در چند روز هفته مایل به هم‌پیمایی هستید؟	۱ روز ۲ روز ۳ روز ٤ روز ۵ روز تمام روزهای کاری
میزان کاهش زمانی مطلوب برای انتخاب هم‌پیمایی	۰ دقیقه ۵ دقیقه ۱۰ دقیقه ۱۵ دقیقه ۲۰ دقیقه و بیشتر

شکل ۳ فراوانی نسبی تجمعی افراد مایل به هم‌پیمایی برای آستانه‌های کاهش زمانی مختلف را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود فراوانی بالایی از افراد کاهش زمان سفر را در اولویت انتخاب خود قرار نداده و احتمالا عوامل دیگری مانند کاهش هزینه یا راحتی سیستم برایشان جذابیت داشته است، که هم لیپنیسکی و باریس به نوعی به آن اشاره کرده‌اند [Lipnicky and Burris, 2010] و هم کوان و وارایا در یک پژوهش مستقل به این مطلب رسیده‌اند .[Kwon and Varaiya, 2008]

۵. مدلهای انحراف تقاضا به خطوط پرسرنشین

پس از تهیه پایگاه اطلاعاتی مبنا برای مدلهای انحراف تقاضا به خطوط پرسرنشین، نوبت به پرداخت این مدلها می‌رسد. در این مطالعه فرض شده است که کاهش زمان سفر در نتیجه هم‌پیمایی از خطوط ویژه، به‌عنوان یکی از راهکارها و برنامه‌های مدیریت تقاضای سفر که منجر به عدم انتخاب سواری شخصی توسط شهروندان در سفرهای درون‌شهری است در نظر گرفته می‌شود. روند طی شده در این قسمت به اختصار در شکل ٤ نشان داده شده است.



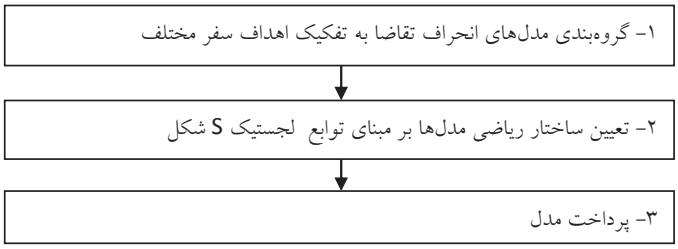
شکل ۳ توزیع فراوانی نسبی تجمعی سناریوهای آستانه کاهش زمان انتخابی در افراد مایل به هم‌پیمایی، در نمونه آماری این مطالعه

بر مبنای سوالات مربوط به تمایل به هم‌پیمایی در جدول ٤، ۳ حالت برای تعیین تابع انحراف تقاضا معرفی شد. هدف از معرفی این ۳ حالت در مرحله اول بررسی تاثیر شناخت یا عدم شناخت هم‌پیما بر میزان انحراف تقاضا از سواری به هم‌پیمایی است که نتایج حاصل از این بخش می‌تواند باعث اتخاذ سیاستهایی مانند ایجاد مراکز معرفی هم‌پیما در محیط مجازی شود. همچنین تعیین میزان منطقی انحراف تقاضا به سمت هم‌پیمایی با تکیه بر پژوهش‌های گذشته انجام گرفته در این زمینه، هدف بعدی از معرفی این حالات است.

در حالت اول که حد بالای انحراف تقاضا به سمت هم‌پیمایی را نشان می‌دهد، تمام افرادی که تمایل به هم‌پیمایی داشته و در جدول ٤ در برابر پرسش تمایل به هم‌پیمایی پاسخ بلی را انتخاب کرده‌اند، فارغ از اینکه کسی برای هم‌پیمایی می‌شناسند، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تابع انحراف در حالت دوم بر اساس پاسخ افرادی پرداخت شد که هم تمایل به هم‌پیمایی داشته و هم افراد هم‌پیما می‌شناختند. تابع انحراف حاصل از این قسمت که نسخه‌ای سختگیرانه‌تر نسبت به حالت اول بود می‌توانست حد پایین افرادی که به سمت هم‌پیمایی منحرف می‌شوند، باشد. در حالت سوم از بین افرادی که در مجموعه انتخابی حالت اول قرار داشتند، آن‌دسته‌ای که زمان سفر بالاتر از ۳۵ و کاهش زمان ۲۰ تا ٤۰ درصد را داشته‌اند برگزیده شدند. دو دلیل برای انتخاب چنین بازه‌ای قابل ذکر است که دلیل اول مشاهدات مربوط به جدول فراوانی پاسخگویان بوده و دلیل دوم این است که احداث خط پرسرنشین در صورتی موثرتر از احداث یک خط معمولی است که زمان سفر افراد بیش از ۳۵ دقیقه و سهم وسایل نقلیه پرسرنشین بیش از ۲۰ درصد باشد .[Dahlgren, 1998]

برای پرداخت هر مدل به یک حداقل تعداد مشاهده نیاز است، از آنجا که حداقل تعداد مشاهده پیشنهاد شده در کتب آماری به ازای هر پارامتر ۱۰ مشاهده است، پس حداقل به ۳۰ مشاهده برای پرداخت هر حالت نیازمندیم، چون این حداقل مقدار در سفرهای تحصیلی در حالت‌های دوم و سوم مهیا نشد، ناگزیر مدلها دراین حالتها بدون تفکیک هدف سفر پرداخت شدند.[Rawlings et al, 1998]

مقایسه مشاهدات و میزان برآورد شده توسط مدل در حالت اول و به تفکیک هدف سفر کاری در جدول ۵ نشان داده شده است. این دو مقدار در مقادیر اولیه α با هم اختلاف محسوسی دارند، ولی



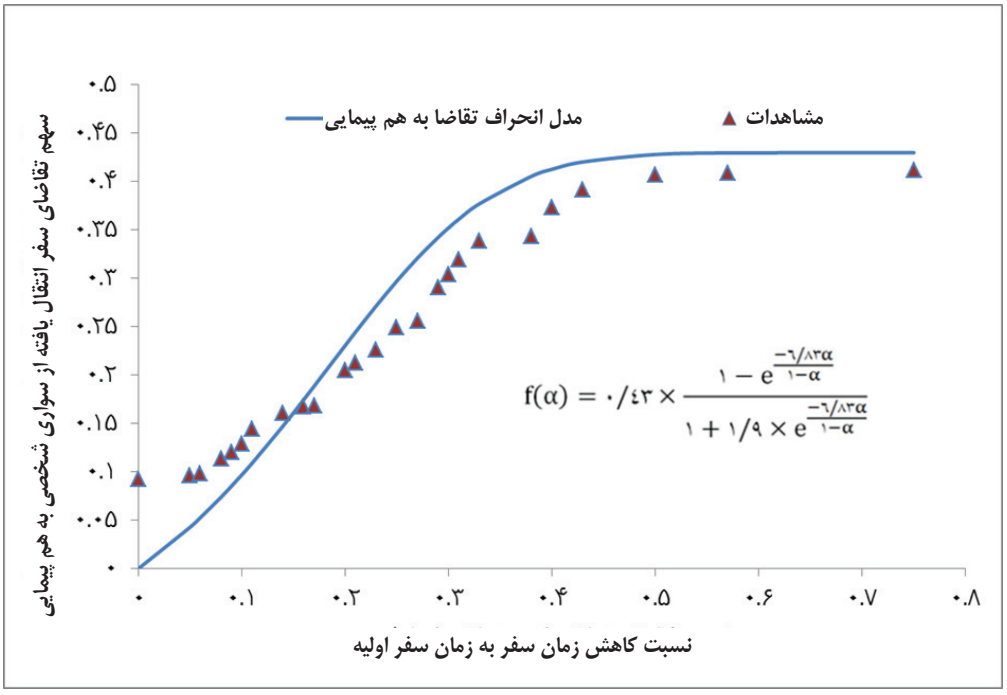
شکل ٤ روند کلی ساخت و پرداخت مدل‌های انحراف تقاضا

جدول ٥ مقایسه نتایج حاصل از مشاهدات و برآورد مدل در سفر کاری

ردیف	$\alpha = \Delta T/T$	مشاهدات $= \sum_{i=1}^{l} \frac{n_i}{N}$	مدل $= f(\alpha)$
۱	۰	۰/۰۹۳	۰
۲	۰/۰۵	۰/۰۹٦	۰/۰٤۳
۳	۰/۰٦	۰/۰۹۸	۰/۰٥۳
٤	۰/۰۸	۰/۱۱۳	۰/۰۷٤
٥	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۸٥
٦	۰/۱	۰/۱۲۸	۰/۰۹٦
۷	۰/۱۱	۰/۱٤٤	۰/۱۰۹
۸	۰/۱٤	۰/۱٦۱	۰/۱٤۷
۹	۰/۱٦	۰/۱٦۷	۰/۱۷٤
۱۰	۰/۱۷	۰/۱٦۸	۰/۱۸۸
۱۱	۰/۲	۰/۲۰٤	۰/۲۳
۱۲	۰/۲۱	۰/۲۱۲	۰/۲٤٤
۱۳	۰/۲۳	۰/۲۲٦	۰/۲۷۱
۱٤	۰/۲٥	۰/۲٤۸	۰/۲۹۷
۱٥	۰/۲۷	۰/۲٥٦	۰/۳۲۱
۱٦	۰/۲۹	۰/۲۹۱	۰/۳٤۲
۱۷	۰/۳	۰/۳۰٤	۰/۳٥۲
۱۸	۰/۳۱	۰/۳۱۹	۰/۳٦۱
۱۹	۰/۳۳	۰/۳۳۸	۰/۳۷۷
۲۰	۰/۳۸	۰/۳٤۳	۰/٤۰٥
۲۱	۰/٤	۰/۳۷۳	۰/٤۱۲
۲۲	۰/٤۳	۰/۳۹۱	۰/٤۲
۲۳	۰/٥	۰/٤۰٦	۰/٤۲۸
۲٤	۰/٥۷	۰/٤۰۹	۰/٤۲۹
۲٥	۰/۷٥	۰/٤۱۱	۰/٤۳

جدول ٦ پارامترهای حاصل از پرداخت مدل به تفکیک هدف سفر کاری در حالت اول

	a	b	φ
مقادیر برآورد شده در هدف سفر کاری	٦/٨٣	١/٩	٠/٤٣
خطای استاندارد	٠/٤٩٤	٠/٧٦	٠/٠١٩
معنی داری ضرایب (t)	١٣/٨٢	٢/٥	٢٢/٦
ضریب خوبی برازش R^2		٠/٩٤١	
ضریب خوبی برازش تعدیل شده R^2_{adj}		٠/٩٤٤	
معنی داری مدل (F)		٣٧٢	
مجذور مربعات خطا (MSE)		٠/٠٠١٨١	



شکل ٥ مدل انحراف تقاضا ازسواری شخصی به هم‌پیمایی برای هدف سفر کاری

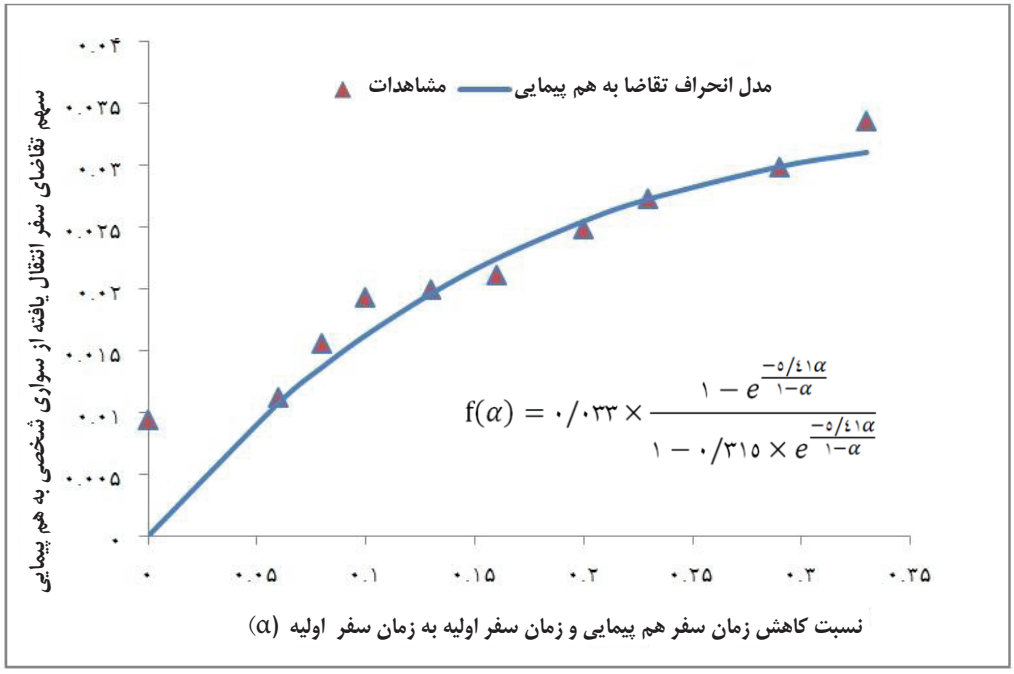
با افزایش α این اختلاف کمتر شده و در نهایت در مدل برآورد شده برای سفرهای کاری کل میزان هم‌پیمایی مشاهده شده در بیشترین مقدار افت زمان سفر ٤١/١ درصد است که مدل آن را ٤٣ درصد برآورد کرده است. مشکلی که در رابطه با تخمین مدل ضریب تعیین و مشاهدات وجود دارد، این است که مدل از آنجا که به زمان سفر حساس است میزان هم‌پیمایی برای کاهش زمان سفر را صفر درصد برآورد می‌کند، در حالی‌که مشاهدات آن را ٩/٣ درصد تعیین کرده است. پس مشخصا عوامل دیگری نیز بجز زمان سفر در تمایل مردم به استفاده از هم‌پیمایی موثر است که این مدل آنها را در نظر نگرفته است. همین مطلب در برآورد سفرهای تحصیلی نیز مشاهده می‌شود.

پارامترهای به دست آمده از پرداخت مدل در حالت اول و به تفکیک هدف سفر کاری در جدول ٦ نشان داده شده است. بر مبنای مقادیر به دست آمده نمودار تابع انحراف در شکل ٥ ترسیم شده است.

پارامترهای بدست آمده از پرداخت مدل در حالت اول و به

جدول ۱. اولویت‌بندی قطعات حادثه‌خیز با استفاده از روش(AP) و مقادیر خروجی و ورودی

	a	b	φ
مقادیر برآورد شده در هدف سفر تحصیلی	۵/٤۱	-۰/۳۱۵	۰/۰۳۳
خطای استاندارد	۰/٤۱۲	۰/۱۵۷	۰/۰۰۳۷
معنی داری ضرایب (t)	۱۳/۱۳	-۲	۸/۹۱
ضریب خوبی برازش R^2		۰/۸۱۷	
ضریب خوبی برازش تعدیل شده R^2_{adj}		۰/۸۳۳	
معنی داری مدل (F)		۳۵/۹۰	
مجذور مربعات خطا (MSE)		۰/۰۰۰۱۰٦	



شکل ٦ مدل انحراف تقاضا ازسواری شخصی به هم‌پیمایی برای هدف سفر تحصیلی

تفکیک هدف سفر تحصیلی در جدول ۷ نشان داده شده است. نمودار تابع انحراف نیز در شکل ٦ ترسیم شده است.

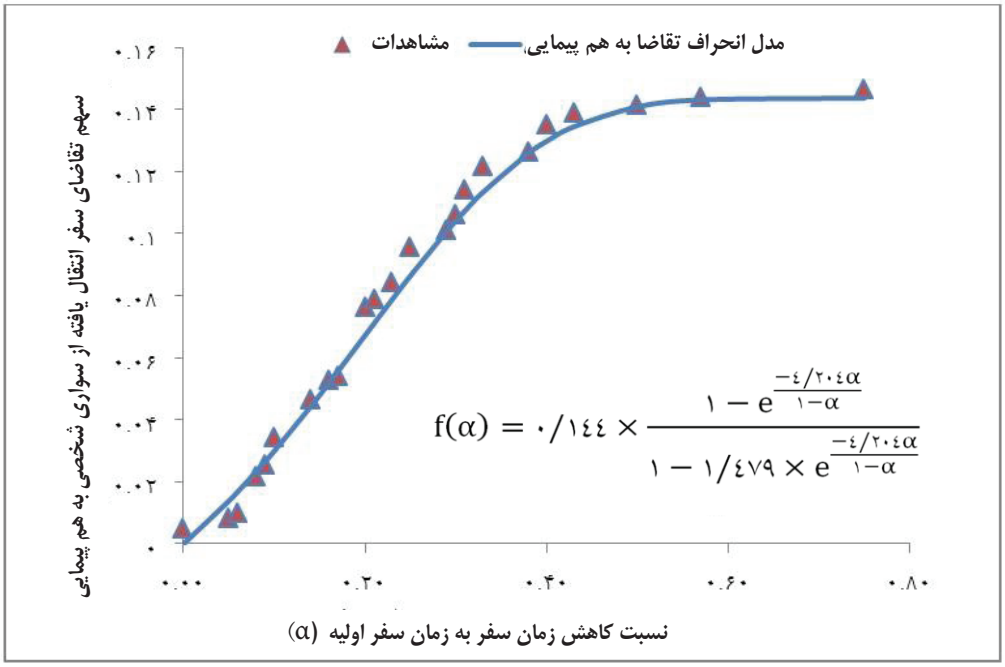
مدل در حالت دوم فقط بر اساس پاسخ افرادی پرداخت شد که هم تمایل به هم‌پیمایی داشته و هم افراد لازم برای هم‌پیمایی می‌شناختند، پارامترهای به دست آمده از پرداخت مدل در جدول ۸ نشان داده شده است. نمودار تابع انحراف نیز در شکل ۷ ترسیم شده است.

حالت سوم با یک دید منطقی به موضوع نگریسته و از پژوهشهای گذشته برای پالایش داده‌ها استفاده کرده است. دراین حالت از بین افراد حالت اول، آن تعدادی که زمان سفر بالاتر از ۳۵ دقیقه و کاهش زمان ۲۰ تا ٤۰ درصد را داشته‌اند برگزیده شدند. از آنجا که در این حالت افت زمان صفر(α=۰) در دست نیست، مدل پیشنهادی نمی‌تواند بخوبی داده‌های این حالت را برازش کند بنابراین یک مدل لجستیک جایگزین با ساختار نشان داده شده در رابطه ۵ برای برازش داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت .[Homser and Lemeshow, 2000] اطلاعات مربوط به پرداخت این مدل در جدول ۹ نشان داده شده و مدل انحراف تقاضا نیز در شکل ۸ ترسیم شده است.

$$y = e^{(b_0 + (\frac{b_1}{t}))} \quad (۵)$$

جدول ۸ پارامترهای حاصل از پرداخت مدل در حالت دوم

	a	b	φ
مقادیر برآورد شده	٤/٢٠٤	-١/٤٧٩	٠/١٤٤
خطای استاندارد	٠/٣٨٩	٠/٤١٨	٠/٠٠٢
معنی داری ضرایب (t)	١٠/٨	-٣/٥٣	٧٢
ضریب خوبی برازش R^2		٠/٩٩٥٣	
ضریب خوبی برازش تعدیل شده R^2_{adj}		٠/٩٩٥٥	
معنی داری مدل (F)		٢١٣٤/٣٠	
مجذور مربعات خطا (MSE)		٠/٠٠٢٣٤	



شکل ۷: مدل انحراف تقاضا ازسواری شخصی به هم‌پیمایی برای حالت دوم

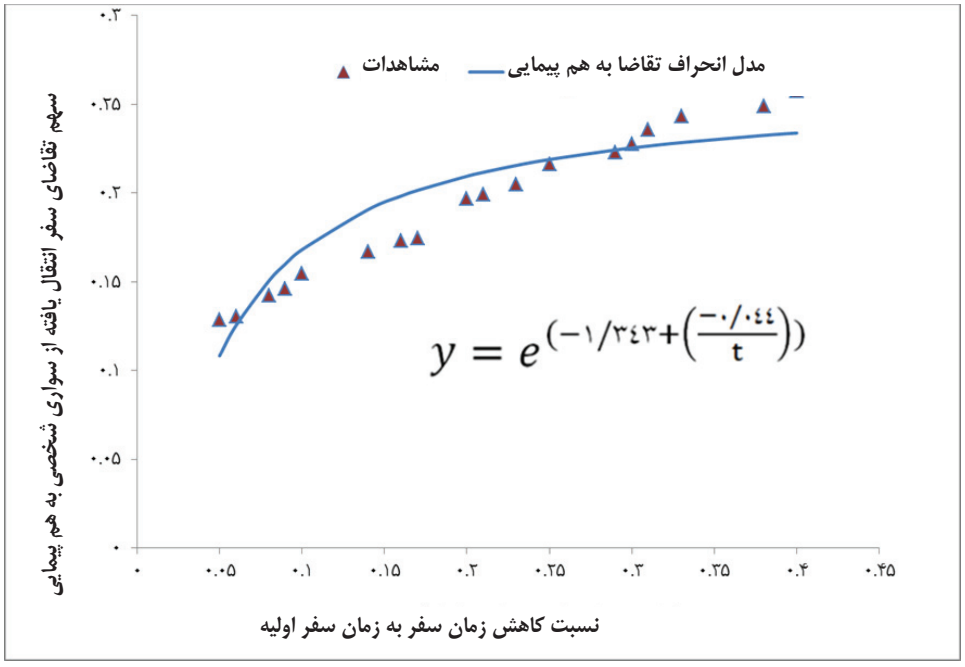
در جدول ۱۰ که خلاصه‌ای از نتایج ۳ حالت است، بعد از معرفی اجمالی حالتها درصد انحراف تقاضای هر حالت در بیشترین مقدار کاهش زمان سفر نسبت به زمان سفر اولیه (α) نشان داده شده است.

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به مشکل تراکم معابر و زمان سفر طولانی و غیر قابل اعتماد، احداث خطوط پرسرنشین، می‌تواند تاثیر بسزایی در کاهش تراکم و زمان سفر داشته باشد. این مقاله به بررسی تاثیر احداث خطوط پرسرنشین بر تغییر میزان تمایل کاربران به هم‌پیمایی در محدوده شهر تهران، با استفاده از پرسشگری به روش ترجیحات بیان شده و در قالب یک مدل ریاضی پرداخته است. نتایج مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که با افزایش میزان کاهش زمان سفر نسبت به زمان سفر اولیه درصد افرادی که تمایل به هم‌پیمایی دارند افزایش می یابد. برای تعیین درصد تقاضای انتقال یافته به هم‌پیمایی ۳ حالت معرفی شد و با ساخت و پرداخت مدلهای انحراف تقاضا مربوط به این حالات مشخص شد که در بیشترین و کمترین حالات به ترتیب ٤٣ و ١٤ درصد از سفرهای کاری

جدول ۹ پارامترهای حاصل از پرداخت مدل در حالت سوم

	b_0	b_1
مقادیر برآورد شده	−۱/۳٤۳	−۰/۰٤٤
خطای استاندارد	۰/۰۳۳	۰/۰۰٤
معنی داری ضرایب (t)	−٤۰/۹	−۱۰/۸
ضریب خوبی برازش R^2	۰/۸٦	
ضریب خوبی برازش تعدیل شده R^2_{adj}	۰/۸۵۲	
معنی داری مدل (F)	۱۱٦/۲۵	
مجذور مربعات خطا (MSE)	۰/۰۰۰٤۹	



شکل ۸. مدل انحراف تقاضا ازسواری شخصی به هم‌پیمایی برای حالت سوم

می‌توانند به‌سمت این سیستم منحرف شوند که این نیز خود باعث بهبود عملکرد سیستم و افزایش ظرفیت معابر خواهد شد .دلیل تفاوت بین مقادیر برآورد شده توسط مدل و مشاهدات در کاهش زمان صفر این است که مدل انحراف تقاضا به تغییر زمان نسبی سفر حساس بوده و سایر عوامل موثر بر هم‌پیمایی از قبیل هزینه و راحتی سیستم را در نظر نمی‌گیرد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در مطالعه‌ای دیگر عواملی چون هزینه (ریالی) و دسترسی نیز مورد مطالعه قرار گرفته و نتیجه مقایسه شود.

همچنین پیشنهاد می‌شود که با تغییر روش مدل‌سازی به مدل‌های انتخاب گسسته مانند لوجیت سهم هر یک از خطوط معمولی و پرسرنشین را با معرفی متغیرهای مختلف برآورد کرد.

۷. سپاسگزاری

از شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران که داده‌های لازم را دراختیار پژوهشگران قرار دادند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

جدول ۱۰ نتایج حاصل از توابع انحراف هر یک از حالتها

	نمونه *مورد مطالعه*	میزان انحراف از سواری شخصی به هم‌پیمایی در بیشترین افت زمان سفر
حالت اول	افرادی که تمایل به هم‌پیمایی داشته و کسی را برای هم‌پیمایی بشناسند و نیز افرادی‌که تمایل به هم‌پیمایی داشته ولی کسی را برای هم‌پیمایی نمی‌شناسند.	٤٣ درصد
حالت دوم	افرادی که تمایل به هم‌پیمایی داشته و کسی را برای هم‌پیمایی بشناسند.	١٤ درصد
حالت سوم	از بین افراد حالت اول آن‌دسته‌ای که زمان سفر بالاتر از ۳۵ دقیقه و کاهش زمان ۲۰ تا ٤٠ درصد را داشته‌اند.	۲۳ درصد

۸. پی نوشتها:

1- Travel Demand Management (TDM)
2- Transportation System Management (TSM)
3- Carpool Lane
4- Diamond Lane
5- Shirley
6- Leeds
7- Bradford
8- Pre-matching

۹. مراجع

– شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران (۱۳۸۲) "مدل‌های انحراف تقاضای سفر از وسایل نقلیه موجود به مترو" ، گزارش شماره٦٥٩–۲۳.

– شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران (۱۳۹۰) "مطالعات اجرایی احداث و استفاده از خطوط با اولویت‌دهی به وسایل نقلیه ویژه"، گزارش شماره٥٨٠–۲.

- Appiah, J. (2004) "An examination of factors affecting high occupancy/toll lane demand ", M.S Thesis, Texas A & M University, pp. 12-13.

- Burris, M. (2010) "Managed lane choices by carpools comprised of family members compared to non-family members ", Transportation Research Board Annual Meeting. No. 2099, November, pp. 1114-1138.

- Cochran, W. (1977) "Sampling techniques", 3rd edition. New York: John Wiley & Sons.

- Correia, G. and Viegas, J. (2011) "Carpooling and carpool clubs: Clarifying concepts and assessing value enhancement possibilities through a stated preference web survey in Lisbon, Portugal ", Transportation Research Part A, Vol. 45, November, pp. 81–90.

- Daganzo, C. and Cassidy, M. (2008)" Effects of high occupancy vehicle lanes on freeway congestion", Transportation Research Part A, Vol. 42, No. 10, pp. 861–872.

- Dahlgren, J. (1998) "High occupancy vehicle lanes: Not always more effective than general purpose lanes", Transportation Research Part A, Vol. 32, No. 2, pp. 99–114.

- Farokhi, K. (2007) "Stated preference modeling and analysis of managed lanes ", M.S Thesis, The University of Texas at Arlington, pp. 7-8.

- Hensher, D. and Rose, J. (2007) " Development of commute and non-commuter mode choice models for the assessment of new public transport infrastructure projects", Transportation Research Part A, Vol. 41, No. 10, pp. 428–443.

- Hosmer, D. and Lemeshow, S. (2000) "Applied logistic regression", 2nd edition. New York: John Wiley & Sons.

- Kanafani, A. (1983) "Transportation demand analysis ", McGraw-Hill Book Company, pp. 139

- Kwon, J. and Varaiya, P. (2008) "Effectiveness of California's high occupancy vehicle (HOV) system", Transportation Research Part C, Vol. 16, pp. 98–115.

- Li, J., Embry, P., Mattingly, S., Farokhi, K., Rasmidatta, I. and Burris, M. (2007) "Who chooses to carpool and why", Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No. 2021, pp. 110–117.

- Lipnicky, K. and Burris, M. (2010) "Influence of HOV lane access on HOV lane utilization", Journal of Transportation Engineering© ASCE, No. 1030, pp. 1030–1038.

- McFadden, D. and Train, K. (1977) "An application of diagnostic test for the independence irrelevant alternatives property of multinomial logit transportation", Transportation Research Record, No. 637.

- Ortuzar, J. and Willumsen, L. (2011) "Modeling transport", England: John Wiley and Sons.

- Plotz, J., Konduri, K. and Pendyala, R. (2010) "To what extent can high-occupancy vehicle lanes reduce vehicle trips and congestion?", Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No. 2178, pp. 170–176.

- Rawlings, J., Pantula, S. and Dickey, D. (1998) "Applied regression analysis", 2nd edition. Springer.

- Schrank, D. and Lomax, T. (2005) "Car sharing and partnership management: an international perspective", Transportation Research Record. No. 1666, pp. 118-124

- TCRP web document (2009) "Travel response to transportation system changes", Transportation Research Board, TCRP project B-12.

- Yan, S. and Chen, C. (2011) "A model and solution algorithm for the carpooling problem with prematching information ", Journal of Computer and Industrial Engineering, (In press).