

مدل سازی انتخاب قطار

با استفاده از مدل لجیت چند گانه

یوسف شفاهی

دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف - استادیار (Shafahi@sharif.edu)

امیر رضا ممدوحی

گروه حمل و نقل، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی - استادیار (Armamdoohi@imps.ac.ir)

نامدار افروغ

شرکت قطارهای مسافری رجا - کارشناس ارزیابی اقتصادی (Afrough@Raja.ir)

موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی - دانشجوی کارشناسی ارشد

چکیده:

برنامه ریزی و سیاست گذاری در سیستم حمل و نقل ریلی بدون در نظر گرفتن مکانیزمهای رفتاری مسافری در قبال گزینه های مجموعه انتخاب (قطارهای موجود) و میزان تاثیرگذاری عوامل مختلف بر انتخاب مسافری، قابل اعتماد نمی باشد. هدف این مقاله مدل سازی انتخاب قطار و تعریف و بررسی عوامل تاثیرگذار بر انتخاب مسافری از بین قطارهای موجود با استفاده از مدل های انتخاب لجیت چندگانه است. در این مطالعه مجموعه انتخاب های ممکن، کلیه قطارها با درجه ها و سطوح مختلف خدمات در مسیر تهران - مشهد می باشد. داده های مورد استفاده در این مطالعه، ارجحیت های اظهار شده مسافران می باشد که از طریق پرسشنامه و انجام پرسشگری جمع آوری شده است. کلیه قطارها در هفت گروه طبقه بندی و مدل نهایی نیز برای این ۷ گزینه ارائه شده است. روش پرداخت مدل انتخاب قطار از نوع درستمایی پیشینه می باشد. متغیرهای متفاوتی از خصوصیات گزینه ها و مشخصات اقتصادی - اجتماعی افراد با ضرایب مختلف در مدل معنی دار است که تحلیل این متغیرها می تواند ابزار کارآمدی در سیاست گذاری های عرضه و مدیریت تقاضا و یا شناسایی مکانیزمهای انتخاب انواع مختلف قطار باشد.

واژگان کلیدی: انتخاب قطار، مدل لجیت چندگانه، توابع مطلوبیت

۱) مقدمه

تعیین سهم انواع وسائل نقلیه در فرآیند برآورد تقاضای حمل و نقل، در مرحله تفکیک سفر انجام می پذیرد. مدل های تفکیک سفر به منظور تعیین سهم هر یک از انواع وسایل نقلیه بر اساس شرایط اقتصادی - اجتماعی، نوع خدمات ارائه شده و عوامل موثر دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. انتخاب وسیله نقلیه بر اساس فرآیند پیچیده ای صورت می گیرد که به خصوصیات و نوع سفر، خصوصیات مسافر و خصوصیات سیستم حمل و نقل وابسته می باشد [۱]. در هر دسته از این خصوصیات، عوامل متفاوتی در انتخاب افراد تاثیرگذار هستند.

هر چند سهم حمل و نقل ریلی در جابجایی مسافر طبق آخرین آمار در ایران حدود ۵٪ از کل حمل و نقل مسافر را شامل می گردد، تقاضای استفاده از خدمات ریلی در برخی فصول یا برخی مسیرها گاهی تا ۷ برابر ظرفیت موجود تخمین زده می شود. با این وجود، به نظر می رسد که در بعضی فصول و برخی مسیرها از تمامی ظرفیت موجود قطارها استفاده نمی گردد [۱۶]. در نتیجه لزوم مطالعه و شناسایی عوامل موثر بر تقاضا و میزان تاثیرگذاری هر یک از این عوامل بر تقاضای سفر با قطار، مورد توجه ویژه قرار گرفته است.

تنوع قطارها از نظر قیمت بلیت، سطح خدمات، زمان حرکت از مبدا و مدت زمان سیر (زمان سفر)، مطلوبیتهای متفاوتی برای مسافران ایجاد می‌کند. بر اساس تئوری انتخاب، فرد با بررسی خصوصیات فوق و همچنین خصوصیات فردی، گزینه با بیشترین مطلوبیت نسبی را انتخاب می‌نماید. به دلیل وجود محدودیتهای موجود در عرضه خدمات ریلی در بعضی مسیرها مانند مسیر تهران-مشهد، امکان انتخاب در بین قطارهای موجود که در حال حاضر ۱۷ قطار در روز می‌باشد، برای مسافران بسیار محدود گردیده است. هر چند محدودیتهای عرضه، تقاضای افراد برای قطارهای مختلف را تحت تاثیر قرار می‌دهد، لیکن ارجحیتهای اظهار شده مسافران بدون در نظر گرفتن انتخاب‌های صورت گرفته می‌تواند تقاضای واقعی را آشکار سازد.

در زمینه انتخاب وسیله، پژوهشهای متعددی صورت گرفته که اکثر آنها به بررسی انتخاب وسیله در حمل و نقل درون‌شهری پرداخته‌اند. مانند "مدل انتخاب وسیله مک فادن و دمنیچ" [۴] و "مدل انتخاب وسیله مک فادن و ترین" [۵]. از جمله مطالعات و پژوهشهای داخلی که در این زمینه انجام شده است می‌توان به "استفاده از مدل انتخاب وسیله و داده‌های رجحان بیان شده در سیاست قیمت گذاری محدوده مرکزی شهر" [۱۴]، "مدل انتخاب وسیله نقلیه شهر تهران"، "تحلیل مساله انتخاب وسیله با به کارگیری روشهای محاسبات نرم" [۱۵] و همچنین مطالعات انتخاب وسیله نقلیه در شهرهای مختلف کشور اشاره نمود. با این حال، پژوهش مستند در مدل‌سازی انتخاب وسیله حمل و نقل بین‌شهری، کمتر به چشم می‌خورد. در بیشتر موارد، جایگاه انحصاری عرضه‌کنندگان این خدمات و محدودیتهای عرضه از جمله عواملی بوده که نیاز به انجام اینگونه پژوهش‌ها را تا کنون خیلی تقویت نکرده است.

هدف از این پژوهش، مدل‌سازی انتخاب قطار با مدل لوجیت چندگانه در مسیر تهران-مشهد است. انتخاب این مسیر به علت تنوع قطارها و طیف وسیع مجموعه انتخاب مسافری است، به گونه‌ای که قطارها به هفت دسته، تقسیم‌بندی می‌شوند و توابع مطلوبیت برای هر یک از این هفت دسته برآورد می‌شود. توابع مطلوبیت نشانگر متغیرها و عوامل موثر در انتخاب هر یک از این دسته‌هاست که بر اساس آنها می‌توان دیدگاه بهتری نسبت به نحوه تصمیم‌گیری مسافری این مسیر در مورد نوع قطار منتخب کسب کرد.

ساختار این مقاله به این شرح است که در ابتدا مدل‌های انتخاب به طور مختصر معرفی و به نحوه پرداخت مدل‌های انتخاب با ساختار لوجیت اشاره می‌شود. در بخش سوم داده‌های مورد نیاز، نمونه آماری و همچنین متغیرهای مورد استفاده در مدل بررسی شده و در انتها، پس از تحلیل نتایج مدل پرداخت شده در بخش چهارم، نتیجه گیری نهایی و پیشنهادها در بخش پنجم ارائه خواهد شد.

۲) مدل‌های انتخاب

بررسی‌ها نشان می‌دهد که رفتار انتخابی افراد دارای ماهیتی احتمالی است، یعنی مسافری جهت انتخاب وسیله نقلیه با توجه به ویژگی‌ها و خصوصیات مختلف از یک تابع احتمالی در انتخاب گزینه‌ها پیروی می‌کنند. از اینرو، مدل‌های احتمالی که احتمال انتخاب هر گزینه را بر اساس عوامل تاثیر گذار تعیین می‌کند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند.

مبنای مدل‌های رفتاری^۱ انتخاب از بین مجموعه تصمیم‌هایی (گزینه‌های مختلف) که فرد مسافر با آن روبروست، بر اساس بیشینه سازی مطلوبیت^۲ حاصل از انتخاب یک گزینه در مقایسه با سایر گزینه‌ها استوار است [۱]. از سوی دیگر در نظریه مصرف‌کننده، فرد دارای حق انتخاب است. تلفیق مدل‌های رفتاری و نظریه مصرف‌کننده به این امر منتهی می‌گردد که تصمیم‌های مسافر در فرآیند انتخاب، بر مبنای مطلوبیت نسبی گزینه‌ها صورت گیرد. به علاوه، فرض می‌شود که تصمیم‌گیرنده فردی منطقی است که گزینه‌های موجود و امکان‌پذیر را بر اساس مطلوبیتشان اولویت‌بندی می‌کند. ساختار اولیتهای بر مبنای مشخصات و ویژگی مسافر و گزینه‌ها تعیین می‌شود.

مکانیزم رفتار احتمالی بر پایه این فرض است که مطلوبیت گزینه‌ها تحت تاثیر عوامل ناشناخته بر فرآیند انتخاب، نامعین بوده و بر اساس متغیرهای تصادفی با توزیع‌های خاص (مثلاً پروبیت یا لوجیت) تعیین می‌شود. بدیهی است که فرد تصمیم‌گیر در فرآیند انتخاب، دارای یک مجموعه انتخاب است که گزینه‌ها را از بین آن انتخاب می‌کند. این مجموعه برای افراد مختلف یکسان نیست و تابعی از ویژگیهای اقتصادی-اجتماعی فرد و ویژگیهای گزینه است.

1 -Behavioral Models

2 -Utility Maximization

مدل های انتخاب گسسته^۱ را می توان به دو دسته کلی تقسیم نمود: مدل های رتبه ای و مدل های غیر رتبه ای [۲]. در این مطالعه از مدل های غیر رتبه ای استفاده شده است. به همین منظور، در ادامه به بررسی مختصر این مدل ها پرداخته می شود. در این مدلها مطلوبیت گزینه j برای فرد i که با U_{ij} نشان داده می شود به صورت زیر فرض می شود:

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

که در آن: U_{ij} : مطلوبیت تصادفی گزینه j برای فرد i .

V_{ij} : مطلوبیت معین گزینه j برای فرد i .

ε_{ij} : بخش نامعین و تصادفی مطلوبیت گزینه j برای فرد i .

با فرض توزیع گامبل برای ε_{ij} تابع احتمال انتخاب به صورت مدل لوجیت خواهد بود [۲]. یعنی احتمال اینکه شخص i گزینه j را در مجموعه انتخاب خود (C_i) انتخاب کند، به وسیله رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$P(j | C_i) = \frac{e^{V_{ij}}}{\sum_{j \in C_i} e^{V_{ij}}}$$

در این مدلها فرض این است که جملات خطای تابع مطلوبیت مستقل بوده و از توزیع گامبل تبعیت می کنند. همچنین تابع مطلوبیت به صورت خطی در پارامترها در نظر گرفته می شود.

در عمل، محدودیت لزوم استقلال گزینه های نامرتبط^۲ مجموعه انتخاب، به کمک ساختار لوجیت آشیانه ای^۳ مرتفع می گردد.

۱-۲) روش پرداخت مدل های انتخاب لوجیت

در پرداخت مدل های انتخاب با ساختار لوجیت از روش درستنمایی بیشینه^۴ مبتنی بر بیشینه سازی احتمال وقوع همزمان مشاهدات استفاده می شود [۱۰]. در این روش، احتمال وقوع هر مشاهده بر اساس مدل مورد استفاده و بر حسب پارامترهای مدل محاسبه می شود. در نمونه مورد بررسی، ضرایب توابع مطلوبیت برای گزینه های موجود به نحوی تعیین می گردد که حاصل ضرب احتمال وقوع همزمان مشاهدات حداکثر شود.

اگر نمونه ای با N شخص تصمیم گیرنده از جامعه ای در نظر گرفته شود و متغیر y_{in} به صورت زیر تعریف گردد:

$$y_{in} = 1 \text{ اگر شخص } n \text{ گزینه } i \text{ را انتخاب کند.} \quad y_{in} = 0 \text{ در غیر این صورت}$$

تابع $L(\beta)$ که حاصل ضرب احتمال انتخاب هر گزینه است به صورت زیر تعریف می شود:

$$L(\beta) = \prod_{n=1}^N \prod_{i \in C_n} (P_{in})^{y_{in}}$$

همانطوری که قبلا بیان شد، تابع $L(\beta)$ باید حداکثر شود. برای حداکثر نمودن مقدار این تابع، می توان از مشتق گیری

جزئی نسبت به ضرایب تابع مطلوبیت استفاده کرد و مقدار مشتق را برابر صفر قرار داد. برای سهولت و کاهش عملیات، معمولا ابتدا از تابع $L(\beta)$ لگاریتم گرفته می شود:

$$\ell(\beta) = \ln L(\beta) = \sum_{n=1}^N \left(\sum_{i \in C_n} y_{in} \ln(P_{in}) \right)$$

$$\frac{\partial \ell(\beta)}{\partial \beta_{ki}} = 0 \quad \text{و سپس برای بیشینه کردن مقدار تابع } \ell(\beta), \text{ مشتقات جزئی آن برابر صفر قرار داده می شود.}$$

۲-۲) ضوابط ارزیابی

ضوابط متفاوتی برای ارزیابی این روش مورد استفاده قرار می گیرد. آنچه که در اکثر موارد گزارش می شود، مقدار تابع

لگاریتم احتمال برای ضرایب صفر و در شرایط همگرایی، یعنی $\ell(\hat{\beta}), \ell(0)$ است [۱۷]. از جمله ضوابط ارزیابی می توان به ضریب

1 -Discrete Choice Models

2 -Independence of Irrelevant Alternatives

3 - Nested Logit

4 -Maximum Likelihood Stimulation

خوبی برازش^۱ نیز اشاره کرد. این ضریب به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\rho^2 = 1 - \frac{\ell(\hat{\beta})}{\ell(0)}$$

کاربرد این ضریب مانند ضریب R^2 در رگرسیون است با این تفاوت که در رگرسیون، نزدیک تر بودن R^2 به یک، نشان دهنده خوبی برازش است؛ اما در اینجا ρ^2 جهت مقایسه مدل های ساخته شده با ساختار یکسان اما متغیرهای متفاوت است. [۲].
آزمون نسبت درستنمایی^۲ از دیگر معیارهای سنجش مدل های برآورد شده به این روش است [۲]. این آزمون، کاربردی مانند آزمون F در مدل های رگرسیون، برای تست پارامترهای متعدد دارد. در واقع با فرض برابری تمامی ضرایب با صفر رابطه $(\ell(\hat{\beta}) - \ell(0)) * 2$ دارای توزیع χ^2 با k درجه آزادی است. (k تعداد پارامترهای تخمین زده شده می باشد). این آزمون، آزمون بسیار مفیدی نیست [۲]، زیرا در اکثر مواقع می توانیم فرض صفر را در سطوح معنی داری بسیار پایین هم رد کنیم. با این حال در اکثر موارد، مقدار فوق محاسبه و گزارش می شود.

۳) داده های مورد نیاز و نمونه آماری

جامعه مورد نظر در این مطالعه، کلیه مسافران قطارهای مسیر تهران - مشهد هستند. علت انتخاب این مسیر همانطور که در مقدمه گفته شد، تنوع قطارها از نظر قیمت و سطح خدمات در این مسیر می باشد. همچنین سهم این مسیر از کل جابجایی مسافر که در سیستم حمل و نقل ریلی صورت می گیرد، حدود ۳۶،۳٪ می باشد [۱۷].

همانطور که از تئوری مدل سازی انتخاب وسیله پیداست، مشخصات اقتصادی - اجتماعی افراد، مشخصات وسیله سفر (گزینه مورد انتخاب)، مشخصات سفر و ترکیبی از مشخصات فوق در انتخاب وسیله سفر تاثیر گذار می باشند. قسمتی از این اطلاعات در خصوص گزینه های مجموعه انتخاب موجود و قابل استفاده بودند [۱۷]. اما در خصوص مشخصات اقتصادی - اجتماعی از آنجایی که در بین افراد این مشخصات متفاوت بوده و همچنین اطلاعات مدونی وجود نداشت، تنها راه رسیدن به اطلاعات مورد نیاز این مطالعه طراحی پرسشنامه بود.

پس از نمونه گیری اولیه و اصلاح نهایی پرسشنامه، متناسب با ظرفیت قطارها پرسشگری صورت پذیرفت. ^۳ از مجموعه ۴۱۱ پرسشنامه تکمیل شده، ۳۷۰ پرسشنامه قابل استفاده تشخیص داده شد که از داده های آن در مدل سازی انتخاب قطار استفاده گردید. پس از انجام تحلیل اولیه بر روی پاسخها تا حدودی رفتار متغیرهای مختلف در انتخاب قطارها مشخص و پایگاه داده ای، به منظور استفاده در برنامه کامپیوتری نوشته شده برای مدل سازی، تشکیل گردید. ^۴

۳-۱) متغیرهای مورد استفاده در مدل

در فرآیند مدل سازی انتخاب قطار در این مطالعه، متغیرهای متنوعی مورد استفاده قرار گرفت. بر حسب نیاز متغیرهای مورد استفاده در اشکال متفاوت نیز تعریف شدند تا اثرات مختلف ناشی از نحوه تغییر متغیرها، نادیده گرفته نشود. مثلاً متغیر سن هم به صورت پیوسته و هم به صورت چند متغیر مجازی^۵ مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای مجازی برای بازه های سنی زیر ۳۰ سال، بین ۳۰ و ۴۰ سال، بین ۴۰ و ۵۰ سال و بالاتر از ۵۰ سال تعریف شد. برای نمونه:

$$\text{Age3040} = \begin{cases} 1 & \text{اگر سن فرد بین ۳۰ و ۴۰ سال باشد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

به همین ترتیب، متغیر تعداد اعضای گروه، هم به صورت پیوسته و هم به صورت سه متغیر مجازی برای گروه های یک یا دو

1 - Goodness of fit Measure

2 - Likelihood Ratio Test

3 - با توجه به محدودیت عرضه، امکان داشت افرادی مجبور به استفاده از یک قطار شده باشند که از این افراد، قطار مورد نظر پرسیده شده و ملاک دیگر سوالهای وابسته به گزینه از پرسش شونده، همان قطار مورد نظر او بوده است نه قطاری که سوار شده است. در واقع ارجحیت های اظهار شده ملاک انتخاب گزینه توسط هر فرد می باشد.

4 - نرم افزار مورد استفاده برای مدل سازی، نرم افزار Gauss می باشد.

5 - Dummy Variable

نفره، گروه‌های سه یا چهار نفره و گروه‌های بیشتر از چهار نفر تعریف و استفاده شد. برخی از متغیرها مانند جنسیت و تأهل به صورت متغیر مجازی ۰ و ۱ مورد استفاده قرار گرفتند. برای نمونه:

$$\text{Marital} = \begin{cases} 1 & \text{اگر متأهل} \\ 0 & \text{و گرنه} \end{cases}$$

متغیرهای اشتغال، آخرین مدرک تحصیلی، هدف از سفر و دلیل انتخاب قطار به ترتیب با ۱۱، ۷، ۵ و ۵ متغیر مجازی ۰ و ۱ تعریف شده و مورد استفاده قرار گرفتند. برای بررسی متغیر داشتن خودرو از دو متغیر مجازی به صورت زیر استفاده شد.

$$\text{Car} = \begin{cases} 1 & \text{اگر فرد دارای خودروی شخصی باشد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad \text{Car23} = \begin{cases} 1 & \text{اگر فرد دارای بیش از یک خودروی شخصی باشد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

متغیرهای میانگین تعداد سفر سالانه به مشهد و میانگین استفاده سالانه از قطار با ۷ متغیر مجازی تعریف شدند. همچنین، ۹ متغیر چندحالتی رتبه‌ای برای بررسی اثرات عوامل تاثیرگذار بر انتخاب قطار با حالت‌های بسیار زیاد، زیاد، تا حدی، کم، بسیار کم و اصلاً و به ترتیب با کدهای ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ و ۰ تعریف و استفاده شدند.

متغیرهای ترکیبی متفاوتی نیز به صورت متغیرهای مجازی مورد استفاده قرار گرفته که به عنوان مثال می‌توان از اثر قیمت برای گروه سنی خاص (Age * Price)، داشتن خودرو برای افراد مجرد (Marital * Car) و زن متأهل (Sex * Marital) نام برد. متغیرهای وابسته به گزینه که در این مطالعه تنها متغیر قیمت و تسهیلات قطار بودند نیز به صورت متغیرهای مجازی مورد استفاده قطار گرفتند.

۴) نتایج پرداخت مدل انتخاب قطار

در مدل سازی انتخاب قطار متغیر وابسته، استفاده از قطارهای مختلف است. گزینه‌های موجود در مجموعه انتخاب با توجه به ویژگی‌های مشترک به ۷ گروه زیر دسته‌بندی شده‌اند:

- ۱) قطارهای لوکس ۲) قطارهای سریع السیر ۳) قطارهای ویژه ۴) قطارهای درجه یک ۶ تخته
- ۵) قطارهای درجه یک ۴ تخته ۶) قطارهای درجه دو ۶ تخته ۷) قطارهای درجه دو ۶ صندلی

در این دسته بندی عواملی مانند قیمت بلیت، نوع خدمات، تسهیلات قطار و مدت زمان سفر لحاظ گردیده‌اند. به عبارت دیگر در هر دسته قطارهای مشابه از نظر خصوصیات مذکور قرار گرفته‌اند. جدول (۱) نتایج پرداخت مدل را نشان می‌دهد. در این جدول متغیرهای معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) در تابع مطلوبیت هر قطار، ضرایب این متغیرها و همچنین مقدار آماری t هر یک نشان داده شده است. در قسمت پایین جدول نتایج ارزیابی‌های مدل، مانند مقادیر لگاریتم تابع احتمال و نسبت درست‌نمایی و ضرایب خوبی برازش ارائه شده است. با توجه به جدول مذکور، مشاهده می‌شود که:

۱) **ضریب متغیر مجازی داشتن خودرو** در قطارهای لوکس و قطارهای ویژه مثبت بوده ولی در قطار درجه دو با ۶ صندلی این ضریب منفی است. از آنجا که در خصوص درآمد خانوار به طور معمول، اطلاعات دقیق وجود ندارد، داشتن خودرو می‌تواند به عنوان شاخصی از درآمد خانوار و یا سطح رفاه خانوار مطرح باشد. در واقع علامت این ضریب نشان دهنده تاثیر مثبت داشتن خودرو شخصی (به عنوان جانشین^۱ متغیر درآمد) بر انتخاب قطارهای لوکس و ویژه و همچنین تاثیر منفی در انتخاب قطار درجه دو با ۶ صندلی نسبت به سایر قطارهاست.

۲) **ضریب متغیر مجازی داشتن بیش از یک خودرو** که تنها در تابع مطلوبیت قطارهای سریع‌السیر معنی‌دار است، دارای علامت مثبت می‌باشد شایان ذکر است که مقدار این ضریب بزرگتر از (بیش از دو برابر) ضریب متغیر داشتن خودرو در قطارهای لوکس و ویژه است. با توجه به اینکه داشتن بیش از یک خودرو تاکید بر درآمد بیشتر مسافران و همچنین نشان از اهمیت تسهیلات و زمان برای آنها دارد، تاثیر مثبت این متغیر در قطارهای سریع‌السیر قابل انتظار است.

- (۳) **متغیر مجازی تعداد اعضای گروه بیشتر از ۴ نفر** در قطارهای سریع‌السیر، ویژه، درجه یک ۶ تخته و درجه یک ۴ تخته معنی‌دار است. علامت ضریب این متغیر همانطور که انتظار می‌رود در تمام قطارها به غیر از قطار درجه یک ۶ تخته منفی است. به بیانی دیگر، تعداد اعضای گروه اگر بیشتر از ۴ نفر باشد در قطارهای ۴ تخته عاملی جهت کاهش مطلوبیت بوده، حال اینکه مطلوبیت نسبی قطار درجه یک ۶ تخته با افزایش تعداد اعضای گروه (بیش از ۴ نفر) بیشتر می‌شود.
- (۴) **متغیر مجازی مدرک تحصیلی زیر دیپلم یا بی سواد** در قطارهای لوکس و درجه یک ۴ تخته با ضریب منفی ظاهر شده است. رابطه معکوس مطلوبیت این دو قطار با سطح تحصیلات زیر دیپلم یا بی‌سواد نشان می‌دهد که احتمال انتخاب این دو قطار نسبت به سایر قطارها برای این افراد کمتر است. البته میزان کاهش مطلوبیت توسط این متغیر مجازی برای قطارهای درجه یک ۴ تخته نسبت به قطارهای لوکس بیشتر می‌باشد.
- (۵) **متغیر مجازی مدرک تحصیلی فوق دیپلم یا لیسانس** تنها برای قطار درجه دو ۶ صندلی معنی‌دار است که با علامت ضریب منفی این متغیر، رابطه معکوس مطلوبیت این قطار با مدرک تحصیلی فوق دیپلم یا لیسانس آشکار می‌شود. به عبارتی، برای افرادی که این سطح تحصیلات را دارند، قطار درجه دو ۶ صندلی مطلوبیت کمتری نسبت به دیگر قطارها خواهد دارد.
- (۶) **متغیر مجازی بیکاری** از بین متغیرهای مجازی مشاغل مختلف، در تابع مطلوبیت نسبی قطارهای درجه یک ۴ تخته معنی‌دار است. علامت مثبت این ضریب نشان‌دهنده افزایش مطلوبیت نسبی این قطار برای افراد بیکار در مقایسه با سایر قطارها برای این افراد است.
- (۷) **متغیر مجازی هدف سفر تحصیل** از بین متغیرهای مجازی هدفهای سفر، در مطلوبیت قطارهای سریع‌السیر با علامت مثبت معنی‌دار است. زمان کمتر سفر با قطار سریع‌السیر در مقایسه با سایر قطارها نشان می‌دهد که دانشجویانی که با قطار به مشهد سفر می‌کنند، به زمان اهمیت بیشتری داده و از این رو بیشتر قطار سریع‌السیر را انتخاب می‌کنند.
- (۸) **متغیر مجازی راحتی و امکان خواب به عنوان دلیل انتخاب قطار** با علامت منفی در مطلوبیت قطارهای سریع‌السیر ظاهر شده است. قطارهای سریع‌السیر به دلیل ساختار واگنها که دارای سالنهای اتوبوسی است، در مقایسه با قطارهای دیگر که دارای کوبه هستند به طور معمول مطلوبیت کمتری دارد. این متغیر مجازی فرضیه فوق را تایید کرده و نشان می‌دهد که برای افرادی که قطار را در مقایسه با سایر وسایل نقلیه در مسیر تهران-مشهد به دلیل راحتی و امکان خواب انتخاب کرده اند، قطار سریع‌السیر مطلوبیت نسبی کمتری دارد.
- (۹) **متغیر مجازی ارزانی بلیت به عنوان دلیل انتخاب قطار** تاثیر منفی در انتخاب قطارهای درجه دو ۶ تخته دارد. این متغیر تنها در تابع مطلوبیت نسبی این قطار معنی‌دار می‌باشد. به عبارت دیگر، افرادی که قطار را در مقایسه با سایر وسایل نقلیه در مسیر تهران-مشهد به دلیل ارزانی بلیت انتخاب می‌کنند، از بین قطارهای موجود با احتمال بیشتری قطارهای درجه دو ۶ تخته (که از ارزانتترین قطارهای این مسیر است) را انتخاب خواهند کرد.
- (۱۰) **متغیر مجازی ایمنی به عنوان دلیل انتخاب قطار** تاثیر مثبت در مطلوبیت قطار درجه دو ۶ صندلی دارد. معنی‌دار بودن این متغیر با علامت منفی در این قطار نشان می‌دهد که انتخاب قطار به دلیل ایمنی در مقایسه با سایر وسایل حمل و نقل باعث کاهش مطلوبیت قطارهای درجه دو ۶ صندلی در بین سایر قطارها خواهد شد.
- (۱۱) **متغیر ترکیبی تفاوت تاثیر زمان رسیدن و زمان حرکت در انتخاب** در قطارهای درجه یک ۶ تخته با ضریب منفی معنی‌دار است. هر چند متغیرهای مجازی متفاوتی برای امتیاز زمان رسیدن و زمان حرکت قطار که از طرف مسافران اظهار گردیده بود تعریف و مورد بررسی قرار گرفت، با این حال هیچ کدام از آنها در مدل معنی‌دار نبودند. لذا متغیر ترکیبی تفاوت تاثیر این دو عامل تعریف گردید. در واقع این متغیر مجازی و ترکیبی نشان می‌دهد، هر قدر که زمان رسیدن برای مسافری از زمان حرکت مهمتر باشد و آنها حساسیت بیشتری به زمان رسیدن در مقایسه با زمان حرکت داشته باشند، قطار درجه یک ۶ تخته با کاهش مطلوبیت نسبی بیشتری همراه خواهد شد.
- (۱۲) **متغیر مجازی اولین بار استفاده از قطار** که در تابع مطلوبیت قطار ویژه با ضریب مثبت معنی‌دار شده است نشان می‌دهد برای افرادی که تا کنون از قطار استفاده نکرده‌اند، قطار ویژه مطلوبیت بیشتری نسبت به سایر قطارها پیدا خواهد کرد. اولین سفر با قطار حتی بیشتر از عواملی مانند داشتن خودرو مطلوبیت قطار را تحت تاثیر قرار می‌دهد. متغیر مجازی میانگین استفاده از قطار هم به صورت پیوسته و هم به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گرفت که متغیر مجازی اولین بار استفاده و دوبار استفاده از قطار در سال در مدل معنی‌دار بوده است.

۱۳) **متغیر مجازی دو بار استفاده از قطار در سال** با ضریب منفی در تابع مطلوبیت قطار درجه یک ۴ تخته معنی دار است، با این تعبیر که استفاده از قطار به طور میانگین دوبار در سال کاهش مطلوبیتی برای قطارهای درجه یک ۴ تخته نسبت به سایر قطارها به همراه خواهد داشت.

۱۴) **متغیر مجازی اولین سفر به مشهد** برای قطارهای درجه دو ۶ تخته با ضریب مثبت معنی دار شده است. به عبارتی، افرادی که بار اول است به مشهد سفر می کنند به احتمال بیشتری قطار درجه دو ۶ تخته را انتخاب می کنند. با وجود اینکه انتظار می رفت متغیرهای مجازی سفرهای بیشتر از ۳ بار به مشهد و یا استفاده از قطار بیشتر از سه بار در سال در مطلوبیت قطارها تاثیرگذار باشد، ولی این متغیرها در سطح ۵٪ معنی دار نبودند.

۱۵) **متغیر میزان تاثیر برنامه ریزی دقیق در انتخاب قطار** با ضریب منفی در قطار ویژه معنی دار شده است. می توان گفت افرادی که قطار ویژه را انتخاب کرده اند، نسبت به سایر افراد به برنامه ریزی دقیق و بدون تاخیر حرکت از مبدا و رسیدن به مقصد قطار حساسیت کمتری داشته اند. از آنجایی که قطارهای ویژه بیشتر برای هدفهای سفر زیارت، تفریح و استراحت انتخاب می شوند، عدم اهمیت برنامه ریزی دقیق برای این دسته از افراد قابل انتظار است [۹]. به طور خلاصه، مسافران قطارهای ویژه توقع زمانبندی بسیار دقیق از حرکت و رسیدن قطار ندارند.

۱۶) **متغیر ترکیبی تاثیر قیمت برای افراد زیر ۳۰ سال** برای قطارهای لوکس با ضریب مثبت اما بسیار کوچک معنی دار شده است. همانطور که گفته شد، متغیرهای مجازی قیمت به طور ساده در مدل معنی دار نبوده اند، لذا سعی گردید متغیرهای ترکیبی برای این خصوصیت وابسته به گزینه تعریف شود. تاثیر مثبت متغیر مجازی فوق در مطلوبیت قطار لوکس را می توان به کم اهمیت بودن قیمت برای این افراد تعبیر نمود.

۱۷) **متغیر ترکیبی تاثیر قیمت برای افراد بالای ۵۰ سال** با علامت مثبت در تابع مطلوبیت قطار درجه یک ۴ تخته معنی دار شده، که نشان دهنده افزایش مطلوبیت قطار درجه یک ۴ تخته به دلیل قیمت برای افراد بالای ۵۰ سال می باشد.

۱۸) **متغیر ترکیبی تاثیر قیمت برای گروه های یک یا دو نفره** در مطلوبیت قطارهای درجه یک ۶ تخته ظاهر شده است. علامت مثبت ضریب این متغیر نشان می دهد که برای گروه های یک یا دو نفره، قیمت قطار درجه یک ۶ تخته تاثیر مثبت در بالابردن احتمال انتخاب این قطار دارد.

۵) نتیجه گیری و پیشنهادات

تحلیل هایی که در خصوص متغیرهای معنی دار مدل در توابع مطلوبیت گزینه های مختلف ارائه گردید، نشان دهنده اثر خصوصیات قطارها و مشخصات اقتصادی- اجتماعی افراد در احتمال انتخاب گزینه ها می باشد. هدف از این مدل به عنوان یک مدل توصیفی^۱ (در برابر تجویزی^۲) شناسایی مکانیزم های انتخاب انواع مختلف قطارهاست. بدیهی است که تمامی متغیرهای مورد استفاده، قابل کنترل توسط برنامه ریزان نیستند ولی دیدگاه خوبی در ارتباط با فرآیند انتخاب قطارهای مختلف ارائه می کنند. برای نمونه سطح تحصیلات که امکان تغییر آن در جامعه وجود ندارد یا داشتن خودرو که نمی تواند تحت تاثیر تصمیم عرضه کنندگان حمل و نقل قرار گیرد. اما آنچه مسلم است شناخت خصوصیات متقاضیان هر قطار می تواند تعیین کننده نوع، میزان و نحوه ارائه خدمات و تسهیلات و همچنین سیاست های قیمت گذاری در قطارهای مختلف باشد. به عنوان نمونه می توان به برخی از موارد، به صورت زیر اشاره نمود:

۱) با توجه به معنی دار بودن متغیر هدف سفر تحصیل در قطارهای سریع السیر به نظر می رسد ارائه خدمات مورد نیاز دانشجویان، اساتید، طلاب و ... و همچنین ارائه تسهیلات ویژه به این قشر می تواند اثربخشی بیشتر و سریع تری در افزایش سهم این قطار در حمل و نقل مسافر داشته باشد.

۲) انتخاب قطار ویژه توسط افرادی که تا کنون سوار قطار نشده اند نشان می دهد که خصوصیات این قطار مورد توجه افرادی است که تصمیم به سفر گرفته اند و تا کنون از قطار استفاده نکرده اند. لذا بهتر است که در انجام تبلیغات جهت جذب مسافران از سایر وسایل نقلیه رقیب در این مسیر، بر ویژگی های متمایز قطارهای فوق تاکید بیشتری صورت پذیرد.

۳) ارائه تسهیلات ویژه (مانند تخفیف) جهت انتقال خودرو از تهران به مشهد به طور خاص برای قطارهای لوکس با توجه به معنی داری متغیر داشتن خودرو، علاوه بر افزایش انگیزه استفاده از این خدمات در مسافران قطار لوکس باعث افزایش سهم استفاده از این قطار به دلیل جذب افرادی که تا کنون با خودروی شخصی به مشهد سفر می کرده‌اند می‌شود. علاوه بر این، می‌تواند باعث ترغیب مسافران دیگر قطارها که مالک خودرو نیز هستند به استفاده از قطار لوکس گردد.

۴) تاثیر منفی متغیر ایمنی به عنوان دلیل انتخاب قطار در مقایسه با سایر وسایل نقلیه در مسیر تهران - مشهد در مطلوبیت قطارهای درجه دو ۶ صندلی، نشان می‌دهد که مسافران به ایمنی قطارهای فوق اطمینان و اعتماد لازم را نداشته‌اند، در نتیجه بالابردن سطح اطمینان مسافران از ایمنی قطارهای درجه دو ۶ صندلی از طریق انجام تبلیغات و یا ایمن‌سازی بیشتر این قطارهای بدون شک سهم این قطارها را از جابجایی مسافر، افزایش خواهد داد.

موارد فوق را می‌توان به عنوان نمونه‌ای از سیاستگذاری‌های ممکن جهت کنترل سهم استفاده از هر قطار دانست. مدل به دست آمده هر چند تعدادی از متغیرهای متنوع و گوناگون تاثیرگذار بر مطلوبیت نسبی قطارها برای افراد را معرفی می‌نماید، نمی‌تواند به تنهایی گویای فرآیند پیچیده انتخاب که توسط مسافران صورت می‌پذیرد، باشد. در همین راستا لازم است تا مطالعات جداگانه‌ای بر روی هر کدام از متغیرهای مدل انجام شود.

۶- منابع

- 1) Ortuzar, J.de Dios and Willumsen, Luis G. " **Modelling Transport**" third edition, john wiley & sons (2001)
- 2) Ben-Akiva M and Lerman S. " **Discrete Choice Analysis, Theory and application to travel demand**" MIT Press, Cambridge, (1985)
- 3) Train, Kenneth, " **Discrete Choice Methods with simulation**" Cambridge University Press, (2003)
- 4) McFadden, D ;Domencich T. A. ; " **Urban Travel Demand, a Behavioral Analysis**" North Holland, Amsterdam (1976)
- 5) McFadden, D. and Train, K., " **An Application of Diagnostic Test for the Independence From Irrelevant Alternatives Property of the Multinomial Logit model.**" Transportation Research Record No.637 (1977)
- 6) Meyer, M.D. And and Miller, E.J., " **Urban Transportation Planning, A Decision Oriented Approach**", McGraw-Hill Book Company, New york, (1987).
- 7) Rallis, Tom, " **Intercity Transport**" McMillan Press Ltd, London (1977)
- 8) Hess, S. and Polak J.W., " **Mixed Logit Modelling of Airport Choice in Multi-Airport Regions**" (2004)
- 9) Bethany Whitaker, George Terzis; Hongkong " **Stated Preferences as a tool to evaluate airline passenger preferences and priorities** " , (2004)
- 10) Green, W., " **Econometric Analysis**", McMillan Publishing, New york, (1993)

۱۱) ممدوحی، امیر رضا " **مدل سازی افزایش سهم قطار برقی در سفرهای تهران- کرج با استفاده از مدل لوجیت رتبه‌ای** " ،

۱۲) ممدوحی، امیر رضا " **ساخت و پرداخت مدل انتخاب وسیله نقلیه برای شهر مشهد** " ، پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه عالی آموزش و پژوهش، مدیریت و برنامه ریزی، تهران (۱۳۷۵)

۱۳) طهماسبی، شهرام " **مقایسه مدل انتخاب وسیله - مقصد سفر** " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۷۹)

۱۴) سالک مقدم، سروش " **استفاده از مدل انتخاب وسیله و داده های رجحان بیان شده در سیاست قیمت گذاری محدوده مرکزی شهر** " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف

۱۵) نظری، سبحان " **تحلیل مسأله انتخاب وسیله با به کارگیری روشهای محاسبات نرم** " ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف

۱۶) آمار ضریب اشغال قطارهای برنامه ریزی شده شرکت رجا (مدیریت بازرگانی)

۱۷) سالنامه آماری شرکت رجا، - سالهای ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴

گزینه	نام متغیر	شرح متغیر	ضریب	آماري t
قطار لوکس		جمله ثابت	-0.513964	-1.423963
	car	متغیر مجازی داشتن خودرو	0.949717	3.010269
	Doc12	متغیر مجازی مدرک زیر دیپلم یا بی سواد	-0.872047	-1.984364
	P1*Age30-	متغیر ترکیبی تاثیر قیمت قطار لوکس برای افراد زیر ۳۰ سال	0.064184	2.089106
قطار سریع السیر	G56	متغیر مجازی تعداد اعضای گروه بیشتر از ۴ نفر	-2.173197	-2.852481
	Car23	متغیر مجازی داشتن بیش از یک خودرو	1.901986	3.323938
	Aim2	متغیر مجازی هدف سفر تحصیل	1.396724	2.080958
	Rm3	متغیر مجازی راحتی و امکان خواب به عنوان دلیل انتخاب قطار	-1.643122	-2.899705
قطار ویژه		جمله ثابت	0.440837	0.998638
	G56	متغیر مجازی تعداد اعضای گروه بیشتر از ۴ نفر	-2.349602	-3.650352
	Car	متغیر مجازی داشتن خودرو	0.780879	2.260697
	Avet1	متغیر مجازی اولین مرتبه استفاده از با قطار	0.958942	1.988900
قطار درجه یک	R2	میزان تاثیر برنامه ریزی دقیق در انتخاب	-0.314114	-2.442769
		جمله ثابت	-0.450066	-1.149506
	G56	متغیر مجازی تعداد اعضای گروه بیشتر از ۴ نفر	1.135281	2.834155
	R5-R4	تفاوت تاثیر زمان رسیدن و زمان حرکت در انتخاب	-0.314281	-1.988740
قطار درجه یک	P4*G12	متغیر ترکیبی تاثیر قیمت قطار درجه یک ۶ تخته برای گروه‌های ۱ یا ۲ نفره	0.221667	2.193808
		جمله ثابت	0.233526	0.806222
	G56	متغیر مجازی تعداد اعضای گروه بیشتر از ۴ نفر	-1.761057	-2.756612
	Doc12	متغیر مجازی مدرک زیر دیپلم یا بی سواد	-2.202488	-2.491518
قطار درجه دو	Job1	متغیر مجازی بیکاری	1.934253	2.572906
	Avet4	متغیر مجازی میانگین دوبار سفر با قطار در سال برای فرد	-1.667577	-1.968481
	P5*Age50+	متغیر ترکیبی تاثیر قیمت قطار درجه یک ۴ تخته برای افراد بالای ۵۰ سال	0.278085	2.079788
		جمله ثابت	-0.899525	-2.701342
قطار درجه دو	Rm1	متغیر مجازی ارزانی بلیت به عنوان دلیل انتخاب قطار	1.185251	3.293224
	Avem1	متغیر مجازی اولین سفر به مشهد	1.632111	2.501138
قطار درجه دو صندلی		جمله ثابت	0.515370	1.508283
	Car	متغیر مجازی داشتن خودرو	-0.908282	-2.271240
	Doc45	متغیر مجازی مدرک فوق دیپلم یا لیسانس	-0.862000	-2.133068
	Rm5	متغیر مجازی ایمنی به عنوان دلیل انتخاب قطار	-1.099773	-2.345662

$$L(\hat{\beta}) = -611.435256$$

$$L(0) = -719.986755$$

$$L(C) = -708.193058$$

$$-2(L(0) - L(\hat{\beta})) = -2(611.4352 - 719.986755) = 217.1030$$

$$-2(L(C) - L(\hat{\beta})) = -2(611.4352 - 708.19305) = 193.5156$$

$$\rho^2 = \left(1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)}\right) = 0.1507 \quad \rho_c^2 = \left(1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(C)}\right) = 0.1366 \quad \bar{\rho}^2 = \left(1 - \frac{L(\hat{\beta}) - K}{L(0)}\right) = 0.1091$$

$$\chi_{30,0.975}^2 = 46.979$$

$$\chi_{24,0.975}^2 = 39.364$$

جدول (۱) - نتایج پرداخت مدل انتخاب قطار (۷ گزینه)