یادداشت پژوهشی

بکارگیری منطق فازی در مدلسازی انتخاب وسیله نقلیه سفرهای برون شهری

محمدرضا عدل پرور، استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.
E-mail: adlparvar@qom.ac.ir

دریافت: ۹۱/۰٤/۱۰ پذیرش:۹۱/۱۱/۱٦

چکیده

مدلهای انتخاب وسیله نقلیه بر اساس رفتار مسافران، در انتخاب شیوه‌های مختلف حمل و نقل ایجاد می‌شوند. از آنجا که انسان به عنوان عامل انتخاب کننده وسیله سفر، دارای خصوصیات رفتاری متفاوت و تصادفی است، مدلهای ریاضی نمی‌توانند به صورت کامل رفتار انسان را در انتخاب وسیله نقلیه سفر برون شهری بیان کنند. هدف از این تحقیق، وارد کردن هر چه بیشتر ویژگیهای رفتاری مسافران در مدلهای انتخاب وسیله نقلیه سفر برون شهری و واقعی‌تر کردن نتایج مدلها با کاربرد منطق فازی در آنهاست. در این راستا برای مدلسازی انتخاب وسیله نقلیه سفرهای برون شهری از یک مدل لاجیت آشیانه‌ای استفاده می‌شود. ابتدا با استفاده از نتایج آماربرداری میدانی، پایگاه داده برای متغیرهای تاثیرگذار در انتخاب مسافران ساخته می‌شود. سپس جهت در نظر گرفتن رفتار مبهم انسان در این مدل و افزایش دقت آن، پایگاه داده های هر متغیر با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی کاهنده فازی، فازی‌سازی می‌شوند. مدل نیز با استفاده از روش بیشینه احتمال ساخته و پرداخته می‌شود. نتایج این مدل با اطلاعات انتخاب سفر شهرها مقایسه شده که حاکی از بهبود نتایج مدلسازی است.

واژه‌های کلیدی: منطق فازی، الگوریتم خوشه بندی کاهنده فازی، مدل انتخاب وسیله‌نقلیه، لاجیت آشیانه‌ای، سفر برون شهری

۱. مقدمه

در انجام هر سفر، مسافران از بین شیوه‌های مختلف سفر، بسته به شرایط اقتصادی- اجتماعی، نوع سرویس ارائه شده و برخی از عوامل دیگر، یکی را انتخاب می‌نمایند. انتخاب شیوه سفر برای مسافران برون شهری در ایران شامل استفاده از سواری عمومی، اتوبوس، قطار یا هواپیما می‌شود. متداول‌ترین مدلهای انتخاب، خانواده مدلهای لاجیت هستند که برای مدلسازی انتخاب وسیله نقلیه سفر برون شهری می‌توان از یک مدل لاجیت آشیانه‌ای[1] استفاده کرد. دلایل استفاده از این مدل را می‌توان چنین ذکر کرد: جلوگیری از همپوشانی شیوه‌های حمل و نقل (هوایی، ریلی، جاده‌ای)، مستقل کردن گزینه‌های انتخاب، برقراری ارتباط صحیح بین سیستم های حمل و نقلی و گزینه‌های انتخاب (مثلاً کسی که به فکر انتخاب گزینه سفر جاده ای است، هواپیما را در مجموعه انتخاب خود نخواهد داشت) و در نهایت بالا بردن دقت مدل. در ساخت مدلهای رفتاری می‌توان از منطق فازی برای وارد کردن رفتار مبهم انسان در مدل استفاده کرد. در این تحقیق به علت پاسخهای مبهم و نادقیق مسافران به سوالات پرسشنامه‌های جمع آوری شده در انتخاب وسیله نقلیه سفر برون شهری، در بیان متغیرهای مدل دقت کافی وجود نداشت به همین دلیل از یک فرآیند خوشه بندی فازی و سپس غیرفازی سازی آنها استفاده و به نوعی متغیرها فیلتر شد و موجبات بهبود نتایج مدل را فراهم آورد. به عنوان یک نمونه از نتایج برداشت اطلاعات می‌توان به مسافرانی اشاره کرد که در شرایط کاملاً یکسان انتخابهای متفاوتی داشته‌اند.

۲. مروری بر ادبیات ودلیل استفاده از منطق فازی

از نظر فلسفی، منطق فازی بیانگر مفهوم منطقی است که در آن بر خلاف منطق ارسطوئی حاکم بر ریاضیات کلاسیک، از منطق چند ارزشی برای بیان مفاهیم خود استفاده می کند. این منطق بر خلاف منطق ارسطوئی که همواره همه چیز را یا هست می داند و یا نیست، مرزی بین هست و نیست فرض نمی کند. در این منطق هر چیز با میزانی مشخص می تواند به یک گروه تعلق داشته باشد. گذشته از مفاهیم فلسفی منطق فازی و مسائل پیرامون آن، نکته مهم از دیدگاه ما در این مقاله کاربرد مدلهای فازی در سیستمهای کلاسیک قبلی و دریافت نتایج مناسب از عملکرد سیستم های جدید است.

بهبهانی و حقیقی در سال ۱۳۹۰ به ارزیابی کاربردی مدلهای لاجیت در تخصیص شبکه ترافیک پرداخته اند. دراین تحقیق فرضیات مختلف رفتاری رانندگان در انتخاب مسیر موجود است که زمینه ساز مدلهای مختلف ترافیک در شبکه هستند. عدم قطعیت مدلهای انتخاب منجر به استفاده از مدلهای احتمالی و درراس آنها مدلهای لاجیت در تخصیص ترافیک شده است. از مهم‌ترین نو آوری این تحقیق وارد کردن اثرات جانبی در روند انتخاب مسیر شبکه است [Behbahani and Haghighi, 2011]

ژائو ژین و همکاران در سال ۲۰۱۲ میلادی، وژائو ژین وکازوشی سانو در سال ۲۰۱۰ میلادی، برای ساماندهی و بهبود سیستم برنامه ریزی الگوهای جابجائی شرکتها جهت هماهنگی فعل و انفعالات فضائی یا فاصله ای، از این روش استفاده کرده اند .[Cao, 2010, Cao and Nguyen, 2012]

ولاگا و همکاران در سال ۲۰۱۲ میلادی برای تعیین موقعیت دقیق وسیله نقلیه در یک زمان مشخص و معین با استفاده از تلفن همراه دارای سیستم مکان یابی جغرافیائی(GIS) که قابل استفاده برای موقعیتهای همزمان چند وسیله نقلیه نیز است از منطق فازی بهره برداری نموده است[Velaga et al. 2012].

۳. هدف و روش تحقیق

در این تحقیق برای هرچه بیشتر در نظر گرفتن رفتار ابهامی انسان در مدلهای انتخاب، از الگوریتم خوشه بندی کاهنده فازی استفاده می‌شود. این الگوریتم می‌تواند مقادیری را که دارای بیشترین همسایگی هستند به عنوان مرکز خوشه انتخاب کرده و با یک شعاع فازی مشخص به دنبال مقادیر دارای بیشترین تا کمترین همسایگی باشد. به نظر می‌رسد کاربرد منطق فازی می‌تواند بهبود چشمگیری در ساختار مدلهای انتخاب وسیله نقلیه سفر و انطباق هر چه بیشتر آن با واقعیتهای موجود ایجاد کند. هدف از این تحقیق وارد کردن ویژگیهای ابهامی رفتار مسافران در مدلهای انتخاب وسیله نقلیه سفر برون شهری است.

پس از جمع آوری و پردازش آمار و اطلاعات اقتصادی- اجتماعی

مسافران، متغیرهای مورد نیاز مدلسازی مشخص می‌شوند، سپس با استفاده از الگوریتم خوشه بندی کاهنده فازی، فازی سازی آنها انجام می‌گردد. مدل مورد استفاده به شکل لاجیت آشیانه‌ای با سه سطح است و با روش بیشینه احتمال پرداخت می‌شود و به این ترتیب توابع مطلوبیت برای هر سطح از ساختار آشیانه‌ای حاصل خواهد شد. در نهایت درصد انطباق نتایج مدل با واقعیت محاسبه خواهد شد.

٤. معرفی ساختار مدل و متغیرها

ساختار مدل این تحقیق یک مدل لاجیت آشیانه‌ای است در سه سطح، که متغیرهای مستقل تابع مطلوبیت آشیانه‌های آن فازی سازی شده‌اند. علت استفاده از این مدل جلوگیری از همپوشانی شیوه‌های حمل و نقل (هوایی، ریلی، جاده‌ای)، مستقل کردن گزینه‌های انتخاب و همچنین افزایش دقت مدل است. گزینه‌های انتخاب بین شیوه حمل و نقل جاده‌ای (اتوبوس و سواری)، شیوه حمل و نقل زمینی (جاده‌ای و ریلی) و انتخاب بین شیوه حمل و نقل غیرهوایی و هوایی هستند که در یک ساختار آشیانه‌ای قرار می‌گیرند. ساختار کلی مدل در شکل۱ قابل مشاهده است.

در این تحقیق در جستجوی مجموعه متغیرهایی بودیم که قویاً در تصمیم گیری مسافران در انتخاب وسیله نقلیه سفرهای برون شهری تأثیر گذار و همچنین هر یک از متغیرها جوابگوی نیاز مدلسازی فازی باشند. جهت افزایش دقت کل مدل نیز لازم بود که اثر پایین در آشیانه بالا وارد شود. برای این امر متغیرهای جدیدی با نام پارامتر تأثیر آشیانه (Logsum) [Ben Akiva et al.1985] ریلی- جاده‌ای به صورت $Lgs1 = LN(e^{U_{B-Au}} + 1)$ (در آن U_{B-Au} تابع مطلوبیت آشیانه سواری- اتوبوس است) و پارامتر تأثیر آشیانه هوایی- غیرهوایی به شکل $Lgs2 = LN(e^{U_{H-R}} + 1)$ (که در آن U_{H-R} تابع مطلوبیت نسبی آشیانه ریلی- جاده‌ای است) ساخته شد. متغیرهای مورد استفاده در مدلسازی عبارت هستند از:

Income: درآمد مسافر، بر حسب هزار ریال در ماه

Cost: هزینه سفر با وسیله مورد نظر، بر حسب ریال

Edu: تحصیلات مسافر، بر حسب کدگذاری (۱- زیر دیپلم ۲- دیپلم و فوق دیپلم ۳- لیسانس و فوق لیسانس ٤-دکتری)

Age: سن مسافر، بر حسب سال

Dis: فاصله مبدأ- مقصد، بر حسب کیلومتر

Job: شغل مسافر، بر حسب کدگذاری (۱- مهندس و پزشک و وکیل ۲- معلم و استاد ۳- آزاد و راننده ٤- نظامی و سرباز ۵-بازنشسته ٦- دانشجو ۷- بیکار)

RFS: دلیل اول انتخاب وسیله نقلیه، برحسب کدگذاری (۱-دسترسی ۲- هزینه ۳-ایمنی ٤-راحتی ۵- سرعت)

WT: زمان انتظار قابل قبول برای مسافر، بر حسب کدگذاری (-۱ کمتر از ۲۰ دقیقه -۲ ۲۰ تا٤۰ دقیقه -۳ ٤۰ تا٦۰ دقیقه -٤ ۱تا۲ ساعت -۵ ۲تا۵ ساعت -٦ هر میزان)

OC: هزینه اضافی قابل قبول برای مسافر، برحسب کدگذاری (۱- کمتر از هزارتومان ۲- بین ۱ تا۲/۵ هزارتومان ۳- بین ۲/۵ تا۵ هزارتومان ٤- بین ۵ تا۱۰ هزارتومان ۵- هر میزان)

NuT: تعداد سفر در سال، برحسب کدگذاری (۱- تا دو بار ۲- دو تا پنج بار ۳- پنج تا ده بار ٤- بیش از ده بار)

PuT: منظور سفر، بر حسب کدگذاری (۱- شغلی ۲- گردش و زیارت ۳- دیدار اقوام ٤- غیره)

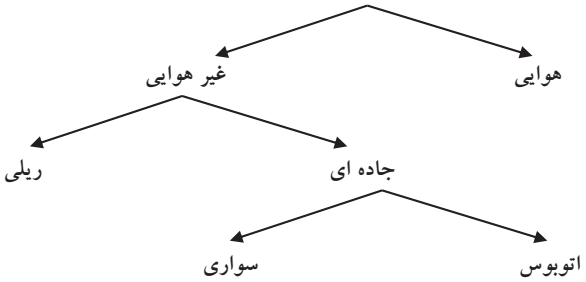
Lgs۱: پارامتر تاثیر آشیانه ریلی- جاده‌ای

Lgs۲: پارامتر تاثیر آشیانه هوایی- غیرهوایی

۵. جمع آوری آمار و اطلاعات

روش اصلی جهت ایجاد یک پایگاه اطلاعاتی برای برآورد پارامترهای مدل، آمارگیری از نمونه‌هایی در شیوه‌های مختلف حمل و نقل است. گرچه فرآیند جمع آوری آمار و اطلاعات به نظر ساده می‌آید، ولی در حقیقت یکی از مراحل دشوار، زمان‌بر و هزینه‌بر در فرآیند مدلسازی انتخاب وسیله نقلیه است. در بسیاری از مطالعات برنامه ریزی حمل و نقل تا حدود نصف بودجه صرف جمع آوری آمار و اطلاعات می‌شود.

برای آمار برداری در این تحقیق، ابتدا فرمهای آماربرداری که حاوی پرسشهای هدفمند بود تهیه شد و اغلب متغیرهای مورد نیاز مدلسازی در قالب پاسخ این پرسشها قرار گرفت. سپس تعداد ٦۵۰ عدد از این پرسشنامه‌ها طی دو هفته در خرداد ماه سال



شکل ۱. ساختار کلی مدل

۱۳۸۵ در ایستگاه راه آهن تهران، ترمینالهای شرق، غرب و جنوب تهران و همچنین سالن٤ فرودگاه بین المللی مهرآباد توزیع شد. این پرسشنامه‌ها توسط مسافران بین تهران و ده شهر مختلف کشور (ساری، نوشهر، گرگان، اصفهان، مشهد، کرمان، بندرعباس، یزد، تبریز و اهواز) تکمیل و جمع آوری شد. پس از دریافت پرسشنامه‌ها، عملیات پردازش و بررسی آنها انجام گردید و در نهایت تعداد ٤٦٧ رکورد ثبت شده قابل اطمینان، جهت استخراج متغیرهای مورد نیاز مدلسازی مورد استفاده قرار گرفت.

٦. بهبود متغیرهای مدل با استفاده از الگوریتم خوشه بندی کاهنده فازی

خوشه بندی کاهنده فازی مبتنی بر معیاری از چگالی نقاط در فضای مرجع است. ایده اساسی این الگوریتم یافتن نواحیی در فضای مرجع است که چگالی بالاتری از نقاط در آنها قرار دارند. ابتدا نقطه دارای بیشترین همسایه، به عنوان مرکز یک خوشه انتخاب می‌شود، سپس نقاط با یک شعاع فازی از پیش تعیین شده حذف می‌شوند و الگوریتم به دنبال نقطه جدیدی با همسایگی بیشتر می‌گردد و این فرآیند تا شمول همه نقاط ادامه می‌یابد [Zimmermann, 2006].

پس از دریافت و پردازش آمار و اطلاعات اقتصادی- اجتماعی سفرکنندگان از قبیل سن، درآمد، تحصیلات، شغل و...، مشخص شد که جنبه‌های مبهم پاسخهای مسافران به سوالات پرسشنامه‌ها (مانند اعلام غیر دقیق و مبهم به متغیر سن و درآمد) سبب غیرقطعی شدن متغیرهای مدل می‌شود، به این دلیل بهبود متغیرهای مورد استفاده در توابع مطلوبیت مدل لاجیت مورد توجه قرارگرفت.

برای این کار از الگوریتم خوشه بندی کاهنده فازی استفاده شد و پس از وارد کردن متغیرها در الگوریتم متغیری که تعداد یا فراوانی بیشتری در مجموعه داشت به عنوان مرکز خوشه انتخاب شد و متغیرهای دیگر بسته به تعداد یا فراوانی آنها در فواصل دورتری از مرکز قرار می‌گرفتند. در نهایت یک منحنی بر نقاط حاصل از خوشه بندی برازش شد که تابع عضویت آن متغیر نامگذاری شد.

همان طور که اشاره شد برای به دست آوردن توابع عضویت متغیرها در این تحقیق، از الگوریتم خوشه بندی کاهنده فازی استفاده شد. نرم افزار مورد استفاده برای خوشه بندی فازی اطلاعات، نرم افزار MATLAB بود. پس از وارد کردن ماتریسهای اطلاعات متغیرهای هر شیوه حمل و نقل در نرم افزار، با اجرای دستور خوشه بندی فازی و وارد کردن شعاع فازی دلخواه، عملیات خوشه بندی داده‌های یک متغیر انجام شد. اگر تمام اطلاعات در یک خوشه قرار نگرفته بودند، به اجرای مجدد این فرمان با انتخاب شعاع فازی جدید پرداخته شد. این روند برای همه متغیرهای انتخاب شده به طور مکرر انجام می‌شود تا در نهایت برای تمام متغیرها در تمام شیوه‌های مختلف حمل و نقل یک تابع عضویت مناسب (با استفاده از الگوریتم خوشه بندی کاهنده) حاصل شود.

۷. ساخت و پرداخت مدل

یکی از روشهای پرداخت مدل لاجیت استفاده از روش بیشینه احتمال است. در این روش تابع احتمال مطابق رابطهٔ زیر نمایش داده می‌شود:

$$L = \prod_{n=1}^{N} \prod_{i \in s} \Pr_n(i)^{y_{in}} \qquad (۱)$$

که درآن N تعداد مشاهدات در نمونه مورد نظر، $\Pr_n(i)$ احتمال انتخاب گزینهٔ $i \in s$ (مجموعهٔ گزینه‌ها) توسط فرد n است، و y_{in} عبارت است از [Meyer, M.D. and…1984]:

$$y_{in} = \begin{cases} ۱ & \text{اگر گزینه i توسط فرد n انتخاب شود} \\ ۰ & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

معمولاً، جهت سادگی محاسبات ریاضی در تحلیلها از لگاریتم L که با L^* نشان داده می شود، استفاده می‌شود. برای بیشینه کردن L^* باید مشتقات جزیی آن را نسبت به هر یک از ضرایب، برابر

صفر قرار داد. به این ترتیب مقادیر ضرایب (B ها) از حل دستگاه معادلات به دست می‌آید.

مقدار L در حالتی که توابع مطلوبیت فاقد متغیرهای توصیفی هستند و تمام ضرایب برابر صفر باشد، به صورت L (۰) نمایش داده می‌شود. در این حالت احتمال انتخاب همه گزینه‌ها یکسان است و به آن مدل فرضی "صفر" گویند. مطابق تعریف، مقدار L (۰) از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$-L(0) = -\sum_{j} n_i \times Ln(P_i) \qquad (۲)$$

که در آن n_i تعداد مشاهدات هر گزینه و P_i احتمال انتخاب هر گزینه است.

مقدار تابع L^* را به ازای ضرایب پرداخت شده با $L^*(B)$ نشان می‌دهند که $L^*(B) < L^*(0)$ است. در صورتی‌که در توابع مطلوبیت تنها ضریب ثابت وجود داشته باشد، در این حالت احتمال انتخاب گزینه‌ها برابر فراوانی نسبی آنها است که به آن مدل "سهم بازار" اطلاق می‌شود. این مقدار با $L^*(c)$ نشان داده شده و $L^*(B) < L^*(c) < L^*(0)$ خواهد بود.

تعیین اهمیت هر متغیر توصیفی مدل در بازهٔ اطمینان مشخص، مشابه روش متداول در مدل‌های روندگرا از طریق آزمون t صورت می‌گیرد. جهت ارزیابی مدل‌های چندگانه و دوگانه از آزمون مربع خی (χ^2) استفاده می‌شود.

برای سنجش راست نمایی مدل از شاخص ρ^2 استفاده می‌شود:

$$\rho_0^2 = 1 - \frac{L^*(\beta)}{L^*(0)} \qquad (۳)$$

$$\rho_c^2 = 1 - \frac{L^*(\beta)}{L^*(c)} \qquad (٤)$$

با توجه به آن‌که تابع ρ^2، تابعی غیر نزولی از X ها است، یعنی با افزایش تعداد متغیرها ρ^2 بهبود می‌یابد، برای حذف اثر افزایش متغیرها می‌توان از شاخص راستنمایی تصحیح شده که با $\bar{\rho}^2$ نشان داده می‌شود، استفاده کرد :

$$\bar{\rho}^2 = 1 - \frac{L^*(\beta) - df}{L^*(0)} \qquad (۵)$$

با توجه به روابط مطرح شده مقدار ρ^2 بین ۰ و ۱ قرار دارد و هر چه به سمت ۱ نزدیک‌تر باشد، برازش بهتر مدل را می‌رساند. با حاصل شدن مقادیر فازی متغیرها با استفاده از الگوریتم خوسه بندی کاهنده، پایگاه داده ها به صورت مقادیری بین صفر و یک قرار گرفت. جهت پرداخت مدل، با بکارگیری یک روش غیرفازی سازی، مقادیر داده ها از بازه صفر و یک خارج شد. به این ترتیب با ضرب مقدار واقعی داده ها در مقدار متناظر آن از بازه صفر و یک، مقادیر نهایی داده های هر متغیر حاصل شد. ساخت و پرداخت مدل با هدف به دست آوردن ضرایب متغیرهای مدل و یافتن تابع مطلوبیت هر آشیانه، انجام می‌گیرد. پس از تعیین متغیرهای مستقل و وابسته، از آنجا که در هر آشیانه دو گزینه انتخاب داریم، پرداخت مدل لاجیت دوگانه با استفاده از روش بیشینه احتمال صورت گرفت. در این روش پس از ورود هر متغیر به مدل با استفاده از " آزمون مربع خی[۲]" صلاحیت مدل تأیید یا رد می‌شود و سپس با کمک " آزمون تی[۳]" اعتبار متغیر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد [Akiyama and Okushima, 2005 ; and Tai et.al 2003]. اگر یک متغیر در هر دو آزمون تأیید شود، صلاحیت ورود به مدل را پیدا می‌کند.

۷-۱ انتخاب بین سواری و اتوبوس

در این آشیانه در واقع یک مدل لاجیت دوگانه برای انتخاب دو شیوه حمل و نقل سواری- اتوبوس ساخته و پرداخته می‌شود. برای این منظور از آمار و اطلاعات مربوط به مسافرانی که حمل و نقل جاده‌ای را برای سفر برگزیده بودند استفاده شد. برای شروع فرآیند مدلسازی، متغیرها یکی پس از دیگری به مدل وارد شده و مورد آزمونهای ذکر شده قرار می‌گیرند. شکل نهایی مدل این آشیانه به صورت زیر قابل مشاهده است:

$$U_{B\text{-}Au} = -5.451 - 6.95 \times Cost + 6.304 \times Dis + 4.906 \times Edu + 4.308 \times Age \qquad \rho^2_{(Nagelkerke)} = 0.753 \qquad (٦)$$

۷-۲ انتخاب بین سفر جاده‌ای و ریلی

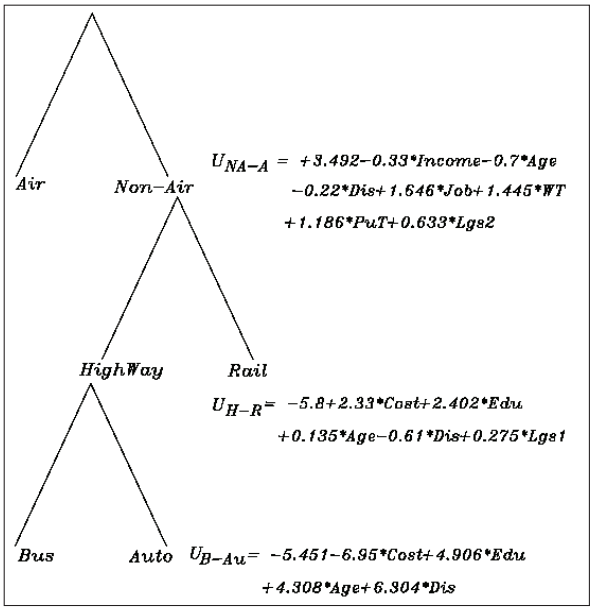
در این آشیانه نیز در واقع یک مدل لاجیت دوگانه برای انتخاب بین دو شیوه حمل و نقل جاده‌ای و ریلی (قطار) ساخته و پرداخته می‌گردد. تنها تفاوت مدلسازی این آشیانه ورود متغیر تأثیر آشیانه ریلی- جاده‌ای است که این متغیر باید پس از گذراندن آزمون

جدول ۱. ضرایب متغیرهای مدل در هر آشیانه

ضرایب	متغیرها													
	Income	Cost	Edu	Age	Dis	Job	RFS	WT	OC	NuT	PuT	Lgs1	Lgs2	ثابت
آشیانه اتوبوس- سواری	*	-٦/٩٥	٤/٩٠٦	٤/٣٠٨	٦/٣٠٤	*	*	*	*	*	*	*	*	-٥/٤٥١
آشیانه ریلی- جاده ای	*	٢/٣٣	٢/٤٠٢	٠/١٣٥	-٠/٦١	*	*	*	*	*	*	٠/٢٧٥	*	٥/٨
آشیانه هوایی- غیرهوایی	-٠/٣٣	*	*	-٠/٧	-٠/٢٢	١/٦٤	*	١/٤٤	*	*	١/١٨	*	٠/٦٣٣	٣/٤٩٢

جدول ۲. بهبود شاخص راست نمایی مدل با متغیرهای بهبود یافته

آشیانه انتخاب	اتوبوس – سواری	ریلی – جاده‌ای	هوایی – غیرهوایی
مدل با متغیرهای بهبود یافته	۰/۷۵۳	۰/۶۸۱	۰/۵۱۶



شکل۲. مدل لاجیت آشیانه‌ای انتخاب وسیله نقلیه سفرهای برون شهری

مربع خی و آزمون تی، تأیید صلاحیت شده و وارد مدل شود. شکل نهایی مدل این آشیانه نیز به صورت زیر است:

U H-R = -5.8 +2.402*Edu+0.135*Age+2.33*Cost-

0.61*Dis-0.275*Lgs1 $\rho^2_{(\text{Nagelkerke})} = 0.681$ (۷)

۳-۷ انتخاب بین سفر هوایی و غیرهوایی

این آشیانه شامل یک مدل لاجیت دوگانه برای انتخاب بین دو شیوه حمل و نقل هوایی (هواپیما) و غیر هوایی است. برای مدلسازی این آشیانه از کل آمار و اطلاعات ثبت شده (به جز مسافران شهر ساری) استفاده شد. در این آشیانه نیز با استفاده از تابع مطلوبیت به دست آمده در مرحله گذشته، پارامتر تأثیر آشیانه پایین بر این آشیانه (Lgs۲) را می‌یابیم. سپس مدلسازی را با ورود یک به یک متغیرها به مدل آغاز می کنیم.

U Na-A = +3.492 -0.33*Income -0.22*Dis -0.7*Age +

1.445*WT +1.646*job +1.186*PuT +0.633*Lgs2

$\rho^2_{(\text{Nagelkerke})} = 0.516$ (۸)

صورت نهایی مدل لاجیت آشیانه‌ای به دست آمده در شکل۲ قابل مشاهده است.

چون در هر آشیانه احتمال انتخاب نسبی است (مثلاً انتخاب اتوبوس نسبت به سواری) هر جا که ضریب مثبت است، یعنی با زیاد شدن مقادیر متغیر، احتمال انتخاب گزینه اول (مثلاً در آشیانه انتخاب اتوبوس- سواری، انتخاب اتوبوس) بیشتر است و چنانچه ضریب متغیر منفی باشد یعنی با زیاد شدن مقادیر آن، احتمال انتخاب گزینه دوم (مثلاً در آشیانه انتخاب اتوبوس- سواری، انتخاب سواری) بیشتر می شود.

۸. اعتبارسنجی مدل

پس از به دست آوردن شکل نهایی مدل، اعتبارسنجی مدل انجام شد. برای این منظور شاخص راستنمایی مدل به دست آمده در این تحقیق با مقدار متناظر همین شاخص در مدل مشابهی که پایگاه داده متغیرهای

آن بدون فیلتر کردن خطاهای انسانی ساخته شده بود[Sajjadi, 2007]، مورد مقایسه قرار گرفت. درصد بهبود شاخص راستنمایی مدل فازی نسبت به مدل غیر فازی در جدول۲ قابل مشاهده است.

۹. نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که کاربرد الگوریتم خوشه بندی کاهنده فازی در فیلتر کردن خطاهای انسانی متغیرهای مدل انتخاب لاجیت، سبب انطباق بیشتر مدل با واقعیتها شد. با اجرای تکنیک فازی سازی متغیرها با استفاده از الگوریتم خوشه بندی کاهنده فازی، موفقیت چشمگیری در فازی‌سازی متغیرها حاصل شد و بر اساس آن یک مدل لاجیت آشیانه‌ای تودرتو که می‌تواند وضعیتهای مختلف انتخاب مسافران همراه با همپوشانی را بیان کند، ایجاد شد. مدل لاجیت آشیانه‌ای تودرتوی به دست آمده امکان مقایسه انتخاب سفرها در هر آشیانه (هوایی- غیرهوایی، جاده‌ای- ریلی و سواری- اتوبوس) و نیز مقایسه سهم وسیله‌ها در آشیانه‌های مختلف را امکان پذیر می‌سازد. اعتبارسنجی مدل نیز نشان داد که این مدلسازی با شاخص راستنمایی $\rho^2 = 0.65$ و بهبود ٪۱۹/۲٤ نسبت به مدل مرجع [Sajjadi, 2007] می‌تواند وضعیت انتخابهای افراد را به خوبی در شرایط ابهامی بیان کند.

با توجه به اینکه طیف وسیعی از متغیرها از قبیل درآمد، هزینه سفر، سن مسافر، فاصله مبدأ- مقصد و ... در این مدل بکار گرفته شده است، امکان پیش‌بینی و انعطاف‌پذیری زیادی برای تغییرات رفتاری انتخاب در اثر تغییر هر کدام از این متغیرها وجود داشته است. از آن جمله می‌توان به تغییر رفتار انتخاب در اثر کاهش یا افزایش هزینه حمل و نقل اشاره کرد که می‌تواند در مطالعات کلان یا موضعی حمل و نقل برون شهری و بخصوص هواپیمایی مورد استفاده قرار گیرد.

۱۰. پی نوشتها

1- Nested Logit Model
2- Chi- Square
3- T- Test

۱۱. مراجع

- بهبهانی حمید و حقیقی، فرشید رضا (۱۳۹۰)، "متدولوژی وارزیابی کاربرد مدلهای لاجیت در تخصیص ترافیک شبکه"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ٦ و۷ اردیبهشت ۱۳۹۰، دانشگاه سمنان، ایران.

- سجادی، م. (۱۳۸٦) " مدلسازی انتخاب سفر هوایی در قیاس با سفر جاده‌ای در چند کریدور اصلی تهران" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین.

- Akiyama, T. and Okushima, M. (2005) "Integrated estimation of traffic flow with fuzzy modal choice model", Transportation Research Part B52.

- Ben Akiva, M. and Lerman, S. R. (1985) "Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand", MIT Press, Cambridge.

- Cao, Y., Nguyen, Kazushi, Sano, Tu Vu Tran and Tan Thanh, Doan. (2012) "Firm relocation patterns incorporating spatial interactions", Journal of Transportation Research Board, ASCE.

- Cao, Y. Nguyen and Sanom Kazushi. (2010) "Location choice model for logistic firms with consideration of spatial effects", Journal of Transportation Research Board, ASCE, Vol.2168. pp 17-23.

- Meyer, M. D. and Miller, E. J. (1984) "Urban transportation planning", Londin, McGraw-Hill.

- Tai, H., Akiyama, T. and Okushima, M. (2003) "Development of combined modal split/ traffic assignment model with fuzzy logic", Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies.

- Velaga, N., Nelson, J., Edwards, P., Corsar, D., Sripada, S., Sharma, N. and Beecroft, M. (2012) "Development of a map-matching algorithm for rural passenger information systems via mobile phones and crowd-sourcing", Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE.

- Zimmermann, H. J. (2006) "Fuzzy set theory and its application", 3rd Edition, Kluwer Academic Publishers.