

تحلیل چندمعیاره و چندرده‌ای شبکه‌های حمل و نقل با استفاده از مدل‌های Mixed GEV: مبانی نظری و متدولوژی

زهرا شاه‌حسینی*، کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی شریف

میلاد حقانی، کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی شریف

حسین پورزاهدی، استاد، دانشگاه صنعتی شریف

تاریخ پذیرش: تیر ۹۳

تاریخ ارسال مقاله: خرداد ۹۳

*zahra.shahhoseini@ymail.com

چکیده

بسیاری از مطالعات در زمینه برنامه‌ریزی حمل و نقل به هر چه واقع‌بینانه‌تر ساختن مدل‌سازی رفتار اختصاص یافته‌است. مسأله مدل‌سازی انتخاب مسیر نیز از قاعده فوق مستثنی نبوده است. دقت و کارایی بسیاری از تصمیمات گرفته شده در زمینه طراحی و توسعه شبکه‌های حمل و نقل، قیمت‌گذاری مسیر و اتخاذ دیگر سیاست‌های مرتبط با مدیریت عرضه یا تقاضا در گروی دقت در پیش‌بینی الگوی تعادلی ترافیک در شبکه است. به همین جهت توسعه مدل‌های تخصیص ترافیک تعمیم‌یافته‌تر، دقیق‌تر و با حساسیت بیشتر در سال‌های اخیر در ادبیات حمل و نقل مورد توجه بوده‌است. این پژوهش به معرفی و توسعه مبانی نظری یک رویکرد جدید در تخصیص ترافیک با هدف افزایش دقت، حساسیت و سیاست‌پذیری در پیش‌بینی الگوی ترافیک شبکه‌های حمل و نقل در نتیجه بهره‌گیری از فرضیات رفتاری سالم‌تر در مدل‌سازی رفتار انتخاب مسیر اختصاص خواهد یافت. رویکرد پیشنهادی شامل تخصیص ترافیک چندمعیاره (چندمتغیره) و چندرده‌ای و با استفاده از مدل‌های مقدار حدی تعمیم‌یافته‌ی مخلوط خواهد بود. چهارچوب نظری متدولوژی پیشنهادی با جزئیات شرح داده شده و مدل بر روی شبکه‌های آزمایشی نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌است. همچنین مقایسه‌ای نیز بین رویکرد پیشنهادی با مدل سنتی تک متغیره و تک‌رده‌ای قطعی صورت گرفته که حاکی از تفاوت قابل توجهی میان نتایج دو روش است.

کلید واژه: مدل‌سازی انتخاب مسیر، مدل‌های لوجیت و لوجیت مخلوط، پرداخت مدل، داده‌های ارجحیت اظهارشده

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر در ادبیات حمل و نقل مورد توجه بوده است. این پژوهش به معرفی و توسعه مبانی نظری یک رویکرد جدید در تخصیص ترافیک با هدف افزایش دقت، حساسیت و انعطاف‌پذیری در پیش‌بینی الگوی ترافیک شبکه‌های حمل و نقل در نتیجه بهره‌گیری از فرضیات رفتاری سالم‌تر در مدل‌سازی رفتار انتخاب مسیر اختصاص خواهد یافت. رویکرد پیشنهادی شامل تخصیص ترافیک چندمعیاره (چندمتغیره) و چندرده‌ای با استفاده از مدل‌های مقدار حدی تعمیم‌یافته مخلوط خواهد بود. مدل‌های سنتی تخصیص ترافیک اغلب تک‌معیاره و تک‌رده‌ای هستند و در اکثر آن‌ها از معیار تعادل واردراپ [۱] برای مدل‌سازی رفتار انتخاب مسیر استفاده شده است. تعدیل هر یک از محدودیت‌های فوق در پژوهش‌های جداگانه‌ای تاکنون پیشنهاد شده اما در نظرگیری هم زمان آن‌ها به منظور بهره‌گیری هم زمان از مزایای نظری این تعمیم‌ها تاکنون در ادبیات تخصیص ترافیک گزارش نشده است. ضمن آن‌که مشخصه نمایش جنبه‌های اقتصادی-اجتماعی مسافران به صورت صریح در مدل‌سازی رفتار انتخاب مسیر برای نخستین بار در تخصیص ترافیک و توسعه کاربرد مدل‌های مقدار حدی تعمیم‌یافته مخلوط نیز برای اولین بار در ادبیات مدل‌سازی در این پژوهش گزارش شده است.

مدل‌سازی رفتار از مهم‌ترین مباحث تحلیل تقاضای سفر به شمار می‌آید. بسیاری از مطالعات در زمینه برنامه‌ریزی حمل و نقل به هر چه واقع‌بینانه‌تر ساختن مدل‌سازی رفتار اختصاص یافته‌است، چرا که بسیاری از نیازهایی که مهندس حمل و نقل می‌بایست برای پاسخ‌گویی به آن‌ها برنامه‌ریزی نماید و همچنین بسیاری از تغییرات در ازای اجرای سیاست‌های مختلف که می‌بایست آن‌ها را پیش‌بینی کند در حقیقت، نتیجه انتخاب‌های استفاده‌کنندگان خدمات حمل و نقل است. بنا بر این افزایش توان پیش‌بینی رفتار افراد در استفاده از تسهیلات حمل و نقل به معنای دقت بیشتر در برآورد تقاضا، ارائه تحلیل‌های واقع‌گرایانه‌تر و در نتیجه اتخاذ تصمیم‌های بهتر خواهد بود. از همین رو، در سال‌های اخیر توجه بیشتری از جانب برنامه‌ریزان و محققان در زمینه توسعه مدل‌های واقع‌گرایانه‌تر، با فرضیات رفتاری سالم‌تر و با حساسیت بیشتر نسبت به متغیرهای مختلف صورت گرفته است. مسأله مدل‌سازی انتخاب مسیر نیز از قاعده فوق مستثنی ترافیک در شبکه است. به همین جهت توسعه مدل‌های تعمیم‌یافته‌تر تخصیص ترافیک، دقیق‌تر و با حساسیت بیشتر

مثال، این فرض منطقی خواهد بود که در توابع مطلوبیت مسیر، همه استفاده‌کنندگان شبکه به لحاظ درک یا حساسیت نسبت به متغیری مثل زمان سفر یکسان نیستند، بلکه تصمیم‌گیرندگان مختلف به لحاظ ارزش زمان سفر مقادیر متفاوتی برای خود دارند. ویژگی‌ای که مدل لوجیت استاندارد قادر به نمایش آن نیست. در نظرگیری توزیع احتمالی پیوسته برای ضریب زمان سفر در واقع معادل در نظرگیری توزیع برای ارزش زمان بر روی جمعیت استفاده‌کنندگان شبکه است که به لحاظ نظری فرض بسیار تعمیم‌یافته و سالمی است. نمایش این ناهمگونی^۱ در انتخاب، به طور عادی در انحصار مدل لوجیت مخلوط است. به علاوه، رویکرد استفاده از لوجیت مخلوط در تخمین بر روی داده‌های ارجحیت اظهار شده^۲ SP یک امتیاز بسیار ویژه دارد و آن نمایش همبستگی^۳ بر روی بُعد زمان است که همواره هنگامی که پای داده‌های SP در میان باشد. لوجیت مخلوط را به عنوان یک گزینه مناسب مدل‌سازی پیش‌روی محقق قرار می‌دهد. کاربرد مدل لوجیت استاندارد (و نه انواع دیگر) مخلوط در زمینه انتخاب مسیر تا کنون به شکل بسیار محدودی و آن هم با رویکردی متفاوت از این پژوهش و با هدف نمایش همپوشانی مسیرها صورت گرفته است [۲]. اما نکته‌ای اساسی این است که تا کنون در ادبیات مدل‌سازی و اقتصادسنجی استفاده از منافع هر دوی این رویکردها به طور همزمان، یعنی نمایش توأم همبستگی میان گزینه‌ها (یا همان الگوهای جانشینی محدود نشده یا کمتر محدود شده) و ناهمگونی در درک و دریافت و انتخاب مسافران (و احياناً نمایش همبستگی بر روی زمان اگر داده‌های SP در کار باشد) صورت نگرفته است، هرچند که تئوری محدودیتی در این مورد قائل نیست و به سادگی اجازه ساخت مدل‌هایی نظیر لوجیت ترکیب‌های دوتایی مخلوط^۴ یا لوجیت آشیانه‌ای متقاطع مخلوط^۵ و به طور عمومی مدل‌های مقدار حدی تعمیم‌یافته مخلوط^۶ را می‌دهد. اصطلاحات فنی اخیر در ادبیات مدل‌سازی تاکنون به طور رسمی به کار نرفته‌اند.

در این پژوهش بخش ۲ مروری خواهیم داشت بر مطالعات پیشین صورت گرفته در زمینه توسعه و استفاده از مدل لوجیت مخلوط و نیز منابع مرتبط با رویکرد تخصیص چندمعیاره ترافیک. لازم به ذکر است که با توجه به بحث صورت گرفته پیش از این، از آن جا که در زمینه کاربرد مدل‌های مخلوط در تخصیص ترافیک و نیز کاربرد مدل‌های مقدار حدی تعمیم‌یافته مخلوط در مدل‌سازی مطالعه‌ای منتشر نشده است.

مدل‌های مقدار حدی تعمیم یافته^۱ (GEV) و نیز مدل لوجیت مخلوط^۲ که هر دو از بدیع‌ترین و پیشرفته‌ترین مدل‌های انتخاب هستند در سال‌های اخیر به طور قابل ملاحظه‌ای مورد توجه برنامه‌ریزان و محققان حمل و نقل نیز قرار گرفته و در مدل‌سازی رفتار در تحلیل تقاضای حمل و نقل به کار گرفته شده‌اند. مدل‌های GEV و لوجیت مخلوط هر دو می‌توانند از زوایایی متفاوت به عنوان تعمیم‌هایی بر مدل ساده لوجیت استاندارد نگریسته شوند. مدل‌های GEV به طور خاص فرض توزیع‌های مستقل بر روی گزینه‌ها برای عبارت‌های خطا که منجر به تحمیل الگوی جانشینی مستقل بودن از گزینه‌های نامرتبط^۳ IIA به مدل‌سازی انتخاب می‌شد را تعدیل می‌کنند. این مدل‌ها از طریق اجازه دادن به در نظرگیری توزیع‌های توأم برای مطلوبیت‌های تصادفی (یا به طور معادل برای عبارت‌های خطا) امکان نمایش الگوهای جانشینی بسیار تعمیم‌یافته‌تر و به عبارت دیگر با محدودیت کمتری را به تحلیل‌گر می‌دهند. به طور خاص، ورود این مدل‌ها به مسأله انتخاب مسیر دقیقاً به منظور نمایش هم پوشانی^۴ مسیرهای مختلف و در نظرگیری آن در مدل‌سازی انتخاب مسیر بوده است. مسأله‌ای که محل اصلی نقد منتقدان به کاربرد مدل لوجیت استاندارد در تخصیص ترافیک بوده چرا که با توجه به وجود عینی همپوشانی بین مسیرهای مختلف در یک شبکه حمل و نقل، تحمیل فرض مستقل بودن از گزینه‌های نامرتبط به فرآیند مدل‌سازی انتخاب مسیر فرض بسیار محدودکننده‌ای به شمار می‌آید. مدل‌های GEV همگی در این ویژگی نیز مشترک‌اند که نظیر لوجیت استاندارد از فرم بسته برای محاسبه احتمالات برخوردارند. اجازه دادن الگوهای رقابت (جانشینی)^۵ تعمیم یافته میان گزینه‌ها به همراه راحتی محاسباتی ناشی از برخوردار بودن فرم بسته این مدل‌ها را در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه محققان قرار داده است.

مدل لوجیت مخلوط نیز فرم دیگری از تعمیم بر مدل لوجیت استاندارد است. به طور سنتی دو تفسیر مختلف برای لوجیت مخلوط ارائه می‌شود که البته هر دو به لحاظ نظری معادل‌اند اما از منظری که در این پژوهش بیشتر مورد نظر است لوجیت مخلوط را می‌توان به عنوان مدلی تفسیر کرد که جای در نظرگیری یک ذائقه واحد برای جمعیتی از انتخاب‌کنندگان طریق تخمین مقادیری واحد برای ضرایب متغیرهای تابع مطلوبیت، تنوع سلیقه در ترجیح میان پارامترها یا ویژگی‌های مختلف را میان انتخاب‌کنندگان از طریق در نظرگیری توزیع احتمالی برای همه یا برخی از ضرایب تابع مطلوبیت نمایش می‌دهد. به عنوان

1. Heterogeneity
2. Stated Preference
3. Correlation
4. Mixed Paired combinatorial Logit
5. Mixed Cross-nested Logit
6. Mixed Generalized Extreme Value

1. Generalized Extreme Value
2. Mixed Logit
3. Independence from Irrelevant Alternatives
4. Overlap
5. Competition (or Substitution Pattern)

منابع تخصیص چندمعیاره و مدل‌های انتخاب مخلوط به صورت جداگانه و مستقل مرور شده‌اند. بخش ۳ به تبیین مبانی نظری مدل‌های مقدارحدی مخلوط و بخش ۴ به نمایش قابلیت کاربرد این مدل‌ها بر روی شبکه‌های آزمایشی اختصاص خواهد یافت. مقایسه‌ای نیز بین رویکرد پیشنهادی در این پژوهش و رویکرد سنتی تخصیص ترافیک قطعی صورت خواهیم داد. بخش ۵ نیز به بیان خلاصه و نتیجه‌گیری اختصاص خواهد یافت.

۲- مروری بر منابع

۱-۲- مدل‌سازی با استفاده از لوجیت مخلوط

مدل لوجیت مخلوط را می‌توان از انعطاف‌پذیرترین مدل‌های انتخاب دانست که می‌توان هر مدل مطلوبیت تصادفی دیگری را با آن تقریب زد [۳]. این مدل همچنین قادر به نمایش هر نوع الگوی جانشینی، تنوع تصادفی ذائقه^۱ بر روی انتخاب‌کنندگان و همچنین نمایش همبستگی در مطلوبیت‌ها بر روی زمان (در آزمایش‌های SP و داده‌های پانل^۲) است. همچنین بر خلاف دیگر مدل‌های انتخاب، توزیع خطاها در آن محدود شده نیست و قادر به در نظرگیری هر نوع توزیعی برای عبارت‌های تصادفی خطا است. همچنین شبیه‌سازی احتمالات آن سر راست است. افزایش سرعت محاسبات کامپیوتری و نیز درک بهتر از فرآیند شبیه‌سازی در سال‌های اخیر امکان به کارگیری هر چه بیشتر قدرت این مدل را فراهم ساخته است [۱].

مبانی و چهارچوب نظری مدل لوجیت مخلوط در منابع متعددی ذکر شده است. از جمله و از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مک‌فادن و ترین [۴]، ریولت و ترین [۵]، ترین و سانیر [۶]، ترین [۷]، ترین [۸]، ترین [۹]، واکر [۱۰]، چرچی و ارتوزار [۱۱]، مونیزاگا و آلوارز-دازیانو [۱۲] و نارلا و بات [۱۳] اشاره کرد. مدل لوجیت مخلوط در ادبیات گاهی مدل با ضرایب تصادفی^۳ (دالی و همکاران [۱۴]) و گاهی هم مدل پروبیت چندجمله‌ای با هسته‌ی لوجیت یا به اختصار مدل هسته - لوجیت^۴ نامیده می‌شود [۱۵]. بخور و همکاران [۲] مدل هسته لوجیت را به منظور در نظرگرفتن همبستگی میان مطلوبیت گزینه‌های مختلف در مسأله انتخاب مسیر به کار گرفتند.

به طور سنتی، تخمین مدل لوجیت مخلوط با استفاده از روش بیشینه درست‌نمایی شبیه‌سازی^۵ شده انجام می‌شود که در آن با تولید اعداد (شبه) تصادفی، عبارت تابع تحت انتگرال بارها محاسبه شده و سپس میانگین نتایج گرفته می‌شود.

بات [۱۶] روش جایگزینی برای تخمین مدل لوجیت مخلوط پیشنهاد نمود و با آزمایش بر روی مسأله انتخاب وسیله نشان داد که روش پیشنهادی دقت بیشتری را در ازای تعداد دفعات نمونه‌گیری تصادفی کمتر و در نتیجه زمان محاسباتی کمتر به دست می‌دهد.

۲-۲- تخصیص ترافیک چندمعیاره

مطالعاتی که در آن‌ها مدل‌های تخصیص ترافیک به صورت چند متغیره یا چند معیاره^۱ در نظر گرفته شده باشند به صورت محدودی در ادبیات حمل و نقل یافت می‌شوند. از مهم‌ترین و مقبول‌ترین آن‌ها شاید بتوان به مطالعات صورت گرفته توسط دافرموس [۱۷] لورنت [۱۸، ۱۹، ۲۰]، یانگ و هوانگ [۲۱]، ناگورنی [۲۲]، ناگورنی و دانگ [۲۳] و دایال [۲۴، ۲۵ و ۲۶] اشاره نمود. اما تقریباً تمامی این مطالعات در یک ویژگی مشترک‌اند و آن در نظرگیری یک ترکیب خطی از زمان و هزینه سفر به عنوان هزینه عمومی^۲ مسیر یا تابع عدم مطلوبیت سفر است. برخی از این مطالعات با تمایز قائل شدن برای مقدار ارزش زمان^۳ سفر رده‌های مختلف مسافران، رویکرد تعمیم یافته‌تر و پیشرفته‌تری را در پیش گرفته‌اند. برخی رده‌های مختلفی از مسافران را به صورت گسسته به لحاظ ارزش زمان سفر متمایز کرده و برخی نیز توزیعی پیوسته برای ارزش زمان سفر در نظر گرفته‌اند. به عنوان مثال، ناگورنی [۳۲] یک مدل چندمعیاره و چندرده‌ای^۴ برای تعادل ترافیکی توسعه داد که در آن مسافران هر کلاس (رده) عدم مطلوبیت سفر از یک مسیر را به صورت ترکیب وزن‌داری از زمان سفر و هزینه سفر درک می‌کنند. مدل به صورت صریح اثر تراکم^۵ (یا همان وابستگی زمان سفر به جریان ترافیک عبوری) را می‌بیند.

رویکرد مشابهی نیز توسط دایال [۲۴، ۲۵ و ۲۶] به منظور نمایش واکنش متفاوت مسافران به فاکتورهای مختلف یک مسیر واحد نظیر زمان سفر، تراکم و عوارض مسیر در انتخاب مسیر پیشنهاد شد. وی مدل خود را T2 نامید که در آن یک ترکیب تصادفی خطی زمان و هزینه سفر به عنوان معیار عدم مطلوبیت به هر مسیر اختصاص داده می‌شود. در حقیقت T2 فرض می‌کند که هر مسافر ارزش زمان سفر خود را دارد و مسیری را انتخاب می‌کند که با توجه به این ارزش زمان سفر، ترکیبی خطی از زمان و هزینه را کمینه نماید. به بیان دیگر ارزش زمان سفر در مدل مذکور متغیری تصادفی فرض می‌شود که دارای توزیعی بر روی جمعیت استفاده‌کنندگان شبکه است. این تنها وجه تصادفی

1. Multicriteria
2. Generalized Cost
3. Value of Time
4. Multiclass
5. Congestion

1. Random Taste Variation
2. Panel Data
3. Random Coefficient Model
4. Logit Kernel
5. Simulated Maximum Likelihood

۳- مبانی نظری مدل‌های مقدار حدی تعمیم یافته‌ی مخلوط

مدل‌های احتمالی انتخاب مسیر نوعاً از نظریه‌ی مطلوبیت تصادفی استخراج می‌شوند. یک مسافر نوعی را از n میان N مسافر یک مبدأ - مقصد در نظر بگیرید که برای سفر از مبدأ به مقصد خود با مجموعه‌ای از J_n مسیر که آن را \mathbb{J}_n می‌نامیم مواجه است ($J_n = |\mathbb{J}_n|$) مطلوبیتی که این مسافر از مسیر $j \in \mathbb{J}_n$ دریافت می‌کند با U_{nj} نمایش داده می‌شود. در حالت کلی، این مطلوبیت توسط تحلیل‌گر قابل مشاهده نیست و به دو بخش تقسیم می‌شود: یک مؤلفه قطعی^۱ (غیر تصادفی)، V_{nj} که بخش قابل نمایش مطلوبیت^۲ نامیده می‌شود و یک بخش تصادفی^۳، ε_{nj} که عبارت یا مؤلفه‌ی خطا^۴ یا اختلال^۵ نامیده می‌شود و در نظر گیرنده همه عواملی است که بر مطلوبیت تأثیر گذاشته و در V_{nj} لحاظ نشده‌اند. به عبارت دیگر، ε_{nj} لحاظ‌کننده‌ی ماهیت تصادفی مطلوبیت است:

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad \forall n = 1, \dots, N \quad \forall j \in \mathbb{J}_n \quad (1)$$

در رابطه فوق، بالانویس rs را که نشان دهنده انتخاب مسیر بین زوج مبدأ-مقصد rs است برای اختصار حذف کرده‌ایم. V_{nj} تابعی از پارامترهایی ناشناخته اما به لحاظ آماری قابل تخمین و ویژگی‌های سفر در مسیر j و احیاناً ویژگی‌های شخصی فرد n است. عبارت خطا، ε_{nj} منعکس کننده همه عوامل تأثیرگذار بر مطلوبیت است که تحلیل‌گر نمی‌تواند آن‌ها را به صورت صریح در مدل نمایش دهد. نظیر خطای اندازه‌گیری^۶، خطای درک افراد^۷ و یا اشتباه در تعیین مدل^۸. ویژگی‌های هر مدل انتخاب به شدت به ساختار و توزیع احتمالی که برای عبارت‌های خطای آن در نظر گرفته می‌شود بستگی دارد.

اصل موضوع بهینه‌سازی مطلوبیت در نظریه مطلوبیت تصادفی بیان می‌دارد که هر مسافر مسیری را انتخاب خواهد کرد که اعتقاد دارد از همه مطلوب‌تر است یا به عبارت دیگر، بیشترین مطلوبیت را از آن دریافت می‌کند. بنابراین احتمال انتخاب یک مسیر مانند j توسط یک فرد نوعی مانند n به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_{nj} = \text{Prob}(U_{nj} > U_{nk}; \forall k \neq j) = \text{Prob}(V_{nj} + \varepsilon_{nj} > V_{nk} + \varepsilon_{nk}; \forall k \neq j)$$

تصادفی مدل پیشنهادی دایال است. این مدل در عین حال که یک وجه تصادفی انتخاب مسیر یعنی همان متفاوت بودن ارزش زمان سفر افراد مختلف را در نظر می‌گیرد، یک وجه تصادفی دیگر از فرآیند انتخاب مسیر را نادیده می‌گیرد که همان خطای درک، دریافت و اندازه‌گیری است که به طور معمول در تمامی مدل‌های تصادفی انتخاب وارد می‌شود. به عبارت دیگر دایال فرض می‌کند هر مسافر با آگاه بودن از مقدار ارزش زمان سفر خود و هزینه و زمان سفر تمامی مسیرهای موجود، قادر است مسیری را که هزینه عمومی متناظر با شخص او را کمینه می‌کند تشخیص داده و انتخاب نماید. حال آن‌که (۱) هر مسافر قادر به اندازه‌گیری یا تشخیص زمان و هزینه تمامی مسیرها به طور دقیق نیست. (۲) مسافران نوعاً از تمام مسیرهای ممکن بین مبدأ-مقصد خود آگاه نیستند. (۳) ممکن است مسافران مختلف معیارهای دیگری هم برای انتخاب مسیر داشته باشند که در کنترل تحلیل‌گر نیست. (۴) اندازه‌گیری ویژگی‌های مسیرها برای خود تحلیل‌گر نیز به طور دقیق امکان‌پذیر نیست و (۵) حتی اگر زمان و هزینه سفر تنها معیارهای انتخاب همه افراد باشد معلوم نیست همه مسافران الزاماً ترکیبی خطی از این دو معیار را به عنوان ملاک انتخاب مسیر خود به کار ببرند. با توجه به همه این دلایل، یعنی خطای درک و دریافت ویژگی‌ها توسط مسافران، خطای اندازه‌گیری، خطای تعیین مدل و نیز عدم برقراری فرض مسافران بهینه‌گر خطاناپذیر، در نظر گرفتن یک عبارت خطای کلی در تابع (عدم) مطلوبیت مسیر، به لحاظ رفتاری اگر مهم‌تر از در نظر گرفتن توزیع برای ارزش زمان سفر نباشد، کم‌اهمیت‌تر هم به نظر نمی‌رسد.

مدل پیشنهادی در این پژوهش در عین حال که وجه تصادفی مذکور را با در نظر گرفتن یک عبارت خطای کلی با یک توزیع احتمالی همزمان و مناسب می‌بیند، وابستگی میزان حساسیت و درک نسبت به متغیر هزینه را از طریق نرمال کردن هزینه‌ی سفر بر اساس معیاری از درآمد مسافر به صورت سیستماتیک می‌بیند و از طریق در نظرگیری توزیع احتمالی پیوسته برای ضریب زمان نیز در عین حال قادر است ناهمگونی در حساسیت به متغیر زمان سفر را به صورت تصادفی در مدل‌سازی انتخاب مسیر نمایش دهد.

1. Deterministic Component
2. Representative Utility
3. Random
4. Error Term or Error Component
5. Disturbance
6. Measurement Error
7. Individual Perception Error
8. Model Specification Error

(۲)

۳. m آمین مشتق جزئی $G(\dots)$ نسبت به هر ترکیبی از m تا از y_j ها، برای مقادیر فرد m نامنفی و برای مقادیر زوج m نامثبت است. در این حالت احتمال آن که یک تصمیم گیرنده نوعی، گزینه j را از میان J_n گزینه موجود انتخاب کند با رابطه (۵) داده می شود که در آن $y_{nj} = e^{V_{nj}}$ و $G_{nj} = \frac{\partial G}{\partial y_{nj}}$

$$P_{nj} = \frac{y_{nj} G_{nj}(y_{n1}, \dots, y_{nJ_n})}{G(y_{n1}, \dots, y_{nJ_n})} \quad (۵)$$

بنابراین مدل های مقدار حدی تعمیم یافته مجموعه محدودی از مدل ها را شامل نمی شود و امکان ساخت مدل هایی را از طریق تعیین تابع مولد با شرایط مذکور می دهد که قادر به نمایش الگوهای جانشینی مورد نظر تحلیل گر باشند. به عبارت دیگر، تحلیل گر می تواند متناسب با مسأله مورد نظر خود، با تعیین تابع $G(\dots)$ ، مدل مناسب مسأله خود را بسازد و در عین حال از راحتی نظری برخوردار از فرم بسته برای محاسبه احتمالات نیز بهره مند بماند. مدل های لوجیت چندجمله ای (MNL)، لوجیت آشیانه ای متقاطع (CNL) و لوجیت ترکیب های دوتایی (PCL) از معروف ترین مدل های GEV هستند.

۳-۱- لوجیت چندجمله ای یا لوجیت استاندارد

در مدل لوجیت چندجمله ای تابع مولد با رابطه (۶) داده می شود. این نوع مشخص کردن تابع مولد معادل فرض کردن توزیع های مستقل و مشابه^۲ (IID) گامیل^۳ یا همان مقدار حدی^۴ (رابطه ۷) برای عبارت های خطا است [۳]. احتمال های انتخاب از رابطه شناخته شده (۸) به دست می آید:

$$G(y_1, \dots, y_{J_n}) = \sum_{j=1}^{J_n} y_{nj} \quad (۶)$$

$$f(\varepsilon_j) = e^{-\varepsilon_j} e^{-e^{-\varepsilon_j}} \quad (۷)$$

$$P_{nj} = \frac{e^{V_{nj}}}{\sum_{k \in J_n} e^{V_{nk}}} \quad (۸)$$

ضعف های نظری مدل لوجیت در انتخاب مسیر نیز در واقع از همین ساختار محدود شده خطاها ناشی می شود. در یک شبکه حمل و نقل نوعی بین هر زوج مبدأ- مقصد تعداد بسیار زیادی مسیر وجود دارد که بسیاری از آن ها به لحاظ فیزیکی با یکدیگر همپوشانی دارند. همین سبب می شود هزینه ها و نیز عوامل مشاهده نشده در (عدم) مطلوبیت مسیرها از یکدیگر مستقل نباشند که همین ویژگی احتمالاتی انتخاب مسیرها را تحت تأثیر قرار می دهد.

1. Multinomial Logit
2. Independent and Identical Distributions
3. Gumbel Distribution
4. Extreme Value

$$= Prob(\varepsilon_{nk} - \varepsilon_{nj} < V_{nj} - V_{nk} ; \forall k \neq j)$$

چنانچه بردار عبارت های خطا برای فرد n را به صورت $\varepsilon_n^T = \langle \varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}, \dots, \varepsilon_{J_n n} \rangle$ و تابع چگالی احتمال توأم ε_n را با $f(\varepsilon_n)$ نمایش دهیم، نگاه P_{nj} به صورت زیر قابل بیان خواهد بود:

(۳)

$$P_{nj} = \int_{\varepsilon_n} I(\varepsilon_{nk} - \varepsilon_{nj} < V_{nj} - V_{nk}, \forall k \neq j) f(\varepsilon_n) d\varepsilon_n$$

انتگرال ظاهر شده در رابطه فوق یک انتگرال J_n بعدی است و $I(\cdot)$ یک تعیین کننده دومقداره^۲ است که برابر ۱ است هرگاه پیشامد درون پرانتز آن رخ دهد و در غیر این صورت صفر است [۱]. برای خانواده مدل های لوجیت، $f(\cdot)$ به گونه ای تعیین می شود که انتگرال فوق بتواند به صورت تحلیلی حل شود. این فرم های تحلیلی بسته، که سادگی محاسبه احتمالات را به دنبال دارد موجب شده که این رده از مدل ها بسیار مورد توجه محققین، از جمله در زمینه مدل سازی انتخاب مسیر قرار بگیرد.

خانواده مدل های مقدار حدی تعمیم یافته^۲ (GEV) که توسط مک فادن [۲۷] فرمول بندی شده است. رده ای از مدل های انتخاب را شامل می گردد که همگی آن ها در یک ویژگی مشترک هستند. این که در تمامی آن ها عبارت های تصادفی خطا دارای توزیع توأم مقدار حدی هستند که در حالت کلی تابع توزیع تجمعی آن با رابطه (۴) داده می شود.

$$F(\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_{J_n}) = e^{-G(e^{-\varepsilon_1}, \dots, e^{-\varepsilon_{J_n}})} \quad (۴)$$

در این رابطه $G(\dots)$ تابع مولد^۳ نامیده می شود. هر یک از مدل های خانواده GEV تابع مولد خود را دارند. در حالت کلی، تابع $G(\dots)$ تابعی مشتق پذیر و نامنفی از J_n متغیر نامنفی است که باید شرایط زیر را نیز تأمین نماید:

۱. $G(\dots)$ تابعی همگن از درجه ۱ است؛ یعنی برای هر عدد حقیقی نامنفی α :

$$G(\alpha y_1, \dots, \alpha y_{J_n}) = \alpha G(y_1, \dots, y_{J_n}) \quad (۶-۳)$$

$$\lim_{y_j \rightarrow +\infty} G(\dots) = +\infty, \quad j \text{ به ازای هر}$$

1. Binary Indicator
2. Generalized Extreme Value
3. Generating Function
4. Homogenous

(۱۰)

$$P_{nj} = \frac{\exp \left[V_j + \ln \sum_a \alpha_{aj} \left(\sum_{k \in \mathbb{J}_n} \alpha_{ak} e^{V_k} \right)^{\mu-1} \right]}{\sum_{i \in \mathbb{J}_n} \exp \left[V_i + \ln \sum_a \alpha_{ai} \left(\sum_{k \in \mathbb{J}_n} \alpha_{ak} e^{V_k} \right)^{\mu-1} \right]}$$

$$\alpha_{aj} = \left(\frac{l_a}{L_j} \right) \delta_{aj}$$

۳-۳- لوجیت ترکیب‌های دوتایی

مدل لوجیت ترکیب‌های دوتایی نخستین بار توسط چو [۰۳] پیشنهاد شده است. تابع مولد آن با رابطه (۲۱) تعریف می‌شود. در این مدل هر جفت از گزینه‌ها آشیانه خود را تشکیل می‌دهند. ساختار آشیانه‌ای آن امکان در نظرگیری همبستگی بین مطلوبیت هر دو گزینه را می‌دهد. σ_{ij} اندیس شباهت بین گزینه‌ها (مسیرها) i و j است. احتمال‌های انتخاب نیز از رابطه (۳۱) می‌تواند محاسبه شود:

$$G(y_1, \dots, y_{J_n}) = \sum_{j=1}^{J_n-1} \sum_{i=j+1}^{J_n} (1 - \sigma_{ij}) \left(y_i^{\frac{1}{1-\sigma_{ij}}} + y_j^{\frac{1}{1-\sigma_{ij}}} \right)^{1-\sigma_{ij}} \quad (۱۳)$$

$$P_{nj} = \frac{\sum_{k \neq j} e^{\frac{V_j}{1-\sigma_{jk}}} (1 - \sigma_{jk}) \left(e^{\frac{V_j}{1-\sigma_{jk}}} + e^{\frac{V_k}{1-\sigma_{jk}}} \right)^{-\sigma_{jk}}}{\sum_{k=1}^{J_n-1} \sum_{i=k+1}^{J_n} (1 - \sigma_{ik}) \left(e^{\frac{V_j}{1-\sigma_{jk}}} + e^{\frac{V_k}{1-\sigma_{jk}}} \right)^{1-\sigma_{jk}}}$$

مدل PCL را نخستین بار پراشکر و بخور [۲۹] با مربوط ساختن اندیس‌های شناخت به هندسه شبکه (رابطه‌ی ۱۴) برای استفاده در تخصیص ترافیک سازگار کرده‌است. در این رابطه، L_{ij} طول مشترک مسیرهای i و j است.

$$\sigma_{ij} = \frac{L_{ij}}{(L_i L_j)^{0/5}} \quad (۱۴)$$

۳-۴- مدل‌های با ضرایب تصادفی یا مدل‌های مخلوط

مدل لوجیت مخلوط مدلی بسیار تعمیم‌یافته و انعطاف‌پذیر است که قابلیت نمایش تصادفی تنوع ذائقه، در نظرگیری همبستگی در

در حالی که مدل لوجیت استاندارد قادر به نمایش این همبستگی‌ها نبوده و عملاً (عدم) مطلوبیت هر دو مسیر را متغیرهای تصادفی مستقل در نظر می‌گیرد. این مسأله در ادبیات تخصیص ترافیک به مسأله همپوشانی^۱ معروف شده و محل اصلی نقد پژوهشگران به تخصیص ترافیک بر اساس مدل لوجیت چندجمله‌ای بوده است. بسیاری از پژوهش‌های دیگر در زمینه تخصیص تصادفی ترافیک عملاً برای رفع همین ضعف منطقی یعنی نادیده گرفتن همپوشانی مسیرها بوده است.

۳-۲- لوجیت آشیانه‌ای متقاطع

مدل لوجیت آشیانه‌ای متقاطع با تابع مولد داده‌شده در رابطه (۹) مشخص می‌شود. البته توابع مولد مختلفی برای مدل CNL پیشنهاد شده، اما ووشا [۲۸] که نخستین بار از این مدل استفاده کرده از تابع مولد زیر استفاده کرده‌است:

$$G(y_1, \dots, y_{J_n}) = \sum_a \left(\sum_k \alpha_{ak} y_k \right)^\mu \quad (۹)$$

که در آن a اندیس آشیانه‌ها و k اندیس گزینه‌هاست. α_{ak} و μ پارامترهای مدل هستند. اولی پارامتر لوگ-مجموع یا پارامتر عدم شباهت^۲ یا درجه آشیانه‌ای^۳ و دیگری ضرایب شمول^۴ نامیده می‌شوند که در واقع درصد عضویت گزینه‌ها به آشیانه‌های مختلف را نشان می‌دهند. مدل لوجیت آشیانه‌ای متقاطع یک ساختار آشیانه‌ای انعطاف‌پذیر را فراهم می‌کند که در آن گزینه‌ها می‌توانند با درجات عضویت مختلف به آشیانه‌ها متعلق باشند. بنابراین این مدل دارای یک ساختار آشیانه‌ای همپوشان^۵ است. برای سازگاری با اصل بیشینه‌سازی مطلوبیت، پارامتر لوگ-مجموع باید بین صفر و یک باشد و در حالت خاص $\mu = 1$ هم مدل CNL به MNL تنزل می‌کند. در این مطالعه مقدار پارامتر μ برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

در مدل CNL احتمال‌های انتخاب با رابطه (۱۰) داده می‌شود. پراشکر و بخور [۲۹] نخستین بار با در نظرگیری کمان‌های شبکه به عنوان آشیانه‌ها و مسیرها به عنوان گزینه‌ها و مرتبط ساختن پارامترهای شمول به توپولوژی شبکه به شکل مناسب (رابطه‌ی ۱۱)، مدل CNL را برای انتخاب مسیر سازگار کردند که در آن، l_a و L_j به ترتیب طول کمان a و مسیر j هستند و δ_{aj} متغیر دوتایی صفر و یک است که مقدار آن برابر ۱ است هرگاه کمان a در مسیر j قرار داشته باشد.

1. Overlapping Problem
2. Dissimilarity Parameter
3. Degree of Nesting
4. Inclusion Coefficient
5. Overlapping Nesting Structure

اما مسلماً تحلیل‌گر مقدار β_n هر فرد را نمی‌داند. احتمال غیرشرطی، انتگرال $H_{nj}(\beta_n)$ بر روی همه مقادیر ممکن β_n است که همان فرمول انتخاب در مدل‌های GEV مخلوط خواهد بود:

$$P_{nj} = \int H_{nj}(\beta_n) f(\beta_n | \theta) d\beta_n \quad (18)$$

این انتگرال در حالت کلی به صورت فرم بسته قابل حل نخواهد بود اما شبیه‌سازی آن بسیار ساده است. به طور کلی، برای شبیه‌سازی انتگرال یک آماره بر روی تابع چگالی آن کافی است از توزیع مذکور به دفعات زیاد نمونه‌گیری تصادفی کرده، مقدار آماره را در هر نمونه‌گیری حساب و در نهایت بر روی مقادیر محاسبه شده متوسط‌گیری کنیم. بنابراین گام‌های شبیه‌سازی احتمالات مدل‌های GEV مخلوط به صورت زیر خواهد بود:

۱- از $f(\beta_n | \theta)$ مقدار β_n^r را به صورت تصادفی تولید کنید که r به شماره تکرار را نشان می‌دهد.
 ۲- مقدار آماره $H_{nj}(\beta_n^r)$ را با مقدار تصادفی تولید شده حساب کنید.

۳- گام‌های ۱ و ۲ را به تعداد دفعات زیاد مثلاً R بار تکرار کنید.
 ۴- بر روی تکرارهای شبیه‌سازی، مقادیر $H_{nj}(\beta_n)$ را متوسط‌گیری کنید. این میانگین همان احتمال شبیه‌سازی شده است (رابطه ۱۹) و یک تخمین زنده غیر آریب^۱ برای P_{nj} است.

$$\hat{P}_{nj} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R H_{nj}(\beta_n^r) \quad (19)$$

۴- نتایج تخصیص ترافیک چندمعیاره‌ی چندرده‌ای با استفاده از مدل‌های GEV مخلوط

در این بخش نتیجه کاربرد مدل‌های تخصیص ترافیک پیشنهادی بر روی دو شبکه آزمایشی ارائه می‌گردد: یکی شبکه پیشنهادی ناگوین و دوپویس [۳۱] و دیگری شبکه‌ی سوفالز^۲ [۳۲] (شکل ۱). جزئیات مشخصات این شبکه‌ها در منابع مذکور قابل دسترسی بوده و در این جا به علت محدودیت حجم و تنها به خاطر رعایت اختصار از ذکر این جزئیات صرف نظر شده است. تابع مطلوبیت لوجیت مخلوط را با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌های ارجحیت اظهارشده در شهر تهران مطابق رابطه (۲۰) پرداخت نموده‌ایم [۳۳] که در آن V_{nj} مطلوبیت سیستماتیک مسیژام برای فرد n ، c_{nj} و t_{nj} به ترتیب نشان‌دهنده زمان و هزینه سفر مسیژام، درآمد ماهیانه خانوار فرد n و α و β ضرایب کالیبراسیون هستند. نتایج تخمین‌های ما در این جا برای حالتی ارائه شده که زمان سفر بر حسب دقیقه، هزینه سفر بر حسب ده ریال و درآمد بر حسب ده میلیون ریال در ماه

1. Unbiased
2. Sioux Falls

عوامل مشاهده نشده بر روی زمان (یعنی مثلاً در آزمایش‌های SP) و نیز در نظرگیری همبستگی میان مطلوبیت‌های گزینه‌ها و در نتیجه نمایش نرخ‌های جانشینی (رقابت) محدود نشده میان گزینه‌ها را دارد. مدل‌های لوجیت یا به عبارت دقیق‌تر مدل‌های خانواده GEV در حالت عادی فاقد دو ویژگی اول هستند. مدل‌های لوجیت مخلوط همچنین بر خلاف پروبیت بر فرض توزیع الزاماً استوار نیستند. یک تصمیم‌گیرنده نوعی n را در نظر بگیرید که با J_n گزینه برای انتخاب مواجه است. مطلوبیتی که این فرد از گزینه J ام دریافت می‌کند به صورت رابطه (۱۵) مشخص می‌شود که در آن، بردار متغیرهای توصیفی و β_n بردار ضرایب این متغیرها برای فرد n است که نمایش دهنده ذائقه‌ی این فرد است و ε_{nj} عبارتی تصادفی با توزیع همزمان مقدار حدی تعمیم یافته (در حالت خاص برای لوجیت چندجمله‌ای مخلوط، توزیع iid مقدار حدی) است.

$$U_{nj} = \beta_n' X_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad (15)$$

بر خلاف مدل لوجیت استاندارد که فرض می‌کند ضرایب مقادیر ثابتی هستند و برای هر یک از افراد جمعیت یکسان هستند، لوجیت مخلوط اجازه می‌دهد که این ضرایب بر روی جمعیت به طور تصادفی تغییر کنند. افراد مختلف ذائقه‌های مختلفی دارند و لذا می‌تواند توزیعی از این ذائقه بر روی جمعیت وجود داشته باشد که این ضرایب تصادفی قادر به نمایش این تنوع خواهند بود. رابطه (۱۶) تابع چگالی این توزیع را نشان می‌دهد. مسلماً این توزیع تابعی از پارامترهایی ناشناخته از جمعیت مانند میانگین و واریانس خواهد بود که تحلیل‌گر به دنبال تخمین آن‌ها است. θ نمایش‌دهنده‌ی پارامترهای مذکور است. به عبارت دیگر، هر فرد در این نمایش از رفتار انتخاب، ذائقه (سلیقه) خود را دارد که با β ی خود آن فرد مشخص می‌شود. اما توزیعی از این سلیقه و در نتیجه از این β بر روی جمعیت انتخاب‌کنندگان وجود دارد که خود این توزیع با پارامترهایی مشخص می‌شود که آن‌ها را با θ نشان داده‌ایم و به طور کلی در این رویکرد، هدف تعیین یا به عبارت دقیق‌تر تخمین همین پارامترهای جمعیت است.

$$\beta_n \sim f(\beta_n | \theta) \quad (16)$$

بنابراین تنها تفاوت با مدل‌های لوجیت معمولی این است که این رویکرد اجازه می‌دهد ضرایب به جای مقادیر ثابت دارای توزیعی بر روی جمعیت باشند. تحلیل‌گر مقادیر X_{nj} ها را مشاهده یا اندازه‌گیری می‌کند اما، β_n و ε_{nj} هر دو برای تحلیل‌گر غیرقابل مشاهده هستند. اگر تحلیل‌گر می‌توانست β_n را مشاهده کند آن‌گاه احتمال انتخاب، بسته به نوع مدل GEV می‌توانست از یکی از روابط (۸)، (۱۰) یا (۱۳) و یا در حالت کلی از رابطه عمومی (۵) به دست آید. این احتمال را احتمال شرطی می‌نامیم:

$$H_{nj}(\beta_n) = \frac{y_{nj} G_{nj}(y_1, \dots, y_{J_n})}{G(y_1, \dots, y_{J_n})} \quad (17)$$

مختلف در قالب توابع مطلوبیت تصادفی آن‌ها دیده می‌شود که مسافران را به انتخاب مطلوب‌ترین مسیر درک شده (مسیر با کمترین عدم مطلوبیت درک شده) سوق می‌دهد و لذا انتخاب مسیر آن‌ها از یک ضابطه احتمالی پیروی می‌کند. فرض می‌شود که در میزان مطلوبیتی که هر مسافر از هر مسیر دریافت می‌کند به جز زمان سفر، هزینه پولی سفر و نیز ویژگی‌های اقتصادی خود مسافر نیز دخیل است. یعنی مسافران هر مبدأ- مقصد به لحاظ توابع مطلوبیت دریافتی از مسیرها همگی در یک کلاس قرار نمی‌گیرند و دست کم به خاطر ویژگی‌های متفاوت درآمدی، هر کلاس (رده) از استفاده‌کنندگان شبکه توابع مطلوبیت مخصوص به خود را دارند. و این که مدل‌های مخلوط نیز فرض می‌شود که میزان حساسیت انتخاب‌کنندگان نسبت به متغیر زمان سفر که در قالب ضریب این متغیر در توابع مطلوبیت دیده می‌شود متغیری تصادفی توزیع شده بر روی جمعیت مسافران است.

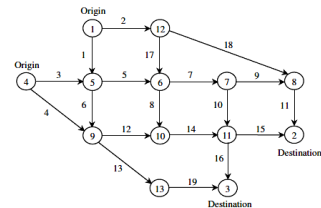
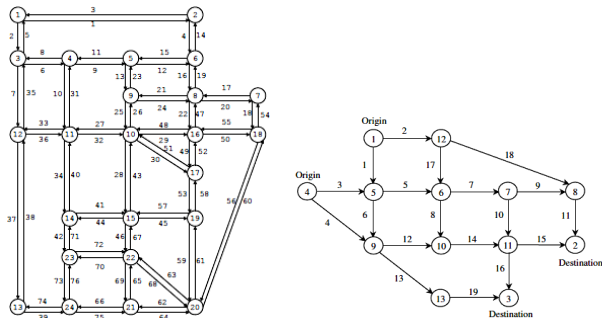
با توجه به تفاوت‌های مذکور در مبانی نظری، انتظار می‌رود پیش‌بینی‌های این دو رویکرد از الگوی جریان ترافیک تفاوت‌های قابل توجهی با هم داشته باشند. شکل‌های ۲ و ۳ هم مؤید این فرضیه هستند. شکل‌های ۲ و ۳ مربوط به اجرا بر روی شبکه سופالز هستند و نتایج UE را با نتیجه مدل لوجیت ترکیب‌های دوتایی چندمعیاره‌ی مخلوط به دو صورت متفاوت مقایسه می‌کند. اولی به صورت نقاطی که مؤلفه‌های آن‌ها مقادیر جریان کمان UE و مدل پیشنهادی هستند و میزان پراکندگی آن‌ها در اطراف خط نیمساز ربع اول می‌تواند معیاری برای شباهت یا تفاوت دو رویکرد باشد و دیگری مقادیر درصد اختلاف نسبی دو جریان را نشان می‌دهد که هر دو نمودار حاکی از این امر هستند که چنانچه مدل‌های چندمعیاره‌ی پیشنهادی را به عنوان مدل‌هایی که فرضیات متعادل‌تری دارند به عنوان مبنا در نظر بگیریم مدل UE می‌تواند به طور قابل توجهی جریان کمان‌ها را بیش تخمین^۱ یا کم تخمین^۲ برآورد کند و همان‌طور که در شکل‌های مذکور قابل تشخیص است، اجراهای انجام شده در این بخش این گونه دلالت می‌کنند که UE اغلب مقادیر جریان کمان‌ها را (نسبت به مدل‌های چندمعیاره) دست پایین برآورد می‌کند.

محاسبه شود. ضریب زمان سفر، α متغیر تصادفی با توزیع نرمال در نظر گرفته شده و مقدار میانگین و انحراف استاندارد آن به ترتیب برابر $0/0917-$ و $0/0185$ و مقدار ضریب هزینه نرمال شده‌ی سفر، β برابر $1/2158-$ تخمین زده شده و همه تخمین‌ها نیز در سطح اطمینان ۵۹ درصد معنادار هستند.

(۲۰)

$$V_{nj} = \alpha t_{nj} + \beta \left(\frac{\ln c_{nj}}{I_n} \right)$$

به منظور قابل اجرا بودن مدل نیز لازم است اطلاعات درآمدی مسافران هر مبدأ به عنوان داده‌های ورودی به مدل تخصیص معرفی شوند. در این پژوهش فرض کرده‌ایم توزیع درآمد در هر گره مبدأ می‌تواند با یک توزیع احتمال نمایی^۱ مشخص شود که بدین ترتیب برای مشخص شدن توزیع درآمد، تنها مشخص بودن میانگین درآمد ناحیه کافی است. شبکه‌های آزمایشی ما در حالت عادی فاقد این داده‌های ورودی هستند. اما در این جا مقادیری فرضی به عنوان میانگین درآمد به ناحیه‌ها نسبت داده شده‌اند. مسافران در ۴ کلاس درآمدی بر اساس توزیع مذکور تقسیم بندی شده‌اند.



جدول‌های ۱ و ۲ نتایج تخصیص روی شبکه‌های ناگوار و سופالز را با استفاده از مدل‌های پیشنهادی و نیز مدل سنتی تعادل قطعی استفاده‌کننده نشان می‌دهند. نتایج با استفاده از ۵۰۰ بار تکرار روش میانگین‌های متوالی^۲ [۳۴] به دست آمده‌اند. در هر تکرار الگوریتم مذکور نیز برای محاسبه احتمالات مدل مخلوط از ۵۰۰ تکرار شبیه‌سازی استفاده شده است.

مدل‌های تخصیص ترافیک پیشنهاد شده در این پژوهش، به لحاظ فرضیات رفتاری تفاوت‌های قابل توجهی با مدل سنتی تعادل (قطعی) استفاده‌کننده^۳ UE داشته و تعدیلات متعددی بر فرضیات آن ارائه می‌کنند: مسافران همه به کوتاه‌ترین مسیر اختصاص داده نمی‌شوند و دریافت آن‌ها از ویژگی‌های مسیرهای

1. Overestimate
2. Underestimate

1. Exponential Distribution
2. Method of Successive Averages
3. User Equilibrium

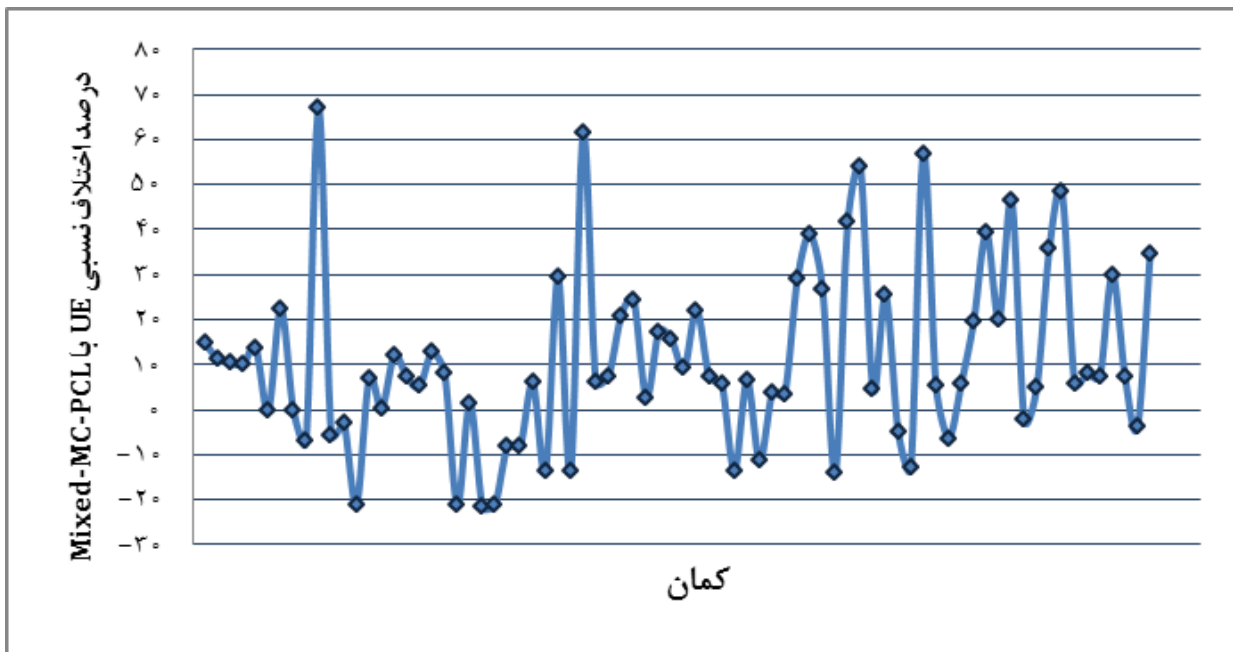
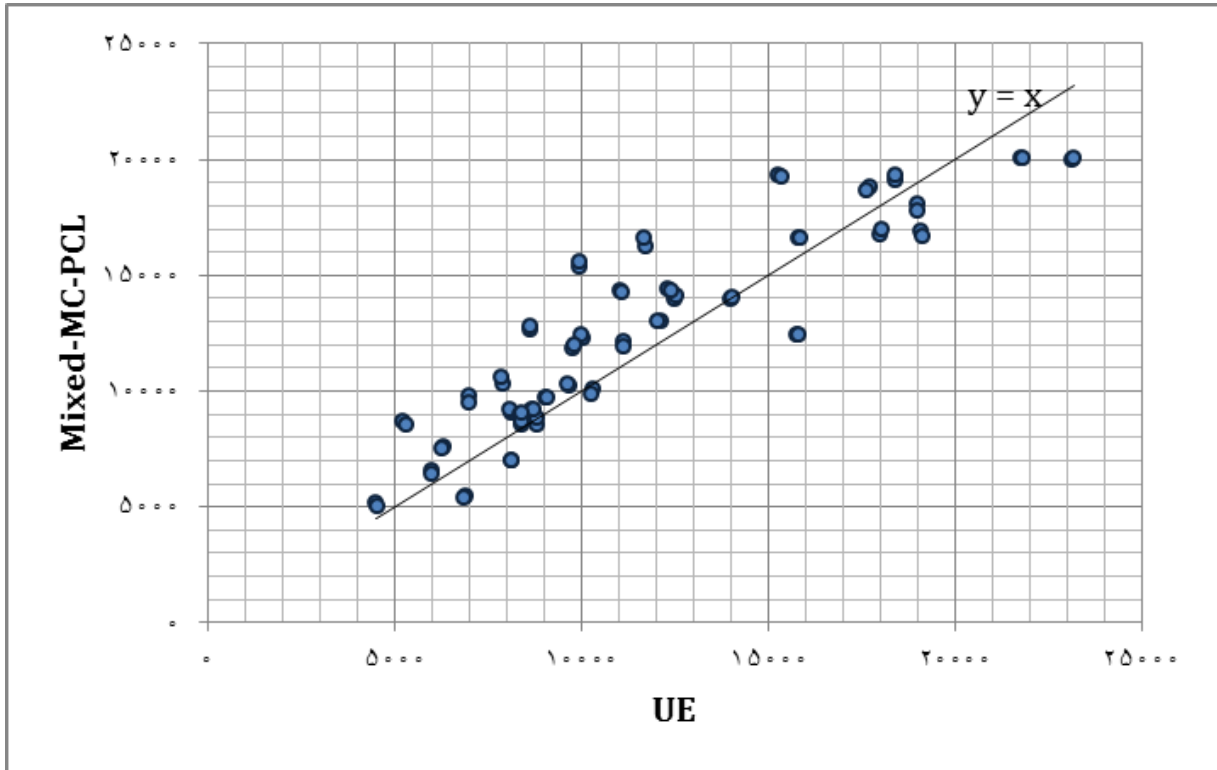


Mixed PCL	Mixed CNL	Mixed MNL	UE	کمان
۷۳۲	۷۴۱	۷۳۶	۷۰۶	۱
۴۶۸	۴۵۹	۴۶۴	۴۹۴	۲
۳۷۴	۳۶۸	۴۲۳	۱۰۰	۳
۴۲۶	۴۳۲	۳۷۷	۷۰۰	۴
۶۳۸	۶۵۹	۶۸۷	۴۴۰	۵
۴۶۸	۴۵۱	۴۷۲	۳۶۶	۶
۵۷۵	۵۶۳	۵۹۱	۳۵۴	۷
۳۳۲	۳۳۶	۳۸۴	۱۸۰	۸
۲۴۶	۲۲۸	۲۲۷	۱۰۰	۹
۳۳۰	۳۳۶	۳۶۳	۲۵۴	۱۰
۴۴۵	۴۴۶	۴۰۳	۵۰۰	۱۱
۴۵۲	۴۵۰	۴۶۷	۵۰۰	۱۲
۴۴۱	۴۳۲	۳۸۳	۵۶۶	۱۳
۷۸۵	۷۸۶	۸۵۱	۶۸۰	۱۴
۵۵۵	۵۵۴	۵۹۷	۵۰۰	۱۵
۵۵۹	۵۶۸	۶۱۷	۴۳۴	۱۶
۲۶۹	۲۴۰	۲۸۸	۹۴	۱۷
۱۹۹	۲۱۸	۱۷۶	۴۰۰	۱۸
۴۴۱	۴۳۲	۳۸۳	۵۶۶	۱۹

جدول ۱: نتایج تخصیص ترافیک بر روی شبکه‌ی ناگوین.

Mixed PCL	UE	کمان	Mixed PCL	UE	کمان
۱۲۱۴۱	۱۱۱۲۱	۳۹	۵۱۵۸	۴۴۹۵	۱
۱۱۹۸۱	۹۸۱۴	۴۰	۹۰۳۷	۸۱۱۹	۲
۹۶۸۸	۹۰۳۶	۴۱	۴۹۹۱	۴۵۱۹	۳
۸۸۸۴	۸۴۰۰	۴۲	۶۵۶۸	۵۹۶۷	۴
۲۰۰۴۸	۲۳۱۹۲	۴۳	۹۲۰۴	۸۰۹۵	۵
۹۶۷۲	۹۰۸۰	۴۴	۱۳۹۸۰	۱۴۰۰۶	۶
۱۶۹۰۱	۱۹۰۸۳	۴۵	۱۲۲۷۶	۱۰۰۲۲	۷
۱۹۰۸۲	۱۸۴۱۰	۴۶	۱۴۰۱۰	۱۴۰۳۱	۸
۸۷۰۱	۸۴۰۷	۴۷	۱۶۷۴۱	۱۸۰۰۶	۹
۱۴۲۸۰	۱۱۰۷۳	۴۸	۸۶۷۹	۵۲۰۰	۱۰
۱۶۲۶۸	۱۱۶۹۵	۴۹	۱۶۹۹۱	۱۸۰۳۱	۱۱
۱۹۳۴۸	۱۵۲۷۸	۵۰	۸۵۳۱	۸۷۹۸	۱۲
۶۹۶۳	۸۱۰۰	۵۱	۱۲۴۵۲	۱۵۷۸۱	۱۳
۱۶۵۶۳	۱۱۶۸۴	۵۲	۶۴۰۱	۵۹۹۲	۱۴
۱۵۳۱۷	۹۹۵۳	۵۳	۸۸۳۴	۸۸۰۶	۱۵
۱۶۵۸۴	۱۵۸۵۵	۵۴	۱۳۹۹۱	۱۳۴۹۳	۱۶
۱۹۲۲۹	۱۵۳۳۳	۵۵	۱۲۹۸۸	۱۲۱۰۲	۱۷
۱۸۰۳۰	۱۸۹۷۷	۵۶	۱۶۶۱۰	۱۵۷۹۴	۱۸
۱۶۶۶۷	۱۹۱۱۷	۵۷	۱۴۱۲۷	۱۲۵۲۶	۱۹
۱۵۵۹۳	۹۹۴۲	۵۸	۱۳۰۱۴	۱۲۰۴۱	۲۰
۹۱۶۶	۸۶۸۸	۵۹	۵۴۲۳	۶۸۸۳	۲۱
۱۷۷۸۵	۱۸۹۹۲	۶۰	۸۵۱۱	۸۳۸۹	۲۲
۹۲۰۸	۸۷۱۱	۶۱	۱۲۳۹۹	۱۵۷۹۷	۲۳
۷۵۴۷	۶۳۰۲	۶۲	۵۳۹۶	۶۸۳۷	۲۴
۹۷۵۳	۷۰۰۰	۶۳	۲۰۰۱۹	۲۱۷۴۴	۲۵
۷۴۹۰	۶۲۴۰	۶۴	۲۰۰۳۸	۲۱۸۱۴	۲۶
۱۲۶۲۶	۸۶۲۰	۶۵	۱۸۷۹۱	۱۷۷۲۷	۲۷
۱۰۰۸۹	۱۰۳۰۹	۶۶	۱۹۹۵۹	۲۳۱۲۶	۲۸
۱۹۲۸۹	۱۸۳۸۶	۶۷	۱۴۲۹۴	۱۱۰۴۷	۲۹
۹۵۰۷	۷۰۰۰	۶۸	۶۹۸۲	۸۱۰۰	۳۰
۱۲۷۷۲	۸۶۰۷	۶۹	۸۵۶۰	۵۳۰۰	۳۱
۱۰۲۱۴	۹۶۶۲	۷۰	۱۸۶۵۳	۱۷۶۰۴	۳۲
۹۰۸۲	۸۳۹۵	۷۱	۸۹۷۸	۸۳۶۵	۳۳
۱۰۳۲۰	۹۶۲۶	۷۲	۱۱۸۰۰	۹۷۷۶	۳۴
۱۰۲۸۰	۷۹۰۳	۷۳	۱۲۴۱۳	۹۹۷۴	۳۵
۱۱۹۳۹	۱۱۱۱۲	۷۴	۸۶۳۹	۸۴۰۵	۳۶
۹۸۸۷	۱۰۲۶۰	۷۵	۱۴۴۲۴	۱۲۲۸۸	۳۷
۱۰۵۸۵	۷۸۶۲	۷۶	۱۴۳۲۱	۱۲۳۷۹	۳۸

جدول ۲: نتایج تخصیص ترافیک بر روی شبکه سوفالز



۵- خلاصه و نتیجه گیری

8. Train, K. A Comparison of Hierarchical Bayes and Maximum Simulated Likelihood for Mixed Logit, Working Paper, Department of Economics, University of California, Berkeley, 2001.

9. Train, K. Halton Sequences for Mixed Logit, Working Paper No. E00-278, Department of Economics, University of California, Berkeley, 2000.

10. Walker, J. Mixed Logit (or Logit Kernel) Model Dispelling Misconceptions of Identification, Transportation Research Record 1805, Paper No. 02-3937, 2002, pp. 86-98.

11. Ortúzar, J. D. and E. Cherchi, Use of Mixed Revealed-Preference and Stated-Preference Models with Nonlinear Effects in Forecasting, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1977, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2006, pp. 27-34.

12. Munizaga, M.A. and R. Alvarez-Daziano. Testing Mixed Logit and Probit Models by Simulation, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1921, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2005, pp. 53-62.

13. Nerella, S. and C.R. Bhat. Numerical Analysis of Effect of Sampling of Alternatives in Discrete Choice Models, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1894, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2004, pp. 11-19.

14. Daly, A., S. Hess and K. Train. Assuring Finite Moments for Willingness to Pay in Random Coefficient Models, Transportation 39(1), 2011, pp.19-31.

15. Ben-Akiva, M. and D. Bolduc. Multinomial Probit with a Logit Kernel and a General Parametric Specification of the Covariance Structure, Working Paper, Department of Civil Engineering, MIT, 1996.

16. Bhat, C.R. Quasi-random Maximum Simulated Likelihood Estimation of the Mixed Multinomial Logit Model, Transportation Research Part B 35, 2001, 677-693.

17. Dafermos, S. A Multicriteria Route-mode Choice Traffic Equilibrium Model, Lefschetz Center for Dynamical Systems, Brown University, Providence, RI, 1981.

در این پژوهش رویکرد جدیدی برای مدل سازی تعادل ترافیک در شبکه پیشنهاد گردید که (۱) ماهیت تصادفی انتخاب مسیر مسافران را در نظر می گیرد. (۲) متغیرهای توضیحی دیگری علاوه بر زمان سفر را به منظور افزایش سیاست پذیری مدل تخصیص در نظر می گیرد. (۳) همپوشانی مسیرها در شبکه را از طریق کاربرد مدل های پیشرفته انتخاب لحاظ می کند. (۴) جنبه هایی از ویژگی های اقتصادی استفاده کنندگان شبکه را در فرآیند انتخابشان نمایش می دهد و مسافران با رده های درآمدی مختلف را به لحاظ حساسیت نسبت به متغیرهای پولی در مدل سازی رفتار از هم متمایز می کند و (۵) تنوع تصادفی سلیقه، توزیع شده بر روی جمعیت مسافران را از طریق کاربرد مدل های با ضرایب تصادفی نمایش می دهد. نشان داده شد که این رویکرد عملاً نتایجی تولید می کند که با مدل سنتی تک معیاره و تک رده ای قطعی تفاوت قابل توجهی دارد.

۶- مراجع

1. Wardrop, J. G. Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part II, 1(36): 352-378, 1952.

2. Bekhor, S., M. S. Ben-Akiva, and S. M. Ramming. Adaptation of Logit Kernel to Route Choice Situation. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1805, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2002, pp. 78-85.

3. Train, K. E. Discrete Choice Methods with Simulation, Cambridge University Press, New York, 2009.

4. McFadden, D. and K. Train. Mixed MNL Models of Discrete Response, Journal of Applied Econometrics 15, 2000, pp. 447-470.

5. Revelt, D. and K. Train. Mixed Logit with Repeated Choices, Review of Economics and Statistics 80, 1998, pp. 647-657.

6. Train, K. and G. Sonnier. Mixed Logit with Bounded Distributions of Correlated Partworths, in R. Scarpa and A. Alberini, eds., Applications of Simulation Methods in Environmental and Resource Economics, Springer, Dordrecht, 2005, pp. 117-134.

7. Train, K. A Recursive Estimator for Rom Coefficient Models, Working Paper, Department of Economics, University of California, Berkeley, 2008.



30. hu, C. A Paired Combinatorial Logit Model for Travel Demand Analysis. In Proc., Fifth World Conference on Transportation Research, Ventura, Calif., 1989, Vol. 4.
31. Nguyen, S. and D. Dupuis. An Efficient Method for Computing Traffic Equilibria in Networks with Asymmetric Transportation Costs, Transportation Science, Vol.18, 1984, 185-202.
32. Bar Gera, H. Transportation Network Test Problems. www.bgu.ac.il/~bargera/tntp/.
19. Leurent, F. The Theory and Practice of a Dual Criteria Assignment Model with a Continuously Distributed Value-of-time. In: Lessort, J.-B. (Ed.), Transportation and Traffic Theory. Elsevier, Amsterdam, 1996, pp. 455-477.
20. Leurent, F. Sensitivity and Error Analysis of the Dual Criteria Traffic Assignment Model. Transportation Research B 32, 1998, pp. 189-204.
21. Yang, H., Huang, H.J. The Multi-class, Multi-criteria Traffic Network Equilibrium and System Optimum Problem. Transportation Research B 38, 2004, pp. 1-15.
22. Nagurney, A. A Multiclass, Multicriteria Traffic Network Equilibrium Model. Mathematical and Computer Modeling 32, 2000, pp. 393-411.
23. Nagurney, A., Dong, J. A Multiclass, Multicriteria Traffic Network Equilibrium Model with Elastic Demand. Transportation Research B 36, 2002, pp. 445-469.
24. Dial, R. B. Bicriterion Traffic Assignment: Basic Theory and Elementary Algorithms, Transportation Science, Vol. 30, No. 2, 1996, pp. 96-111.
25. Dial, R. B. Bicriterion Traffic Assignment: Efficient Algorithms Plus Examples, Transportation Research Part B, Vol. 31, No. 5, 1997, pp. 357-379.
26. Dial, R. B. Bicriterion Traffic Equilibrium: T2 Model, Algorithm, and Software Overview. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1725, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2000, pp. 54-62.
27. McFadden, D. Modeling the Choice of Residential Location, Spatial Interaction Theory and Residential Location, (A. Karlqvist, L. Lundqvist, and J. W. Weibull, eds). 1978, pp. 75-96 (Amsterdam: North Holland).
28. Vovsha, P. Application of Cross-Nested Logit Model to Mode Choice in Tel Aviv, Israel, Metropolitan Area. In Transportation Research Record 1607, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1997, pp. 6-15.
29. Prashker, J. N. and Bekhor, S. Investigation of Stochastic Network Loading Procedures, Transportation Research Record, 1645, 1998, pp. 94-102.