مدل‌های انتخاب گسسته: کاربردی از انتخاب وسیله نقلیه در شهر اصفهان

مرضیه گوگردچیان[۱]
رحمان خوش اخلاق[۲]
نعمت الله اکبری[۳]
میثم اکبر زاده[۴]

چکیده

تاکنون اکثر مطالعات انجام شده برای استخراج تقاضا، بر اساس تابع مطلوبیت کلاسیکی و استخراج تابع تقاضا در یک مجموعه انتخاب پیوسته صورت گرفته است، در حالی که در بسیاری از موارد انتخاب فرد در یک مجموعه پیوسته قرار ندارد. در اقتصاد مدل‌های انتخاب گسسته یا مدل‌های انتخاب کیفی به توصیف، توضیح و پیش‌بینی انتخاب بین دو یا چند گزینه می‌پردازد. در مدل‌های انتخاب گسسته که به بررسی وضعیت‌هایی با نتایج بالقوه گسسته می‌پردازد، مقدار بهینه از طریق شرایط استاندارد مرتبه اول قابل توصیف نیست. این نوع از مدل‌ها بر ارتباط بین انتخاب‌های انجام شده توسط هر فرد و خصوصیات مربوط به فرد و خصوصیات مربوط به هر یک از گزینه‌ها از طریق محاسبه احتمال انتخاب یک گزینه توسط فرد با استفاده از مدل‌های لوجستیک و پروبیت تاکید دارد.

در این راستا، این مقاله ابتدا به معرفی مدل‌های انتخاب گسسته و چگونگی شکل‌گیری و مدل‌سازی تقاضا درآن پرداخته و سپس به تخمین تقاضای سفر (انتخاب وسیله) در شهر اصفهان در ساعت اوج صبح با استفاده از این رهیافت به عنوان یک مدل کاربردی پرداخته است. این تقاضا از طریق جمع‌آوری پرسش‌نامه به طور تصادفی از ۴۵۷ فرد سفرکننده در ساعت اوج صبح انجام شده است. نتایج این رهیافت نشان می‌دهد که تقاضا برای خودرو شخصی فقط به آسایش خودرو شخصی وابسته بوده است، در حالی که تقاضا برای تاکسی به زمان، هزینه، درآمد و آسایش و تقاضا برای اتوبوس به زمان و هزینه وابسته بوده است.

واژگان کلیدی: مدل‌های انتخاب گسسته، مطلوبیت تصادفی، تقاضای سفر، مدل‌های لاجیت چندگانه.

Keywords: Discrete Choice Model, Randome Utilitty, Travel Demand, Multiple Logite Model.

JEL Classification: C1, C4, D1, D6.

[۱]. دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان

[۲]. استاد اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول)

rahmankh44@hotmail.com

[۳]. استاد اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان

[۴]. استادیار حمل و نقل، دانشکده حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان

۱- مقدمه

در تحلیل‌های اقتصادی مرسوم در حوزه‌های رفتار مصرف‌کننده میزان تقاضا برای کالاهایی مانند گوشت وگوجه فرنگی متغیرهای حقیقی هستند، در حالی‌که مساله تصمیم‌گیری در سایر حوزه‌های اجتماعی و علوم زیست‌شناسی مثلا رفتار رای‌گیری در علوم سیاسی و مهاجرت در سرشماری‌های اجتماعی منجر به تصمیم‌گیری در یک مجموعه قابل شمارش یا معین می‌شود که تحت عنوان مساله پاسخ‌های کیفی معرفی می‌شوند. در بسیاری از تصمیم‌های اقتصادی مثل انتخاب شغل، اندازه خانواده، مشارکت در بازار، انتخاب وسیله نقلیه و انتخاب مقصد برای سفرهای تفریحی، مالکیت و برند کالاهای مصرفی با دوام شامل پاسخ‌های کیفی است که امکان استخراج تقاضا برای آن از طریق مدل‌های مرسوم اقتصاد نئوکلاسیکی وجود ندارد. این مساله اقتصاددانان را به فکر به کارگیری مدل‌ها و روش‌های به کار رفته در روانشناسی و آمار و گسترش نتایج بدست آمده در اقتصاد نمود (مک فادن[1]، ۱۹۷۶).

در اقتصاد مدل‌های انتخاب گسسته یا مدل‌های انتخاب کیفی به توصیف، توضیح و پیش‌بینی انتخاب بین دو یا چند گزینه می‌پردازد. این نوع از انتخاب‌ها مغایر با مدل‌های استاندارد مصرف است که در آن فرض می‌شود میزان مصرف هر کالا یک متغیر پیوسته است. در شرایط متغیر پیوسته مدل‌های حساب دیفرانسیل و انتگرال (شرایط مرتبه اول) برای تعیین مقدار بهینه کالاها به کار می‌رود، لذا تقاضا می‌تواند به طور تجربی با استفاده از تحلیل‌های رگرسیونی مرسوم مدل‌سازی شود. اما در مدل‌های انتخاب گسسته که به بررسی وضعیت‌هایی با نتایج بالقوه گسسته می‌پردازد، مقدار بهینه از طریق شرایط استاندارد مرتبه اول قابل توصیف نیست. مدل‌های انتخاب گسسته به طور تجربی و تئوریکی به مدل‌سازی انتخاب‌های انجام شده توسط افراد در یک مجموعه معین از انتخاب‌ها می‌پردازد. این نوع از مدل‌ها بر ارتباط بین انتخاب‌های انجام شده توسط هر فرد و خصوصیات مربوط به فرد و خصوصیات مربوط به هر یک از گزینه‌ها از طریق محاسبه احتمال انتخاب یک گزینه توسط فرد با استفاده از مدل‌های لوجستیک و پروبیت تاکید دارد.

همان‌گونه که ذکر شد، تقاضا برای وسیله نقلیه مختلف (انتخاب وسیله نقلیه) از مواردی است که در چارچوب مدل‌های تقاضای گسسته (کیفی) قابل مدل‌سازی و ارزیابی است. لذا، در این مقاله ابتدا به معرفی و مدل‌سازی مدل‌های انتخاب کیفی و استخراج تابع تقاضا پرداخته می‌شود، سپس

[1]. Macfaden (1976)

در بخش چهارم برخی مطالعات انجام شده در این زمینه معرفی خواهد شد. در بخش پنجم جامعه آماری و روش نمونه‌گیری آمده است. در بخش بعدی یک مثال از کاربرد این مدل‌ها در تقاضای انواع وسایل نقلیه (انتخاب وسیله) برای سفرهای کاری در شهر اصفهان در ساعت اوج صبح ارائه خواهد شد و در نهایت بخش آخر به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲- مدل‌های انتخاب گسسته

مرکز ثقل مدل‌های عقلایی یا استاندارد اقتصاد بر این ملاحظات استوار است که یک مصرف‌کننده به دنبال حداکثر سازی رجحان‌های پایدار و فطری خود بر روی دامنه‌ای از بردارها شامل مقادیر و صفات کالاها قرار دارد (مک فادن، ۲۰۰۱). در مدل‌های انتخاب پیوسته که بر اساس تئوری رفتار مصرف‌کننده نئوکلاسیک ایجاد می‌شود، تابع تقاضا از طریق حل یک مساله بهینه‌یابی به‌دست می‌آید. در این نوع از تحلیل‌ها تقاضا بیانگر مقداری از کالاها و خدمات در واحد زمان است که با فرض مجموعه‌ای از قیمت‌ها و درآمد مصرف‌کننده توسط فرد خریداری می‌شود. به عبارت دیگر، فضای پیوسته مجموعه گزینه‌ها است که امکان استخراج تابع تقاضا را با استفاده از حساب دیفرانسیل امکان‌پذیر می‌سازد، این در حالی است که اگر مصرف‌کننده از یک یا چند کالا مقدار صفر را اختیار کند، مساله بهینه‌سازی دارای جواب گوشه‌ای بوده و امکان بدست آوردن جواب بهینه از شرط مرتبه اول امکان‌پذیر نیست. به عبارت دیگر در تحلیل‌های انتخاب گسسته که به بررسی وضعیت‌هایی می‌پردازد که نتیجه بالقوه آن گسسته است، امکان بدست آوردن مقادیر بهینه توسط شرایط مرتبه اول امکان‌پذیر نیست (بن اکیوا[1]، ۱۹۸۵). بنابراین برای بدست آوردن این نوع از تقاضا نیاز به رهیافت متفاوتی تحت عنوان تئوری انتخاب گسسته است.

نقطه شروع این رهیافت از نظریه درخت مطلوبیت استروتز[2] (۱۹۵۷) و تفسیر لنکستر[3] (۱۹۶۶) از این درخت ایجاد شد. در تئوری حداکثرکردن مطلوبیت نئوکلاسیک تابع تقاضا بدون هیچ‌گونه پیش‌فرضی درباره طبیعت گزینه‌ها استخراج می‌شود، که نتیجه آن استخراج تابع تقاضایی است که نیازمند اطلاعات وسیعی در مورد قیمت سایر کالاها است. به عبارت دیگر تمام کالاها و خدماتی که مصرف‌کننده بخشی از بودجه خود را به آن اختصاص می‌دهد از طریق قید بودجه با یکدیگر

---

1. Ben-Akiva (1985)
2. Strotz (1957)
3. Lancaster (1966)

در ارتباط هستند. بنابراین بدون اعمال محدودیت‌های قابل قبول بر تابع مطلوبیت برای محدود کردن ارتباط کالاها، عملا این نوع از تابع تقاضا دارای کاربرد تجربی محدودی است که سبب می‌شود توابع تقاضای تجربی فقط قیمت کالاهای مرتبط را در نظر گیرند. اما مساله‌ای که در اینجا ایجاد می‌شود این است که چگونه کالاهای مرتبط توصیف شود (بن اکیوا، ۱۹۸۲).

استروتز (۱۹۵۷) نظریه درخت مطلوبیت را مطرح نمود که درآن هر دسته از کالاهای مرتبط در یک شاخه قرار داشته و تابع مطلوبیت کل از ترکیب مطلوبیت شاخه‌های جدا از هم به فرم زیر ساخته می‌شود.

$$U= U[U^1(q_1^1, q_2^1, \dots, q_{l1}^1), U^2(q_1^2, q_2^2, \dots q_{l2}^2), \dots U^B(q_1^B, q_2^B, \dots q_{LB}^B)] \quad (۱)$$

در این تابع $U^h(q_1^1, q_2^1, \dots, q_{l1}^1)$ بیانگر مطلوبیت ناشی از کالاها در شاخه h است $L=L_1 + L_2 + \cdots L_B$, و b=1,…,B و B بیانگر تعداد شاخه است. همچنین تابع U[] تعیین کننده سطح جدایی‌پذیری بین شاخه‌های مختلف است که در حالت جدایی‌پذیری قوی، این تابع مطلوبیت به یک تابع مطلوبیت جمع‌پذیر تبدیل شده که هر شاخه از آن مربوط به دسته‌ای از کالاها چون غذا، خانه، لباس، تفریح و حمل و نقل است. مساله جدایی‌پذیری مطرح شده توسط استروتز (۱۹۵۷) دارای تفاسیر مختلفی در ادبیات اقتصادی است. در این حالت، مصرف شامل دو بخش است، بخش اول تخصیص درآمد به شاخه‌های مختلف بر اساس قیمت متوسط کالاها در هر شاخه و بخش دوم تخصیص درآمد در هر شاخه به کالاهای مختلف از طریق حل یک مساله بهینه‌یابی است.

تفسیر دیگر مربوط به موث[1] (۱۹۶۶) است. او بیان می‌کند که کالای خریداری شده به وسیله یک مصرف‌کننده به عنوان یک نهاده در فرآیند تولید کالای نهایی خانگی به کار رفته و ستاده این نهاده‌ها یک مجموعه از کالاهای غیر بازاری هستند که تابع مطلوبیت روی این کالاهای نهایی تعریف شده که هر کدام می‌تواند به عنوان شاخه‌ای از درخت مطلوبیت تفسیر شود. در این رهیافت برای هر کالای نهایی یک تابع تولید نهایی بر اساس کالاهای واقعی وجود دارد که با قرار دادن آن در تابع مطلوبیت، یک تابع مطلوبیت جدایی‌پذیر ایجاد می‌شود، بنابراین نرخ نهایی

[1]. Muth (1966)

جانشینی بین مصرف دو کالای بازاری به هم مرتبط با نرخ نهایی جانشینی در تولید کالای نهایی برابر و در نهایت مستقل از کالاهایی است که در فرآیند تولید این کالای نهایی به کار گرفته نشده است.

تفسیر دیگر جدایی‌پذیری تابع مطلوبیت مربوط به لنکستر (۱۹۶۶) است. رهیافت مطرح شده توسط وی برای تئوری رفتار مصرف‌کننده یک تئوری بنیادی از آن چیزی است که توسط موث (۱۹۶۶) بیان شد. در این رهیافت، مطلوبیت بر اساس خصوصیات کالاها تعریف شده و لذا رجحان‌های مصرف‌کننده به طور غیر مستقیم تحت تاثیر مصرف کالاها قرار می‌گیرد. این مطلب زمینه‌ساز تئوری مطلوبیت تصادفی و تئوری انتخاب گسسته شد (راج ادهیکاری[1]، ۲۰۱۱). در این تئوری رتبه‌بندی رجحان‌ها یا مطلوبیت مربوط به کالاها به طور غیر مستقیم توسط جمع‌آوری خصوصیات مربوط به کالاهای مختلف صورت می‌گیرد. او بیان می‌کند که در تئوری رفتار مصرف‌کننده خصوصیات ذاتی کالاها، همان خصوصیاتی که الماس را از نان متفاوت می‌سازد، به طوری که مصرف‌کننده‌ای که فقط الماس را مصرف می‌کند همان قدر عقلایی است که مصرف‌کننده‌ای که فقط نان را مصرف می‌کند، اما مصرف‌کننده‌ای که گاهی نان وگاهی الماس را مصرف می‌کند غیر عقلایی عمل می‌کند. به عبارت دیگر تنها خصوصیتی که تئوری بر اساس آن ایجاد می‌شود خصوصیت کالا بودن است وکالا آن چیزی است که فرد تمایل به داشتن مقدار بیشتری از آن خواهد داشت.

برای مثال او بیان می‌کند، یک غذا که در تئوری رفتار مصرف‌کننده به عنوان یک کالا در نظر گرفته می‌شود علاوه بر یک سری خصوصیات مربوط به مواد مغذی آن، دارای یک سری خصوصیات مربوط به طعم است که باعث متفاوت شدن غذاها از یکدیگر می‌شود. لذا، لنکستر تابع مطلوبیت را نه بر روی کالاهای نهایی بلکه بر اساس خصوصیات آن کالا تعریف می‌کند، بنابراین در فرآیند تولید آنچه بدست می‌آید خصوصیات مربوط به کالاهای نهایی است نه خود کالای نهایی.

مهم‌ترین دست آورد ناشی از رهیافت لنکستر (۱۹۶۶) این است که افراد کالاها را نه به دلیل خود کالا بلکه به واسطه خصوصیات آن کالا مورد تقاضا قرار می‌دهند و این خصوصیات است که موجب افزایش مطلوبیت می‌شود. در این دیدگاه مصرف‌کننده به عنوان فردی معرفی می‌شود که از خصوصیات یک کالا مطلوبیت کسب می‌کند در حالی که کالاها، عرضه‌کننده این خصوصیات

[1]. Rag Adhikari (2011)

با کیفیت‌های متفاوت هستند. به این ترتیب کالاها نتیجه یک فرآیند تولید خصوصیات‌اند، یعنی یک وضعیت مشابه ولی نه کاملا یکسان با تئوری تولید با این تفاوت که تکنولوژی مصرف شامل یک نهاده (یک کالا) و ستاده، ترکیبی از خصوصیات است. این در حالی است که تکنولوژی تولید شامل چند نهاده و یک ستاده است. به این ترتیب یک کالا دارای بیش از یک خصوصیت و هر خصوصیت قابل دستیابی از بیش از یک کالا است (باتون[1]، ۱۹۷۵).

در این چارچوب فرض بر این است که مجموعه‌ای از خصوصیات که میزان آن توسط عناصر مجموعه Z و مجموعه‌ای از کالاها که میزان آن توسط عناصر مجموعه X معرفی می‌شود، وجود دارد. همچنین فرض می‌شود که تابعی مانند $G(x)$ وجود دارد که توصیف کننده ارتباط بین کالاها و خصوصیات آن است، الگویی که از طریق آن میزان خصوصیات بدست آمده توسط میزان متفاوت از کالاهای مختلف توصیف می‌شود. لذا مساله حداکثرسازی توسط مصرف‌کننده عقلایی در یک بازار آزاد رقابتی و قید بودجه خطی به صورت زیر خواهد بود (کواندت[2]، ۱۹۷۶):

$$\begin{aligned} &\text{Max: } U(z) \\ &\text{s.t: } Z=\beta(x) \\ &P.x \leq Y \quad \text{و} \quad x\geq 0 \end{aligned} \qquad (۲)$$

به این ترتیب فرضیه جدایی‌پذیری تابع مطلوبیت، ایجاد کننده یک تابع تقاضا است که فقط تابعی از قیمت کالاها در یک شاخه و متغیر درآمد اختصاص داده شده به آن شاخه است و فرض بر این است که درآمد اختصاص داده شده به هر شاخه از قبل تعیین شده است. تنها مساله باقی مانده در این نوع از مدل‌ها چگونگی تخصیص درآمد بین شاخه‌های مختلف است به گونه‌ای که مساله وابستگی تقاضای کالاهای مختلف در هر شاخه به قیمت سایر کالاها درشاخه‌های دیگر ایجاد نشود. در این راستا مدل تقاضا نیاز به ساده‌سازی دیگری دارد با این فرض که سهم درآمد اختصاص یافته به هر شاخه محدود است. بنابراین اثر درآمدی بین شاخه‌ها تقریبا قابل چشم پوشی بوده و لذا این فرض، ایجاد تابع تقاضا برای کالاها در هر شاخه را به طور کاملا مستقل از قیمت کالاها در سایر بخش‌ها امکان‌پذیر می‌کند. یکی از این بخش‌ها تقاضای سفر برای انواع وسایل نقلیه است که می‌توان بر اساس تئوری لنکستر مدل‌سازی آن را مستقل از سایر بخش‌ها انجام داد.

---

1. Button (1975)
2. Quandt (1976)

همچنین امکان در نظر گرفتن تقاضای سفر به توابع جداگانه برای سفرها را با اهداف گوناگون نیز ایجاد نمود.

۳- مدل‌سازی مدل‌های انتخاب گسسته و استخراج تابع تقاضا

برای مدل‌سازی مدل‌های انتخاب گسسته نیاز به معرفی ۴ بخش زیر است:

الف) فرد تصمیم گیرنده: واحد تصمیم‌گیری در مدل‌های انتخاب گسسته می‌تواند یک فرد یا یک خانواده باشد. فرد تصمیم گیرنده در این مدل‌ها با مجموعه انتخاب‌های متفاوت روبرو بوده و دارای سلایق متفاوت است که استفاده از فرم مدل‌های رفتاری غیر جمعی امکان در نظر گرفتن این تفاوت‌ها را ایجاد می‌کند. هر چند در این نوع از تخمین‌ها هدف تخمین تقاضای جمعی است ولی در نظر گرفتن واحدهای فردی امکان تفاوت در افراد مختلف را ایجاد می‌کند.

ب) گزینه‌ها: انتخاب هر مصرف‌کننده از یک مجموعه غیر تهی از گزینه‌ها انتخاب می‌شود. هر مصرف‌کننده با توجه به محدودیت‌های خود با یک زیر مجموعه از مجموعه انتخاب جهانی روبرو است که امکان‌پذیری هر یک از گزینه‌ها در این مجموعه از طریق محدودیت‌های متنوعی مانند محدودیت‌های فیزیکی (مثلا دسترسی به اتوبوس بین محل کار و منزل)، محدودیت‌های پولی (مثلا هزینه تاکسی برای افراد کم درآمد قابل پرداخت نباشد)، محدودیت زمانی (مثلا امکان پیاده روی برای فرد به دلیل طولانی بودن مسیر وجود نداشته باشد) و ... تعیین می‌شود.

ج) خصوصیات مربوط به گزینه‌ها: این مجموعه انتخاب دارای شرایط زیر است (بن اکیوا، ۱۹۸۵):

۱. تعداد گزینه‌ها محدود است.

۲. گزینه‌ها دو به دو از هم مجزا هستند، به عبارت دیگر زمانی که فرد یک گزینه را در یک مجموعه از گزینه‌ها انتخاب می‌کند لزوما به این معنی است که فرد گزینه‌های دیگر در این مجموعه را انتخاب نخواهد کرد.

۳. مجموعه گزینه‌ها اتمام پذیر هستند، یعنی همه گزینه‌های موجود در بر گیرنده نبوده و فرد به انتخاب یکی از گزینه‌های مجموعه می‌پردازد. در تئوری انتخاب گسسته فرض بر این است که مجموعه انتخاب فرد شامل چندین گزینه است و هر گزینه شامل تعدادی خصوصیت است که جذابیت هرکدام از این گزینه‌ها بر اساس مقادیر این خصوصیات تعیین می‌شود.

د) قاعده تصمیم‌گیری: انتخاب از یک مجموعه شامل دو یا چند گزینه، نیازمند یک قاعده تصمیم‌گیری است. به عبارت دیگر فرد تصمیم گیرنده از طریق یک فرآیند داخلی و با استفاده از اطلاعات در دسترس در مورد گزینه‌ها به یک انتخاب دست می‌زند. رایج ترین نوع قاعده تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیری بر اساس تابع مطلوبیت است که در آن تابع مطلوبیت تعیین‌کننده میزان جذابیت هر یک از گزینه‌ها بر اساس برداری از مقادیر مربوط به ارزش خصوصیات است و مصرف‌کننده به دنبال حداکثر سازی این تابع بر روی مجموعه‌ای از انتخاب است.

در این مدل‌ها فرض بر این است که مجموعه انتخاب جهانی C از گزینه‌های مورد انتخاب وجود داشته باشد و C_n مجموعه انتخاب‌های تصمیم گیرنده nام است که از طریق محدودیت‌های مربوط به او ایجاد شده باشد، در این صورت $C_n \in C$ است. در این شرایط اگر رجحان‌های مصرف‌کننده دارای خاصیت سازگاری و انتقال‌پذیری روی گزینه‌ها باشد امکان رتبه‌بندی رجحان‌های مصرف‌کننده روی گزینه‌ها وجود خواهد داشت. در این صورت U_{in} به ازاء $i \in C_n$ انتخاب خواهد شد اگر و فقط اگر:

$$U_{in} \geq U_{jn} \quad \forall i,j \in C_n \text{ که } i \neq j$$

با در نظر گرفتن دیدگاه لنکستر، تابع مطلوبیت مصرف‌کننده بر اساس خصوصیات گزینه مورد انتخاب به صورت $U_{in} = U(z_{in})$ تعریف می‌شود که در آن z_{in} برداری از خصوصیات مربوط به گزینه iام توسط تصمیم گیرنده nام است. برای مثال هزینه و زمان سفر توسط اتوبوس با هزینه و زمان سفر توسط خودرو شخصی متفاوت است. به عبارت دیگر در این مساله انتخاب تصمیم‌گیرنده از گزینه‌های موجود به طور آشکار بستگی به خصوصیات هر یک از گزینه‌ها دارد، و لذا تصمیم‌گیرندگان متفاوت با انتخاب‌های متفاوت، زمانی که با گزینه‌های مشابهی روبرو می‌شوند، تصمیمات متفاوت می‌گیرند، زیرا ارزش نسبی هر فرد روی خصوصیات هر گزینه متفاوت است. این ارزش گذاری متفاوت روی گزینه‌های مختلف توسط هر فرد تصمیم‌گیرنده با خصوصیات فرد تصمیم‌گیرنده در ارتباط است، لذا اگر خصوصیات اقتصادی- اجتماعی فرد تصمیم‌گیرنده توسط بردار S_n نمایش داده شود، تابع مطلوبیت این فرد به صورت تابع $U_{in} = U(Z_{in}, S_{in})$ نمایش داده خواهد شد. بنابراین انتخاب در این فرآیند تصمیم‌گیری، فرآیندی پیوسته و دارای مراحل تعریف مساله، انتخاب، تولید گزینه‌ها، ارزیابی خصوصیات مربوط به گزینه‌ها و نتایج است.

۳-۱- تئوری انتخاب تصادفی

تئوری اقتصاد نئوکلاسیک بر این مطلب اذعان دارد که مصرف‌کننده به دنبال حداکثر کردن منافع شخصی خود بوده و در این فرآیند یک کالا تنها زمانی دارای ارزش است که دارای مطلوبیت باشد. در این تئوری در حالی که ناهمگونی رجحان‌های مصرف‌کنندگان متفاوت مورد توجه قرار می‌گیرد، ولی در مطالعات تجربی مربوط به تقاضای بازار ناهمگونی بین مصرف‌کنندگان در نظر گرفته نشده و از ابزار مصرف‌کننده نماینده استفاده می‌شود. در این تئوری یک مصرف‌کننده با یک تابع مطلوبیت روبرو است و هدف وی حداکثر کردن این مطلوبیت با توجه به قید بودجه است. این حداکثر سازی منجر به ایجاد یک تابع تقاضا می‌شود و فرض بر این است که در بعد بازاری نیز تابع تقاضا به همین صورت است، با این تفاوت که جزء خطا برای تفاوت موجود در مشاهدات ناشی از تقاضای بازاری و مشاهدات دنیای واقعی به کار می‌رود. به عبارت دیگر منشأ ایجاد این جزء خطا ناشی از خطای اندازه‌گیری در تقاضا و یا اشتباه مصرف‌کننده در فرآیند حداکثر سازی است و نه به دلیل عوامل غیر قابل مشاهده در بین افراد مختلف. در زبان علم آمار این موضوع یعنی، تئوری‌های رایج مصرف‌کننده محدودیت‌های ساختاری وسیعی را بر متوسط رفتار افراد تحمیل می‌کند (مک فادن، ۲۰۰۱).

در مدل‌های انتخاب گسسته توسعه تئوری تقاضا برخاسته از نیاز به توضیح غیر انتقالی بودن رجحان‌ها و ناسازگاری رفتار مصرف‌کننده در نمونه‌های عملی است، به این صورت که افراد در شرایط انتخاب یکسان، گزینه‌های یکسانی را انتخاب نمی‌کنند. از طرف دیگر با تغییر مجموعه انتخاب، فرض انتقالی بودن رجحان‌ها نیز برقرار نیست. همچنین در نمونه‌های تجربی مشاهده می‌شود که افراد با مجموعه انتخاب یکسان و خصوصیات اقتصادی- اجتماعی یکسان، گزینه‌های متفاوتی را انتخاب خواهند کرد. بنابراین مکانیسم انتخاب تصادفی به منظور معرفی این‌گونه ناسازگاری‌های رفتاری معرفی شد. در این مکانیسم دو رهیافت مطلوبیت ثابت و تصادفی در مورد این ناسازگاری وجود دارد که البته رهیافت مطلوبیت تصادفی سازگاری بیشتری با تئوری رفتار مصرف‌کننده دارد. در ادامه به معرفی رهیافت مطلوبیت تصادفی پرداخته می‌شود.

۳-۲- رهیافت مطلوبیت تصادفی

در این رهیافت علت ناسازگاری در رفتار مصرف‌کننده ناشی از تغییرات غیر قابل مشاهده بین تصمیم‌گیرندگان و صفات غیر قابل مشاهده گزینه‌ها است. در این رهیافت این نوع رفتار از طریق

جزء خطا مورد بررسی قرار گرفته و فرض می‌شود مصرف‌کننده گزینه‌ای را انتخاب می‌کند که دارای بالاترین سطح مطلوبیت برای وی باشد، ولی از آنجا که مطلوبیت به طور قطعی توسط مصرف‌کننده شناخته شده نیست، به صورت یک متغیر تصادفی در نظرگرفته می‌شود. از این نقطه نظر احتمال انتخاب گزینه iام برابر با احتمال این است که مطلوبیت گزینه iام بزرگ‌تر یا برابر با گزینه‌های دیگر در مجموعه انتخاب باشد. به عبارت دیگر:

$$\mathrm{P(i}|c_n) = pr[U_{in} > u_{jn} \text{ برای همه مقادیر } j \in C_n] \qquad (۳)$$

این احتمال از طریق در نظر گرفتن یک توزیع احتمال ترکیبی برای یک مجموعه مطلوبیت‌های تصادفی $U_{in}, i \in C_n$ محاسبه می‌شود (ترین[1]، ۲۰۰۹). مانسکی[2] (۱۹۷۳) چهار منشأ جداگانه برای این نوع رفتار تصادفی در نظر می‌گیرد.

۱. صفات غیر قابل مشاهده: که سبب می‌شود بردار صفات تاثیرگذار بر تصیمم‌گیری غیر کامل باشد. لذا در این حالت تابع مطلوبیت به صورت $U_{in} = U(Z_{in}, S_n, Z_{in}^U)$ است که در آن Z_{in}^U یک بخش تصادفی است و تصادفی بودن U_{in} را ایجاب می‌کند.

۲. تغییر سلایق غیر قابل مشاهده: در این حالت تابع مطلوبیت به صورت $U_{in} = \mathrm{U}(Z_{in}, S_n, Z_{in}^U)$ است که در آن S_n^u نشان‌دهنده تغییرات غیر قابل مشاهده خصوصیات مصرف‌کننده و یک بخش تصادفی است.

۳. خطای اندازه‌گیری: در این حالت تابع مطلوبیت به صورت $U_{in} = \mathrm{U}(\tilde{Z}_{in}, S_n)$ است که در آن $\tilde{Z}_{in} = Z_{in} + \widetilde{\varepsilon_{in}}$ و $\tilde{Z}_{in}$ بخش قابل مشاهده و $\tilde{\varepsilon}_{in}$ خطای اندازه‌گیری ناشناخته است. بنابراین $U_{in} = U(z_{in} + \tilde{\varepsilon}_{in}, s_n)$ است.

٤. متغیرهای ابزاری: که در آن Z_{in} قابل مشاهده نبوده و $\tilde{Z}_{in}$ به عنوان متغیر ابزاری در نظر گرفته می‌شود. در این شرایط $U_{in} = U(\tilde{Z}_{in}, S_n)$ و $\tilde{Z}_{in} = \mathrm{g}(Z_{in}) + \tilde{\varepsilon}_{in}$ و لذا $U_{in} = U(g(Z_{in}) + \tilde{\varepsilon}_{in}, S_n)$.

بنابراین تابع مطلوبیت گزینه‌های مختلف بدون توجه به منشأ ایجاد و شکل‌گیری مطلوبیت تصادفی، به صورت حاصل جمع دو بخش تصادفی و غیر تصادفی به صورت زیر

---

1. Train (2009)
2. Mansk (1973)

$$U_{in} = V(Z_{in}, S_n) + \varepsilon(Z_{in}, s_n) = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (۴)$$

معرفی می‌شود. به عبارت دیگر برای مدل‌سازی این روش نیازمند تفکیک مدل به سه بخش ۱. تفکیک مطلوبیت کل به دو بخش تصادفی و معین، ۲. تصریح بخش معین و ۳. تصریح بخش تصادفی یا $f(\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n} \dots \varepsilon_{jn})$ و ایجاد یک سری فروض در مورد توزیع احتمال ترکیبی مجموعه ای از اجزاء خطا یا همان $f(\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n} \dots, \varepsilon_{jn})$ می‌باشد.
در این شرایط احتمال انتخاب گزینه iام توسط فرد nام به صورت زیر است.

$$P_n(i) = \Pr\left[(V_{in} + \varepsilon_{in}) \geq (V_{jn} + \varepsilon_{jn}), \forall i \neq j, i, j \in C_n\right] = \quad (۵)$$
$$pr\left[(\varepsilon_{ni}) \leq (V_{jn} - V_{in} + i\varepsilon_{jn}), \forall i \neq j, i, j \in C_n\right]$$

اگر ε_{ni} داده شده در نظر گرفته شود ε_{nj} دارای توزیع تجمعی برای هر ε_{ni} در مقدار $\varepsilon_{ni} + V_{ni}$-$V_{nj}$ است.
در مدل لاجیت فرض بر این است که ε_{ni} دارای توزیع مستقل و مشابه، دارای توزیع گامبل[1] و توزیع احتمال به‌صورت $f(\varepsilon_{ni})=e^{-e^{-\varepsilon_{nj}}}.e^{-\varepsilon_{nj}}$ و توزیع تجمعی به‌صورت $F(\varepsilon_{nj})=e^{-e^{\varepsilon_{nj}}}$ است، بنابراین احتمال انتخاب گزینه iام توسط فرد nام برابر با $\exp(-\exp(-(\varepsilon_{ni}+V_{ni} - V_{nj}))$ است. از آنجا که ε_{ni} دارای توزیع مستقل است، این توزیع تجمعی بر روی مقادیر $i \neq j$ به صورت زیر است.

$$P_{ni}|\varepsilon_{ni} = \prod_{i \neq j} e^{-e^{-(\varepsilon_{ni}+V_{ni}-V_{nj})}} \quad (۶)$$

از آنجا که ε_{ni} دارای مقادیر معین نیست پس احتمال انتخاب گزینه iام برابر با انتگرال $P_{ni}|\varepsilon_{ni}$ در تابع چگالی روی همه مقادیر ε_{ni} است. به عبارت دیگر:

$$P_{ni} = \int (e^{-e^{-(\varepsilon_{ni}+V_{ni}-V_{nj})}}.e^{-\varepsilon_{ni}}.e^{-e^{-\varepsilon_{ni}}}.d\varepsilon_{ni} \quad (۷)$$

با کمی تغییرات جبری مقدار این انتگرال برابر با $P_{ni} = \frac{e^{v_{ni}}}{\sum_j e^{v_{nj}}}$ است (ترین، ۲۰۰۹).

[1]. Gambel

حال، با توجه به چگونگی محاسبه و تخمین تابع تقاضا در مدل‌های انتخاب گسسته معرفی شده، و اینکه حمل و نقل و انتخاب وسیله نیز در چارچوب این مدل‌ها قابل تخمین و بررسی است (مورد تاکید در بخش دوم مقاله)، در بخش‌های بعدی مطالعه با استفاده از روش‌های ارائه شده، تقاضای سفر (انتخاب وسیله) در شهر اصفهان به عنوان یک مدل کاربردی ارزیابی می‌شود. در این راستا ابتدا اشاره مختصری به پیشینه مطالعات انجام شده در به کارگیری این مدل‌ها در تابع تقاضای سفر (انتخاب وسیله) خواهد شد. در نهایت نتایج مربوط به تخمین تقاضای خودرو شخصی، تاکسی و اتوبوس در شهر اصفهان در ساعت اوج صبح ارائه می‌شود.

۴- پیشینه تحقیق

ممدوحی و میر محمدی (۱۳۹۱) در مقاله‌ای تحت عنوان "کاربرد مدل‌های انتخاب گسسته در پیش‌بینی تعداد سفرهای هوایی: مطالعه موردی فرودگاه امام خمینی (ره) تهران"، به بررسی عوامل موثر بر انتخاب هواپیما با استفاده از یک مدل لوجیت دوگانه پرداخته‌اند. در این مقاله عوامل موثر بر انتخاب عبارتند از سن، جنسیت، درآمد، وضعیت تاهل، تحصیلات، تعداد وسایل نقلیه ملکی خانواده و هدف سفر.

نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که عوامل اقتصادی و اجتماعی مؤثر در تعداد سفرهای هوایی تولیدی، به صورت کاهشی عبارتند از: درآمد بیش از ۲/۵ میلیون تومان، هدف سفر، درآمد بین ۱/۵ تا ۲/۵ میلیون تومان، درآمد بین ۱ تا ۱/۵ میلیون تومان، سن، تحصیلات افراد با جنسیت مذکر و مالکیت وسیله نقلیه شخصی.

آسنسایو[1] (۲۰۰۲) در مقاله‌ای تحت عنوان "انتخاب وسیله نقلیه برای سفرکنندگان به مرکز شهر در بارسلون اسپانیا"، به بررسی عوامل موثر بر انتخاب وسیله سفر به مرکز شهر با استفاده از یک مدل لوجیت چندگانه آشیآن‌های در دو نوع وسیله نقلیه عمومی و خودرو شخصی می‌پردازد. در این مطالعه عوامل موثر بر انتخاب خودرو شخصی عبارتند از: زمان سفر، جنسیت، هزینه سفر، سرپرست خانوار بودن و چگالی جمعیت در منطقه سکونت و محل کار. عوامل موثر بر حمل و نقل عمومی نیز عبارتند از: زمان سفر با وسیله نقلیه عمومی، زمان انتظار، زمان پیاده‌روی تا مقصد، زمان پیاده‌روی تا مبدأ و زمان انتقال بین وسایل نقلیه عمومی، هزینه، جنسیت، مسافت سفر و تناوب

[1]. Asensio (2002)

وسیله نقلیه عمومی.

نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که ضرایب مربوط به هریک از متغیرها بجز تناوب وسیله نقلیه عمومی دارای علامت مورد انتظار بوده و در سطح معنی‌داری قابل قبولی است.

مک دونالد[1] (۲۰۰۷) در مقاله‌ای تحت عنوان "انتخاب وسیله کودکان برای سفر به مدرسه: نقش فاصله و مکان مدرسه در پیاده‌روی تا مدرسه"، به بررسی عوامل تاثیرگذار بر انتخاب بین پیاده‌روی کودکان تا مدرسه و سایر وسایل نقلیه در مدارس ابتدایی و متوسطه با استفاده از مدل‌های لوجیت چندگانه می‌پردازد. در این مقاله عوامل تاثیرگذار بر انتخاب کودکان به سه دسته عوامل زیر تقسیم می‌شود:

۱. خصوصیات خانوادگی مانند تعداد خودرو به ازاء افراد دارای گواهینامه در خانواده، درآمد، چگالی منطقه سکونت و خصوصیات نژادی خانواده مانند سیاه پوست بودن، آمریکایی یا آسیایی بودن و ...

۲. خصوصیات مربوط به دانش آموز مانند سن، جنسیت و تعداد فرزندان خانواده.

۳. خصوصیات مربوط به سفر مانند مسافت سفر، زمان سفر با خودرو شخصی و زمان پیاده‌روی.

نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که ۱. خصوصیات مربوط به سفر (زمان سفر و مسافت سفر) از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر انتخاب وسیله است. ۲. از بین خصوصیات مربوط به خصوصیات دانش‌آموز سن و تعداد فرزندان در خانواده دارای تاثیر معنی‌داری بر انتخاب وسیله است ولی جنسیت تاثیر بسیار ضعیفی بر انتخاب وسیله دارد. ۳. از بین عوامل مربوط به خصوصیات خانوادگی درآمد تاثیر محدودی بر انتخاب وسیله دارد و اثرات مربوط به خصوصیات قومی نژادی بی معنی است.

بوهلر[2] (۲۰۱۱) در مقاله‌ای تحت عنوان "عوامل تعیین‌کننده انتخاب وسیله: مقایسه آلمان و آمریکا" به بررسی عوامل تاثیرگذار بر تفاوت موجود در انتخاب وسیله بین این دو کشور با استفاده از یک مدل لوجیت چندگانه می‌پردازد. او بیان می‌کند که در آلمان در مقایسه با آمریکا ۴ برابر بیشتر از پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و حمل و نقل عمومی برای سفر استفاده می‌نمایند ولی سهم سفر آن‌ها با خودرو شخصی ۲۵ درصد نسبت به آمریکا کمتر است. در این مطالعه عوامل موثر بر انتخاب وسیله عبارتند از فاصله منزل تا ایستگاه اتوبوس، چگالی جمعیت در هر مایل مربع،

---

1. McDonald (2007)
2. Buehler (2011)

نسبت مکان‌های کاری به مسکونی و متغیرهای اقتصادی- اجتماعی درآمد خانواده، دسترسی به خودرو شخصی، جنسیت، وضعیت شغلی، هدف سفر و داشتن گواهینامه.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که فاصله تا ایستگاه، چگالی جمعیتی و دسترسی به اتومبیل دارای اثر ضعیف‌تری بر انتخاب خودرو شخصی در آمریکا نسبت به آلمان است. همچنین تفاوت معنی‌داری در سایر متغیرهای توضیحی در دو کشور وجود دارد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تفاوت موجود در دو کشور از نظر میزان تاثیر متغیرهای توضیحی و جهت تاثیرگذاری آن در انتخاب وسیله در دو کشور ناشی از سیاست‌گذاری‌هایی است که سبب وابستگی به خودرو شخصی می‌شود. برای مثال در آمریکا حتی افراد با فاصله بسیار کم تا ایستگاه اتوبوس و در مناطق با چگالی جمعیتی بالا نیز تمایل بیشتری به استفاده از خودرو شخصی دارند زیرا بسیاری از مقصدها بدون خودرو شخصی قابل دسترسی نیست، یا در خارج از شهرهای بزرگ، گستردگی شبکه‌های حمل و نقل عمومی به گستردگی شبکه‌های موجود در آلمان نیست. از طرف دیگر عوامل دیگری بجز متغیرهای اقتصادی-اجتماعی و متغیرهای جمعیت شناختی و توسعه فضایی، مانند ترجیحات فرهنگی و سیاست‌های مربوط به کاربری اراضی نیز بر انتخاب وسیله افراد تاثیر گذار است.

۵- جامعه آماری و روش نمونه‌گیری

جامعه آماری این مطالعه سفر کنندگان در سطح شهر اصفهان در ساعت اوج صبح یک روز کاری بوده و داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه از طریق پرسش‌نامه توزیع شده بین ۴۵۷ فرد سفر کننده در ساعت اوج صبح (۹-۷) در اسفند ۱۳۹۲ جمع‌آوری شده است. همچنین برای تعیین نمونه انتخابی از روش نمونه‌گیری ساده تصادفی در سطح شهر اصفهان استفاده شد.

۶- نتایج تجربی

در این بخش بر اساس بردارهای معرفی شده در بخش‌های قبل، ابتدا عوامل و متغیرهای موثر بر تقاضای سفر (انتخاب وسیله نقلیه) معرفی، سپس ضرایب تابع مطلوبیت و احتمال انتخاب هر یک از وسایل نقلیه برازش شده و در ادامه آزمون معنی داری و قدرت برازش مدل مورد بررسی قرار گرفته است و در بخش بعدی تابع تقاضای جمعی هر وسیله بر اساس احتمال انتخاب آن محاسبه می‌شود. در پایان نیز کشش‌های تقاضا نسبت به هر یک از مولفه‌های تاثیرگذار محاسبه شده است.

۶-۱- تخمین ضرایب تابع مطلوبیت وسایل نقلیه مختلف

همان‌طور که در بخش مبانی نظری مقاله بیان شد، عوامل موثر بر تقاضای سفر بر اساس مدل انتخاب گسسته شامل دو دسته عوامل و متغیرهای اقتصادی و اجتماعی، و عوامل و متغیرهای مربوط به نوع وسیله نقلیه است. در این مقاله بر اساس مطالعات انجام گرفته در این زمینه مانند ماکت[1] (۲۰۰۳)، پاولی[2] و همکاران (۲۰۰۶)، اریکسون[3] و همکاران (۲۰۰۸) و ... و نیز مصاحبه‌های انجام گرفته با تعدادی از استفاده‌کنندگان از وسایل حمل و نقل عمومی و خودرو شخصی، عوامل موثر بر انتخاب وسیله نقلیه (تقاضای سفر) به صورت زیر معرفی می‌شوند.

۱. متغیرهای اقتصادی و اجتماعی: این متغیرها شامل سن، جنسیت و تحصیلات، تعداد خودرو در خانواده، تعداد گواهینامه و درآمد است.

۲. متغیرهای مربوط به نوع وسیله نقلیه شامل:

۱.۲. زمان سفر: این زمان شامل زمان پیاده‌روی تا ایستگاه، زمان انتظار در ایستگاه، زمان سفر با هر یک از وسایل نقلیه و زمان پیاده‌روی تا مقصد است.

۲.۲. هزینه: این متغیر برای وسایل حمل و نقل عمومی، میزان کرایه و برای خودرو شخصی شامل هزینه بنزین، هزینه استهلاک و هزینه تعمیر و نگهداری است.

۳.۲. آسایش: این متغیر بر اساس جای نشستن راحت، تهویه و دمای مناسب و فضای کافی تعیین می‌شود.

۳. مسافت سفر

با در نظر گرفتن متغیرهای فوق نتایج تخمین ضرایب تابع مطلوبیت هر یک از وسایل نقلیه به روش لاجیت چند گانه به شرح جداول زیر است.

جدول (۱): نتایج تخمین ضرایب تابع مطلوبیت تاکسی با استفاده از روش لاجیت چند گانه

تاکسی	نماد	ضریب	آماره والد	احتمال عدم معنی‌داری	سطح معنی‌داری
ضریب ثابت	CONSTANT	-۲/۲۹۴۶۰	-۳/۱۶	۰/۰۰۱۶	٪۹۹
زمان سفر	TOTALTIME	-۰/۲۱۱۰	-۲/۲۷	۰/۰۲۳۴	٪۹۵
درآمد	INCOME	۰/۳۱۷۷۹	۲/۸۴	۰/۰۰۴۵	٪۹۹
هزینه	COST	-۰/۰۰۰۷۸	-۳/۷۲	۰/۰۰۰۲	٪۹۹
آسایش	COMFORT	۰/۰۱۴۵۸	۲/۲۴	۰/۰۲۵۳	٪۹۵

ماخذ: محاسبات محقق

[1]. Mackett (2003)
[2]. Paulley (2006)
[3]. Erikson (2008)

جدول (۲): نتایج تخمین ضرایب تابع مطلوبیت اتوبوس با استفاده از روش لاجیت چند گانه

اتوبوس	نماد	ضریب	آماره والد	احتمال عدم معنی‌داری	سطح معنی‌داری
زمان سفر	TIME	-۰/۰۲۷۹۰	-۴/۴۰	۰	٪۹۹
هزینه	COST	-۰/۰۰۱۴۵	-۱/۹۶	۰/۰۵۰۴۰	٪۹۰
آسایش	COMFORT	۰ /۰۰۸۹۵	۱/۱۹۵	۰/۰۵۰۶	٪۹۰

ماخذ: محاسبات محقق

جدول (۳): نتایج تخمین ضرایب تابع مطلوبیت خودرو شخصی با استفاده از روش لاجیت چند گانه

خودرو شخصی	نماد	ضریب	آماره والد	احتمال عدم معنی‌داری	سطح معنی‌داری
ضریب ثابت	CONSTANT	-۲/۳۶۷۲۳	-۳/۳۰	۰/۰۰۱۰	٪۹۹
آسایش	COMFORT	۰/۰۱۴۶۶	۲/۳۵	۰/۰۱۸۸	٪۹۵

ماخذ: محاسبات محقق

ضرایب بدست آمده از جداول فوق حاکی از آن است که:

۱. عدم معنی‌داری ضرایب متغیرهای اقتصادی اجتماعی جنس، سن و تحصیلات، تعداد خودرو در خانواده و تعداد خودرو به تعداد گواهینامه، در تابع مطلوبیت همه وسایل نقلیه است، به عبارت دیگر این عوامل تاثیری بر انتخاب وسایل نقلیه گوناگون ندارد.

۲. متغیر درآمد تاثیری بر تابع مطلوبیت خودرو شخصی و اتوبوس نداشته است، به عبارت دیگر متغیر درآمد در تابع مطلوبیت اتوبوس و خودرو شخصی معنی‌دار نبوده در حالی که اثر آن بر انتخاب تاکسی مثبت و معنی‌دار بوده است.

۳. متغیر زمان سفر که شامل مجموع ۴ نوع زمان سفر اشاره شده در بالا است در تابع مطلوبیت وسیله نقلیه تاکسی و اتوبوس معنی‌دار با علامت منفی و در انتخاب خودرو شخصی فاقد معنی‌داری لازم بوده است.

۴. متغیر هزینه، در انتخاب تاکسی و اتوبوس با علامت منفی بوده و دارای سطح معنی‌داری متفاوت بوده است. این متغیر در انتخاب خودرو شخصی تاثیری نداشته است.

۵. عامل آسایش در تابع مطلوبیت هر سه نوع وسیله نقلیه دارای علامت مثبت و با سطح معنی‌داری متفاوت بوده است.

۶. مسافت تاثیری در انتخاب وسیله نداشته است.

۶-۱-۱- آزمون معنی‌داری کل مدل

برای آزمون معنی‌داری کل مدل از مقایسه بین حداکثر درست نمایی مدل مورد تخمین نسبت به حداکثر درست نمایی بدست آمده از مدل پایه، که در آن فقط ضرایب ثابت وجود دارد، استفاده می‌شود. در این آزمون اگر تابع حداکثر درست نمایی مدل مورد تخمین نسبت به مدل پایه بهبود داشته باشد، در این صورت مدل به طور کلی معنی‌دار است. به عبارت دیگر، اگر تابع درست نمایی مدل مورد تخمین بهبودی نسبت به مدل پایه نداشته باشد، در این صورت ضرایب مورد تخمین بهبودی در قدرت پیش‌بینی مدل نسبت به مدل پایه ایجاد نمی‌کند. برای مقایسه تابع درست نمایی در دو مدل از آزمون نسبت حداکثر درست نمایی استفاده می‌شود. فرمول مورد نیاز این آزمون به صورت زیر است:

$$-2(LL_{\text{پایه مدل}} - LL_{\text{تخمینی مدل}}) = \chi^2(\text{تفاوت در تعداد پارامترهای تخمینی در دو مدل})$$

حال چنانچه مقدار آماره این آزمون از مقدار بحرانی آماره χ^2 در سطح اطمینان معین بزرگ‌تر باشد، فرضیه صفر یعنی عدم معنی‌داری کل مدل رد می‌شود و بر عکس. در این مطالعه مقدار آماره آزمون به صورت زیر محاسبه شده است.

$$-2(-403+363)=80 > \chi^2(8) = 20.0902$$

با توجه به نتیجه فوق، معنی‌داری کل مدل در سطح ۹۹٪ پذیرفته می‌شود.

۶-۱-۲- قدرت برازش مدل

نکته قابل ذکر اینکه در این مدل‌ها برای تشخیص قدرت برازش مدل از R^2-pseudo استفاده می‌شود که متفاوت از R^2 در مدل‌های خطی است. در مدل‌های تخمینی فوق این آماره ۱۰ درصد بدست آمده که معادل ضریب تعیین ۲۲ درصد در مدل‌های خطی است. این آماره از طریق رابطه زیر محاسبه شده است.

$$R^2\text{-pseudo} = \frac{LL_{\text{مدل پایه}} - LL_{\text{مدل تخمینی}}}{LL_{\text{مدل پایه}}} \qquad (۸)$$

۶-۲- تابع مطلوبیت و احتمال انتخاب وسایل نقلیه مختلف

بعد تخمین ضرایب توابع مطلوبیت وسایل نقلیه، بر اساس ضرایب بدست آمده توابع مطلوبیت این وسایل به صورت زیر خواهد بود.

$$U(bus) = -0.00145*COST_B - 0.02790*TIME_B + 0.00895*COMFORT_B$$
$$U(TAXI) = -2.2946 - 0.00078 * COST_T + 0.31779 * INCOME_T - 0.2110 * TIME + 0.01458 * COMFORT_T$$
$$U(car) = -2.36723 + 0.01446 * COMFORT_C$$

بر اساس ضرایب بدست آمده، احتمال انتخاب هریک از وسایل نقلیه برای هر فرد نیز از رابطه زیر قابل محاسبه است.

احتمال انتخاب اتوبوس توسط فرد iام:

$$P_{bus} = \frac{e^{\,-0.00145*COST_B - 0.02790*TIME_B + 0.00895*COMFORT_B}}{e^{\,-0.00145*COST_B - 0.02790*TIME_B + 0.00895*COMFORT_B} + e^{-2.36723 + 0.01446*COMFORT_C} + e^{-2.2946 - 0.00078*COST_T + 0.31779*INCOME_T - 0.2110*TIME_T + 0.01458*COMFORT_T}}$$

احتمال انتخاب تاکسی توسط فرد iام:

$$P_{Taxi} = \frac{e^{e^{-2.2946 - 0.00078*COST_T + 0.31779*INCOME_T - 0.2110*TIME_T + 0.01458*COMFORT_T}}}{e^{\,-0.00145*COST_B - 0.02790*TIME_B + 0.00895*COMFORT_B} + e^{-2.36723 + 0.01466*COMFORT_C} + e^{e^{-2.2946 - 0.00078*COST_T + 0.31779*INCOME_T - 0.2110*TIME_T + 0.01458*COMFORT_T}}}$$

احتمال انتخاب خودرو شخصی توسط فرد iام:

$$P_{car} = \frac{e^{-2.3\ 6723\ + 0.01446*COMFORT_C}}{e^{\,-0.00145*COST_B - 0.02790*TIME_B + 0.00895*COMFORT_B} + e^{-2.36723 + 0.01466*COMFORT_C} + e^{e^{-2.2946 - 0.00078*COST_T + 0.31779*INCOME_T - 0.2110*TIME_T + 0.01458*COMFORT_T}}}$$

۶-۳- جمعی‌سازی و تقاضای کل

برای بدست آوردن تقاضای کل هر یک از وسایل نقلیه، در این مقاله از روش جمعی‌سازی احتمال انتخاب نمونه استفاده شده است که از طریق حاصل جمع یا میانگین احتمال انتخاب هر یک از افراد در نمونه ایجاد می‌شود.. در این روش اگر P_{in} احتمال انتخاب گزینه iام در مجموعه انتخاب توسط فرد nام و نمونه شامل N فرد باشد، در این صورت برای جمعی‌سازی نیاز به اختصاص وزنی به هر یک از افراد در نمونه است. این وزن برای افراد مشابه در نمونه یکسان و معادل با معکوس احتمال انتخاب این فرد در نمونه است. بنابراین چنانچه وزن اختصاص داده شده به هر گروه از افراد مشابه در نمونه برابر با w_n باشد، تقاضا برای وسیله iام برابر با $\widehat{N}_i=\sum_n w_n p_{in}$ خواهد بود. در نمونه تصادفی این وزن برای همه افراد برابر و چنانچه نمونه تصادفی خوشه‌ای باشد این وزن برای همه افراد در یک خوشه ثابت است (ترین، ۱۹۸۶).

در این مطالعه از آنجا که نمونه تصادفی است، وزن اختصاص داده شده به هر یک از افراد در این نمونه ثابت و برابر با احتمال انتخاب این فرد از کل افراد سفرکننده در ساعت اوج صبح است. بر اساس آمار اخذ شده از سالنامه آماری حمل و نقل و ترافیک شهر اصفهان در سال ۱۳۹۲، تعداد کل سفرهای انجام شده توسط خودرو شخصی، تاکسی و اتوبوس در ساعت اوج صبح برابر با ۳۱۵۷۷۷ می‌باشد، لذا تقاضای کل برای هر یک از وسایل نقلیه به صورت زیر خواهد بود.

$$\text{تقاضای خودرو شخصی} = ۳۱۵۷۷۷ * \frac{e^{-2.3\ 6723\ +0.01446*COMFORT_C}}{e^{\ -0.00145*COST_B-0.02790*TIME_B+0.00895*COMFORT_{B+}} e^{-2.36723+0.01466*COMFORT_{C+}} e^{e^{-2.2946-0.00078*COST_T+0.31779*INCOME_T-0.2110*TIME_T+0.01458*COMFORT_T}}}$$

$$\text{تقاضای تاکسی} = ۳۱۵۷۷۷* \frac{e^{e^{-2.2946-0.00078*COST_T+0.31779*INCOME_T-0.2110*TIME_T+0.01458*COMFORT_T}}}{e^{\ -0.00145*COST_B-0.02790*TIME_B+0.00895*COMFORT_{B+}} e^{-2.36723+0.01466*COMFORT_{C+}} e^{e^{-2.2946-0.00078*COST_T+0.31779*INCOME_T-0.2110*TIME_T+0.01458*COMFORT_T}}}$$

تقاضای اتوبوس = ۳۱۵۷۷۷ *

$$\frac{e^{-0.00145*COST_B-0.02790*TIME_B+0.00895*COMFORT_B}}{e^{-0.00145*COST_B-0.02790*TIME_B+0.00895*COMFORT_B+}\ e^{-2.36723+0.01446*COMFORT_C+}\ e^{-2.2946-0.00078*COST_T+0.31779*INCOME_T-0.2110*TIME_T+0.01458*COMFORT_T}}$$

۶-۴- کشش

در مدل‌های لاجیت چندگانه کشش بیانگر رابطه بین درصد تغییر در بعضی از متغیرها (مانند خصوصیات یک گزینه یا خصوصیات اقتصادی و اجتماعی فرد) و درصد تغییر در مقادیر تقاضای یک گزینه است. این تغییر در مقادیر تقاضا شده یک گزینه فقط به ازای تغییر در خصوصیات مربوط به خود یک گزینه ایجاد نمی‌شود بلکه به ازای تغییر در خصوصیات سایر گزینه‌های رقیب نیز ایجاد و سبب ایجاد دو نوع کشش مستقیم و متقاطع می‌شود (هنشر[1] و همکاران، ۲۰۰۵). وویر[2]، هنشر و سوایت[3] (۲۰۰۰) نشان می‌دهند که با کمی ساده سازی کشش مستقیم گزینه iام نسبت به خصوصیت Kام همین گزینه برای فرد q معادل با $E_{X_{ikq}}^{P_{iq}} = -X_{ikq}.\beta_{ik}[1-P_{iq}]$ و کشش متقاطع گزینه iام نسبت به خصوصیت kام گزینه j به صورت $E_{X_{jkq}}^{P_{iq}} = -P_{iq}.X_{jkq}.\beta_{jk}$ است (هنشر و همکاران، ۲۰۰۵).

در این مطالعه کشش متقاطع و مستقیم بدست آمده توسط مدل برای هر یک از وسایل نقلیه به صورت زیر است.

جدول (۴): کشش متقاطع و مستقیم هزینه وسایل نقلیه مختلف

درصد تغییر در احتمال انتخاب	اتوبوس	تاکسی	خودرو شخصی
درصد تغییر در هزینه اتوبوس	-۰/۲۳۴۳	۰/۲۰۶۷	۰/۱۲۶۳
درصد تغییر در هزینه تاکسی	۰/۲۴۵۸	-۰/۷۷۳۶	۰/۱۵۵۱
درصد تغییر در هزینه خودرو شخصی	۰	۰	۰

ماخذ: محاسبات محقق

جدول (۵): کشش متقاطع و مستقیم زمان وسایل نقلیه

کشش زمان	اتوبوس	تاکسی	خودرو شخصی
درصد تغییر در زمان اتوبوس	-۰/۷۳۷۶	۰/۶۵۵۱	۰/۳۹۵۲
درصد تغییر در زمان تاکسی	۰/۱۷۵۱	-۰/۵۵۴۶	۰/۱۱۲۳
درصد تغییر در زمان خودرو شخصی	۰	۰	۰

ماخذ: محاسبات محقق

1. Henser (2005)
2. Louviere
3. Swait (2000)

جدول (۶): کشش درآمدی مستقیم و متقاطع وسایل نقلیه مختلف

درصد تغییر در احتمال انتخاب	اتوبوس	تاکسی	خودرو شخصی
درصد تغییر در درآمد	-۰/۲۴۴۷	۰/۷۸۷۲	-۰/۱۶۱۲

ماخذ: محاسبات محقق

جدول (۷): کشش مستقیم و متقاطع آسایش هر یک از وسایل نقلیه

کشش آسایش	اتوبوس	تاکسی	خودرو شخصی
یک درصد تغییر در آسایش اتوبوس	۰/۱۷۷۸	-۰/۱۶۲۱	-۰/۰۹۳۱
یک درصد تغییر در راحتی تاکسی	-۰/۱۹۷۵	۰/۶۱۰۹	-۰/۱۱۹۲
یک درصد تغییر در راحتی خودرو شخصی	-۰/۳۱۶۷	-۰/۳۲۷۱	۰/۴۸۳۹

ماخذ: محاسبات محقق

نتایج ناشی از جداول فوق حاکی از آن است که:

۱. صفر بودن کشش هزینه خودرو شخصی نسبت به هزینه اتوبوس و تاکسی بیانگر عدم جانشینی خودرو شخصی نسبت به اتوبوس و تاکسی است.

۲. پایین بودن کشش‌ها به طور کلی بیانگر انعطاف پذیری پایین تقاضای وسایل نقلیه مختلف است.

۳. بزرگتر بودن کشش هزینه متقاطع اتوبوس نسبت به تاکسی در مقایسه با خودرو شخصی حاکی از این است که نزدیک ترین جانشین برای اتوبوس، تاکسی است و برعکس. بزرگتر بودن کشش جانشینی متقاطع تاکسی نسبت به اتوبوس در مقایسه با خودرو شخصی بیانگر آن است که نزدیک‌ترین جانشین برای تاکسی، اتوبوس است.

۴. پایین بودن کشش متقاطع و مستقیم هزینه اتوبوس بیانگر این است که گرچه ایجاد انگیزه‌های قیمتی (کاهش قابل توجه هزینه اتوبوس) برای انتقال از خودرو شخصی به سمت استفاده از اتوبوس می‌تواند مفید باشد ولی سیاست‌های مربوط به افزایش آسایش اتوبوس، مانند جای نشستن مناسب، تهویه و دمای مناسب، و تا حدی سیاست‌های مربوط به کاهش زمان سفر، داری تاثیر بیشتری است. بنابراین چون کشش قیمتی کاملا صفر نیست، سیاست‌های کاهش قیمت همراه با سیاست‌های مربوط به افزایش آسایش و کاهش زمان سفر می‌تواند تا حدی برای انتقال از خودرو شخصی به سمت اتوبوس مفید واقع شود.

۵. کاهش زمان سفر، هزینه و آسایش سفر با تاکسی دارای اثر محدودی بر احتمال انتخاب سایر وسایل نقلیه است.

۷- خلاصه و جمع‌بندی

در تئوری انتخاب، فرد به عنوان عامل تصمیم گیرنده اصلی به مرتب سازی گزینه‌های موجود بر اساس رجحان‌های خود پرداخته است، تا از بین آن‌ها به انتخاب بهترین گزینه بپردازد. با در نظر گرفتن پدیده روانشناسی یادگیری و خطای ادراک، تئوری انتخاب اقتصادی قابل کاربرد در بسیاری از موارد است. در این مطالعه ابتدا به معرفی و مدل‌سازی مدل انتخاب گسسته پرداخته شد و سپس رابطه بین حمل و نقل و رفتار مصرف‌کننده به عنوان یک نمونه کاربردی از این مدل ارائه شد. نتایج ناشی از کاربرد این مدل برای استخراج تابع تقاضای سفر (انتخاب وسیله سفر) در شهر اصفهان در ساعت اوج بیانگر این مطلب بود که عوامل تاثیرگذار بر استفاده از خودرو شخصی در سفرهای کاری و تحصیلی در ساعت اوج در شهر اصفهان فقط بستگی به راحتی استفاده از خودرو شخصی دارد، در حالی که هزینه، زمان سفر، درآمد و راحتی عوامل تاثیرگذار بر استفاده از تاکسی بوده، و زمان، هزینه و راحتی عوامل موثر بر انتخاب اتوبوس برای این نوع از سفر بوده است.

منابع و مآخذ

الف) منابع و مآخذ فارسی

۱. سالنامه آماری حمل و نقل و ترافیک شهر اصفهان (۱۳۹۲). معاونت حمل و نقل و ترافیک شهر اصفهان.

۲. ممدوحی، امیررضا. و میرمحمدی، سید اصغر (۱۳۹۱). "کاربرد مدل‌های انتخاب گسسته در پیش بینی تعداد سفرهای هوایی: مطالعه موردی فرودگاه امام خمینی (ره) تهران". فناوری حمل و نقل **۷**(۱۸): ۸-۱.

ب) منابع و مآخذ لاتین

1. Asensio, J. (2002). "Transport Mode Choice by Commuters to Barcelona's CBD". Urban Studies **39**(10): 1881–1895.
2. Buehler, R. (2011). "Determinants of Transport Mode Choice: a Comparison of Germany and the USA". Journal of Transport Geography **19**: 644–657.
3. Ben-Akiva, M. (1973). *Structure of Passenger travel Demand Model*, Submitted in Partial Fulfillment of Requirement for Degree of Doctor of Philosophy at MIT.
4. Ben-Akiva, M. and Lerman, R. S. (1985). *Discere Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press.
5. Button, K. J. (1975). "The Use of Economic in Urban Travel Demand Modeling: A Survay". Socio-Econ, Plon, SCI **10**(2): 57-66.
6. Dargay, J. (2007). "The Effect of Prices and Income on Car Travel in the UK". Transportation Research, Part A **41**(10): 949-960.
7. Eriksson, L. Friman, M. and Garling ,T. (2008). "Stated Reasons for Reducing Work-Commute by Car". Transportation Research, Part F **11**:427-423.
8. Hensher, D. A, Rose, J. M., and Greene, W. (2005). *v*, Cambridge University Press.
9. Train, K. (1986). *Qualitative Choice Analysis: Theory Econometrics, and an Application to Automobile Demand*, The MIT Press.
10. Train, K. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambrididge University Press.
11. Lancaster, K. (1960). "A New Approach to Consumer Theory". The Journal of Political Economy **74**(2): 132-157.

12. Louviere, J. J, Hensher, D. A. and Swait, J. (2000). *Stated Choice Method: Analysis and Application in Marketing, Transportation and Environmental Valuation*, Cambridge University Press.
13. Mackett, R. L. (2003). "Why do People use Their Cars for Short Trips". Transportation Research **30**: 329-340.
14. McDonald, N.C. (2008). "Children's mode choice for the school trip: the role of distance and school location in walking to school.". Transportation **35**: 23–35.
15. Manski, C. (1973). *The Analysis of Quantal Choices*, PhD Dissertation. Department of Economics, MIT Cambridge Mass.
16. McFadden. D. (1976). "Quantal Choice Analysis a Survey". Annals of Economic and Social Measurement **5**(7): 363-390.
17. McFadden, D. (2001). "Economic Choices". The American Economic Review **91**(3): 351-378.
18. Paulley, N, Balcombe, R, Mackett, R, Titheridge, H , Preston, J., Wardman, M. , Shires, J. , Shires, J. and White, P. (2006). "The Demand for Public Transport: The Effects of Fares, Quality of Service, Income and Car Ownership". Transport Policy **13**: 295-306.
19. Quandt, R. E. (1976). "The Theory of Travel Demand". Transport Resarch **10**: 411- 413.

    Rag Adhikari, S. (2011). "A Methodological Review of Demand Analysis: An Example of Health Care Services". Economic Journal of Development Issues **13**(1-2): 119-130.