

## برآورد ارزش زمان سفر برای مسافران تهران-تبریز

### با تاکید بر راه‌آهن جدید تبریز-میانه

#### مقاله علمی - پژوهشی

محمد رضا سلمانی بیشک\*، دانشیار، گروه علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
زهرا کریمی تکانلو، استاد، گروه علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
هادی اسمعیل زاده، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mrsalmani\_2005@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰

صفحه ۴۵۸-۴۴۱

#### چکیده

حمل و نقل از مهم‌ترین بخش‌های هر اقتصادی است که سرمایه‌گذاری در این بخش می‌تواند باعث شتاب در رشد شود. تصمیم به سرمایه‌گذاری در هر پروژه حمل و نقل باید همراه با بررسی‌های گسترده فنی و اقتصادی باشد. یکی از مواردی که در بررسی اقتصادی هر پروژه حمل و نقل بسیار مهم است، منافع حاصل از کاهش زمان سفر ناشی از بهره‌برداری از آن پروژه است. ارزش زمان سفر، مولفه‌ای است که در محاسبه ارزش پولی منافع حاصل از کاهش زمان سفر نقش کلیدی دارد. با توجه به اینکه پروژه راه‌آهن تبریز-میانه از پروژه‌های اولویت‌دار ملی است، در این تحقیق سعی شده است که ارزش زمان سفر برای مسافران تبریز-تهران با فرض راه‌اندازی این قطار اندازه‌گیری شود. بدین منظور پس از جمع‌آوری داده‌های ترجیحات بیان شده، با تخمین مدل‌های لاجیت چندجمله‌ای به مدل‌سازی انتخاب مد حمل و نقل در مسافرت تبریز-تهران پرداخته شد. ۳ مدل لاجیت با فرم‌های تصریحی مختلف تخمین زده شدند. در هر سه مدل تخمین زده شده، ضرایب متغیرهای هزینه و زمان سفر به لحاظ آماری معنی‌دار شدند. مبتنی بر نتایج این سه مدل ارزش زمان سفر به طور متوسط و همچنین به تفکیک گروه‌های درآمدی تخمین زده شد. میانگین ارزش زمان سفر برای مدلی که تخمین تمایل به پرداخت برای آن بالاترین معنی‌داری را داشت برابر با ۱۴۹ هزار تومان به ازای هر ساعت کاهش در زمان سفر تبریز-تهران به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ارزش زمان سفر، تحلیل هزینه-فایده، ترجیحات بیان‌شده، لاجیت چندجمله‌ای، مدل‌های انتخاب گسسته

#### ۱- مقدمه

حمل و نقل به علت نقش بزرگی که در تسهیل تجارت دارد، همواره جزئی اساسی در همه‌ی اقتصادهای امروزی است. توسعه‌ی حمل و نقل و ایجاد زیرساخت‌ها، اثرات و منافع گسترده‌ای بر مناطق دارد. نقش اصلی حمل و نقل، ایجاد یا ارتقای دسترسی به مناطق مختلف است. ایجاد زیرساخت‌های جدید و یا ارتقای کیفیت زیرساخت‌های حمل و نقل موجود، می‌تواند باعث کاهش هزینه‌های حمل و نقل و افزایش دسترسی شود و این باعث تسهیل تجارت و رقابت در بازار و امکان ایجاد

تخصص در صنایع شود. با توجه به منافع ذکر شده و برخی موارد دیگر، دولت‌ها همواره به سرمایه‌گذاری در حوزه‌ی حمل و نقل تشویق می‌شوند. از آنجایی‌که اجرای هر پروژه حمل و نقل، به طور متوسط نیاز به هزینه و زمان بسیار بالایی دارد، لازم است که در تصمیم‌گیری درباره‌ی پروژه‌های حمل و نقل، مطالعات گسترده اقتصادی و فنی انجام شود. متداول‌ترین روش ارزیابی اقتصادی پروژه‌های حمل و نقل، روش تحلیل هزینه-فایده است. در این روش تمام منافع و هزینه‌های اجتماعی

می‌گرفت (ITF<sup>1</sup>, 2019). هر گونه سفر بین دو نقطه به تخصیص زمان نیاز دارد. از طرف دیگر هر سفر علاوه بر تخصیص زمان، هزینه پولی هم برای مسافر دارد. به طور کلی می‌توان زمان تخصیص یافته به سفر را فاقد مطلوبیت برای مسافران در نظر گرفت و اکثر افراد ترجیح می‌دهند زمانی را که صرف مسافرت در یک وسیله نقلیه می‌کنند، در حال انجام کار دیگری باشند. در فرایند انتخاب مدهای حمل و نقل برای یک سفر مشخص، یک بده-بستان ضمنی بین هزینه سفر و زمان سفر برای فرد تصمیم‌گیرنده (مسافر) وجود دارد. معمولاً مدهای حمل و نقل سریعتر گرانتر هستند و مدهای ارزان‌تر مدهای با سرعت کمتر هستند (Jara-Diaz, 2007). این بده-بستان به نوعی نشان‌دهنده ارزش پولی زمان سفر است، به این معنی که فرد چقدر حاضر است بپردازد تا یک واحد در زمان سفر او صرفه‌جویی شود. رویکرد عمده‌ای که در مدل‌سازی نظری ارزش زمان سفر وجود دارد همان رویکرد مبتنی بر نظریه اقتصاد خرد است که در آن افراد سعی در حداکثر کردن مطلوبیت خود دارند. این حداکثرسازی مطلوبیت نسبت به تعدادی از قیدها از جمله قید زمان انجام می‌شود. ارزش زمان را می‌توان از طریق مفهوم «تغییر جبرانی<sup>۲</sup>» تعریف کرد. ارزش صرفه‌جویی در مدت مشخصی از زمان سفر برای یک فرد مشخص، مقدار پولی است که آن فرد می‌تواند برای کوتاه شدن زمان سفر می‌تواند بپردازد و وضعش بدتر نشود. این مقدار تقسیم بر زمان کوتاه‌شده، ارزش متوسط زمان برای آن فرد برای آن تغییر مشخص است (Small and Verhoef, 2007). رویه معمول برای سنجش تجربی ارزش زمان سفر، تخمین مدل‌های انتخاب گسسته سفر و محاسبه نرخ جانشینی بین زمان و هزینه از روی تابع مطلوبیت تخمینی است (Jara-Diaz, 2000).

اقتصاددانان در توسعه تکنیک‌های ارزشگذاری پولی، دو مسیر اصلی را پیموده‌اند. یک روش در ارتباط با مقاله ساموئلسون<sup>۳</sup> (۱۹۴۸) است و بررسی ترجیحاتی را در برمی‌گیرد که به طور غیرمستقیم از طریق انتخاب‌های افراد در بازار مرتبط با متغیر مورد نظر، نمود پیدا می‌کنند. این تکنیک‌ها تحت عنوان ترجیحات آشکار شده (RP<sup>۴</sup>) شناخته می‌شوند. مثال‌هایی از این روش شامل روش هزینه سفر و روش قیمت‌گذاری هدونیک است. روش دیگر شامل پرسش از افراد برای بیان ترجیحاتشان در موقعیت‌های فرضی است. روش‌هایی که از این استراتژی بهره می‌گیرند به طور کلی تحت عنوان ترجیحات بیان‌شده (SP<sup>۴</sup>)

پروژه‌ها به صورت پولی محاسبه شده و مجموع آنها در بخش‌های هزینه و فایده مقایسه می‌شوند و در نهایت تصمیم نهایی در مورد اولویت پروژه‌ها گرفته می‌شود. منافع و هزینه‌های پروژه‌های حمل و نقل اجزای مختلفی دارند. از جمله منافع قابل بررسی برای زیرساخت‌های جدید، صرفه‌جویی در زمان سفر، افزایش ایمنی حمل و نقل و افزایش اطمینان‌پذیری زمان سفر است. از بین هزینه‌های ناملموس نیز می‌توان به ایجاد آلودگی محیط زیستی و آلودگی صوتی در منطقه اشاره کرد. طبق مطالعات انجام شده، در بسیاری از موارد صرفه‌جویی در زمان سفر از بزرگترین منافع طرح‌های حمل و نقل است. به عنوان مثال در انگلستان حدود ۸۰ درصد ارزش پولی منافع، در تحلیل‌های هزینه-فایده‌ی طرح‌های بزرگ جاده‌ای ناشی از صرفه‌جویی در زمان سفر است (Mackie, Jara-Diaz and Fowkes, 2001). در محاسبه‌ی منافع زمانی پروژه‌ها، برآورد ارزش هر واحد کاهش زمان سفر از اهمیت کلیدی برخوردار است. پروژه راه آهن تبریز-بستان‌آباد-میانه از پروژه‌های اولویت‌دار ملی است که از سال ۱۳۷۹ در دست احداث است. طبق اعلام شرکت ساخت و توسعه، راه‌اندازی این پروژه کاهش زمان قابل توجهی در مسافرت به تبریز ایجاد می‌کند. مطالعه‌ای در خصوص تخمین ارزش زمان سفر (تمایل به پرداخت مسافران برای کاهش یک واحد زمان سفر) در این مسیر انجام نشده است. هدف تحقیق حاضر در درجه اول برآورد ارزش زمان سفر برای مسافران تبریز-تهران با فرض راه‌اندازی قطار جدید تبریز-میانه است. ساختار این مقاله در ادامه به شرح زیر است: در قسمت ۲ مبانی نظری روش سنجش ارزش زمان سفر بحث می‌شود. در قسمت ۳ چکیده‌ای از مطالعات تجربی انجام شده در این حوزه آورده شده است. بخش ۴ کلیتی از روش تحقیق و روش جمع‌آوری داده‌ها را ارائه می‌دهد. در بخش ۵ به اختصار به روش‌های اقتصادسنجی مدل‌های انتخاب گسسته پرداخته می‌شود. بخش ۶ نتایج مدل‌سازی را ارائه می‌دهد. در پایان جمع‌بندی و پیشنهادات برای تحقیقات آینده طرح می‌شود.

## ۲- پیشینه تحقیق

اولین مورد ارزشگذاری اقتصادی زمان سفر به دهه ۱۹۴۰ برمی‌گردد. به لحاظ تاریخی، کاهش زمان سفر معمولاً مبتنی بر متوسط درآمد ارزشگذاری می‌شد و در منافع زمان سفر اغراق می‌شد و منافع دیگر ناشی از حمل و نقل تحت‌الشعاع آن قرار

در انتخاب مد سفر در مناطق شهری کوچک و مناطق روستایی دو ایالت داکوتای شمالی و مینه‌سوتا پرداختند. در این پیمایش از شرکت‌کنندگان خواسته شده که مد مورد ترجیح خود را از بین ۵ مد خودرو شخصی، اتوبوس، هواپیما، قطار و ون در وضعیت‌های فرضی مختلف از لحاظ ویژگی‌های مُد و ویژگی‌های خود سفر انتخاب کنند. مدل لاجیت چندجمله‌ای با متغیرهای مربوط به فرد، سفر و وسیله نقلیه برای انتخاب وسیله نقلیه تخمین زده شد. مولفه‌های مربوط به مد حمل و نقل که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند، شامل: هزینه و زمان سفر، زمان انتظار، راحتی، فراوانی سرویس و دسترسی به آن مد بوده است. این آزمایش انتخاب بیان شده درباره ترجیحات مسافران در سفرهای با مسافت کمتر از ۵۰۰ مایل بوده است. هر شرکت‌کننده در این پیمایش به شش مجموعه انتخاب فرضی پاسخ داده است. نتایج پیمایش نشان می‌دهد که با افزایش قیمت بنزین، مسافرت با اتومبیل کاهش می‌یابد و متناظراً سفر با مدهای اتوبوس قطار و ون افزایش می‌یابد. طبق انتظار، با افزایش زمان سفر و هزینه‌ی سفر برای یک مد، احتمال انتخاب آن مد کاهش می‌یابد. همچنین در این مطالعه اثر درآمد افراد بر انتخاب مد نیز بررسی شده است. افراد با درآمد پایین‌تر، نسبت به تغییرات هزینه‌ی سفر حساس‌تر هستند و بیشتر شیفت تقاضا به اتوبوس، قطار و ون در اثر افزایش قیمت بنزین، از طرف افراد با درآمدهای پایین بوده است. متغیر تعداد سرویس، اثر معنی‌داری بر انتخاب مد نداشت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مهم‌ترین عواملی که مسافران در انتخاب مد سفر مد نظر قرار می‌دهند، هزینه و زمان سفر و ویژگی‌های خاص هر وسیله نقلیه است (Mattson et al, 2010). رومان و همکاران (۲۰۱۴) ارزش صرفه‌جویی در زمان سفر را برای کریدور مادرید-بارسلونا و مدهای اصلی حمل و نقل عمومی موجود در کریدور یعنی اتوبوس، هواپیما و قطار سریع‌السیر محاسبه کردند. در این مطالعه از داده‌های ترجیحات آشکار شده استفاده شده است. پیمایش RP برای کسب اطلاعات دقیق درباره عوامل اصلی اثرگذار بر ترجیحات مصرف‌کنندگان در کریدور طراحی شده بود. با داده‌های جمع‌آوری شده مدل‌های لاجیت چندجمله‌ای و لاجیت ترکیبی تخمین زده شدند. از آنجایی که در این مطالعه، تعامل بین متغیرهای اقتصادی-اجتماعی و مولفه‌های سطح سرویس بررسی شدند. همچنین بررسی اثر درآمد با تحلیل کشش درآمدی تمایل به پرداخت انجام شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مسافران

شناخته می‌شوند (Ryan, Gerard and Amaya-Amaya, 2008). در مورد رفتار مسافرتی افراد، روش‌های RP محدودیت‌هایی را دارند از جمله اینکه مشاهدات جمع‌آوری شده ممکن است تغییرپذیری کافی برای ساخت مدل‌های مناسب را نداشته باشند و تشخیص بده-ستان بین گزینه‌ها و اهمیت نسبی برخی عوامل در شکل‌دهی انتخاب افراد به سختی امکان‌پذیر باشد. همچنین دشواری جمع‌آوری داده مرتبط با انتخاب افراد نسبت به سیاست‌های کاملاً جدید مانند معرفی یک مد جدید حمل و نقل از دیگر محدودیت‌های روش‌های ترجیحات مشاهده شده است. در مواردی که از بازارهای واقعی نمی‌توان داده‌های مناسب را برای پیش‌بینی رفتارها بدست آورد، محققان از روش‌های ترجیحات بیان شده استفاده می‌کنند. روش‌های ترجیحات بیان شده انواعی از تکنیک‌ها را در برمی‌گیرند. در حوزه حمل و نقل، روش انتخاب بیان شده (آزمایش انتخاب گسسته<sup>۱</sup>) به عنوان تکنیک غالب از بین روش‌های ترجیحات بیان شده استفاده می‌شود (Ortuzar and Willumsen, 2011). ریشه‌های نظری مدل‌های انتخاب گسسته در مدل انتخاب مصرف‌کننده لنکستر (لنکستر<sup>۲</sup>، ۱۹۶۶) و ریشه‌های اقتصادسنجی آن در نظریه‌ی مطلوبیت تصادفی (لوس، ۱۹۵۸ و مک‌فدن، ۱۹۷۴) قرار می‌گیرد. در چارچوب نظریه لنکستر، مصرف‌کنندگان از خود کالا مطلوبیت کسب نمی‌کنند، بلکه مولفه‌های کالاهاست که موجب ایجاد مطلوبیت می‌شود (Bliemer and Rose, 2022). مبتنی بر همین نظریه، برای تشکیل مدل‌های انتخاب مد مسافرت، مطلوبیت برای مدهای مختلف به شکل تابعی از مولفه‌های آن مدها تعریف می‌شود. در این تحقیق، مولفه‌های اثر گذار بر مطلوبیت هر مد حمل و نقل با توجه به مطالعات پیشین، زمان سفر (T)، هزینه‌ی سفر (C) و تعداد سرویس در روز (F) در نظر گرفته شده‌اند. مطالعات مربوط به ارزش زمان سفر در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته در سطح ملی اجرا شده‌اند. در سال‌های اخیر نیز این مطالعات به طور گسترده‌تر و با روش‌های پیشرفته‌تر و دقیق‌تر انجام می‌شوند. در اینجا به طور چکیده، به نتایج تعدادی از مطالعات تجربی انجام شده برای سنجش ارزش زمان سفر و یا به طور کلی تحقیقات مبتنی بر آزمایش انتخاب گسسته در حوزه حمل و اشاره می‌شود. متسون و همکاران (۲۰۱۰) با روش ترجیحات بیان شده و تخمین مدل لاجیت چندجمله‌ای به بررسی ترجیحات مسافران

از طرف دیگر وجود پریز برق، اثر معنی داری نداشت (Acker et al, 2020). با اینکه این تصور وجود دارد که آزمایش انتخاب بیان شده، رفتارهای واقعی افراد را نشان می‌دهد، اما ماهیت فرضی این روش‌ها ممکن است باعث تورش‌هایی شود. یکی از دلایل بالقوه‌ای که می‌تواند منشا این تورش فرضی در انتخاب بیان شده باشد این است که شرکت‌کنندگان در پیمایش ممکن است انگیزه‌ی کافی برای تلاش ذهنی بیشتر جهت ارائه پاسخ‌های منطبق بر واقعیت نداشته‌باشند. در همین راستا بلایمر و همکاران (۲۰۲۱) رفتار انتخاب مسیر رانندگان را هم با روش ترجیحات بیان شده و هم با آزمایش شبیه‌ساز اقتصادی رانندگی که نیازمند تجربه زمان سفر و هزینه سفر در محیطی واقعی‌تر بود بررسی کردند. آزمایش با شبیه‌ساز، به نوعی شبیه‌سازی داده‌های ترجیحات آشکار شده است. در این پروسه، هر شرکت‌کننده با طرح‌های آزمایشی یکسانی در هر دو روش مواجه می‌شود و امکان تخمین ارزش زمان سفر و ارزش اطمینان پذیری زمان سفر برای هر دو آزمایش فراهم می‌شود. در مرحله اول آزمایش، یک پیمایش اینترنتی با ۵ مجموعه انتخاب برای انتخاب مسیر مورد ترجیح انجام شد و در مرحله دوم همان ۵ مجموعه انتخاب برای ۷۲ شرکت‌کننده در شبیه‌ساز ارائه شد. با اینکه در انتخاب گزینه‌ها، تفاوت‌هایی در نتایج دو روش دیده شد، اما محققان نتوانستند فرض مبنی بر برابری ارزش زمان سفر و ارزش اطمینان‌پذیری زمان سفر را در دو روش انتخاب بیان شده و آزمایش با شبیه‌ساز رانندگی رد کنند. همچنین در این مطالعه در کنار متغیرهای مربوط به حمل و نقل، داده‌های مربوط به ویژگی‌های جمعیت‌شناختی افراد نیز جمع‌آوری شده و وارد مدل شدند. تمام متغیرهای جمعیت‌شناختی به جز درآمد، به لحاظ آماری بی‌معنی شدند (Bliemer et al, 2021). کارلینووا و کرچال (۲۰۲۲) با داده‌های ترجیحات بیان شده ارزش زمان سفر را برای مسافت‌های طولانی مسافرت با قطار در جمهوری چک بررسی کردند. آزمایش انتخاب گسسته، به شکل پرسشنامه‌هایی با ۶ مجموعه انتخاب، هر کدام دارای دو گزینه و با مولفه‌های زمان سفر و هزینه‌ی سفر تشکیل شدند. ارزش زمان سفر با استفاده از نتایج تخمین مدل لاجیت ترکیبی و با توجه به گروه سنی و گروه درآمدی پاسخگویان محاسبه شد. طبق نتایج ارزش زمان سفر با افزایش سن و افزایش درآمد افزایش می‌یابد. میانه‌ی ارزش زمان سفر تقریباً برابر با ۵ یورو در ساعت بدست آمد که پایین‌تر از مقادیر بدست آمده در مطالعات متاآنالیز انجام شده است. نتایج این پژوهش، کاربرد نتایج مطالعات متاآنالیز در ارزیابی پروژه‌ها را زیرسوال می‌برد (Karlino and Krcal, 2022). در کنار مطالعات خارجی، تحقیقاتی نیز در داخل کشور برای سنجش ارزش زمان سفر در شرایط مختلف صورت گرفته‌است. از جمله یزدان‌پناه، بابایی و عابدینی (۱۳۹۱) که

مدهای هوایی و قطار سریع‌السیر، طبق انتظار ارزش زمان سفر بالاتری نسبت به مسافری اتوبوس دارند. همچنین ارزش صرفه‌جویی در زمان انتظار سفر بالاتر از ارزش صرفه‌جویی در زمان دسترسی به وسیله نقلیه و آن هم بالاتر از ارزش صرفه‌جویی در زمان سپری شده در داخل وسیله نقلیه است (Roman et al, 2014). از آنجایی که مطالعاتی از قبل درباره‌ی ارزش زمان سفر انجام شده‌است، تحلیل‌گران هزینه-فایده، هزینه‌های جمع‌آوری داده برای تخمین ارزش زمان مختص هر پروژه را معمولاً بیش از منافع آن برآورد و بنابراین از نتایج مطالعات پیشین استفاده می‌کنند. اجماعی در خصوص کاربرد معیارهایی برای ارزش زمان سفر ایجاد شده‌است که این معیارها به صورت درصد دستمزد قابل تصرف بیان می‌شوند. به عنوان مثال کتاب بوردمن و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۰) با استناد به مطالعات متاآنالیز، معیار ۵۰ درصد دستمزد بعد از مالیات را به عنوان تخمینی برای ارزش زمان سفرهای کاری یا تفریحی معرفی می‌کند. همچنین ارزش زمان سفر برای پیاده‌روی یا رانندگی در ساعت ازدحام برابر ۱۰۰ درصد نرخ دستمزد و ارزش زمان انتظار برابر با ۱۲۵ درصد دستمزد تخمین زده شده‌است. با این وجود تقریباً تمام این مطالعات در کشورهای صنعتی انجام شده‌اند. در کشورهای در حال توسعه نیز می‌توان این قواعد را برای هزینه-فایده اجرا کرد، اما شواهد تجربی اندکی کارایی آنرا تایید می‌کند (Cook et al, 2016). اگر و همکاران (۲۰۲۰)، به شناسایی و اندازه‌گیری عوامل اثرگذار بر موقعیت رقابتی اتوبوس نسبت به مدهای دیگر برای سفرهای با مسافت طولانی در بلژیک می‌پردازند.

در این مطالعه، به واسطه‌ی یک آزمایش انتخاب گسسته در بستر اینترنت، جذابیت سرویس‌های مختلف اتوبوس برای مقاصد مختلف اندازه‌گیری شد. در این آزمایش انتخاب گسسته برای هر مجموعه انتخاب ۳ گزینه در نظر گرفته شده‌بود، که دو گزینه توصیف دو اتوبوس با مشخصات متفاوت و یک گزینه، گزینه عدم انتخاب بوده‌است. عدم انتخاب به معنی مدی به غیر از اتوبوس (مثلاً قطار یا هواپیما) تعریف می‌شود. گزینه‌های مربوط به اتوبوس هر کدام با ۷ مولفه تعریف شدند. این مولفه‌ها شامل مولفه‌ی زمان و هزینه سفر (قیمت) و ۵ مولفه مرتبط با راحتی سفر شامل وی‌فای، فضای پا، پذیرایی، سرگرمی و پریز برق جداگانه می‌شود. طبق انتظار مشخص شد که هزینه‌ی سفر، عامل مسلط در انتخاب مد اتوبوس است. علاوه بر قیمت، جنبه‌های دیگری از سطح سرویس مانند فضای پای فراوان، سرعت بالا و پذیرایی در ایجاد تمایل نسبت به انتخاب اتوبوس اثرگذار است.

خصوص باشند یا در زمینه بهداشت و درمان برای انتخاب یک درمان توسط بیمار یا انتخاب تجویز دارو از طرف پزشک باشد (Bliemer and Rose, 2022). در منابع مختلفی، روش‌های متنوعی برای طراحی آزمایش انتخاب گسسته پیشنهاد شده‌اند، از جمله رایان و همکاران (۲۰۰۸)، هنشر، رز و گرین (۲۰۱۵) و... در این تحقیق طرح آزمایش انتخاب گسسته عمدتاً مبتنی بر روش ۷ مرحله‌ای ارائه شده توسط بلایمرز و رز (۲۰۲۲) خواهد بود.

طراحی آزمایش انتخاب بیان شده را می‌توان به طور کلی در ۷ مرحله خلاصه کرد (Bliemer and Rose, 2022):

۱. مشخص کردن لیبل‌دار بودن یا نبودن<sup>۹</sup> آزمایش
۲. تعیین گزینه‌ها و مولفه‌های آزمایش
۳. تعیین سطوح مولفه‌ها
۴. تعیین تعداد مجموعه انتخاب‌ها در طرح آزمایشی
۵. انتخاب استراتژی طراحی آزمایش
۶. اجرای مطالعه‌ی پایلوت
۷. اجرای پیمایش اصلی

در هر مجموعه انتخاب، پاسخگو باید از بین تعدادی گزینه، گزینه‌ی مورد ترجیح خود را انتخاب کند. این گزینه‌ها ممکن است از یک نوع باشند یا نباشند. در ادبیات ترجیحات بیان شده، نوع گزینه‌ها تحت عنوان لیبل شناخته می‌شود. لیبل، نوع محصول یا نام برند را مشخص می‌کند. اگر در مجموعه‌ی انتخاب، بعضی و یا تمام گزینه‌ها لیبل‌های متفاوتی داشته باشند، مثلاً در مجموعه انتخابی برای بررسی ترجیحات خریداران لپ‌تاپ، گزینه‌ها با ذکر نام برند معرفی شود، آزمایش از نوع لیبل‌دار خواهد بود. در مطالعه حاضر با توجه به اینکه هدف، مدلسازی سفر بین تبریز و تهران با توجه به مدهای مختلف است، طرح آزمایش انتخاب گسسته از نوع لیبل‌دار خواهد بود.

بعد از مشخص شدن هدف آزمایش و لیبل‌دار بودن آزمایش، محقق باید گزینه‌ها و مولفه‌هایی که در آزمایش انتخاب جای می‌گیرند، انتخاب کند. در این آزمایش انتخاب گسسته، مدهای حمل و نقل عمومی برای مسافرت تبریز-تهران به علاوه مسیر ریلی جدید تبریز-میانه، به عنوان مدهای در دسترس وارد مجموعه انتخاب‌ها می‌شوند. بنابراین به ۴ مد قطار فعلی، هواپیما، اتوبوس و قطار جدید می‌رسیم. با توجه به اینکه برای خودروهای شخصی مختلف، برای یک سفر یکسان هزینه‌ی متوسط از نظر سوخت و تعمیر و نگهداری متفاوت است، نمی‌توان هزینه مشخص ثابتی برای مد خودروی شخصی تعریف

ارزش زمان سفر را با داده‌های ترجیحات بیان شده برای شهر تهران بدست آوردند. گوگردچیان، خوش‌اخلاق و اکبری (۲۰۱۴) ارزش زمان سفر را برای سفرهای کاری و تحصیلی شهر اصفهان با داده‌های ترجیحات مشاهده شده و مدل لاجیت چندجمله‌ای بدست آوردند. در تشکیل این مدل، متغیرهای جمعیت‌شناختی مسافران نیز مورد بررسی قرار گرفتند. تمام متغیرهای جمعیت‌شناختی به لحاظ آماری بی‌معنی شدند و تنها ضریب متغیر درآمد برای مد تاکسی معنی‌دار شد. همچنین کنعانی‌ممان (۱۳۹۸) ارزش زمان سفر را برای کاربران محدودی ترافیک در تهران با استفاده از داده‌های ترجیحات بیان شده برآورد کرده‌است. با این وجود مطالعات بسیار اندکی در داخل کشور برای برآورد ارزش زمان سفر برای سفرهای بین شهری انجام شده‌است. متغیرهای متعددی بر انتخاب مد سفر توسط مسافران اثرگذارند. در مطالعه‌ی حاضر، مدلسازی انتخاب مد بر اساس ۴ متغیر زمان سفر، هزینه سفر، تعداد سرویس در روز و درآمد فرد انجام می‌شود. تقریباً در تمام مطالعات بررسی‌ی ترجیحات مسافران در انتخاب مد، دو متغیر زمان و هزینه سفر به عنوان متغیرهای اثرگذار وارد مدل می‌شوند. همچنین متغیر تعداد سرویس در مطالعه‌ی متسون و همکاران (۲۰۱۰) و رومان و همکاران (۲۰۱۴) و متغیر درآمد در مطالعه‌ی متسون و همکاران (۲۰۱۰)، رومان و همکاران (۲۰۱۴)، بلایمرز و همکاران (۲۰۲۱)، کارلینووا و کرچال (۲۰۲۲) و گوگردچیان، خوش‌اخلاق و اکبری (۲۰۱۴) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با توجه به نتایج برخی از مطالعات از جمله بلایمرز و همکاران (۲۰۲۱) از گنجاندن سایر متغیرهای جمعیت‌شناختی در مدل صرف نظر شد.

### ۳- روش تحقیق

در تحقیق حاضر به این دلیل که داده‌های واقعی بازار در رابطه با موضوع تحقیق وجود ندارد، باید از داده‌های ترجیحات بیان شده و طراحی آزمایش انتخاب گسسته استفاده کرد.

#### ۳-۱- طراحی آزمایش انتخاب گسسته

در یک آزمایش انتخاب که به آن پیمایش انتخاب بیان شده نیز گفته می‌شود، تحلیلگر از افراد می‌خواهد که تعدادی مجموعه انتخاب را کامل کنند. این مجموعه انتخاب‌ها هر کدام در بردارنده چند گزینه قابل انتخاب برای یک وضعیت مشخص هستند. هر یک از این گزینه‌ها با ویژگی‌های غیریکسانی تعریف شده‌اند. مجموعه انتخاب‌ها می‌توانند مربوط به مصرف‌کنندگان یک کالا باشند، در زمینه حمل و نقل می‌توانند برای مسافران یک سفر به

کرد. بنابراین این مولفه برای خودروهای شخصی افراد مختلف متفاوت خواهد بود و باعث ایجاد پیچیدگی‌هایی در طرح پرسشنامه می‌شود و در این صورت برای جمع‌آوری داده‌ها با دشواری‌هایی مواجه خواهیم بود. از گنجاندن مد خودروی شخصی در مجموعه انتخاب‌ها صرف نظر می‌شود. هر یک از مدها با سه مولفه‌ی زمان سفر، هزینه‌ی سفر و تعداد سرویس در روز تعریف می‌شود. بر اساس مطالعات پیشین، متغیرهای مربوط به راحتی نیز در انتخاب مدهای حمل و نقل اثرگذار شناخته می‌شوند، اما از آنجایی که در زمان طراحی و اجرای آزمایش، سطوح راحتی برای هر یک از مدها عمدتاً یکنواخت بود، از وارد کردن این مولفه‌ها صرف نظر شد. به عنوان مثال در زمان انجام پیمایش میدانی تقریباً تمام اتوبوس‌های مسیر تبریز-تهران از نوع VIP با امکانات مشابه بودند. پروازهای این مسیر، تنها در کلاس اکونومی برقرار بودند. قطارهای اتوبوسی و ۵ ستاره نیز در مسیر تبریز-تهران برقرار نبودند و در نتیجه تفاوت چشمگیری از نظر امکانات رفاهی بین سرویس‌های قطار وجود نداشت. با توجه به موارد ذکر شده در بالا و همچنین برای عدم پیچیدگی مجموعه انتخاب‌ها از گنجاندن مولفه‌های مربوط به راحتی در طرح آزمایشی صرف نظر شد. زمان سفر را به شکل مجموع تاخیر شروع حرکت و زمان سفر داخل وسیله نقلیه تعریف می‌کنیم. در تحقیق حاضر، مولفه‌ها شامل هزینه سفر، زمان سفر و تعداد سرویس در روز هستند. همه این مولفه‌ها، کمی و با مقیاس نسبی هستند. ابتدا مقادیر واقعی این مولفه‌ها برای هر کدام از مدها از منابع مختلف بدست آمد. اطلاعات مربوط به قیمت بلیت‌ها و تعداد سرویس در روز با مراجعه به سایت‌های اینترنتی فروش بلیت بدست آمده‌است. تعیین مولفه زمان سفر نیز از سایت‌های فروش بلیت و همچنین سوال از کارمندان پایانه‌ها درباره طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین زمان سفر بدست آمد. بدلیل دشواری استخراج آمار مربوط به زمان تاخیر، این مقدار به صورت سلیقه‌ای به مولفه زمان سفر اضافه شد. برای تعیین مولفه زمان سفر مربوط به قطار جدید به سایت رسمی شرکت ساخت و توسعه که اطلاعات پروژه در آن ثبت شده‌است مراجعه شد. طبق اطلاعات منتشر شده در سایت، کاهش حدوداً ۵ ساعته در زمان سفر به تبریز به عنوان یکی از اهداف راه‌اندازی این قطار اعلام شده‌است. پیگیری برای تعیین قیمت بلیت قطار جدید از کارشناسان شرکت ساخت و توسعه، شرکت مترا و اداره کل راه‌آهن آذربایجان به اطلاعات قابل توجهی منتهی نشد. به نظر می‌رسد که حداقل در سال‌های ابتدایی راه‌اندازی قطار جدید،

سرعت این قطار نسبت به قطار فعلی برتری چشمگیری که باعث افزایش قیمت بلیت آن شود نداشته‌باشد. بنابراین قیمت بلیت و تعداد سرویس قطار جدید مشابه سطوح همین مولفه‌ها برای قطار فعلی در نظر گرفته شدند. در تعیین سطوح مولفه‌های آزمایش و طراحی مجموعه انتخاب‌ها، همواره این مولفه‌ها باید نزدیک به مقادیر واقعی باشند. برای هر مولفه در پرسشنامه ۳ سطح در نظر گرفته شد. این ۳ سطح حول مقادیر واقعی این مولفه‌ها تعریف می‌شوند. برای تعیین سطوح مولفه قیمت، میانگین قیمت‌های فعلی برای سطح اول این مولفه در نظر گرفته شد و دو سطح بعدی این مولفه با افزایش ۲۰ درصدی و ۴۰ درصدی در میانگین فعلی ایجاد شدند. محاسبه‌ی میانگین قیمت بر اساس قیمت‌های بلیت‌ها که از سوم دی تا نهم دی ماه ۱۴۰۱ در سایت‌های فروش بلیت اعلام شده‌بود، انجام گرفت. سطوح مولفه زمان سفر و تعداد سرویس نیز حول مقادیر واقعی این مولفه‌ها نوشته شده‌اند. جدول ۱ سطوح مولفه‌های حاضر در آزمایش را نشان می‌دهد.

پس از مشخص شدن مولفه‌ها و سطوح، گزینه‌های فرضی با ترکیبات مختلفی از سطوح مولفه‌ها باید ساخته شده و به شرکت‌کنندگان در پیمایش ارائه شوند. این سوال مطرح می‌شود که از بین کل ترکیبات مولفه‌ای ممکن، کدام مجموعه انتخاب‌ها باید انتخاب شوند؟ تعداد کل مجموعه انتخاب‌های ممکن بستگی به تعداد مولفه‌ها و تعداد سطوح آنها دارد. ارائه تمام حالت‌های ممکن به پاسخگوها به عنوان روش تمام عاملی (فاکتوریل کامل<sup>۱</sup>) شناخته می‌شود. این حالت معمولاً امکان‌پذیر نیست. از آنجایی که معمولاً تعداد بسیار زیادی مجموعه انتخاب تولید می‌شود، برای کاهش تعداد مجموعه انتخاب‌ها جهت استخراج ترجیحات، از طرح‌های فاکتوریل کسری استفاده می‌شود (Ryan et al, 2012). در تحقیق حاضر برای هر یک از مدها، ۳ مولفه ۳ سطحی تعریف کرده‌ایم. برای هر مد  $3^3=27$  حالت با ترکیب سطوح مختلف مولفه‌ها خواهیم داشت. در هر مجموعه انتخاب ۴ گزینه لیبیل دار قرار می‌گیرد. بنابراین تعداد کل مجموعه انتخاب‌های ممکن  $4^3=64$  حالت خواهد بود. اندازه طرح فاکتوریل کامل بزرگتر از حدی است که قابل اجرا باشد. برای ایجاد یک طرح فاکتوریل کسری از طرح ارتوگونال با اثرات اصلی استفاده می‌شود. جهت ایجاد طرح از پکیج support.CEs<sup>11</sup> در R استفاده می‌شود (Aizaki, Nakatani and Sata, 2015). اندازه طرح تولیدشده توسط برنامه برابر با ۳۶ مجموعه انتخاب است. اما از طرفی همین تعداد

برای مشخص کردن سطح درآمد فرد پاسخگو است. طرح به ۶ بلوک تقسیم شده است، بنابراین ۶ پرسشنامه متمایز طراحی می شود.

مجموعه انتخاب نیز برای ارائه به یک شرکت کننده در پیمایش زیاد است و باعث خستگی و بی حوصلگی می شود. بنابراین طرح را بلوک بندی کرده و به ۶ بلوک ۶ تایی تقسیم می کنیم. با بدست آمدن طرح آزمایشی، می توان پرسشنامه ها را طراحی کرد. هر پرسشنامه دارای ۶ مجموعه انتخاب و یک سوال چندگزینه ای

جدول ۱. مولفه ها و سطوح موجود در آزمایش

تعداد سرویس در روز	طول زمان سفر	هزینه بلیت (هزار تومان)	
۳۰ :۱	۷ ساعت و ۳۰ دقیقه	۱۶۸ :۱	اتوبوس
۴۰ :۲	۸ ساعت و ۱۵ دقیقه	۲۰۱ :۲	
۵۰ :۳	۹ ساعت	۲۳۵ :۳	
۲ :۱	۱۲ ساعت و ۳۰ دقیقه	۲۳۰ :۱	قطار
۳ :۲	۱۳ ساعت	۲۷۶ :۲	
۵ :۳	۱۴ ساعت	۳۲۲ :۳	
۸ :۱	۱ ساعت	۹۳۹ :۱	هوایما
۱۲ :۲	۱ ساعت و ۳۰ دقیقه	۱۱۲۶ :۲	
۱۶ :۳	۲ ساعت	۱۳۱۴ :۳	
۲ :۱	۷ ساعت	۲۳۰ :۱	قطار جدید
۳ :۲	۸ ساعت	۲۷۶ :۲	
۵ :۳	۹ ساعت	۳۲۲ :۳	

#### تعیین حجم نمونه

به هر حال، روش های مختلفی برای محاسبه حجم نمونه مناسب مطالعات آزمایش انتخاب بیان شده از طرف گروهی از پژوهشگران تاکنون پیشنهاد شده است. متداول ترین قاعده ای که برای تعیین حجم نمونه به آن استناد می شود، توسط آرم (۱۹۹۸) پیشنهاد شده است. او رابطه ی زیر را برای محاسبه حجم نمونه ی مورد نیاز آزمایش های انتخاب بیان شده که برای تخمین اثرات اصلی طراحی شده اند پیشنهاد کرده است.

به طور کلی نظریه های نمونه گیری موجود، جواب دقیقی به مسئله تعیین حجم نمونه مناسب آزمایش انتخاب بیان شده نمی دهند. محققان این حوزه عمدتاً از مجموعه ای از قواعد سرانگشتی برای تعیین حجم نمونه استفاده کرده اند و یا مسئله تعیین حجم نمونه را به طور کلی نادیده گرفته اند و نمونه گیری با اندازه های دلخواه انجام داده اند به این امید که نمونه مورد نظر به اندازه ای بزرگ است که تخمین های قابل اعتماد پارامترها از آن حاصل شود (Hensher, Rose and Greene, 2015).

(۱)

$$N > 500 * \frac{L^{\max}}{J.S}$$

می شود (Bliemer and Rose, 2013). با توجه به طراحی آزمایش در قسمت قبل، حداقل حجم نمونه ی مورد نیاز، با استفاده از فرمول آرم، به شکل زیر محاسبه می شود.

$$N > 500 * \frac{3}{4 * 6}$$

$$N > 63$$

در رابطه ی بالا،  $L^{\max}$  بالاترین تعداد سطوح برای هر مولفه است و  $J$  تعداد گزینه ها است. همچنین  $S$  نشان دهنده ی تعداد مجموعه انتخاب هایی است که هر پاسخگو با آن مواجه

حداقل حجم نمونه ی مورد نیاز برابر با ۶۳ نفر است.

#### ۴- اجرای پیمایش

به خریدن یا نخریدن بیمه، رفتار رای‌دهی، انتخاب از بین مجموعه‌ای از برندها، مُد مسافرت، انتخاب محل زندگی و ... است. در این موارد متغیر وابسته، یک مقدار کمی از یک پرونداد اقتصادی نیست بلکه شاخصی از رخ دادن یا رخ ندادن یک اتفاق است. برای مدلسازی چنین متغیرهایی به جای استفاده از روش‌های معمول رگرسیون، مدلسازی احتمال انجام می‌شود و از ابزارهای اقتصادسنجی برای استخراج گزاره‌های احتمالاتی درباره وقوع رویدادها استفاده می‌شود. مدل‌های مورد استفاده مبتنی بر ترجیحات تصمیم‌گیران است و رویکرد مطلوبیت تصادفی نسبت به انتخاب‌های مشاهده شده اتخاذ می‌شود. تصمیم‌گیرنده با مجموعه‌ای از گزینه‌ها مواجه می‌شود و با انتخابی که انجام می‌دهد، قسمتی از ترجیحات خود را آشکار می‌کند. انتخاب‌های صورت گرفته تحت تاثیر اثرات قابل مشاهده و ویژگی‌های غیرقابل مشاهده انتخاب‌کننده است (Greene, 2018).

#### مدل مطلوبیت تصادفی

مدل‌های انتخاب گسسته معمولاً تحت فرض رفتار حداکثرسازی مطلوبیت تصمیم‌گیرنده بدست می‌آید. تصمیم‌گیرنده  $n$  با  $J$  گزینه در یک موقعیت مواجه است و باید یکی از گزینه‌ها را انتخاب کند. مطلوبیت فرد  $n$  از گزینه  $j$  با  $U_{nj}$  نشان داده می‌شود. این مطلوبیت برای تصمیم‌گیرنده کاملاً مشخص است اما برای محقق ناشناخته است. تصمیم‌گیرنده گزینه‌ای را انتخاب می‌کند که بیشترین مطلوبیت را ایجاد کند. بنابراین قاعده رفتاری به این شکل است که فرد  $n$  گزینه  $i$  را انتخاب می‌کند اگر و تنها اگر:

$$U_{ni} > U_{nj} \quad \forall j \neq i$$

می‌کند. در نتیجه می‌توان تابعی تصریح کرد که این عوامل را به مطلوبیت تصمیم‌گیرنده مرتبط کند. این تابع را می‌توان با  $V_{nj}$  نشان داد.

$$V_{nj} = V(x_{nj}, S_n) \quad \forall j$$

از آنجایی که جنبه‌هایی از مطلوبیت وجود دارد که نمی‌توان آنها را مشاهده کرد بنابراین:

$$V_{nj} \neq U_{nj} \quad (۴)$$

بدین ترتیب مطلوبیت را می‌توان به شکل زیر به دو قسمت تجزیه کرد.

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad (۵)$$

کلی است. از آنجایی که  $\varepsilon_{nj}$  به صورت تفاضل مطلوبیت واقعی  $U_{nj}$  و قسمت مشاهده‌شده مطلوبیت  $V_{nj}$  تعریف شده است، این

جمع‌آوری داده‌ها با حضور در محل پایانه‌های شهر تبریز (فرودگاه شهید مدنی، ترمینال اتوبوس بین‌شهری و ایستگاه قطار) در دی ماه ۱۴۰۱ با توزیع پرسشنامه بین ۷۳ نفر انجام شد. با توجه به اینکه هر یک از پاسخگوها به ۶ مجموعه انتخاب پاسخ دادند، در کل تعداد  $۷۳ \times ۶ = ۴۳۸$  مجموعه انتخاب بدست آمد که از این تعداد ۴۳۷ مجموعه انتخاب برای تشکیل مدل استفاده شد و یک مورد غیرقابل استفاده بود. آماری درباره‌ی سهم هر یک از ۳ مد قطار، اتوبوس و هواپیما برای مسافرت بین تبریز-تهران موجود نبود، اما تعداد فروش بلیت در هر یک از این مدها که در سایت‌های فروش بلیت ثبت می‌شود را می‌توان به عنوان پروکسی برای بررسی سهم مدها استفاده کرد. فروش بلیت و تعداد سرویس هر یک از مدها در دی ماه ۱۴۰۱ بررسی شد. نتیجه‌ی این بررسی نشان می‌دهد که سهم هر سه مد تقریباً یکسان است. در نمونه‌گیری تلاش شد که این نسبت یکسان در شرکت‌کنندگان در پرسشنامه در هر یک از پایانه‌ها رعایت شود.

در زمان اجرای پیمایش، پروژه تبریز-میانه به بهره‌برداری نرسیده بود بنابراین لزوماً باید از روش آزمایش انتخاب گسسته استفاده می‌شد. در زمان نگارش این مقاله قسمتی از پروژه به بهره‌برداری رسیده است. مسیر خاوران-تهران به بهره‌برداری رسیده است، اما اتصال راه‌آهن به شهر تبریز فعلاً اتفاق نیفتاده است.

#### اقتصادسنجی مدل‌های انتخاب گسسته

تحلیل انتخاب افراد که در حوزه اقتصادسنجی خرد قرار می‌گیرد، اساساً درباره مدلسازی متغیرهای پاسخ گسسته نظیر تصمیم (۲)

محقق نمی‌تواند مطلوبیت تصمیم‌گیرنده را مشاهده کند، اما برخی از مولفه‌های گزینه‌ها را  $(x_{nj}, V_j)$  مشاهده می‌کند و همچنین برخی از ویژگی‌های تصمیم‌گیرنده را  $(S_n)$  مشاهده (۳)

جزء به خودی خود در یک موقعیت انتخاب تعریف نشده است، بلکه نسبت به نوع نمایش موقعیت انتخابی در تحقیق تعریف می‌شود.  $\epsilon_{nj}$  ناشناخته است و با آن مانند اجزای تصادفی رفتار می‌شود. با تعریف چگالی این جمله اخلاص می‌توان گزاره‌های احتمالاتی درباره انتخاب‌های افراد بیان کرد. احتمال اینکه فرد  $n$  گزینه  $i$  را انتخاب کند، عبارت است از:

$$P_{ni} = \text{Prob}(U_{ni} > U_{nj}) = \text{Prob}(V_{ni} + \epsilon_{ni} > V_{nj} + \epsilon_{nj}) = \text{Prob}(\epsilon_{nj} - \epsilon_{ni} < V_{ni} - V_{nj}) \quad (6)$$

این احتمال یک توزیع تجمعی است، احتمال اینکه هر عبارت تصادفی  $\epsilon_{nj} - \epsilon_{ni}$  کوچکتر از مقدار مشاهده شده  $V_{ni} - V_{nj}$  باشد. با در نظر گرفتن توزیع‌های مختلفی برای جزء اخلاص مدل‌های اقتصادسنجی مختلفی بدست می‌آید.

#### مدل لاجیت

ساده‌ترین و پرکاربردترین مدل انتخاب گسسته، مدل لاجیت است. محبوبیت این مدل از آنجا ناشی می‌شود که عبارت‌های مربوط به احتمال انتخاب، فرم بسته‌ای به خود می‌گیرد. مدل لاجیت با فرض توزیع یکسان و مستقل مقدار حدی برای هر جمله خطا بدست می‌آید (Train, 2009).

#### روش تخمین

علیرغم اینکه رویکردهای مختلفی برای تخمین مدل‌های انتخاب گسسته وجود دارد، اما مرسوم‌ترین روش، استفاده از تخمین‌های حداکثر درستنمایی است. به علت رابطه غیرخطی توابع مطلوبیت و احتمال‌های تخمینی، از این روش استفاده می‌شود (Hensher, Rose and Greene, 2015).

#### نتایج و مدل‌سازی

##### آمار توصیفی

نتایج خام حاصل از اجرای پیمایش به صورت انتخاب مد به تفکیک گروه درآمدی در جدول ۲ گزارش شده است. این نتایج، حاصل از اجرای پیمایش انتخاب گسسته برای یک نمونه‌ی ۷۳ نفری است که در مجموع ۴۳۷ مجموعه انتخاب را به صورت

جدول ۲. تعداد انتخاب مدها به تفکیک گروه‌های درآمدی

درآمد ماهانه (میلیون تومان)	۱: کمتر از ۵ میلیون	۲: ۵ تا ۱۰ میلیون	۳: ۱۰ تا ۱۵ میلیون	۴: ۱۵ تا ۲۰ میلیون	۵: ۲۰ تا ۲۵ میلیون	۶: ۲۵ تا ۳۰ میلیون	۷: بیش از ۳۰ میلیون	مجموع	درصد
هواپیما	۷	۱۱	۱۵	۱۶	۱۷	۱۱	۶	۸۳	۱۹
اتوبوس	۲۷	۴۸	۲۵	۸	۱	۴	۰	۱۱۳	۲۵,۹
قطار جدید	۲۴	۱۲۸	۴۱	۱۱	۱۸	۹	۰	۲۳۱	۵۲,۹
قطار فعلی	۲	۵	۲	۱	۰	۰	۰	۱۰	۲,۲
مجموع	۶۰	۱۹۲	۸۳	۳۶	۳۶	۲۴	۶	۴۳۷	۱۰۰
درصد	۱۳,۷۲	۴۳,۹۳	۱۹	۸,۲۴	۸,۲۴	۵,۵	۱,۳۷	۱۰۰	

روز (F) و درآمد فرد I تعریف می‌شود. E جزء تصادفی (مشاهده نشده) مطلوبیت مصرف‌کننده و  $\alpha_i$  عرض از مبدا ویژه‌ی گزینه‌ی I است. ارزش زمان سفر یا تمایل به پرداخت<sup>۳</sup> برای کاهش یک واحد زمان سفر به صورت نرخ نهایی جانشینی بین دو متغیر هزینه و زمان سفر در مدل مطلوبیت تعریف می‌شود. محاسبه نرخ نهایی جانشینی بین متغیر زمان و هزینه در هر یک از مدل‌های مذکور به ترتیب در روابط ۱۰ تا ۱۲ آمده‌است.

$$WTP_1 = MRS = -\frac{dC}{dT} = \frac{\beta_t}{\beta_c} \quad (10)$$

$$WTP_2 = MRS = -\frac{dC}{dT} = \frac{\beta_t}{\beta_c + \beta_{ic}I_n} \quad (11)$$

$$WTP_3 = MRS = -\frac{dC}{dT} = \left(\frac{\beta_t}{\beta_{ci}}\right)I_n \quad (12)$$

۱. ضریب متغیر زمان سفر در سطح ۹۹ درصد و ضریب متغیر هزینه‌ی سفر در سطح ۹۰ درصد معنی‌دار شدند. ضریب هزینه‌ی سفر برابر با  $-۰,۰۰۱۴$  و ضریب زمان سفر برابر با  $-۰,۳۰۰۲$  بدست آمده‌است. علامت هر دوی این ضرایب منفی است و این با نظریه‌های اقتصادی همخوانی دارد. با افزایش هزینه سفر و یا زمان سفر برای یک مد حمل و نقل مشخص، مطلوبیت حاصل از آن وسیله‌ی نقلیه کاهش می‌یابد و احتمال انتخاب آن مد نسبت به مدهای دیگر کاهش می‌یابد.

می‌توان ضریب هزینه را در تابع مطلوبیت را به صورت تابعی از متغیر درآمد تعریف کرد. بدین منظور در مدل ۲ (رابطه‌ی ۸)، حاصلضرب متغیر درآمد و هزینه را در کنار سه متغیر دیگر وارد مدل می‌کنیم (Soori, 2022). در مدل ۳ (رابطه‌ی ۹) حاصل تقسیم متغیر هزینه بر درآمد را در کنار دو متغیر زمان سفر و تعداد سرویس در روز وارد مدل می‌کنیم (Train, 2009). در روابط مذکور، مطلوبیت برای فرد n و مد i به صورت تابعی خطی از هزینه‌ی سفر (C)، زمان سفر (T)، تعداد سرویس در

از روابط فوق مشاهده می‌شود که در مدل‌های ۲ و ۳ تمایل به پرداخت به صورت تابعی از متغیر درآمد تعریف می‌شوند. بنابراین می‌توان به طور جداگانه ارزش زمان سفر را برای گروه‌های درآمدی مختلف محاسبه کرد. تخمین مدل‌های انتخاب گسسته به صورت مدل لاجیت چندجمله‌ای با روش حداکثر درستنمایی و با نرم‌افزار استتا ۱۷ انجام شده‌است. نتایج تخمین مدل‌ها به ترتیب در جداول ۳، ۴ و ۶ گزارش شده‌اند. تفسیر نتایج مدل ۱ با توجه به موارد گزارش شده در جدول ۳ می‌توان گزاره‌های زیر را در مورد مدل ۱ نتیجه گرفت.

$$U_{in} = \alpha_i + \beta_c C_{in} + \beta_t T_{in} + \beta_f F_{in} + \gamma_i I_n + \varepsilon_{in} \quad (7)$$

$$U_{in} = \alpha_i + \beta_c C_{in} + \beta_t T_{in} + \beta_f F_{in} + \beta_{in} I_n C_{in} + \varepsilon_{in} \quad (8)$$

$$U_{in} = \alpha_i + \beta_t T_{in} + \beta_{ci} \frac{C_{in}}{I_n} + \beta_f F_{in} + \varepsilon_{in} \quad (9)$$

جدول ۳. نتایج تخمین مدل ۱

مقدار p	Z	ضریب		
۰,۰۰۲	-۳,۱۲	-۰,۳۰۰۲	زمان سفر	متغیرهای ویژه‌ی گزینه‌ها
۰,۰۷۸	-۱,۷۶	-۰,۰۰۱۴	هزینه‌ی سفر	
۰,۷۴۹	۰,۳۲	۰,۰۰۳۹	تعداد سرویس در روز	
		$\beta = ۰$	گزینه‌ی پایه	هواپیما
۰,۰۰۰	-۶,۹۷	-۰,۸۳۴۴	درآمد	اتوبوس
۰,۰۰۲	۳,۱۳	۳,۴۰۲	عرض از مبدا	
۰,۰۰۰	-۶,۸۸	-۰,۶۳۶۲	درآمد	قطار جدید
۰,۰۰۰	۳,۹۲	۳,۸۲۸	عرض از مبدا	
۰,۰۰۵	-۲,۸۴	-۰,۹۱۵۹	درآمد	قطار فعلی
۰,۰۶۰	۱,۸۸	۲,۸۷۷	عرض از مبدا	

۲. ضریب متغیر تعداد سرویس به لحاظ آماری معنی‌دار نیست. این نتیجه، مشابه نتیجه بدست آمده در مطالعه‌ی متسون و همکاران (۲۰۱۰) است. بی‌معنی شدن این متغیر احتمالاً به علت دشواری تصور تاثیر این متغیر در انتخاب مد توسط پاسخ‌دهندگان در شرایط فرضی بوده‌است.

۳. ضریب درآمد در تمام موارد معنی‌دار شده‌است. گزینه‌ی هواپیما به عنوان گزینه‌ی پایه قرار گرفته‌است و ضریب درآمد و عرض از مبدا برای این گزینه برابر صفر است. ضریب درآمد برای سه گزینه اتوبوس، قطار فعلی و قطار جدید منفی شده‌است. این نشان می‌دهد که با افزایش درآمد، احتمال انتخاب این سه گزینه نسبت به هواپیما کاهش می‌یابد.

۴. بر خلاف مدل‌های خطی، در مدل‌های غیرخطی اثرات نهایی یک رگرسور برابر با ضریب آن در مدل نیست (Cameron and Trivedi, 2022)، بنابراین این محاسبات به صورت جداگانه باید انجام شود. محاسبه‌ی میانگین اثرات نهایی برای متغیر درآمد در مدل فوق نشان می‌دهد که به طور متوسط با بالا رفتن گروه درآمدی، احتمال انتخاب هواپیما به اندازه ۸٫۶ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با بالا رفتن هر گروه درآمدی، احتمال انتخاب اتوبوس به طور متوسط به اندازه‌ی ۵٫۶ درصد کاهش می‌یابد. اثرات نهایی درآمد برای انتخاب اتوبوس و هواپیما در سطح معنی‌داری ۹۹٪ معنی‌دار هستند، اما برای انتخاب مدهای ریلی به لحاظ آماری معنی‌دار نشدند. در شرایطی که برخی از اثرات نهایی از نظر آماری معنی‌دار نیستند، در حالی که ضرایب مربوط به آنها در مدل اصلی معنی‌دار هستند، این سوال پیش می‌آید که آیا این متغیرها باید در مدل گنجانده شوند یا خیر. نظرات مختلفی در این مورد وجود دارد. از آنجایی که اثرات نهایی در این مدل‌ها تابعی از تمام ضرایب است و تنها تابعی از ضریب متغیر مورد نظر نیست، استنباط آماری باید درباره‌ی ضرایب مدل اصلی باشد و نه اثرات نهایی (Greene, 2008). در رابطه با اثرات نهایی متغیر درآمد که در دو مدل ریلی از لحاظ آماری بی‌معنی شدند، با توجه به استدلال بیان شده می‌توان نتیجه گرفت که تفسیر علامت ضرایب این متغیرها در مدل تخمینی همچنان معتبر است. در کنار متغیر درآمد، محاسبه‌ی اثرات نهایی برای متغیر زمان سفر نشان می‌دهد که هر واحد افزایش زمان سفر برای هواپیما احتمال انتخاب هواپیما را ۳٫۷ درصد، برای اتوبوس احتمال انتخاب اتوبوس را ۵٫۴ درصد و برای قطار جدید احتمال انتخاب قطار جدید را ۷٫۱ درصد کاهش می‌دهد.

۵. ضرایب دو متغیر زمان و هزینه به لحاظ آماری معنی‌دار شدند، بنابراین می‌توان محاسبات مربوط به تمایل به پرداخت را انجام داد. تخمین ارزش زمان سفر با استفاده از رابطه ۱۰، مقدار تمایل به پرداخت معادل با ۲۰۶ هزار تومان به ازای هر ساعت را بدست می‌دهد. اما تخمین این مقدار، معنی‌داری آماری بالایی نداشت و در سطح ۸۸ درصد معنی‌دار شد. از طرف دیگر اندازه‌ی ارزش زمان سفر بدست آمده از این مدل بسیار بالاست و تطابق خوبی با مطالعات پیشین ندارد. برای حل این مشکل به تخمین ارزش زمان سفر برای گروه‌های مختلف درآمدی می‌پردازیم. در بخش‌های بعدی به تخمین ارزش زمان سفر برای گروه‌های درآمدی مختلف می‌پردازیم.

#### تخمین مدل ۲

نتایج تخمین مدل انتخاب گسسته بر مبنای مدل مطلوبیت معرفی شده در رابطه‌ی ۸ در جدول ۴ گزارش شده‌است.

در مدل جدید ضرایب متغیرهای ویژه‌ی گزینه در سطح ۹۹ درصد به لحاظ آماری معنی‌دار شدند و علامت ضرایب مطابق انتظارات منطقی و نظریه‌های اقتصادی است. علامت متغیر زمان منفی است و نشانگر کاهش احتمال انتخاب یک مد سفر با افزایش زمان سفر آن مد است. علامت ضریب  $\beta_c$  منفی است و علامت ضریب عبارت حاصلضربی درآمد و هزینه مثبت است، یعنی با افزایش درآمد، ضریب متغیر هزینه که به صورت حاصل جمع ضریب  $\beta_c$  و حاصلضرب هزینه و درآمد به دست آمده است  $(\beta_c + \beta_{ic}I_n)$ ، کوچکتر می‌شود. می‌توان این نتیجه را به این شکل تفسیر کرد که با افزایش درآمد، اهمیت مولفه‌ی هزینه‌ی مد برای مسافر کاهش می‌یابد. با توجه به معنی‌داری ضرایب مربوط به هزینه و زمان سفر و اینکه در مدل فوق نرخ نهایی جانشینی هزینه و زمان به صورت تابعی از درآمد بدست می‌آید، می‌توان محاسبات مربوط به ارزش زمان سفر برای گروه‌های مختلف درآمدی را برای این مدل انجام داد. نتایج این تخمین‌ها در جدول ۵ گزارش شده‌اند. با انجام این تخمین‌ها مشاهده می‌شود که برای گروه‌های درآمدی بالاتر، به خصوص برای گروه‌های ۵، ۶ و ۷ محاسبه‌ی ارزش زمان سفر بی‌معنی است. این احتمالاً به این دلیل است که تعداد افراد با درآمد بالا در نمونه‌ی مورد مطالعه پایین بوده‌است و تعداد افراد با درآمد پایین‌تر به خصوص افراد گروه درآمدی ۲ بیشتر بوده‌است. متأسفانه امکان مطالعه‌ی نمونه‌ی بزرگتر به علت محدودیت اجرای پیمایش در فرودگاه فراهم نبود. تخمین تمایل به پرداخت

برای گروه‌های اول تا سوم در سطح معنی‌داری بالای ۹۰٪ از لحاظ آماری معنی‌دار است. ارزش زمان سفر برای گروه اول (ماهانه کمتر از ۵ میلیون) برابر ۸۹ هزار تومان به ازای هر ساعت، برای گروه درآمدی دوم (ماهانه بین ۵ تا ۱۰ میلیون) برابر ۱۱۷ هزار تومان و برای گروه درآمدی سوم (ماهانه ۱۰ تا ۱۵ میلیون) برابر با ۱۷۱ هزار تومان تخمین زده شد. با انجام این محاسبات، ارزش زمان سفر قابل قبول‌تری برای گروه‌های درآمدی پایین‌تر بدست می‌آید.

جدول ۴. نتایج تخمین مدل ۲

مقدار p	Z	ضریب		
۰,۰۰۲	-۳,۱۰	-۰,۲۹۹۶	زمان سفر	متغیرهای ویژه‌ی گزینه‌ها
۰,۰۰۰	-۴,۴۵	-۰,۰۰۴۱	هزینه‌ی سفر	
۰,۷۴۹	۰,۳۲	۰,۰۰۳۸	تعداد سرویس در روز	
۰,۰۰۰	۷,۸۷	۰,۰۰۰۸	درآمد*هزینه	
گزینه‌ی پایه $\beta=0$				هواپیما
۰,۴۹۴	۰,۶۸	۰,۷۱۱۸	عرض از مبدا	اتوبوس
۰,۰۷۳	۱,۷۹	۱,۶۷۱	عرض از مبدا	قطار جدید
۰,۹۶۹	۰,۰۴	۰,۰۵۲۹	عرض از مبدا	قطار فعلی

### تخمین مدل ۳

مربوط به ارزش زمان سفر را برای آن انجام داد. تخمین‌های تمایل به پرداخت برای مدل ۳ در جدول ۷ گزارش شده‌اند. بر اساس این مدل، تخمین تمایل به پرداخت‌ها در سطح معنی‌داری ۹۹٪ معنی‌دار شده‌است. همچنین اندازه‌ی تمایل به پرداخت نیز نسبت به مدل اول کاهش پیدا کرد و با مطالعات پیشین تطابق بیشتری پیدا کرد. تخمین تمایل به پرداخت در این مدل نسبت به دو مدل قبلی در مجموع وضعیت بهتری دارد. برای محاسبه‌ی متوسط ارزش زمان سفر برای کل نمونه‌ی مورد مطالعه بر اساس مدل ۳، میانگین وزنی تمایل به پرداخت‌ها برای گروه‌های درآمدی با توجه به درصد هر گروه درآمدی در نمونه محاسبه می‌شود.

معمولاً متغیر هزینه بر متغیر درآمد تقسیم می‌شود. در این حالت ضریب هزینه به صورت  $\beta/I$  تعریف می‌شود. از آنجایی که این ضریب با افزایش درآمد کاهش می‌یابد، این مدل می‌تواند این مفهوم را برساند که با افزایش درآمد، از اهمیت متغیر هزینه نسبت به سایر متغیرها در تصمیم‌گیری افراد کاسته می‌شود (Train, 2009). نتایج تخمین این مدل نیز در جدول ۶ گزارش شده‌است. در این مدل نیز نرخ نهایی جانشینی بین هزینه و زمان سفر طبق رابطه‌ی ۱۲ به صورت تابعی از درآمد به دست می‌آید. در مدل تخمین زده‌شده مشاهده می‌شود که ضریب هر دو عبارت هزینه بر درآمد و زمان سفر در سطح معنی‌داری ۹۹٪ به لحاظ آماری معنی‌دار شده‌اند. بنابراین می‌توان محاسبات

$$WTP = \sum_{i=1}^7 W_i. WTP_i = 148.9$$

به عبارت دیگر، به طور متوسط ارزش زمان سفر به ازای هر ساعت کاهش زمان سفر تقریباً برابر با ۱۴۹ هزار تومان است.

جدول ۵. تخمین تمایل به پرداخت برای گروه‌های درآمدی مختلف طبق نتایج مدل ۲

مقدار p	Z	تمایل به پرداخت	گروه درآمدی
۰,۰۱۴	۲,۴۵	۸۹,۱۲	۱
۰,۰۲۹	۲,۱۹	۱۱۷,۳	۲
۰,۰۷۹	۱,۷۶	۱۷۱,۹	۳
۰,۲۸۵	۱,۰۷	۳۲۱	۴
۰,۸۸۲	۰,۱۵	۲۴۲۴,۲	۵
۰,۴۳۶	-۰,۷۸	-۴۳۶,۷	۶
۰,۱۳۷	-۱,۴۹	-۲۰۰,۳	۷

جدول ۶. نتایج تخمین مدل ۳

مقدار p	Z	ضریب		
۰,۰۰۲	-۳,۰۶	-۰,۲۹۱۴	زمان سفر	متغیرهای ویژه‌ی گزینه‌ها
۰,۰۰۰	-۵,۸۲	-۰,۰۰۵۳	هزینه ÷ درآمد	
۰,۷۳۳	۰,۳۴	۰,۰۰۴۱	تعداد سرویس در روز	
		گزینه‌ی پایه =β		هوایما
۰,۸۳۵	۰,۲۱	۰,۱۶۴۴	عرض از مبدا	اتوبوس
۰,۰۹۱	۱,۶۹	۱,۱۷۴	عرض از مبدا	قطار جدید
۰,۶۸۰	-۰,۴۱	-۰,۴۹۰۰	عرض از مبدا	قطار فعلی

جدول ۷. تخمین ارزش زمان سفر برای گروه‌های درآمدی مختلف طبق نتایج مدل ۳

مقدار p	Z	تمایل به پرداخت	گروه درآمدی
۰,۰۰۶	۲,۷۳	۵۴,۰۹	۱
۰,۰۰۶	۲,۷۳	۱۰۸,۱	۲
۰,۰۰۶	۲,۷۳	۱۶۲,۲	۳
۰,۰۰۶	۲,۷۳	۲۱۶,۳	۴
۰,۰۰۶	۲,۷۳	۲۷۰,۴	۵
۰,۰۰۶	۲,۷۳	۳۲۴,۵	۶
۰,۰۰۶	۲,۷۳	۳۷۸,۶	۷

### معنی‌داری کلی و خوبی برازش مدل‌ها

در هنگام استفاده از تخمین‌زن‌های حداکثر درست‌نمایی مانند پروبیت و لاجیت، معمولاً از آزمون‌های مبتنی بر نسبت درست‌نمایی استفاده می‌شود. آماره‌ی آزمون نسبت درست‌نمایی با نماد LR و به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$LR = 2(\ln L_U - \ln L_R) \quad (۱۳)$$

(Griffiths and Lim, 2017). توزیع مجانبی آماره آزمون نسبت درست‌نمایی به شکل زیر خواهد بود.

$$LR \sim \chi^2$$

درست‌نمایی یا لگاریتم آن استفاده می‌شود و لذا برای معیار خوبی برازش به جای  $R^2$  از معیار دیگری به نام شبه  $R^2$  استفاده می‌شود.

$$R_p^2 = 1 - \frac{\ln L_K}{\ln L_1}$$

که در آن  $\ln L_U$  مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی برای مدل کامل و غیرمقید است و  $\ln L_R$  مقدار لگاریتم تابع درست‌نمایی برای مدل مقید تحت شرایط اعمال فرض صفر است (Hill, ۱۹۸۱).

$$(۱۴)$$

درجه‌ی آزادی این توزیع کای دو ( $J$ ) برابر با تعداد فروض مورد آزمون است. نتایج آزمون نسبت درست‌نمایی در جدول ۸ گزارش شده است. با توجه به موارد گزارش شده می‌توان معنی‌داری کلی هر سه مدل را تایید کرد. در روش حداکثر درست‌نمایی از تابع

$$(۱۵)$$

در رابطه‌ی ۱۵ LnLk لگاریتم تابع درستنمایی برای مدلی است که شامل K متغیر توضیحی باشد و LnL<sub>1</sub> لگاریتم تابع درستنمایی برای مدلی است که فقط شامل عرض از مبدا باشد. چون قدر مطلق LnL<sub>k</sub> کوچکتر از قدر مطلق LnL<sub>1</sub> است بنابراین R<sup>2</sup><sub>p</sub> همواره بین صفر و یک خواهد بود (Soori, 2022). تفسیر شاخص بدست آمده از روش بالا مشابه R<sup>2</sup> نیست و برای مقادیر آن، معنای قابل تفسیر شهودی وجود ندارد (Train, 2009). به طور کلی تحت شرایط یکسان، اگر مدلی شبه R<sup>2</sup> بالاتری داشته باشد، برازش بهتری خواهد داشت (Long, 1997).

جدول ۸. آزمون نسبت درستنمایی برای مدل‌های تخمینی

مقدار p	نسبت درستنمایی	
۰,۰۰۰	۸۶,۴۲	مدل ۱
۰,۰۰۰	۸۴,۵۶	مدل ۲
۰,۰۰۰	۵۸,۶۴	مدل ۳

جدول ۹. معیار خوبی برازش برای مدل‌های تخمینی

مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	شبه R <sup>2</sup>
۰,۰۹۰۸	۰,۰۸۸۸	۰,۰۶۱۶	

نداشته باشند. مدل لاجیت با پارامترهای تصادفی<sup>۱۵</sup> که تحت عنوان مدل لاجیت ترکیبی<sup>۱۶</sup> نیز شناخته می‌شود با فرض توزیع‌های مختلف برای ضرایب رگرسورهای ویژه گزینه‌ها در مدل لاجیت چندجمله‌ای مشکل محدودیت IIA را رفع می‌کند (Cameron and Trivedi, 2022). در بسیاری از مطالعات تمایل به پرداخت که با استفاده از مدل لاجیت با پارامترهای تصادفی انجام می‌شود، متداول است که پارامترهای مربوط به مولفه‌های غیرپولی (صورت کسر در تمایل به پرداخت) تصادفی در نظر گرفته شوند و ضریب مربوط به متغیر پولی (در مخرج کسر) ثابت فرض شوند (Greene, 2018). تخمین مدل لاجیت با پارامترهای تصادفی با فرض توزیع‌های نرمال، یکنواخت و مثلثی برای ضریب متغیر زمان سفر برای هر ۳ تصریح بیان شده در روابط ۷ تا ۹ انجام شد. پس از تخمین مدل‌ها با انجام آزمون نسبت درستنمایی، فرض صفر بودن خطای استاندارد برای پارامتر تصادفی رد می‌شود. بنابراین نمی‌توان فرض ثابت بودن ضریب زمان را در این مدل‌ها رد کرد. ضرایب تخمینی در مدل‌های ترکیبی نیز بسیار نزدیک به مدل‌های با ضرایب ثابت بدست آمد. بنابراین به تخمین‌های لاجیت چندجمله‌ای با ضرایب ثابت اکتفا می‌کنیم و از گزارش مدل لاجیت با پارامترهای تصادفی صرف نظر می‌کنیم.

شبه R<sup>2</sup> برای مدل‌های تخمینی، با استفاده از رابطه‌ی ۱۵ و تخمین مدل بدون پارامتر در جدول ۹ گزارش شده است. از مقایسه‌ی شبه R<sup>2</sup> برای سه مدل این نتیجه بدست می‌آید که مدل ۱ به صورت جزئی برازش بهتری نسبت به مدل ۲ دارد. از بین این ۳ مدل، مدل سوم برازش بدتری نسبت به دو مدل دیگر دارد.

### لاجیت با پارامترهای تصادفی

نسبت‌های شانس در مدل‌های لاجیت چندجمله‌ای مستقل از گزینه‌های دیگر هستند. این ویژگی برای انجام تخمین مناسب است اما محدودیت خوبی برای رفتار مصرف کننده نیست. این ویژگی مدل لاجیت که در آن P<sub>ni</sub>/P<sub>nj</sub> مستقل از سایر احتمالات است، استقلال از گزینه‌های نامربوط<sup>۱۴</sup> نامیده می‌شود (Greene, 2018). نمی‌توان شرط استقلال از گزینه‌های نامربوط را در هر شرایط واقعی تضمین کرد. برقرار بودن IIA یک مسئله‌ی تجربی است و با بررسی آماری می‌توان به این پرسش پاسخ داد (Train, 2009). فرض IIA در شرایطی که گزینه‌های مشابه متعددی وجود دارد با احتمال بالایی رد می‌شود. (Hill, 2017). مدل‌های جایگزینی به جای لاجیت چندجمله‌ای پیشنهاد شده‌اند که این محدودیت را

## صرفه‌جویی در زمان سفر تبریز-تهران و ارزش پولی آن

جهت برآورد ارزش پولی منافع حاصل از کاهش زمان سفر، ابتدا کل کاهش زمان سفر حاصل از راه‌اندازی پروژه برآورد می‌شود. این مقدار برابر است با کل تعداد مسافرانی که از آن زیرساخت در یک دوره استفاده می‌کنند، ضرب در مقدار کاهش زمان سفر برای هر سفر. سپس کل کاهش زمان سفر در ارزش پولی هر واحد زمان سفر ضرب می‌شود (USDOT<sup>17</sup>, 2016).

برآوردهایی درباره‌ی تعداد مسافران و مقدار کاهش زمان سفر برای قطار جدید تبریز-میانه توسط شرکت ساخت و توسعه

انجام شده‌است. بر اساس اطلاعات موجود در سایت شرکت ساخت و توسعه، برای سال اول بهره برداری از راه آهن تبریز-بستان آباد-میانه تعداد ۰,۳ میلیون مسافر پیش بینی شده‌است. همچنین با راه‌اندازی این قطار، کاهش زمان پنج ساعته برای مسافرت به تبریز برآورد شده‌است. با استفاده از این اطلاعات و همچنین تخمین ارزش زمان سفر که در این مطالعه با تشکیل مدل ۳ به طور متوسط برابر با ۱۴۹ هزار تومان به دست آمد، می‌توان منافع سال اول حاصل از کاهش زمان سفر در نتیجه‌ی راه‌اندازی این پروژه را به شکل زیر محاسبه کرد.

$$VTTS_{t=1}^{18} = 300000 * 5 * 149000 = 2.235 * 10^{11}$$

به دست آمد. با توجه به مطالعه‌ی انجام شده و بررسی مطالعات پیشین، موارد زیر پیشنهاد می‌شوند.

۱. با توجه به ماهیت فرضی داده‌های بدست آمده از آزمایش انتخاب بیان شده، همواره امکان نوعی تورش در تخمین‌هایی که بر روی این داده‌ها انجام می‌شود وجود دارد. با توجه به عدم بهره‌برداری از راه آهن جدید، هیچ داده‌ای درباره‌ی ترجیحات مسافران برای انتخاب مد سفر در شرایط دسترسی به قطار جدید وجود نداشت، بنابراین به اجبار در این مطالعه از داده‌های ترجیحات بیان شده استفاده شد. پیشنهاد می‌شود که برای بررسی دقیق‌تر ارزش زمان سفر، پس از بهره‌برداری رسیدن راه آهن جدید، تخمین ارزش زمان با استفاده از داده‌های ترجیحات آشکار شده انجام شود.

۲. با توجه به اینکه مطالعات اندکی در داخل کشور درباره ارزش زمان سفر برای مسافرت‌های بین‌شهری انجام شده‌است، نتایج بدست آمده در این تحقیق به نوعی می‌تواند معیار اولیه‌ای برای تحقیقات بعدی برای برآوردهای دقیق‌تر از ارزش زمان سفر در مسافرت تبریز-تهران و یا هر نوع مسافرت بین‌شهری باشد. نتایج این نوع تحقیقات نهایتاً می‌تواند ابزاری در دست تحلیلگران هزینه-فایده‌ی پروژه‌های کلان حمل و نقل باشد که آن هم به نوبه خود می‌تواند موجب تصمیم‌گیری‌های صحیح‌تر سیاست‌گذاران برای تخصیص منابع به اجرای پروژه‌ها باشد.

۳. توافق نظری درباره‌ی روش تعیین حداقل حجم نمونه‌ی لازم برای آزمایش‌های انتخاب گسسته وجود ندارد. در این تحقیق حداقل حجم نمونه از طریق فرمول آرم محاسبه شد. اما روش‌های دیگری نیز برای محاسبه‌ی حجم نمونه مطرح شده است که حجم نمونه‌های بزرگتری را می‌دهند. با وجود محدودیت‌های قانونی، جمع‌آوری داده از نمونه‌ای بزرگتر برای این مطالعه امکان‌پذیر نشد. پیشنهاد می‌شود که برای مطالعات آینده، نمونه‌های بزرگتری مورد مطالعه قرار گیرند تا تخمین‌های معنی‌دارتری بدست آیند.

به عبارتی، ارزش پولی منافع حاصل از کاهش زمان سفر ناشی از این پروژه به طور میانگین برابر با ۲۲۳ میلیارد تومان در سال اول است. متأسفانه اطلاعات بیشتری از تخمین تعداد مسافران یا کاهش زمان سفر در دسترس نبود، بنابراین نمی‌توان برای مورد فوق، بازه‌ی اطمینان تشکیل داد و یا سطح معنی‌داری کلی آن را به دست آورد.

## ۵- نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق سنجش ارزش زمان سفر برای مسافران تبریز-تهران بوده‌است. روش مرسوم برای تخمین ارزش زمان سفر، اجرای آزمایش انتخاب گسسته برای انتخاب مدهای مورد ترجیح مسافران و سپس تخمین مدل‌های انتخاب گسسته است. آزمایش انتخاب گسسته برای مدهای حمل و نقل عمومی تبریز-تهران با ۳ مولفه‌ی هزینه‌ی سفر، طول زمان سفر و تعداد سرویس در روز مبتنی بر سطوح واقعی این مولفه‌ها طراحی شد. طرح آزمایشی از نوع ارتوگونال با اثرات اصلی بوده‌است. پس از اجرای پیمایش در محل پایانه‌های شهر تبریز، به تحلیل داده‌ها پرداخته شد. سه مدل لاجیت چندجمله‌ای با تصریحات مختلف و با چهار متغیر هزینه و زمان سفر، تعداد سرویس در روز و درآمد فرد تشکیل شد. در هر سه مدل، متغیرهای هزینه و زمان سفر به لحاظ آماری معنی‌دار شدند و متغیر تعداد سرویس در روز بی‌معنی شد. با محاسبه‌ی نرخ نهایی جانشینی بین زمان و هزینه در هر سه مدل، برآورد ارزش زمان سفر (تمایل به پرداخت) در هر سه مدل به دست آمد. میانگین تمایل به پرداخت‌ها طبق مدلی که بالاترین معنی‌داری برای تخمین تمایل به پرداخت‌ها را داشت برابر با ۱۴۹ هزار تومان به ازای هر ساعت

توصیه می‌شود که در صورت اجرای پرسشنامه در محیطی مانند پایانه مسافری، تعداد مجموعه انتخاب‌های هر پرسشنامه و تعداد مولفه‌ها و گزینه‌ها پایین نگه‌داشته شود. اما از طرف دیگر می‌توان برای افزایش کیفیت داده‌های استخراجی از پرسشنامه‌ها، تعداد سطوح مولفه‌ها را افزایش یابد.

۴. علیرغم تلاش برای ساده نگه‌داشتن مجموعه انتخاب‌ها و پایین بودن تعداد مجموعه انتخاب‌ها در هر پرسشنامه، همچنان برخی از شرکت‌کنندگان از پیچیدگی سوالات انتقاد می‌کردند و یا از تکرار مجموعه انتخاب‌ها اظهار بی‌حوصلگی می‌کردند. این در حالی است که در تعداد زیادی از مطالعات پیشین تعداد مجموعه انتخاب‌های بیشتری به شرکت‌کنندگان ارائه شده‌است.

## ۶- پی‌نوشت‌ها

1. International Transport Forum
2. Compensating Variation
3. Samuelson, P.A., 1948. Foundations of Economic Analysis
4. Revealed Preferences
5. Stated Preferences
6. Discrete Choice Experiment
7. Lancaster, K.J., 1966. "A New Approach to Consumer Theory", *Journal of Political Economy* 74 (April 1966): 132-57.
8. Boardman, A., Greenberg, D., Vining, A., Weimer, D., 2010. Cost-benefit Analysis: Concepts and Practices. (4<sup>th</sup> edn). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
9. Labelled or Unlabelled?
10. Full Factorial
11. Support. CEs: Basic Functions for Supporting and Implementation of Choice Experiments in R
12. Berry-Levinson-Pakes
13. WTP: Willingness to Pay
14. Independence from Irrelevant Alternatives
15. Random Parameters Logit
16. Mixed Logit
17. United States Department of Transportation
18. VTTS: Value of Travel Time Savings

## ۷- مراجع

- Aizaki, H., Nakatani, T., Sata, K. (2015). Stated Preference Methods Using R. *Taylor & Francis Group*.

- Bliemer, M.C.J., Fayyaz, M., Beck, M.J., Hess, S., Lint, J.W.C. (2021). Stated choice and simulated experiences: Differences in value of travel time and reliability. *Transportation Research Part C*, 103145.

- Bliemer, M.C.J., Rose, J.M. (2022). Designing and Conducting Stated Choice Experiments. In: Hess, S., Daly, A. (eds). *Handbook of Choice Modelling*. Second Edition, Edward Elgar Publishing.

- Cameron, A.C., Trivedi, P.K. (2005). *Microeconometrics: Methods and application*. Cambridge University Press.

- Cook, J., Kimuyu, P., Blum, A.G., Gatua, J. (2016). A simple stated preference tool for estimating the value of travel time in Rural Africa. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 7(2), 221-247.

- Googerdchian, M., Khoshakhlagh, R., Akbari, N. (2014). Value of Travel Time: Theoretical and Empirical Method. *International Journal of Business and Development Studies*, 6 (2), 115-129.

- سایت اینترنتی شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل - سوری، ع. (۱۴۰۰). اقتصادسنجی جلد سوم: تکمیلی. تهران، نور علم.

- کنعانی ممان، س. (۱۳۹۸). تحلیل ارزش زمان سفر کاربران حلقه دوم محدوده ترافیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه برنامه‌ریزی سیستم‌ها و علوم اقتصادی. مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی.

- یزدان‌پناه، ح. بابایی، ش. و عابدینی، م. (۱۳۹۱). تعیین ارزش زمان سفر با استفاده از روش ترجیحات بیان‌شده مطالعه موردی: شهر تهران. دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران.

- Acker, V., Kessels, R., Cuervo, D.P., Lannoo, S., Witlox, F. (2020). Preferences for long-distance coach transport: Evidence from a discrete choice experiment. *Transportation Research Part A*, 132, 759-779.

- Mattson, J., Peterson, D., Thoms, W., Ripplinger, D., Hough, J. (2010). Assessing demand for rural intercity transportation in a changing environment. *Report 73*.
- Ortuzar, J. D., Willumsen, L.G. (2011). *Modelling Transport*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Roman, C., Martin, J., Espino, R., Cherchi, E., Ortuzar, J., Rizzi, L., Gonzalez, R., Amador, F. (2014). Valuation of travel time savings for intercity travel: The Madrid-Barcelona corridor. *Transport Policy*, 36, 105-117.
- Rose, J.M., Bliemer, M.C.J. (2013). Sample size requirements for stated choice experiments. *Transportation*, 40, 1021-1041.
- Ryan, M., Gerard, K., Amaya-Amaya, M. (2008). Using Discrete Choice Experiments to Value Health and Health Care. *Springer*.
- Ryan, M., Kolstad, J.R., Rockers, P.C., Dolea, C. (2012). How to conduct a discrete choice experiment for health workforce recruitment and retention in remote and rural areas: a user guide with case studies. *World Bank Group*.
- Small, K.A., Verhoef, E. (2007). *The Economics of Urban Transportation*. *Routledge*.
- Train, K.E. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation*. *Cambridge University Press*.
- USDOT. (2016). *Cost-Benefit Analysis Guidance for Rail Projects*. *Federal Railroad Administration*, U.S. Department of Transportation.
- Greene, W. (2008). Discrete Choice Modeling. In: Mills, T., Patterson, K., the *Handbook of Econometrics: Vol. 2, Applied Econometrics, Part 4.2.*, Palgrave.
- Greene, W.H. (2018). *Econometric Analysis*. Pearson.
- Hensher, D. A., Rose, J.M., Greene, W.H. (2015), *Applied Choice Analysis*. *Cambridge University Press*.
- Hill, R.C., Griffiths, W.E., Lim, G.C. (2017), *Principles of Econometrics*. Wiley.
- ITF. (2019). What is the Value of Saving Travel Time? Summary and Conclusions. ITF Roundtable Reports, No. 176, Paris, *OECD Publishing*.
- Jara-Diaz, S.R. (2000). Allocation and Valuation of Travel Time Savings. In: Hensher, D.A. & Button, K.J. (eds.) *Handbook of Transport Modelling*. Elsevier Science Ltd.
- Jara-Diaz, S.R. (2007). *Transport Economic Theory*. *Elsevier*.
- Karlinova, B., Krcal, O. (2022). The value of travel time for long-distance railway passenger transport in Czech Republic. *Case Studies on Transport Policy*, 10(3), 1514-1519.
- Long, J.S. (1997). *Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables*. *Sage Publications*.
- Mackie, P.J., Jara-Diaz, S., Fowkes, A.S. (2001). The Value of Travel Time Savings in Evaluation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37 (2), 91-106.

# Estimating the Value of Travel Time for Tehran-Tabriz Passengers with Consideration of New Tabriz-Miyaneh Railroad

*Mohamad Reza Salmani Bishak, Associate Professor, Faculty of Economics, Management and Commerce, Tabriz University, Tabriz, Iran.*

*Zahra Karimi Takanlou, Professor, Faculty of Economics and Management, Tabriz University, Tabriz, Iran.*

*Hadi Esmaeelzadeh, M.Sc., Grad., Economic Sciences, Faculty of Economics and Management, Tabriz University, Tabriz, Iran.*

*E-mail: mrsalmani\_2005@yahoo.com*

Received: June 2024- Accepted: September 2024

## **ABSTRACT**

Transportation is among the most important sectors of any economy and investment in transportation infrastructure can cause significant growth in the economy. There should be vast economic and engineering research in order to reach a conclusion on investment decision for every transportation project. One of the most important factors in economic evaluation of transportation projects is travel time reduction. Due to high national importance of Tabriz-Miyaneh Railroad project, the goal of this study is to investigate the value of travel time for Tabriz-Tehran passengers with the assumption of new Tabriz-Miyaneh train being operational. To do so, after collecting stated preference data, multinomial logit models for mode choice in Tabriz-Tehran trips were estimated. 3 logit models with different specifications in utility function were estimated. The coefficients of travel time and travel cost were statistically significant with expected signs in all of the estimated models. Average value of travel time and value of travel time for different income groups were estimated based on the estimation results of these models. The average value of travel time for the model with highest level of significance for willingness to pay estimation was equal to 149 thousand Tomans per hour.

**Keywords:** Value of Travel Time, Cost-Benefit Analysis, Stated Preferences, Multinomial Logit, Discrete Choice Models